

Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA



Konsortium:

Jürgen Baumert
Eckhard Klieme
Michael Neubrand
Manfred Prenzel
Ulrich Schiefele
Wolfgang Schneider
Klaus-Jürgen Tillmann
Manfred Weiß

Projekt-Koordination:

Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94, 14195 Berlin
Tel: 030 82 406 456; Fax: 030 82 406 466
Email: pisa@mpib-berlin.mpg.de

Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA

1. Erfassung fächerübergreifender Kompetenzen: Grundlagen und Kriterien

Das Konzept der „fächerübergreifenden Kompetenzen (CCC)“ ist eine Leitidee der aktuellen bildungswissenschaftlichen und -politischen Diskussion, in der sehr unterschiedliche theoretische und normative Vorstellungen verknüpft werden. Man kann sie bündeln zu der folgenden Definition: Fächerübergreifende Kompetenzen sind

- a) situations- und inhaltsunabhängig definierte Fähigkeiten,
- b) die in verschiedenen Fächern bzw. Lerngebieten gefordert und/oder gefördert werden,
- c) bei der Bewältigung komplexer, ganzheitlicher Anforderungen von Bedeutung sind
- d) und auf neuartige, nicht explizit im Curriculum enthaltene Aufgabenstellungen transferiert werden können.

Mit (d) knüpft man an die Idee der „Schlüsselqualifikationen“ an, wie sie von Mertens in die Qualifikationsforschung eingeführt wurde; im Vordergrund stand hier ja die Transferierbarkeit auf neue, nicht in der Ausbildung selbst vorhersehbare berufliche Anforderungen. (c) verweist auf die reformpädagogisch motivierte Vorstellung, daß „Fächerübergreifendes“ eine eigene, durch Ganzheitlichkeit und Komplexität gekennzeichnete Kategorie von Leistungen darstellt, der auch besondere (z.B. „handlungsorientierte“, „problemorientierte“) Lernprozesse entsprechen müssen. (b) greift den bildungstheoretischen Hintergrund der Problematik auf, das Verhältnis von materialer (fach- und stoffgebundener) und formaler (in unterschiedlichen Fächern realisierbarer) Bildung. (a) schließlich ist die für empirische Bildungsforschung zentrale Komponente: Von einer „fächerübergreifenden Kompetenz“ kann empirisch gehaltvoll nur dann gesprochen werden, wenn diese als latentes Merkmal – über mehrere Indikatoren hinweg – identifizierbar ist.

Das pädagogische und bildungspolitische Konzept der fächerübergreifenden Kompetenzen ist demnach mit sehr hohen Erwartungen verknüpft, die aus empirischer Sicht – wie vor allem Franz Weinert wiederholt betont hat – gedämpft werden müssen. Viele der in bildungstheoretischen, reformpädagogischen oder arbeitsmarktpolitischen Darstellungen genannten „Schlüsselqualifikationen“ lassen sich weder theoretisch exakt umgrenzen noch operationalisieren, und empirischen Belege der Förderbarkeit von Schlüsselqualifikationen sind selten. Der Versuch, fächerübergreifende Kompetenzen im Rahmen von Schulleistungsstudien zu messen, läuft daher Gefahr, daß Konstrukte, die ursprünglich sozial definiert sind, d.h. von Vertretern gesellschaftlicher Institutionen und Organisationen für wichtig erachtet werden, unter der Hand als wissenschaftliche Konstrukte eingeführt und behandelt werden. Eine Ausnahme könnte jedoch das Konstrukt „Problemlösefähigkeit“ bilden, weil bei seiner Präzisierung und Operationalisierung auf breite Forschungserfahrungen der allgemeinen und pädagogischen Psychologie zurückgegriffen werden kann (siehe unten, Abschnitt 2). In der deutschen PISA-Studie wird daher exemplarisch im Bereich „Problemlösen“ geprüft, wie fächerübergreifende Kompetenzen in *einem large scale assessment* definiert, gemessen und gegen andere, stärker curricular angebundene Kompetenzen abgegrenzt werden können.

Die Arbeit der PISA-Expertengruppe „Problemlösen“ greift die einschlägigen psychologischen Forschungstraditionen auf, adaptiert verschiedene Untersuchungsinstrumente aus der Problemlöseforschung für die Zielgruppe der 15-Jährigen und nutzt den Feldtest im Jahr 1999, um die Aussagekraft (Konstruktvalidität) der Verfahren zu prüfen. Das Design der Problemlöse-Komponente des Feldtests erlaubt es, die Zusammenhänge zwischen den Verfahren sowie die Korrelationen mit fachbezogenen Problemlösefähigkeiten (die im Rahmen der Lese-, Mathematik- und Naturwissenschaftstests erfaßt werden), fluider Intelligenz sowie kognitiven und motivationalen Komponenten der Selbstregulation zu untersuchen. Außerdem wird geprüft, welchen Einfluß schulische und außerschulische Bedingungen auf die Problemlöseleistungen haben.

Auf der Basis der Feldtestresultate wird bis Ende Oktober 1999 zu entscheiden sein, welche Instrumente in der PISA-Hauptstudie in Deutschland eingesetzt werden und auch zur weiteren Verwendung für die internationale PISA-Studie im Jahr 2003 empfohlen werden können. Kriterien für die Auswahl der Verfahren sind

- a) *Einsetzbarkeit und Zuverlässigkeit:* Die Instrumente sollten im large scale setting realisierbar sein und einen angemessenen Schwierigkeitsgrad besitzen. Die Meßergebnisse müssen reliabel sein und keinen *bias* (etwa zugunsten eines Geschlechts) aufweisen.
- b) *Konvergente und diskriminante Validität:* Verschiedene Indikatoren einer Problemlösekompetenz sollten untereinander möglichst hoch korrelieren, aber nicht mit fachbezogenen Leistungsdimensionen, allgemeinen intellektuellen Fähigkeiten oder Persönlichkeitsmerkmalen konfundiert sein. (Die Abgrenzung zur fluiden Intelligenz ist allerdings, wie unter 2.1 ausgeführt, nur graduell möglich. Vermutlich wird man mehrere Arten der Problemlösekompetenz unterscheiden müssen, die dem allgemeinen schlussfolgernden Denken mehr oder weniger nahe sind.)
- c) *Sensitivität für Einflüsse der schulischen Bildung:* Da PISA letztendlich die Ergebnisse schulischen Lernens beurteilen soll, sollten Indikatoren verwendet werden, hinsichtlich derer sich einzelne Schulen oder Schulsysteme tatsächlich unterscheiden. Nur so wird es möglich, Bedingungen der Förderung von Problemlösekompetenz in Schulen zu untersuchen. Allerdings könnte das Ausmaß, in dem Schule zur Ausprägung solcher Kompetenzen beiträgt, selbst ein bedeutsamer Indikator sein, der etwas über die Transferwirkung der schulischen Bildungsprozesse aussagt.

2. Zum Konzept des Problemlösens

Problemlösen ist zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine Routinen verfügbar sind. Der Problemlöser hat ein mehr oder weniger gut definiertes Ziel, weiß aber nicht unmittelbar, wie es zu erreichen ist. Die Inkongruenz von Zielen und verfügbaren Mitteln ist konstitutiv für ein Problem. Das Verstehen der Problemsituation und deren schrittweise Veränderung, gestützt auf planendes und schlussfolgerndes Denken, sind konstitutiv für den Prozeß des Problemlösens.

Mit dieser ersten Begriffsklärung greifen wir auf das in der Psychologie etablierte Verständnis von „Problemlösen“ zurück (Mayer 1992; Mayer & Wittrock 1996; Sternberg & Davidson 1992). Die Definition ist relativ breit, macht aber immerhin deutlich, daß Problemlösen als kognitiver Prozeß verstanden wird. Sie grenzt sich damit ab von Alltagsvorstellungen oder auch klinisch-psychologischen Konzepten, in denen „Problemlösen“ mit der Klärung

emotionaler und sozialer Konflikte verbunden ist. Wir beziehen uns ausschließlich auf kognitiv-analytisches Problemlösen. Auch hierfür spielt der soziale Kontext eine Rolle – etwa wenn Problemstellungen interaktiv geklärt und kooperativ bearbeitet werden –, und motivationale Faktoren wie thematisches Interesse und Zielorientierung beeinflussen den Problemlöseprozess. Die Qualität des Problemlösens ist aber primär bestimmt durch das Verständnis der Problemsituation, die Denkprozesse bei der Problembearbeitung und die Angemessenheit der erreichten Lösung.

Phasen des Problemlösens werden seit Pólya (1945) häufig in etwa folgender Weise beschrieben :

1. Bestimmung des Zieles,
2. Analyse der Ausgangssituation und Aufbau einer mentalen Repräsentation, eines Situationsmodells,
3. Bestimmung der Lösungsstrategie und Planung von Lösungsschritten,
4. Ausführen des Lösungsplans, begleitende Kontrolle und ggfs. Modifizierung der Lösung
5. Evaluation der Lösung.

Ein solches Phasenmodell hat heuristischen Nutzen, wenn Problemlöseprozesse vorstrukturiert werden sollen – sei es im Sinne von Techniken des Problemlösens, als didaktische Strukturierung oder als Raster zur Diagnose von Problemlöseleistungen. Das Modell darf aber nicht als empirisches Modell verstanden werden, d.h. als Beschreibung tatsächlicher kognitiver Prozesse. Diese sind sicherlich vielfältiger und stärker verschachtelt, als es ein einfaches Phasenmodell beschreibt (vgl. etwa Klauer 1996). Wie systematisch jemand vorgeht – ob er beispielsweise einzelne Komponenten der Problemsituation in kontrollierter Weise untersucht, ob er den Lösungsprozeß „global“ oder „lokal“ plant, ob er alternative Lösungsschritte gezielt ausprobiert, ob er Feedback sucht und nutzt –, ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Personen, ein wesentlicher Teil ihrer Problemlösekompetenz.

Für unser Ziel, Problemlösekompetenzen in fächerübergreifenden und außerfachlichen Bereichen zu identifizieren, sind einige Ergebnisse der psychologischen Problemlöseforschung von besonderer Bedeutung, die mit den Stichworten „Intelligenz“, „Komplexes Problemlösen“, „Bereichsspezifität“ und „Psychologische Erklärungsmodelle für Problemlöseprozesse“ verknüpft sind. Wir referieren im Folgenden kurz diese Ergebnisse und formulieren am Schluß jedes Abschnitts Konsequenzen für das Design der PISA-Problemlösekomponente.

2.1 Problemlösen und Intelligenz

Selbstverständlich fällt die Bearbeitung mathematischer Sachaufgaben, das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten in Zahlenfolgen (z.B. 1, 2, 4, 7, 11, ...) oder Figurenfolgen, das analoge Schließen (z.B. „/ verhält sich zu \ wie # zu ...?“) unter unseren Begriff des Problemlösens – außer in den seltenen Fällen, wo hoch trainierte Personen solche Aufgaben mit speziellen Algorithmen lösen. Diese Aufgaben gelten aber in der Tradition der Intelligenzforschung als Indikatoren für den Kernbereich der Intelligenz, der „schlussfolgerndes Denken“, „Reasoning“ oder „Verarbeitungskapazität“ genannt wird. Insbesondere Aufgaben zum analogen Denken gelten als ideale, weitgehend von erworbenem (schulischem) Wissen unabhängige Indikatoren der allgemeinen „fluiden“ Intelligenz.

„Problemlösekompetenz“, wie auch immer sie operationalisiert wird, hängt demnach sicherlich mit Maßen der Intelligenz im Sinne des „Reasoning“ zusammen. Wie stark dieser Zusammenhang bei sogenannten komplexen Problemlöseleistungen (s.Punkt 2.2) ausfällt, inwieweit also „Problemlösekompetenz“ von „Intelligenz“ abgegrenzt werden kann, ist in der psychologischen Forschung umstritten (Frensch & Funke 1995, Süß 1996).

Eine andere Sichtweise dieser Kontroverse zeigt sich in der amerikanischen Diskussion (Sternberg & Kaufman 1998, p. 494). Sternberg vertritt ein sehr breites Konzept von „Intelligenz“, dass diese im Kern gleichsetzt mit Problemlösefähigkeit. Er unterscheidet drei Teilkomponenten der Intelligenz: a) analytische Fähigkeiten wie z.B. „identifying the existence of a problem, defining the nature of a problem, setting up a strategy for solving the problem, and monitoring one’s solution process“, b) kreative Fähigkeiten, „required to generate problem-solving options“, und c) praktische Fähigkeiten, die benötigt werden, um Problemlösungen in realen Kontexten anzuwenden. Sternberg geht davon aus, daß praktische Intelligenz von klassisch-psychometrisch erfasster Intelligenz (dem IQ) deutlich unterscheidbar ist. Allerdings ist die „reine“ Messung praktischer Aspekte der Intelligenz bzw. Problemlösefähigkeit eine bislang ungelöste Aufgabe. Im „komplexen Problemlösen“ mischen sich vermutlich praktische und analytische Anteile. Sternberg selbst schlägt als Maße der praktischen Intelligenz Verfahren vor, die nicht mehr als Leistungstests verstanden werden können: Er legt den Probanden Beschreibungen von Problemsituationen aus Alltag oder Beruf vor und bittet sie, unterschiedliche Handlungsalternativen zu bewerten. Stimmen die Bewertungen mit jenen einer Referenzgruppe („Experten“ im Berufsfeld bzw. repräsentativ ausgewählte Vergleichgruppen bei Alltagsproblemen), so wird dem Probanden „implizites Wissen“ attestiert, das Sternberg als Kern der praktischen Intelligenz ansieht.

Ähnlich schwierig erscheint nach dem Stand der Forschung die Erfassung des dritten Aspekts in Sternbergs triarchischem Konzept von Intelligenz, der Kreativität. Insofern Problemlösen auf neuartige Situationen abhebt, die nicht mit Standardroutinen zu bewältigen sind, erfordert es stets ein gewisses Maß an Kreativität. Versuche, Kreativität gesondert zu messen (als Originalität, Flexibilität und Flüssigkeit von Einfällen; Krampen 1992) oder sie als Qualitätsmerkmal von Problemlöseleistungen zu erfassen (Mumford et al. 1997) sind bislang jedoch nicht überzeugend.

Die Arbeit der PISA-Expertengruppe Problemlösen ist darauf ausgerichtet, Problemlöseindikatoren zu entwickeln, die durch Alltagsbezug und Anwendungsorientierung gekennzeichnet sind. Diese Indikatoren sollen aber Leistungen erfassen, nicht „implizites Wissen“. Die Problemlöseaufgaben werden somit Aspekte von praktischer Intelligenz erfassen, sicherlich aber auch analytische Komponenten. Die Zusammenhänge mit „Reasoning“ werden substantiell sein; die Problemlöseindikatoren sollten dennoch einen eigenständigen Beitrag zum kognitiven Profil der Schüler bzw. zum Leistungsprofil von Schulen liefern.

2.2 Problemtypen: Reichweite, Kontext, Komplexität und Dynamik

Unsere Definition umschließt einen sehr breiten Bereich von Problemlöseprozessen:

- Die *Reichweite* der Problemstellung kann von begrenzten Teilen einer Aufgabenbearbeitung über die Handlungssteuerung bis zur Planung und Ausführung umfangreicher Projekte führen.

- Der *inhaltliche Kontext* kann in unterschiedlichen Domänen (Fächern, Stoffgebieten, Handlungszusammenhängen, Erfahrungsbereichen) angesiedelt sein, die eher theoretischer oder eher praktischer Art, eher akademisch/schulisch oder eher alltagsbezogen sind. In Bezug auf diese Domänen kann das Problem mehr oder weniger authentisch sein.
- Das Problem kann unterschiedlich geschlossen oder offen sein, mit wohldefiniertem oder schlecht definiertem Ziel, mit transparenten (explizit angegebenen) oder intransparenten Rahmenbedingungen, mit wenigen, isolierten oder zahlreichen, vernetzten Elementen. Diese verschiedenen Merkmale bestimmen insgesamt die *Komplexität* des Problems.

In den vergangenen Jahren hat sich die Psychologie zunehmend komplexen, authentischen Problemen mit größerer Reichweite zugewandt. Es geht nicht mehr nur darum, wie wohldefinierte „Puzzles“ (im Extremfall reine *Reasoning*- Aufgaben) durch Anordnung geeigneter Operationen gelöst werden, sondern um das Denken von Experten in wissenschaftlichen und beruflichen Domänen (Reimann 1997; Zsombok & Klein 1997), um Planen und Problemlösen in Alltagskontexten (Mayer 1992, Kap. 16; Funke & Fritz 1995; Jeck 1997), um das Verstehen und Steuern von komplexen ökologischen, ökonomischen oder technischen Systemen (Dörner 1983; Frensch & Funke 1995).

Als Mittel zur Untersuchung komplexer Problemlöseleistungen haben sich Simulationen bewährt. In Interaktion mit dem Computer exploriert der Bearbeiter das simulierte System, entwickelt und testet (mehr oder weniger systematisch) Hypothesen über Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten, erwirbt Wissen und kann schließlich durch gezielte Eingriffe den Zustand des Systems steuern. Unter anderem wird mit realistischen Simulationen hoch vernetzter ökologisch-ökonomischer Systeme gearbeitet (Dörner 1983; für Schulkontexte Leutner 1993), mit systematisch konstruierten, kleineren diskreten Systemen („finite Automaten“; Funke) und mit virtuellen Experimentierumgebungen. Aus pädagogisch-psychologischer Sicht lassen sich solche Verfahren als Umgebungen für entdeckendes Lernen verstehen (Leutner 1993; Boishuizen et al. 1996). Aus Sicht der Problemlöseforschung ist mit diesen Instrumenten eine neue Qualität von Problemstellungen gegeben, die durch hohe Komplexität und insbesondere durch Dynamik charakterisiert ist (Frensch & Funke 1995). Der dynamische Charakter hat drei Vorteile, die mit statischen Aufgaben (Papier- und Bleistift-Verfahren) nicht realisiert werden können:

- a) Die Anforderung wird erweitert um das aktive Suchen und kontinuierliche Verarbeiten von externer Information, insbesondere von Feedback zu Wirkungen eigener Problemlöseschritte. Auch beim schriftlichem Problemlösen können verschiedene Strategien eingesetzt, evaluiert und ggfs. modifiziert werden; die Interaktion mit dem Computer zwingt unausweichlich dazu.
- b) Die Problemsituation kann mit diesem Medium wesentlich authentischer gestaltet werden als bei einem schriftlichen Verfahren.
- c) Es können nicht nur Resultate, sondern Verlaufsmerkmale des Problemlöseprozesses erfasst werden, z.B. Art, Häufigkeit, Dauer und Abfolge der Eingriffe in das System. Hieraus lassen sich Indikatoren über Problemlösestrategien, z.B. die Systematik des Problemlöseverhaltens, gewinnen.

Die drei Vorteile sind unabhängig voneinander nutzbar und lassen es insgesamt angeraten erscheinen, Problemlöseleistungen am Computer zu erfassen. Hinsichtlich der Verwendung von Strategiemäßen bestehen allerdings große methodische Probleme. Wie solche Maße definiert werden können, welche Rolle dabei Aspekte der Arbeitsgeschwindigkeit haben, wie

reliabel solche Maße sind und inwieweit sie über verschiedene Simulationen hinweg vergleichbar sind, ist in der aktuellen Forschung ein ungelöstes Problem.

Die PISA-Expertengruppe Problemlösen bezieht in ihr Meßkonzept – entsprechend der Breite des psychologischen Problemlösebegriffs – Problemlöseprozesse ein, die hinsichtlich Reichweite, Kontext, Komplexität und Dynamik unterschiedliche Ausprägungen besitzen. Sie nutzt die Möglichkeiten computergestützter Simulationen, insbesondere zur Erfassung von Strategiemerkmalen, und bezieht unterschiedliche Formen von Simulationsszenarien ein. Daneben werden aber auch schriftliche Verfahren – bis hin zu Reasoning-Aufgaben – eingesetzt, a) um die theoretische Breite des Problemlösebegriffs abzudecken, b) um die (wissenschaftlich nicht geklärte) Frage des Zusammenhangs zwischen komplexem Problemlösen und schlussfolgerndem Denken sowie die methodischen Probleme der Interpretation von Strategieparametern für den Kontext einer Schulleistungsstudie zu klären, sowie schließlich c) um eine breitere Stichprobe von Schulen einbeziehen zu können.

2.3 Bereichsspezifität von Problemlöseleistungen

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der kognitionspsychologischen Forschungen der letzten Jahre ist der Befund, daß anspruchsvolle Problemlöseleistungen nicht ohne einen Fundus von Wissen in der jeweiligen Domäne erbracht werden können. Das Konzept des Problemraums, in dem sich ein *General Problem Solver* mittels allgemeiner Suchstrategien bewegt (Newell & Simon 1972), erwies sich als zu einfach, um das Verstehen von Problemsituationen und den Prozeß der Lösungsfindung zu beschreiben. Auch die Bemühungen, im Rahmen der Forschungen zum komplexen Problemlösen so etwas wie eine allgemeine, bereichsunabhängige Kompetenz zur Steuerung dynamischer Systeme („operative Intelligenz“) zu bestimmen, waren nicht erfolgreich; die Leistungen im Umgang mit einem solchen System sind nur bedingt auf andere Systeme übertragbar (Kluwe, Misiak & Haider 1990).

Problemlösen setzt Wissen über Konzepte und Sachverhalte (deklaratives Wissen) und Wissen über Regeln und Strategien (prozedurales Wissen) im jeweiligen Gegenstandsbereich voraus. Empirische Belege für die Bedeutung von Wissen stammen aus dem Vergleich der Problemlösestrategien, die Experten und Novizen einsetzen (Reimann 1996, Gruber & Mandl 1996), aus Analysen zu Bedingungsfaktoren der schulischen Leistungsentwicklung (Helmke & Weinert 1997), aus Laboruntersuchungen zum naturwissenschaftlichen Lernen (Glaser et al. 1992) ebenso wie aus Studien zu alltäglichen Problemlöseleistungen, – etwa von brasilianischen Straßenverkäufern, die sich bei der mathematisch durchaus anspruchsvollen Kalkulation von Preisen auf komplexe, von der Schulmathematik abgelöste Regeln stützen (vgl. Mayer 1992, Ch. 16).

Das Ausmaß des jeweils verfügbaren relevanten Vorwissens könnte auch den Zusammenhang zwischen Intelligenz und komplexen Problemlöseleistungen erklären, wie Untersuchungen von Leutner (1999) zeigen. Wer überhaupt kein relevantes Vorwissen hat, kann beim Explorieren und Steuern eines Systems nicht systematisch vorgehen, ist auf Versuch und Irrtum angewiesen. Wer das System schon sehr gut kennt, vermag es durch routinisierte Eingriffe zu steuern. In beiden Fällen spielt die allgemeine intellektuelle Begabung, gemessen durch *Reasoning*-Aufgaben, keine Rolle. Bei mittlerer Vertrautheit mit dem komplexen System jedoch können Strategien des schlussfolgernden Denkens erfolgreich eingesetzt werden, und dies führt zu deutlichen Zusammenhängen zwischen Intelligenz und Problemlöseleistung.

Für die Diagnose von Problemlösekompetenz sind diese Forschungen von kritischer Bedeutung. Wir sehen folgende Konsequenzen:

- Problemlöseaufgaben müssen sorgfältig auf die Zielpopulation ausgerichtet werden, sodass sie weder routinisiert lösbar sind noch die Schüler überfordern und bloßes Versuch-und-Irrtum-Verhalten auslösen. Das relevante Vorwissen der Schüler sollte nach Möglichkeit empirisch kontrolliert werden.
- Die Idee einer universellen, bereichsübergreifenden Problemlösefähigkeit ist nicht haltbar. Ziel einer Erfassung von Problemlösekompetenz sollte es sein, ein Profil von Kompetenzen in bestimmten (fachlich oder alltagsbezogen eingegrenzten) Domänen zu bestimmen.
- Die zentrale kognitive Kompetenz, die Problemlöseleistungen in unterschiedlichen Inhaltsbereichen gemeinsam zugrunde liegt, ist vermutlich gerade die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken. Der Erfolg einzelner Problemlöseprozesse ist dann (sofern die Adaptation an das Vorwissen der Schüler auf einem adäquaten, mittleren Niveau gelungen ist) durch das Zusammenspiel von bereichsspezifischem Wissen und *Reasoning* erklärbar.
- Je spezifischer die Wissensvoraussetzungen einer Problemlöseaufgabe sind, desto geringer wird die Korrelation mit der allgemeinen Intelligenz ausfallen. Problemlöseleistungen, die nicht nur Alltagswissen, sondern spezifisches Wissen erfordern – sei es in schulischen oder außerschulischen Kontexten –, leisten somit einen eigenständigen Beitrag zum Leistungsprofil von Schülern bzw. Schulen. Dies kann gewünscht sein – vor allem, wenn es sich um Leistungen im Kontext schulischer Fächer handelt. Dies kann aber bei den außerfachlichen Problemlöseleistungen unerwünscht sein, weil es die Generalisierbarkeit der Befunde zu sehr eingrenzt.

Die PISA-Problemlösekomponente zielt nicht auf ein einziges Maß der allgemeinen Problemlösefähigkeit ab, sondern auf ein Profil von Maßen, die verschiedene Arten des Problemlösens in unterschiedlichen inhaltlichen Bereichen ansprechen. Der Auswahl dieser Bereiche, und insbesondere der Balance zwischen hoher Spezifität einerseits, Nähe zur allgemeinen Intelligenz im Sinne von Reasoning andererseits, kommt eine große Bedeutung zu.

2.4 Psychologische Bedingungen erfolgreichen Problemlösens

Die Allgemeine Psychologie arbeitet mit unterschiedlichen Modellvorstellungen über kognitive Strukturen und Prozesse, die im Verlauf des Problemlösens aktiviert werden. Diese Modellvorstellungen haben sich in der Geschichte der Problemlösepsychologie verändert; sie sind jeweils zugeschnitten auf typische Arten des Problemlösens, wie sie innerhalb eines bestimmten Paradigmas erforscht wurden. Beispielsweise beschreiben Newell und Simon (1972) in dem Standardwerk der Informationsverarbeitungs-Psychologie (das auch Grundlage vieler Arbeiten zur Künstlichen Intelligenz wurde) Problemlösen als Suchprozeß in einem „Problemraum“, der durch Zustände (u.a. Ausgangs- und Zielzustand) und Operatoren aufgespannt wird. Diese Modellvorstellung ist angemessen, wenn man wohldefinierte „Puzzle“-artige Probleme untersucht. Mit dem Wechsel zur sogenannten komplexen Problemlöseforschung (Dörner 1983; Frensch & Funke 1995) wurde Problemlösen in Begriffen der Handlungs(regulations)theorie beschrieben. Die wissenspsychologische Forschung der 80er und 90er Jahre sieht – je nach grundlegendem Paradigma – Schemata, mentale Modelle oder „mentale Werkzeuge“ als Grundlage von Problemlöseprozessen an

(z.B. Reimann 1996) und betont die flexible Nutzung unterschiedlicher Repräsentationsformate als Voraussetzung für Problemlöseleistungen (Stern 1998).

In Abgrenzung zu diesem allgemeinspsychologischen Zugang ist hervorzuheben, daß die Diagnose von Problemlösekompetenz im Rahmen eines bildungswissenschaftlichen Erhebungsdesigns nicht darauf abzielt, einzelne Struktur- oder Prozeßkomponenten zu identifizieren. Unser Zugang zum Problemlösen ist rein funktionaler Art, d.h. uns interessiert, wie gut die Schüler bestimmte Typen von Problemen lösen können.

Sofern man allerdings daran interessiert ist, aus den Erhebungen Konsequenzen hinsichtlich der Förderung von Problemlösekompetenz abzuleiten, sind zumindest rudimentäre Modellvorstellungen notwendig. Diesem Ziel wird die Arbeit der PISA-Expertengruppe folgendermaßen gerecht:

- a) Vor der eigentlichen Problembearbeitung werden die Schüler zu inhaltspezifischem Vorwissen, Interesse und Kontrollerwartungen befragt. Außerdem werden Basisprozesse der Informationsverarbeitung („mental speed“, Arbeitsgedächtniskapazität) und Computererfahrungen kontrolliert. Sofern signifikante Beziehungen zwischen diesen Einflussgrößen und Problemlöseleistungen bestehen, ergeben sich unmittelbar Konsequenzen für die Förderung der Kompetenz in den betreffenden Arten des Problemlösens.
- b) Die Problembearbeitung selbst wird in Teilaufgaben gegliedert, die Aufschluß geben über die Art der Problembearbeitung. Beispielsweise wird bei Aufgaben zum Analogem Transfer (siehe Beschreibung in Abschnitt 3) erfaßt, ob der Bearbeiter vor der Lösung des eigentlichen (Ziel-) problems die Analogie zum vorgegebenen (Quell-) problem erkannt hat. In den computergestützten Verfahren wird erfaßt, wie sich Merkmale des Explorationsverhaltens (Umfang, Effizienz und Systematik der Exploration) auf das erworbene Wissen und schließlich auf die Fähigkeit zur zielorientierten Steuerung auswirkt.
- c) Durch rationale Aufgabenanalyse wird versucht, die unterschiedliche Schwierigkeit von Aufgaben durch die Art der vorgegebenen Information und die erforderlichen Schlussfolgerungen zu erklären. (Für die unten beschriebenen „Projektaufgaben“ (Klieme, Ebach et al. 1997) liegen beispielsweise erste Analysen von „critical item elements“ vor.) Daraus ergeben sich Hinweise auf Mängel der Problemrepräsentation und -lösung.

Erkenntnisse über die psychologischen Bedingungen des erfolgreichen Problemlösens werden umso leichter zu formulieren sein, ja näher die Aufgabenstellung an Paradigmen der experimentellen Psychologie liegt, d.h. an typischen, häufig eingesetzten Arten von Problemaufgaben, über deren Anforderungsmerkmale bereits psychologische Theorien vorliegen.

Die deutschen Erweiterungen zum PISA-Design zielen auch in anderen Bereichen (Lesen, Mathematik, Naturwissenschaften) darauf ab, Leistungen der Schüler durch proximale (z.B. motivationale) Faktoren und Anforderungsmerkmale zu erklären. In ähnlicher Weise ist die Expertengruppe Problemlösen bemüht, Ursachen für unterschiedliche Leistungsniveaus aufzuklären, die Hinweise zu Möglichkeiten, aber auch Grenzen der Förderung von Problemlösekompetenz geben können. Ein Mittel hierzu ist die Adaptation von Aufgabentypen, die in der experimentellen Forschung gut untersucht sind, für den PISA-Test.

3. Design zur Messung von Problemlösefähigkeiten in der deutschen PISA-Studie

Die Überlegungen des vorangehenden Abschnitts lassen es notwendig erscheinen, in die Problemlösedagnostik, vor allem bei der Konstruktvalidierung im Rahmen des PISA-Feldtests, mehrere Instrumente einzubeziehen, die sich unterscheiden hinsichtlich

- a) inhaltlichem Kontext (Nähe zu schulischen vs. außerschulischen Erfahrungsbereichen),
- b) Komplexität und Dynamik (u.a. bestimmt durch schriftliche vs. computergestützte Vorgabe) sowie
- c) Paradigma der psychologischen Problemlöseforschung, das für die Aufgabenstellung adaptiert wird.

Selbstverständlich war es nicht möglich, alle Kombinationen dieser Facetten im Problemlösedesign zu berücksichtigen. Einschränkungen waren zunächst durch die beschränkten Ressourcen an Testzeit und Material gegeben. (So standen 30 Laptops zur Verfügung, mit denen ein Stab des Max-Planck-Instituts etwa 20 Schulen besuchen konnte.) Zum zweiten sind die Paradigmen der experimentellen Psychologie meist auf bestimmte Niveaus der Komplexität zugeschnitten und nur begrenzt auf verschiedene Domänen übertragbar. Wir entschieden uns daher für eine Kombination von Verfahren, welche insgesamt die gewünschte Variabilität besitzen, nahmen aber Konfundierungen (z.B. durch Realisierung eines Paradigmas in nur einem Inhaltsbereich) in Kauf.

Hinsichtlich des inhaltlichen Kontexts sind im PISA-Feldtest folgende Varianten realisiert worden:

- a) Alltagsbezogene Kontexte (Umgang mit einfachen technischen Instrumenten; Projektarbeit im schulischen und außerschulischen Bereich; Planungsaufgaben),
- b) fiktive, spielerische Kontexte (z.B. ein Raumfahrt-Szenario), die gleichwohl in der Alltagswelt heutiger Schüler bedeutsam sind, sowie
- c) fächerverbindende bzw. -übergreifende Kontexte, die auf schulische Lerninhalte Bezug nehmen, aber die Grenzen einzelner Fächer überschreiten (z.B. ein simuliertes Ökosystem, das geographisches, aber auch ökonomisches, rechnerisches und Alltags-Wissen anspricht, oder ein virtuelles Labor, in dem Grundprinzipien des hypothesenentwickelnden und -prüfenden Denkens realisiert sind).

Von besonderer Bedeutung für das Design der Studie ist es, daß auch außerhalb dieser gesonderten Komponente, in den nationalen und internationalen Instrumenten für Leseverständnis, Mathematik und Naturwissenschaften, Problemlöseleistungen erfaßt werden. Diese Tests sprechen zum Teil im engeren Sinne fachbezogene Inhalte an, häufig aber auch fächerverbindende oder alltagsbezogene Kontexte. Diese Ergänzungen und Überschneidungen erlauben, das Konstrukt „Problemlösekompetenz“ bei der Auswertung des Feldtests in seiner ganzen Breite zu untersuchen.

Hinsichtlich der Komplexität und Dynamik berücksichtigen wir folgende Varianten:

- a) Geschlossene, völlig transparente und gut definierte Aufgaben, die im wesentlichen kombinatorisches Schlussfolgern erfordern (siehe unten: Tests 4 und 8),
- b) offene, weniger eindeutige Aufgabenstellungen, in denen begriffliche Zusammenhänge dargestellt, Analogien konstruiert oder Lösungsansätze für ein praktisches Problem in Stichworten skizziert werden müssen (Tests 6 und 7);
- c) computergestützte Lernumgebungen, die der Bearbeiter frei explorieren kann, wobei er kontinuierlich Rückmeldungen erhält über die Wirkungen seiner Eingriffe. Die in PISA verwendeten Programme (Tests 1, 2 und 3) unterscheiden sich wiederum hinsichtlich Transparenz, Vernetztheit und Klarheit der Zielbestimmung.
- d) Kooperatives Problemlösen (Test 5): Hier bearbeiten Schüler zunächst einzelne Teilaspekte eines Problems und müssen sich sodann auf eine gemeinsame, alle Aspekte integrierende Lösung einigen. Komplexität und Dynamik erhält der Problemlöseprozess

hier durch die Gruppendiskussion, in die unterschiedliche Perspektiven eingebracht werden.

Hinsichtlich der psychologischen Fundierung greifen wir folgende Paradigmen auf:

- a) Problemlösen als Suchprozeß in einem Problemraum mit klar definierten Operatoren (Test 8),
- b) Problemlösen als kombinatorisch-schlussfolgerndes Denken (Test 4),
- c) Analoges Problemlösen durch Transfer von Lösungen auf neue Problemstellungen (Test 7),
- d) Problemlösen als Schlußfolgern in mentalen Modellen (Test 6),
- e) Problemlösen als induktives Erschließen und Testen von Regeln (Test 1),
- f) Komplexes Problemlösen als Explorieren und Steuern hoch vernetzter, eigendynamischer Systeme (Test 2),
- g) Komplexes Problemlösen als Explorieren und Steuern oder gut strukturierter, diskreter Systeme (Test 3),
- h) kooperatives Problemlösen (Test 5).

Die Varianten a) bis d) werden in schriftlichen Verfahren realisiert, e) bis g) computergestützt.

Insgesamt kommen im PISA-Feldtest acht verschiedene Problemlöseverfahren zum Einsatz, deren Bearbeitung jeweils ca. 45 Minuten erfordert. (Ausnahme: Tests 5 und 8, die gemeinsam in einer Schulstunde durchgeführt wurden.)

Test 1: Virtuelles Labor

Der Schüler soll bestimmte Gesetzmäßigkeiten in einer Serie von simulierten Experimenten erschließen. Er wählt dazu jeweils die experimentellen Bedingungen und läßt sich das Experiment in einem Video-Clip vorführen. Die Abfolge der Experimente und ihrer Resultate wird in einer Tabelle festgehalten. Auf der Basis dieser Informationen kann der Bearbeiter Hypothesen formulieren und als richtig oder falsch bewerten.

Die Versuchsumgebung besteht demnach aus drei Komponenten: virtueller Experimentalraum (mit Video-Darstellung), Ergebnistabelle und Hypothesenfenster.

Erfaßt wird, ob die im Gegenstandsbereich zentralen Hypothesen aufgestellt werden und wie systematisch der Bearbeiter vorgeht.

Test 2: Ökologisches Planspiel

Mit diesem Planspiel, das die Situation eines Agrarbetriebes simuliert, werden Themen unterschiedlicher Fächer angesprochen. Das System ist zudem relativ komplex (umfangreich, vernetzt, intransparent und einer Eigendynamik unterworfen) und kann daher die Forschungstradition des „komplexen Problemlösens“ gut abbilden. Das System ist von Fachexperten als realitätsadäquat bewertet worden.

Erfaßt wird hier, wie effizient der Bearbeiter das System exploriert, welches Wissen er dabei erwirbt und wie gut er in einem abschließenden Testdurchgang „seinen Betrieb“ bewirtschaften kann.

Test 3: Raumfahrtspiel

In der Forschung zum „komplexen Problemlösen“ wurden nicht nur dynamische Systeme mit quantitativen Variablen untersucht, wie beispielsweise die zuvor beschriebene ökologische Simulation, sondern auch diskrete Systeme. Sie bestehen aus einer Reihe von Zuständen, die durch bestimmte Eingriffe (darstellbar als Betätigen von „Schaltern“) verändert werden. Alltagsbeispiele sind Fahrkartenautomaten oder elektronische Geräte. Es können aber auch technische, ökonomische oder soziale Prozesse mit derartigen Modellen (sogenannten "finiten Automaten“) dargestellt werden. Für PISA wurde eine Variante entwickelt, die in ein Raumfahrtszenario eingebettet ist.

Erfaßt wird auch hier, wie effizient der Bearbeiter das System exploriert, welches Wissen er dabei erwirbt und mit welchem Erfolg er abschließende Steuerungsaufgaben bewältigt.

Test 4: Projektaufgaben

Dieser bereits in der Hamburger Schulleistungsstudie erfolgreich eingesetzte Aufgabentyp entstand in Analogie zu berufspädagogischen Konzepten einer „handlungsorientierten Diagnostik“. Ein „Projekt“ wie z.B. die Organisation eines Klassenfestes wird in mehrere Arbeitsschritte aufgegliedert (Ziele klären – Informationen beschaffen – Planen – Entscheiden und Ausführen – Bewerten), zu denen jeweils einzelne Aufgaben gestellt werden. Der Test erfaßt, wie Re-Analysen der Hamburger Erprobungsdaten zeigten, im wesentlichen die Fähigkeit, Informationen zu erfassen, zu ordnen, aus unterschiedlichen Perspektiven zu bewerten und – unter Berücksichtigung multipler Zielsetzungen – Entscheidungen abzuleiten. Der PISA-Test verwendet zwei derartige „Projekte“ mit unterschiedlichen Kontexten.

Test 5 Kooperatives Bearbeiten von Projekten

Für PISA neu entwickelt wurde eine Variante der Projektaufgaben, bei der ein Projekt von jeweils drei Schülern zusammen bearbeitet wird. Die drei Schüler erhalten unterschiedliche Vorinformationen und sind jeweils für unterschiedliche Ziele verantwortlich. Jeder Schüler erarbeitet zunächst für sich eine Teillösung; in der Gruppendiskussion muß dann eine gemeinsame Lösung gefunden werden. Das Ergebnis wird als Kombination von Problemlösefähigkeiten und Kooperationsfähigkeiten interpretiert.

Test 6: Technisches Problemlösen

Eine Arbeitsgruppe unter Leitung von Harold O’Neil hat an der University of California, Los Angeles, einen Aufgabentyp zur Diagnose von Problemlösekompetenz entwickelt, der im Rahmen des Feldtests mit erprobt wurde, damit die deutsche Studie international anschlussfähig bleibt

Den Probanden wird die Skizze eines einfachen technischen Gerätes vorgelegt. Mit Hilfe einer „concept map“ wird zunächst das Vorwissen über die Komponenten und die Funktionsweise erfaßt. Die eigentlichen Problemlösefragen, die anschließend gestellt werden, betreffen mögliche Fehler und deren Behebungen sowie Vorschläge zur Optimierung des Gerätes.

Test 7: Analoges Problemlösen

Es werden mehrere kürzere Planungs- und Ordnungsaufgaben gestellt, die jeweils in eine Alltagsgeschichte eingebunden sind. Zu jeder Aufgabe wird sodann eine (mehr oder weniger) analoge Bezugsaufgabe mit fertiger Lösung vorgegeben. Der Bearbeiter muß die Beziehungen zwischen seiner Aufgabe und der analogen Aufgabe erkennen und den Lösungsweg übertragen. Erfasst wird, wie gut der analoge Transfer beim Problemlösen gelingt.

Test 8: Transformationsprobleme

Diese letzte, in einer kleineren Teilgruppe vorgegebene Aufgabe ist nach Art eines Denksportproblems aufgebaut. Ein bestimmtes Objekt kann durch vorgegebene Transformationen (fiktive „genetische Veränderungen“) umgewandelt werden. In einer Reihe von Aufgaben sind jeweils Ziel- und Ausgangszustand benannt, und der Bearbeiter muß eine möglichst kurze Reihenfolge von Transformationen auswählen, die vom Ausgang zum Ziel führen.