

Dynamische Problemlösekompetenz

Ein bedeutsamer Prädiktor von Problemlöseleistungen in technischen Anforderungskontexten?

Stephan Abele · Samuel Greiff · Tobias Gschwendtner ·
Sascha Wüstenberg · Reinhold Nickolaus ·
Alexander Nitzschke · Joachim Funke

Zusammenfassung: Im Zentrum des Beitrags steht die Bedeutung und Prognosekraft dynamischer Problemlösekompetenz (DPK) für das Kriterium der technischen Problemlöseleistung. Als weitere Prädiktoren wurden in der Untersuchung fluide Intelligenz und technisches Fachwissen berücksichtigt. Die Integration fluider Intelligenz ermöglichte auch eine Untersuchung der Frage, ob sich DPK von fluider Intelligenz unterscheiden lässt. Die auf einer Kfz-Mechatroniker- und Elektronikerstichprobe (n=129, n=88) basierenden Analysen belegten die empirische Eigenständigkeit der DPK gegenüber fluider Intelligenz. In der Elektronikerstichprobe erklärte DPK die technische Problemlöseleistung am besten, wobei fluide Intelligenz darüber hinaus inkrementelle Validität zeigte. Bei den Kfz-Mechatronikern korrelierte nur fluide Intelligenz mit dem Kriterium, allerdings schwach. Wurde Fachwissen einbezogen, verschwand sowohl die Bedeutung der DPK als auch fluider Intelligenz. Allerdings übte bei den Elektronikern fluide Intelligenz einen über Wissen vermittelten indirekten Einfluss auf das Kriterium aus. Die nicht ganz eindeutige Befundlage, stichprobenspezifische Unterschiede sowie theoretische Ansätze zur Erklärung der beobachteten Effekte werden diskutiert.

Schlüsselwörter: Technisches Problemlösen · Dynamische Problemlösekompetenz · Prädiktoren technischer Problemlöseleistung

© VS Verlag für Sozialwissenschaften 2012

Die Autoren danken Gabriel Nagy sowie den beiden anonymen Gutachtern für wertvolle Hinweise und Kommentare zum vorliegenden Beitrag.

Dipl.-Gwl. S. Abele (✉) · T. Gschwendtner · R. Nickolaus · A. Nitzschke
Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Universität Stuttgart,
Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: abele@bwt.uni-stuttgart.de

Dr. S. Greiff · S. Wüstenberg · J. Funke
Psychologisches Institut, Universität Heidelberg,
Hauptstraße 47–51, 69117 Heidelberg, Deutschland
E-Mail: Samuel.greiff@psychologie.uni-heidelberg.de

Dynamic problem solving – an important predictor of problem-solving performance in technical domains?

Abstract: This article is about the importance and validity of dynamic problem solving (DPS) in predicting technical problem solving performances. In addition to DPS, fluid intelligence and technical knowledge were included in the study. Assessing DPS and fluid intelligence simultaneously also allowed for testing the empirical distinction between both constructs. Results are based on data of a sample of car mechatronics (n=129) and electronics technicians (n=88) and showed that DPS and fluid intelligence were empirically separable. In the first sample (electronics technicians) DPS explained technical problem solving performance best, although fluid intelligence showed incremental validity too. In the second sample (car mechatronics) fluid intelligence was weakly related to the criterion whereas DPS was not at all. When technical knowledge was added to the prediction, both DPS and fluid intelligence did not predict technical problem solving performance. However, in the sample of the electronics technicians fluid intelligence indirectly affected the criterion through technical knowledge. A discussion of the somewhat contradictory results, the different results patterns in the two samples and a theoretical explanation of the results are provided.

Keywords: Dynamic problem solving · Predictors of technical problem solving performance · Technical problem solving

1 Einleitung

Die zentrale Bedeutung des Problemlösens für den individuellen und kulturellen Fortschritt (vgl. z. B. Popper 2005) stellt ein wesentliches Antriebsmoment für Forschungsaktivitäten der allgemeinen Problemlösepsychologie dar. Getragen werden diese Aktivitäten u. a. von der Annahme, dass allgemeine Problemlösekompetenzen Problemlöseleistungen in spezifischen Fachkontexten beeinflussen. Auf die Berufsbildungsforschung wirkte sich diese Annahme insofern aus, als allgemeine Problemlösekompetenzen auch in fachdidaktische Konzepte und Diskussionen zu beruflichem Problemlösen Eingang fanden (vgl. z. B. Reetz 1999; BMBF 2011a). Erstaunlich ist, dass der Zusammenhang allgemeiner Problemlösekompetenz und beruflicher Problemlöseleistungen zwar theoretisch angenommen, bislang aber noch nicht empirisch untersucht wurde.

Ein wichtiger Untersuchungsgegenstand allgemeiner Problemlöseforschung ist der menschliche Umgang mit dynamischen Problemen. Bei der Bearbeitung solcher dynamischer Probleme ist i. d. R. ein gegebenes System zu explorieren und durch Eingreifen in das System die Gültigkeit der gewonnenen Erkenntnisse zu prüfen. Aufgrund der steigenden Komplexität technischer Systeme (z. B. elektronische Steuereinheit eines Fahrzeugmotors) treten Anforderungen dieser Art in technischen Arbeitskontexten vermehrt auf. So verlangt bspw. die Analyse technischer Systeme zur Fehlerbeseitigung häufig die interaktive Nutzung verschiedener, auch computerbasierter Informationsquellen und die systematische Formulierung sowie Prüfung von Hypothesen zu möglichen Fehlerursachen: Bei der Lösung technischer Probleme ist also wie auch beim dynamischen Problemlösen einerseits das untersuchte System zur Hypothesenformulierung zu explorieren und andererseits zur Hypothesenprüfung in das System einzugreifen. Vor diesem Hinter-

grund bietet es sich bei der Beschäftigung mit technischen Problemen an, dynamischen Problemlösekompetenzen besondere Beachtung zu schenken.

Eine empirische Untersuchung der Bedeutung *dynamischer Problemlösekompetenz* für *technische Problemlöseleistung* sieht sich jedoch einigen diagnostischen Schwierigkeiten gegenüber. So verhindert der Anspruch, dynamische Problemlösekompetenz mit realitätsnahen und komplexen Aufgabenstellungen zu erfassen (vgl. z.B. Funke 2003), die Verwendung herkömmlicher Papier-Bleistift-Tests. Computerbasierte Szenarien weisen demgegenüber deutlich bessere Voraussetzungen auf, erreichen aber oft keine befriedigende Reliabilität (vgl. Süß 1996). Für die Diagnostik berufsbezogener Problemlöseleistungen werden meist globale Vorgesetztenurteile verwendet (vgl. z.B. Kersting 2001). Diese Operationalisierung ist diagnostisch wenig überzeugend und Ausdruck dessen, dass testbasierte Erhebungen berufsfachlicher Problemlöseleistungen sehr aufwendig und tätigkeitsvalide Instrumente selten verfügbar sind. Neuere Entwicklungen erweisen sich vor diesem Hintergrund als gewinnbringend: Greiff und Funke (2010) sowie Greiff (im Druck) gelang die Entwicklung computerbasierter Szenarien, die eine reliable und realitätsnahe Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz ermöglichen. Nickolaus et al. (2009) legten mit ihren computersimulierten Arbeitsproben ein inhaltlich und ökologisch valides Instrument zur Erfassung technischer Problemlöseleistungen vor.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird auf diese Instrumente zurückgegriffen, um die Prognosekraft dynamischer Problemlösekompetenz für technische Problemlöseleistungen zu untersuchen. Dazu werden zunächst Besonderheiten des Problemlösens in technischen Anforderungskontexten diskutiert und grundsätzliche Entscheidungen für die Erfassung technischer Problemlöseleistungen getroffen. Anschließend wird das Konzept der dynamischen Problemlösekompetenz vorgestellt und dessen Bedeutung für technische Problemlöseleistungen erörtert. Da sich Fachwissen und Intelligenz bereits an anderer Stelle (vgl. z.B. Gschwendtner 2008) als zentrale Prädiktoren technischer Problemlöseleistungen erwiesen und die Konstrukte „Intelligenz“ und „dynamische Problemlösekompetenz“ deutliche inhaltliche Überschneidung aufweisen, finden auch diese Prädiktoren Berücksichtigung. In einem weiteren Schritt werden die Erkenntnisse zu den Prädiktoren in Modelle zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen integriert und Hypothesen entwickelt, deren Prüfung mit einer Stichprobe gewerblich-technischer Auszubildender (Elektroniker und Kfz-Mechatroniker) erfolgt. Eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse beschließen den Beitrag.

2 Problemlösen in technischen Anforderungskontexten

Von einem Problem wird gewöhnlich dort gesprochen, wo ein Individuum eine Situation als unbefriedigend erlebt und von Problemlösung dann, wenn die unbefriedigende Situation ausgeräumt und der gewünschte Zustand erreicht wurde (vgl. dazu auch Mayer 1997). In der Regel verlangt der Problemlöseprozess das Formulieren eines Ziels und die Aufteilung dieses Ziels in Unterziele (vgl. Anderson 2007). Mithilfe von Operatoren (Handlungsschritten) wird die Ausgangssituation entlang der Unterziele schrittweise solange manipuliert, bis der Zielzustand erreicht, d. h. das Problem gelöst ist (ebd.). Zur Zielerreichung sind also oft mehrere manuelle und mentale Handlungsschritte nötig.

Zusätzlich zu den genannten Problemmerkmalen zeichnen sich technische Problemlösevorgänge durch hohe Zielklarheit aus; der Bekanntheitsgrad der für die Zielerreichung notwendigen Operatoren kann hingegen variieren. In Anlehnung an Dörner (1976) liegen bei technischen Problemen meist Interpolations- und Synthesebarrieren vor. Gemeinsam ist beiden Barrieretypen eine transparente Zielstellung. Dagegen sind die Operatoren zur Zielerreichung nur bei Interpolationsbarrieren bekannt, Synthesebarrieren implizieren die Entwicklung neuer Operatoren. Schachanfänger sind i. d. R. mit Synthesebarrieren konfrontiert, da ihnen zwar die Zielstellung (Schachmatt-Setzen des gegnerischen Königs) bekannt ist, sie die Operatoren (Zugregeln der einzelnen Figuren) aber oft noch entwickeln, d. h. erwerben müssen. Bei geübten Schachspielern liegen dagegen Interpolationsbarrieren vor, denn ihnen sind die Zielstellung und alle Zugregeln bekannt. *Per definitionem* ist bei Interpolationsbarrieren möglich, dass Problemlösen bei ausreichender Übung auch routiniert ablaufen kann. Ob in diesem Fall von Problemlösen oder besser von Aufgabenbewältigung gesprochen werden sollte, wird kontrovers diskutiert: Funke (2003) vertritt die Auffassung, dass sich problemlösendes Denken immer auf das Schließen von Lücken eines Handlungsplans bezieht. Demgegenüber unterscheidet Anderson (2001) nicht zwischen Aufgabenbewältigung und Problemlösen, sondern spricht generell dort von problemlösendem Denken, wo eine unbefriedigende Situation zielgemäß verändert wird. Bei technischen Problemen ist die Unterscheidung zwischen Problem und Aufgabe schwierig, da die vielfältigen beruflichen Lerngelegenheiten ein Urteil darüber erschweren, inwiefern und in welchem Ausmaß dargebotene Probleme und erforderliche Problemlöseschritte bekannt sind. Angesichts dessen birgt das von Funke vertretene Problemverständnis im berufsbildenden Kontext das Risiko, weniger authentische, d. h. weniger inhaltsvalide Aufgaben zu konstruieren; denn bei solchen Aufgaben lässt sich besser abschätzen, ob die Bearbeitung das „Schließen von Lücken“ erfordert. Daher wird hier das Problemverständnis Andersons herangezogen, demzufolge auch routiniertes Problemlösen denkbar ist. Diese Positionierung befreit davon, Mutmaßungen über den Bekanntheitsgrad von Problemen anzustellen. Damit treten bei der Konstruktion von technischen Problemlöseaufgaben Fragen nach typischen und leistungskritischen Anforderungssituationen in den Vordergrund. Bei der Erfassung technischer Problemlöseleistungen ist also zunächst eine Entscheidung darüber zu treffen, auf welche Anforderungssituationen sich die Probleme beziehen sollen.

Technische Anforderungssituationen umfassen einerseits konstruktive und andererseits analytische Problemtypen (vgl. Nickolaus 2011). Bei konstruktiven Problemen sind für gegebene Problemstellungen geeignete Lösungsansätze eigentätig zu entwickeln. Typisch für diesen Problemtyp sind Tätigkeiten wie z. B. die Entwicklung eines Bremsystems für ein Fahrzeug, das technischen Ansprüchen, dem Komfortwunsch des Kunden usw. genügt. Im Gegensatz zu konstruktiven Problemen verlangen analytische Probleme meist die Analyse gegebener technischer Systeme mit dem Ziel der Funktionsprüfung und Fehlerdiagnose. Technische Anforderungen beziehen sich aber nicht nur auf unterschiedliche Problemtypen, sondern auch auf verschiedene Tätigkeitsfelder, die sich hinsichtlich Komplexität, notwendiger Arbeitsmittel, inhaltlicher Anforderungen usw. deutlich unterscheiden können.

In empirischen Untersuchungen haben sich in technischen Berufen Fehlerdiagnosen (analytischer Problemtyp) als typische und leistungskritische Problemstellungen heraus-

kristallisiert (vgl. z. B. Morrison et al. 1997; Spöttl et al. 2011). Gemessen an den Ausbildungszahlen repräsentieren der Kraftfahrzeug- und Elektroniksektor sehr bedeutsame Tätigkeitsfelder (BMBF 2011b). Aufgrund dieser Gegebenheiten werden technische Problemlöseleistungen hier anhand typischer Fehlerdiagnoseaufgaben (analytischer Problemtyp) aus dem Kraftfahrzeug- und Elektroniksektor (Tätigkeitsfelder) erfasst. Obwohl damit ein wichtiger Problemtyp und zentrale Tätigkeitsfelder abgedeckt sind, ist zu betonen, dass der im Folgenden verwendete Begriff „technische Problemlöseleistung“ vor dem Hintergrund der getroffenen Entscheidungen zu verstehen ist und die gegenwärtige Befundlage keine belastbaren Aussagen darüber erlaubt, inwieweit abweichende Operationalisierungen zu anderen Erkenntnissen führen.

Anhand einer komplexen Problemstellung aus dem Kraftfahrzeugsektor, die auch im später erläuterten Test zur Erfassung technischer Problemlöseleistung enthalten ist, seien die bisherigen Ausführungen sowie situative und kognitive Anforderungen der hier relevanten Problemstellungen exemplarisch veranschaulicht (vgl. dazu auch die Ausführungen von Nickolaus 2011): Beim erwähnten Problem geht es um ein Fahrzeug, das nicht mehr gestartet werden kann (unbefriedigender Ausgangszustand). Die Aufgabenstellung für die Probanden besteht darin, die Funktionstüchtigkeit des Fahrzeugs wieder herzustellen (transparenter Zielzustand). Für die Zielerreichung sind mehrere Handlungsschritte entlang gebildeter Unterziele durchzuführen; bei Interpolationsbarrieren sind die einzelnen Operatoren (Handlungsschritte) bekannt, bei Synthesebarrieren hingegen situativ zu entwickeln.

Zu Beginn der Fehleranalyse müssen dem Arbeitsauftrag relevante Informationen entnommen werden (Beschreibung des Fehlzustands und Informationen zum Fahrzeug) und es ist zu prüfen, ob der geschilderte Fehlzustand (Fahrzeug startet nicht) tatsächlich vorliegt. Falls sich der Fehlzustand nicht auf einfache Gründe zurückführen lässt (z. B. „leere“ Batterie), wird die Fehlerdiagnose durch ein computerbasiertes Expertensystem unterstützt. Im vorliegenden Fall liefert das Expertensystem die Erkenntnis, dass das Problem vermutlich mit dem Drehzahlsensor zu tun hat und es zeigt Möglichkeiten der Fehlerdiagnose auf. Damit übernimmt es die Hypothesenformulierung und die Fehlerdiagnose beschränkt sich auf die Prüfung vorgeschlagener Hypothesen. Trotz dieser Entlastung durch das Expertensystem kann der Diagnosevorgang komplexe kognitive Anforderungen stellen, da für die Hypothesenprüfung verschiedene Informationen verknüpft werden müssen. Dabei wird einerseits auf Langzeitwissen zurückgegriffen, andererseits sind den im Expertensystem hinterlegten Plänen und Texten relevante Informationen zu entnehmen und diese mit dem Langzeitwissen in ein mentales Modell zu integrieren, das eine zielführende Hypothesenprüfung ermöglicht. Bei der Hypothesenprüfung werden oft elektrotechnische Messungen durchgeführt, die ermittelten Messwerte interpretiert und darauf aufbauend ist zu entscheiden, ob die untersuchte Hypothese zutrifft oder nicht. Bestätigt sich die Hypothese, werden entsprechende Reparaturmaßnahmen eingeleitet. Da bei der besprochenen Problemstellung die vom Expertensystem vorgegebenen Prüfhypothesen nicht zur Fehleridentifikation führen, sind unter Nutzung externer Informationsquellen und Langzeitwissens eigenständig Hypothesen zu entwickeln und wiederum zu prüfen. An diesem, aus dem Kraftfahrzeugbereich stammenden Beispiel werden vier zentrale Arbeitsschritte der technischen Fehlerdiagnose erkennbar, die prinzipiell auch für den Elektroniksektor gelten: 1) Erfassung des technischen Fehlzustands

stands; 2) Hypothesenformulierung; 3) Hypothesenprüfung; 4) eindeutige Fehleridentifikation und Einleitung geeigneter Reparaturmaßnahmen, wobei Reparaturarbeiten meist weniger leistungskritisch sind (vgl. Morrison et al. 1997; Gschwendtner et al. 2010). Es dürfte kaum nötig sein, den beschriebenen Vorgang weiter auszudifferenzieren, um deutlich zu machen, dass der Diagnoseerfolg besonders von spezifischem Vorwissen abhängt. Inwiefern bei diesem Vorgang auch dynamische Problemlösekompetenzen bedeutsam sind, wird im nächsten Abschnitt thematisiert.

3 Dynamische Problemlösekompetenz und ihre Bedeutung für technische Problemlöseleistungen

Da im Weiteren teilweise auch Erkenntnisse zum allgemeinen Problemlösen referiert werden, ist zunächst darauf hinzuweisen, dass dynamisches Problemlösen eine zentrale Facette allgemeinen Problemlösens darstellt. In Anlehnung an Beckmann und Guthke (1995) sowie Buchner (1995) kann dynamisches Problemlösen als ein in der Hauptsache kognitiver Prozess verstanden werden, der sich auf einen extern gegebenen Variablenraum bezieht. Die Variablen zeichnen sich durch nicht unmittelbar ersichtliche kausale Beziehungen untereinander aus. Mit diesen Variablen muss der Problemlöser interaktiv und dynamisch in Beziehung treten, um einen gewünschten Zielzustand zu erreichen. Aus diesem Begriffsverständnis lassen sich für dynamisches Problemlösen drei charakteristische Anforderungen auf Individuenseite ableiten, die im Umgang mit komplexen dynamischen Problemen relevant, nicht aber auf diese beschränkt sind (vgl. auch Dörner 1986; Mayer und Wittrock 2006): 1) Am Beginn der Problemlösung steht die Beschaffung fehlender, aber für die Problemlösung notwendiger Informationen (*Informationsgenerierung*); 2) die Informationen über das Problem sind in ein mentales Modell zu integrieren, das die Elemente und Zusammenhänge des Systems adäquat abbildet (*Modellbildung*); 3) aufgrund der Systemdynamik sind abhängig von bereits getroffenen Maßnahmen sowie dem aktuellen Systemzustand angemessene Eingriffe in das System zu tätigen (*Prognose*; vgl. Greiff im Druck). Mindestens vier Gründe sprechen dafür, dass der beschriebene Prozess und somit auch die auf Personenseite implizierten Kompetenzen für technische Problemlöseleistungen relevant sind.

1. *Anforderungsanalytisches Argument*: Auf die oben erwähnten, zentralen Arbeitsschritte der technischen Fehlerdiagnose bezogen dürften sich dynamische Problemlösekompetenzen v. a. bei jenen Tätigkeiten bemerkbar machen, bei denen externen Quellen (z. B. dem computerbasierten Expertensystem) interaktiv Informationen zu entnehmen sind (*Informationsgenerierung*), diese Informationen zur Hypothesenformulierung und -prüfung in ein handlungsleitendes mentales Modell integriert werden müssen (*Modellbildung*) und ausgehend von diesem Modell konkrete Prüfhypothesen zu entwickeln und durch Eingriff in das technische System zu prüfen sind (*Prognose*).
2. *Fachdidaktisches Argument*: Berufs- und wirtschaftspädagogische Intentionen, im Rahmen beruflicher Bildung dem Aufbau „trägen Wissens“ (vgl. z. B. Renkl 1996) entgegenzuwirken und verstärkt auf die Vermittlung praxisbezogener Handlungskompetenz zu setzen, stießen kontrovers geführte Debatten darüber an, wie Hand-

lungskompetenz erreicht werden kann (vgl. z.B. Baethge et al. 2006). Achtenhagen und Baethge (2007) kommen auf Basis einer internationalen Machbarkeitsstudie zu einem Large Scale Assessment in der beruflichen Bildung zu dem Ergebnis, dass qualitativ hochwertiges berufliches Handeln und damit auch berufsfachliches Problemlösen v. a. berufsspezifische Kompetenzen voraussetzt. Zudem betonen sie den Stellenwert individueller Regulationsfähigkeit für berufliche Handlungsprozesse. Als einen Bestandteil dieser Regulationsfähigkeit nennen sie allgemeine Kompetenzen, die auf „Problemlösungsverhalten“ zielen (ebd., S. 53). Auch Reetz (1999) verweist auf die Relevanz allgemeiner Problemlösekompetenz im Hinblick auf berufsspezifisches Handeln und Problemlösen. Exemplarisch dokumentieren die zitierten Aufsätze, die häufig im berufsbildenden Kontext getroffene Annahme, dass allgemeine Problemlösekompetenzen berufsfachliches Problemlösen begünstigen.

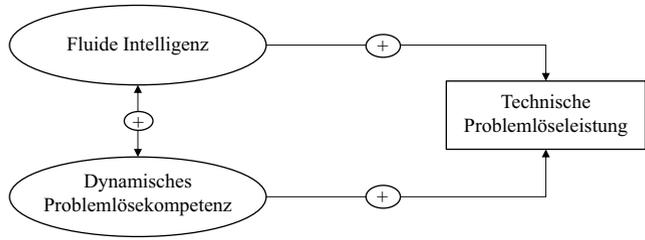
3. *Kognitionspsychologisches Argument:* In theoretischen und empirischen Arbeiten zur *Adaptive Control of Thought-Rational (ACT-R)* Theorie zum Fertigkeitserwerb zeigte sich, dass spezifische Problemlöseleistungen insbesondere von aufgabenspezifischem Wissen, aber auch von allgemeinen kognitiven Fähigkeiten abhängen, die dem Aufbau und der Umsetzung dieses Wissens dienen (einen Überblick zur Theorie und zu einschlägigen Befunden gibt Anderson 2007). Da sich die Aspekte *Modellbildung* und *Prognose* auf Wissenserwerb bzw. auf die Fähigkeit beziehen, erworbenes Wissen anzuwenden, stellt die Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz einen aussichtsreichen Ansatz dar, um diese allgemeinen kognitiven Fähigkeiten diagnostisch zu „fassen“. Auf die Bedeutsamkeit von Aspekten wie Modellbildung für spezifische Problemstellungen weisen auch Novick et al. (1999) hin, die zeigen konnten, dass abstrakte Repräsentationen eines Problems (z.B. in einem mentalen Modell) hilfreicher für die Lösung neuer Probleme sind als spezifische Problembeispiele.
4. *Empirisches Argument:* Zum Zusammenhang von dynamischem und technischem Problemlösen liegen unseres Wissens keine empirischen Evidenzen vor. Aus anderen Kontexten verfügbare Befunde erlauben aber zumindest eine erste Einschätzung. In der von Leutner et al. (2004) vorgelegten Studie korrelierte dynamische Problemlösekompetenz mittelstark mit naturwissenschaftlicher Kompetenz ($r=0.38$). Kersting (2001) stellte zwischen allgemeinen Problemlösekompetenzen und beruflichen Problemlöseleistungen ebenfalls eine mittlere Korrelation ($r\sim 0.30$) fest. Angesichts der dünnen Befundlage wiegt das empirische Argument vermutlich am leichtesten. Dennoch sprechen die Befunde eher für den vermuteten Zusammenhang und keinesfalls dagegen. Kersting (2001) kommt in seinem Beitrag allerdings auch zu dem Schluss, dass Fachwissensleistungen und Intelligenzniveau letztlich die entscheidenden Prädiktoren fachspezifischer Problemlöseleistungen sind und er zweifelt an dem diagnostischen „Mehrwert“ und der empirischen Eigenständigkeit allgemeiner Problemlösekompetenz gegenüber Intelligenz.

4 Entwicklung von Modellen zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen

Die von Kersting (2001) präsentierten Befunde werfen folgende Fragen auf: 1) Lässt sich dynamische Problemlösekompetenz empirisch von Intelligenz unterscheiden? 2) Weist dynamische Problemlösekompetenz bei der Vorhersage technischer Problemlöseleistungen inkrementelle Validität gegenüber Intelligenz auf? 3) Welchen Einfluss hat die Integration des Fachwissens auf den Zusammenhang zwischen dynamischer Problemlösekompetenz und technischer Problemlöseleistung?

1. Das Intelligenzniveau diagnostizierten wir analog zu anderen berufsbildenden Studien (vgl. z.B. Lehmann und Seeber 2007) mit einem kulturfairen Grundintelligenztest (CFT-20 R, Weiß 2006), der das fluide Intelligenzniveau erfasst. Fluide Intelligenz stellt ein Kernelement des Konstrukts „Intelligenz“ dar (vgl. Ackerman und Lohmann 2006; Cattell 1987) und ist in besonders hoher Weise mit dem Konzept eines psychometrischen *g*-Faktors (Allgemeine Intelligenz) assoziiert (McGrew 2009). Horn und Noll (1997) führen aus, dass fluide Intelligenz mit der Fähigkeit korrespondiert, wie erfolgreich in neuen Situationen Beziehungen zwischen Informationseinheiten erkannt, damit implizierte Konsequenzen abgewogen und davon abhängig situationsadäquate Schlüsse gezogen werden können. Trotz unstrittiger Überlappungen (vgl. Greiff, im Druck) besteht zwischen fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz insofern ein Unterschied, als eine Interaktion mit einer dynamischen Umwelt im Konzept fluider Intelligenz nicht vorgesehen ist: Aufgaben zur Messung fluider Intelligenz sind statisch, d.h. alle notwendigen Informationen können der Aufgabenstellung von Beginn an und direkt entnommen werden (Raven 2000). Vor diesem Hintergrund gehen wir in Übereinstimmung mit der von Wenke et al. (2005) vorgenommenen Bilanzierung des Forschungsstands einerseits von der empirischen Eigenständigkeit dynamischer Problemlösekompetenz und andererseits von einer deutlichen Korrelation beider differenzieller Konstrukte aus (vgl. zum Zusammenhang beider Konstrukte auch Süß 1996).
2. Aufgrund der vermuteten deutlichen Korrelation ist offen, ob die zwischen dynamischer Problemlösekompetenz und technischer Problemlöseleistung erwartete Korrelation letztlich nicht auf fluide Intelligenz zurückgeführt werden kann, deren gute Vorhersagekraft für berufliche Leistungen (vgl. z. B. Levine et al. 1996; Schmidt und Hunter 1998) und technische Problemlöseleistungen (vgl. Gschwendtner 2008) hinlänglich bekannt ist. Angesichts der im Abschn. 3 besprochenen Argumente nehmen wir hier allerdings an, dass dynamische Problemlösekompetenz unabhängig von fluider Intelligenz Varianz technischer Problemlöseleistungen erklärt (vgl. Abb. 1).
3. Ebenfalls sind keine Befunde dazu verfügbar, ob dynamische Problemlösekompetenz gegenüber Fachwissen inkrementell valide ist. Mit Fachwissen ist hier explizites, d.h. verbalisierbares und damit mit einem Papier-Bleistift-Test erfassbares Wissen gemeint, das Faktenwissen sowie Wissen über und Verständnis von Funktion und Zusammenhängen technischer Systeme und Abläufe beinhaltet. Mehrfach erwies sich in diesem Sinne erfasstes Fachwissen als wichtiger Prädiktor technischer Problemlöseleistungen (r zwischen 0.30 und 0.50; vgl. Kyllonen und Woltz 1989; Kyllonen und Stephens 1990). In regressionsanalytischen Modellen zur Erklärung

Abb. 1: Vorhersagemodell technischer Problemlöseleistung unter Einbezug der Prädiktoren *fluide Intelligenz* und *dynamische Problemlösekompetenz*



technischer Fachleistungen hat sich das Fachwissensniveau sogar wiederholt als bester Prädiktor herausgestellt, fluide Intelligenztestleistungen erwiesen sich dagegen oft als nicht inkrementell valide, wobei Intelligenzniveau und Fachwissensstand deutlich korrelierten (vgl. z. B. Knöll 2007). In Anlehnung an die pfadanalytische Untersuchung von Schmidt et al. (1986) bietet sich folgende Modellierung der erwähnten Zusammenhänge an: Zwischen fluider Intelligenz und Fachwissen besteht ebenso ein direkter Zusammenhang wie zwischen Fachwissen und technischer Problemlöseleistung. Fluide Intelligenz ist also über den Fachwissensstand indirekt, aber nicht direkt mit technischen Problemlöseleistungen assoziiert, d. h. Fachwissen fungiert als Mediatorvariable. Erklärt wird der indirekte Effekt für gewöhnlich damit, dass das Intelligenzniveau den Fachwissenserwerb beeinflusst und sich damit über Fachwissen indirekt auch auf berufliche Leistungen auswirkt (vgl. z. B. Schmidt et al. 1986; Schmidt und Hunter 2004). Offen ist, ob sich hinsichtlich dynamischer Problemlösekompetenz ähnliche Zusammenhänge zeigen. Da sowohl der Wissenserwerb als auch die Wissensumsetzung Teil dynamischer Problemlösekompetenz sind, ist einerseits ein Zusammenhang zwischen technischem Fachwissen und dynamischer Problemlösekompetenz zu erwarten, andererseits sollte dynamisches Problemlösen auch bei der situativen Wissensgenerierung und -umsetzung, d. h. jenseits des spezifischen Vorwissens bzw. Fachwissens für technische Problemlöseleistungen bedeutsam sein (vgl. Abb. 2). Für den direkten Effekt dynamischer Problemlösekompetenz spricht insbesondere, dass bei den untersuchten technischen Problemstellungen – wie oben beschrieben – die Hypothesenformulierung und -prüfung auch auf der interaktiven und systematischen Nutzung der in der Situation gegebenen externen Informationsquellen basiert. Aufgrund der zentralen Bedeutung spezifischen Vorwissens ist allerdings auch zu erwarten, dass dieser direkte Effekt hinter dem des Fachwissens zurückbleibt (vgl. Abb. 2).

5 Hypothesen

Im Anschluss an die dargestellten Modelle lassen sich zum empirischen Verhältnis dynamischer Problemlösekompetenz, fluider Intelligenz, technischen Fachwissens und technischer Problemlöseleistung folgende Hypothesen formulieren:

H1: Zwischen dynamischer Problemlösekompetenz und fluidem Intelligenzniveau besteht eine mittlere bis starke Korrelation. Beide Konstrukte sind jedoch diskriminativ valide, d. h. empirisch voneinander unterscheidbar.

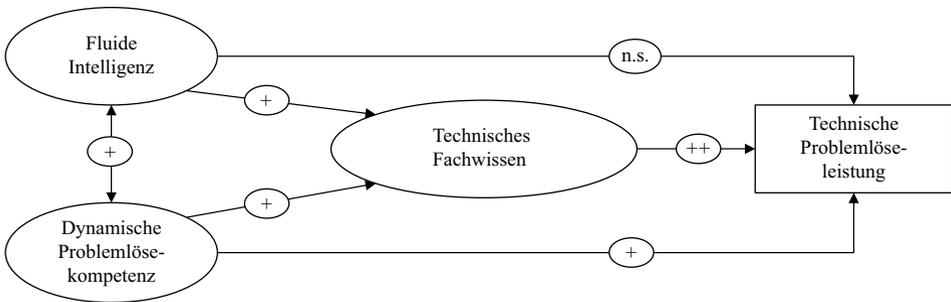


Abb. 2: Vorhersagemodell *technischer Problemlöseleistung* unter Einbezug der Prädiktoren *fluide Intelligenz*, *dynamische Problemlösekompetenz* und *technisches Fachwissen*

- H2:** a) Dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz sind gute Prädiktoren technischer Problemlöseleistungen, d. h. es werden mindestens mittelstarke Korrelationen zwischen den Prädiktoren und dem Kriterium erwartet. b) Darüber hinaus weist dynamische Problemlösekompetenz bei der Vorhersage technischer Problemlöseleistung inkrementelle Validität gegenüber fluider Intelligenz auf (vgl. Abb. 1).
- H3:** a) Technisches Fachwissen weist von allen untersuchten Prädiktoren die höchste Prognosekraft auf. b) Bei der zusätzlichen Integration technischen Fachwissens wird im Falle dynamischer Problemlösekompetenz weiterhin ein direkter Effekt und über Fachwissen auch ein indirekter Effekt auf technische Problemlöseleistung erwartet (vgl. Abb. 2). c) Hinsichtlich fluider Intelligenz wird ausschließlich ein Mediatoreffekt angenommen, d. h. fluide Intelligenz wirkt indirekt über Fachwissen auf technische Problemlöseleistungen (vgl. Abb. 2).

Wie im nächsten Abschnitt ausgeführt wird, werden zur Prüfung der genannten Hypothesen zwei Stichproben herangezogen. Wir gehen davon aus, dass die Hypothesen in beiden Stichproben Gültigkeit besitzen.

6 Methode

6.1 Stichprobe

Für die Prüfung der Hypothesen wurde auf Daten eines Forschungsprojekts zur Kompetenzmodellierung und Kompetenzentwicklung in der gewerblich-technischen Ausbildung zurückgegriffen.¹ Die Daten basieren auf 217 Auszubildenden; 88 dieser ausschließlich männlichen Probanden gehören dem Ausbildungsberuf *Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik* an und 129 erlernen den Beruf *Kfz-Mechatroniker*. Den betrieblichen Teil der dualen Ausbildung absolvieren die einbezogenen Auszubildenden in baden-württembergischen Handwerksbetrieben. Im Durchschnitt waren die Testpersonen 20.1 Jahre alt ($SD=2.1$), 40.5% haben einen Hauptschulabschluss, 55.5% einen Realschul- und 4% eine Hochschulreife erworben.

6.2 Instrumente

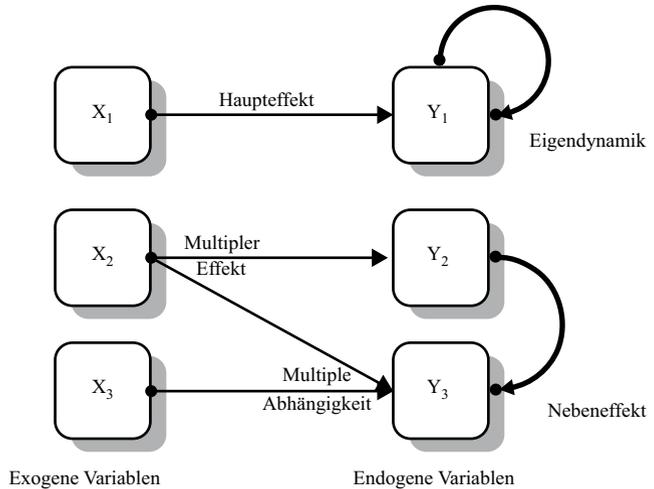
Da dynamische Problemlösekompetenz und technische Problemlöseleistungen im Fokus dieses Beitrags stehen und die Diagnostik dieser Leistungsbereiche mit innovativen Testformaten erfolgte, wird darauf ausführlicher eingegangen. Die Papier-Bleistift-Tests zur Erhebung fluider Intelligenz und technischen Wissens werden nur kurz thematisiert.

6.2.1 Dynamische Problemlösekompetenz

MicroDYN-Ansatz. Dynamische Problemlösekompetenz wurde über den MicroDYN-Ansatz erfasst (vgl. Greiff, *im Druck*; Greiff, und Funke 2010), der auf dem Formalismus linearer Strukturgleichungsmodelle beruht (vgl. Funke 2001) und beliebige fiktive oder reale Systemstrukturen in variierender semantischer Einbettung modelliert. Im Rahmen dieses Ansatzes sind Probanden mit unbekanntem Systemen in Form kleiner Computersimulationen konfrontiert. Die Variablen dieser Systeme sind untereinander vernetzt, wobei diese Vernetzung für die Probanden zunächst nicht ersichtlich ist. Die Aufgabenstellung besteht darin, über die 1) Eingabe adäquater Werte in das System und daraus resultierenden Systemreaktionen 2) die Systemstruktur zu erschließen und das System anschließend 3) zielgerichtet zu steuern. Um messtheoretisch angemessene Kennwerte ableiten zu können, wurde eine testtheoretisch hinreichende Zahl unabhängiger minimal komplexer Systeme (Items) mit einer Bearbeitungszeit von 5 min pro Item vorgegeben. Jedes Item wurde den obigen Anforderungen (1) bis (3) entsprechend in drei aufeinander folgenden Phasen bearbeitet: 1) Informationsgenerierung während der Explorationsphase über die individuell eingegebenen Werte und die dabei angewandte Systematizität im Sinne einer Explorationsstrategie; 2) Modellbildung über die explizite Repräsentation der Problemsituation anhand eines direkt am Computer eingezeichneten Kausaldiagramms (vgl. Funke 2001) (3.5 min für (1) und (2) kombiniert); 3) Prognose über die Erreichung extern vorgegebener Soll-Werte innerhalb eines Systems (1.5 min) (Speed- und Powerstest).

Hinsichtlich der unterschiedlichen zur Anwendung kommenden Systemstrukturen in MicroDYN lassen sich exogene (unabhängige) und endogene (abhängige) Variablen voneinander unterscheiden. Die exogenen Variablen können im Gegensatz zu den endogenen Variablen aktiv manipuliert werden. Denkbare Verknüpfungen zwischen den Variablen sind Haupteffekte, multiple Effekte, multiple Abhängigkeiten, Eigendynamiken und Nebeneffekte. *Haupteffekte* beschreiben kausale Relationen einer exogenen auf eine endogene Variable. Wirkt eine exogene Variable auf mehrere endogene, wird von einem *multiplen Effekt* gesprochen. Wird umgekehrt eine endogene Variable von mehreren exogenen beeinflusst, wird dies *multiple Abhängigkeit* genannt. Diese drei Effekte können aktiv manipuliert werden. Wirkt eine endogene Variable auf andere endogene, ist dies ein *Nebeneffekt*. Wirkt sie hingegen auf sich selbst (mit einem Gewicht $\neq 1$), wird dieser Spezialfall eines Nebeneffektes *Eigendynamik* (als Wachstums- oder Schrumpfungsprozess) genannt. Nebeneffekt und Eigendynamik können nicht aktiv manipuliert, aber über die Verwendung adäquater Strategien entdeckt werden. Abbildung 3 zeigt ein typisches MicroDYN-Item, in dem alle Effekte illustriert werden.

Abb. 3: Struktur eines Micro-DYN-Items mit drei exogenen, drei endogenen Variablen und fünf Effektqualitäten



Scoring. Zur Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz wurden die drei Facetten separat für jedes System ausgewertet. Eine 1) systematische Exploration im Sinne der Vary one thing at a time-Strategie (VOTAT-Strategie) beschreibt insofern eine optimale Informationsgenerierung, als lediglich eine exogene Variable zu einem Zeitpunkt variiert wird und damit Veränderungen in den endogenen Variablen direkt auf die Wirkung einer exogenen Variable zurückgeführt werden können (vgl. Vollmeyer und Rheinberg 1999). Gesah dies während der Exploration für alle exogenen Variablen mindestens einmal, wurde diese Facette mit 1, andernfalls mit 0 kodiert. Für die 2) Modellbildung wurde das von den Problemlösern gezeichnete Modell zu der tatsächlich zugrundeliegenden Systemstruktur in Beziehung gesetzt. Folgende Kategorien wurden abgeleitet: a) korrekt, b) 1 oder 2 Abweichungen, c) mehr als 2 Abweichungen. In ähnlicher Weise erfolgte die Kategorisierung der 3) Prognoseleistung in 3 Kategorien: a) das Erreichen der vorgegebenen Zielwerte, b) die Annäherung an diese sowie c) die Konstanz oder Erhöhung der Zieldistanz. Detaillierte Informationen zum Ansatz und zum Scoringverfahren finden sich bei Greiff (im Druck).

6.2.2 Technische Problemlöseleistung

Technische Problemlöseleistungen wurden in beiden untersuchten Stichproben (Kfz-Mechatroniker und Elektroniker) über berufsspezifische computersimulierte Arbeitsproben erfasst (vgl. Nickolaus et al. 2009; Nickolaus et al. 2011). Bevor diese Arbeitsproben näher besprochen werden, wird deren inhaltliche und ökologische Validität am Beispiel der für die Kfz-Computersimulation durchgeführten Validierungsstudie verdeutlicht (vgl. Gschwendtner et al. 2009).

Validität des Testformats computersimulierte Arbeitsprobe. In der erwähnten Validierungsstudie wurden auf der Basis von Expertenbefragungen verschiedene Kfz-Diagnoseaufgaben entwickelt. Die Darbietung der Aufgaben fand in einer die reale Berufsumwelt

Abb. 4: Screenshot der Computersimulation zur Erfassung technischer Problemlöseleistungen bei Kfz-Mechatronikern (Motorraumübersicht)



ausschnitthaft abbildenden Computersimulation statt. Zur Veranschaulichung der Simulation sei auf Abb. 4 verwiesen. Zu sehen sind u. a. der Motorraum sowie diverse per Mausclick zu aktivierende und authentisch nachgebildete Elemente: Über die Symbole der linken oberen Ecke sind bspw. verschiedene Messgeräte, über das ESI[tronic]-Symbol links unten ist das Expertensystem verfügbar, dem interaktiv diagnoserelevante Informationen entnommen werden können.

Bei der Aufgabenbearbeitung erhielten die Testpersonen zunächst über den Arbeitsauftrag (unten dargestellt) wichtige, das technische Problem betreffende Informationen. Anschließend konnten sie analog zum Berufsalltag die vorgegebenen technischen Fehlzustände anhand von Sicht- sowie akustischen Prüfungen und elektrotechnischen Messungen systematisch eingrenzen.

Für die Untersuchung der ökologischen Validität des Testformats wurden die Probanden sowohl mit computersimulierten als auch realen Aufgaben (am Fahrzeug) konfrontiert. Die Analysen zeigten, dass die Leistungen beider Bereiche (real vs. simuliert) gut und am besten zu einem eindimensionalen Modell passten und beide Testbereiche sehr hoch korrelierten (latente Korrelation von $r=0.94$, vgl. Nickolaus et al., [im Druck](#)).

Verwendete Testmaterialien. Die Kfz-Simulation umfasst 15 Problemstellungen, die den Inhaltsbereichen Motormanagement und Beleuchtungsanlage angehören. Konfrontiert wurden die Probanden bspw. mit Aufgaben, die das Diagnostizieren defekter Fahrzeugkomponenten (z.B. defekter Sensor) oder eines Kabelbruchs (z.B. infolge eines Marderschadens) verlangten. Die Skalierung der Items belegte deren Raschkonformität (kein signifikant schlechter Fit einzelner Items, Weighted Mean Square >0.85 bzw. <1.15 ; $T < 1.96$); sie zeigte allerdings auch, dass die diagnostizierten technischen Problemlöseleistungen von einem ernstzunehmendem Messfehleranteil überlagert wurden (EAP/PV-Reliabilität $=0.55$). Dies dürfte auch ein Resultat der Anforderungsheterogenität realer Aufgabenstellungen, d. h. der Heterogenität des erfassten Konstrukts sein (vgl. Kane 2010).

Die bei den *Elektronikern* eingesetzte Computersimulation wird ausführlich von Nickolaus et al. (2011) diskutiert. Obwohl – wie eingangs bereits erläutert – die Fehlerdiagnosen im Elektronik- und Kraftfahrzeugbereich einander sehr ähneln, sei auf einen Unterschied hingewiesen: Während die Hypothesenformulierung bei der Bearbeitung der Kfz-Problemstellungen teilweise durch ein computerbasiertes Expertensystem unterstützt wurde, verlangten die Problemstellungen bei den Elektronikern durchweg eine selbstständige Hypothesenformulierung, in die meist aber auch extern gegebene Informationen (z. B. aus Stromlaufplänen) einfließen. Die Reliabilität fiel aus dem oben bereits genannten Grund auch hier erwartungsgemäß eher gering aus (vgl. ebd.).

Da technische Problemstellungen angemessener Komplexität längere Bearbeitungszeiten verlangen, erhielten die Probanden pro Aufgabe (Kfz-Mechatroniker) bzw. pro elektrotechnisches System (Elektroniker) eine Bearbeitungszeit von 30 min (Powerstest). Bei den Kfz-Mechatronikern führte diese zeitintensive Diagnostik dazu, dass die Auszubildenden 4–5 Problemstellungen bearbeiteten, die Elektroniker bearbeiteten aufgrund eines anderen Testzuschnitts dagegen 15 Items.

Scoring. Das Scoring erfolgte auf Basis schriftlich erstellter Arbeitsdokumentationen. Für die Korrektur wurde zunächst ein Leitfaden erarbeitet, anschließend fand von zwei Ratern ein unabhängiges, in der Regel dichotomes Rating der Aufgaben statt. In seltenen Fällen abweichender Ratings wurde über Diskussionen im Konsens geratet.

6.2.3 *Fluide Intelligenz*

Aufgrund des zeitlichen Aufwands bei der Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz und technischer Problemlöseleistung wurde fluide Intelligenz nur mit dem ersten Testteil des CFT 20-R diagnostiziert (vgl. Weiß 2006). Der damit verbundene Reliabilitätsverlust (die Reliabilität des Gesamttests beträgt $r_{tt}=0.95$, die des ersten Testteils $r_{tt}=0.92$) scheint ebenso vertretbar wie die Einbuße an prognostischer Validität (vgl. ebd.). Erhoben wurde fluide Intelligenz anhand der Subtests *Reihenfortsetzen*, *Klassifikationen*, *Matrizen* und *Topologien*.

6.2.4 *Technisches Fachwissen*

Technisches Wissen wurde ebenso wie die technischen Problemlöseleistungen berufsspezifisch erfasst (eine ausführliche Diskussion der Wissenstests findet sich bei Gschwendtner 2011; Nickolaus et al. 2011). Bei den *Elektronikern* kamen die Subskalen *traditionelle Installationstechnik*, *elektrotechnische Grundlagen* sowie *Steuerungs-/moderne Installationstechnik*, bei den Kfz-Mechatronikern die Subtests *Service*, *Motor*, *Motormanagement*, *Start/Strom/Beleuchtung*, *Kraftübertragung* und *Fahrwerk* zum Einsatz. Mit den Tests wurden explizites Faktenwissen sowie Wissen über und Verständnis von Funktion und Zusammenhängen technischer Systeme und Abläufe abgeprüft.

6.3 Datenerhebung

Die Testung der Auszubildenden fand kurz vor Ausbildungsende in kooperierenden Schulen im Klassenverbund statt, wobei die Erhebung fluider Intelligenz, technischen Fachwissens und dynamischer Problemlösekompetenz an einem anderen Tag erfolgte als die der technischen Problemlöseleistung. Bei der *Intelligenztestung* wurde den im CFT 20-R-Manual gegebenen Testinstruktionen und -zeiten gefolgt (Speed- und Power-Test). Die Bearbeitungszeit der *Fachwissenstests* war mit 90 min so bemessen, dass ausreichend Zeit zur Verfügung stand (Power-Test).

Dynamische Problemlösekompetenz und *technische Problemlöseleistung* wurden in Computerräumen ebenfalls als Klassentestung erhoben. Zur Einführung in die Computersimulationen erhielten die Probanden eine ausführliche Instruktion, die im Falle dynamischer Problemlösekompetenz ca. 15 min dauerte und 2 Übungssysteme beinhaltete. Die Instruktion für die Erfassung der technischen Problemlöseleistungen dauerte ca. 30 min. Das Ziel der Instruktionen bestand darin, mit der Simulation und den Aufgaben vertraut zu machen und computerspezifische Hindernisse auszuräumen. Infolge anderer mit dem Forschungsprojekt verbundenen Fragestellungen erfolgte die berufsspezifische Problemlösedagnostik bei den Kfz-Mechatronikern mit einem Multi-Matrix-Design, das von Gschwendtner (2011) näher beschrieben wird.

6.4 Statistische Analyse

Zur Untersuchung der diskriminanten Validität fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz (H1) bieten sich insbesondere konfirmatorische Faktorenanalysen an. Dazu wird unter Einbezug beider Berufsgruppen zunächst ein zweidimensionales Eingruppenmodell einem eindimensionalen Modell gegenübergestellt. Anschließend wird anhand berufsspezifischer Zweigruppenmodelle die Stabilität der gewonnenen Erkenntnisse untersucht (vgl. z. B. Brown 2006).

Aufgrund des starken fachlichen Bezugs enthielten die berufsspezifischen Testmaterialien keine gemeinsamen Items, weshalb eine gemeinsame Auswertung beider Berufe nicht möglich ist. Problematisch ist dies insofern, als die mit einer Stichprobenspezifischen Prüfung von H2 und H3 einhergehende Fallreduktion den Einsatz komplexer statistischer Verfahren erschwert. Da es in diesem Beitrag eher um das empirische Verhältnis von Konstrukten als um eine auswahlpraktische Fragestellung geht, ist eine messfehlerbereinigte (d. h. latente) Untersuchung von H2 und H3 mit Strukturgleichungsmodellen besonders angezeigt.² Natürlich sind die Stichprobengrößen bei der Ergebnisinterpretation entsprechend zu berücksichtigen, wobei gruppenspezifische Analysen im Falle konsistenter Ergebnisse die Belastbarkeit der Befunde auch erhöhen können.

Bei den im Rahmen von H3 zu untersuchenden Mediatoreffekten handelt es sich meist nicht um normalverteilte Größen; der Einsatz konventioneller Signifikanztests ist daher problematisch. In Anlehnung an MacKinnon et al. (2004) wurde die statistische Bedeutsamkeit der Mediatoreffekte deshalb zusätzlich mithilfe von Konfidenzintervallen überprüft, die auf der Basis bias-korrigierter Bootstraps (1.000 Bootstrap-Stichproben) geschätzt wurden.

Für die Beurteilung der Modellgüte wurde auf den CFI (*comparative fit index*), den RMSEA (*root mean square error of approximation*) und den SRMR (*standardized root mean square residual*) zurückgegriffen (gute Passung: $CFI > 0.90$, $RMSEA \leq 0.08$ und $SRMR \leq 0.10$ und sehr gute Passung: $CFI > 0.95$, $RMSEA \leq 0.05$ und $SRMR \leq 0.05$; vgl. Hu und Bentler 1999; Schermelleh-Engel et al. 2003). Für den Umgang mit den wenigen, unsystematisch fehlenden Werten wurde die *Full Information Maximum Likelihood*-Methode verwendet (vgl. Lüdtke et al. 2007). Die deskriptiven Befunde basieren dagegen auf dem Prinzip des fallweisen Ausschlusses. Bei der Strukturgleichungsmodellierung kam die Statistiksoftware *Mplus* zum Einsatz (Version 5.21; vgl. Muthén und Muthén 2008).

7 Ergebnisse

7.1 Diskriminante Validität fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz

Zur Untersuchung von H1 werden zunächst relevante deskriptive Befunde referiert. Anschließend wird anhand konfirmatorischer Faktoranalysen untersucht, inwiefern sich *fluide Intelligenz* und *dynamische Problemlösekompetenzen* empirisch separieren lassen. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte der Subskalen fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz sowie die beiden Gesamtskalen, die jeweiligen Standardabweichungen und Konsistenzkoeffizienten.

Beim Test zur fluiden Intelligenz erreichten die Probanden durchschnittlich 38.3 (SD=6.4) von 52 möglichen Punkten, was 97 IQ-Punkten entspricht. Die Interkorrelationen der Intelligenzsubtests fielen moderat aus (r zwischen 0.23 und 0.55). Weitgehend erklärbar sind die niedrigeren Interkorrelationen durch die unbefriedigenden Subtestreliabilitäten (α zwischen 0.55 und 0.64); auch die Gesamtskala erreichte keine vollständig zufriedenstellende Reliabilität ($\alpha=0.79$). Dafür dürfte u. a. die gegenüber der Normstichprobe (SD=7.4, vgl. Weiß 2006) verringerte Streuung der Testwerte (SD=6.4, vgl. Tab. 1) verantwortlich sein. Deutlich bessere Reliabilitäten sind mit Blick auf dynamische Problemlösekompetenz zu verzeichnen (Gesamtskala: $\alpha=0.90$). Sichtbar wird dies auch an den relativ hohen manifesten Interkorrelationswerten der Problemlösesubskalen (r zwischen 0.42 und 0.72). Zudem zeigte sich in Übereinstimmung mit H1, dass *alle* Skalen signifikant korrelierten und dass die Skalen zur fluiden Intelligenz und zur dynamischen Problemlösekompetenz höhere interne als externe Interkorrelationen aufwiesen.

Tabelle 2 zeigt die Güte verschiedener analysierter Modelle zur Prüfung von H1. Der Blick auf die beiden Eingruppenmodelle (M1 und M2) macht die gute Passung von M1 zur empirischen Datenstruktur ($RMSEA=0.08$, $SRMR=0.06$ und $CFI=0.95$) und den schlechten Modellfit von M2 ($RMSEA=0.17$, $SRMR=0.10$ und $CFI=0.73$) deutlich. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei M1 um ein unrestringiertes Modell handelt, d. h. alle Modellparameter wurden frei geschätzt. In diesem Modell korrelierten die beiden latenten Faktoren fluide Intelligenz und dynamische Problemlösekompetenz zu $r=0.48$ (in Tab. 2 nicht enthalten). Dagegen wurde bei M2 die Korrelation zwischen den latenten

Tab. 1: Deskriptive Befunde zur fluiden Intelligenz und zur dynamischen Problemlösekompetenz

	MW	SD	α	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1) <i>Fluide Intelligenz</i>	38.3 (52)	6.4	0.79								
(2) Reihenfortsetzen	7.5 (11)	2.3	0.68	0.79**							
(3) Klassifikationen	9.5 (15)	2.3	0.55	0.66**	0.34**						
(4) Matrizen	10.8 (15)	2.2	0.57	0.78**	0.55**	0.33**					
(5) Topologien	6.7 (11)	2.1	0.59	0.65**	0.37**	0.23**	0.36**				
(6) <i>Dynamische Problemlösekompetenz</i>	19.8 (34)	7.3	0.90	0.40**	0.30**	0.29**	0.25**	0.32**			
(7) Informationsgenerierung	2.6 (6)	2.4	0.88	0.41**	0.32**	0.25**	0.31**	0.31**	0.83**		
(8) Modellbildung	8.0 (14)	3.7	0.83	0.26**	0.18*	0.21**	0.11*	0.25**	0.90**	0.72**	
(9) Prognose	9.3 (14)	9.3	0.77	0.36**	0.28**	0.28**	0.24**	0.25**	0.75**	0.42**	0.46**

MW Mittelwert, in Klammern steht jeweils die max. erreichbare Punktzahl, SD Standardabweichung; α Konsistenzkoeffizient; r der Korrelationen:

167

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Tab. 2: Modelle zur Prüfung der diskriminanten Validität fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz

Modelle	X^2	df	X^2_{diff}	Δdf	Vergleich	RMSEA (90% CI)	SRMR	CFI
<i>Eingruppenmodelle</i> (n=217)								
M1: Zweidimensionales Modell	30.6	13				0.08 (0.04–0.12)	0.06	0.95
M2: Eindimensionales Modell	103.5	14				0.17 (0.14–0.20)	0.10	0.73
<i>Zweigruppenmodelle (Elektro: n=88; Kfz: n=129)</i>								
M3: Basismodell	38.8	26				0.07 (0.0–11)	0.07	0.96
M4: Invariante Faktorladungen	39.6	31	1.8	5	M3 mit M4	0.05 (0.0–0.09)	0.07	0.97
M5: Invariante Faktorladungen und Faktorkovarianzen	41.7	32	2.9	6	M3 mit M5	0.05 (0.0–0.09)	0.07	0.98
X^2_{diff} : X^2 – Differenz der verschachtelten Modelle (nested models)								

Variablen auf $r=1$ fixiert. Der Missfit dieses restriktiveren Modells steht im Einklang mit der Annahme (H1), dass beide Konstrukte abgrenzbare empirische Phänomene darstellen.

In einem nächsten Schritt wurde mit Zweigruppenmodellen die Stabilität dieses Befunds innerhalb der beiden Teilstichproben überprüft. Dazu wurde zunächst ein Basismodell (M3) ermittelt, in dem die Parameter für beide Berufsgruppen separat geschätzt wurden. Wie Tab. 2 zu entnehmen ist, erbrachte M3 gute Fitwerte. In einem weiteren Modell (M4) wurden die unstandardisierten Ladungen der korrespondierenden Indikatoren in beiden Gruppen gleichgesetzt. Am Beispiel des Indikators *Reihenfortsetzen* gesprochen bedeutet dies, dass die unstandardisierte Ladung im Elektronikermodell und im Modell der Kfz-Mechatroniker gleichgesetzt wurde. Auch M4 führte zu keiner Verschlechterung der Modellpassung ($RMSEA=0.05$, $SRMR=0.07$ und $CFI=0.97$). Ebenfalls resultierte die zusätzliche gruppenübergreifende Gleichsetzung der Faktorkovarianzen in M5 (d. h. die unstandardisierte Kovarianz zwischen fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz wurde in beiden Gruppen gleichgesetzt) nicht in einen schlechteren Modellfit ($RMSEA=0.05$, $SRMR=0.07$ und $CFI=0.98$). Im Gegenteil: Das restriktivste Zweigruppenmodell (M5) passte insgesamt am besten und führte nur zu einer marginalen Verschlechterung des X^2 -Werts ($X^2_{diff}=2.9$). Damit sprechen die Befunde dafür, dass die verwendeten Instrumente zur Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz bei den Elektronikern und Kfz-Mechatronikern dasselbe Konstrukt messen und dass die Konstrukte in beiden Stichproben empirisch unterscheidbar sind. Auch in M5 stehen die gruppenspezifischen latenten Korrelationen zwischen den Konstrukten im Einklang mit H1 ($r_{Kfz}=0.45$ und $r_{Elektro}=0.54$).

Tab. 3: Manifeste bivariate Korrelationen zwischen den Konstrukten fluide Intelligenz bzw. dynamische Problemlösekompetenz und technische Problemlöseleistung

	MW	SD	Reihenfortsetzen	Klassifikationen	Matrizen	Topologien	Informationsgenerierung	Modellbildung	Prognose
<i>Technische Problemlöseleistung</i>									
Kfz-Mechatroniker (n=108)	-0.2	1.0	0.16*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Elektroniker (n=67)	-0.4	1.0	0.20*	0.23*	0.29**	0.38**	0.46**	0.43**	0.30**

n.s. statistisch nicht signifikante Korrelationen

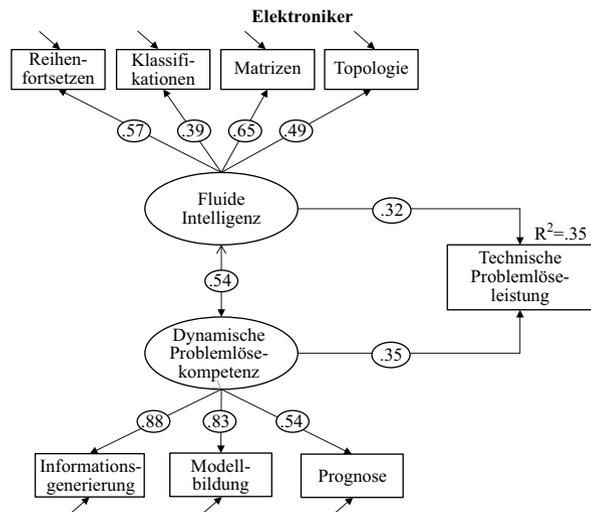
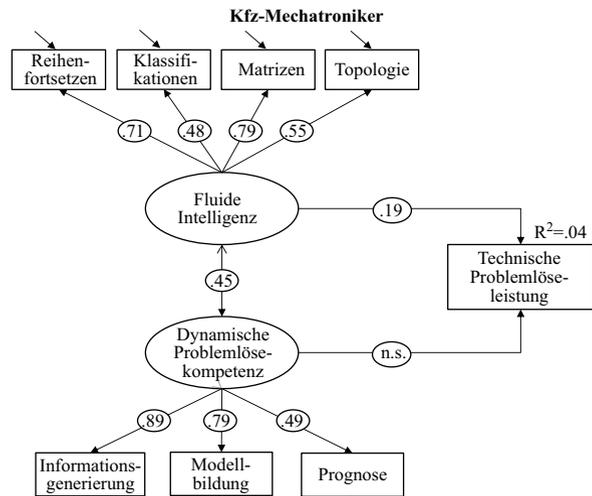
** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

7.2 Die Prognosekraft dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz für technische Problemlöseleistungen

Auch zur Untersuchung von H2 werden zunächst deskriptive Befunde berichtet. In Tab. 3 sind die mittleren Personenfähigkeiten (*weighted likelihood estimator, WLE*) und Standardabweichungen der technischen Problemlöseleistungen aufgeführt. Erwähnenswert ist, dass die Erfassung der Problemlöseleistungen bei den Kfz-Mechatronikern mit deutlich höheren Schätzfehlern der Personenfähigkeiten einherging als bei den Elektronikern: Bei den Elektronikern lagen die Standardfehler der *WLE* im Schnitt ca. 60% unter denen der Kfz-Mechatroniker. Zurückzuführen ist dies vermutlich auf die deutlich geringere Itemanzahl bei den Kfz-Mechatronikern (vgl. die Ausführungen zu den Instrumenten). Bezogen auf die dargebotenen Aufgaben ist der untersuchten Stichprobe ein leicht unterdurchschnittliches Leistungsniveau zu attestieren. Überraschend ist, dass bei den Kfz-Mechatronikern lediglich eine Subskala der fluiden Intelligenz (Reihenfortsetzen: $r=0.16$) und kein Subtest dynamischer Problemlösekompetenz signifikant mit den fachspezifischen Problemlöseleistungen korrelierte. Selbst nach einer doppelten Minderungskorrektur (d.h. nach Kontrolle der Messfehler des Prädiktors und Kriteriums) fiel die einzig signifikante Korrelation mit einem Wert von $r_{x'y'}=0.27$ eher moderat aus. Weitgehend erwartungskonforme Korrelationen waren hingegen bei den Elektronikern feststellbar: Die Intelligenzsubskalen korrelierten zwischen $r=0.20$ und $r=0.38$ (minderungskorrigiert $r_{x'y'}=0.32$ und $r_{x'y'}=0.63$) mit den technischen Problemlöseleistungen, die dynamischer Problemlösekompetenz zwischen $r=0.30$ und $r=0.46$ (minderungskorrigiert $r_{x'y'}=0.43$ und $r_{x'y'}=0.62$). Im Hinblick auf H2(a) liegen demzufolge widersprüchliche Ergebnisse vor: Bei den Kfz-Mechatronikern war lediglich eine Intelligenzfacette eher moderat mit den fachspezifischen Problemlöseresultaten assoziiert, bei den Elektronikern waren hypothesenkonform meist deutliche Korrelationen zwischen fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz mit dem Kriterium zu verzeichnen.

Inwieweit beide Prädiktoren gemeinsam die Problemlöseleistungen besser erklären als alleine, lässt sich Abb. 5 entnehmen. Dort sind berufsspezifisch Strukturgleichungsmodelle dargestellt, die sowohl die Messmodelle fluider Intelligenz und dynamischer Problemlösekompetenz als auch den bivariaten Zusammenhang zwischen den latenten Variablen sowie die Effekte dieser Größen auf die technischen Problemlöseleistungen

Abb. 5: Berufsspezifische Strukturgleichungsmodelle zum Einfluss dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz auf technische Problemlöseleistung (standardisierte Koeffizienten)



enthalten. Für die Schätzung der Effektmaße wurden die Parameterwerte der Modellvariante M5 übernommen, d. h. die in Abb. 5 dargestellten standardisierten Koeffizienten der Messmodelle und strukturellen Beziehungen sind mit denen des Zweigruppenmodells M5 identisch. Ebenso wie M5 passten auch die berufsspezifischen Strukturgleichungsmodelle gut zur empirischen Datenstruktur (Kfz-Mechatroniker: $RMSEA=0.04$, $SRMR=0.07$ und $CFI=0.97$; Elektroniker: $RMSEA=0.00$, $SRMR=0.06$ und $CFI=1.00$).

In Übereinstimmung mit den zuvor referierten manifesten Korrelationswerten erklärte bei der Kfz-Stichprobe einzig fluide Intelligenz einen signifikanten Varianzanteil des technischen Problemlöseerfolgs. Mit einer Varianzaufklärung von 4% wurde ein unerwartet geringer Wert erzielt. Im Gegensatz dazu erklärte das Modell bei den Elektronikern 35% der Varianz der technischen Problemlöseleistungen. Die Hinzunahme *dynamischer Problemlösekompetenz* ($\beta_{DPL}=0.35$) zum Prädiktor *fluide Intelligenz* ($\beta_{FI}=0.32$) führte zu einer erhöhten Varianzaufklärung von $\Delta R^2=0.07$. Während dieser Befund die Annahme, dynamische Problemlösekompetenz weist zusätzlich zu fluider Intelligenz inkrementelle Validität auf (H2b), stützt, widersprechen die Ergebnisse der Kfz-Mechatroniker dieser Annahme. Wie im Diskussionsteil noch ausführlicher thematisiert wird, können diese diskrepanten Befunde u. a. ein Resultat des höheren *WLE*-Schätzfehlers bei den Kfz-Mechatronikern sein.

7.3 Integration technischen Fachwissens in das Vorhersagemodell technischer Problemlöseleistungen

Zur Prüfung von H3 wurde in einem ersten Schritt berufsspezifisch ein Modell analysiert, bei dem von einem gleichzeitigen *direkten Einfluss* fluider Intelligenz, dynamischer Problemlösekompetenz und technischen Fachwissens auf technische Problemlöseleistung ausgegangen wurde. Erwartungsgemäß erhöhte fluide Intelligenz die aufgeklärte Varianz der technischen Problemlöseleistungen weder bei den Kfz-Mechatronikern noch bei den Elektronikern, wenn Fachwissen einbezogen wurde. Überraschend war allerdings der ausbleibende direkte Effekt dynamischer Problemlösekompetenz, d. h. auch dynamische Problemlösekompetenz wies keine inkrementelle Validität gegenüber Fachwissen auf. In beiden Berufen hat sich also der mit H3(a) angenommene direkte Effekt dynamischer Problemlösekompetenz auf die spezifischen Problemlöseleistungen nicht bestätigt. In den im Folgenden präsentierten und gut zur Datenstruktur passenden berufsspezifischen Modellen (Kfz-Mechatroniker: $RMSEA=0.06$, $SRMR=0.08$ und $CFI=0.92$; Elektroniker: $RMSEA=0.0$, $SRMR=0.06$ und $CFI=1.00$, vgl. Abb. 6 und 7) wurde der direkte Pfad zwischen dynamischer Problemlösekompetenz bzw. fluider Intelligenz und technischer Problemlöseleistung auf „Null“ fixiert, d. h. die angesprochenen direkten Effekte tauchen in den entsprechenden Abbildungen nicht mehr auf. Bei der Besprechung dieser Modelle werden beide Stichproben separat und zunächst 1) der direkte Effekt technischen Fachwissens auf technische Problemlöseleistung und anschließend 2) die indirekten Effekte dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz auf das Kriterium diskutiert.

Kfz-Mechatronikerstichprobe: 1) In dieser Stichprobe fiel der direkte Effekt technischen Fachwissens TW statistisch signifikant aus ($\beta_{TW-Kfz}=0.47$). Insgesamt erklärte technisches Fachwissen hier 22% der Varianz der technischen Problemlöseleistungen ($R^2=0.22$) (vgl. Abb. 6). Im Hinblick auf die Fachwissensmodellierung sei angemerkt, dass der Subtest *Kraftübertragung* von den Analysen ausgeschlossen wurde, da er die latente Dimension nur unzureichend abbildete.

2) Keinen signifikanten Wert erbrachte der indirekte Effekt dynamischer Problemlösekompetenz ($\beta_{DPK} * \beta_{TW-Kfz}=0.09$); allerdings lag der ermittelte Effekt nur knapp oberhalb des 5%-Signifikanzniveaus ($p=0.08$). Stärker ausgeprägt und statistisch bedeutsam war

Abb. 6: Mediatormodell zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen bei der Kfz-Mechatronikerstichprobe (standardisierte Koeffizienten)

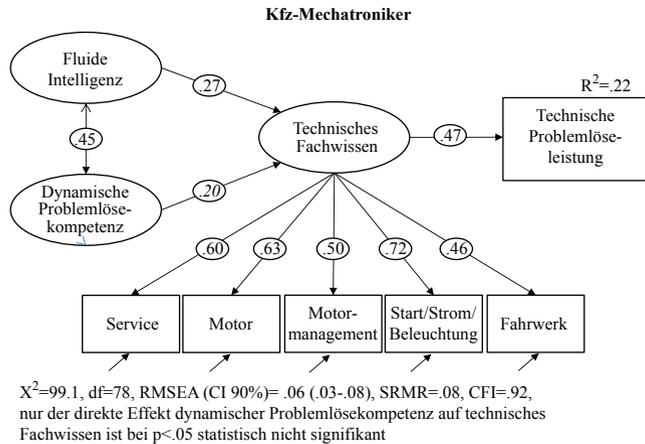
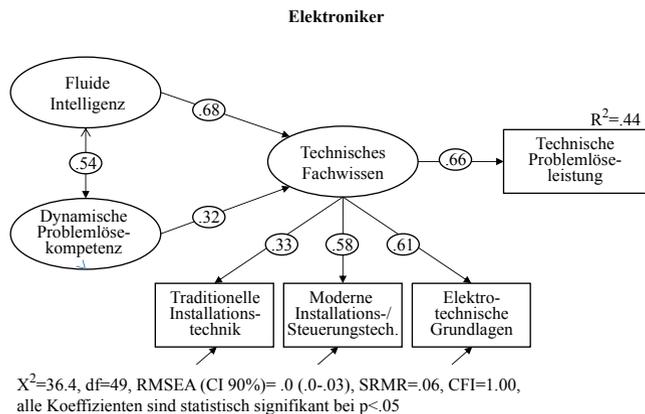


Abb. 7: Mediatormodell zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen bei der Elektronikerstichprobe (standardisierte Koeffizienten)



hingegen der indirekte Effekt fluider Intelligenz ($\beta_{FI} * \beta_{TW-Kfz} = 0.13$). Die strengere Prüfung mit dem 95 %-Bootstrap-Konfidenzintervall zeigte allerdings, dass die statistische Absicherung des indirekten Effekts fluider Intelligenz nicht vollständig gelang und bei dieser Signifikanzprüfung bei beiden Variablen kaum Unterschiede feststellbar waren (fluide Intelligenz: [0.00, 0.26]; dynamische Problemlösekompetenz: [-0.05, 0.24], Prüfkriterium: Bootstrap-Konfidenzintervall muss von Null verschieden sein). Angesichts dieser unsicheren Befundlage ist im Falle der Kfz-Mechatroniker keine eindeutige Aussage zu den in H3 angenommenen indirekten Effekten möglich. Eindeutig bestätigte sich jedoch der wichtige und überlegene Stellenwert technischen Fachwissens.

Elektronikerstichprobe: 1) Auch in dieser Stichprobe fiel der direkte Effekt technischen Fachwissens (TW) signifikant, mit $\beta_{TW-Elektro} = 0.66$ aber deutlich höher als im vorigen Modell aus (vgl. Abb. 7). Das Fachwissen erklärte hier einen erheblichen Anteil an Kriterienvarianz ($R^2 = 0.44$).

2) Was die indirekten Effekte anbelangt, war bei dynamischer Problemlösekompetenz eine eher schwache, durch Fachwissen mediierte Wirkung zu beobachten ($\beta_{DPK} * \beta_{TW-Elektro} = 0.21$). Während ein konventioneller Signifikanztest die statistische Bedeutsamkeit dieses Effekts belegte, sprach das strengere 95%-Bootstrap-Konfidenzintervall $[-0.02, 0.24]$ gegen den indirekten Effekt, wobei das vorgegebene Kriterium (Bootstrap-Konfidenzintervall muss von Null verschieden sein) nur knapp verfehlt wurde. Das Konfidenzintervall des indirekten Effekts fluider Intelligenz (FI) ($\beta_{FI} * \beta_{TW} = 0.45$) erreichte hingegen einen von Null verschiedenen Wert $[0.11, 0.56]$. Zusammengekommen spricht die Analyse der Elektronikerstichprobe im Falle fluider Intelligenz eindeutig und im Falle dynamischer Problemlösekompetenz der Tendenz nach für einen über Fachwissen mediierten Effekt auf die technische Problemlöseleistung. Festzuhalten ist aber auch, dass die indirekten Effekte deutlich unterhalb des direkten Effekts technischen Fachwissens liegen. Damit haben sich in der Elektronikerstichprobe die in H3 enthaltenen Annahmen zu den indirekten Effekten dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz ebenso bestätigt wie die Annahme der überlegenen Prognosekraft technischen Fachwissens bei der Erklärung technischer Problemlöseleistungen. Entgegen unserer Erwartungen traten bei der Hypothesenprüfung stichprobenspezifische Unterschiede auf: Die in H3 angenommenen indirekten Effekte dynamischer Problemlösekompetenz und fluider Intelligenz auf technische Problemlöseleistung wurden in der Elektronikerstichprobe weitgehend bestätigt, in der Kfz-Stichprobe war hingegen bei fluider Intelligenz (zumindest der Tendenz nach) ein indirekter Effekt zu beobachten. Im nächsten Abschnitt werden im Anschluss an die Zusammenfassung der Ergebnisse Gründe für diese stichprobenspezifischen Unterschiede diskutiert.

8 Zusammenfassung und Diskussion

Im Zentrum des vorliegenden Beitrags steht die Frage nach der Bedeutung dynamischer Problemlösekompetenz für technische Problemlöseleistungen. Angesichts der ermittelten Befunde fällt eine Antwort auf diese Frage differenziert aus.

Einhellig bestätigten die Befunde die empirische Eigenständigkeit dynamischer Problemlösekompetenz gegenüber fluider Intelligenz, weshalb Effekte dynamischer Problemlösekompetenz nicht ohne Weiteres auf fluide Intelligenz rückführbar sind. Deutlich machten die Befunde zudem, dass bei einer Berücksichtigung des Fachwissens kein direkter Effekt dynamischer Problemlösekompetenz auf technische Problemlöseleistungen zu erwarten ist. Darüber hinaus prognostizierte Fachwissen technische Problemlöseleistungen so gut, dass erwartungsgemäß auch fluide Intelligenz keine inkrementelle Validität aufwies. Relativ eindeutig waren auch die Befunde der Elektronikerstichprobe: Hypothesenkonform sagten dort dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz technische Problemlöseleistungen gut und eigenständig vorher. Ferner war der durch Fachwissen vermittelte indirekte Effekt bei fluider Intelligenz und der Tendenz nach auch bei dynamischer Problemlösekompetenz zu beobachten.

Bei den Kfz-Mechatronikern fällt eine klare Positionierung hingegen schwer: Einerseits blieb der erwartete direkte Effekt dynamischer Problemlösekompetenz auf technische Problemlöseleistungen aus, andererseits verfehlte der über Fachwissen vermittelte

indirekte Effekt die gesetzten Signifikanzkriterien nur knapp. Auch fluide Intelligenz beeinflusste in dieser Stichprobe die technischen Problemlöseleistungen nur der Tendenz nach indirekt. Bei einer etwas größeren Stichprobe wären die indirekten Effekte wohl durchweg signifikant ausgefallen.

Vor diesem Hintergrund und den überzeugenden Ergebnissen der Elektronikerstichprobe wird hier insgesamt von einem schwachen bis mittleren eigenständigen Beitrag dynamischer Problemlösekompetenz auf technische Problemlöseleistungen ausgegangen, wobei die Bedeutung technischen Fachwissens (deutlich) höher einzuschätzen ist. Weniger Klarheit besteht dahingehend, ob dynamische Problemlösekompetenz technische Problemlöseleistungen besser prognostiziert als fluide Intelligenz: Die indirekten Effekte in beiden Stichproben und der direkte Effekt fluider Intelligenz bei den Kfz-Mechatronikern sprechen für eine überlegene Bedeutung fluider Intelligenz, der direkte Effekt bei den Elektronikern für eine größere Bedeutung dynamischer Problemlösekompetenz.

Diskussionsbedarf besteht auch insofern, als bei der Hypothesenprüfung überraschend stichprobenspezifische Unterschiede auftraten. Mindestens die folgenden beiden Punkte können für die widersprüchliche Befundlage verantwortlich sein: 1) die Reliabilität der technischen Problemlösemaße und 2) unterschiedliche Anforderungssituationen. Zusätzlich zu diesen Punkten werden im Folgenden (Punkt 3, 4 und 5) drei theoretische Ansätze zur Erklärung der beobachteten Zusammenhangsstruktur diskutiert.

1. In den Reliabilitäten der technischen Problemlöseskalen spiegelt sich das realitätsnahen Kompetenzmessungen inhärente „Reliabilitäts-Validitäts-Dilemma“ (Rost 1996, S. 397): Tätigkeitsvalide, komplexe Aufgaben, wie sie die computersimulierten Arbeitsproben verkörpern, bilden aufgrund heterogener Anforderungen ein breites Konstrukt ab und gehen deshalb oft mit einem höheren Messfehleranteil einher (vgl. auch Kane 2010; Abele 2011). In der vorliegenden Untersuchung kam bei den Kfz-Mechatronikern hinzu, dass die Schätzung der technischen Problemlöseleistung aufgrund einer geringeren Itemanzahl mit größeren Unsicherheiten verbunden war als bei den Elektronikern. Damit könnten sowohl generelle Reliabilitätsprobleme als auch der größere Schätzfehler bei den Kfz-Mechatronikern für die divergierenden Befunde verantwortlich sein. Dass widersprüchliche Befunde aus Messfehlern resultieren können, wird von Hunter und Schmidt (2004) am Beispiel der Berufseignungsdiagnostik ausführlich thematisiert. Ob und inwieweit es gelingt, durch eine Erhöhung der Itemanzahl und einer Bündelung von Items ähnlicher Anforderungsstrukturen homogenere und *gleichzeitig* ökologisch valide Testskalen zu konstruieren, müssen weitere Studien klären.
2. Obwohl den Problemlöseleistungen in beiden Ausbildungsberufen sehr ähnliche Anforderungssituationen zugrunde liegen, besteht in einem Punkt ein Unterschied: Während die Kfz-Mechatroniker bei der Hypothesenformulierung teilweise durch das computerbasierte Expertensystem unterstützt werden, müssen die Elektroniker durchweg eigenständig Hypothesen formulieren. Es wäre denkbar, dass dieser Unterschied, der nur einen Ausschnitt des gesamten Problemlösevorgangs betrifft, das kognitive Anforderungsniveau umfassender und tiefgreifender verändert als wir *a priori* vermuteten. Die vorliegende Studie ist künftig also um Studien zu ergänzen, die sich mit einer detaillierten und vergleichenden Analyse der Anforderungssituationen beschäf-

tigen. Daran anknüpfend könnten kritische Anforderungen systematisch variiert und der Einfluss dieser Variation auf die Prognosekraft dynamischer Problemlösekompetenz untersucht werden.

3. Die bisher durchgeführten Anforderungsanalysen deuten daraufhin, dass bei der Bearbeitung der untersuchten Probleme technisches Fachwissen und allgemeine kognitive Fähigkeiten zur situativen Erschließung und Anwendung relevanten Wissens bedeutsam sind. Dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz können als theoretische und diagnostische Konkretisierung dieser allgemeinen kognitiven Fähigkeiten betrachtet werden. Vor dem Hintergrund dieser Argumentation lassen sich die beobachteten Befundmuster wie folgt erklären: Technisches Fachwissen, fluide Intelligenz und dynamische Problemlösekompetenz korrelieren deswegen mit technischen Problemlöseleistungen, weil sie die situative Bewältigung der gestellten Anforderungen ermöglichen. Die zwischen dynamischer Problemlösekompetenz bzw. fluider Intelligenz und Fachwissen auftretenden direkten Pfade würden sich dann dadurch erklären, dass mit anspruchsvollen Wissenstests partiell auch dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz erfasst werden und die indirekten Effekte auf technische Problemlöseleistungen dadurch, dass in der Problemlösesituation auch dynamische Problemlösekompetenz und mit fluider Intelligenz angesprochene Fähigkeiten relevant sind. Technisches Fachwissen, dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz stellen also Einflussfaktoren dar, die in der Problemlösesituation, neben weiteren Faktoren wie z. B. Motivation, wirksam werden und deren Stellenwert abhängig von den gestellten Anforderungen variiert. Die vorliegenden Befunde deuten an, dass Fachwissen zentrale, fluide Intelligenz mittlere und dynamische Problemlösekompetenz mittlere bis schwache Bedeutung zukommt.
4. Eine andere Erklärung ermöglicht die ACT-R Theorie (Anderson 2007). Dort wird angenommen, dass die Verfügbarkeit geeigneter Operatoren über den Problemlöseerfolg entscheidet. Entwickelt werden Operatoren auf Basis spezifischer expliziter Wissensbestände. Der Erwerb spezifischen Wissens nimmt damit einen zentralen Stellenwert beim Lösen fachspezifischer Probleme ein. Im Rahmen der Investmenttheorie (Cattell 1987) wird davon ausgegangen, dass insbesondere fluide Intelligenz für den Wissenserwerb verantwortlich ist; eine Annahme, die sich in vielen empirischen Studien bestätigte (vgl. z. B. Renkl und Schweizer 2000). Auch im Konzept dynamischer Problemlösekompetenz stellt der Wissensaufbau eine zentrale Komponente dar. Wird dieser Argumentation gefolgt, können die beobachteten Befunde folgendermaßen erklärt werden: Zwischen dynamischer Problemlösekompetenz bzw. fluider Intelligenz und technischem Fachwissen treten deswegen direkte Effekte auf, weil beide Faktoren den Wissensaufbau positiv beeinflussen. Der direkte Effekt technischen Fachwissens auf technische Problemlöseleistung tritt deshalb auf, weil die Entwicklung von Problemlöseoperatoren auf Fachwissen basiert.
5. Vereinen lassen sich beide Ansätze durch die Annahme, Dynamische Problemlösekompetenz und fluide Intelligenz begünstigen nicht nur den Fachwissenserwerb, sondern auch die Entwicklung der Problemlöseoperatoren. Dann sind die direkten Pfade Dynamischer Problemlösekompetenz bzw. fluider Intelligenz auf Fachwissen teilweise auf Konstruktüberlappungen und teilweise auf die Bedeutung beider allgemeiner kognitiver Faktoren für den Wissenserwerb rückführbar. Der direkte Effekt des

Fachwissen auf technische Problemlöseleistungen spiegelt in diesem Fall einerseits die Relevanz des Fachwissens, andererseits und vermutlich in geringerem Umfang den Stellenwert fluider Intelligenz und Dynamischer Problemlösekompetenz für die Entwicklung spezifischer Problemlöseoperatoren. Auch wenn der kombinierte Erklärungsansatz vermutlich die größte Überzeugungskraft besitzt, ist eine Entscheidung für einen der Ansätze auf Basis der dargestellten Befunde nicht möglich. Am ehesten wäre eine Klärung im Rahmen von Längsschnittstudien zu erwarten.

Nicht nur diese theoretischen Einsichten verdeutlichen, wie notwendig und gewinnbringend es ist, allgemeine psychologische und berufspädagogische Erkenntnisse zusammenzubringen. Wie der Beitrag zeigt, sind von solchen Kooperationen auch praktische Impulse zu erwarten: Der Wert psychologischer Konzepte lässt sich v.a. auch daran erkennen, ob und wie präzise sie reales berufliches Handeln erklären.

Anmerkungen

- 1 Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: DFG Ni 606/6-1 & Fu 173/14-1) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).
- 2 Da technische Problemlöseleistungen bei den Kfz-Mechatronikern mit einem Multi-Matrix-Design erhoben wurden und dadurch blockweise fehlende Werte auftreten, werden aus Gründen einer besseren Vergleichbarkeit die abhängigen Variablen in beiden Berufen manifest modelliert. Denkbar wäre ebenfalls, die bei den Kfz-Mechatronikern fehlenden Werte anhand *Multipler Imputation* zu ersetzen (vgl. Lütke et al. 2007) und daran anschließende die abhängigen Variablen in beiden Berufen latent zu modellieren. Aufgrund der geringen Fallzahlen und einem größeren Anteil fehlender Werte (ca. 60%) scheint der hier eingeschlagene Wert angemessener (vgl. ebd.). Dafür spricht auch, dass die Befundlage zur untersuchten Fragestellung gegenwärtig sehr dünn ist und mögliche, mit *Multipler Imputation* verbundene Effekte kaum beurteilt werden können.

Literatur

- Abele, S. (2011). Hängt die prognostische Validität eignungsdiagnostischer Verfahren von der Operationalisierung des Ausbildungserfolgs ab? In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung* (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Sonderbd. 25, S. 13–35). Stuttgart: Franz Steiner.
- Achtenhagen, F., & Baethge, M. (2007). Kompetenzdiagnostik als Large-Scale-Assessment im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung. In M. Prenzel, I. Gogolin, & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik* (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 8, S. 51–70). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaft.
- Ackerman, P. L., & Lohmann, D. F. (2006). Individual differences in cognitive functions. In P. Alexander & P. H. Winne (Hrsg.), *Handbook of educational psychology* (2. Aufl., S. 139–161). Mahwah: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (2001). *Kognitive Psychologie* (3. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

- Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?* New York: Oxford University Press.
- Baethge, M., Achtenhagen, F., Arends, L., Babic, E., Baethge-Kinsky, V., & Weber, S. (2006). *Berufsbildungs-PISA: Machbarkeitsstudie*. Stuttgart: Franz Steiner.
- Beckmann, J. F., & Guthke, J. (1995). Complex problem solving, intelligence, and learning ability. In P. A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex problem solving: The European perspective* (S. 177–200). Hillsdale: Erlbaum.
- BMBF. (2011a). Entwicklung und Erprobung von technologieorientierten Messinstrumenten zur Feststellung der beruflichen Handlungskompetenz am Ende der Ausbildung in ausgewählten Berufen auf nationaler Ebene. <http://www.bmbf.de/foerderungen/15827.php>. Zugegriffen: 21. April 2011.
- BMBF. (2011b). *Berufsbildungsbericht 2011*. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Brown, T. A. (2006). *Confirmatory factor analysis for applied research*. New York: Guilford.
- Buchner, A. (1995). Basic topics and approaches to the study of complex problem solving. In P. A. Frensch, & J. Funke (Hrsg.), *Complex problem solving: The European perspective* (S. 27–63). Hillsdale: Erlbaum.
- Cattell, R. B. (1987). *Intelligence: Its structure, growth and action*. Amsterdam: Elsevier.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32, 290–308.
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and Reasoning*, 7, 69–89.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Greiff, S. (im Druck). *Individualdiagnostik der Problemlösefähigkeit*. Münster: Waxmann.
- Greiff, S., & Funke, J. (2010). Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (Zeitschrift für Pädagogik, 56. Beiheft, S. 216–227). Weinheim: Beltz.
- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.), *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (S. 103–119). Baltmannsweiler: Schneider 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. In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung* (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik: Sonderbd. 25, S. 55–76). Stuttgart: Franz Steiner.
- Gschwendtner, T., Abele, S., & Nickolaus, R. (2009). Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von Kfz-Mechatronikern. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 4, 557–578.
- Gschwendtner, T., Geißel, B., & Nickolaus, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (Zeitschrift für Pädagogik, 56. Beiheft, S. 258–269). Weinheim: Beltz.
- Horn, J. L., & Noll, J. (1997). Human cognitive capabilities: Gf-Gc theory. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft, & P. L. Harrison (Hrsg.), *Contemporary intellectual assessment. Theories, tests, and issues* (S. 53–91). New York: Guilford Press.
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6, 1–55.
- Hunter, J. E., & Schmidt, F. L. (2004). *Methods of meta-analysis. Correcting error and bias in research findings* (2. Aufl.). Beverly Hills: Sage.
- Kane, M. T. (2010). *Errors of measurement, theory, and public policy*. Princeton: Educational Testing Service.

- Kersting, M. (2001). Zur Konstrukt- und Kriteriumsvalidität von Problemlösenszenarien anhand der Vorhersage von Vorgesetztenurteilen über die berufliche Bewährung. *Diagnostica*, 47, 67–76.
- Knöll, B. (2007). *Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung*. Aachen: Shaker.
- Kyllonen, P. C., & Woltz, D. J. (1989). Role of cognitive factors in the acquisition of cognitive skill. In R. Kanfer, P. L. Ackerman, & R. Cudeck (Hrsg.), *Abilities, motivation, and methodology. The Minnesota symposium on learning and individual differences* (S.239–280). Hillsdale: Erlbaum.
- Kyllonen, P. C., & Stephens, D. L. (1990). Cognitive abilities as determinants of success in acquiring logic skill. *Learning and Individual Differences*, 2, 129–160.
- Lehmann, R. H., & Seeber, S. (Hrsg.). (2007). ULME III: Untersuchung von Leistungen, Motivation und Einstellungen der Schülerinnen und Schüler in den Abschlussklassen der Berufsschulen. <http://www.hibb.hamburg.de/index.php/search/publicsearch>. Zugegriffen: 28. Okt. 2011.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K., & Wirth, J. (2004). Problemlösen. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S.147–176). Münster: Waxmann.
- Levine, E. L., Spector, P. E., Menon, S., & Narayanan, L. (1996). Validity generalization for cognitive, psychomotor, and perceptual tests for craft jobs in the utility industry. *Human Performance*, 9, 1–22.
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U., & Köller, O. (2007). Umgang mit fehlenden Werten in der psychologischen Forschung: Probleme und Lösungen. *Psychologische Rundschau*, 58, 103–117.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., & Williams, J. (2004). Confidence limits for the indirect effect: Distribution of the product and resampling methods. *Multivariate Behavioral Research*, 39, 99–128.
- Mayer, R. E. (1997). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: Freeman.
- Mayer, R. E., & Wittrock, M. C. (2006). Problem Solving. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Hrsg.), *Handbook of educational psychology* (S.287–303). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37, 1–10.
- Morrison, D. L., Lewis, G., & Lemap, A. (1997). Predictor of fault-finding skill. *Australian Psychologist*, 32, 146–152.
- Muthén, L. K., & Muthén B. O. (2008). *MPlus Version 5.21*. [Computer software (32-bit)]. Los Angeles: Muthén & Muthén.
- Nickolaus, R. (2011). Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung – Forschungsstand und Perspektiven. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Stationen empirischer Bildungsforschung. Traditionslinien und Perspektiven* (S.331–351). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nickolaus, R., Gschwendter, T., & Abele, S. (2009). Abschlussbericht für das Bundesministerium für Bildung und Forschung zum Projekt: Die Validität von Simulationsaufgaben am Beispiel der Diagnosekompetenz von Kfz-Mechatronikern.: Vorstudie zur Validität von Simulationsaufgaben im Rahmen eines VET-LSA. http://www.bmbf.de/pubRD/Abschluss-Bericht_Druckfassung.pdf. Zugegriffen: 2. Mai 2011.
- Nickolaus, R., Geißel, B., Abele, S., & Nitschke, A. (2011). Fachkompetenzmodellierung und Fachkompetenzentwicklung bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im Verlauf der Ausbildung. Ausgewählte Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung* (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik: Sonderbd. 25, S.55–94). Stuttgart: Franz Steiner.
- Nickolaus, R., Abele, S., & Gschwendter, T. (im Druck). Valide Kompetenzabschätzungen als eine notwendige Basis zur Effektbeurteilung beruflicher Bildungsmaßnahmen – Wege und Irrwege. In G. Niedermaier (Hrsg.), *Kompetenzen entwickeln, messen und bewerten* (Schriftenreihe aus Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Bd.6). Stuttgart: Franz Steiner.

- Novick, L. R., Hurley, S. M., & Francis, M. (1999). Evidence for abstract, schematic knowledge of three spatial diagram representation. *Memory and Cognition*, 27, 288–308.
- Popper, K. R. (2005). *Alles Leben ist Problemlösen: Über Erkenntnis, Geschichte und Politik* (2. Aufl.). München: Piper.
- Raven, J. (2000). Psychometrics, cognitive ability, and occupational performance. *Review of Psychology*, 7, 51–74.
- Reetz, L. (1999). Zum Zusammenhang der Schlüsselqualifikationen – Kompetenzen – Bildung. In P. T. Tramm et al. (Hrsg.), *Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung. Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts: Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen* (S. 32–51). Frankfurt a. M.: Lang.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78–92.
- Renkl, A., & Schweizer, K. (2000). Wer lernt wie viel? Zur Bedeutung von Intelligenzunterschieden. In K. Schweizer (Hrsg.), *Intelligenz und Kognition. Die kognitive-biologische Perspektive der Intelligenz* (S. 85–104). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
- Rost, J. (1996). *Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., & Müller, H. (2003) Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research Online*, 8, 23–74.
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. (1998). The validity and utility of selection methods in personnel psychology: Practical and theoretical implications of 85 years findings. *Psychological Bulletin*, 124, 262–274.
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. (2004). General mental ability in the world of work: Occupational attainment and job performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 86, 162–173.
- Schmidt, F. L., Hunter, J. E., & Outerbridge, A. N. (1986). Impact of job experience and ability on job knowledge, work sample performance, and supervisory ratings of job performance. *Journal of Applied Psychology*, 71, 432–439.
- Spöttl, G., Becker, M., & Musekamp, F. (2011). Anforderungen an Kfz-Mechatroniker und Implikationen für die Kompetenzerfassung. In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung* (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik: Sonderbd. 25, S. 37–53). Stuttgart: Franz Steiner.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen: Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Göttingen: Hogrefe.
- Vollmeyer, R., & Rheinberg, F. (1999). Motivation and metacognition when learning a complex system. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 541–554.
- Wenke, D., Frensch, P. A., & Funke, J. (2005). Complex problem solving and intelligence: Empirical relation and causal direction. In R. J. Sternberg & J. E. Pretz (Hrsg.), *Cognition and intelligence. Identifying the mechanisms of the mind* (S. 160–187). Cambridge: Cambridge University Press.
- Weiß, R. H. (2006). *CFT 20-R: Grundintelligenztest Skala 2 – Revision*. Göttingen: Hogrefe.