

Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungs- vergleichsstudien

Untersuchungen zur Dimensionalität

Detlev Leutner, Jens Fleischer, Joachim Wirth, Samuel Greiff
und Joachim Funke

Zusammenfassung. Der Aufbau von Problemlösekompetenz ist einerseits Ziel schulischen Lernens, andererseits Voraussetzung für erfolgreiches weiteres Lernen. Die PISA-Studie 2003 erbrachte überraschende Befunde: Schülerinnen und Schüler in Deutschland scheinen über kognitives Potenzial zu verfügen, das beim Lösen fächerübergreifender Problemstellungen sichtbar wird, in den Schulen aber nicht hinreichend genutzt wird, um fachliche Kompetenzen aufzubauen. Zur Prüfung dieser Potenzialausschöpfungshypothese bedarf es einer Analyse der kognitiven Anforderungen der PISA-Aufgaben und Studien zur Modellierung der zu ihrer Lösung erforderlichen Kompetenzen bzw. Kompetenzstrukturen. Es werden zwei Studien zum Lösen analytischer und dynamischer Probleme berichtet, deren Ergebnisse für beide Kompetenzbereiche eine dreidimensionale Kompetenzstruktur nahe legen. Substanzielle Korrelationen der einzelnen Dimensionen, insbesondere mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Kompetenzen, lassen darüber hinaus erwarten, dass gezielte Maßnahmen zur Förderung einzelner Kompetenzdimensionen auf die Entwicklung dieser fachlichen Kompetenzen transferieren.
Schlüsselwörter: analytisches Problemlösen, dynamisches Problemlösen, Kompetenzmodellierung

Analytical and dynamic problem-solving competence from an international educational studies perspective. Analysis of dimensionality

Abstract. The development of problem-solving competence is both a goal of learning at school and a prerequisite for further learning. The PISA study 2003 revealed surprising results: Students in Germany seem to possess cognitive potential that becomes visible when solving cross-curricular problems. However, this potential is not effectively used in schools for developing curricular competencies. In order to test this potential-utilization hypothesis, analyses of cognitive demands of PISA problems as well as studies on the structures of required competencies are needed. Two studies on solving analytical problems and dynamic problems are reported, the results of which suggest a three-dimensional competence structure for both competency domains. Substantial correlations of these dimensions with curricular competencies, especially in the domains of mathematics and science, give rise to the expectation that training of single dimensions might transfer on curricular learning in those domains.

Key words: analytical problem solving, dynamic problem solving, competence modeling

Problemlösen hat als Gegenstand psychologischer Forschung, insbesondere auch in Deutschland, eine lange Tradition (z. B. Duncker, 1935; für einen Überblick s. Funke, 2003). Dabei ist man sich weitgehend einig, dass ein Problem aus einer Problemstellung (Anfangszustand), einem mehr oder weniger genau definierten Zielzustand und einem nicht unmittelbar einsichtigen Lösungsweg

besteht (z. B. Mayer, 1992). Das Lösen von Problemen lässt sich damit definieren als „zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind“ (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001, S. 185).

Problemlösen ist traditionell Thema der allgemeinen Psychologie. Die Kompetenz, Probleme lösen zu können (Problemlösekompetenz), stellt aber auch eine zentrale Qualifikation in nahezu allen schulischen und außerschulischen Lern- und Leistungsbereichen dar. Aus differenzialpsychologischer Perspektive interessiert in diesem Zusammenhang, inwieweit Problemlösekompetenz – z. B. in

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: LE 645/12-2 und FU 173/11-2) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).

Abgrenzung von Intelligenz oder fachlichen Kompetenzen – ein eigenständiges Konstrukt darstellt und wie dieses Konstrukt erfasst werden kann. Aus pädagogisch-psychologischer Perspektive interessiert darüber hinaus, wie Problemlösekompetenz gefördert werden kann.

Vor diesem Hintergrund hat Problemlösen Eingang in internationale Schulleistungsvergleichsstudien gefunden. So wurde *fächerübergreifende Problemlösekompetenz* in der PISA-Studie 2003 definiert als „Fähigkeit einer Person, kognitive Prozesse zu nutzen, um sich mit solchen realen, fachübergreifenden Problemstellungen auseinanderzusetzen und sie zu lösen, bei denen der Lösungsweg nicht unmittelbar erkennbar ist und die zur Lösung nutzbaren Wissensbereiche nicht einem einzelnen Fachgebiet [...] entstammen“ (OECD, 2003, S. 156; vgl. Leutner, Klieme, Mayer & Wirth, 2004). Bezüglich der so definierten Problemlösekompetenz ergaben sich bei PISA 2003 erstaunliche Ergebnisse (Leutner et al., 2004): (1) Während Schülerinnen und Schüler in Deutschland im internationalen Vergleich in ihren fachlichen Leistungen (Lesen, Mathematik, Naturwissenschaften) nur durchschnittliche Ergebnisse erzielten, schnitten sie beim Problemlösen deutlich überdurchschnittlich ab. (2) Der in Deutschland beobachtete Niveauunterschied zwischen Problemlösekompetenz und beispielsweise der mathematischen Kompetenz ist im internationalen Vergleich beachtlich groß. Dies erscheint vor dem Hintergrund der vergleichsweise hohen (messfehlerbereinigten) Korrelation von Problemlösen und Mathematik ($r = .89$) umso beachtlicher (für Naturwissenschaften: $r = .80$, für Lesen: $r = .82$; OECD, 2005). Auf der internationalen PISA-Skala ($M = 500$; $SD = 100$) übersteigt der Mittelwert der Problemlösekompetenz den Mittelwert der mathematischen Kompetenz um 10 Punkte, und es gibt unter den 29 getesteten Staaten nur zwei Staaten, in denen dieser Unterschied zugunsten des Problemlösens noch größer ausfällt (Ungarn: 11 Punkte; Japan: 13 Punkte; Leutner et al., 2004). Diese Ergebnisse lassen sich im Sinne einer *Potenzialausschöpfungshypothese* dahingehend interpretieren, dass Schülerinnen und Schüler in Deutschland über kognitives Potenzial verfügen, das beim Lösen fächerübergreifender Problemstellungen sichtbar wird, in den Schulen aber nicht hinreichend genutzt wird, um fachliche Kompetenzen aufzubauen.

Die Potenzialausschöpfungshypothese bezieht sich auf den internationalen Teil des PISA 2003-Tests, der fächerübergreifende *analytische* Problemstellungen enthält (z. B. in einem U-Bahn-System den schnellsten und kostengünstigsten Weg von A nach B finden). In der deutschen Ergänzung zu PISA 2003 wurden darüber hinaus in einer Teilstichprobe auch fächerübergreifende *dynamische* Problemstellungen eingesetzt (z. B. die Computersimulation eines Schwarms von Schmetterlingen, der über „Regler“, deren Funktion nicht mitgeteilt wird, in eine bestimmte Form zu bringen ist). Analytisches Problemlösen zeichnet sich dadurch aus (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005; Wirth & Klieme, 2003), dass alle für die Lösung des Problems relevanten Informationen in der Problemstellung mitgeteilt werden oder aus ihr erschlossen („reduziert“) werden können. Beim dynamischen Problemlösen hingegen muss ein Großteil der lösungsrelevanten

Informationen in einer explorierenden Interaktion mit der Problemsituation erst erzeugt („generiert“) werden („learning by doing“; Wirth & Klieme, 2003; s. a. Wirth, 2004). Derartige dynamische Problemstellungen sind häufig durch eine hohe Anzahl an miteinander verbundenen Variablen (Komplexität und Vernetztheit), Intransparenz bezüglich der beteiligten Variablen und mitunter auch des Zielzustandes sowie (nicht aber bei dem PISA-Schmetterlings-Problem) durch das Vorhandensein mehrerer zum Teil konkurrierender Ziele gekennzeichnet und werden in der kognitionspsychologischen Forschung unter dem Begriff *Komplexes Problemlösen* behandelt (vgl. Dörner, 1986; Frensch & Funke, 1995; Funke, 2006).

Beide, analytische und dynamische, Problemstellungen zeichnen sich dadurch aus, dass bestimmte Informationen logisch abzuleiten und auszuwerten sind, um damit das Problem lösen zu können. Gemeinsam ist beiden Problemstellungen auch, dass es sich nicht um Routine-Situationen handelt, für die eine Lösung aus dem Gedächtnis abgerufen werden kann (in Abgrenzung zu einer Aufgabe; Funke, 2003). Unterschiedlich ist allerdings, dass dynamisches Problemlösen solche Situationen umfasst, die nicht durch eine Menge von statischen Merkmalen und Attributen vollständig beschrieben werden können, sondern dass es beim dynamischen Problemlösen jeweils um ein System geht, das auf Eingriffe von außen oder aus sich selbst heraus in charakteristischer Weise reagiert und dessen dynamische Natur erst über die Zeit hinweg erkennbar wird. Für die Beschaffung von Informationen stehen zudem andere Strategien zur Verfügung, als sie zur Informationsreduktion benötigt werden: Die VOTAT-Strategie (*vary one thing at a time*, die isolierende Bedingungsvariation; Küsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008; Vollmeyer & Burns, 1996) z. B. sorgt im Umgang mit einem dynamischen System (im Gegensatz zu anderen Explorationsstrategien) dafür, dass Informationen generiert werden, mit denen ein Modell der Situation gebildet und überprüft werden kann, welches dann zu einem späteren Steuern des Systems befähigt (Greiff, in press).

In einer PISA 2003-Teilstichprobe zeigte sich (Leutner et al., 2004), dass analytische und dynamische Aspekte der Problemlösekompetenz empirisch gut voneinander unterschieden werden können: Analytisches Problemlösen bildet mit den fachlichen Kompetenzen ein vergleichsweise hoch korreliertes Cluster, während dynamisches Problemlösen deutlich außerhalb dieses Clusters liegt (s. a. Wirth, Leutner & Klieme, 2005). Die (messfehlerbereinigte) Korrelation zwischen analytischem und dynamischem Problemlösen beträgt hier lediglich $r = .68$ (Leutner et al., 2004). Darüber hinaus zeigte sich, dass der Mittelwertsunterschied zwischen Gymnasien und Hauptschulen auf der nationalen PISA-Skala ($M = 50$; $SD = 10$) beim dynamischen Problemlösen (14.7 Punkte) deutlich kleiner ist als beim analytischen Problemlösen (19.0 Punkte). Dieses Ergebnis weist auf relative Stärken der Hauptschülerinnen und Hauptschüler beim dynamischen Problemlösen hin und lässt sich ebenfalls im Sinne der Potenzialausschöpfungshypothese interpretieren.

Schließlich wurden die Schülerinnen und Schüler in Deutschland bei PISA 2003 in einer Stichprobe von Neuntklässlern nach einem Jahr bezüglich ihrer fachlichen Kompetenzen erneut getestet. Für die mathematische Kompetenz ließ sich regressionsanalytisch zeigen (Leutner, Fleischer & Wirth, 2006), dass – bei Kontrolle des Ausgangsniveaus zu T1 – analytische Problemlösekompetenz das zukünftige Niveau mathematischer Kompetenz zu T2 ($R^2 = .49$) besser vorhersagt als Intelligenz ($R^2 = .41$). Via Kommunalitätsanalyse ließ sich darüber hinaus zeigen, dass die sowohl mit dem analytischen Problemlösetest als auch mit dem Mathematiktest zu T1 gemeinsam erfassten Kompetenzkomponenten einen Beitrag zur Vorhersage der zu T2 erfassten mathematischen Kompetenz leisten ($R^2 = .127$), der deutlich höher ist als der Beitrag der durch Intelligenz und den Mathematiktest gemeinsam erfassten Kompetenzkomponenten ($R^2 = .042$). Die spezifischen Komponenten sowohl von Intelligenz als auch von Problemlösen allein sind dabei allerdings zu vernachlässigen. Diese und vergleichbare Ergebnisse für die naturwissenschaftliche Kompetenz (s. Leutner et al., 2006) lassen sich dahingehend interpretieren, dass Problemlösekompetenz und die mit den PISA-Tests erfassten fachlichen Kompetenzen sich inhaltlich überlappen und dass Problemlösekompetenz den Aufbau fachlicher Kompetenzen zu unterstützen vermag. Eine offene Frage ist allerdings, was diese inhaltliche Überlappung ausmacht. Es liegt nahe anzunehmen, dass es sich dabei um Kompetenzen der systematisch-strategischen und selbstregulierten Herangehensweise an komplexe Aufgabenstellungen ohne größeren Zeitdruck handelt, die z. B. bei Intelligenztestaufgaben in dieser Form nicht gefordert werden (vgl. Leutner, Funke et al., 2005).

Vor dem Hintergrund der hier skizzierten Ergebnisse aus PISA 2003 zum Problemlösen stellen sich zwei Fragen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Will man das beim fächerübergreifenden Problemlösen deutlich werdende kognitive Potenzial in didaktische Maßnahmen zur Verbesserung der fachlichen Kompetenzen im Regelunterricht umsetzen, ist zunächst die Frage nach den kognitiven Anforderungen und den damit korrespondierenden Teilfähigkeiten analytischer und dynamischer Problemlösekompetenz zu beantworten. Zum anderen ist für beide Kompetenzen zu klären, in welchem Verhältnis diese Teilfähigkeiten zueinander stehen und welche Zusammenhänge zu Drittvariablen (z. B. fachlichen Kompetenzen) bestehen.

Analytische Problemlösekompetenz

Basierend auf Überlegungen der Gestaltpsychologie beschreibt Polya (1945) die Bearbeitung eines Problems als eine Abfolge von vier Prozessschritten: (1) *understanding the problem*, (2) *devising a plan*, (3) *carrying out the plan* und (4) *looking back* (i. S. von Bewertung der Problemlösung). Diese Prozessschritte liefern die Grundlage für neuere Ansätze sowohl zum analytischen Problemlösen als auch zur Mathematikkompetenz. So beschreibt das PISA 2003-Assessment Framework für den Test zur fächerübergreifenden Problemlösekompetenz eine ver-

gleichbare Abfolge von Prozessschritten (vgl. OECD, 2003). Eine ähnliche Darstellung von Prozessschritten findet sich bspw. auch in der Beschreibung des mathematischen Modellierungskreislaufs, der die theoretische Basis für die Mathematiktests in den PISA-Studien darstellt (vgl. Blum et al., 2004).

Zu den Komponenten der analytischen Problemlösekompetenz und der mathematischen Kompetenz, die im Verlauf des Bearbeitungsprozesses von Problemlöse- und Mathematikaufgaben von Bedeutung sind, gehören u. a. die Verfügbarkeit und Anwendung von inhaltspezifischem *Sach-* und *Handlungswissen* (vgl. Schoenfeld, 1985). Sachwissen ist definiert als Wissen über Objekte und Zustände, mit dessen Hilfe die Problemsituation und der angestrebte Zielzustand intern repräsentiert und damit erfasst werden können. Handlungswissen ist definiert als Wissen über Operationen zur Veränderung der Problemsituation und die Überführung dieser in den angestrebten Zielzustand sowie die Fähigkeit, eine kognitive Operation oder Handlung auch tatsächlich ausführen zu können (vgl. Süß, 1996). Eine weitere Komponente stellt *konditionales Wissen* dar, welches die Umstände der Anwendung von Operationen beschreibt (vgl. Paris, Lipson & Wixson, 1983). Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit und die Anwendung von allgemeinen *Problemlösestrategien*, welche die Suche nach relevanten Informationen, alternativen Problemrepräsentationen oder Teilzielen strukturieren, eine weitere Komponente der Problemlösekompetenz (vgl. Gick, 1986). Hinzu kommt die Fähigkeit zur *Selbstregulation*, die notwendig ist, um Problemlöseprozesse zu planen, zu überwachen, zu bewerten und gegebenenfalls zu modifizieren (vgl. Davidson, Deuser & Sternberg, 1994).

Mithilfe einer Aufgaben- und Anforderungsanalyse untersuchten Fleischer, Wirth, Rumann und Leutner (2010) strukturelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede bezüglich der Konstruktion und der kognitiven Anforderungsprofile der PISA 2003-Testaufgaben zum analytischen Problemlösen und zur Mathematik, um dadurch Hinweise auf die relative Bedeutung der beschriebenen Komponenten der Problemlösekompetenz zu erhalten (für eine vergleichende Analyse der Aufgaben zum analytischen Problemlösen und zur naturwissenschaftlichen Kompetenz s. Stawitz, Rumann, Fleischer & Wirth, 2008). Die Ergebnisse zeigen u. a. einen höheren Formalisierungsgrad der Mathematikaufgaben. Diese stellen außerdem höhere Anforderungen an die Fähigkeit zur Dekodierung lösungsrelevanter Informationen. Hierfür ist inhaltspezifisches Sachwissen notwendig, was sich auch am höheren curricularen Niveau des zur Lösung der Aufgaben notwendigen Wissens zeigt. Im Gegensatz dazu scheint bei den Problemlöseaufgaben eher Handlungswissen eine relevante Komponente zu sein. Insbesondere die höheren Anforderungen an das Erkennen lösungsrelevanter Bedingungen und an das planvolle und strategische Vorgehen deuten auf die Relevanz konditionalen Wissens und der Fähigkeit zur Selbstregulation hin. Dies scheinen eher relevante Komponenten der analytischen Problemlösekompetenz und weniger der Mathematikkompetenz zu sein (Fleischer et al., 2010). Darüber hinaus zeigten sich bei der Aufgaben- und Anforderungsanalyse

Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Problemstellung. Dieser Aspekt der Dimensionalität der Problemlösekompetenz wird im Folgenden näher betrachtet.

Dimensionalität der analytischen Problemlösekompetenz

In der PISA-Studie 2003 wurde analytische Problemlösekompetenz durch drei Arten von Problemstellungen operationalisiert (*Entscheidungen treffen*, *Systeme analysieren und entwerfen* und *Fehler suchen*), die sich hinsichtlich der zu erreichenden Ziele, der beteiligten Prozesse und der potenziell schwierigkeiterzeugenden Merkmale unterscheiden (vgl. Leutner et al., 2004). Dennoch wurde fächerübergreifende Problemlösekompetenz in PISA als 1-dimensionales Konstrukt modelliert.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der zuvor skizzierten Aufgaben- und Anforderungsanalyse wird geprüft, inwiefern die in PISA eingesetzten Problemstellungen unterschiedliche Dimensionen abbilden und ob diese Dimensionen differenzielle Zusammenhänge mit Drittvariablen aufweisen.

Methode. Die Daten der deutschen PISA-Haupterhebung 2003 zum analytischen Problemlösen ($N = 2452$; Probanden mit Testheften, in denen entsprechende Itemcluster enthalten waren) wurden nach dem dichotomen Rasch-Modell mit ConQuest 2.0 (Wu, Adams, Wilson & Haldane, 2007) reskaliert. Dabei wurde ein Modell, welches für Problemlösen eine Dimension spezifiziert, mit einem 3-dimensionalen Modell verglichen, welches für jedes Item in Abhängigkeit von der jeweiligen Art der Problemstellung die Zugehörigkeit zu einer von drei Dimensionen postuliert. Zur Bewertung beider Modelle wurden die Anzahl

schlecht fittender Items (INFIT), die Höhe der Korrelationen zwischen den latenten Dimensionen des 3-dimensionalen Modells, die Reliabilität und Varianz der Skalen sowie die Modellpassung über das Bayes-Information-Kriterium (BIC) und den Likelihood-Quotiententest (LQT) herangezogen (vgl. Rost, 2004). Im Anschluss wurden Zusammenhänge der Personenparameter des 3-dimensionalen Modells mit Drittvariablen (Schulform, Geschlecht, fachliche Kompetenzen) untersucht.

Ergebnisse. Als hinreichend guter Itemfit wurden INFIT-Werte zwischen 0.8 und 1.2 angesehen (vgl. Bond & Fox, 2001). In beiden Modellen erfüllten alle Items dieses Kriterium. Die Reliabilität des 1-dimensionalen Modells, erfasst über die EAP-Reliabilität (vgl. Rost, 2004), liegt mit $r = .78$ geringfügig über den Reliabilitäten der Dimensionen des 3-dimensionalen Modells (s. Tabelle 1). Die Varianz als Indikator für die Trennschärfe der Items liegt für das 1-dimensionale Modell bei $\sigma^2 = 1.35$. Sie bewegt sich damit in der gleichen Größenordnung wie die Varianzen der Dimension *Entscheidungen treffen* ($\sigma^2 = 1.35$) und *Systeme analysieren und entwerfen* ($\sigma^2 = 1.13$) des 3-dimensionalen Modells, liegt jedoch deutlich unter der Varianz der Dimension *Fehler suchen* ($\sigma^2 = 3.65$). Die Korrelationen der latenten Dimensionen des 3-dimensionalen Modells (Tabelle 1) zeigen hohe Zusammenhänge. Sie bewegen sich jedoch in einer ähnlichen Größenordnung, wie sie durchaus auch zwischen Leistungstests unterschiedlicher Domänen vorliegen (vgl. OECD, 2005).

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, zeigt der LQT eine signifikant bessere Passung des 3-dimensionalen Modells im Vergleich zum restriktiveren 1-dimensionalen Modell ($\Delta\text{Deviance} = 4670_{(5)}, p < .001$). Ebenso spricht der geringere Wert des BIC des 3-dimensionalen Modells für eine Bevorzugung dieses Modells gegenüber dem 1-dimensionalen Modell.

Tabelle 1. Reliabilitäten und Interkorrelationen der latenten Dimensionen des 3-dimensionalen Modells analytischen Problemlösens

	D-1	D-2	D-3
Entscheidungen treffen (D-1; 6 Items)	.73		
Systeme analysieren und entwerfen (D-2; 5 Items)	.93	.73	
Fehler suchen (D-3; 7 Items)	.83	.79	.69

Anmerkungen: Reliabilitäten (EAP-Schätzungen, $N = 2452$) auf der Hauptdiagonalen, Korrelationen der latenten Dimensionen unterhalb der Hauptdiagonalen.

Tabelle 2. Modellpassung für das 1-dimensionale und das 3-dimensionale Modell des analytischen Problemlösens

	Deviance	Anzahl geschätzter Parameter	$\Delta\text{Deviance}$ (df)	BIC
1-dimensionales Modell	37595	27	–	37686
3-dimensionales Modell	32925	32	4670*** (5)	33033

Anmerkungen: Deviance: $-2\log[\text{LR}]$ der Modellschätzung; $\Delta\text{Deviance}$: χ^2 -verteilte Prüfgröße des Likelihood-Quotiententest mit der Differenz der in beiden Modellen geschätzten Anzahl an Parametern als Freiheitsgraden (df); $N = 2452$; *** $p < .001$.

Die Untersuchung von Zusammenhängen der Personenparameter des 3-dimensionalen Modells mit Drittvariablen (Tabelle 3) zeigt Unterschiede in den Mittelwerten der verschiedenen Bildungsgänge: Für die Dimension *Systeme analysieren und entwerfen* ist der Leistungsunterschied zwischen Hauptschulen ($M = -.756$) und Gymnasien ($M = .624$) stärker ausgeprägt, und der Bildungsgang erklärt hier mit $\eta^2 = .256$ mehr Varianz der Personenparameter als im Falle der beiden anderen Dimensionen. Außerdem zeigen sich für diese Dimension im Gegensatz zu den beiden anderen ein signifikanter, wenn auch geringer, Geschlechtsunterschied zugunsten der Mädchen ($r = .046, p = .025$) sowie höhere Zusammenhänge mit den Skalen der fachlichen Kompetenzen (Mathematik, Naturwissenschaften und Lesen).

Fazit. Die Ergebnisse des LQT und des BIC favorisieren das 3-dimensionale Modell. Die Reliabilitäten dieses Modells fallen jedoch geringer aus als die Reliabilität des 1-dimensionalen Modells. Vor dem Hintergrund geringerer Itemanzahl pro Dimension im 3-dimensionalen Modell ist der Unterschied jedoch nicht so groß, dass die Ergebnisse generell gegen dieses Modell sprechen würden. Gleiches gilt für den Vergleich nicht fittender Items und den Vergleich der Varianzen. Keines der beiden Modelle lässt sich hier klar favorisieren. Die Korrelationen der latenten Dimensionen des 3-dimensionalen Modells zeigen hohe Zusammenhänge, die jedoch in ihrer Höhe nicht gegen eine empirische Trennbarkeit der Dimensionen *Entscheidungen treffen*, *Systeme analysieren und entwerfen* und *Fehler suchen* sprechen. Die Zusammenhänge des 3-dimensionalen Modells mit Drittvariablen deuten auf differenzielle Validität der drei Dimensionen hin und sprechen damit gegen eine 1-dimensionale Modellierung der drei Arten von Problemstellungen.

Der Informationsverlust bei der Modellierung analytischer Problemlösekompetenz als 1-dimensionales Konstrukt für Diagnosezwecke scheint allerdings nicht gravie-

rend zu sein. Dennoch sollten die berichteten Ergebnisse zur Dimensionalität bei der weiteren Untersuchung der Kompetenzstrukturen fächerübergreifenden und fachbezogenen Problemlösens berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere, wenn es um die Frage geht, an welchen „Hebeln“ man didaktisch ansetzen kann, um über eine Verbesserung fächerübergreifender Problemlösekompetenz auch einen Transfer auf fachbezogene Kompetenzen z. B. in der Mathematik zu erreichen.

Dynamische Problemlösekompetenz

Mit dem zusätzlichen Einbezug des dynamischen Problemlösens in die deutsche Ergänzungsstudie zu PISA 2003 wurde der Blickwinkel auf Problemlösen um fachspezifische Aspekte substanziell erweitert. Erstmals fand in einer groß angelegten Schulleistungsvergleichsstudie das Konzept des Umgangs mit komplexen und dynamischen Umwelten in Ergänzung zum analytischen Problemlösen Berücksichtigung.

Theoretisch geht das Konzept des dynamischen Problemlösens auf Dörner (1986) zurück. In seinen Arbeiten beschreibt er fünf Eigenschaften dynamischer Probleme: (a) Intransparenz, (b) Komplexität, (c) Vernetztheit, (d) Dynamik und (e) Vielzieligkeit (Polytelie). Jede dieser Eigenschaften korrespondiert mit einer Anforderung auf Seiten der problemlösenden Person bzw. – diagnostisch formuliert – mit einem zu erfassenden Kompetenzbereich: (a) die Beschaffung fehlender, aber für die Problemlösung notwendiger Informationen (Informationsgenerierung); (b) die Reduktion überbordender Information auf einen handhabbaren Umfang (Informationsreduktion); (c) die Bildung adäquater Situationsmodelle zum Verständnis der gegebenen Situation (Modellbildung); (d) die Prognose weiterer Entwicklungen aufgrund der gegebenen Situation und im Lichte der getroffenen Maßnahmen (Prognose);

Tabelle 3. Mittelwerte der Personenparameter des 3-dimensionalen Modells analytischen Problemlösens nach Bildungsgang und Korrelationen mit Geschlecht und fachlichen Kompetenzen

	Entscheidungen treffen	Systeme analysieren und entwerfen	Fehler suchen
Bildungsgang			
Hauptschule ($n = 492$)	-.682	-.756	-.628
Gesamtschule ($n = 236$)	-.252	-.288	-.167
Realschule ($n = 836$)	-.005	-.025	-.004
Gymnasium ($n = 779$)	.570	.624	.493
η^2	.210	.256	.166
Geschlecht (1 = weiblich)	.019	.046*	-.037
Mathematische Kompetenz	.609***	.664***	.567***
Naturwissenschaftliche Kompetenz	.584***	.640***	.536***
Lesekompetenz	.581***	.631***	.512***

Anmerkungen: Mittelwerte z-standardisierter WLE-Parameter ($N = 2452$; *weighted likelihood estimates*, vgl. Rost, 2004) je Bildungsgang sowie nicht minderungskorrigierte Korrelationen der WLE-Parameter mit Geschlecht, Mathematik, Naturwissenschaften und Lesen (für Mathematik, Naturwissenschaften und Lesen: jeweils gemittelte Korrelationen über die fünf *plausible values* aus PISA-2003; vgl. OECD, 2005). *** $p < .001$, * $p < .05$.

(e) das Treffen von Wertentscheidungen und Prioritätensetzungen, mit denen Ziele gesetzt und Zielkonflikte gelöst werden können (Bewertung).

Zur Untersuchung der dynamischen Problemlöseleistung haben sich in den letzten 30 Jahren Computersimulationen durchgesetzt. Im Kontext der zunehmenden Verbreitung von Computern sind eine Vielzahl an dynamischen Problemlöseszenarien für Forschungszwecke entwickelt und genutzt worden (Überblick bei Funke, 2006). In der Problemlösekonzeption von PISA 2012 (OECD, 2010, S. 8) wird neben analytischen Problemen erstmals auch international die Verwendung dynamischer Szenarien realisiert: „Authentic, relatively complex problems, particularly those that require direct interaction by the solver to uncover and discover relevant information, should be a central feature of the PISA 2012 problem solving assessment“. Im Unterschied zur bisherigen Praxis komplexer Problemlöseforschung, bei der ein einziges, in der Regel sehr komplexes Szenario zur Messung verwendet wurde, bearbeiten Teilnehmende nun unter strikter Zeitbegrenzung eine ganze Serie minimal komplexer Systeme (zu diesem Konzept s. ausführlicher Greiff & Funke, 2010).

Im Ansatz minimal komplexer Systeme wird die Fähigkeit zum dynamischen Problemlösen als eine generische Kompetenz berücksichtigt, die nicht an domänenspezifisches Wissen gebunden ist. Sie beschreibt eine verallgemeinerte Fähigkeit im Umgang mit Systemen, die sich aus mehreren korrelierten, zugleich aber theoretisch und empirisch abgrenzbaren Teilfähigkeiten zusammensetzt (Greiff, Wüstenberg & Funke, submitted): (1) Informationen in einem unbekanntem System über den Einsatz zielführender Strategien erzeugen (Informationsgenerierung), (2) ein adäquates Modell für die Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems entwickeln (Modellbildung) sowie (3) das System in angemessener Art und Weise steuern und kontrollieren können (Prognose). Zwei weitere Teilfähigkeiten – (4) Informationsreduktion und (5) Umgang mit Polytelie – sind vor dem Hintergrund von Dörners (1986) Theorie ebenfalls relevant; allerdings müssen diesbezüglich noch Messprozeduren entwickelt werden.

Wie verhalten sich dynamisches Problemlösen und einzelne fachspezifische Kompetenzen zueinander? Je stärker die allgemeine Problemlösekompetenz explizit (bspw. im naturwissenschaftlichen Unterricht) oder implizit (bspw. durch das eigenständige Erarbeiten von Lösungsstrategien in der Auseinandersetzung mit komplexem Lernstoff) gefördert wird, desto mehr können sich fachspezifische Kompetenzen im Umgang mit Systemen in unterschiedlichen Unterrichtsfächern ausdifferenzieren.

Umgekehrt kann eine Erhöhung der fachspezifischen Kompetenz wiederum auf die allgemeine Problemlösekompetenz zurückwirken.

Dimensionalität der dynamischen Problemlösekompetenz

In welchem empirischen Verhältnis stehen die Teilfähigkeiten des dynamischen Problemlösens zueinander, und wie sieht ein adäquates Kompetenzstrukturmodell aus? Bei PISA 2012 werden inhaltlich umrissene Teilprozesse des Problemlösens, die eng an Dörners Konzept operativer Intelligenz (1986) angelehnt sind, als relevant postuliert (OECD, 2010). Andererseits wird auf eine Ausdifferenzierung der Binnenstruktur – aus praktischen Testzeitüberlegungen und dem Anspruch nach einer möglichst einfach handhabbaren Kompetenzstruktur heraus – zugunsten einer eindimensionalen Skalierung verzichtet (vgl. Überlegungen zum analytischen Problemlösen oben). Vor diesem Hintergrund soll nun überprüft werden, inwiefern eine ein- oder mehrdimensionale Skalierung empirisch angemessen ist und welche Zusammenhänge mit Schulnoten bestehen.

Methode. Eine studentische Gelegenheitsstichprobe von $N = 140$ Studierenden (80% weiblich; $M_{\text{Alter}} = 22.18$, $SD_{\text{Alter}} = 3.58$) bearbeitete 12 minimal komplexe, vorwissensarme Aufgaben im computerbasierten Testsystem MicroDYN. MicroDYN entspricht den für PISA 2012 vorgesehenen Aufgaben sowohl inhaltlich als auch hinsichtlich der zugrunde liegenden Systemstruktur. Aufgabe der Teilnehmer war es, (1) das System zu explorieren (*Informationsgenerierung*), (2) Wissen über das System zu akquirieren (*Modellbildung*) und (3) das System zu steuern (*Prognose*). Alle Aufgaben (Items) wurden dichotom ausgewertet. Umfassende Informationen zu den in der Studie verwendeten MicroDYN-Items finden sich bei Greiff, Wüstenberg und Funke (2011).

Über konfirmatorische Faktorenanalysen (CFA) und damit verbundene globale Modellfitindices wurden insbesondere ein 1-dimensionales Generalfaktormodell und das nach Dörner (1986) postulierte 3-dimensionale Modell verglichen. Ergänzend wurden Korrelationen der einzelnen Facetten mit Schulnoten berechnet.

Ergebnisse. Zwei der insgesamt 13 Items zeigten sowohl im 1-dimensionalen als auch im 3-dimensionalen Modell geringe Faktorladungen und wurden von weiteren Analysen ausgeschlossen. Der globale Modellfit für das 1-dimensionale Generalfaktormodell lag deutlich unter dem Modellfit des 3-dimensionalen Modells (Tabelle 4).

Tabelle 4. Modellpassung für das 1-dimensionale und das 3-dimensionale Modell des dynamischen Problemlösens

	χ^2	df	p	χ^2/df	CFI	TLI	RMSEA
1-dimensionales Modell	154.27	52	<.001	2.97	0.95	0.95	0.12
3-dimensionales Modell	86.47	55	.001	1.57	0.99	0.99	0.06

Anmerkungen: χ^2 und df sind nach der WLSMV-Methode geschätzt ($N = 140$).

Die χ^2 -Differenz zwischen beiden Modellen war statistisch signifikant ($\chi^2 = 48.37$, $df = 2$, $p < .001$; geschätzt nach der WLSMV-Methode; Muthén & Muthén, 1998–2010).

Die Ergebnisse der CFA bestätigen damit eine den drei Dörner'schen Facetten entsprechende mehrdimensionale Skalierung der dynamischen Problemlösekompetenz und deren empirische Angemessenheit. Reliabilitäten und Skaleninterkorrelationen (Tabelle 5) zeigen hohe interne Konsistenzen innerhalb der Dimensionen und ausreichende Abgrenzung zwischen diesen.

Tabelle 5. Reliabilitäten und Interkorrelationen der Dimensionen des dynamischen Problemlösens

	IG	MB	P
Informationsgenerierung (IG)	.93		
Modellbildung (MB)	.73	.87	
Prognose (P)	.62	.88	.86

Anmerkungen: Cronbach's Alpha auf der Hauptdiagonalen, Korrelationen der latenten Dimensionen unterhalb der Hauptdiagonalen ($N = 140$).

Die Korrelationen der latenten Faktorwerte mit manifesten Schulnoten (Tabelle 6) innerhalb der homogenen, hoch-leistungsfähigen Stichprobe entsprachen hinsichtlich Höhe und Richtung den Erwartungen und fielen für die naturwissenschaftlichen Fächer (mit Ausnahme der Biologie) höher als für die sprachlichen Fächer aus. Hinweise auf differenzielle Korrelationseffekte der Problemlösedimensionen waren kaum zu beobachten. Bestenfalls waren die Zusammenhänge für die prozedurale und verhaltensnahe erfasste Dimension *Informationsgenerierung* höher als für die beiden verbleibenden Facetten.

Fazit. Auf Binnenstrukturebene zeigte sich eine Facettenmodellierung der für PISA 2012 angesetzten Generalfaktormodellierung überlegen. In Abgrenzung zum analytischen Problemlösen, das starke Affinitäten zum mathematischen, aber auch zu den anderen Kompetenzbereichen aus PISA zeigte (Tabelle 3), war dynamisches Problemlösen lediglich mit dem Gesamtabitur sowie den Noten in Mathematik, Chemie und Physik konsistent korreliert, während dies für die Noten in Deutsch, Englisch

und Biologie nicht zutraf. Zwar sind die Kompetenzmessungen in PISA und selbst berichtete Schulnoten nicht unmittelbar miteinander vergleichbar, dennoch lassen sich anhand der berichteten Befunde differenzielle Aspekte der beiden Arten des Problemlösens vermuten.

Zusammenfassende Diskussion

Der Aufbau von Problemlösekompetenz ist eines der zentralen Ziele zahlreicher Bildungssysteme (OECD, 2010), und zwar aus zwei Perspektiven: zum einen als Ergebnis von Schule und Unterricht, zum anderen als Voraussetzung für erfolgreiches weiteres Lernen. Ausgangspunkt des vorliegenden Beitrags zu analytischem und dynamischem Problemlösen waren überraschende Ergebnisse der PISA-Studie 2003, die sich im Sinne einer Potenzialerschöpfungshypothese interpretieren lassen (Leutner, Klieme et al., 2004, 2005): Schülerinnen und Schüler in Deutschland scheinen über kognitives Potenzial zu verfügen, das beim Lösen fächerübergreifender Problemstellungen sichtbar wird, in den Schulen aber nicht hinreichend genutzt wird, um fachliche Kompetenzen aufzubauen. Um diese Hypothese prüfen und die Ergebnisse didaktisch nutzen zu können, bedarf es einer Analyse der kognitiven Anforderungen der PISA-Aufgaben und empirischer Studien zur Modellierung der zu ihrer Lösung erforderlichen Kompetenzen bzw. Kompetenzstrukturen.

Analytische Problemlösekompetenz und Mathematikkompetenz weisen große konzeptuelle Ähnlichkeiten auf, sowohl was die bei der erfolgreichen Bearbeitung von Problemlöse- und Mathematikaufgaben zu durchlaufenden Prozessschritten als auch die im Ablauf des Bearbeitungsprozesses relevanten Komponenten betrifft. Im Rahmen der berichteten Aufgaben- und Anforderungsanalyse ließen sich inhaltspezifisches Sach- und Handlungswissen, konditionales Wissen, allgemeine Problemlösestrategien sowie die Fähigkeit zur Selbstregulation als relevante Komponenten jeweils mit unterschiedlich starker Gewichtung für Problemlösen und Mathematik identifizieren. Darüber hinaus legt die berichtete Reskalierung der PISA 2003-Daten für analytische Problemlösekompetenz eine 3-dimensionale Kompetenzstruktur nahe: Die bei PISA eingesetzten Problemstellungen *Entscheidungen treffen*, *Systeme analysieren und entwerfen* und *Fehler suchen*

Tabelle 6. Korrelationen der latenten Faktorwerte des dynamischen Problemlösens mit Schulnoten

	Informationsgenerierung	Modellbildung	Prognose
Gesamtabitur	-.25**	-.33***	-.29***
Mathematik	-.23***	-.23***	-.25***
Biologie	-.19***	-.05	-.09
Chemie	-.35***	-.26***	-.23**
Physik	-.34***	-.26***	-.28***
Deutsch	-.08	-.06	-.08
Englisch	-.16	-.24***	-.23**

Anmerkungen: $N = 140$; ** $p < .01$, *** $p < .001$.

bilden drei hoch korrelierte, jedoch empirisch trennbare Dimensionen ab, für die sich zudem differenzielle Zusammenhänge mit Drittvariablen zeigen lassen. Substanzielle Korrelationen der einzelnen Dimensionen, insbesondere mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Kompetenzen, lassen darüber hinaus erwarten, dass gezielte Maßnahmen zur Förderung einzelner Dimensionen der Problemlösekompetenz auf die Entwicklung dieser fachlichen Kompetenzen transferieren. Die Dimension *Systeme analysieren und entwerfen* scheint hierbei eine besondere Nähe zu fachlichen Kompetenzen zu haben. Zur Klärung der Frage, inwieweit sich dieser im Einklang mit der Potenzialerschöpfungshypothese stehende Transfer allerdings tatsächlich einstellt, bedarf es weiterer Forschung, insbesondere experimenteller, idealerweise längsschnittlich angelegter Trainingsstudien.

Ähnliches lässt sich für die dynamische Problemlösefähigkeit festhalten: Auch hier zeigt sich die theoretisch angenommene Auffächerung in drei Subdimensionen, die sich aber wohl nicht in der Berichterstattung für PISA 2012 niederschlagen wird. Dort wird – aus praktischen Gründen – lediglich eine einzelne Dimension des dynamischen Problemlösens ausgewiesen werden. Ob dies zu einem Verlust an prädiktiver Validität führt, bleibt abzuwarten und lässt sich anhand der vorliegenden Befunde nicht abschließend beurteilen. Im Gegensatz zum analytischen Problemlösen wird die Rolle des dynamischen Problemlösens in Schulleistungsstudien derzeit noch definiert: Eine repräsentative Skalierung an einer Schülerstichprobe steht noch aus, und es bleibt abzuwarten, ob sich auch für dynamisches Problemlösen eine im Vergleich zu fachspezifischen Kompetenzen überdurchschnittliche Leistung deutscher Schülerinnen und Schüler im Sinne einer Potenzialerschöpfungshypothese beobachten lässt. Spätestens dann wäre zu fragen, an welchen Stellen es dem deutschen Schulsystem nicht gelingt, Schülerinnen und Schüler dabei zu unterstützen, offensichtlich vorhandenes Potenzial in fachspezifisch nutzbare Kompetenzen umzusetzen.

Literatur

- Blum, W., Neubrand, M., Ehmke, T., Senkbeil, M., Jordan, A., Ulfig, F. et al. (2004). Mathematische Kompetenz. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 47–92). Münster: Waxmann.
- Bond, T. G. & Fox, C. M. (2001). *Applying the rasch model*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Davidson, J. E., Deuser, R. & Sternberg, R. J. (1994). The role of metacognition in problem solving. In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 207–226). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32, 290–308.
- Duncker, K. (1935). *The psychology of productive thinking*. Berlin: Springer.
- Fleischer, J., Wirth, J., Rumann, S. & Leutner, D. (2010). Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz – Analyse von Aufgabenprofilen. *Zeitschrift für Pädagogik [Beiheft]*, 56, 239–248.
- Frensch, P. & Funke, J. (Eds.). (1995). *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. (2006). Komplexes Problemlösen. In J. Funke (Hrsg.), *Denken und Problemlösen* (S. 375–446). Göttingen: Hogrefe.
- Gick, M. L. (1986). Problem-solving strategies. *Educational Psychologist [Supplement]*, 21, 99–120.
- Greiff, S. (in press). *Individualdiagnostik der Problemlösefähigkeit*. Münster: Waxmann.
- Greiff, S. & Funke, J. (2010). Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie [Beiheft]*, 56, 216–227.
- Greiff, S., Wüstenberg, S. & Funke, J. (2011). Dynamic problem solving: A new measurement perspective. Manuscript submitted for publication.
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz? Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47, 179–200.
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55, 1–15.
- Leutner, D., Fleischer, J. & Wirth, J. (2006). Problemlösekompetenz als Prädiktor für zukünftige Kompetenz in Mathematik und in den Naturwissenschaften. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres* (S. 119–137). Münster: Waxmann.
- Leutner, D., Funke, J., Klieme, E. & Wirth, J. (2005). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 11–19). Wiesbaden: VS.
- 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. 147–175). Münster: Waxmann.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2005). Die Problemlösekompetenz in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche?* (S. 125–146). Münster: Waxmann.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition*. New York, NY: Freeman.
- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (1998–2010). *Mplus user's guide. Sixth edition*. Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- OECD. (2003). *The PISA 2003 assessment framework – Mathematics, reading, science and problem solving knowledge and skills*. Paris: OECD.
- OECD. (2005). *PISA 2003 – Technical report*. Paris: OECD.
- OECD. (2010). *PISA 2012 field trial problem solving framework*. Paris: OECD.
- Paris, S. G., Lipson, M. Y. & Wixson, K. K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293–316.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*. Princeton, NJ: University Press.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie-Testkonstruktion* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Bern: Huber.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando, FL: Academic Press.
- Stawitz, H., Rumann, S., Fleischer, J. & Wirth, J. (2008). Analyse von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben bei PISA 2003. In D. Höttercke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung* (S. 407–409). Berlin: LIT.

- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (1996). Hypotheseninstruktion und Zielspezifität: Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 43, 657–683.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. & Klieme, E. (2003). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education. Principles, Policy, & Practice*, 10, 329–345.
- Wirth, J., Leutner, D. & Klieme, E. (2005). Problemlösekompetenz – Ökonomisch und zugleich differenziert erfassbar? In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 73–82). Wiesbaden: VS.
- 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.

Prof. Dr. Detlev Leutner

Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Bildungswissenschaften
45117 Essen
E-Mail: detlev.leutner@uni-due.de