

STEPHAN ABELE

## Umgang mit Komplexität

Eine bedeutsame psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens?

**KURZFASSUNG:** In der Studie wurde untersucht, ob der Umgang mit Komplexität für das domänenspezifische Problemlösen bedeutsam ist. Der Umgang mit Komplexität wurde als interindividuell variierende psychische Ressource konzeptualisiert, die eine (sehr) große inhaltliche Überlappung mit der Arbeitsgedächtniskapazität aufweist. Theoretisch wurde vermutet, dass bei domänenspezifischen Problemen unterschiedlicher Komplexität ein unterschiedliches Ausmaß an Umgang mit Komplexität erforderlich ist und diese Probleme deshalb von unterschiedlich vielen Personen gelöst werden, d. h. unterschiedlich schwierig sind. Empirisch wurde erwartet, dass die Problemkomplexität die Problemschwierigkeit beeinflusst. Untersucht wurde diese Hypothese regressionsanalytisch mit Auszubildenden der Kfz-Mechatronik ( $n = 275$ ) und 13 Kfz-Fehlerdiagnose-Problemen, deren Komplexität a priori kodiert und deren Schwierigkeit Rasch-basiert bestimmt wurde. Der erwartete Effekt war erst nach Ausschluss eines Problems festzustellen. Neben diesem Widerspruch wird im Beitrag auch diskutiert, warum die in Anlehnung an den Forschungsstand vorgenommene und mit vielen domänenspezifischen Kompetenzmodellen assoziierte Konzeptualisierung des Umgangs mit Komplexität für die fachdidaktische Forschung problematisch ist.

**ABSTRACT:** The aim of the study was to investigate the role of coping with complexity in domain-specific problem-solving. According to the state of the art coping with complexity was considered a mental resource, which is limited, varies among individuals and can largely be understood as working memory capacity. Theoretically, it was expected that problems of varying levels of complexity demand different “quantities” of coping with complexity. Thus, they are solved by a varying number of people, which means that their difficulty varies. Empirically, it was assumed that the complexity of problems influences the problems’ difficulty. This hypothesis was examined by means of a sample of car mechatronics ( $n = 275$ ) and 13 problems (troubleshooting scenarios). The complexity of the problems was defined a priori and their difficulties were determined applying the Rasch model. The results showed that there is an influence of the problems’ complexity on their difficulty. However, one problem must be excluded from the statistical analysis. Finally, this unexpected finding is discussed. Furthermore, the discussion addresses the conceptualisation of coping with complexity as working memory capacity, which can be problematic in didactical contexts.

Die aktuelle Flüchtlingskrise und Großprojekte wie der Flughafenbau in Berlin vergegenwärtigen auf zugespitzte Weise, dass wir im Alltag oft schwierige Probleme zu lösen haben. Mit welcher Qualität diese Probleme gelöst werden, hängt entscheidend vom Problemlöseniveau einzelner Individuen (Politiker, Ökonomen, Ingenieure, Facharbeiter, Handwerker etc.) ab. Hier kommt institutionalisierten Bildungsprozessen eine wichtige Aufgabe zu: Sie sollten Lernende dazu befähigen, Probleme des privaten und beruflichen Alltags hochwertig zu lösen. Solche Problemlösungen setzen meist domänenspezifisches Lernen voraus (z. B. FELTOVICH/PRIETULA/ERICSSON 2006, S. 47 ff.), weshalb in Bildungskontexten die Förderung des *domänenspezifischen Problemlösens* zentral ist.

In der domänenspezifischen Lehr-Lernforschung, insbesondere der fachdidaktischen Forschung, wird oft unterstellt, dass Komplexität eine wichtige Ursache dafür ist, warum domänenspezifische Anforderungen schwierig sind (z. B. SCHUMANN/EBERLE 2011; KAUERTZ u. a. 2010). Dementsprechend wird angenommen, dass der *Umgang mit Komplexität* eine wichtige Voraussetzung domänenspezifischer Leistungen ist. Es liegen nur wenige Studien vor, die diese Annahme im Bereich des domänenspezifischen Problemlösens untersuchen. Ein generelles Defizit des Forschungsstands besteht darin, dass der Umgang mit Komplexität kaum systematisch theoretisch konzeptualisiert wird. Meist wird er als bedeutsam erachtet, was genau darunter zu verstehen ist und welche psychischen Ressourcen in Lehr-Lernprozessen zu fördern sind, damit der Umgang mit Komplexität gelingt, bleibt weitgehend unklar. Im Hinblick auf die Förderung des domänenspezifischen Problemlösens ist dies ein schwer wiegendes Defizit.

Dieses Defizit wird in der vorliegenden Studie bearbeitet: Im theoretischen Teil wird geklärt, was unter dem Umgang mit Komplexität im Kontext des domänenspezifischen Problemlösens verstanden wird und wie er theoretisch konzeptualisiert werden kann. Im empirischen Teil wird untersucht, ob der auf spezifische Weise konzeptualisierte Umgang mit Komplexität für das domänenspezifische Problemlösen bedeutsam ist.

## 1 Domänenspezifisches Problemlösen und der Umgang mit Komplexität

Ein domänenspezifisches Problem liegt vor, wenn ein Individuum in einer spezifischen Umwelt ein Ziel verfolgt und (noch) nicht weiß, wie es dieses Ziel erreichen kann (MAYER/WITTRÖCK 2006, S. 288). Domänenspezifisches Problemlösen lässt sich als zielorientierte, auf die Umwelt bezogene Aktivität eines Individuums verstehen. Hierbei interagiert das Individuum unter Investition seiner psychischen Ressourcen idealerweise solange mit der Umwelt, bis der erwünschte Zielzustand erreicht, d. h. das Problem gelöst ist. Im Unterschied zu domänenübergreifendem (oft auch: allgemeinem) Problemlösen erfordert domänenspezifisches Problemlösen kontextspezifische Lernerfahrungen und daraus resultierendes Vorwissen (GREIFF/

KRETZSCHMAR/LEUTNER 2014, S. 162), dessen Wirksamkeit auf einen bestimmten Umweltausschnitt, d. h. eine Domäne<sup>1</sup> beschränkt ist.

Die psychischen Ressourcen, die dem domänenspezifischen Problemlösen zugrunde liegen, können mit dem Begriff „domänenspezifische Problemlösekompetenz“ zusammengefasst werden. Mit ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA/SEIDEL (2011) können Kompetenzen als komplexe Personmerkmale aufgefasst werden, die sich ausdifferenzieren lassen. Hier wird unterstellt, dass der *Umgang mit Komplexität* eine wichtige Facette der domänenspezifischen Problemlösekompetenz ist. Zudem wird angenommen, dass diese psychische Ressource interindividuell variiert und einen entscheidenden Einfluss darauf hat, ob domänenspezifische Probleme unterschiedlicher Komplexität gelöst werden können, wobei Folgendes zu betonen ist: Der Umgang mit Komplexität ist nur eine von mehreren Facetten der domänenspezifischen Problemlösekompetenz oder anders ausgedrückt: nur eine von mehreren psychischen Ressourcen, die den Problemlöseerfolg beeinflussen.

## 2 Bedeutung des Umgangs mit Komplexität

### 2.1 Untersuchungsansatz

Ob ein Individuum über domänenspezifische Problemlösekompetenzen verfügt, wird üblicherweise daran festgemacht, ob es domänenspezifische Probleme lösen kann. Als psychisches Merkmal ist die domänenspezifische Problemlösekompetenz nicht direkt beobachtbar, sie kann nur aus den beim domänenspezifischen Problemlösen gezeigten Leistungen erschlossen werden (s. dazu auch BECK 1987, S. 165 ff.). Die gezeigten Leistungen resultieren aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher psychischer Ressourcen und hier wird angenommen, dass der Umgang mit Komplexität dabei eine wichtige Ressource ist. In einer Validitätsperspektive bedeutet dies, dass die Problemlöseleistungen zu einem gewissen Teil auch als Ausdruck der individuellen Ausprägung des (als psychische Ressource konzeptualisierten) Umgangs mit Komplexität interpretiert werden können, sofern die Leistungen auf Problemen unterschiedlicher Komplexität beruhen. Falls diese Validitätsannahme trägt, bedeutet dies, dass der Umgang mit Komplexität eine bedeutsame psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens ist.

Empirisch werden solche Validitätsannahmen typischerweise korrelationsanalytisch untersucht: Die domänenspezifische Problemlösekompetenz sowie der Umgang mit Komplexität werden separat erfasst, anschließend wird die Korrelation zwischen

1 Der Domänenbegriff ist vieldeutig. Hier wird damit in Anlehnung an ACHTENHAGEN (2000) ein Realitätsbereich bezeichnet, dessen Grenzen entlang fachlicher (z. B. mathematischer) oder beruflicher (z. B. Kfz-mechatronischer) Anforderungen (wohl oft nicht eindeutig) verlaufen. Ob diese fachliche „Grenzziehung“ gerechtfertigt ist oder ob der Domänenbegriff letztlich „nur“ eingeschränkte Geltungsansprüche von Lehr-Lern-Theorien zum Ausdruck bringt, wie etwa BECK (2005) vermutet (S. 551), kann hier nicht vertieft werden.

beiden Konstrukten berechnet und anhand der Korrelationshöhe beurteilt, ob es empirisch gerechtfertigt ist, den Umgang mit Komplexität als Facette der domänenspezifischen Problemlösekompetenz zu betrachten (HARTIG/FREY/JUDE 2008, S. 145 ff.). Dieser Validierungsansatz wird von BORSBOOM/MELLENBERGH/VAN HEERDEN (2004) aus verschiedenen Gründen scharf kritisiert. Ihr Hauptargument besteht darin, dass die ermittelte Korrelation nichts darüber aussagen muss, ob zwischen beiden Konstrukten ein Kausalverhältnis besteht (s. dazu auch RENKL 2012). Aber genau darin, so die Autoren, bestehe der Kern einer Validitätsannahme. Stattdessen schlagen die Autoren einen Validierungsansatz vor, bei dem geprüft wird, ob aus einer von außen induzierten Variation des interessierenden psychischen Merkmals theoriekonforme Wirkungen resultieren, was eine präzise Modellierung des psychischen Merkmals und seiner Funktion impliziert.

Der hier verwendete Validierungsansatz von EMBRETSON (1998) steht im Einklang mit dem Ansatz von BORSBOOM/MELLENBERGH/VAN HEERDEN (2004). Im Zentrum dieses Ansatzes steht eine Theorie, die, etwas vereinfacht ausgedrückt, Aussagen dazu enthält, welche psychische Ressource (Prozess, Strategie etc.) mit welchen Items erfasst werden soll, welche Itemmerkmale die Ressource „aktivieren“ und inwieweit eine systematische Variation der Itemmerkmale (und damit Manipulation der psychischen Ressource) die Itemschwierigkeit beeinflusst. Die Itemschwierigkeit wird üblicherweise mit Stichprobendaten unter Anwendung des Rasch-Modells geschätzt (z. B. DANIEL/EMBRETSON 2010; HARTIG/FREY 2012). Falls der Einfluss des Itemmerkmals auf die Itemschwierigkeit empirisch feststellbar ist, kann dies als (starkes) Argument dafür gelten, Testwerte im Sinne der zu erfassenden Ressource zu interpretieren (s. dazu auch HARTIG/FREY/JUDE 2008, S. 154). Auf den vorliegenden Kontext übertragen bedeutet dies: Hier wird unterstellt, dass der Umgang mit Komplexität eine interindividuell variierende psychische „Größe“ darstellt und eine spezifische Ausprägung dieser „Größe“ das Lösen von Problemen spezifischer Komplexität erlaubt. Bei Annahme einer Normalverteilung dieser „Größe“ in einer Population werden, eine Rasch-Modellierbarkeit unterstellt, domänenspezifische Probleme mit zunehmender Komplexität von weniger Personen gelöst und damit schwieriger (s. dazu auch KAURTZ 2008, S. 47 ff.). Falls diese Annahme gilt, d. h. ein Effekt der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit zu beobachten ist, kann der Umgang mit Komplexität als wichtige psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens betrachtet werden.

## 2.2 Präzisierung des Komplexitätsbegriffs

Darüber, was unter einem komplexen Problem zu verstehen und wie Komplexität zu operationalisieren ist, liegen sehr unterschiedliche Vorstellungen vor (z. B. CAMPBELL 1988; MINNAMEIER 2005, S. 57 ff.; QUESADA/KINTSCH/GOMEZ 2005). Im Bereich der domänenübergreifenden Problemlöseforschung fungiert Komplexität einmal als Oberbegriff für einen bestimmten (besonders anspruchsvollen) Problemtyp und ein-

mal als Eigenschaft eines spezifischen Problems (FUNKE 2006, S. 379). Hier ist mit Komplexität eine spezifische Eigenschaft domänenspezifischer Probleme gemeint.

In der Literatur wird Komplexität häufig eher im Sinne von Problemschwierigkeit definiert (ebd.; KLIEME u. a. 2001, S. 187 f.). Komplexe Probleme sind dann meist schwierige Probleme und solche, die sich auf schwierige (anspruchsvolle) kognitive Prozesse beziehen (z. B. WINTHER 2010, S. 235). Diese Definition ist im vorliegenden Kontext wenig hilfreich: Um die empirische Bedeutung des Umgangs mit Komplexität zu bestimmen, wird der Zusammenhang zwischen der Problemkomplexität und der Problemschwierigkeit untersucht. Bei einer synonymen Verwendung von Problemschwierigkeit und Problemkomplexität stehen beide Begriffe für denselben Wirklichkeitsbereich, weshalb eine Zusammenhangsanalyse keinen Sinn hat.

In der wohl gängigsten, wenngleich nicht unumstrittenen (z. B. MINNAMEIER 2005, S. 57 ff.) Definition stellt Komplexität ein *Maß für die Anzahl an auf spezifische Weise vernetzten Elementen* dar (z. B. DÖRNER 2008, S. 284 ff.; FUNKE 2003, S. 128; KAUERTZ 2008, S. 38). Im Bereich des Problemlösens wird diese Komplexitätsdefinition oft auf die folgenden beiden Bereiche angewandt: den psychischen Problemlöseprozess und die objektive Problemanforderung. Damit sind zu unterscheidende Wirklichkeitsbereiche angesprochen. Der psychische Problemlöseprozess bezieht sich auf jene psychischen Aktivitäten, die zwischen der Zielsetzung und (idealiter) der Problemlösung liegen. Der mentale, also nicht direkt beobachtbare Problemlöseprozess kann aus unterschiedlich vielen Elementen (z. B. Teilschritten oder kognitiven Vorgängen: schlussfolgern, analysieren etc.) bestehen. Die objektive Problemanforderung bezieht sich dagegen auf die inhaltliche Struktur der Problemumwelt und die daraus resultierende Anzahl an Elementen, die zur Problemlösung zu verarbeiten sind (z. B. in der Problemstellung enthaltene oder bei der Problemlösung zu berücksichtigende Informationseinheiten). Einmal wird Komplexität also als Eigenschaft des Problemlöseprozesses aufgefasst und einmal als Eigenschaft der objektiven Problemanforderung. Vor diesem Hintergrund kann sich der Umgang mit Komplexität einmal darauf beziehen, wie gut ein Individuum mehr oder weniger komplexe Problemlöseprozesse beherrscht und einmal darauf, wie erfolgreich es unterschiedlich komplexe Problemanforderungen bearbeitet. Im Weiteren werden zu beiden Auffassungen empirische Befunde referiert. Studien, die eine von der vorliegenden Publikation abweichende Komplexitätsdefinition vornehmen (z. B. WINTHER 2010; BERNHOLT/PARCHMANN/COMMONS 2009; MUSEKAMP/SCHLÖMER/MEHRAFAZA 2015), werden aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt.

### 2.3 Umgang mit Komplexität als Beherrschung komplexer Problemlöseprozesse

Einige Studien konzeptualisieren den Umgang mit Komplexität als Beherrschung komplexer Problemlöseprozesse. Bei diesem Ansatz wird der Komplexitätsgrad typischerweise mit der Anzahl an Problemlöseschritten (z. B. PETSCH/NORWIG/NICKOLAUS 2015) oder der Anzahl an Teilzielen (z. B. DANIEL/EMBRETSON 2010)

bestimmt. Die Schwierigkeit hierbei besteht darin, dass der psychische Problemlöseprozess nicht beobachtbar ist. Deshalb sollte, wie EMBRETSON/DANIEL (2008) überzeugend darstellen, die Prozesskomplexität auf Basis eines theoretischen Modells zum Problemlöseprozess operationalisiert werden. Bei genauer Betrachtung reicht ein solches Modell allerdings nicht aus. Zusätzlich zu einem Prozessmodell wird eine Theorie dazu benötigt, welche Problemanforderungen welche Prozesskomplexitäten induzieren: Aus den objektiven Anforderungen eines Problems kann nicht ohne weiteres auf die Komplexität des Problemlöseprozesses geschlossen werden. Die Problemanforderung und der Problemlöseprozess stellen unterscheidbare Wirklichkeitsbereiche dar, zwischen denen kein deterministisches Verhältnis besteht. Wie Befunde der Expertiseforschung zeigen, ist bei identischen Anforderungen abhängig von domänenspezifischen Lernerfahrungen mit unterschiedlichen Problemlöseprozessen zu rechnen (CHI/GLASER 1982). So wenden Personen mit viel Lernerfahrung häufig Rückwärts- und solche mit wenig Lernerfahrung häufig Vorwärtsstrategien an (KREMS 1994, S. 52), wobei Rückwärtsstrategien meist (deutlich) weniger komplexe Problemlöseprozesse implizieren als Vorwärtsstrategien. Auch KAUERTZ (2008) belegt anhand empirischer Befunde, dass bei einer erfolgreichen Problembearbeitung mit unterschiedlichen Lösungswegen, d. h. unterschiedlich komplexen Problemlöseprozessen zu rechnen ist (S. 24 ff.). Um also fundiert zu untersuchen, ob die Komplexität von Problemlöseprozessen einen Einfluss auf die Problemschwierigkeit hat, wird eine sehr anspruchsvolle Theorie benötigt. Eine solche Theorie sollte Aussagen dazu enthalten, welche Problemanforderungen unter welchen Bedingungen welche Prozesskomplexitäten induzieren. Davon sind wir in vielen Bereichen des domänenspezifischen Problemlösens weit entfernt. Auch die durchaus beachtlichen Studien, die einen Einfluss der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeiten nachweisen (PETSCH/NORWIG/NICKOLAUS 2015; DANIEL/EMBRETSON 2010; EMBRETSON/DANIEL 2008), ändern nichts an dieser Einschätzung: Sie gründen ihre Operationalisierung im erwähnten Sinn nicht auf ein systematisch ausgearbeitetes Theoriemodell und geben künftigen Studien allenfalls eine grobe Orientierung. Eine Konzeptualisierung des Umgangs mit Prozesskomplexität als Beherrschung komplexer Problemlöseprozesse scheidet angesichts des gegenwärtigen Forschungsstands also aus, sofern eine theoretisch gut fundierte Untersuchung angestrebt wird.

#### 2.4 Umgang mit Komplexität als Beherrschung komplexer Problemanforderungen

Ein anderer Ansatz besteht darin, den Umgang mit Komplexität als *Beherrschung einer komplexen Problemanforderung* zu konzeptualisieren. Hier bezieht sich die Komplexität auf die *objektiven* Anforderungen eines Problems. Es wird unterstellt, dass die Anforderungskomplexität unabhängig vom Bearbeitungsprozess und anhand inhaltlicher Überlegungen bestimmt werden kann (KAUERTZ 2008, S. 29). Hierzu wird typischerweise von der Musterlösung her überlegt, wie viele Informationseinheiten bei einer erfolgreichen Bearbeitung zwingend berücksichtigt bzw. verarbeitet werden müssen

und in welcher Relation diese Einheiten stehen (z. B. NEUMANN u. a. 2007, S. 106). Sehr dominant ist diese Art der Komplexitätsbestimmung im Bereich der naturwissenschaftlichen Didaktikforschung, in der allerdings nicht die Komplexität von Problemanforderungen, sondern von Aufgaben zur Kompetenzmessung untersucht wird.

In sehr unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Fächern zeigte sich, dass die Anforderungskomplexität die Aufgabenschwierigkeit substantiell beeinflusst (Physik: KAURTZ 2008; SCHOPPEMEIER 2013; Chemie: WALPUSKI/ROPHL 2011; Biologie: WELLNITZ u. a. 2012), wobei nicht selten Varianzaufklärungen von mehr als 25 % beobachtet wurden. Teilweise konnte dieser Einfluss allerdings nicht repliziert werden (VIERING/FISCHER/NEUMANN 2010). Replikationsschwierigkeit traten auch insofern auf, als sich die Aufgabenschwierigkeiten nicht erwartungskonform auf die verschiedenen Komplexitätsstufen verteilten (LEUTNER u. a. 2008, S. 177; SCHOPPEMEIER 2013, S. 67), weshalb die Anzahl an Komplexitätsstufen, d. h. der Differenzierungsgrad des Komplexitätsmaßes mehrfach modifiziert wurde.

PETSCH/NORWIG/NICKOLAUS (2015) greifen den erwähnten Ansatz auf und wenden ihn auf das domänenspezifische Problemlösen von Auszubildenden im Baubereich (Zimmerer, Maurer und Stuckateure) an. Sie stellten fest, dass die Anforderungskomplexität auch bei regressionsanalytischer Kontrolle weiterer Problemmerkmale einen erheblichen Einfluss auf die Problemschwierigkeit hat ( $\beta = .48$ ). Von zentraler Bedeutung ist hier die Studie von NICKOLAUS u. a. (2012) zum domänenspezifischen Problemlösen bei Auszubildenden der Kfz-Mechatronik, weil sie den Ausgangspunkt dieser Untersuchung darstellt. Dort korrelierten die Komplexität der Problemanforderung und die Problemschwierigkeit manifest mit  $r = .90$ . Beide Studien zum domänenspezifischen Problemlösen basieren auf post-hoc Analysen, d. h. die Komplexität wurde nicht im Vorfeld der empirischen Untersuchung bestimmt. Zudem enthalten sie keine theoretische Modellierung der psychischen Ursachen des Einflusses von Komplexität auf Schwierigkeit.

## 2.5 Konzeptualisierung des Umgangs mit Komplexität als Arbeitsgedächtniskapazität

Die zitierten Befunde legen nahe, den Umgang mit Komplexität als bedeutsame psychische Ressource des domänenspezifischen Problemlösens bzw. zur Bewältigung komplexer Problemanforderungen aufzufassen, wobei in den meisten Studien nicht thematisiert wird, welche psychische Ressource damit gemeint ist. Angesichts der gewählten Operationalisierung der Komplexität (Anzahl an zu verarbeitenden Informationseinheiten) drängt es sich allerdings auf, dass der Arbeitsgedächtniskapazität (zumindest implizit) eine wichtige Bedeutung beigemessen wird. Diese Feststellung lässt sich mit der *cognitive load theory* fundieren (s. dazu auch KAURTZ 2008, S. 45), die zwar zur Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen entwickelt wurde (PASS/RENKL/SWELLER 2003), sich aber auch auf das domänenspezifische Problemlösen anwenden lässt (s. dazu auch BLEY/WIETHE-KÖRPRICH/WEBER 2015).

Im Licht der bisherigen Ausführungen und der *cognitive load theory* erscheint der Umgang mit Komplexität als psychische Ressource, die der Informationsverarbeitung dient und eine sehr große inhaltliche Überlappung mit der Arbeitsgedächtniskapazität aufweist (SWELLER 2011). Je mehr Informationen bei der Problemlösung simultan verarbeitet werden müssen, desto größer ist die Belastung des Arbeitsgedächtnisses, d. h. die *intrinsic load* der Problemanforderung. Die *intrinsic load* entspricht dem Teil der kognitiven Gesamtbelastung beim Problemlösen (*cognitive load*), der durch die Problemanforderung verursacht wird, und lässt sich anhand der Anforderungskomplexität bestimmen, also der Anzahl an Informationseinheiten, die zur Bewältigung der Problemanforderung simultan zu verarbeiten sind (ebd., S. 58). Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist prinzipiell begrenzt, variiert interindividuell (z. B. STERN/GRABNER/SCHUMACHER 2007, S. 75 ff.) und dürfte bei der gewählten Operationalisierung die (Haupt)Ursache für den Einfluss der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit sein.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Umgang mit Komplexität hier in Anlehnung an bisherige Studien als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisiert wird und die empirischen Befunde insgesamt dafür sprechen, dass ein so konzeptualisierter Umgang mit Komplexität für das domänenspezifische Problemlösen bedeutsam ist, wobei der Forschungsstand folgende Defizite aufweist: Erstens erwies es sich bislang teilweise als schwierig, Befunde zum Einfluss der Komplexität auf die Schwierigkeit zu replizieren. Zweitens untersuchen die wenigen verfügbaren Studien den Einfluss post-hoc, was auch LEUTNER u. a. (2008, S. 179) monieren. Drittens liegen zum domänenspezifischen Problemlösen keine Studien vor, die den Effekt von Anforderungskomplexität auf Schwierigkeit theoriebasiert, d. h. mit einer klaren Vorstellung zu den psychischen Ursachen dieses Effekts untersuchen.

### 3 Forschungsfrage und Hypothese

Vor diesem Hintergrund wurde im vorliegenden Beitrag untersucht, ob der Umgang mit Komplexität eine bedeutsame psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens ist. Theoretisch wurde unterstellt, dass der als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisierte Umgang mit Komplexität für das domänenspezifische Problemlösen bedeutsam ist, und zwar deshalb, weil er eine prinzipiell begrenzte und auch interindividuell variierende psychische Ressource darstellt, die bestimmt, wie erfolgreich unterschiedlich komplexe Problemanforderungen gelöst werden können bzw. wie schwierig domänenspezifische Probleme sind. Empirisch wurde im Anschluss an die von NICKOLAUS u. a. (2012) ermittelte Korrelation von  $r = .90$  ein sehr großer Effekt der Komplexität auf die Problemschwierigkeit erwartet ( $H_1$ ). Geprüft wurde ferner, ob sich der Befund von ebd. (2012) replizieren lässt, d. h. ob sich die hier ermittelte Korrelation signifikant von  $r = .90$  unterschied ( $H_2$ ). Beide Hypothesen wurden im Bereich des Problemlösens in der Kfz-Domäne untersucht.



## 4 Methode<sup>2</sup>

### 4.1 Stichprobe

Bei der Hypothesenprüfung wurde auf eine Stichprobe von 274 überwiegend männlichen (98,1 %) Auszubildenden der Kfz-Mechatronik des dritten Ausbildungsjahrs zurückgegriffen, die im Durchschnitt 19,8 Jahre ( $SD = 2,4$ ) alt waren und meist einen Hauptschul- (50,5 %) bzw. Realschulabschluss (44,8 %) und in seltenen Fällen eine Hochschulzugangsberechtigung (4,7 %) besaßen. 80,3 % der Stichprobe hatten die deutsche, 8,9 % die türkische und 4,2 % die italienische Staatsbürgerschaft. Die Daten wurden in 15 Klassen und an 13 Berufsschulen, 11 davon lagen in Baden-Württemberg, erhoben. Alle Auszubildenden absolvierten den berufspraktischen Teil ihrer dualen Ausbildung in Handwerksbetrieben.

### 4.2 Diagnostische Maße

#### 4.2.1 Umgang mit Komplexität als Teil der domänenspezifischen Problemlösekompetenz

Im Einklang mit den bisherigen Ausführungen wurde in der Untersuchung die domänenspezifische Problemlösekompetenz erfasst und unterstellt, dass damit implizit zu einem beachtlichen Teil auch der Umgang mit Komplexität diagnostiziert wurde. Zur Erfassung der Problemlösekompetenz wurden den Probanden Probleme im Bereich der elektrotechnischen Kfz-Fehlerdiagnose vorgelegt. Die Kfz-Fehlerdiagnose stellt einen wichtigen Tätigkeitsbereich von Kfz-Mechatronikern dar (RAUNER u. a. 2002). Bei den vorgelegten Problemen bestand das Ziel darin, die Ursache für einen technischen Kfz-Defekt zu finden. Um die Defektursache zu identifizieren, mussten ausgehend von einer Problembeschreibung (z. B. das Fahrzeug lässt sich nicht starten) typischerweise defektrelevante Fahrzeugkomponenten lokalisiert (z. B. ein spezifisches Kabel) und im Rückgriff auf Stromlaufpläne mehrere elektrotechnische Messungen an spezifischen Messstellen zur Funktionsprüfung (z. B. eine Durchgangsprüfung des Kabels per Widerstandsmessung) systematisch vorgenommen werden.

Dargeboten wurden die Probleme in einer Kfz-Computersimulation, in der Ausschnitte der realen Berufsumwelt von Kfz-Mechatronikern authentisch abgebildet sind und mit der berufsaltagsgetreu interagiert werden kann (ausführlichere Informationen zur Simulation finden sich bei GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009). Die Auszubildenden wurden aufgefordert, ihre Diagnoseschritte handschriftlich zu notieren und die Defektursache eindeutig zu benennen.

2 Die folgenden Analysen wurden durch die Forschungsinitiative ASCOT ([www.ascot-vet.net](http://www.ascot-vet.net)) des BMBF ermöglicht.

In einer Validierungsstudie zeigte sich, dass die Kompetenzmessung mit der Computersimulation zu (nahezu) identischen Ergebnissen führt wie eine Kompetenzmessung in der Realität, d. h. in einer Kfz-Werkstatt und an einem Fahrzeug. Die Kompetenzmessung mit der Computersimulation erwies sich also als ökologisch valide und zudem als ausreichend reliabel (SEM-Reliabilität als Maß der internen Konsistenz: .75; ABELE/WALKER/NICKOLAUS 2014).

Insgesamt bearbeiteten die Probanden 13 berufsauthentische Probleme, wovon 6 sehr zeitintensiv und 7 weniger zeitintensiv waren. In der Studie von ebd. (2014) stellten sich beide Problemtypen als konvergent valide und eindimensional skalierbar heraus: Die 13 Problemlösemaße können als Indikatoren *eines* latenten Merkmals, d. h. der Problemlösekompetenz (und damit zum Teil auch des Umgangs mit Komplexität) verstanden werden, weshalb im Weiteren nicht mehr zwischen ihnen unterschieden wird.

Das Scoring der acht dichotom und der fünf dreistufig kodierten Probleme erfolgte auf Basis der handschriftlichen Dokumentationen der Probanden und eines Kodierleitfadens, der von drei Experten der Kfz-Fehlerdiagnose ausgearbeitet wurde (zwei Ausbildungs-/Werkstattmeister, ein wissenschaftlicher Mitarbeiter). Den höchsten Score erhielten Probanden, die die Defektursache eindeutig nannten; Teilscores wurden vergeben, wenn bestimmte diagnoserelevante und eindeutig identifizierbare Teilergebnisse dokumentiert wurden. Das Scoring wurde von zwei unabhängigen Kodieren vorgenommen. In sehr seltenen Fällen abweichender Kodierungen wurde unter Anwendung fachlicher Kriterien gemeinsam entschieden, wie zu kodieren ist.

#### 4.2.2 Komplexität der Problemanforderung

Bei Wahrung der ökologischen Validität ist es unmöglich, Kfz-Fehlerdiagnose-Probleme beliebiger Komplexität zu konstruieren. Vielmehr müssen berufsauthentische Probleme ausgewählt und anschließend deren Komplexität bestimmt werden. Die Anforderungskomplexität der 13 hier ausgewählten Probleme wurde im Anschluss an NICKOLAUS u. a. (2012) a priori bestimmt. Für das Komplexitätsrating wurde für jedes Problem die Anzahl an Informationseinheiten ermittelt, die zur eindeutigen Identifikation der Defektursache, d. h. der Problemlösung zwingend zu berücksichtigen und zu verarbeiten sind. Als zwingend nötig wurden bspw. Informationen zur Einbaulage einer Komponente bzw. zu spezifischen Messstellen oder diagnoserelevante Messergebnisse erachtet. Die Komplexität eines Problems nahm also z. B. mit zunehmender Anzahl relevanter Messergebnisse zu. Hier wurde die Kodierung nur von einer Person vorgenommen. Die im Ergebnisteil berichtete Effekthöhe der Komplexität legt nahe, dass eine (zumindest akzeptable) objektive, reliable und valide Kodierung gelang (ROST 2004, S. 389 ff.).

### 4.3 Untersuchungsdesign und Durchführung

Die Komplexität der Problemanforderung wurde, wie bereits erwähnt, im Vorfeld der Datenerhebung ermittelt, die domänenspezifische Problemlösekompetenz in Computerräumen an Berufsschulen. Bei der Erfassung der Problemlösekompetenz bzw. des Umgangs mit Komplexität wurden die sechs zeitintensiven Probleme aus Zeitgründen im *youden square design* (FREY/HARTIG/RUPP 2009) dargeboten, wobei jeder Proband fünf Probleme bearbeitete. Die sieben weniger zeitintensiven Probleme wurden von allen Probanden bearbeitet und mit einem *latin square design* (ebd.) dargeboten. Beide Designs erlauben die Kontrolle von Positions-, d. h. auch Ermüdungseffekten, was angesichts der Testzeit von 135 min nötig war.

Aus Standardisierungsgründen erfolgte die Einführung in die Computersimulation mit einem 10-minütigen Video, das jeder Proband mit Kopfhörer an seinem Monitor anschaute. Anschließend bearbeiteten die Probanden ein Übungsblatt, das sich auf zentrale Funktionen der Simulation bezog (z. B. auf die Aktivierung von Systemkomponenten) und von einem der beiden Testleiter ausgewertet wurde. In seltenen Fällen falsch bearbeiteter Aufgaben wurden die betreffenden Simulationsfunktionen nochmals im Klassenverbund anhand der an die Wand projizierten Simulation erläutert. Insofern kann unterstellt werden, dass letztlich keine entscheidenden nutzungsbedingten Leistungsdifferenzen mehr vorlagen. Die Einführung dauerte ca. 40 min, woraus eine Gesamterhebungszeit von ca. 175 min resultierte.

### 4.4 Hypothesenprüfung

Für die Hypothesenprüfung wurde in einem ersten Schritt die Problemschwierigkeit unter Anwendung des Partial-Credit-Modells (eindimensionales polytomes Rasch-Modell) und der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt (BOND/FOX 2007, S. 123 ff.), wofür auf die Statistiksoftware ConQuest (WU u. a. 2007) zurückgegriffen wurde. Aus dieser Schwierigkeitsschätzung resultierten Logitwerte, bei denen ein metrisches Skalenniveau unterstellt werden kann (GREIFF 2012, S. 140). Im Vorfeld der Schätzung wurde überprüft, ob die anhand der Probleme (Items) erfassten Daten mit dem gewählten Modell vereinbar sind. Hierzu wurden Item-Fit-Maße, und zwar sowohl die ungewichteten (Outfit) als auch die gewichteten (Infit) Mean-Square-Werte (MNSQ) inspiziert (BOND/FOX 2007, S. 137 ff.). Als Grenzwerte galten im Anschluss an WILSON (2005, S. 129) ein  $MNSQ < 0,75$  und  $> 1,33$  und die zugehörigen  $t$ -Werte, die ab einem Wert  $> |2|$  eine signifikante Abweichung zum verwendeten Modell anzeigten. Da bei größeren Stichproben häufig mit signifikanten Abweichungen zu rechnen ist, wurde, wie von Wilson vorgeschlagen, ein Item nur ausgeschlossen, wenn sowohl der  $t$ -Wert als auch die MNSQ-Werte auffällig waren. Zu beachten ist ferner, dass Werte von  $t < -2$  einen Overfit, also eine „zu gute“ Modelpassung anzeigen (ROST 2004, S. 374) und als unproblematisch erachtet werden können. Bei ABELE/WALKER/NICKOLAUS (2014) erwiesen sich die Probleme als eindimensional skalierbar und es

waren zwischen den Problemen keine Residualkorrelationen zu beobachten, womit die Daten zwei wichtige Modell-Annahmen zu erfüllen scheinen (ROST 2004, S. 345): Eindimensionalität und lokale stochastische Unabhängigkeit. Die Trennschärfen der Probleme stellten sich in der genannten Studie ebenso als mindestens akzeptabel heraus und werden hier nicht weiter thematisiert.

In einem nächsten Schritt wurde mit der Statistiksoftware SPSS 22 (IBM 2013) mithilfe einer linearen Regressionsanalyse untersucht, welchen Effekt die Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit hat (H1), wobei bei beiden Datenreihen ein metrisches Skalenniveau unterstellt wurde. In dieser Regressionsanalyse fungierten die Probleme bzw. deren „Stufen“ als Fälle. Für jedes der acht dichotomen Items wurde jeweils ein Schwierigkeitsparameter geschätzt, für die fünf dreistufigen Items jeweils zwei, woraus eine Fallzahl von 18 resultierte. Bei einer Fallzahl von 18 und einer Teststärke von 80 % ( $\alpha = ,05$  und  $\beta = ,20$ , EID/GOLLWITZER/SCHMITT 2010, S. 241) sollte das standardisierte Regressionsgewicht  $\beta \geq ,52$  bzw. der Effekt der Komplexität auf die Schwierigkeit  $f^2 \geq ,37$  ( $R^2_{adj} \geq ,27$ ) betragen, was mit G\*Power 3.1.7 (FAUL u. a. 2007) berechnet wurde und angesichts der von NICKOLAUS u. a. (2012) ermittelten Korrelation von  $r = ,90$  realistisch schien. Bei einer einfachen linearen Regression entspricht  $\beta$  der Korrelation zwischen dem Prädiktor und dem Kriterium. Ob, wie mit H2 angenommen, die erwartete Korrelationshöhe repliziert werden kann, wurde mithilfe des von EID/GOLLWITZER/SCHMITT (2010, S. 548) dargestellten Verfahrens durch einen Vergleich der von NICKOLAUS u. a. (2012) und hier ermittelten Korrelation inferenzstatistisch ( $\alpha = ,05$ ) abgesichert.

## 5 Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden zunächst die Kennwerte zur Modellpassung der Probleme sowie deren Schwierigkeit und Komplexität referiert. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse der Prüfung von H1 und H2 besprochen.

### 5.1 Modellpassung der Probleme sowie deren Schwierigkeit und Komplexität

Tabelle 1 zeigt die MNSQ- und  $t$ -Werte der Probleme. Bei P1.2 überschritt der  $t$ -Wert des Outfit den Grenzwert von  $|2|$ . Da der zugehörige MNSQ-Wert nicht auffällig war, wurde dieses Problem *nicht* ausgeschlossen. Bei P11 nahm sowohl der  $t$ -Wert des Outfit als auch des Infit einen negativen Wert an, der jenseits der Grenze lag, aber mit einem akzeptablen MNSQ-Wert verbunden und auch insofern unproblematisch war, als er einen Overfit anzeigte (ROST 2004, S. 374). Die restlichen Werte waren unauffällig. Bei den weiteren Analysen wurden alle Probleme berücksichtigt.

Tab. 1: Kennwerte zur Modellpassung der Probleme (Items), deren Schwierigkeit sowie Komplexität

Probleme	Infit		Outfit		Schwierigkeit	Komplexität
	MNSQ	<i>t</i>	MNSQ	<i>t</i>		
P1.1	1,01	0,30	1,05	0,60	0,32	1
P1.2	1,02	0,20	1,25	2,50	1,43	3
P2	0,96	-0,50	0,89	-1,20	1,33	6
P3.1	1,01	0,10	1,00	0,00	0,30	7
P3.2	1,01	0,10	0,85	-1,60	2,03	10
P4.1	0,97	-0,30	0,96	-0,40	0,60	3
P4.2	1,00	0,00	0,98	-0,10	1,00	7
P5	0,98	-0,20	0,95	-0,50	-1,54	15
P6.1	1,09	1,50	1,13	1,30	0,52	6
P6.2	0,97	-0,10	0,97	-0,30	1,75	12
P7	1,07	0,60	1,11	1,30	-1,85	1
P8	0,96	-0,70	0,94	-0,70	0,29	1
P9	1,02	0,40	1,00	0,00	0,62	3
P10	0,98	-0,50	1,00	0,10	0,31	3
P11	0,87	-2,40	0,80	-2,40	0,71	4
P12	0,94	-1,20	0,91	-1,00	-0,41	3
P13.1	1,00	0,10	1,00	0,10	-0,92	1
P13.2	1,07	1,00	1,07	0,80	0,48	3

Anmerkungen. P: dargebotenes Problem, dichotom (z. B. P2) oder dreistufig (z. B. P1.1 und P1.2) kodiert;

MNSQ : weighted (Infit) bzw. unweighted (Outfit) Mean-Square-Wert; *t*: standardisierter *t*-Wert des MNSQ

In der Tabelle sind zudem die Schwierigkeiten der Probleme als Logitwerte sowie die Ergebnisse der Komplexitätskodierung dargestellt. Hier fiel auf, dass P5 das höchste Komplexitätsrating, aber nur eine geringe Schwierigkeit aufwies. Die anderen Schwierigkeiten und Komplexitätsmaße waren unauffällig.

## 5.2 Effekt der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit

Bei der regressionsanalytischen Berechnung des Effekts der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit ergab sich ein nicht signifikantes  $\beta$  von ,19 ( $t = 0,79$ ,  $df = 16$ ;  $p = ,44$ ). Nach Ausschluss von P5, das im vorigen Abschnitt auffällig wurde, ergab sich ein  $\beta$  von ,70 ( $t = 3,83$ ,  $df = 15$ ;  $p = ,00$ ) bei  $R^2_{adj} = ,46$  bzw.  $f^2 = ,98$ , also einem sehr starken Effekt (EID/GOLLWITZER/SCHMITT 2010, S. 583). Die ermittelte Korrelation ( $r = ,70$ ) unterschied sich nicht signifikant von der erwarteten Korrelation von  $r = ,90$  ( $z = 1,45$ ;  $p = ,07$ ), wobei die Teststärke mit 47 % (sehr) gering ausfiel, d. h. der Test aufgrund der kleinen Fallzahl mit einem relativ großen  $\beta$ -Fehler behaftet war.

## 6 Diskussion

### 6.1 Bedeutung des Umgangs mit Komplexität

#### 6.1.1 Ergebnisse der Untersuchung

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob der Umgang mit Komplexität eine bedeutsame psychische Voraussetzung des domänenspezifischen Problemlösens ist. Der Umgang mit Komplexität wurde im Anschluss an den einschlägigen Forschungsstand als psychische Ressource und Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisiert, die interindividuell variiert und bei der Bearbeitung unterschiedlich komplexer Probleme wirksam wird. Theoretisch wurde vermutet, dass die individuelle Ausprägung des Umgangs mit Komplexität einen Einfluss darauf hat, ob Probleme unterschiedlicher Komplexität gelöst werden können bzw. unterschiedlich schwierig sind. Dementsprechend wurde empirisch erwartet, dass die Problemkomplexität die statistisch definierte Problemschwierigkeit beeinflusst. Bei Berücksichtigung aller domänenspezifischen Probleme ließ sich dieser Effekt regressionsanalytisch nicht feststellen. Erst nach Ausschluss von P<sub>5</sub> war der erwartete Effekt in der erwarteten Höhe (H<sub>1</sub>) zu beobachten und wurde der Befund von NICKOLAUS u. a. (2012) repliziert (H<sub>2</sub>), wobei dieser Replikationsbefund aufgrund seiner geringen Testpower (sehr) vorsichtig zu interpretieren ist. Warum war der erwartungskonforme Effekt erst nach Ausschluss von P<sub>5</sub> zu beobachten?

#### 6.1.2 Konfundierung von Komplexitätsrating und Problemlöseprozess als Störfaktor

Wahrscheinlich hat dies damit zu tun, dass das Rating der Problemkomplexität und der Problemlöseprozess konfundiert sind. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass das hier bestimmte Komplexitätsmaß (Anzahl an vernetzten Informationseinheiten) davon abhängt, wie bei der Problemlösung vorgegangen wird: Beim Komplexitätsrating wurde durchgängig (implizit) unterstellt, dass die Problemlösung schrittweise von der Komponente (z. B. Leuchtmittel) zum „Versorger“ (z. B. Fahrzeugbatterie) erfolgt. Dementsprechend sollte die Anzahl an zu verarbeitenden Informationen zunehmen, je „näher“ das Problem am „Versorger“ lokalisiert ist. Bei P<sub>5</sub> (einem Lichtdefekt infolge einer defekten Sicherung) gingen viele Auszubildende allerdings wohl anders vor: Sie haben relativ früh die Funktion der Sicherung geprüft und damit bei der Problemlösung deutlich weniger Informationseinheiten verarbeitet als angenommen. Ein solches Vorgehen wird von erfahrenen Ausbildern häufig empfohlen.<sup>3</sup> Das

3 Aufgrund meiner eigenen Erfahrungen im Bereich der Kfz-Fehlerdiagnose und Gesprächen mit Kfz-Ausbildern war mir bewusst, dass bei P<sub>5</sub> mit dem beschriebenen Effekt zu rechnen ist: Eine Sicherungsprüfung ist häufig ein effizientes Mittel der elektrotechnischen Fehlerdiagnose. Da es in der vorliegenden Studie aber auch um die Replikation der Befunde von Nickolaus et al. (2012) ging, wurde durchgängig

Komplexitätsrating von P<sub>5</sub> ist also vermutlich nicht valide und es ist gut vorstellbar, dass dieses Validitätsproblem auch in anderen Kontexten auftritt.

Es lassen sich mindestens zwei Gründe nennen, warum die Konfundierung von Komplexitätsrating und Problemlöseprozess in den bisherigen Studien keine Schwierigkeiten bereitete: (1) Es ist denkbar, dass aufgrund spezifischer Charakteristika domänenspezifischer Probleme nur *ein* Lösungsweg möglich ist und damit alle Probanden zur Problemlösung zwingend eine bestimmte Anzahl an Informationen verarbeiten mussten. (2) Es ist vorstellbar, dass alle Probanden aus irgendeinem Grund (z. B. aufgrund in der Ausbildung erworbener Strategien) denselben Lösungsprozess durchlaufen. Anzunehmen ist, dass die Homogenität von Lösungsprozessen auch davon abhängt, wie intensiv bei der Problemlösung auf eigenständige Lernerfahrungen zurückgegriffen werden kann. Nicht selten führen individuelle Lernprozesse z. B. dazu, dass effizientere, d. h. „kürzere“ Wege zum Ziel entdeckt werden (FELTOVICH/PRIETULA/ERICSSON 2006, S. 56, et passim; KREMS 1994, S. 79 ff.), wobei sich ab einem bestimmten Punkt die Frage stellt, ob ein Problem gelöst oder eine Aufgabe bearbeitet wird (FUNKE 2003, S. 25).

Aus dem erwartungswidrigen Befund ist also Folgendes zu lernen: Ein valides Rating der Komplexität der Problemanforderung, d. h. der Anzahl an bei der Problemlösung zu verarbeitenden Informationseinheiten kann ein empirisch belastbares Modell zum Problemlöseprozess voraussetzen, worüber wir aktuell in den meisten Domänen nicht verfügen. Liegt ein solches Modell nicht vor, ist zu befürchten, dass die Untersuchung des Effekts von Komplexität auf Problemschwierigkeit durch einen Störfaktor verzerrt wird: die Konfundierung von Komplexitätsrating und Problemlöseprozess. Wie die vorliegende Studie und P<sub>5</sub> zeigen, kann dieser Störfaktor die Ergebnisse ebenso erheblich verzerren, wie der im nächsten Abschnitt betrachtete Aspekt.

### 6.1.3 Moderatorwirkung des domänenspezifischen Lernens

Die Aufarbeitung des Forschungsstands resultierte unter Anwendung der *cognitive load theory* in einem als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisierten Umgang mit Komplexität. Es wurde unterstellt, dass die Problemschwierigkeit von der *intrinsic load*, also von der kognitiven Belastung abhängt, die Probleme unterschiedlicher Anforderungskomplexität erzeugen. Allerdings hängt die *intrinsic load* nicht nur von der Anforderungskomplexität, sondern auch von domänenspezifischem Lernen ab. Domänenspezifisches Lernen kann die *intrinsic load* mindestens in zweifacher Hinsicht reduzieren: (1) Die *intrinsic load* nimmt durch den Erwerb und die Anwendung von Wissensschemata ab. In solchen im Langzeitgedächtnis gespeicherten Schemata liegen Informationseinheiten in organisierter Form vor (EYSENCK 2006, S. 275). Ein aus

das dort vorgenommene Komplexitätsrating umgesetzt. Zu bedenken ist, dass die Annahme, bei elektrotechnischen Fehlerdiagnosen wird häufig frühzeitig die Sicherungsfunktion geprüft, zwar plausibel ist, aus empirischer Sicht aber trotzdem falsch sein kann.

dem Langzeitgedächtnis abgerufenes Schema entspricht im Arbeitsgedächtnis nur einer Informationseinheit, weshalb die Aktivierung von Schemata die kognitive Belastung beim Problemlösen deutlich minimieren kann (SWELLER 2011, S. 59). (2) Die *intrinsic load* wird durch den Erwerb und die Anwendung von Problemlösestrategien reduziert. Solche Strategien ermöglichen eine sukzessive und damit kognitiv entlastende Informationsverarbeitung. Beide Punkte sprechen dafür, dass der Einfluss der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit mit zunehmender domänenspezifischer Lernerfahrung abnehmen kann, weil die von der Problemkomplexität verursachte *intrinsic load* zusehends geringer wird. Daraus folgt, dass ein als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisierter Umgang mit Komplexität für domänenspezifisches Problemlösen v. a. bei eher unbekanntenen Anforderungen bedeutsam ist, bei welchen domänenspezifisches Lernen (noch) keine (allzu) große Rolle spielt.

Diese Argumentation wird durch empirische Befunde gestützt: Es zeigte sich, dass der Einfluss der Komplexität auf die Schwierigkeit davon abhängt, ob lösungsrelevante Fachinformationen in der Aufgabenstellung enthalten sind. Bei gegebenen Fachinformationen ist der Einfluss der Komplexität höher als wenn die Fachinformationen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden müssen (WALPUSKI/ROPOHL 2011). Durch die Vorgabe von Fachinformationen verlieren das domänenspezifische Wissen und damit das domänenspezifische Lernen für Problemlöseleistungen an Bedeutung, wogegen die Arbeitsgedächtniskapazität leistungskritischer wird. Kapazitätsnachteile können dann nicht mehr durch umfangreiches Wissen kompensiert werden.

Bei SCHOPPMEIER (2013) erklärt die Anforderungskomplexität in einer Leistungskurstichprobe im Fach Physik 8 % weniger Varianz als in einer Grundkurstichprobe (S. 65). Unter der plausiblen Annahme, dass die Schülerinnen und Schüler des Leistungskurses über ein umfangreicheres domänenspezifisches Wissen verfügen, passt auch dieser Befund gut zur hier geführten Argumentation: Es ist zu unterstellen, dass die Bedeutung des Umgangs mit Komplexität durch das domänenspezifische Lernen moderiert wird, wobei die Bedeutung mit voranschreitendem domänenspezifischem Lernen abnehmen dürfte.

#### 6.1.4 Zusammenfassendes Fazit

Welche Bedeutung kommt nun dem Umgang mit Komplexität für das domänenspezifische Problemlösen zu? Es ist anzunehmen, dass der Umgang mit Komplexität eine wichtige Bedeutung für das domänenspezifische Problemlösen hat. Allerdings lässt sich dies empirisch nur nachweisen, wenn ein valides Rating der Komplexität der Problemanforderung gelingt, was aufgrund der Konfundierung von Komplexitätsrating und Problemlöseprozess eine (sehr) anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Zu beachten ist ferner, dass das domänenspezifische Lernen die Bedeutung des Umgangs mit Komplexität moderiert. Möglicherweise sind die erwähnte Konfundierung und der Moderatorereffekt Gründe dafür, weshalb Befunde zum Einfluss der Komplexität auf die Schwierigkeit teilweise nicht repliziert werden konnten.



## 6.2 Implikationen für die Modellierung und Förderung domänenspezifischer Kompetenzen

### 6.2.1 Modellierung domänenspezifischer (Problemlöse-)Kompetenzen:

#### *Was bedeutet der Effekt der Problemkomplexität auf die Problemschwierigkeit?*

Es wurde herausgearbeitet, dass der Einfluss der Komplexität auf die Schwierigkeit (wohl) v. a. dann feststellbar ist, wenn domänenspezifisches Lernen nicht (allzu) bedeutsam ist. Von daher ist fraglich, ob die im Bereich der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik vorgelegten Kompetenzmodelle (z. B. KAUERTZ u. a. 2010; WELLNITZ u. a. 2012), in denen die Anforderungskomplexität eine wichtige Anforderungsdimension darstellt, nicht ihr eigentliches Ziel – zumindest teilweise – verfehlen. Mit diesen Modellen wird (meist implizit) behauptet, dass der Umgang mit Komplexität eine wichtige Facette der domänenspezifischen Kompetenz ist. Dementsprechend werden bei der Konstruktion von Kompetenztests gezielt Aufgaben unterschiedlicher Anforderungskomplexität entwickelt und die erzielte Aufgabenqualität u. a. danach beurteilt, wie präzise die Aufgabenschwierigkeit anhand der Anforderungskomplexität prognostiziert werden kann. Im Sinne der bisherigen Argumentation ist diese Prognosekraft ein Indiz für die Bedeutung des Umgangs mit Komplexität, also v. a. der Arbeitsgedächtniskapazität. Die Arbeitsgedächtniskapazität steht in sehr engem Verhältnis zur fluiden Intelligenz (STERN/GRABNER/SCHUMACHER 2007, S. 75f.), ist zu einem erheblichen Teil vererbt bzw. frühkindlich geprägt (CATTELL 1987) und nicht durch domänenspezifisches Lernen veränderbar (FRIES/SOUVIGNIER 2009, S. 410). Die erwähnten Kompetenzmodelle „provozieren“ die Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität und gefährden ihr eigentliche Ziel: die Bilanzierung domänenspezifischer Lernprozesse.

WALPUSKI/ROPOHL (2011) interpretieren den Effekt von Komplexität auf Schwierigkeit anders. Sie argumentieren, ein hoher Effekt der Komplexität auf die Schwierigkeit belege, dass Kompetenzen im eigentlichen Sinn erfasst werden. Der hohe Effekt, der v. a. bei Vorgabe von Fachinformationen mit der Aufgabenstellung zu beobachten ist, zeige an, wie erfolgreich mit Fachinformationen umgegangen werden kann (WALPUSKI/ROPOHL 2011, S. 85). Eine tiefergehende theoretische Begründung dieser Interpretation fehlt. Mit dieser Untersuchung schlage ich auf Basis der *cognitive load theory* eine andere Interpretation vor: Der hohe Effekt zeigt – zumindest tendenziell – an, dass die Arbeitsgedächtniskapazität eine wichtige und das domänenspezifische Lernen eine weniger bedeutsame Rolle spielt. In künftigen Studien zum domänenspezifischen Problemlösen sollte überlegt werden, wie ein nachgewiesener Effekt der Komplexität auf die Schwierigkeit zu interpretieren ist bzw. welche psychischen Ressourcen diesen Effekt verursachen.

### 6.2.2 Welche Bedeutung hat der Umgang mit Komplexität für die Förderung domänenspezifischer Problemlösekompetenzen?

Ein als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisierte Umgang mit Komplexität ist für das domänenspezifische Problemlösen prinzipiell bedeutsam, lässt sich durch pädagogische Interventionen aber nicht fördern (FRIES/SOUVIGNIER 2009, S. 410). Dennoch spielt er bei Interventionen eine wichtige Rolle: Erstens ist bei der Förderung domänenspezifischer Problemlösekompetenzen auf individuelle Kapazitätsgrenzen zu achten und gegebenenfalls mit Komplexitätsreduktion zu reagieren. Zweitens sollten Problemlösestrategien vermittelt werden, die eine sukzessive Problemlösung ermöglichen und dadurch kognitiv entlasten, d. h. die *intrinsic load* einer Problemanforderung minimieren. PETSCH/NORWIG/NICKOLAUS (2014) entwickelten einen Interventionsansatz zur Förderung allgemeiner und domänenspezifischer Problemlösestrategien, der sich in mehreren Interventionsstudien als wirksam erwies (s. dazu auch ZINN u. a. 2015).

### 6.3 Grenzen der Untersuchung

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieser Studie basieren auf einer spezifischen Komplexitätsdefinition und einer spezifischen psychologischen Konzeptualisierung des Umgangs mit Komplexität, sind nur vor diesem Hintergrund sinnvoll zu verstehen und weisen insofern Grenzen auf. Alternative theoretische Entscheidungen sind denkbar und hätten möglicherweise zu einer anderen Studienanlage und anderen Ergebnissen geführt. Wenn der Umgang mit Komplexität hier als Arbeitsgedächtniskapazität konzeptualisiert wurde, so geschah dies in Anlehnung an den gegenwärtigen Forschungsstand und mit dem Ziel, dieses relativ unbekanntes Konstrukt in einem ersten Zugriff theoretisch besser zu fassen. DÖRNER (2008) weist darauf hin, dass beim Umgang mit Komplexität weitere psychische Merkmale (z. B. Emotionen wie Angst, Stress etc.) bedeutsam sind. Wahrscheinlich würde aber auch die Berücksichtigung dieser Merkmale nichts daran ändern, dass er für das domänenspezifische Problemlösen bedeutsam ist.

Es liegen unterschiedliche Modelle zum Arbeitsgedächtnis und dazu vor, was unter der Arbeitsgedächtniskapazität zu verstehen ist (BADDELEY/EYSENCK/ANDERSON 2009, S. 60 ff.). Gemeinsam ist diesen Modellen, dass sie interindividuell variierende Kapazitätsgrenzen annehmen. Die Komplexität einiger hier einbezogener Probleme (z. B. P6.2) dürfte diese Grenzen prinzipiell überschreiten, was deutlich macht, dass der Effekt der Komplexität auf die Schwierigkeit (wohl) nicht alleine mit der Arbeitsgedächtniskapazität erklärt werden kann. Hier wird angenommen, dass der Effekt hauptsächlich kapazitätsbedingt auftritt.

Kritisch kann gefragt werden, ob es zulässig ist, ein komplexes Konstrukt wie die domänenspezifische Problemlösekompetenz analytisch in Einzelfacetten zu unterteilen und die Bedeutung einer Einzelfacetten (Umgang mit Komplexität) unabhängig

von den anderen Facetten zu untersuchen. Auch wenn das Ganze (domänenspezifische Problemlösekompetenz) möglicherweise mehr ist als die Summe der wie auch immer beim Problemlösen zusammenwirkenden Einzelfacetten, halte ich diese Forschungsstrategie u. a. aus einer Förderperspektive für hilfreich: Sie ermöglicht es, die Bedeutung der Einzelfacetten für das domänenspezifische Problemlösen zu untersuchen und sie theoretisch präzise zu beschreiben, was wiederum zu einer effektiven Förderung der domänenspezifischen Problemlösekompetenz beitragen dürfte. Es sei betont, dass die Unterteilung der Problemlösekompetenz in Einzelfacetten nicht wie oftmals üblich dazu führte, den Umgang mit Komplexität separat zu erfassen. Vielmehr wurde er integrativ, d. h. als Teil der domänenspezifischen Problemlösekompetenz diagnostiziert. Dies steht im Einklang mit WUTTKE u. a. (2015, S. 193) und entgeht von daher auch der dort aufgeführten Kritik an einer isolierten Erfassung von Facetten der Problemlösekompetenz.

Bei der Rezeption der Ergebnisse und Aussagen dieser Studie ist zu beachten, dass das Komplexitätsrating vermutlich eng mit anderen Anforderungsmerkmalen assoziiert ist: Die Anforderungskomplexität scheint nicht unabhängig von anderen Problemmerkmalen variierbar (NICKOLAUS u. a. 2012), weshalb der Effekt der Komplexität auf die Schwierigkeit neben der Bedeutung des Umgangs mit Komplexität auch die Bedeutung anderer psychischer Merkmale für das Problemlösen spiegelt. PETSCH/NORWIG/NICKOLAUS (2015) zeigen, dass die Komplexität auch bei regressionsanalytischer Kontrolle weiterer Merkmale bedeutsam ist, allerdings nicht im hier festgestellten Ausmaß. Bedenkenswert ist auch, ob aus es den regressionsanalytisch, anhand von Gruppenstatistiken gewonnenen Effekten auf Wirkungen auf Individual-ebene geschlossen werden darf (z. B. RENKL 2012). Alternativ wären hier Experimentalstudien denkbar.

Einschränkend sei zudem erwähnt, dass die Kritik an den Kompetenzmodellen aus der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik auf dem Moderatoreffekt des domänenspezifischen Lernens beruht, der unter Anwendung der cognitive load theory herausgearbeitet, mit einigen empirischen Befunden belegt, allerdings nicht systematisch empirisch geprüft wurde. Außerdem basiert die Untersuchung auf Problemen aus dem Bereich der Kfz-Fehlerdiagnose und es ist offen, inwieweit die Erkenntnisse generalisiert werden können.

Aus fachdidaktischer Sicht erweist sich eine Konzeptualisierung des Umgangs mit Komplexität als Arbeitsgedächtniskapazität als wenig befriedigend. Denn dadurch gerät ein psychisches Merkmal in den Fokus, das zwar für domänenspezifisches Lernen (sehr) relevant ist, durch pädagogische Interventionen jedoch nicht verändert werden kann. Angesichts der prinzipiell begrenzten individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der oft enormen Komplexität domänenspezifischer Probleme ist davon auszugehen, dass deren Lösung zu einem erheblichen Teil durch domänenspezifisches Lernen ermöglicht wird.

#### 6.4 Ausblick auf eine vielversprechende fachdidaktische Forschungsperspektive: Umgang mit Komplexität als Resultat domänenspezifischen Lernens

Abschließend wird in Anlehnung an EMBRETSON/DANIEL (2008) eine alternative Konzeptualisierung des Umgangs mit Komplexität vorgeschlagen, und zwar eine Konzeptualisierung als Beherrschung komplexer domänenspezifischer Problemlöseprozesse. Dieser Ansatz wurde bereits im Theorieteil diskutiert und angesichts des (noch) defizitären Forschungsstands aus rein pragmatischen Gründen nicht weiter verfolgt.

Der Problemlöseprozess bezieht sich auf jene psychischen Aktivitäten, die dem Problemlösen zugrunde liegen und prinzipiell meist auf einen enorm großen „Aktivitätsraum“. In Anlehnung an die ACT-R Theorie (*adaptive control of thought – rational*, ANDERSON 2007) hängt die erfolgreiche Gestaltung domänenspezifischer Problemlöseprozesse maßgeblich davon ab, ob dieser „Raum“ zielführend „durchschritten“ werden kann, d. h. Problemlösestrategien verfügbar sind. Problemlösestrategien implizieren ein schrittweises Vorgehen (EDELMAUN/WITTMANN 2012, S. 185), strukturieren den Problemlöseprozess und ermöglichen eine zieldienliche Informationsgewinnung, eine stimmige mentale Problemrepräsentation, die Formulierung sowie Prüfung von Hypothesen etc. Es ist sowohl theoretisch als auch empirisch gut fundiert, dass domänenspezifische Problemlösestrategien insbesondere im Rückgriff auf domänenspezifisches Wissen entwickelt werden (z. B. ANDERSON 2007, S. 135 ff.).

Vor diesem Hintergrund lässt sich der Umgang mit Komplexität als Anwendung erworbener Problemlösestrategien zur erfolgreichen Gestaltung komplexer Problemlöseprozesse konzeptualisiert. Hier stehen domänenspezifische Strategien und domänenspezifisches Wissen, also domänenspezifisches Lernen im Fokus, wobei auch nicht-kognitive Problemlösefacetten zu berücksichtigen sind.

Für die Umsetzung dieser Konzeptualisierung werden empirisch belastbare Modelle zum domänenspezifischen Problemlöseprozess benötigt, die Aussagen dazu enthalten, unter welchen Bedingungen (Problemanforderungen, Lernerfahrungen etc.) Prozesse welcher Komplexität zu erwarten sind. Die Entwicklung solcher Modelle ist nicht zuletzt deswegen ein wichtiges fachdidaktisches Forschungsdesiderat, weil sie ein präzises Verständnis (komplexer) domänenspezifischer Problemlöseprozesse und damit assoziierter psychischer Ressourcen impliziert, was für die Förderung domänenspezifischer Problemlösekompetenzen zentral ist.

## 7 Literaturverzeichnis

- 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.
- ACHTENHAGEN, F. (2000): Lebenslanges Lernen aus Sicht des Mastery Learning. In: ACHTEN-

- HAGEN, F./LEMPERT, W. (Hrsg.): *Lebenslanges Lernen im Beruf. Seine Grundlegung im Kindes- und Jugendalter*. Opladen: Leske+Budrich, S. 123–140.
- ANDERSON, J. R. (2007): *How can the human mind occur in the physical universe?* New York: Oxford University Press.
- BADDELEY, A. D./EYSENCK, M. W./ANDERSON, M. C. (2009): *Memory*. Hove: Psychology Press.
- BECK, K. (1987): *Die empirischen Grundlagen der Unterrichtsforschung. Eine kritische Analyse der deskriptiven Leistungsfähigkeit von Beobachtungsmethoden*. Göttingen: Hogrefe.
- BECK, K. (2005): *Ergebnisse und Desiderate zur Lehr-Lern-Forschung in der kaufmännischen Berufsausbildung*. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, H. 4, S. 533–556.
- BERNHOLT, S./PARCHMANN, I./COMMONS, M. L. (2009): *Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 219–244.
- BLEY, S./WIETHE-KÖRPRICH, M./WEBER, S. (2015): *Formen kognitiver Belastung bei der Bewältigung technologiebasierter authentischer Testaufgaben – eine Validierungsstudie zur Abbildung von beruflicher Kompetenz*. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik* 111, H. 2, S. 268–294.
- BOND, T. G./FOX, C. M. (2007): *Applying the Rasch Model: Fundamental measurement in the Human Sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- BORSBOOM, D./MELLENBERGH, G. J./VAN HEERDEN, J. (2004): *The concept of validity*. In: *Psychological Review* 111, S. 1061–1071.
- CAMPBELL, D. J. (1988): *Task complexity: a review and analysis*. In: *Academy of Management Review* 13, H. 1, S. 40–52.
- CATTELL, R. B. (1987): *Intelligence. Its structure, growth and action*. Amsterdam: North-Holland.
- CHI, M. T. H./GLASER, R. (1982): *Expertise in Problem Solving*. In: STERNBERG, R. J. (Hrsg.): *Advances in the psychology of human intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 7–70.
- DANIEL, R./EMBRETSON, S. E. (2010): *Designing cognitive complexity in mathematical problem-solving items*. In: *Applied Psychological Measurement* 34, H. 5, S. 348–364.
- DÖRNER, D. (2008): *Umgang mit Komplexität*. In: *Industrial Ecology*: Springer, S. 284–302.
- EDELMANN, W./WITTMANN, S. (2012): *Lernpsychologie*. Weinheim: Beltz.
- EID, M./GOLLWITZER, M./SCHMITT, M. (2010): *Statistik und Forschungsmethoden*. Lehrbuch. Weinheim: Beltz.
- EMBRETSON, S. E. (1998): *A Cognitive Design System Approach to Generating Valid Tests: Application to Abstract Reasoning*. In: *Psychological Methods* 3, H. 3, S. 380–396.
- EMBRETSON, S. E./DANIEL, R. (2008): *Understandings and quantifying cognitive complexity level in mathematical problem solving items*. In: *Psychology Science Quarterly* 50, H. 3, S. 328–344.
- EYSENCK, M. W. (2006): *Fundamentals of Cognition*. Hove: Psychology Press.
- FAUL, F./ERDFELDER, E./LANG, A.-G./BUCHNER, A. (2007): *G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences*. In: *Behavior Research Methods*, H. 39, S. 175–191.
- FELTOVICH, P. J./PRIETULA, M. J./ERICSSON, K. A. (2006): *Studies of expertise from psychological perspectives*. In: ERICSSON, K. A./CHARNNESS, N./FELTOVICH, P. J./HOFFMAN, R. R. (Hrsg.): *The cambridge handbook of expertise and expert performance*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 41–67.
- 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.
- FRIES, S./SOUVIGNIER, E. (2009): *Training*. In: WILD, E./MÖLLER, J. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. Heidelberg: Springer, S. 406–428.
- FUNKE, J. (2003): *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.

- FUNKE, J. (2006): Komplexes Problemlösen. In: FUNKE, J. (Hrsg.): Denken und Problemlösen. Göttingen: Hogrefe, S. 375–445.
- GREIFF, S. (2012): Individualdiagnostik komplexer Problemlösefähigkeit. Münster: Waxmann.
- GREIFF, S./KRETZSCHMAR, A./LEUTNER, D. (2014): Problemlösen in der Pädagogischen Psychologie. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 28, H. 4, S. 161–166.
- GSCHWENDTNER, T./ABELE, S./NICKOLAUS, R. (2009): Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von Kfz-Mechatronikern. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik 105, S. 557–578.
- HARTIG, J./FREY, A. (2012): Konstruktvalidierung und Skalenbeschreibung in der Kompetenzdiagnostik durch die Vorhersage von Aufgabenschwierigkeiten. In: Psychologische Rundschau 63, H. 1, S. 43–49.
- HARTIG, J./FREY, A./JUDE, N. (2008): Validität. In: MOOSBRUGGER, H./KELAVA, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin: Springer, S. 136–192.
- IBM (2013): SPSS. Chicago.
- KAUERTZ, A. (2008): Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben. Berlin: Logos.
- KAUERTZ, A./FISCHER, H. E./MAYER, J./SUMFLETH, E./WALPUSKI, M. (2010): Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 16, S. 135–153.
- KLIEME, E./FUNKE, J./LEUTNER, D./REIMANN, P./WIRTH, J. (2001): Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. In: Zeitschrift für Pädagogik 47, S. 179–200.
- KREMS, J. F. (1994): Wissensbasierte Urteilsbildung. Diagnostisches Problemlösen durch Experten und Expertensysteme. Bern: Hans Huber.
- LEUTNER, D./FISCHER, H. E./KAUERTZ, A./SCHABRAM, N./FLEISCHER, J. (2008): Instruktionspsychologische und fachdidaktische Aspekte der Qualität von Lernaufgaben und Testaufgaben im Physikunterricht. In: THONHAUSER, J. (Hrsg.): Aufgaben als Katalysatoren von Lernprozessen. Eine zentrale Komponente organisierten Lehrens und Lernens aus der Sicht von Lernforschung, allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik. Münster: Waxmann, S. 169–181.
- MAYER, R. E./WITTRICK, M. C. (2006): Problem Solving. In: ALEXANDER, P. A./WINNE, P. H. (Hrsg.): Handbook of educational psychology. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 287–303.
- MINNAMEIER, G. (2005): Wissen und inferentielles Denken. Frankfurt am Main: Lang.
- MUSEKAMP, F./SCHLÖMER, B./MEHRAFZA, M. (2015): Fachliche Anforderungen an Ingenieure in der Technischen Mechanik – eine empirische Analyse von Aufgabenmerkmalen. In: MUSEKAMP, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt. Nationale und internationale Ansätze zur Erfassung von Ingenieurkompetenzen. Frankfurt am Main: Lang, S. 181–204.
- NEUMANN, K./KAUERTZ, A./LAU, A./NOTARP, H./FISCHER, H. E. (2007): Die Modellierung physikalischer Kompetenzen und ihrer Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 13, S. 101–121.
- NICKOLAUS, R./ABELE, S./GSCHWENDTNER, T./NITZSCHKE, A./GREIFF, S. (2012): Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich technischen Ausbildungsberufen – Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik 108, S. 243–272.
- PASS, F./RENKL, A./SWELLER, J. (2003): Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. In: Educational Psychologist 38, H. 1, S. 1–4.
- PETSCH, C./NORWIG, K./NICKOLAUS, R. (Hrsg.) (2014): Kompetenzförderung leistungsschwächerer Jugendlicher in der beruflichen Bildung – Förderansätze und ihre Effekte.
- PETSCH, C./NORWIG, K./NICKOLAUS, R. (2015): Berufsfachliche Kompetenzen in der Grundstufe Bautechnik – Strukturen, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. In: RAUSCH,

- A./WARWAS, J./SEIFRIED, J./WUTTKE, E. (Hrsg.): *Konzepte und Ergebnisse ausgewählter Forschungsfelder der beruflichen Bildung – Festschrift für Detlef Sembill*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH, S. 59–88.
- QUESADA, J./KINTSCH, W./GOMEZ, E. (2005): *Complex problem-solving: a field in search of a definition?* In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6, H. 1, S. 5–33.
- RAUNER, F./HITZ, H./SPÖTTL, G./BECKER, M. (2002): *Aufgabenanalysen für die Neuordnung der Berufe im Kfz-Sektor*. <http://www.itb.uni-bremen.de/uploads/media/Kfz-Neuordnung-Bericht4.pdf>. 15.05.2014.
- RENKL, A. (2012): *Modellierung von Kompetenzen oder von interindividuellen Kompetenzunterschieden. Ein unterschätzter Unterschied*. In: FLEISCHER, J./LEUTNER, D./KLIEME, E. (Hrsg.): *Modellierung von Kompetenzen im Bereich der Bildung: Eine psychologische Perspektive*, S. 50–53.
- ROST, J. (2004): *Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- SCHOPPMEIER, F. (2013): *Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe*. Berlin: Logos.
- SCHUMANN, S./EBERLE, F. (2011): *Bedeutung und Verwendung schwierigkeitsbestimmender Aufgabenmerkmale für die Erfassung ökonomischer und beruflicher Kompetenzen*. In: FASSHAUER, J./FÜRSTENAU, B./WUTTKE, E. (Hrsg.): *Grundlagenforschung zum Dualen System und Kompetenzentwicklung in der Lehrerbildung*. Opladen: Barbara Budrich, S. 77–89.
- STERN, E./GRABNER, R./SCHUMACHER, R. (2007): *Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften – Erwartungen, Befunde, Forschungsperspektiven*. Berlin: BMBF.
- SWELLER, J. (2011): *Cognitive Load Theory*. In: *Psychology of Learning and Motivation* 55, S. 37–74.
- VIERING, T./FISCHER, H. E./NEUMANN, K. (Hrsg.) (2010): *Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Projekt Physikalische Kompetenz*.
- WALPUSKI, M./ROPOHL, M. (2011): *Einfluss des Testaufgabendesigns auf Schülerleistungen in Kompetenztests*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 22, 124/125, S. 82–86.
- WELLNITZ, N./FISCHER, H. E./KAUERTZ, A./MAYER, J./NEUMANN, I./PANT, H. A./SUMFLETH, E./WALPUSKI, M. (2012): *Evaluation der Bildungsstandards – eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 18, S. 261–291.
- WILSON, M. (2005): *Constructing Measures. An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- WINTHER, E. (2010): *Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung*. Bielefeld: Bertelsmann.
- WU, M. L./ADAMS, R. J./WILSON, M. R./HALDANE, S. A. (2007): *ACER ConQuest Version 2.0: Generalised item response modelling software*. Camberwell, VIC: ACER Press.
- WUTTKE, E./SEIFRIED, J./BRANDT, S./RAUSCH, A./SEMBILL, D./MARTENS, T./WOLF, D. K. (2015): *Modellierung und Messung domänenspezifischer Problemlösekompetenz bei angehenden Industriekaufleuten*. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik* 111, H. 2, S. 189–207.
- ZINN, B./WYRWAL, M./SARI, D./LOUIS, A. (2015): *Förderung von Auszubildenden im Berufsfeld Metalltechnik*. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik* 111, H. 1, S. 56–78.
- ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA, O./SEIDEL, J. (2011): *Kompetenz und ihre Erfassung – das neue „Theorie-Empirie-Problem“ der empirischen Bildungsforschung?* In: ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA, O. (Hrsg.): *Stationen Empirischer Berufsbildungsforschung*. Wiesbaden: VS Verlag, S. 218–233.

DR. STEPHAN ABELE

Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft, Abteilung für Berufs-,  
Wirtschafts- und Technikpädagogik, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart,  
E-Mail: [abele@bwt.uni-stuttgart.de](mailto:abele@bwt.uni-stuttgart.de)