

Fleischer, Jens; Wirth, Joachim; Rumann, Stefan; Leutner, Detlev
**Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz.
Analyse von Aufgabenprofilen. Projekt Problemlösen**

*Klieme, Eckhard [Hrsg.]; Leutner, Detlev [Hrsg.]; Kenk, Martina [Hrsg.]: Kompetenzmodellierung.
Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Weinheim ;
Basel : Beltz 2010, S. 239-248. - (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft; 56)*

urn:nbn:de:0111-opus-34329

in Kooperation mit:

BELTZ

<http://www.beltz.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Kontakt:

peDOCS

Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF)

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Informationszentrum (IZ) Bildung

Schloßstr. 29, D-60486 Frankfurt am Main

eMail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Zeitschrift für Pädagogik · 56. Beiheft

Kompetenzmodellierung

Zwischenbilanz des DFG- Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes

Herausgegeben von

Eckhard Klieme, Detlev Leutner und Martina Kenk

BELTZ

Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehsendung, im Magnettonverfahren oder auf ähnlichem Wege bleiben vorbehalten. Fotokopien für den persönlichen oder sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopie hergestellt werden. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens hergestellte oder genutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG Wort, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München, bei der die einzelnen Zahlungsmodalitäten zu erfragen sind.

© 2010 Beltz Verlag · Weinheim und Basel
Herstellung: Lore Amann
Gesamtherstellung: Druckhaus „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza
Printed in Germany
ISSN 0514-2717
Bestell-Nr. 41157

Inhaltsverzeichnis

Eckhard Klieme/Detlev Leutner/Martina Kenk
Kompetenzmodellierung. Eine aktuelle Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunkt-
programms. Einleitung zum Beiheft 9

Benő Csapó
Goals of Learning and the Organization of Knowledge 12

Mathematische Kompetenzen

Marianne Bayrhuber/Timo Leuders/Regina Bruder/Markus Wirtz
Projekt HEUREKO
Repräsentationswechsel beim Umgang mit Funktionen – Identifikation von
Kompetenzprofilen auf der Basis eines Kompetenzstrukturmodells 28

Andreas Frey/Nicki-Nils Seitz
Projekt MAT
Multidimensionale adaptive Kompetenzdiagnostik: Ergebnisse zur
Messeffizienz 40

*Nina Zeuch/Hanneke Geerlings/Heinz Holling/Wim J. van der Linden/
Jonas P. Bertling*
Projekt Regelgeleitete Itementwicklung
Regelgeleitete Konstruktion von statistischen Textaufgaben: Anwendung von
linear logistischen Testmodellen und Aufgabencloning 52

*Eckhard Klieme/Anika Bürgermeister/Birgit Harks/Werner Blum/Dominik Leiß/
Katrin Rakoczy*
Projekt Co²CA
Leistungsbeurteilung und Kompetenzmodellierung im Mathematikunterricht 64

Olga Kunina-Habenicht/Oliver Wilhelm/Franziska Matthes/André A. Rupp
Projekt Kognitive Diagnosemodelle
Kognitive Diagnosemodelle: Theoretisches Potential und methodische Probleme ... 75

Aiso Heinze

Review

Mathematische Kompetenz modellieren und diagnostizieren: Eine Diskussion der Forschungsprojekte des DFG-Schwerpunktprogramms „Kompetenzmodelle“ aus mathematikdidaktischer Sicht 86

Naturwissenschaftliche Kompetenzen

Tobias Viering/Hans E. Fischer/Knut Neumann

Projekt Physikalische Kompetenz

Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I 92

Renate Soellner/Stefan Huber/Norbert Lenartz/Georg Rudinger

Projekt Gesundheitskompetenz

Facetten der Gesundheitskompetenz – eine Expertenbefragung 104

Ilonca Hardy/Thilo Kleickmann/Susanne Koerber/Daniela Mayer/

Kornelia Möller/Judith Pollmeier/Knut Schwippert/Beate Sodian

Projekt Science – P

Die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter 115

Nina Roczen/Florian G. Kaiser/Franz X. Bogner

Projekt Umweltkompetenz

Umweltkompetenz – Modellierung, Entwicklung und Förderung 126

Ilka Parchmann

Review

Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften – Vielfalt ist wertvoll, aber nicht ohne ein gemeinsames Fundament 135

Sprachliche und Lesekompetenzen

Wolfgang Schnotz/Nele McElvany/Holger Horz/Sascha Schroeder/Mark Ullrich/

Jürgen Baumert/Axinja Hachfeld/Tobias Richter

Projekt BITE

Das BITE-Projekt: Integrative Verarbeitung von Bildern und Texten in der Sekundarstufe I 143

Tobias Dörfler/Stefanie Golke/Cordula Artelt

Projekt Dynamisches Testen

Dynamisches Testen der Lesekompetenz: Theoretische Grundlagen, Konzeption und Testentwicklung 154

<i>Thorsten Roick/Petra Stanat/Oliver Dickhäuser/Volker Frederking/ Christel Meier/Lydia Steinhauer</i>	
Projekt Literarästhetische Urteilskompetenz	
Strukturelle und kriteriale Validität der literarästhetischen Urteilskompetenz	165

<i>Hans Anand Pant/Simon P. Tiffin-Richards/Olaf Köller</i>	
Projekt Standard-Setting	
Standard-Setting für Kompetenztests im Large-Scale-Assessment	175

<i>Johannes Hartig/Jana Höhler</i>	
Projekt MIRT	
Modellierung von Kompetenzen mit mehrdimensionalen IRT-Modellen	189

<i>Albert Bremerich-Vos</i>	
Review	
Modellierung von Aspekten sprachlich-kultureller Kompetenz. Anmerkungen zu den Projektberichten	199

Fächerübergreifende Kompetenzen

<i>Ellen Gausmann/Sabina Eggert/Marcus Hasselhorn/Rainer Watermann/ Susanne Bögeholz</i>	
Projekt Bewertungskompetenz	
Wie verarbeiten Schüler/-innen Sachinformationen in Problem- und Entscheidungssituationen Nachhaltiger Entwicklung – Ein Beitrag zur Bewertungskompetenz	204

<i>Samuel Greiff/Joachim Funke</i>	
Projekt Dynamisches Problemlösen	
Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme	216

<i>Klaus Lingel/Nora Neuenhaus/Cordula Artelt/Wolfgang Schneider</i>	
Projekt EWIKO	
Metakognitives Wissen in der Sekundarstufe: Konstruktion und Evaluation domänenspezifischer Messverfahren	228

<i>Jens Fleischer/Joachim Wirth/Stefan Rumann/Detlev Leutner</i>	
Projekt Problemlösen	
Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz – Analyse von Aufgabenprofilen	239

Melanie Schütte/Joachim Wirth/Detlev Leutner

Projekt Selbstregulationskompetenz

Selbstregulationskompetenz beim Lernen aus Sachtexten – Entwicklung und
Evaluation eines Kompetenzstrukturmodells 249

Tobias Gschwendtner/Bernd Geißel/Reinhold Nickolaus

Projekt Berufspädagogik

Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen
Grundbildung 258

Franziska Perels

Review

Modellierung und Messung fächerübergreifender Kompetenzen und ihre
Bedeutung für die Bildungsforschung. Kritische Reflexion der Projektbeiträge ... 270

Lehrerkompetenzen

Simone Bruder/Julia Klug/Silke Hertel/Bernhard Schmitz

Projekt Beratungskompetenz

Modellierung der Beratungskompetenz von Lehrkräften 274

Cornelia Gräsel/Sabine Krolak-Schwerdt/Ines Nölle/Thomas Hörstermann

Projekt Diagnostische Kompetenz

Diagnostische Kompetenz von Grundschullehrkräften bei der Erstellung der
Übergangsempfehlung: eine Analyse aus der Perspektive der sozialen
Urteilsbildung 286

Tina Seidel/Geraldine Blomberg/Kathleen Stürmer

Projekt OBSERVE

„OBSERVER“ – Validierung eines videobasierten Instruments zur Erfassung
der professionellen Wahrnehmung von Unterricht 296

Mareike Kunter

Review

Modellierung von Lehrerkompetenzen. Kommentierung der
Projektdarstellungen 307

Jens Fleischer/Joachim Wirth/Stefan Rumann/Detlev Leutner

Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz

Analyse von Aufgabenprofilen

Projekt Problemlösen¹

1. Einleitung

Die Fähigkeit zum Problemlösen stellt eine zentrale Qualifikation in verschiedensten schulischen und außerschulischen Lern- und Leistungsbereichen dar. Entsprechend wird Problemlösen in vielen Schulfächern, insbesondere in der Mathematik und den naturwissenschaftlichen Fächern, als zu erwerbende fachliche Kompetenz definiert, welche die Verfügbarkeit und Anwendung von Wissensbeständen einer spezifischen Fachdomäne erfordert (vgl. Blum u.a. 2006; KMK 2005). Darüber hinaus wird Problemlösen auch als fächerübergreifende Kompetenz betrachtet, bei der sich das zur Lösung notwendige Wissen nicht einer einzelnen spezifischen Fachdomäne zuordnen lässt (vgl. OECD 2004). Dieser fächerübergreifenden Problemlösekompetenz wird für beruflichen Erfolg eine zentrale Rolle beigemessen (vgl. ebd.).

Im Hinblick auf die Art einer Problemstellung lässt sich analytisches von dynamischem Problemlösen unterscheiden. Analytisches Problemlösen zeichnet sich dadurch aus, dass alle für die Problemlösung relevanten Informationen in der Problemstellung gegeben sind oder erschlossen werden können. Problemlösen kann damit zu einem großen Teil als schlussfolgernde Anwendung vorhandenen Wissens bezeichnet werden. Beim dynamischen Problemlösen hingegen muss ein Großteil der lösungsrelevanten Informationen in einer explorativen Interaktion mit der Problemsituation erst generiert werden (vgl. Leutner/Funke u.a. 2005).

Aus lehr-lernpsychologischer sowie fachdidaktischer Perspektive stellt sich vorrangig die Frage nach der Förderbarkeit der Problemlösekompetenz. Hierfür ist zunächst die allgemeine und fächerspezifische Struktur der Problemlösekompetenz aufzuklären, um darauf basierend geeignete Trainingsprogramme zur gezielten Förderung entwickeln zu können. Die Strukturfrage gewinnt spätestens seit den Ergebnissen der PISA-Studie 2003 Relevanz, die darauf hindeuten, dass fächerübergreifende analytische Problemlösekompetenz eine kognitive Ressource zum Aufbau fachlicher Problemlösekompetenz darstellt (vgl. Leutner u.a. 2004).

1 Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: LE 645/12-1 und AR 301/8-1) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).

2. Zielsetzung und Arbeitsprogramm des Projekts

Die übergeordnete Zielsetzung des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung und Validierung von Kompetenzstrukturmodellen des analytischen Problemlösens. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob sich fächerübergreifende sowie fachspezifische Komponenten der Problemlösekompetenz in Abgrenzung zur Intelligenz identifizieren und inhaltlich beschreiben lassen.

Das Projekt gliedert sich in der ersten Zweijahresphase des DFG-Schwerpunktprogramms in zwei Schritte. Zur Identifizierung potenziell relevanter Komponenten der Problemlösekompetenz wurden in einem ersten Schritt die Anforderungen von Testaufgaben zur Erfassung fächerübergreifender sowie fachbezogener Problemlösekompetenz analysiert. Daran anschließend werden in einem zweiten Schritt neue Testverfahren zur Erfassung zentraler Komponenten der fächerübergreifenden und fachlichen Problemlösekompetenz entwickelt und administriert. Anhand dieser Daten soll die Binnenstruktur der Kompetenzen untersucht werden. Die Ergebnisse beider Projektschritte sollen in einem Kompetenzstrukturmodell fächerübergreifenden und fachlichen Problemlösens zusammengeführt werden.

Im Folgenden wird der erste Schritt des Projektes dargestellt. Wir konzentrieren uns dabei auf fächerübergreifendes und mathematisches Problemlösen. Aspekte des naturwissenschaftlichen Problemlösens werden im Rahmen eines assoziierten Projekts untersucht (s. Stawitz u.a. 2009).

3. Theoretischer Hintergrund

In der Psychologie herrscht weitgehende Einigkeit darüber, dass ein Problem aus einer Problemsituation (Ausgangszustand), einem mehr oder weniger genau definierten Zielzustand und einem nicht unmittelbar einsichtigen Lösungsweg besteht (vgl. Mayer 1990). Das Lösen von Problemen lässt sich damit definieren als „zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind“ (Klieme u.a. 2001, S. 185). Vergleichbare Konzeptualisierungen der Begriffe „Problem“ und „Problemlösen“ finden sich auch in der Mathematik (vgl. Reiss/Törner 2007; Schoenfeld 1985).

3.1 Problemlösen als Prozess

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 fächerübergreifenden als auch zum fachlichen Problemlösen in der Mathematik. So beschreibt das PISA 2003 „Assessment Framework“ für den Test zur fächerübergreifenden Problemlösekompetenz eine vergleichbare Abfolge von Prozess-

schritten (vgl. OECD 2003). In der Mathematik unterscheiden Carlson und Bloom (2005) die Prozesse *orientation, planning, executing* und *checking*. Eine ähnliche Darstellung von Prozessschritten findet sich auch in der Beschreibung des mathematischen Modellierungskreislaufs, der die theoretische Basis für die Mathematiktests in den PISA-Studien darstellt (vgl. Blum u.a. 2004).

3.2 Problemlösen als Kompetenz

Problemlösekompetenz und Intelligenz

Im Rahmen der Strukturforschung zu kognitiven Fähigkeitskonstrukten wird Problemlösen mitunter als Komponente der Intelligenz betrachtet (vgl. Sternberg/Kaufmann 1998). Problemlösen im Sinne einer Kompetenz lässt sich jedoch konzeptuell von Intelligenz trennen: Problemlösekompetenz zeichnet sich im Gegensatz zu Intelligenz durch eine höhere Bereichsspezifität, prinzipielle Erlernbarkeit sowie eine stärkere Orientierung an den zu bewältigenden Anforderungen aus (vgl. Leutner/Funke u.a. 2005). Dennoch ist die Befundlage zum korrelativen Zusammenhang zwischen Problemlösen und Intelligenz nach wie vor uneinheitlich (vgl. Leutner 2002). Hinweise auf eine strukturelle Trennung zwischen Problemlösekompetenz und Intelligenz liefern jedoch Ergebnisse der PISA-Studien (vgl. Leutner u.a. 2004). Wie Leutner, Wirth, Klieme und Funke (2005) zeigen konnten, lassen sich die Leistungen auf den Skalen dynamisches Problemlösens, analytisches Problemlösens und Intelligenz nur sehr schlecht durch einen gemeinsamen Faktor erklären. Modelle mit drei latenten Dimensionen bilden die Kompetenzstruktur wesentlich besser ab.

Komponenten der Problemlösekompetenz

Im Verlauf des zuvor skizzierten Problemlöseprozesses lassen sich potenziell relevante Komponenten der Problemlösekompetenz identifizieren, die für eine erfolgreiche Lösung fächerübergreifender und fachlicher Probleme relevant sind. Hierzu gehört 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 und Heuristiken, 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).

3.3 Fächerübergreifende und fachliche Problemlösekompetenz in PISA

Die beschriebenen konzeptuellen Ähnlichkeiten zwischen Problemlösen als fächerübergreifender Kompetenz und ihrer fachlichen Ausdifferenzierung in der Mathematik zeigt sich auch empirisch an vergleichsweise hohen Korrelationen dieser Kompetenzen in den PISA-Studien. Die messfehlerbereinigte Korrelation von mathematischer Kompetenz und (fächerübergreifender) Problemlösekompetenz liegt bei $r = .89$ (vgl. OECD 2005). Trotz dieser hohen Korrelation zeigen sich – relativiert am OECD-Durchschnitt der Kompetenzskalen – deutliche Niveauunterschiede zwischen der (im internationalen Vergleich hohen) Problemlösekompetenz und der (im internationalen Vergleich durchschnittlichen) mathematischen Kompetenz deutscher Schülerinnen und Schüler (vgl. Leutner u.a. 2004). Diese Diskrepanz lässt sich im Sinne der Potenzialausschöpfungshypothese interpretieren, wonach fächerübergreifende Problemlösekompetenz eine kognitive Ressource zum Aufbau fachlicher Kompetenzen darstellt, die im Unterricht jedoch nicht hinreichend ausgeschöpft zu werden scheint (vgl. ebd.).

Ergebnisse der PISA 2003-Messwiederholungstudie zur Untersuchung der Kompetenzentwicklung u.a. in Mathematik im Laufe der 10. Klasse unterstützen diese Vermutung. Die Ergebnisse zeigen, dass fächerübergreifende Problemlösekompetenz und fachlicher Kompetenzerwerb in engem Zusammenhang stehen, und deuten darauf hin, dass fächerübergreifende und fachliche Problemlösekompetenz aus verschiedenen, sich teilweise überlappenden Komponenten bestehen (vgl. Leutner/Fleischer/Wirth 2006).

4. Methodisches Vorgehen

Ziel des ersten Projektschritts ist es, möglichst umfassend strukturelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede bezüglich der Konstruktion und der kognitiven Anforderungsprofile von Testaufgaben zur Erfassung fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz zu identifizieren, um dadurch Hinweise auf relevante Komponenten der Problemlösekompetenz ableiten zu können. Hierfür wurden die Testaufgaben der PISA-Studie 2003 zum analytischen Problemlösen ($N = 28$ Analyseeinheiten) sowie eine nach Itemschwierigkeit, übergreifender Idee und Kompetenzcluster (s. OECD 2003) stratifizierte Auswahl von Aufgaben des Mathematiktests ($N = 58$ Analyseeinheiten) einer detaillierten Aufgaben- und Anforderungsanalyse unterzogen.

Nach wie vor liegt keine theoretisch hinreichend fundierte und empirisch überprüfte Taxonomie kognitiver Prozesse vor, die es ermöglichen würde, Testaufgaben nach kognitiven Anforderungen zu klassifizieren. Für den Bereich der fächerübergreifenden und der mathematischen Problemlösekompetenz existieren jedoch Arbeiten zu potenziell relevanten Aufgabenmerkmalen, welche für das Projekt genutzt werden konnten (vgl. z.B. Dossey/McCrone/O'Sullivan 2006; Jordan u.a. 2006). Zur Analyse der PISA-Aufgaben wurde ein Kategoriensystem zur Klassifikation von Aufgabenmerkmalen entwi-

ckelt und pilotiert. Die endgültige Version des Kategoriensystems enthält 36 detailliert beschriebene Beurteilungsfacetten (Beurteilungsdimensionen), die u.a. folgende Bereiche abdecken: Aufgabenstellung, Sprache, Aufgabenkontext, Themengebiet, curriculare Wissensstufe, erforderliche Wissensinhalte, kognitive Komplexität und Komplexität der Prozessschritte. Anhand dieses Kategoriensystems wurden die PISA-Aufgaben durch drei geschulte Beurteiler/innen unabhängig voneinander und ohne Kenntnis der jeweiligen Domäne (Mathematik vs. Problemlösen) nach den Beurteilungsfacetten klassifiziert.

Wir gehen davon aus, dass fächerübergreifende Problemlösekompetenz eine kognitive Ressource zum Aufbau fachlicher Problemlösekompetenz darstellt. Daher sollten die (fächerübergreifenden) Problemlöseaufgaben in den Facetten Operatoren-Anforderungsbereich, sprachliche und kognitive Komplexität sowie Komplexität der Prozessschritte einem höheren Anforderungsniveau zugeordnet werden. Wir erwarten außerdem, dass die Problemlöseaufgaben entsprechend ihres fächerverbindenden Charakters mehreren Themengebieten zugeordnet werden. Die Mathematikaufgaben sollten sich insbesondere durch einen stärkeren Formalisierungsgrad der Sprache, eine eindeutige Zuordnung zum Themengebiet der Mathematik sowie höhere Anforderungen an das inhaltspezifische Sachwissen auszeichnen. Ergebnisse dieses ersten Projektschritts werden im folgenden Abschnitt zusammenfassend dargestellt.

5. Ergebnisse zur vergleichenden Analyse der PISA-Testaufgaben

Als Indikator für die Objektivität der Beurteilungsfacetten wurden die mittlere prozentuale Übereinstimmung, generalisierte Kappa-Koeffizienten sowie – für ordinal- und intervallskalierte Facetten – Krippendorfs Alpha über alle drei Beurteiler/innen berechnet (vgl. Fleiss 1971; Krippendorf 2004). Tabelle 1 stellt exemplarisch die Ergebnisse der Beurteilerübereinstimmung für ausgewählte Facetten über die gesamte Bandbreite des Kategoriensystems hinweg dar. Für weitere Analysen wurden Kappa-Koeffizienten von über .40 als Indikator für eine hinreichend hohe Beurteilerübereinstimmung betrachtet (vgl. Banerjee u.a. 1999).

Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse der Aufgabenklassifikation für eine Auswahl von Beurteilungsfacetten zusammenfassend berichtet. Zur Prüfung von Unterschieden zwischen den Domänen wurden, je nach Skalenniveau der Facetten, Mann-Whitney *U*-Tests, Likelihood ratio χ^2 -Tests sowie *t*-Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgesetzt und eine sequentielle α -Fehler-Adjustierung für multiple Tests nach Holm (1979) vorgenommen.

Aufgabenstellung (Typ/Anforderungsniveau der Operatoren): Die Art der Aufgabenstellung unterscheidet sich signifikant zwischen Mathematik- und Problemlöseaufgaben ($\chi^2_{(5)} = 22.30; p = .001$). Während die Aufgabenstellung der Problemlöseaufgaben häufig aus einer Aufforderung besteht (67,9% der Fälle), besteht sie bei den Mathematikaufgaben häufig aus einer Frage (41,3%) oder aus einer Kombination aus Frage und Aufforderung (24,1%). Die in den Problemlöseaufgaben verwendeten Operatoren

Beurteilungsfacette	Mittlere prozentuale Übereinstimmung	Kappa-Koeffizient	Krippendorfs α
<i>Aufgabenstellung: Typ/Operatoren</i>			
Typ (Frage, Aufforderung, Ergänzung etc.)	89,9%	0.87	
Operatoren-Anforderungsbereich (niedrig, mittel, hoch)	77,5%	0.60	0.71
<i>Sprache: Komplexität/Formalisierungsgrad</i>			
Komplexität (niedrig, mittel, hoch)	77,5%	0.67	0.86
Formalisierungsgrad (schwach, stark)	84,5%	0.65	0.65
<i>Aufgabenkontext: Bezug/Funktion</i>			
Bezug (unabhängig, persönlich, gesellschaftsbezogen etc.)	85,3%	0.79	
Funktion: Motivation (nicht erfüllt, erfüllt)	87,6%	0.75	0.75
Funktion: Modellbildung (nicht erfüllt, erfüllt)	85,3%	0.69	0.69
Funktion: Handlungsanleitung (nicht erfüllt, erfüllt)	94,6%	0.71	0.71
Themengebiet (Mathe, Physik, Chemie etc.)	96,1%	0.90	
Curriculare Wissensstufe (niedrig, mittel, hoch)	88,9%	0.78	0.83
Kognitive Komplexität (gering, mittel, hoch)	76,0%	0.63	0.78
<i>Wissen: Art/Allgemeinheit</i>			
Art (Sachwissen, Handlungswissen)	87,6%	0.71	
Sachwissen-Allgemeinheit/Niveau (Ratingskala 4-stufig)	65,5%	0.50	0.79
Handlungswissen-Allgemeinheit/Niveau (Ratingskala 4-stufig)	71,3%	0.59	0.81
<i>Prozessschritte: Anforderungsniveau/Komplexität</i>			
Verstehen der Problemsituation (Ratingskala 3-stufig)	61,2%	0.31	0.46
Erkennen relevanter Bedingungen (Ratingskala 3-stufig)	76,7%	0.62	0.75
Problem-/Aufgabenbearbeitung (Ratingskala 3-stufig)	73,6%	0.60	0.71
Interpretieren/Validieren (nicht erforderlich, erforderlich)	96,9%	0.91	0.91

Tab. 1: Koeffizienten der Beurteilerübereinstimmung (mittlere prozentuale Übereinstimmung, generalisiertes Kappa und Krippendorfs α) für ausgewählte Beurteilungsfacetten des Kategoriensystems

(Denk- und Handlungsaufforderungen) lassen sich außerdem einem signifikant höheren kognitiven Anforderungsniveau zuordnen als bei den Mathematikaufgaben ($U = 473.5$; $p < .001$).

Sprache (Komplexität/Formalisierungsgrad): Problemlöseaufgaben weisen eine signifikant höhere sprachlogische Komplexität im Vergleich zu Mathematikaufgaben auf ($U = 310.5$; $p = <.001$). Allerdings haben Mathematikaufgaben einen signifikant höheren Formalisierungsgrad der Sprache (Fachsprache und formale Darstellung) als Problemlöseaufgaben ($U = 563.0$; $p = .002$).

Aufgabenkontext (Bezug/Funktion)/Themengebiet: Problemlöse- und Mathematikaufgaben unterscheiden sich signifikant hinsichtlich des persönlichen Bezugs des Aufgabenkontextes ($\chi^2_{(4)} = 41.00$; $p < .001$). Während Problemlöseaufgaben in den meisten Fällen einen Kontext mit persönlichem Bezug (Freizeit, Familie, Beruf, Schule) zu den Aufgabenbearbeitenden aufweisen (89,3%), ist dies bei den Mathematikaufgaben seltener der Fall (37,9%). Bezüglich der Funktion des Aufgabenkontextes (Motivation, Modellbildung, Handlungsanleitung) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Die überwiegende Mehrheit der Mathematikaufgaben lässt sich eindeutig dem Themengebiet der Mathematik zuordnen (93,1%), während dies nur für 32,1% der Problemlöseaufgaben zutrifft, die in den meisten Fällen (57,1%) keinem Themengebiet eindeutig zugeordnet werden können ($\chi^2_{(2)} = 35.79$; $p < .001$).

Curriculare Wissensstufe/kognitive Komplexität: Die Problemlöseaufgaben unterscheiden sich signifikant von den Mathematikaufgaben hinsichtlich des curricularen Niveaus des zur Lösung der Aufgaben notwendigen Wissens ($U = 251.5$; $p < .001$). Mathematikaufgaben erfordern in der Regel mindestens einfaches Wissen der Sekundarstufe I (84,2%). Demgegenüber erfordern die Problemlöseaufgaben in den meisten Fällen lediglich Grundkenntnisse (81,5%), die teilweise bereits in der Grundschule vermittelt wurden. Dennoch ist die kognitive Komplexität (u.a. Notwendigkeit zum strategisch planvollen Vorgehen) der Problemlöseaufgaben signifikant höher als die der Mathematikaufgaben ($U = 418.0$; $p < .001$).

Wissen (Art/Allgemeinheit): Problemlöse- und Mathematikaufgaben unterscheiden sich bezüglich der Art des zur Lösung notwendigen Wissens signifikant voneinander ($\chi^2_{(2)} = 15.78$; $p = .001$). Bei Problemlöseaufgaben steht häufiger Handlungswissen im Vordergrund (96,4%) als bei Mathematikaufgaben (60,3%), bei denen außerdem häufiger eine Kombination von Sach- und Handlungswissen erforderlich ist (31,0%) als bei Problemlöseaufgaben (3,6%). Das zur Lösung der Problemlöseaufgaben notwendige Sachwissen ist im Vergleich zu den Mathematikaufgaben allgemeiner ($t_{\text{adj}(83)} = -5.84$; $p < .001$), während bezüglich des Allgemeinheitsgrads des notwendigen Handlungswissens kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden kann.

Prozessschritte (Anforderungsniveau/Komplexität): Problemlöseaufgaben stellen höhere Anforderungen an das Erkennen relevanter ggf. einschränkender Bedingungen der Aufgabenstellung ($t_{(84)} = -3.72$; $p < .001$). Bezüglich der Anforderungen an die Prozesse Aufgabenbearbeitung und Validierung der Aufgabenlösung vor dem Hintergrund der Ausgangssituation lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Problemlöseaufgaben scheinen zwar ebenfalls höhere Anforderungen an das Verstehen der

Problemsituation zu stellen, jedoch ist es angebracht, die betreffende Facette aufgrund geringer Beurteilerübereinstimmung zu überarbeiten.

6. Diskussion und Ausblick

Die Aufgabenklassifikation zeigt, dass der persönliche Bezug der beschriebenen Problemstellungen ein charakteristisches Merkmal der fächerübergreifenden Problemlöseaufgaben ist. In der PISA-Studie wurde fächerübergreifende Problemlösekompetenz über fächerverbindende Aufgaben operationalisiert, was in der Aufgabenklassifikation dazu hätte führen sollen, dass jede Problemlöseaufgabe mehreren Fach- bzw. Themengebieten zugeordnet wird. Dieser fächerverbindende Charakter der Aufgaben zeigt sich jedoch nicht. Die überwiegende Mehrheit der Problemlöseaufgaben wurde entweder ausschließlich der Mathematik oder gar keinem Themengebiet zugeordnet (89,2%).

Mathematikaufgaben sind stärker formalisiert und stellen damit höhere Anforderungen an die Fähigkeit zu Dekodierung der lösungsrelevanten 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.

Das relativ hohe Anforderungsniveau der in den Problemlöseaufgaben verwendeten Operatoren sowie die höhere sprachlogische Komplexität der Aufgaben deuten auf das kognitive Potenzial hin, welches sich bei der erfolgreichen Bearbeitung fächerübergreifender Problemlöseaufgaben zu manifestieren scheint. 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 fächerübergreifenden und weniger der fachspezifischen Problemlösekompetenz zu sein.

Die bisherigen Ergebnisse des ersten Projektschritts zeigen strukturelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede bezüglich der Konstruktion und der kognitiven Anforderungen der PISA-Testaufgaben zur fächerübergreifenden und zur mathematischen Problemlösekompetenz. Auf Basis dieser Ergebnisse werden im zweiten Schritt des laufenden Projekts neue Messinstrumente zur Erfassung relevanter Komponenten der fächerübergreifenden und fachlichen Problemlösekompetenz entwickelt und eingesetzt, um so die Binnenstruktur der Kompetenzen aufklären zu können. Die Ergebnisse beider Projektschritte sollen in einem Kompetenzstrukturmodell fächerübergreifenden und fachlichen Problemlösens zusammengeführt werden.

In der kommenden zweiten Förderphase des Schwerpunktprogramms soll die Ausprägung auf einzelnen Komponenten der Problemlösekompetenz experimentell variiert werden, um Ursache-Wirkungsrelationen prüfen zu können. Dadurch soll das Kompetenzstrukturmodell experimentell validiert und zu einem Entwicklungsmodell ausgebaut werden.

Literatur

- Banerjee, M./Capozzoli, M./McSweeney, L./Sinha, D. (1999): Beyond kappa: A review of inter-rater agreement measures. In: *Canadian Journal of Statistics* 27, S. 3–23.
- Blum, W./Drüke-Noe, C./Hartung, R./Köller, O. (Hrsg.) (2006): *Bildungsstandards Mathematik: konkret*. Berlin: Cornelsen.
- Blum, W./Neubrand, M./Ehmke, T./Senkbeil, M./Jordan, A./Ulfig, F./Carstensen, C. (2004): Mathematische Kompetenz. In: *PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.): PISA 2003: Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche?* Münster: Waxmann, S. 47–92.
- Carlson, M.P./Bloom, I. (2005): The cyclic nature of problem solving: An emergent multi-dimensional problem-solving framework. In: *Educational Studies in Mathematics* 58, S. 45–75.
- Davidson, J.E./Deuser, R./Sternberg, R.J. (1994): The role of metacognition in problem solving. In: *Metcalfe, J./Shimamura, A.P. (Hrsg.): Metacognition: knowing about knowing*. Cambridge, MA: MIT Press, S. 207–226.
- Dossey, J.A./McCrone, S.A./O’Sullivan, C. (2006): *Problem solving in the PISA and TIMSS 2003 assessments (NCES 2007-049)*. U.S. Department of Education. Washington, DC: National Center for Education Statistics.
- Fleiss, J.L. (1971): Measuring nominal scale agreement among many raters. In: *Psychological Bulletin* 76, S. 378–382.
- Gick, M.L. (1986): Problem-solving strategies. In: *Educational Psychologist* 21, S. 99–120.
- Holm, S. (1979): A simple sequentially rejective multiple test procedure. In: *Scandinavian Journal of Statistics* 6, S. 65–70.
- Jordan, A./Ross, N./Krauss, S./Baumert, J./Blum, W./Neubrand, M./Löwen, K./Brunner, M./Kunter, M. (2006): *Klassifikationsschema für Mathematikaufgaben: Dokumentation der Aufgabenkategorisierung im COACTIV-Projekt*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Klieme, E./Funke, J./Leutner, D./Reimann, P./Wirth, J. (2001): Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz? Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 47, S. 179–200.
- KMK (2005): *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz – Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss (Beschluss von 16. Dezember 2004)*. München: Wolters Kluwer.
- Krippendorff, K. (2004): *Content analysis. An introduction to its methodology*. Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Leutner, D. (2002): The fuzzy relationship of intelligence and problem solving in computer simulations. In: *Computers in Human Behavior* 18, S. 685–697.
- Leutner, D./Fleischer, J./Wirth, J. (2006): Problemlösekompetenz als Prädiktor für zukünftige Kompetenz in Mathematik und in den Naturwissenschaften. In: *Prenzel, M./Baumert, J./Blum, W./Lehmann, R./Leutner, D./Neubrand, M./Pekrun, R./Rost, J./Schiefele, U. (Hrsg.): PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres*. Münster: Waxmann, S. 119–137.
- Leutner, D./Funke, J./Klieme, E./Wirth, J. (2005): Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In: *Klieme, E./Leutner, D./Wirth, J. (Hrsg.): Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 11–19.
- 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*. Münster: Waxmann, S. 147–175.

- Leutner, D./Wirth, J./Klieme, E./Funke, J. (2005): Ansätze zur Operationalisierung und deren Erprobung im Feldtest zu PISA 2000. In: Klieme, E./Leutner, E./Wirth, J. (Hrsg.): Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 21–36.
- Mayer, R.E. (1990): Problem solving. In: Eysenck, M.W. (Hrsg.): The Blackwell dictionary of cognitive psychology. Oxford, England: Basil Blackwell, S. 284–288.
- OECD (2003): The PISA 2003 assessment framework – Mathematics, reading, science and problem solving knowledge and skills. Paris: OECD.
- OECD (2004): Problem solving for tomorrow's world. First measurements of cross-curricular competencies from PISA 2003. Paris: OECD.
- OECD (2005): PISA 2003 – Technical report. Paris: OECD.
- Paris, S.G./Lipson, M.Y./Wixson, K.K. (1983): Becoming a strategic reader. In: Contemporary Educational Psychology 8, S. 293–316.
- Polya, G. (1945): How to solve it. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Reiss, K./Törner, G. (2007): Problem solving in the mathematics classroom: The German perspective. In: ZDM – The International Journal on Mathematics Education 39, S. 431–441.
- Schoenfeld, A.H. (1985): Mathematical problem solving. Orlando: Academic Press.
- Stawitz, H./Rumann, S./Fleischer, J./Wirth, J. (2009): Vergleich von Aufgabenmerkmalen in Large-Scale Assessments. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Schwäbisch-Gmünd 2008. Berlin: LIT, S. 386–388.
- Sternberg, R.J./Kaufman J.C. (1998): Human abilities. In: Annual Review of Psychology 49, S. 479–502.
- Süß, H.-M. (1996): Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Göttingen: Hogrefe.

Anschrift der Autoren

Dipl. Psych. Jens Fleischer, Universität Duisburg-Essen, FB Bildungswissenschaften,
Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie, Universitätsstr. 2, D-45117 Essen
E-Mail: jens.fleischer@uni-due.de

Prof. Dr. Joachim Wirth, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Philosophie und
Erziehungswissenschaft, Lehrstuhl für Lehr-Lernforschung, Universitätsstr. 150,
D-44721 Bochum
E-Mail: joachim.wirth@rub.de

Prof. Dr. Stefan Rumann, Universität Duisburg-Essen, FB Chemie, Institut für Didaktik der
Chemie, Schützenbahn 70, D-45127 Essen
E-Mail: stefan.rumann@uni-due.de

Prof. Dr. Detlev Leutner, Universität Duisburg-Essen, FB Bildungswissenschaften,
Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie, Universitätsstr. 2, D-45117 Essen
E-Mail: leutner@uni-due.de