

Stefan Behrendt (Universität Stuttgart)

Stephan Abele (Universität Stuttgart)

Reinhold Nickolaus (Universität Stuttgart)

**Struktur und Niveaus des Fachwissens von Kfz-
Mechatronikern gegen Ende der formalen Ausbildung**

Herausgeber

Bernd Zinn

Ralf Tenberg

Daniel Pittich

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

Stefan Behrendt, Stephan Abele & Reinhold Nickolaus (Universität Stuttgart)

Struktur und Niveaus des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern gegen Ende der formalen Ausbildung

Zusammenfassung

In diesem Beitrag stellen wir Ergebnisse zum Fachwissen von Kfz-Mechatronikern vor, das sich als in hohem Grade prädiktiv für berufsfachliche Leistungen in den zentralen Handlungsfeldern von Kfz-Mechatronikern erweist. Die Analysen gründen auf einer Stichprobe von rund 1000 Auszubildenden. Die in früheren Modellierungen dokumentierten Strukturen des Fachwissens können weitgehend repliziert werden, die in früheren Modellierungen beobachtbaren Inkonsistenzen zur Ausdifferenzierung des Fachwissens an fachsystematischen Inhaltsbereichen einerseits und tätigkeitsbezogenem Wissen andererseits können aufgelöst werden. Die in anderen Untersuchungen identifizierten Schwierigkeitsmerkmale der berufsfachlichen Aufgaben können partiell repliziert werden, einen besonders hohen Erklärungsanteil erbringen Merkmale des Aufgabenformats. Als schwierig erwies es sich, diese Aufgabenmerkmale für die Modellierung von Fachwissensniveaus zu nutzen, was abschließend eingehend diskutiert wird.

Schlüsselwörter: Kfz-Mechatroniker, Fachwissen, Strukturmodellierung, schwierigkeitsbestimmende Aufgabenmerkmale, Niveaumodellierung

Structure and Levels of Car Mechatronics Technicians' Professional Knowledge towards the End of Vocational Training

Abstract

This paper examines the results of modeling professional knowledge of car mechatronics technicians. Professional knowledge is highly predictive for explaining professional competences in key areas in the work of car mechatronics technicians. The analyses are based on a sample of 1000 trainees. The structure of the professional knowledge found in previous studies could largely be replicated. Hereby we were able to resolve the inconsistencies between content specific dimensions and activity specific dimensions that existed in previous models. The difficulty features of the profession specific tasks that were identified in previous studies could partially be replicated. Features of the item format predict the item difficulty particularly well. It turned out to be very difficult to take those features as a basis for proficiency scaling which we finally discuss in detail.

Keywords: car mechatronics technicians, professional knowledge, knowledge structure, difficulty features of items, proficiency scaling

1 Ausgangssituation

Die Instrumentenentwicklung zur Erfassung berufsfachlicher Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern ist schon relativ weit fortgeschritten und es sind partiell auch Aussagen zu den erreichten Kompetenzniveaus verfügbar. Das gilt eingeschränkt auch für das Fachwissen, zu dem Gschwendtner (2011) gegen Ausbildungsende eine starke Ausdifferenzierung in Subdimensionen dokumentierte, die allerdings mit erheblichen Reliabilitätsproblemen einherging, da für die einzelnen Subdimensionen nur relativ wenige Items verfügbar waren. Diese Konstellation erlaubte auch keine Niveaumodellierung des Fachwissens. In der hier thematisierten Studie¹ wurde ein neuer Fachwissenstest für Kfz-Mechatroniker entwickelt, mit dem vier Ziele eingelöst werden sollten: Erstens sollte geprüft werden, ob sich die von Gschwendtner (2011) dokumentierte Kompetenzstruktur replizieren lässt. Zweitens sollte die Reliabilität in den Subdimensionen substantiell verbessert werden. Drittens wurde angestrebt, adaptives Testen vorzubereiten, da angesichts der ausdifferenzierten Subdimensionen adaptives Testen besonders große Vorteile im Hinblick auf die Testökonomie erwarten ließ und schließlich wurde viertens für den Fall, dass die Reliabilitätsprobleme überwunden werden können, angestrebt, auch ein Niveaumodell vorzulegen. In den bisher für gewerblich-technische Berufe vorgelegten Niveaumodellierungen (vgl. z.B. Lehmann & Seeber 2007; Geißel 2008; Gschwendtner 2008; Nickolaus u.a. 2012; Petsch, Norwig & Nickolaus 2015; van Waveren & Nickolaus 2015) wurden durchgängig deutliche Diskrepanzen zwischen den curricular intendierten und den tatsächlich erreichten Kompetenzen dokumentiert. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass das in ähnlicher Weise auch am Ausbildungsende der Kfz-Mechatroniker repliziert werden kann. Welche Barrieren dabei für die Auszubildenden sichtbar werden, scheint einerseits von zentralem didaktischem Interesse und andererseits in wissenschaftlicher Perspektive bedeutsam, da es nach den bisher vorgelegten Niveaumodellierungen nur partiell gelungen ist, die schwierigkeitsbestimmenden Merkmale domänenübergreifend oder auch nur innerhalb der Berufe zu replizieren. Ursächlich scheinen dafür u.a. Probleme, bei der Testentwicklung zugleich eine systematische Variation der schwierigkeitsbestimmenden Merkmale vorzunehmen und die inhaltlichen Validitätsansprüche einzulösen. Vor diesem Hintergrund gehen wir in diesem Beitrag zwei Fragestellungen nach: (1) Gelingt es, die von Gschwendtner (2011) vorgelegte Kompetenzstruktur zu replizieren, und (2) lässt sich die in anderen gewerblich-technischen Domänen ausgewiesene Bedeutung bestimmter schwierigkeitsbestimmender Merkmale bestätigen und zur Niveaumodellierung nutzen?

¹ Die erwähnte Studie wurde von Seiten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des ASCOT-Programms gefördert (FKZ: 01DB1105).

2 Befunde zum Fachwissen von Kfz-Mechatronikern und anderen gewerblich-technischen Ausbildungsberufen

2.1 Struktur des Fachwissens

In den letzten Jahren wurden verschiedene Beiträge vorgelegt, die sich mit der Fachkompetenzstruktur von Kfz-Mechatronikern beschäftigten. In diesen Beiträgen wurden u.a. auch Modellierungen des Fachwissens bzw. des fachsystematischen Wissens vorgenommen (Abele 2014; Abele u.a. 2012; Becker 2009; Gschwendtner 2008, 2011; Nickolaus, Gschwendtner & Geißel 2008; Gschwendtner, Abele & Nickolaus 2009; Nickolaus u.a. 2010, 2012; Schmidt 2011; Schmidt, Nickolaus & Weber 2014; Spöttl, Becker & Musekamp 2011). Mit dem Einbezug von Auszubildenden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Ausbildungsverlauf ist es auch möglich, Abschätzungen vorzunehmen, inwieweit sich die Fachwissensstruktur im Ausbildungsverlauf verändert. So dokumentierte z.B. Gschwendtner (2008) am Ende des ersten Ausbildungsjahres eine eindimensionale Struktur des Fachwissens und Gschwendtner (2011) am Ausbildungsende eine fünf- bzw. sechsdimensionale Struktur (Fahrwerk, Kraftübertragung, Motor, Motorsteuerung, Start-Strom-Beleuchtung, Service). Während die Subdimensionen „Fahrwerk“, „Kraftübertragung“, „Motor“, „Motorsteuerung“ und „Start-Strom-Beleuchtung“ fachsystematisch mehr oder weniger abgrenzbare Bereiche darstellen, liegt die Subdimension „Service“ quer zu unterschiedlichen Inhaltsbereichen, da Serviceaufgaben z.B. sowohl am Motor, der Beleuchtungsanlage als auch am Fahrwerk anfallen. Zudem folgen sie eher einer tätigkeitsbezogenen als einer fachsystematischen Strukturierung des Fachwissens. Schmidt u.a. (2014) konnten mit einem neu geschnittenen Test, der in den Antwortformaten deutliche Unterschiede zu dem der Modellierung bei Gschwendtner (2011) zugrunde liegenden Test aufwies, die fünf- bis sechsdimensionale Struktur für das Ausbildungsende bestätigen (Schmidt u.a. 2014). Dass diese Struktur trotz unterschiedlicher Antwortformate repliziert werden konnte, kann als deutlicher Hinweis auf die Validität dieses Ergebnisses gedeutet werden. Zugleich dokumentierten die von Schmidt u.a. vorgelegten Ergebnisse, welchen partiell ein Längsschnitt zugrunde lag, für das Ende des zweiten Ausbildungsjahres ein dreidimensionales Modell. Es liegt nahe, diese Befundlage als Hinweis auf eine im Ausbildungsverlauf sukzessive fortschreitende Ausdifferenzierung des Fachwissens zu interpretieren. Gestützt wird diese Interpretation u.a. durch die von Gschwendtner (2011) vorgelegten Ergebnisse zu curricularen Schwerpunktsetzungen in den Klassen und damit verbundenen Unterschieden in den Kompetenzstrukturen. Die hier für den Kfz-Mechatroniker dokumentierte Grundstruktur des Fachwissens bestätigt sich auch in anderen gewerblich-technischen Domänen. D.h., es lassen sich auch in anderen Ausbildungsberufen Ausdifferenzierungen des Fachwissens entlang von inhaltlichen Themenfeldern beobachten (Gönnenwein, Nitzschke & Schnitzler 2011; Nickolaus u.a. 2012; van Waveren & Nickolaus 2015).

Zur Erfassung des Fachwissens kamen in diesen Studien durchgehend Paper-Pencil-Tests zum Einsatz, die inhaltlich mit dem Anspruch verbunden waren, die zentralen Fachwissensbereiche abzudecken. Dabei erfolgte bei den Kfz-Mechatronikern allerdings eine Fokussierung auf zentrale Kerne des berufsfachlichen Wissens. Unberücksichtigt blieben in den Tests, die zu

einer fünf- bis sechsdimensionalen Struktur am Ende der Ausbildung führten, bisher die Inhalte zum Arbeits- und Umweltschutz, die allerdings im Curriculum enthalten sind.

Die Reliabilitäten der Fachwissenstests konnten im Kfz-Bereich sukzessive gesteigert werden. Während Gschwendtner (2011) für die Subdimensionen durchgängig unbefriedigende Reliabilitäten berichtete (EAP/PV = .31 bis .49), dokumentierten Schmidt u.a. (2014) immer noch optimierbare, jedoch weitgehend befriedigende Reliabilitätswerte (EAP/PV = .71 bis .84). Eine wesentliche Basis für diese Optimierungen stellten die von Schmidt (2011) vorgelegten Feinanalysen zu den Aufgaben des Fachwissenstests dar², der der Modellierung von Gschwendtner (2011) zugrunde lag.

Inzwischen liegen auch Analysen des berufsfachlichen Wissens von Kfz-Mechanikern vor, in welchen nicht nur das fachsystematische Wissen, sondern ebenso das Handlungswissen in unterschiedlichen Anforderungsbereichen (Fehleranalyse, Service, Reparatur/Instandhaltung) berücksichtigt wurde (Nickolaus, Behrendt & Abele 2016). Dokumentiert wird in diesen Analysen einerseits, dass das Handlungswissen in diesen unterschiedlichen Anforderungsbereichen in zwar stark assoziierte, jedoch empirisch eigenständige Subdimensionen ausdifferenziert werden kann. Andererseits machen sie deutlich, dass dem fachsystematischen Wissen erhebliche prädiktive Kraft für das Handlungswissen zukommt, wobei die einzelnen Subdimensionen des fachsystematischen Wissens besonders eng mit jenen Bereichen des Handlungswissens assoziiert sind, zu welchen auch enge inhaltliche Bezüge bestehen. In diesem Beitrag wenden wir uns der Frage zu, inwieweit die Struktur des fachsystematischen Wissens repliziert werden kann, was auch für Zusammenhangsanalysen zwischen dem fachsystematischen und dem Handlungswissen relevant ist.

2.2 Bedeutung schwierigkeitsbestimmender Merkmale und Niveaumodellierung³

Im Rahmen von Kompetenzmodellierungen werden Aussagen zu den Schwierigkeitsmerkmalen von Aufgaben in aller Regel im Zusammenhang mit Niveaumodellierungen generiert. Gebräuchlich sind im Kern für solche Modellierungen zwei Zugänge, (1) regressionsanalytische Verfahren im Anschluss an Hartig (2007) und (2) Verfahren zur Bestimmung relevanter Schwellen im Anschluss an Beaton und Allen (1992). Während beim ersten Typus entweder ex ante oder ex post die Aufgaben einem (mehrfachen) Ratingverfahren anhand theoretisch unterstellter schwierigkeitsbestimmender Merkmale unterworfen und darüber regressionsanalytisch die Schwellenparameter bestimmt werden, geht die Niveaubestimmung nach Beaton und Allen (1992) von einer Sichtung der Lösungsverteilung aus und bestimmt über die Analyse von Lösungshäufigkeiten kritische Schwellen und beschreibt mit Repräsentanten der Aufgaben an den jeweiligen Schwellen die Anforderungscharakteristik(a). Unabhängig vom Modellierungsverfahren werden für die identifizierten Schwierigkeitsparameter die bereits bei der Aufgabenkonstruktion unterstellten potentiellen Schwierigkeitsmerkmale relevant, die jedoch in aller Regel bei der Testentwicklung nur partiell

² Durchgeführt wurden u.a. psychometrische und inhaltliche Itemanalysen, in deren Anschluss bereits Vorschläge zur Optimierung unterbreitet wurden.

³ vgl. dazu auch ausführlicher Nickolaus 2014.

systematisch variiert werden können. Die Ursachen für diese Restriktion liegen einerseits in der relativ großen Anzahl potentieller Schwierigkeitsparameter, deren systematische Variation zu sehr umfangreichen Testbatterien führen würde und andererseits in Kollisionen solcher systematischer Variationen mit der zugleich eingeforderten Authentizität der Aufgabenzuschnitte, die insbesondere im Zuge der Debatten zur Kompetenzorientierung in der beruflichen Bildung einen besonders großen Stellenwert erhalten hat. Zu beachten bleibt bei Aussagen zu den relevanten Schwierigkeitsmerkmalen der Aufgaben, die in solchen Kontexten entstanden, dass in Teilen die Aufgabenkonstruktion und die in diesem Kontext vorgenommene Variation der Schwierigkeitsmerkmale so erfolgt, dass die Erfolgswahrscheinlichkeit, den jeweiligen Parameter als schwierigkeitsrelevant auszuweisen, steigt, wozu versucht wird, ein Merkmal systematisch zu variieren und die anderen Aufgabenmerkmale konstant zu halten. Das gilt bzw. gelingt jedoch nicht durchgängig, was, neben variierenden Operationalisierungen, mitunter Inkonsistenzen in den Befundbildern erklären könnte. Diese Problematik wird auch in diesem Beitrag virulent und wird in der Diskussion der Ergebnisse nochmals aufgegriffen. Erstellte wurden Niveaumodelle, von Ausnahmen abgesehen, bisher primär für das Fachwissen, das in allen Strukturmodellierungen als eigenständige, jedoch mit der Wissensanwendung eng assoziierte Subdimension berufsfachlicher Kompetenz ausgewiesen wird (im Überblick Nickolaus & Seeber 2013). Partiiell liegen jedoch auch Niveaumodellierungen für die fachspezifische (analytische) Problemlösekompetenz vor, die über Fehlerdiagnoseleistungen in technischen Systemen operationalisiert wurde (Nickolaus u.a. 2012).

Als häufiger beobachtete *schwierigkeitsbestimmende Merkmale des Fachwissens*, das im Folgenden Gegenstand der Analysen ist, wären zu nennen (vgl. auch Nickolaus 2014; van Waveren & Nickolaus 2015):

- kognitionspsychologisch-taxonomische Merkmale, z.B. im Anschluss an Bloom (Geißel 2008; Gschwendtner 2008; Marzano & Kendall 2007; Nickolaus, Gschwendtner & Abele 2009; Schumann & Eberle 2011; Seeber 2008; Achtenhagen & Winther 2009)
- Modellierungsanforderungen, d.h. der Anspruch eigenständig mentale Repräsentationen zu den anforderungsspezifischen Zusammenhängen zu generieren (ebd.)
- Mathematische Anforderungen werden partiell ebenfalls als schwierigkeitsrelevant ausgewiesen (z.B. Seeber 2008), wobei die mathematischen Modellierungen berufsfachlicher Zusammenhänge besonders herausfordernd zu sein scheinen (s.u.).
- Die Komplexität der Anforderungen wird domänenübergreifend als schwierigkeitsrelevant ausgewiesen (in der beruflichen Bildung z.B. Gschwendtner 2008; Achtenhagen & Winther 2009, Winther 2010; ähnlich auch in physikalischen Anforderungskontexten Kauertz 2009). Zur Operationalisierung werden allerdings deutlich unterschiedliche Indikatoren herangezogen (z.B. Abele 2016), wie z.B. die Anzahl und Vernetzung der zu berücksichtigenden Elemente oder auch globale Einschätzungen. Zu berücksichtigen ist, dass „Komplexität“ häufig mit anderen Schwierigkeitsparametern, wie z.B. der Anzahl der Lösungsschritte oder auch den Modellierungsanforderungen assoziiert ist und damit die Aussagemöglichkeiten, an

welcher Stelle im Lösungsprozess Probleme auftreten, beschränkt sind (Nickolaus u.a. 2012).

- Bezogen auf das Fachwissen von Kfz-Mechatronikern wurde auch das Merkmal der Vertrautheit angeführt (z.B. Gschwendtner 2008), das allerdings streng genommen kein Aufgabenmerkmal, sondern ein Merkmal der Interaktion von Person und Anforderungssituation darstellt.
- Aufgabenformate wurden bisher vor allem außerhalb der beruflichen Bildung als schwierigkeitsrelevant angeführt (z.B. Artelt u.a. 2007; Goldin & McClintock 1979). Besonders bedeutsam scheinen dabei vor dem Hintergrund der in der eigenen Studie verwendeten geschlossenen Aufgabenformate die Hinweise auf die Schwierigkeitsrelevanz offener vs. geschlossener Aufgabenformate (z.B. Schuhmann & Eberle 2011), wobei offene Aufgabenformate bei gleichen Inhalten meist schwerer sind und bereits ein „komplexes Erscheinungsbild“ der Aufgabenstellung die Bearbeitungshäufigkeit beeinflussen kann. Insgesamt erweist sich die Befundlage zu den äußeren Aufgabenmerkmalen eher als uneinheitlich (vgl. auch Klieme 2000; Draxler 2005).

In gewerblich-technischen Ausbildungsberufen, in welchen sowohl in der Praxis als auch in den Test- oder Prüfungssituationen Tabellenbücher verfügbar sind, aus welchen zahlreiche Informationen erschlossen werden können, werden verschiedentlich auch die aufgabenspezifischen Verweisqualitäten als schwierigkeitsbedeutsam angeführt (Geißel 2008; Gschwendtner 2008), wobei die Beobachtungen zum Umgang mit den Tabellenbüchern allerdings darauf hindeuten, dass dafür weniger die notwendig werdende bzw. mögliche Interaktion mit dem Tabellenbuch als die Relevanz der Thematik, die in einer mehr oder weniger starken Berücksichtigung im Tabellenbuch durchschlägt, für diesen Zusammenhang ursächlich ist.

Speziell zum Fachwissen von Kfz-Mechatronikern erwiesen sich am Ende des ersten Ausbildungsjahres in einer Post-hoc-Analyse als schwierigkeitsrelevant: (1) die Vertrautheit der Anforderungen aus der Sekundarstufe I, (2) die Hinweisgüte des Tabellenbuches, (3) die Bloomsche Taxonomie, (4) die „Wissensvernetztheit“ (Einzelheiten, Zusammenhänge, Systemwissen), (5) die Anzahl der notwendigen Lösungsschritte und (6) die Wissensart (deklarativ, prozedural). Mit diesen Merkmalen wurde insgesamt eine Varianzaufklärung von 44,9% erreicht (Gschwendtner 2008; Gschwendtner, Geißel & Nickolaus 2010).

3 Fragestellungen

Die querschnittlich angelegte Teilstudie innerhalb des ASCOT-Projektes KOKO KFZ, diente vor allem der Optimierung des Messinstruments und der Überprüfung der in den Vorstudien vorgelegten Ergebnisse im Hinblick auf die Struktur und Niveaus bzw. die Bedeutung schwierigkeitsbestimmender Aufgabenmerkmale. In diesem Kontext erfolgte auch eine Kalibrierung von zahlreichen neuen Items, um adaptives Testen vorzubereiten. Im Kontrast zu den zuvor vorliegenden Testversionen, in welchen sowohl mit offenen als auch geschlossenen Aufgabenformaten gearbeitet wurde, erforderte die Vorbereitung auf adaptives Testen die ausschließliche Nutzung geschlossener Antwortformate. Wie oben bereits angedeutet, erfolgte

neben dieser Modifikation der Aufgabenformate eine erhebliche Erweiterung der Itembatterien für die einzelnen Subdimensionen. Des Weiteren wurde eine inhaltliche Erweiterung vorgenommen, um die in den Vorläuferversionen fehlenden Inhaltsbereiche des Arbeits- und Umweltschutzes abzudecken, die curricular verankert sind. Inhaltlich wurde bei der Itementwicklung eine enge Kooperation mit der zentralen Prüfungserstellungsstelle (PAL) der IHK Stuttgart realisiert und neben den nationalen auch die Ergebnisse der internationalen inhaltlichen Analysen zu den Anforderungen an Kfz-Mechatroniker berücksichtigt (Müller & Schelten, 2009). Des Weiteren wurde umfangreiche Erhebungen zu den in der Bildungspraxis realisierten Curricula vorgenommen, da zu erwarten war, dass die inhaltlichen Freiräume, die die gegenwärtig implementierten Curricula bieten, von den Lehrenden auch genutzt werden (s.u.). Im Anschluss an den oben skizzierten Forschungsstand sollten im Rahmen der Studie neben der Vorbereitung adaptiven Testens ein Beitrag zur Klärung der Fragen erbracht werden, ob sich

- die Struktur des Fachwissens aus den vorangegangenen Untersuchungen im Kfz-Bereich replizieren lassen,
- ob die bisher mit relativ kleinen und auf einzelne Bundesländer eingeschränkten Stichproben gewonnen Ergebnisse zu den Kompetenzniveaus auch bei größeren und breiter angelegten Stichproben Bestand haben und
- ob sich die schwierigkeitsbestimmenden Merkmale der Aufgaben, wie sie im Kfz-Bereich z.B. von Gschwendtner (2008) vorgelegt wurden, bestätigen lassen.

Geprüft werden folgende Hypothesen:

H1: Die von Gschwendtner (2011) vorgelegte und von Schmidt u.a. (2014) bestätigte Struktur des Fachwissens lässt sich auch mit einem erweiterten Datensatz und auf der Basis eines ebenfalls erweiterten Testinstruments insoweit replizieren, als die Subdimensionen „Fahrwerk“, „Kraftübertragung“, „Motor“, „Motorsteuerung“ und „Start-Strom-Beleuchtung“ je eigene Subdimensionen darstellen. Bezogen auf den „Service“, der bisher ebenfalls als eigene Subdimension ausgewiesen wurde, unterstellen wir, dass eine Modellierung, in der die Serviceaufgaben den zugehörigen Inhaltsbereichen zugeordnet werden (Motorservice zu Motor, Bremsenservice zu Fahrwerk etc.) einen besseren Modellfit erbringt. Denkbar wäre angesichts der in den Vorläuferstudien (z.B. Gschwendtner 2011) dokumentierten hohen Korrelationen zwischen der „Motorsteuerung“ und „Start-Strom-Beleuchtung“, dass hier eine gemeinsame Skalierung angemessener ist. Die neu hinzugenommenen Aufgaben zum Arbeits- und Umweltschutz begründen eine zusätzliche Subdimension des Fachwissens.

H2: Die in anderen Ausbildungsberufen und für die Kfz-Mechatroniker mit kleineren Stichproben dokumentierten Diskrepanzen zwischen curricularen Ansprüchen und den tatsächlich erreichten Niveaus lassen sich auch für die breit angelegte und mehrere Bundesländer einschließende Stichprobe bestätigen.

H3: Die von Gschwendtner (2008) im ersten Ausbildungsjahr ausgewiesenen schwierigkeitsbestimmenden Merkmale erweisen sich auch am Ende der Ausbildung als prädiktiv für den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben.

4 Anlage der Untersuchung

Die Untersuchung wurde querschnittlich und in mehreren Bundesländern (Bayern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und jeweils mit einer Klasse Niedersachsen und Hessen) breit angelegt. Die Entwicklung des Testinstruments erfolgte mit dem Ziel, ein den Testgütekriterien genügendes Instrument und eine Modellierung des Fachwissens vorzulegen, die zugleich Ausgangsbasis für eine international angelegte Vergleichsstudie sein sollten. Die Erhebung des fachsystematischen Fachwissens erfolgte über einen Paper-Pencil-Test.

4.1 Instrument

Das Framework der Itementwicklung basierte auf Vorarbeiten, in welchen einerseits bereits Modellierungen des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern vorgenommen wurden (Gschwendtner 2008, 2011, Nickolaus u.a. 2012, Schmidt u.a. 2014) und andererseits Feinanalysen der dort Verwendung findenden Aufgaben erfolgten (Schmidt 2011). Eine partielle Neuentwicklung und Modifikation/ Optimierung von Items erfolgte zu den Anforderungsbereichen „Motor“, „Motorsteuerung“ (inklusive Managementsysteme), „Start-Strom-Beleuchtung“ und „Service“, die Aufgaben zu den Inhaltsbereichen „Kraftübertragung“ und „Arbeits- und Umweltschutz“ wurden völlig neu entwickelt⁴. Die Entwicklung der Items innerhalb der potentiellen Subdimensionen erfolgte im Bestreben, folgende Anforderungen/ Bereiche abzudecken: (1) Bauteile (Begriffswissen, Detailwissen, Strukturwissen, Systemkenntnisse), (2) Zustände/ Defekte (Gründe und Ursachen, Effekte und Folgen, Diagnose und Diagnosewerkzeuge) und (3) Reparatur/ Service (Arbeitspläne, Werkzeuge, wichtiges Verfahrenswissen). Im Vorfeld der Testkonstruktion wurden bei 505 Auszubildenden aus unterschiedlichen Bundesländern Erhebungen zu den tatsächlich implementierten Curricula durchgeführt. Dazu wurden im Anschluss an die formalen curricularen Vorgaben (Ausbildungsordnung, Rahmenlehrplan) in Abstimmung mit den Experten des Projektbeirats insgesamt 76 Themenfelder identifiziert, zu deren Behandlungsintensität in Schule und Betrieb die Auszubildenden Stellung bezogen (Schule: Skala 0/ gar nicht behandelt, ..., 4/ sehr intensiv behandelt; Betrieb: selbständige Ausführung/ angeleitete Ausführung und Häufigkeit der Ausführung, 0/ nicht ausgeführt, ..., 4/ sehr häufig ausgeführt). Beispielhaft sind im Folgenden für den Theorieunterricht Ausschnitte des Themenkatalogs zu relevantem Wissen zum Inhaltsbereich „Motor“ wiedergegeben. Insgesamt wurden zum Motorbereich neben den hier wiedergegebenen Themenfeldern 28 weitere Themenfelder abgedeckt (6 Themen zur Abgasanlage, 4 zur Fremdaufladung, 6 zur Motorschmierung und Kühlung, 8 zum Ansaugtrakt und 4 zu alternativen Antrieben). Im betrieblichen Bereich wurden entsprechende Tätigkeitsausschnitte zur Bewertung vorgelegt, wie z.B. Ein-/Ausbau eines Verbrennungsmotors, Zylinderkopfdichtung erneuern, Montage/Demontage/Austausch eines Zylinderkopfs, Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung am Zylinderkopf (bspw. Erneuerung der Zylinderkopf-

⁴ Die insgesamt 7 administrierten Inhaltsbereiche sowie die Items wurden im Rahmen von zwei Expertenratings (mit Teilnehmern aus den Bereichen: Schulische Ausbildung, Betriebliche Ausbildung, KFZ-Meisterwerkstatt, Prüfungsaufgaben und Lehrmittelentwicklungsstelle, Autoren von Fachbüchern) inhaltlich validiert und für wichtig empfunden, um Kfz-mechatronische Kompetenzen zu messen.

dichtung nach Feststellung von Blaurauchbildung und Ausschluss anderer Möglichkeiten durch z.B. eine Kompressionsprüfung).

Beispielhafte Themenfelder zur Ermittlung der Curricularen Schwerpunktsetzungen im Theorieunterricht: Aufbau, Funktion und Wirkungsweise des 2 Takt-Motors; Funktion und Wirkungsweise des 4 Takt-Motors; Otto- und Dieserverfahren, Kenngrößen Ottomotor (Wirkungsgrad, p - V -Diagramm, Leistungsdiagramm (Motorkennlinie), Verbrauchskennfeld); Kenngrößen Dieselmotor (Wirkungsgrad, p - V -Diagramm, Leistungsdiagramm (Motorkennlinie), Verbrauchskennfeld); Unterschiede zwischen Otto- und Dieserverfahren (Gemischbildung, Zündung, Aufbau, usw.); Zylinderkopf: Funktion, Aufbau und Wirkungsweise des Zylinderkopfs und des Ventiltriebes (Ventile, Ventildfedern, Federteller, Ventildführung, Nockenwellen, Schwinghebel usw.); Arten und Wirkungsweisen von Ventilsteuerungen (DOHC-, OHV-, CIH-, variable Ventilsteuerung); theoretische Abhandlung von häufigen Fehlerquellen oder Defekten am Zylinderkopf; Motorblock/Kurbelgehäuse: Funktion, Aufbau, Wirkungsweise und Zusammenwirken von Kolben, Kolbenringen und Kolbenbolzen, Pleuel und Kurbelwelle; Aufbau und Wirkungsweise der verschiedenen Zylinderanordnungen (V-Form, Reihe, Boxer usw.); theoretische Abhandlung von häufigen Fehlerquellen oder Defekten am Motorblock/Kurbelgehäuse.

Die Behandlungsintensität bzw. die Häufigkeit der ausgeübten Tätigkeiten variiert deutlich. Die Mittelwerte für die einzelnen Themenfelder bewegen sich in der Größenordnung von 1.56 bis 3.24. Bei der Aufgabenauswahl wurden diese Angaben genutzt, um mit den Experten eine Auswahl zu treffen. Eine vollständige Abbildung wurde weder angestrebt noch als notwendig erachtet, da nach den vorliegenden Forschungsergebnissen davon auszugehen ist, dass zwischen den einzelnen Subdimensionen substantielle Zusammenhänge bestehen und mit einer begründeten Auswahl eine hinreichende Abschätzung der Kompetenzen möglich ist. Bezogen auf die mit den Aufgaben realisierten Anspruchsniveaus orientierten wir uns an den Ordnungsvorgaben, in welchen eine fachgerechte, selbständige und eigenverantwortliche Bewältigung der einschlägigen Arbeiten auch bereits vor der letzten Neuordnung des Berufs eingefordert wird, was die eigenständige Erschließung relevanter Informationen, die eigenständige Planung, Durchführung und Prüfung der Arbeitsausführung einschließt (z.B. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 2000). Im Begründungsantrag zur Neuordnung wird ergänzend darauf verwiesen, dass auch das Verständnis komplex verknüpfter Fahrzeugsysteme als zwingend notwendig erachtet wird, um zentrale Aufgaben, wie beispielsweise Störungsdiagnosen, durchführen zu können (Antrag Neuordnung 2011). Als weiterer Referenzpunkte für den Fachwissenstest dienten die in den letzten Jahren realisierten Anspruchsniveaus in den Prüfungen der PAL.

Das Testdesign wurde 7-dimensional, mit jeweils 4-facher Reihenfolgerotation der Aufgaben, im Youden-Square-Design angelegt, wobei sich 20% der Items zwischen der vorherigen bzw. nächsten Version überschneiden. Die Aufgabenformate beschränkten sich auf Single-Choice-, Multiple-Choice- und Zuordnungsaufgaben. Drei Beispielitems sind in den Abbildungen 1, 2 und 3 wiedergegeben. Insgesamt wurde eine Itembatterie von $N = 155$ Items (Arbeits- &

Umweltschutz: 21; Fahrwerk: 22; Kraftübertragung: 22; Motor: 23, Managementsysteme: 22; Service: 23; Start-Strom-Beleuchtung: 22) entwickelt. Auf Grund der verwendeten Testheft-Designs konnten pro Item zwischen 406 (44 %) und 476 (52 %) gültige Daten verwendet werden.

Die an einer fachlichen Systematik ausgerichtete Aufgabenentwicklung korrespondierte einerseits mit den vorliegenden Ergebnissen zur Strukturmodellierung des Fachwissens von Kfz-Mechanikern und wurde andererseits auch in einer internationalen Vergleichsperspektive als günstiger erachtet als eine lernfeldbezogene Strukturierung (Müller & Schelten 2009). Trotz dieses Zugangs werden die in den Curricula ausgewiesenen Themenfelder weitgehend abgedeckt, was auch durch die Orientierung an den tatsächlich realisierten Curricula gewährleistet wird. Neben fachsystematischen Gesichtspunkten bildete die praktische Relevanz des mit den Aufgaben abgebildeten Wissens, wie sie in den durchgeführten curricularen Analysen sichtbar wurde, einen zentralen Bezugspunkt der Aufgabenentwicklung und Auswahl.

Ein Kunde teilt Ihnen mit, dass er sein Fahrzeug in sehr kalten Regionen (-45°C bis -30°C) betreiben möchte. Welches der angegebenen Mischungsverhältnisse (Kühlflüssigkeit zu Wasser) würden Sie auffüllen?

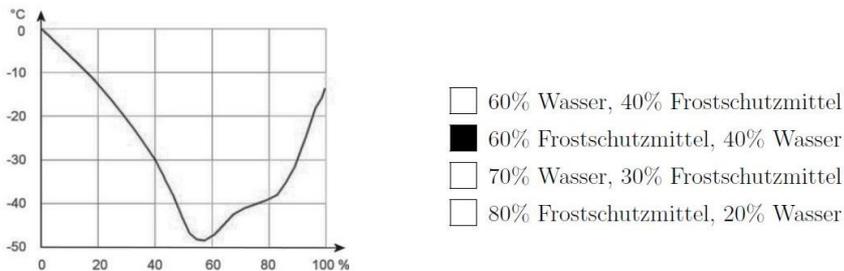


Abbildung 1: Beispiel Single-Choice Aufgabe

Ein Reifen hat folgende Bezeichnung: 195/65 R 15 91 H
 Ordnen Sie den Bezeichnungen in der Tabelle die entsprechende Größenkennzeichnungen des Reifens zu!
 Setzen Sie hierzu entsprechend Kreuze in der Tabelle.

	195	65	R	15	91	H
Geschwindigkeitsindex	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Reifenquerschnittsverhältnis	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reifeninnendurchmesser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reifenbauart	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tragfähigkeitsindex	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reifenbreite	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 2: Beispiel Zuordnungs-Aufgabe

Bei einer Überprüfung der Bremsanlage messen sie folgende Belagstärken:
Hinterachse: links innen 7mm, links außen 7mm; rechts innen 2mm, rechts außen 7mm.
Vorderachse: links innen 5mm, links außen 4,8mm; rechts innen 5mm, rechts außen 4,9mm.

Laut Herstellerinformationen beträgt die Belagstärke für Vorder- und Hinterachse beim Einbau 9mm und die Verschleißgrenze liegt bei 3mm. Welche Arbeiten würden Sie durchführen?

Wählen Sie 2 richtige Antworten aus.

- Den Bremsbelag rechts innen an der HA erneuern.
- Die Bremsbeläge rechts innen und außen an der HA erneuern.
- Alle Bremsbeläge der HA erneuern.
- Den Bremsbelag rechts innen an der VA erneuern.
- Die Bremsbeläge rechts innen und außen an der VA erneuern.
- Alle Bremsbeläge der Vorderachse erneuern.
- Den rechten hinteren Bremssattel überprüfen.
- Den rechten vorderen Bremssattel überprüfen.
- Die beiden vorderen Bremssättel überprüfen.

Abbildung 3: Beispiel Multiple-Choice Aufgabe⁵

4.2 Stichprobe

Die Stichprobe umfasste $N = 920$ Auszubildende am Ende des dritten Ausbildungsjahres. In die Datenerhebung wurden insgesamt 25 Standorte primär in drei Bundesländern einbezogen. Die Stichprobe wurde zufällig angelegt, war jedoch an die Teilnahmebereitschaft der Schulen und der Schülerinnen und Schüler gebunden. Hinweise auf Verzerrungen lassen sich gemessen an den Vorbildungen bezogen auf die Gesamtpopulation nicht ausmachen. Der Anteil an Auszubildenden mit einem Hauptschulabschluss erreicht 47 %, der Anteil an Auszubildenden mit mittlerem Abschluss 40 %⁶ (auf Basis von 791 Probanden).

4.3 Statistische Analysen

Alle im Folgenden präsentierten Ergebnisse wurden mit der Software R (R Core Team 2015) unter Zuhilfenahme des Pakets TAM (Kiefer u.a. 2015) berechnet. Die dargestellten Werte zu den Personenfähigkeiten entsprechen jeweils dem Mittel der Einzelanalysen, die über 1000 Ziehungen Plausible Values gewonnen wurden. Das den Analysen zu Grunde liegende Modell ist jeweils ein Rasch-Modell, in dem in allen Dimensionen die mittlere Personenfähigkeit auf Null gesetzt wird, um die additive Invarianz der Skalen zu lösen. Das Rasch-Modell, in dem alle Items dichotomisiert wurden, erwies sich gegenüber dem Partial-Credit-Modell mit teilweise polytomen Items als überlegen.

⁵ Im Sinne der Eindeutigkeit der Aufgabenstellung wäre es zweckmäßig gewesen, explizit darauf hinzuweisen, dass eine Bremsanlage mit Scheibenbremsen und keine Simplex-Bremse überprüft wird. Da sich dies aber aus den Antwortalternativen (Stichwort: Bremssattel) schließen lässt und auch die psychometrischen Kennwerte der Aufgabe (Schwierigkeit, Trennschärfe etc.) unauffällig waren, halten wir dennoch an dieser Aufgabe fest.

⁶ Davon verfügen 4% über einen qualifizierten Abschluss an der Haupt- bzw. Werkrealschule.

5 Ergebnisse

5.1 Struktur des Fachwissens

Im Hinblick auf die Fachwissensstruktur am Ende des dritten Ausbildungsjahres ist im Anschluss an die bisherigen Befundlagen zu erwarten, dass sich eine Ausdifferenzierung in Subdimensionen entlang von Inhaltsbereichen bestätigen lässt. Offen scheint insbesondere, ob die Subdimensionen des Motormanagements und der Start-Strom-Beleuchtung, die in den bisher vorgelegten Modellierungen entweder sehr hoch korrelierten oder zusammenfielen, gemeinsam oder getrennt zu skalieren sind. Im Anschluss an die in Abschnitt 2 angedeutete Inkonsistenz der Subdimension „Service“, die eher tätigkeits- als inhaltsbezogen bestimmt wurde, soll auch geprüft werden, ob eine Aufteilung der Serviceaufgaben auf die zugehörigen Inhaltsbereiche (z.B. Fahrwerk, Start-Strom-Beleuchtung) zu einer besseren Passung des Modells führt. Das wäre theoretisch insoweit von Interesse, als die im Zuge der Lernfeldeinführung geführten didaktischen Debatten, ob tätigkeits- oder fachbezogene Strukturierungen von Vorteil sind, empirisch bereichert werden könnte. Der Hypothese 1 entsprechend unterstellen wir eine Ausdifferenzierung des Fachwissens in die Subdimensionen „Arbeits- und Umweltschutz“ (AUS), „Fahrwerk“ und „Bremsanlage“ (FW), „Kraftübertragung und Getriebe“ (KÜ), „Motor“ (M), „Motorsteuerung“ (MS) und „Start-Strom-Beleuchtung“ (ST). Die Serviceaufgaben sollten in den zugehörigen Inhaltsbereichen aufgehen. Als Ausgangsmodell für den Prüfprozess nutzen wir ein 7-dimensionales Modell, in dem der Service (S) ebenfalls als eigene Dimension unterstellt wird. Dieses 7-dimensionale Modell testen wir (1) gegen ein 6-dimensionales, in dem die Serviceaufgaben nach fachsystematischen Gesichtspunkten auf die Subdimensionen „Fahrwerk“, „Motor“ und „Start-Strom-Beleuchtung“ verteilt werden, (2) gegen ein 5-dimensionales Modell, in dem zusätzlich die Subdimensionen „Motorsteuerung“ und „Start-Strom-Beleuchtung“ zusammengefasst werden, (3) ein 3-dimensionales Modell bestehend aus den Subdimensionen „Arbeits- und Umweltschutz“, „Mechanik“ (Fahrwerk, Kraftübertragung, Motor) und „Elektrotechnik“ (Motorsteuerung, Start-Strom-Beleuchtung) und schließlich (4) ein eindimensionales Modell.

Die Eignung der Items für die Skalierung wurde durch (1) den Item-Infit und den Item-Outfit, der nach Möglichkeit zwischen 0.8 und 1.2 liegen sollte (Boone et al. 2014, S. 166, „high stakes“) und (2) die Item-Skalen-Korrelation (gleich der Trennschärfe ohne part-whole-Korrektur in der klassischen Test-Theorie), wobei hier der Einfachheit halber die WLE-geschätzten Personenfähigkeiten verwendet wurden, die nach Möglichkeit über 0.20 liegen sollte (Penfield, 2013), überprüft. Hierbei wurde zuerst das 7-dimensionale Modell optimiert und danach die anderen Modelle überprüft, ob sie mit denselben Items ebenfalls gute Werte aufweisen, was bestätigt werden konnte. Aus diesem Prozess konnten 85 Items als geeignet für die Skalierung identifiziert werden. Hierbei sind jeweils 9 Items den Dimensionen „Arbeits- und Umweltschutz“ und „Fahrwerk“, jeweils 12 Items den Dimensionen „Motorsteuerung“ und „Start-Strom-Beleuchtung“, 13 Items der Dimension „Kraftübertragung“ und jeweils 15 Items den Dimensionen „Motor“ und „Service“ zugeordnet.

Für den Modellvergleich wurde einerseits der Chi-Quadrat-Test für genestete Modelle herangezogen und andererseits auf den AICc zurückgegriffen. Burnham und Anderson (2004)

argumentieren, dass dieser bei einem Verhältnis von Personen- zu Parameterzahl kleiner 40 gegenüber den anderen standardmäßig verwendeten Informationskriterien (wie z.B. AIC und BIC) zu präferieren ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Modell	Devianz	Anzahl Parameter	AICc	Chi-Quadrat-Vergleich mit 1D	Chi-Quadrat-Vergleich mit nächstniedrigerem Modell
1D	42 495	86	42 684		
3D	42 427	91	42 630	$X^2(5) = 66.7, p < .001$	
5D	42 401	100	42 626	$X^2(14) = 93.3, p < .001$	$X^2(9) = 26.6, p < .01$
6D	42 381	106	42 621	$X^2(20) = 113.7, p < .001$	$X^2(6) = 20.3, p < .01$
7D	42 393	113	42 651	$X^2(27) = 101.7, p < .001$	$X^2(7) = -11.9, p = 1$

Tabelle 1: Modellvergleiche. Anzahl Personen = 920; Devianzangaben gerundet

Es zeigt sich, dass, bezogen auf den AICc, das 6-dimensionale Modell zu präferieren wäre, jedoch das 5- und das 3-dimensionale Modell so geringe Unterschiede aufweisen, dass diese ebenfalls Verwendung finden könnten. Das 1- und das 7-dimensionale Modell sind unterlegen. Ähnliches gilt unter Bezug auf andere, hier nicht berichtete, Informationskriterien, z.B. den AIC3. Bezogen auf die Chi-Quadrat-Vergleiche schneiden alle Modelle besser ab als das eindimensionale, was für eine mehrdimensionale Datenstruktur spricht. Insgesamt scheint das 6-dimensionale Modell, in dem die Dimension „Service“ in die entsprechenden Inhaltsbereiche aufgeht, am besten auf die Daten zu passen. Aus praktischen Gründen können aber auch das drei- und das 5-dimensionale Modell Verwendung finden. Dies kann z.B. angebracht sein, wenn die Reliabilität oder die Anzahl der Items einzelner Dimensionen unbefriedigend ist.

Bezogen auf H1 interpretieren wir dieses Ergebnis als partielle Replikation der im Vorfeld generierten Modelle. Bestätigt wird die nach fachsystematischen inhaltlichen Kriterien zu präferierende Ausdifferenzierung. Das gilt auch für die Aufgaben zum Service, die in den im Vorfeld präsentierten Modellen als eigenständige (tätigkeitsbezogene) Subdimension ausgewiesen wurden. Damit scheint, trotz des didaktisch dominierenden, an Tätigkeiten bzw. typischen Handlungen ausgerichteten Lernfeldkonzepts, eine an Inhaltsbereichen orientierte Modellierung des Fachwissens empirisch angemessen.

Die Korrelationen zwischen den Subdimensionen sind für das 6-dimensionale Modell in Tabelle 2 wiedergegeben. In der Diagonalen sind die Standardabweichungen abgetragen.

	Arbeits- u. Umweltsch.	Fahrwerk	Kraftüber- tragung	Motor	Motor- steuerung	Start- Strom- Beleucht.
Arbeits- u. Umweltsch.	.88					
Fahrwerk	.52	.86				
Kraftüber- tragung	.59	.77	.84			
Motor	.68	.87	.86	.76		
Motor- steuerung	.55	.76	.80	.85	.88	
Start- Strom- Beleucht.	.54	.76	.75	.82	.73	.94

Tabelle 2: Korrelationen zwischen den Personenfähigkeiten der Subdimensionen und Standardabweichungen (auf der Diagonale).

Besonders auffällig sind die durchgängig schwächer ausfallenden Korrelationen der Subdimension „Arbeits- und Umweltschutz“ mit den „technischen“ Subdimensionen. Die (latenten) Korrelationen zwischen den technischen Subdimensionen bewegen sich in der Größenordnung von .73 bis .86 und erreichen damit durchgängig hohe Werte. Das gilt auch für das 3-dimensionale Modell, in dem die Subdimensionen „Elektrotechnik“ und „Mechanik“ mit $r = .89$ korrelieren, die Korrelationen dieser beiden technischen Subdimensionen mit dem Arbeits- und Umweltschutz liegen bei .57 und .64. Die Korrelation zwischen der Motorsteuerung und Start/Strom/Beleuchtung fällt mit .73 geringer aus als erwartet.

Die EAP/PV-Reliabilitäten liegen in den technischen Subdimensionen in einem (noch) akzeptablen Bereich (Fahrwerk: .69, Kraftübertragung: .68, Motor: .75, Motorsteuerung: .67, Start-Strom-Beleuchtung: .67), für die Subdimension „Arbeits- und Umweltschutz“ ist sie aufgrund einer relativ geringen Itemzahl mit .50 noch unbefriedigend. Im 3-dimensionalen Modell fallen die Reliabilitäten in der Subdimension „Mechanik“ mit .78 und „Elektrotechnik“ mit .74 besser aus.

Für einen Überblick zu den relativen Schwierigkeiten der durch die Subdimensionen des 6-dimensionalen Modells repräsentierten Anforderungsbereiche in Abbildung 5 wurden die

Skalen so verschoben, dass jeweils die Itemschwierigkeiten der betroffenen Items im Mittel gleich Null sind⁷.

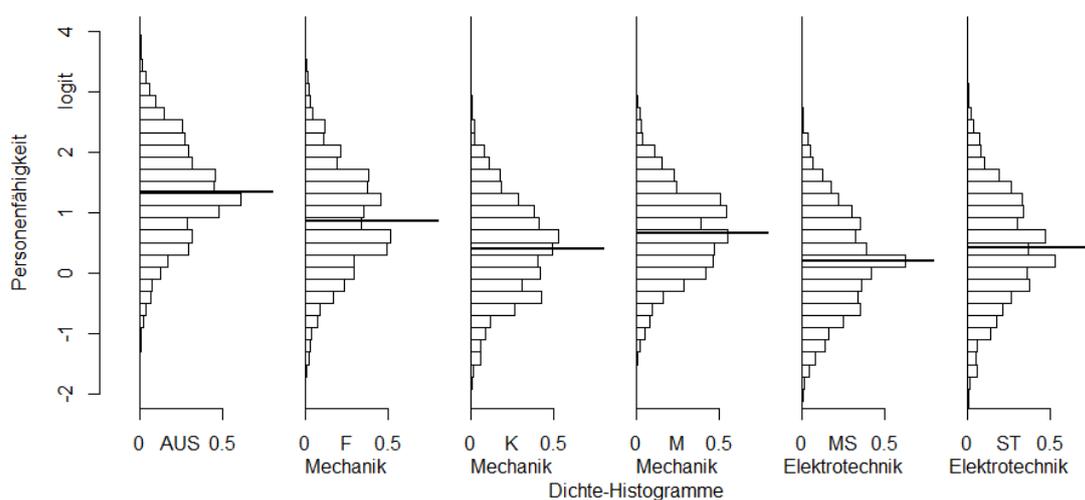


Abbildung 4: Leistungsprofile in den Subdimensionen des sechsdimensionalen Modells (dicke Linien = mittlere Personenfähigkeit; mittlere Itemschwierigkeit jeweils = 0; AUS: Arbeits- und Umweltschutz; F: Fachwerk; K: Kraftübertragung; M: Motor; MS: Motorsteuerung; ST: Start-Strom-Beleuchtung)

Deutlich wird, dass in allen sechs Anforderungsbereichen die Aufgaben im Mittel leichter sind als die Personen im Mittel fähig. Somit passt der Test noch nicht optimal auf die Stichprobe. Betrachtet man die Unterschiede der sechs Dimensionen, so fällt auf, dass die durch die Aufgaben repräsentierten Anforderungen im Arbeits- und Umweltschutz von den Auszubildenden am besten bewältigt werden können. Als besonders herausfordernd erweisen sich die Aufgaben zur Motorsteuerung (in der Elektrotechnik) und die Aufgaben zur Kraftübertragung (im Bereich Mechanik). Die in den Aufgaben zum Fahrwerk und dem Motor (im mechanischen Bereich) und jene zu Start-Strom-Beleuchtung (im elektrotechnischen Bereich) repräsentierten Anforderungen erweisen sich für die Auszubildenden als deutlich einfacher⁸.

⁷ Unter der Prämisse, dass die Items eine für die jeweilige Subdimension repräsentative Auswahl darstellen, kann so die Höhe der Anforderungen der einzelnen Subdimensionen verglichen werden und gleichzeitig auch Anteile der Personen bezogen auf ihre Passung zu diesen Anforderungen über die Subdimensionen verglichen werden.

⁸ Zu berücksichtigen bleibt bei diesen Vergleichen, dass für den Itempool trotz des relativ großen Umfangs nicht abschließend abgeschätzt werden kann, ob er repräsentativ für das denkbare Itemuniversum ist. Strukturähnliche Ergebnisse zeigen sich jedoch auch in den Vorläuferstudien mit anderen Itempools, was den Gedanken nahelegt, dass die Auszubildenden den Ansprüchen in den verschiedenen Dimensionen in unterschiedlichem Grade gerecht werden.

5.2 Schwierigkeitsbestimmende Merkmale und Niveaumodellierung

Vorgenommen wird im Folgenden eine Niveaumodellierung im Rekurs auf das 3-dimensionale Modell, wobei für die Kompetenzdimension „Arbeits- und Umweltschutz“ die Anzahl der nach der Skalierung verfügbaren Items für eine Niveaumodellierung nicht hinreicht. Wir beschränken uns deshalb auf Niveaumodellierungen für die beiden Subdimensionen „Mechanik“ und „Elektrotechnik“. Der Rekurs auf das 3-dimensionale Modell erfolgt vor dem Hintergrund der je Subdimension verfügbaren Items, wird jedoch auch durch die Modellierungsergebnisse gestützt, die das 3-dimensionale Modell in einer praktischen Verwertungsperspektive als zweckmäßig ausweisen. Vorgenommen wird die Niveaumodellierung einerseits im Bestreben, Aussagen zu den erreichten Leistungsniveaus bereitzustellen, andererseits soll der Frage nachgegangen werden, ob sich die in anderen Studien als relevant ausgewiesenen schwierigkeitsbestimmenden Merkmale der Aufgaben auch in diesem Falle replizieren lassen.

5.2.1 Schwierigkeitsbestimmende Merkmale

Anknüpfend an vorliegenden Arbeiten zu den schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen (s.o.) kann unterstellt werden, dass die Wissensart, die Komplexität, das kognitive Anspruchsniveau im Anschluss an Bloom, die Offenheit der Lösungswege, mathematische Anforderungen, Aufgabenformate und die in der Aufgabenstellung enthaltenen Hinweise zur Lösung bzw. in gewerblich-technischen Bereichen die Hinweisqualität des Tabellenbuchs für die Bearbeitung der entsprechenden Aufgabe schwierigkeitsrelevant werden können. Die Operationalisierung dieser Merkmale erfolgte in den vorliegenden Arbeiten z.T. uneinheitlich. Das gilt insbesondere für die Merkmale der Komplexität (vgl. dazu auch Abele 2016) und die kognitiven Anspruchsniveaus. Bezogen auf die Komplexität⁹ nutzen wir einerseits im Anschluss an Kauertz die in den Aufgaben enthaltene Anzahl der zu verarbeitenden Fakten und Zusammenhänge und greifen zusätzlich auf das Maß der Lösungsschritte zurück, die sich beispielsweise in der Grundstufe der beruflichen Fachrichtung „Bau“ (Petsch, Norwig & Nickolaus 2015) als erklärungsrelevant erwiesen. Bezogen auf das kognitive Anspruchsniveau erfolgte zunächst ein Rating im Anschluss an Bloom, dessen Ergebnisse jedoch im weiteren Modellierungsprozess durch die Zusammenfassung von Merkmalsausprägungen „verdichtet“ wurden. Zum Aufgabenformat wurden verschiedene Merkmale herangezogen, wie z.B. die Unterscheidung von Single-Choice-/ Multiple-Choice-/ Zuordnungssitems, das Vorhandensein bzw. die Anzahl der in den Aufgabenstellungen enthaltenen Informationseinheiten (zusätzliche Stromlaufpläne, Diagramme, Zeichnungen). Merkmale wie die mathematischen Anforderungen oder auch die Offenheit des Lösungsweges wiesen keine hinreichende Varianz auf, was im Falle der mathematischen Anforderungen bei den Kfz-Mechatronikern auf die generell unterdurchschnittlichen mathematischen Anforderungen zurückzuführen ist (Nickolaus u.a. 2015).

⁹ Siehe dazu auch Abele 2016, der einerseits eine kritische Reflexion des Komplexitätsbegriffs im Kontext der Merkmalsbestimmung von Aufgaben vornimmt und andererseits einen Vorschlag unterbreitet, der künftig klarere Operationalisierungsoptionen eröffnet.

5.2.2 Niveaumodellierung (3-dimensional)

Angestrebt wurde eine Niveaumodellierung nach Hartig (2007) für die beiden Subdimensionen „Elektrotechnik“ (ET) und „Mechanik“ (M), für die 26 (ET) bzw. 57 (M) Items verfügbar sind. In einer ersten Korrelationsanalyse deutete sich an, dass sowohl im Bereich der Mechanik als auch der Elektrotechnik dem Aufgabenformat (Single-Choice-/Multiple-Choice¹⁰) die größte Erklärungskraft zukommt. Als weitere potentielle Prädiktoren zeichnen sich die Komplexität (im Anschluss an Kauertz; $r = .32/ .38$) und das kognitive Anspruchsniveau ($r = .25$) ab. Des Weiteren ergeben sich signifikante Korrelationen mit der Anzahl der Lösungsschritte ($r = .30/ .42$). Eine Regressionsanalyse erbringt im Falle der Mechanik eine Varianzaufklärung der Aufgabenschwierigkeit von 25%, mit dem Aufgabenformat und der Komplexität als Prädiktoren. Im Falle der Elektrotechnik werden 35% Varianzaufklärung durch das Aufgabenformat und die Wissensart (deklarativ/ prozedural) erreicht, die ihrerseits hoch mit der Komplexität korreliert. Die Vermutung, dass die relativ hohe Varianzaufklärung durch das Aufgabenformat (Single-Choice-/ Multiple-Choice) wesentlich durch die höhere Ratewahrscheinlichkeit bei den Single-Choice Aufgaben verursacht sein könnte, bestätigt sich bei einer genaueren Analyse nicht. Verglichen wurden dazu Modellierungen, in welchen die Ratewahrscheinlichkeit berücksichtigt wurde¹¹ mit dem Rasch-Modell, wobei alle Modelle, in welchen die Ratewahrscheinlichkeit Berücksichtigung fanden, schlechter abschnitten als das Rasch-Modell. Geprüft wurden sowohl die Informationskriterien AIC und AICc als auch der Chi-Quadrat-Modellvergleichstest für genestete Modelle, sofern möglich. Bezogen auf die Hypothesen bleibt zu konstatieren, dass die Replikation der Ergebnisse Gschwendtners (2008) zu den schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt gelingt und mit dem Aufgabenformat in dieser Testform mit durchgängig geschlossenen Antwortmöglichkeiten ein Schwierigkeitsmerkmal bedeutsam wird, das zunächst keinen didaktischen Mehrwert zu besitzen scheint.

In den Abbildung 6 ist das auf dieser Basis ermittelte Niveaumodell für die Mechanik wiedergegeben, für die Elektrotechnik ergibt sich eine unbefriedigende Verteilung der Schwellen, weshalb wir angesichts von Problemen, die sich schon allein aus dem Einbezug des Aufgabenformats für eine didaktisch ertragreiche Interpretation ergeben, auf die Wiedergabe dieses Modells verzichten. In der oberen Hälfte der Abbildung 6 ist ein Dichte-Histogramm über die Personenfähigkeiten auf Basis von Plausible Values sowie die Anteile der Personen in den einzelnen Niveaus, in der unteren Hälfte eine empirische Verteilungsfunktion der Itemschwierigkeiten (in vertikaler Richtung gespiegelt) sowie die Anteile der Items in den einzelnen Niveaus eingetragen. Die fetten Linien markieren jeweils die Niveaugrenzen. Als didaktischen Ertrag kann man festhalten, dass bezogen auf die Subdimension „Mechanik“ die Probanden der **Niveaustufe I** in der Lage sind, Aufgaben zu lösen, in welchen lediglich Fakten oder maximal ein Zusammenhang berücksichtigt werden muss, um eine korrekte Lösung zu

¹⁰ Die Zuordnungssitems wurden den Multiple-Choice-Items zugerechnet.

¹¹ Gerechnet wurden jeweils Modelle mit frei geschätztem und mit auf 1 fixiertem Discrimination-Parameter und mit Rate-Parameter gleich Null, gleich der theoretischen Ratewahrscheinlichkeit, und frei geschätzt für die Gruppe der Single- und die Gruppe der Multiple-Choice-Items; innerhalb der Gruppen wurden die Rate-Parameter gleich gesetzt.

erzielen. Auf der **Niveaustufe II** dieser Subdimension können die Probanden auch solche Aufgaben bearbeiten, in welchen die Verarbeitung mehrerer Zusammenhänge oder die Anwendung übergeordneter Konzepte notwendig ist, auf **Niveaustufe III** sind die Probanden in der Lage, Aufgaben hinreichend sicher zu lösen, bei welchen sowohl die Nutzung übergeordneter Konzepte notwendig ist als auch mehrere Zusammenhänge verarbeitet werden müssen. Die zusätzliche Berücksichtigung des Aufgabenformats für die Beschreibung der Niveaustufen ist zwar ebenso möglich, erbringt jedoch u.E. kaum didaktisch verwertbare Informationen. Ein alternativer Versuch einer Niveaumodellierung im Anschluss an Beaton und Allen (1992), erbringt bei kritischer Inspektion der in den dabei generierten Niveaus vertretenen Aufgaben auch kein befriedigendes Modell. D.h., es lässt sich keine homogene Verteilung der Items nach den einbezogenen Schwierigkeitsmerkmalen beobachten.

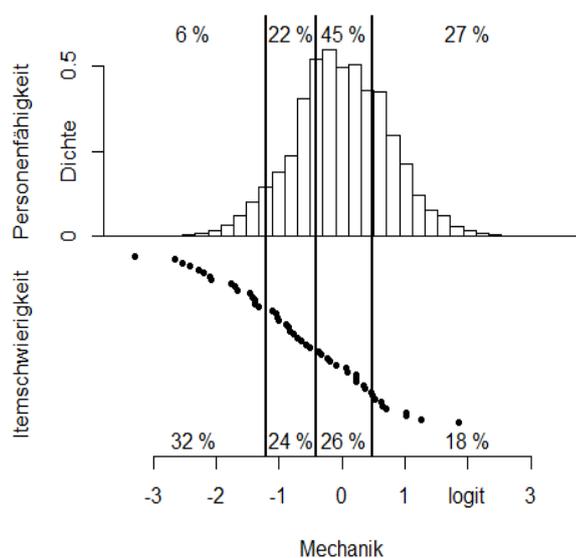


Abbildung 5: Verteilung der Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten über die Niveaus in Mechanik

Vor diesem Hintergrund ziehen wir es vor, im weiteren an einigen Beispielitems deutlich zu machen, dass zumindest innerhalb von abgrenzbaren Inhaltsbereichen plausible Schwierigkeitsverteilungen beobachtbar sind, über die stark heterogenen Inhaltsbereiche der beiden Subdimensionen hinweg gilt dies jedoch nicht bzw. nur partiell. Wir nutzen zur Illustration jeweils Items aus den Terzilen der in den Abbildungen 7 und 8 wiedergegebenen Verteilungen.

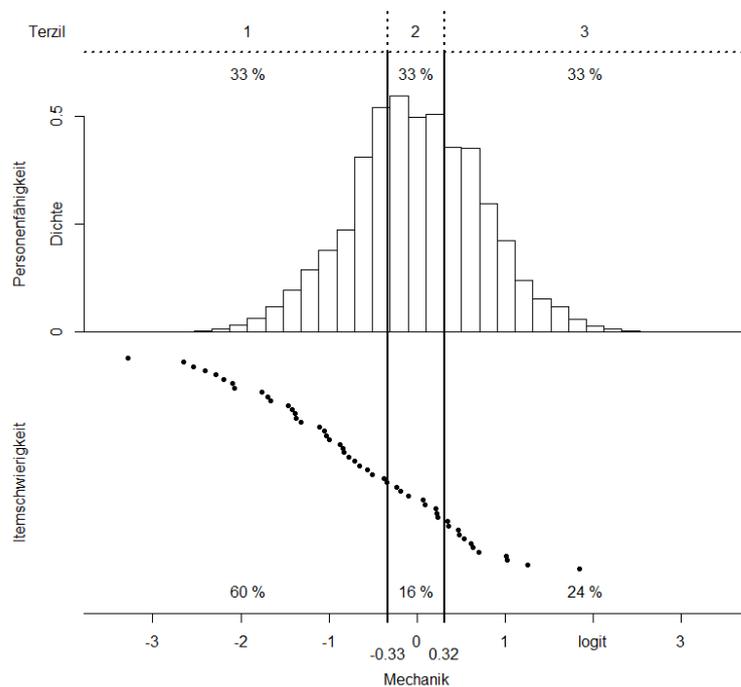


Abbildung 6: Unterdurchschnittlich, durchschnittliche und überdurchschnittlich Leistungen in Mechanik

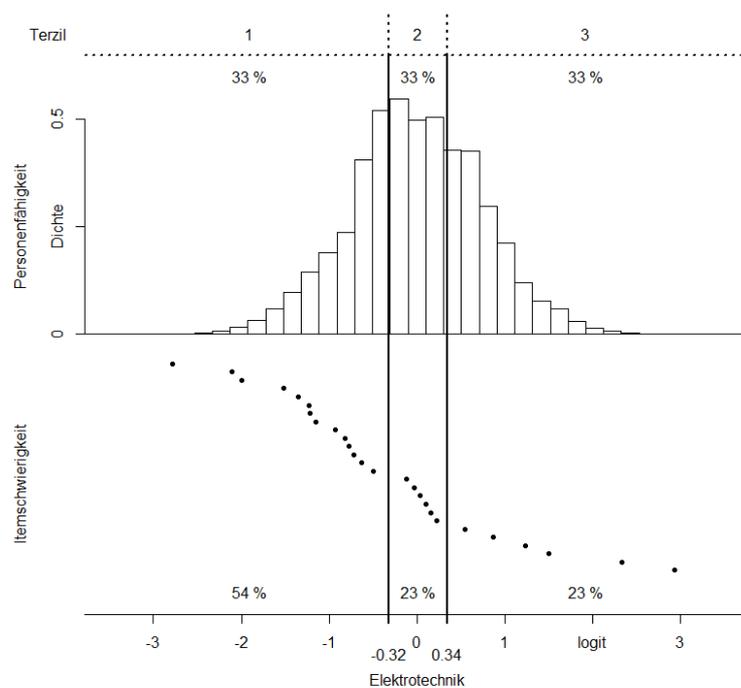
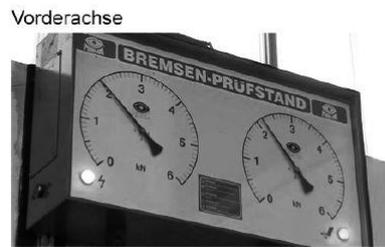


Abbildung 7: Unterdurchschnittlich, durchschnittliche und überdurchschnittlich Leistungen in Elektrotechnik

In den Abbildungen 9 (Mechanik) und 10 und 11 (Elektrotechnik) sind Beispielitems für die Terzile I und III (T1, T2, T3) wiedergegeben. Das in Abbildung 9 wiedergegebene Item s58n-a-BS3 ist der Mechanik zugeordnet und wird auch von den leistungsschwächeren Auszubildenden, die dem untersten Terzil zugeordnet sind, mit einer Lösungsquote von 81% noch sicher gelöst. Insgesamt erreicht die Lösungsquote einen Wert von .90 (T2 91%; T3 93%). Das ebenfalls in Abbildung 9 präsentierte Item f53-bs15, das dem gleichen Inhaltsbereich (Bremsen) angehört, erreicht hingegen lediglich eine Lösungsquote von 34% und wird auch von den Auszubildenden, die dem dritten Terzil zugeordnet sind nicht sicher gelöst (T1 17%, T2 28%, T3 41%). Die Anforderungen, die das zweite Item stellt, sind ohne Zweifel komplexer, es sind deutlich mehr Wissens-elemente angesprochen und die Wirkungszusammenhänge sind vielfältiger.

Aufgabe 58 [s58n-a-BS3]

Der Wagen eines Kunden zeigt auf dem Bremsenprüfstand folgende Meßwerte für die Vorderachse (VA). Beurteilen Sie aus fachmännischer Hinsicht den Zustand der Bremsen!



- Die Abweichung der Bremskraft an der VA ist zu hoch, die Bremse muss überprüft werden.
- Die maximale Bremskraft an der VA ist beidseitig zu niedrig, die Bremse muss überprüft werden.
- Die maximale Bremskraft an der VA ist beidseitig hoch, die Bremse muss überprüft werden.
- Die Abweichung der Bremskraft an der VA ist im gesetzlichen Rahmen, die Bremse ist in Ordnung.

Aufgabe 53 [f53-BS15]

Sie stellen während einer Probefahrt schon bei der ersten starken Abbremsung einen sehr geringen Bremsdruck am Bremspedal und wenig Bremskraft fest. Welche der folgenden Sachverhalte könnte am wahrscheinlichsten die Ursache hierfür sein?

Beachten Sie: 3 Antworten sind richtig!

- Abgefahrene Bremsbeläge
- Ein verkanteter Bremskolben
- Undichte Bremsschläuche
- Defekter ABS-Sensor
- Zu geringer Bremsflüssigkeitsstand
- Eingelaufene Bremsscheibe
- Defekter Hauptbremszylinder

Abbildung 8: Beispiel Items zum mechanischen Wissen aus dem Bereich Bremsen

In der **Subdimension „Elektrotechnik“** ging aus den Regressionsanalysen als didaktisch verwertbares Merkmal lediglich die Wissensart als signifikantes Schwierigkeitsmerkmal hervor, wobei auch hier nicht generell unterstellt werden kann, dass das prozedurale Wissen höhere Ansprüche stellt als das deklarative Wissen. D.h. wir finden sowohl leichte als auch schwierige Aufgaben, die dem deklarativen Wissen zuzuordnen sind. Von den in Abbildung 10 wiedergegebenen Items erreicht die Aufgabe 7 eine Lösungsquote von 75% und wird auch von den Auszubildenden, die dem untersten Terzil zugeordnet sind, noch sicher gelöst (60%). In den Terzilen 2 und 3 werden Lösungsquoten von 77 und 87% erreicht. Das zweite Item ist wesentlich schwerer, erreicht eine Lösungsquote von 31% und wird auch von jenen Jugendlichen, die dem obersten Terzil zugeordnet sind, nur noch von 52% gelöst. In den Terzilen 1 und 2 werden Lösungsquoten von 15 und 28% erreicht. Zur Bearbeitung dieses Items wurde ergänzend ein Stromlaufplan zur Verfügung gestellt, aus dem für die Lösung der Aufgabe relevante Informationen zu entnehmen und zu verarbeiten waren. Auch hier ist die Komplexität der Anforderung deutlich höher als bei Aufgabe 7. Beide Aufgaben erfordern sowohl ein Wissen über fachliche Zusammenhänge als auch messtechnische Kompetenzen. Bei Aufgabe 1 (ms1) sind allerdings eigenständig aus dem Stromlaufplan relevante Informationen zu identifizieren und adäquat zu verarbeiten, während Aufgabe 7 (ms7) im Rückgriff auf elektrotechnisches Grundlagenwissen bearbeitbar ist.

Aufgabe 7 [ms7]

Wie kann der induktive Raddrehzahlsensor eines elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) geprüft werden?

- Durch eine Strommessung bei stehenden Rädern.
- Durch eine Spannungsmessung bei stehenden Rädern.
- Durch eine Spannungsmessung bei drehenden Rädern.
- Durch eine Widerstandsmessung bei drehenden Rädern.

Abbildung 9: Beispielitem aus dem untersten Terzil der elektrotechnischen Aufgaben

Aufgabe 1 [ms1]

Zur Lösung dieser Aufgabe benötigen Sie den *Stromlaufplan Nr.1* aus dem Anhang

Der Fehlerspeicher protokolliert: „Signal Fahrgeschwindigkeitssensor unplausibel“. Welche der unten aufgeführten Prüfschritte sind für die eindeutige Identifikation des Fehlers notwendig?

Wählen Sie aus den vier Vorgehensweisen die eine richtige aus!

Messung zwischen...	Messgröße	Messinstrument
<input checked="" type="checkbox"/> Pin44 (X1) und Kl.31 (Masse)	Rechteckspannung	Oszilloskop
<input type="checkbox"/> Pin2 (B2) und Pin44 (X1)	Widerstand	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin1 (B2) und Kl.31 (Masse)	Spannung	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin43 (X1) und Kl.30 (B+)	Spannung	Multimeter

Messung zwischen...	Messgröße	Messinstrument
<input type="checkbox"/> Pin2 (B2) und Kl.31 (Masse)	Spannung	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin1 (B2) und Pin3 (B2)	Widerstand	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin1 (B2) und Kl.31 (Masse)	Spannung	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin43 (X1) und Kl.30 (B+)	Spannung	Multimeter

Messung zwischen...	Messgröße	Messinstrument
<input type="checkbox"/> Pin43 (X1) und Kl.31 (Masse)	Rechteckspannung	Oszilloskop
<input type="checkbox"/> Pin2 (B2) und Pin44 (X1)	Widerstand	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin3 (B2) und Kl.31 (Masse)	Widerstand	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin43 (X1) und Pin1 (B2)	Spannung	Multimeter

Messung zwischen...	Messgröße	Messinstrument
<input type="checkbox"/> Pin87 (K1) und Kl.31 (Masse)	Spannung	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin2 (B2) und Pin3 (B2)	Widerstand	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin43 (X1) und Kl.30 (B+)	Spannung	Multimeter
<input type="checkbox"/> Pin2 (B2) und Pin44 (X1)	Widerstand	Multimeter

Abbildung 10: Beispiel Items zum elektrotechnischen Wissen

Diese Beispiele verdeutlichen einerseits, dass sich innerhalb von enger abgegrenzten Inhaltsbereichen jeweils plausible Erklärungen für die unterschiedlichen Schwierigkeiten finden lassen, die auch mit den eingangs als schwierigkeitsrelevant beschriebenen Aufgabenmerkmalen korrespondieren. Aber das gilt nicht über alle Inhaltsbereiche hinweg, die relativ heterogen sind. D.h., über diese verschiedenen Inhaltsbereiche hinweg bestehen substantielle Schwierigkeiten, bei authentischen Aufgaben die Schwierigkeitsmerkmale so zu variieren, dass ein in sich konsistentes Aufgabentableau entsteht, das systematisch nach theoretisch erwarteten schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen ausgerichtet ist.

6 Diskussion

Mit der hier vorgestellten Studie sollte das Instrument zur Erfassung des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern erweitert und optimiert werden. Hierbei sollte die strukturelle Ausprägung des Fachwissens geprüft werden und zusätzlich Aussagen dazu gewonnen werden, welche Merkmale die Schwierigkeiten von Aufgaben bestimmen. Des Weiteren sollte illustriert werden, welche Niveaustufen im Bereich des Fachwissens unterschieden werden können. Die Reliabilität der Daten im 6-dimensionalen Fall (inhaltsbezogene Ausdifferenzierung der Daten), konnte im Vergleich zum Vorgängertest partiell erhöht werden. Die z.T. noch unbefriedigenden Reliabilitäten sind im Bereich der technischen Dimensionen des Fachwissens möglicherweise auch dem Erhebungsdesign und der damit verbundenen Anzahl an fehlenden Werten geschuldet.

Die Ergebnisse zur Strukturmodellierung bestätigen im Kern die in anderen technischen Domänen und in Vorgängerstudien dokumentierte Mehrdimensionalität des Fachwissens, die sich entlang von fachsystematisch strukturierten Inhaltsbereichen ergibt. Das in den Vorgängerstudien als eigene Wissensdimension ausgewiesene Servicewissen, das als tätigkeitsbezogene Wissensdimension interpretiert werden kann, kann gemessen an den Vergleichskriterien adäquater modelliert werden, sofern die einschlägigen Aufgaben den fachsystematischen Inhaltsbereichen zugeordnet werden. D.h., das Servicewissen entpuppt sich als Teilwissen des Motormanagements, der Beleuchtungsanlage, des Fahrwerks etc. und nicht als eigenständige Wissensdimension. Im Anschluss an diesen Sachverhalt kann die Frage aufgeworfen werden, ob der Wissensaufbau in fachsystematisch organisierten Lehr-Lern-Arrangements effektiver ist als in nach Tätigkeiten bzw. Arbeitsprozessen organisierten Arrangements. Wenn man unterstellt, dass im Betrieb der Wissenserwerb primär arbeitsprozessbezogen und in der Schule sowohl arbeitsprozessbezogen als auch fachsystematisch erfolgt, kann es durchaus überraschen, dass sich eine fachsystematische Strukturierung in der vorliegenden Studie als empirisch tragfähig erwies. Denkbar wäre, dass die fachsystematische Struktur eine funktionalere Ordnung darstellt als die arbeitsprozessbezogene. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse durch das Testformat begünstigt sind und bei Einsatz eines Instruments, das auf die Erfassung von Arbeitsprozesswissen ausgerichtet ist, andere Ergebnisse erzielt werden. In didaktischer Perspektive wäre es allemal interessant, dieser Fragestellung systematischer nachzugehen, wofür systematische Vergleiche zwischen arbeitsprozessbezogenen und fachsystematischen Operationalisierungen erforderlich wären.

Bemerkenswert sind die hohen latenten Korrelationen zwischen den technischen Subdimensionen, die auch eine dreidimensionale Modellierung vertretbar erscheinen lassen, was im Hinblick auf Prüfungszuschnitte und adaptives Testen die Arbeit wesentlich erleichtert, da weniger Dimensionen abzubilden sind und damit die Aufgabenzahl für eine verlässliche Abschätzung eher in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden kann. Diese Zusammenfassung von Subdimensionen könnte jedoch auch eine Quelle für die unbefriedigenden Ergebnisse der Niveaumodellierungen sein.

In didaktischer Perspektive sind die Ergebnisse zur Niveaumodellierung unbefriedigend. Deutlich werden die Schwierigkeiten, mit einer Aufgabenbatterie, die eng mit der (Prüfungs-) Praxis abgestimmt wurde und im Anschluss an die curricularen Analysen eine möglichst große Breite der Anforderungen spiegelt, ein befriedigendes System an schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen zu generieren, das zu konsistenten, erwartungskonformen bzw. prognostizierbaren Schwierigkeiten der Aufgaben über alle Inhaltsbereiche hinweg führt. Bemerkenswert ist bei diesen geschlossenen Antwortformaten die hohe Varianzaufklärung, die das Aufgabenformat für die Aufgabenschwierigkeit erbringt. Die präsentierten Beispiele illustrieren, dass es sich dabei keineswegs nur um formale Kriterien handelt, sondern mit den Antwortformaten im Falle der Mehrfachantworten zugleich ein Komplexitätsanstieg verbunden ist. In den oben angedeuteten alternativen Modellierungen, die wir auf Basis des Verfahrens nach Beaton und Allen (1992) durchführten und in welchen wir eine Unterteilung in vier Kompetenzniveaus vorgenommen hatten, ergaben sich Verteilungen der Auszubildenden, wonach ca. 50% (Mechanik) bzw. ca. 32% (Elektrotechnik) auf den untersten Kompetenzstufen verortet sind. In diesen unteren Kompetenzstufen ist in der Regel grundlegendes Fakten- und Prozesswissen hinreichend verfügbar, ein tiefergehendes Spezialwissen, das z.B. in Form des Verständnisses komplex verknüpfter Fahrzeugsysteme eingefordert wird (Antrag Neuordnung 2011), wird jedoch nicht hinreichend sicher beherrscht.

Auf den ersten Blick sind die Ergebnisse zur Niveaumodellierung unbefriedigend, denn es gelingt weder für die Mechanik noch die Elektrotechnik ein wirklich befriedigendes Modell zu generieren. Man kann dieses unbefriedigende Ergebnis, das keineswegs allein steht, sondern in ähnlicher Weise auch bei einem Modellierungsversuch des Fachwissens von Fachinformatikern zu konstatieren war¹², einerseits als Defizit der Testentwicklung interpretieren, bei der es offensichtlich nicht gelungen ist, die Aufgabenmerkmale hinreichend systematisch zu variieren. Andererseits hat die enge Kooperation mit den Experten und die Orientierung an den curricularen Analysen zu einem inhaltlich validen Testzuschnitt geführt, der in einer relativ stark ausdifferenzierten Struktur des Fachwissens mündet. Naheliegend scheint, dass die Probleme, eine befriedigende Niveaumodellierung für die Mechanik und Elektrotechnik zu generieren, auch durch die integrative Zusammenführung der im 6-dimensionalen Modell enthaltenen mechanischen und elektrotechnischen Subdimensionen verstärkt werden. Zumindest stellten sich die Probleme bei den Fachinformatikern mit einer ebenfalls stark ausdifferenzierten Fachwissensstruktur ebenso dar und die „gelungenen“ Niveaumodellierungen beziehen sich bisher in der Regel auf wenig ausdifferenzierte Kompetenzstrukturen. Von daher liegt der Gedanke nahe, die Niveaumodellierungen für alle sechs Subdimensionen vorzunehmen, was jedoch angesichts der beschränkten Itemzahlen in den Subdimensionen (noch) nicht angebracht scheint. Prinzipiell wäre auch denkbar, den Test so zu trimmen, dass mit den Items eine systematische Variation ausgewählter Schwierigkeitsmerkmale gelingt, die dann auch in ein vordergründig befriedigendes Niveaumodell mündet. Geltung hätte dieses Niveaumodell jedoch lediglich für den spezifischen Itempool, der mit dem Testzuschnitt abgedeckt ist. D.h., die Ergebnisse wären auf den Itempool des vorliegenden Tests nicht

¹² Über die Ergebnisse dieses Versuchs wurde bisher nicht berichtet, da sich kein erwartungskonformes Ergebnis einstellte.

übertragbar und mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenso wenig auf die fachlichen Anforderungen insgesamt. Damit wäre jedoch der didaktische Wert deutlich eingeschränkt. Vermutlich bleibt vor diesem Hintergrund nur der Weg, bei stark ausdifferenzierten Kompetenzstrukturen auch bereichsspezifische Niveaumodelle zu generieren. Genauer auszuloten, für welche Bereiche einheitliche Schwierigkeitsmerkmale gelten, wäre dann ein nächster Schritt.

Weitere Grenzen der Untersuchung liegen in den noch nicht völlig befriedigenden Reliabilitäten der Subskalen, die allerdings durch Ausweitungen der Itempools relativ leicht bearbeitbar scheinen. Zu nutzen wäre dieser Arbeitsschritt auch, um eine weitere Annäherung an adaptives Testen vorzunehmen, denn innerhalb der Subdimensionen sind dafür die Itemzahl und Reliabilitäten nach wie vor nicht hinreichend. Zudem könnte es sich in künftigen Studien lohnen, neben Maßen der internen Konsistenz (EAP/PV-Reliabilität) auch Reliabilitätsmaße (z.B. Retest- oder Parallel-Test-Reliabilitäten) zu berechnen, die für heterogene Konstrukte besser geeignet sind als Konsistenzmaße. Deutlich wird mit dieser Studie auch, wie aufwändig sich eine befriedigende Testgestaltung darstellen kann und, dass letztlich mehrschrittige Optimierungen erforderlich sein können, um alle gesteckten Ziele zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- Abele, S. (2016). Umgang mit Komplexität: Eine bedeutsame psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens? *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 112(1), 37-59.
- Abele, S. (2014). Modellierung und Entwicklung berufsfachlicher Kompetenz in der gewerblich-technischen Ausbildung. Stuttgart: Steiner.
- Abele, S., Greiff, S., Gschwendtner, T., Wüstenberg, S., Nickolaus, R., Nitzschke, A. & Funke, J. (2012). Dynamische Problemlösekompetenz - Ein bedeutsamer Prädiktor von Problemlöseleistungen in technischen Anforderungskontexten? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft (ZfE)*, 15(2), 363-391.
- Achtenhagen, F. & Winther, E. (2009). Konstruktvalidität von Simulationsaufgaben: Computergestützte Messung berufsfachlicher Kompetenz am Beispiel der Ausbildung von Industriekaufleuten. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Antrag Neuordnung (2011). Verordnung über die Berufsausbildung zum Kfz-Mechatroniker/ zur Kfz-Mechatronikerin, Bonn. 09.12.2011.
- Artelt, C., McElvany, N., Christmann, U., Richter, T., Groeben, N., Köster, J., Schneider, W., Stanat, P., Ostermeier, C., Schiefele, U., Valtin, R. & Ring, K. (2007). Expertise zur Förderung von Lesekompetenz. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Becker, M. (2009). Kompetenzmodell zur Erfassung beruflicher Kompetenz im Berufsfeld Fahrzeugtechnik. In C. Fenzl, G. Spöttl, F. Howe & M. Becker (Hrsg.), *Berufsarbeit von morgen in gewerblich-technischen Domänen*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Beaton, A.E. & Allen, N.L. (1992). Interpreting Scales Through Anchoring. *Journal of Educational Statistics*, 17(2), 191-204.

- Boone, W., Staver, J. & Yale, M. (2014). Rasch Analysis in the Human Sciences. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2000). 191 Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Berufsausbildung in der Kraftfahrzeugtechnik. 30. Juni 2000.
- Burnham, K.B. & Anderson, D.R. (2004): Multimodel Inference. Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods and Research*, 33(2), 261-304.
- Draxler, D. (2005). Aufgabendesign und basismodellorientierter Physikunterricht. Univ. Dissertationsschrift. Duisburg, Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Geißel, B. (2008). Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung: Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In R. Nickolaus, H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik der gewerblichen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (121-141). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Gönnenwein, A., Nitzschke, A. & Schnitzler, A. (2011). Fachkompetenzerfassung in der gewerblichen Ausbildung am Beispiel des Ausbildungsberufs Mechatroniker/-in. *Entwicklung psychometrischer Fachtests. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*, 5(1), 14-18.
- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik der gewerblichen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (103-119). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- 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. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, Beiheft 25, 55-76.
- Gschwendtner, T., Abele, S. & Nickolaus, R. (2009). Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistung von Kfz-Mechatronikern. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 105(4), 556-578.
- Gschwendtner, T., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2010): Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblichen-technischen Grundbildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, Beiheft 56, 258-269.
- Hartig, J. (2007). Skalierung und Definition von Kompetenzniveaus. In B. Beck & E. Klieme (Hrsg.), *Sprachliche Kompetenzen. Konzepte und Messung* (83-99). Weinheim: Beltz.
- Goldin, G.A. & McClintock, C.E. (1979). Task variables in mathematical problem solving. Columbus: Eric.
- Kauertz, A. (2009). Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben. Berlin: Logos.
- Kiefer, T., Robitzsch, A. & Wu, M. (2015). TAM: Test Analysis Modules. R package version 1.14-0. <http://CRAN.R-project.org/package=TAM>.

- Klieme, E. (2000). Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht. Theoretische Grundlagen, Kompetenzstufen und Unterrichtsschwerpunkte. In J. Baumert (Hrsg.), TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe (57-128). Opladen: Leske + Budrich.
- Marzano, R.J. & Kendall, J.S. (2007). *The New Taxonomy of Educational Objectives*. Corwin Press, Thousand Oaks.
- Lehmann, R. & Seeber, S. (Hrsg.) (2007). *Untersuchung von Leistungen, Motivation und Einstellungen der Schülerinnen und Schüler in den Abschlussklassen der Berufsschulen. ULME III*. Hamburg: Behörde für Bildung und Sport.
- Müller, M. & Schelten, A. (2009). Comparative international analysis of occupational tasks and qualification requirements for the labor market an assessment tasks at the end of VET in participating countries: Carmechatronics. In M. Baethge & L. Arends (Hrsg.), *Feasibility Study VET – LSA (33-47)*. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Nickolaus, R., Abele, S., Gschwendtner, T., Nitzschke, A. & Greiff, S. (2012). Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen – Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 108(2), 243-272.
- Nickolaus, R. (2014). Schwierigkeitsbestimmende Merkmale von Aufgaben und deren didaktische Relevanz. In U. Braukmann, B. Dilger & H.-H. Kremer (Hrsg.), *Wirtschaftspädagogische Handlungsfelder. Festschrift für Peter F.E. Sloane zum 60. Geburtstag (285-304)*. Detmold: Eusl-Verlagsgesellschaft.
- 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*. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Nickolaus, R., Straka, G.A., Fehring, G., Gschwendtner, T., Geißel, B. & Rosendahl, J. (2010). Erklärungsmodelle zur Kompetenz- und Motivationsentwicklung bei Bankkaufleuten, Kfz-Mechatronikern und Elektronikern. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, Beiheft 23, 73-87.
- Nickolaus, R., Gschwendtner, T. & Geißel, B. (2008). Entwicklung und Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich technischen Grundbildung. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 104(1), 48-73.
- Nickolaus, R., Behrendt, S. & Abele, S. (2016). Kompetenzstrukturen bei KFZ-Mechatronikern und die Erklärungskraft des fachsystematischen KFZ-Wissens für berufsfachliche Kompetenzen. *Unterrichtswissenschaft*, 44(2), 114-130.
- Nickolaus, R. & Seeber, S. (2013). Berufliche Kompetenzen: Modellierungen und diagnostische Verfahren. In A. Frey, U. Lissmann & B. Schwarz (Hrsg.), *Handbuch Berufspädagogische Diagnostik (166-195)*. Weinheim: Beltz.

- Petsch, C., Norwig, K. & Nickolaus, R. (2015). Berufsfachliche Kompetenzen in der Grundstufe Bautechnik Strukturen, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. In A. Rausch (Hrsg.), *Konzepte und Ergebnisse ausgewählter Forschungsfelder der beruflichen Bildung*. Festschrift für D. Sembill (59-88). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Penfield, R.D. (2013). Item Analysis. In F. Geisinger (Hrsg.), *APA Handbook of Testing and Assessment in Psychology*. Volume 1: Test Theory and Testing and Assessment in Industrial and Organizational Psychology. Washington, DC: American Psychological Association.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Schmidt, T. (2011). Testaufgaben zur Kompetenzerfassung bei Kfz-Mechatronikern – Analysen und Ansatzpunkte für die Optimierung des Fachwissenstest. Stuttgart: Universität Stuttgart (Diplomarbeit).
- Schmidt, T., Nickolaus, R. & Weber, W. (2014). Modellierung und Entwicklung des fachsystematischen und handlungsbezogenen Fachwissens von Kfz-Mechatronikern. *Zeitschrift für Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik (ZBW)*, 110(4), 549-574.
- Schumann, S. & Eberle, F. (2011). Bedeutung und Verwendung schwierigkeitsbestimmender Aufgabenmerkmale für die Erfassung ökonomischer und beruflicher Kompetenzen. In U. Faßhauer, B. Fürstenau & E. Wuttke (Hrsg.), *Grundlagenforschung zum Dualen System und Kompetenzentwicklung in der Lehrerbildung*. Schriftenreihe der Sektion Berufs- und Wirtschaftspädagogik der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (77-89). Opladen, Berlin, Farmington Hills, Mich: Budrich.
- Seeber, S. (2008). Ansätze zur Modellierung beruflicher Fachkompetenz in kaufmännischen Ausbildungsberufen. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 104(1), 74-97.
- Spöttl, G., Becker, M. & Musekamp, F. (2011). Anforderungen an KFZ-Mechatroniker und Implikationen für die Kompetenzerfassung. *Zeitschrift für Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik (ZBW)*, Beiheft 25, 37-53.
- Van Waveren, L. & Nickolaus, R. (2015). Struktur- und Niveaumodell des Fachwissens bei Elektronikern für Automatisierungstechnik. *Journal of Technical Education*, 3(2), 62-91.
- Winther, E. & Achtenhagen, F. (2009). Skalen und Stufen kaufmännischer Kompetenz. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 105(4), 521-556.
- Winther, E. (2010). *Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung*. Bielefeld: Bertelsmann.

Autoren

Stefan Behrendt

Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik

Geschwister-Scholl-Str. 24 D, 70174 Stuttgart

behrendt@bwt.uni-stuttgart.de

Dr. Stephan Abele

Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik

Geschwister-Scholl-Str. 24 D, 70174 Stuttgart

abele@bwt.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. Reinhold Nickolaus

Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik

Geschwister-Scholl-Str. 24 D, 70174 Stuttgart

nickolaus@bwt.uni-stuttgart.de

Zitieren dieses Beitrages:

Behrendt, S., Abele, S. & Nickolaus, R. (2017): Struktur und Niveaus des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern gegen Ende der formalen Ausbildung. Journal of Technical Education (JOTED), Jg. 5 (Heft 1), S. 47-75.