



Deutschland im internationalen Bildungsvergleich

Vortrag von Prof. Dr. Jürgen Baumert
anlässlich des dritten Werkstattgespräches
der Initiative **McKinsey bildet**, im Museum
für ostasiatische Kunst, Köln

Der Titel des Vortrags „Deutschland im internationalen Bildungsvergleich“ ist in gewisser Weise frivol. Denn auf der Basis einiger Schulleistungsstudien wird man kein Urteil über Bildung fällen können – schon gar nicht im interkulturellen Vergleich. Dennoch sind die vorliegenden und laufenden internationalen Studien für Deutschland ein erster und ungewohnter Schritt, zumindest Aspekte von Bildung mess- und vergleichbar zu machen. Im Folgenden möchte ich zunächst versuchen, die Untersuchungsprogramme der internationalen Vergleichsstudien in einen bildungs- und institutionstheoretischen Zusammenhang einzuordnen, um die Logik der Auswahlentscheidungen dieser Vergleichsstudien besser verständlich zu machen. Anschließend möchte ich auf der Basis von TIMSS-Befunden spezifische Stärken und Schwächen deutscher Schülerinnen und Schüler in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung und der vorakademischen Ausbildung in den Fächern Mathematik und Physik herausarbeiten. Abschließend lade ich Sie auf eine Reise in den Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe ein.

Lernen im Alltag und Lernen in der Schule

Der allgemeine Schulbesuch ist eine historisch späte Errungenschaft. Es ist alles andere als selbstverständlich, dass die Aufgabe, die gesellschaftlichen Kommunikationsvoraussetzungen im Wechsel der Generationen zu sichern, aus anderen gesellschaftlichen Teilbereichen – wie der Familie, dem Beruf, der Religion oder der Politik – ausdifferenziert und einem auf das Lernen spezialisierten Subsystem zur Behandlung zugewiesen wird. In Deutschland – jedenfalls in Preußen – war die allgemeine Schulpflicht erst vor gut 100 Jahren faktisch durchgesetzt. In anderen Landesteilen zog sich dieser Prozess noch länger hin. In meiner frühen Schulzeit hießen die Herbstferien noch Kartoffelferien – eine Erinnerung an den lange herrschenden Vorrang anderer gesellschaftlicher Bereiche vor der Schule. Wenn die familiäre und oder gesellschaftliche Reproduktion es verlangte – in der DDR war dies noch bis zum Ende der sechziger Jahre der Fall –, wurden die Schüler vom Unterricht suspendiert.

Die Dynamik, die für die Generalisierung der Institution Schule verantwortlich ist, geht unter anderem – wie viele Entwicklungen in modernen Gesellschaften – auf zwei Quellen zurück. Eine dieser Quellen ist das Militär. Die Kommunikation in einer modernen Armee ist auf Schriftlichkeit und Leseverständnis angewiesen. Die zweite Quelle ist die protestantische Kirche. Die Offenbarung durch das Wort und die Unmittelbarkeit zu Gott verlangten, dass man nicht nur in der Messe die Botschaft vernahm, sondern den Zugang zur Verkündigung durch eigene Lektüre der Heiligen Schrift selbst eröffnen konnte. So haben die skandinavischen Länder schon im 18. Jahrhundert eine kirchlich gestützte Lesekultur ausgebildet.

Mit der Einrichtung von Schulen, welche die gesamte nachwachsende Generation durchläuft, wandelt sich der Charakter des Lernens substanziell. Kinder und Jugendliche lernen nicht mehr allein – und mit der Bedeutungszunahme von Schule immer weniger – im Mitvollzug praktischer Tätigkeiten in anderen Lebensbereichen, sondern sie lernen in der Auseinandersetzung mit speziell zum Zwecke des Lernens pädagogisch aufbereiteten Sachverhalten. Die Vorteile dieser Umstellung der Modalität des Lernens liegen auf der Hand: Durch die Bereitstellung stabiler Lernumwelten kann systematisch, langfristig und kumulativ gelernt werden. Die Kehrseite der Sicherung von Langfristigkeit, Systematik und Kumulativität bleibt häufig in reformpädagogischer Rhetorik verborgen: Schule vermittelt grundsätzlich stellvertretende Erfahrungen, die dennoch – sollen Lern- und Bildungsprozesse erfolgreich verlaufen –, als persönlich und authentisch wahrgenommen werden müssen.

Der stellvertretende Charakter von schulischen Erfahrungen wird besonders dann deutlich, wenn die Schule sich bemüht, direkte Erfahrungen, etwa in Form von Projekten oder Gemeindearbeit, in ihr Programm zu integrieren. Jedem Schüler ist über kurz oder lang klar, dass hier nicht „wirkliches“ Leben stattfindet, sondern pädagogische Ziele verfolgt werden – und seien sie so allgemein wie das Ziel, Lernen zu lernen. Wenn diese Unterscheidung aufgegeben und Schule zur Lebensgemeinschaft wird, nähert sie sich einer (im Sinne des Soziologen Erving Goffman) totalen Institution.

Die Herauslösung schulischen Lernens aus dem Alltagszusammenhang und die Paradoxie von stellvertretender Erfahrung, die dennoch als persönlich bedeutsam wahrgenommen werden muss, erzeugt ein Dauerproblem, das für Schule kennzeichnend ist: Man kann nicht voraussetzen, dass Schülerinnen und Schüler die Motivation mitbringen, in der Schule etwas lernen zu wollen. Die Schule muss also die für ihre Arbeit notwendigen motivationalen Ressourcen im Prozess selbst erzeugen. Dauerhafte Motivation entwickelt sich erst in der Begegnung mit den pädagogischen Gegenständen. Am Anfang mag allgemeine kindliche Neugier, später vielleicht auch Zwang helfen. Beides löst jedoch nicht das konstitutive Problem. Erst das subjektive Erleben von Kompetenzzuwachs vermag Motivation zu verstetigen. Der individuell erlebte Erfolg schulischer Arbeit sichert also die Voraussetzungen weiterer erfolgreicher schulischer Bemühungen. Dieses Strukturproblem lässt sich nur beseitigen, indem man die Schule wieder abschafft.

Leistungsthematische Situationen und universalistische Maßstäbe

Im Unterschied zum Lernen im Alltag liegen die Stärken des Lernens in der Schule in dessen Systematik, Langfristigkeit und Kumulativität. Damit ist die Schule eine beispielhafte Entwicklungsinstitution. Einrichtungen, die Entwicklungsprozesse auf Dauer

stellen wollen, indem sie Gelegenheitsstrukturen vorhalten, die individuelles Lernen herausfordern, folgen notwendiger Weise einer inneren Logik der Graduierung des Erreichten: besser/schlechter, höher/niedriger, schneller/langsamer. Niklas Luhmann (1992) sieht in dieser Graduierung den eigentlichen Funktionscode des Erziehungssystems. Die Referenznormen können freilich in zeitlicher, sozialer und sachlicher Hinsicht variabel sein – also: besser als vorher, besser als andere oder näher am Ziel. In der Praxis finden alle drei Bezugsnormen Anwendung. Entkommen kann man der Bewertung nicht. Auch eine notenfreie Schule entgeht nicht der Graduierung. Versucht die Lehrkraft sich zu entziehen, erledigen die Sache oder die Lerngruppe für sie das Geschäft.

Damit ist die Schule – und das ist ein weiteres Strukturmerkmal – auch die Institutionalisierung einer Abfolge von leistungsthematischen Situationen, in denen Handeln nach verbindlichen Gütemaßstäben beurteilt wird. Diese Gütemaßstäbe unterscheiden sich von denen, die in der Familie oder der Altersgruppe gelten. In diesen Umwelten wird man als ganze Person in seiner Besonderheit und – wenn es gut geht – mit Zuneigung akzeptiert. In der Schule sind die Gütemaßstäbe zunächst funktional spezifisch: Ein Schüler wird nicht mehr in seiner ganzen Persönlichkeit beurteilt, sondern als Lernender, der Englisch, Mathematik oder Geschichte besser oder schlechter beherrscht. Grundlage der Beurteilung sind auch nicht Zuneigung und Verständnis für die individuellen Besonderheiten. Die Maßstäbe sind vielmehr universalistisch – sie gelten für alle gleichermaßen – und die Graduierung erfolgt affektiv neutral, – mag die schlechte Note die Lehrkraft auch noch so bekümmern. Und selbst wenn man vom Prinzip der einfachen Gleichbehandlung abweicht und etwa nach individuellen Lernfortschritten beurteilt, ist dieser Maßstab universalistisch zu begründen und mit konkurrierenden Gesichtspunkten distributiver Gerechtigkeit auszutariieren.

Der duale Zeithorizont und der doppelte soziale Referenzrahmen

Kommen wir zum dritten Strukturmerkmal von Schule: Schule hat notwendiger Weise mit einem dualen Zeithorizont umzugehen: Man lernt kumulativ in der Gegenwart für Zukünftiges. Dabei ist die Zeitperspektive unsicher; es ist keineswegs ausgemacht, ob das Gelernte – die schlichteste Vorstellung – als fertig verfügbarer Vorrat wirklich „gebraucht“ wird, ob es anschlussfähig für weiteres Lernen ist und dieses unterstützt oder sogar den nicht abschließbaren Prozess der Selbstbildung fördert. Gleichzeitig nimmt aber die Schule den größten Raum im Leben junger Menschen ein und bildet eine Lebenswelt eigenen Rechts, die nicht in der Logik institutionalisierter Lernprozesse aufgeht oder unter zukünftige Ansprüche subsumierbar ist. Gegenwart ist nicht gegen Zukunft aufrechenbar. In dieser Sichtweise ist Friedrich Schleiermacher (1826) so modern wie eh. So ist es denn eine der schwierigsten Balanceaufgaben der Schule, durch die – wie der Bildungshistoriker Heinz-Elmar Tenorth (1994) sagt – Kultivierung der

Lernfähigkeit auf eine nicht vorwegnehmbare Zukunft vorzubereiten und gleichzeitig dem Anspruch sinnstiftender Tätigkeit in der Gegenwart Gerechtigkeit widerfahren zu lassen.

Die Tatsache, dass die Logik institutionalisierter Lernprozesse nicht mit der Logik schulischer Lebenswelten identisch ist, erzeugt ein weiteres Strukturproblem – nämlich den in normativer Hinsicht doppelten Referenzrahmen von Schule. Auch wenn Lernprozesse unauflöslich in emotionales und motivationales Geschehen eingebettet sind, steht die Schule doch unter dem Primat des Kognitiven, und zwar mit höherem Alter der Schüler und Schülerinnen zunehmend. Mag am Anfang der Grundschulzeit der handelnde Vollzug noch gelegentlich im Vordergrund stehen, so gewinnt im Laufe der Schulzeit die reflexive Auseinandersetzung mit Symbolsystemen globale Bedeutung. Dies gilt auch, wenn Fragen des Ästhetisch-Expressiven – etwa in den Bereichen von Literatur, Musik, bildender oder darstellender Kunst – Unterrichtsgegenstand sind oder evaluativ-normative Probleme zur Behandlung anstehen, wie Fragen der guten Lebensführung, der ethischen Grundlagen menschlichen Handelns, des richtigen Wirtschaftens oder der Regelung des Gemeinwesens. Schule eröffnet einen primär reflexiven Zugang zu unterschiedlichen Lebensbereichen. Reflexivität und der Primat des Kognitiven sind wahrscheinlich ein der Schule inhärenter Schutz gegen Indoktrination. Gleichzeitig hat die Schule aber auch die sozialen Voraussetzungen systematischer Lernprozesse zu sichern. Dies setzt Regelklarheit, Regeltreue und Wertbindungen voraus – kurz: die Stabilität wechselseitiger Erwartungen. Auch wenn die Normen aus pädagogischen Gründen diskursiver Aushandlung zugänglich sein sollten, können sie nicht zu jeder Zeit und insbesondere nicht alle gleichzeitig in Frage gestellt werden. Die handlungsentlastete „Als-ob“-Situation des Diskurses im Unterricht unterscheidet sich vom praktischen Handeln im sozialen Zusammenleben der Institution. Beide Perspektiven gleichzeitig bewusst zu halten, ist eine notwendige Voraussetzung erfolgreich verlaufender Lernprozesse.

Diese vier Strukturmerkmale sind die „geheimen“ Erzieher der Schule, die universell wirken. So unterschiedlich Schulen im Einzelnen aussehen mögen, so teilen sie doch in aller Welt diese Grundstrukturen. Dies ist wahrscheinlich auch eine Erklärung dafür, dass sich die Schulen hinsichtlich ihrer erzieherischen Wirkungen eher wenig unterscheiden, während die Unterschiede in den Erträgen des Unterrichts – dem Kerngeschäft der Schule – vergleichsweise groß sind. In der Schule der Moderne bildet der Unterricht und erzieht primär die Organisation.

Struktur eines Kerncurriculums

Wie steht es aber nun um die Begegnung und die Auseinandersetzung mit den Gegenständen der Kultur – dem eigentlichen Programm der Schule? Sind Programm-entscheidungen kulturell kontingent? Oder gibt es auch in der Gestaltung der Bildungsinhalte Grundmuster, die sich in modernen Gesellschaften in ähnlicher Form wiederfinden? Meine Antwort ist ein definitives „Ja“. Allerdings liegen diese Universalien nicht auf der Ebene jenes kanonischen Repertoires, das Dietrich Schwanitz für ein intelligentes Parlieren im neuen bürgerlichen Salon voraussetzt. Die latente Struktur eines internationalen Kerncurriculums ist auf anderer Ebene zu suchen. Die Schule ist die einzige Institution in modernen Gesellschaften, die für die Generalisierung universeller Kommunikationsvoraussetzungen in der nachwachsenden Generation durch die systematische Beschäftigung mit unterschiedlichen Modi der Weltbegegnung sorgt. Diese Horizonte des Weltverstehens bilden das nicht kontingente Gerüst der Bildungsprogramme moderner Schulen.

Was verstehe ich unter Modi der Weltbegegnung? Es gibt unterschiedliche Formen der Rationalität, von denen jede in besonderer Weise im menschlichen Handeln zur Geltung kommt. Kognitive Rationalität ist nur eine. Kunst, Literatur, Musik und körperliche Übung um ihrer selbst willen folgen einer eigenen Logik, die nicht mit der kognitiv-instrumentellen Modellierung der Welt zusammenfällt, die Mathematik, Naturwissenschaften oder Technik auszeichnet. Sie teilen vielmehr eine spezifische Rationalität des Ästhetisch-Expressiven. Davon unterscheidet sich wiederum die Logik evaluativ-normativer Fragen, die Recht, Wirtschaft oder Gesellschaft aufwerfen. Ebenso sind die Fragen des Ultimativen – also Fragen nach dem Woher, Wohin und Wozu des menschlichen Lebens – anders zu behandeln als mathematische und naturwissenschaftliche Probleme. Die unterschiedlichen Rationalitätsformen eröffnen jeweils eigene Horizonte des Weltverstehens, die für Bildung grundlegend und nicht wechselseitig austauschbar sind. Schulen moderner Gesellschaften institutionalisieren die reflexive Begegnung mit *jeder* dieser unterschiedlichen menschlichen Rationalitätsformen.

Sie bilden die latente Struktur eines kanonischen Orientierungswissens, das die Grundlage moderner Allgemeinbildung darstellt. Wilhelm von Humboldt (1809) hat dies bereits im Königsberger und litauischen Schulplan auf den Punkt gebracht: Menschenbildung bedürfe der Sprache, Geschichte, Mathematik (und Naturwissenschaften), Ästhetik und Gymnastik. Die Soziologen werden leicht die Verbindungslinien zu den Parson'schen Rationalitätsformen ziehen und die Pädagogen die vor allem über Wilhelm Flitner (1961) vermittelte strukturbildende Wirkung dieses Gedankens im Konzept der Aufgabenfelder der gymnasialen Oberstufe wiedererkennen.

Die Auswahl und der Zuschnitt von Unterrichtsfächern sowie die Auswahl und Sequenzierung der Stoffe sind dann variabel – auch wenn sich in einigen Bereichen, wie

der Mathematik und abgeschwächt den Naturwissenschaften, eine kulturübergreifende Verständigung und Kanonisierung abzeichnen. Und selbstverständlich sind die Domänen der Lehrpläne auch nicht mit den Modi der Weltbegegnung deckungsgleich, auch wenn jeweils ein Modus als Leitperspektive ausgeprägt ist. Politische Bildung in Deutschland ist nicht identisch mit der Education Civique in Frankreich und der Sachkundeunterricht fällt nicht mit Science Education zusammen, aber die Auseinandersetzung mit den normativ-evaluativen Grundlagen von Wirtschaft und Gesellschaft und die Begegnung mit der Rationalität naturwissenschaftlichen Argumentierens sind universelle Elemente des Bildungsprogramms einer modernen Schule. Die größten kulturabhängigen Unterschiede gibt es wahrscheinlich in der Institutionalisierung des Zugangs zu religiös-konstitutiven Fragen. In diesem Bereich ist nicht einmal in jedem Fall der Vorrang des reflexiven Zugangs selbstverständlich.

Basale Kulturwerkzeuge

Der Zugang zu den symbolischen Gegenständen der Kultur ist nicht voraussetzungslos. Je nach Bereich in unterschiedlichem Ausmaß bedarf es der Beherrschung kultureller Basiskompetenzen. Dies sind:

- Beherrschung der Verkehrssprache
- mathematische Modellierungsfähigkeit
- zunehmend fremdsprachliche Kompetenz
- IT-Kompetenz
- Selbstregulation des Wissenserwerbs.

Diese Basiskompetenzen sind nicht die einzigen, aber wichtige Voraussetzungen für die – wie Heinz-Elmar Tenorth es einmal ausgedrückt hat – Generalisierung universeller Prämissen für die Teilhabe an Kommunikation und damit auch für Lernfähigkeit.

Die Beherrschung der Verkehrssprache in Wort und Schrift – und zwar auf einem kompetenten Niveau – ist notwendige Voraussetzung gesellschaftlicher Kommunikationsfähigkeit. Insbesondere ist die Lesekompetenz Basis jedes selbstständigen Weiterlernens. Schule ist notwendigerweise eine sprachliche Veranstaltung, und zwar in *allen* Fächern. Wenn es zentrale Aufgabe der Schule ist, Lernfähigkeit zu kultivieren, verlangt dies eine reflexive Begegnung mit den Gegenständen der Kultur, die sprachbasiert und kommunikativ ist. Die Vorstellung, Mathematik oder die so genannten Realien zum Schutze der Kinder und Jugendlichen aus bildungsfernen Familien spracharm unterrichten zu können, reduziert den Bildungsgehalt dieser Gegenstände im Kern. Lesekompetenz ist das Musterbeispiel für eine fächerübergreifende Schlüsselqualifikation, für deren Aneignung in der Phase des Schriftspracherwerbs die

Hauptverantwortung zunächst beim muttersprachlichen Unterricht liegt, die dieser mit zunehmender Schulbesuchsdauer mehr und mehr mit allen anderen Unterrichtsfächern teilt. Spätestens in der Sekundarstufe I ist die Kultivierung des Leseverständnisses Sache aller Unterrichtsfächer. Dies bedeutet gleichzeitig, dass Leseverständnis Voraussetzung und Teil sprachlich-literarischer Grundbildung ist, mit dieser aber selbstverständlich nicht zusammenfällt.

Eine weitere basale Kompetenz ist in modernen Gesellschaften die mathematische Modellierungsfähigkeit. Diese Fähigkeit macht wahrscheinlich den Kern mathematischer Grundbildung aus. Die Fachdidaktiker sprechen von Modellierungsfähigkeit, wenn eine Person über ausreichendes begriffliches mathematisches Wissen verfügt, das es ihr erlaubt, eine realistische Problemstellung in sinnvoller Weise mit einem mathematischen Modell in Verbindung zu bringen und damit die Situation in zentralen Merkmalen zu formalisieren. Dies ist eine Übersetzungsleistung, die vielfältige Arten des alltäglichen und mathematischen Verstehens erfordert und verbindet. Nach dieser Mathematisierungsleistung muss das Modell verarbeitet – dies kann ein Rechengang, aber auch eine begriffliche Argumentation sein – und auf seine innermathematischen Konsequenzen hin interpretiert werden. Anschließend erfolgt die Überprüfung, wieweit die Ergebnisse in vernünftiger Weise auf die ursprüngliche Problemstellung antworten. Mathematisches Verständnis im Sinne von Modellierungsfähigkeit wird von uns tagtäglich in vielen Lebensbereichen verlangt. Mathematik ist eine formalisierte Sprache, die sich in einem langen historischen Prozess entwickelt hat und in unterschiedlicher Form zu einem selbstverständlichen Kommunikationsmittel in vielen Berufen und wissenschaftlichen Disziplinen geworden ist. In dieser Funktion ist die Mathematik eine ähnliche fächerübergreifende Schlüsselqualifikation wie Lesekompetenz. Ein hinreichend sicherer Umgang mit mathematischen Symbolen und Modellen gehört in allen modernen Informations- und Kommunikationsgesellschaften zum Kernbestand kultureller Literalität.

In einer kleiner werdenden Welt hat das Erlernen einer Fremdsprache nicht nur die Funktion, die bildende Begegnung mit einer fremden Kultur im Medium der jeweils anderen Verkehrssprache zu ermöglichen. In dieser Funktion ist der Fremdsprachenunterricht Bestandteil der Allgemeinbildung. Er vermittelt kulturelle Kontingerzerfahrung – die Dinge können auch anders sein als zu Hause – und gleichzeitig einen Begriff von der Möglichkeit, Kommunikation zu universalisieren. Inwieweit diese Erfahrungen vertieft werden sollen und können, ist bildungsgangsspezifisch. Für die vertiefte Allgemeinbildung der gymnasialen Oberstufe gelten andere Erwartungen als für die Sicherung der Grundbildung am Ende der Vollzeitschulpflicht.

Über diese Allgemeinbildungsaufgabe hinaus gewinnt der Unterricht in der ersten Fremdsprache – und das ist in der Regel das Englische – zunehmende Bedeutung als

Einführung in die Lingua franca einer globalisierten Bildungs- und Wissenschaftsgesellschaft. In vielen Berufen und Lebensbereichen ist die ausreichende Beherrschung des Englischen damit zur kulturellen Basiskompetenz geworden.

In ähnlicher Weise entwickelt sich allmählich auch die informationstechnologische Kompetenz zu einem basalen Kulturwerkzeug. Ein verständiger Umgang mit modernen Informationstechnologien wird zunehmend zu einem Schlüssel zu wichtigen gesellschaftlichen Wissensbeständen und Voraussetzung zur Teilhabe an expandierenden rechnergestützten Kommunikationsformen.

In analoger Weise lässt sich schließlich auch die Fähigkeit, Wissen selbstreguliert zu erwerben, als Basiskompetenz bezeichnen. Lernende, die ihr eigenes Lernen regulieren, sind in der Lage, sich selbständig Lernziele zu setzen, dem Inhalt und Ziel angemessene Techniken und Strategien auszuwählen und auch einzusetzen. Ferner halten sie ihre Motivation aufrecht, sie überwachen die Zielerreichung während und nach Abschluss des Lernprozesses und korrigieren – wenn notwendig – die Lernstrategie. Die Selbstregulation des Lernens beruht demnach auf einem flexibel einsetzbaren Repertoire von Strategien zur Wissensaufnahme und Wissensverarbeitung sowie zur Überwachung der am Lernen beteiligten Prozesse. Selbstregulationsfähigkeit des Lernens wird nicht abstrakt als direkt lernbare Schlüsselqualifikation erworben, sondern in der reflektierten Auseinandersetzung mit spezifischen Gegenständen. Selbstregulation des Wissenserwerbs hat also immer auch eine domänenspezifische Ausprägung. Insofern Selbstregulation auf einem dynamischen Wechselspiel zwischen kognitiven, metakognitiven und motivationalen Aspekten des Lernens beruht, lässt sie sich dennoch als Basiskompetenz bezeichnen.

Die knapp skizzierten Basiskompetenzen eröffnen den Zugang zu symbolischen Gegenständen der Kultur – von Bereich zu Bereich in unterschiedlichem Ausmaß und in unterschiedlicher Weise. Selbstverständlich sind sie auch unterschiedlich mächtige Kulturwerkzeuge; keiner wird ernsthaft den Primat der Beherrschung der Verkehrssprache in Frage stellen wollen. Dennoch teilen sie die gemeinsame Kultur erschließende Funktion. In dieser Eigenschaft liegen sie in gewisser Weise quer zu den zuvor beschriebenen unterschiedlichen Horizonten des Weltverstehens, auch wenn es fraglos besondere Affinitäten gibt, die im Falle der Lesekompetenz und der mathematischen Modellierungsfähigkeit offensichtlich sind. Lesekompetenz etwa ist notwendige Voraussetzung und integraler Teil sprachlich-literarischer Bildung – aber eben nur ein Teil dieses Orientierungswissens. Als kulturelle Basiskompetenz ist das Leseverständnis jedoch weit mehr als nur Teil des sprachlich-literarischen Orientierungswissens: Es ist Voraussetzung des reflexiven und kommunikativen Zugangs zu allen anderen Modi der Weltbegegnung. In strukturell ähnlicher, wenn auch nicht in gleich ausgeprägter Weise gilt dies auch für die anderen Basiskompetenzen.

Abbildung 1

Grundstruktur der Allgemeinbildung und des Kanons

Modi der Weltbegegnung (Kanonisches Orientierungswissen)	Basale Sprach- und Selbstregulationskompetenzen (Kulturwerkzeuge)				
	Beherrschung der Verkehrssprache	Mathematisierungskompetenz	Fremdsprachl. Kompetenz	IT-Kompetenz	Selbstregulation des Wissenserwerbs
Kognitiv-instrumentelle Modellierung der Welt Mathematik Naturwissenschaften					
Aesthetisch-expressive Begegnung und Gestaltung Sprache/Literatur Musik/Malerei/Bildende Kunst Physische Expression					
Normativ-evaluative Auseinandersetzung mit Wirtschaft und Gesellschaft Geschichte Ökonomie Politik/Gesellschaft Recht					
Probleme konstitutiver Rationalität Religion Philosophie					

Internationale Vergleichsstudien als Elemente eines sich entwickelnden Systemmonitorings

Lässt man vor dem Hintergrund dieser bildungs- und institutionstheoretischen Skizze die jüngeren internationalen und nationalen Large Scale Assessment Studien Revue passieren, wird deutlich, dass die thematischen Auswahlentscheidungen, die diesen Untersuchungen zugrunde liegen, keineswegs beliebig sind. Es macht durchaus Sinn, dass sich diese Studien nicht auf die Erfassung fächerübergreifender Schlüsselqualifikationen fachlicher, personaler oder sozialer Art eingelassen haben. Denn bei deren Entwicklung gibt es entweder wenig institutionsbedingte Variation, weil die Schulen eine gemeinsame erzieherisch wirkende Grundstruktur teilen (wie zum Beispiel bei der Entwicklung sozialer oder motivationaler Orientierungen) oder sie sind überhaupt nicht domänenunspezifisch erwerbbar (wie zum Beispiel Problemlösekompetenzen). Die vergleichenden Leistungsstudien, die Aufgaben des Systemmonitorings wahrnehmen, konzentrieren sich durchaus mit Recht auf die Erfassung der beschriebenen Basiskompetenzen. Unter den jüngeren Vergleichsstudien untersuchte die „Reading

Literacy Study“ die IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) die Lesekompetenz unterschiedlicher Altersjahrgänge (Lehmann u.a. 1995). Hier schloss sich die „Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie“ (TIMSS) mit der Untersuchung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Verständnisses an und nahm damit gleichzeitig Themen früherer Untersuchungen wieder auf (Baumert, Lehmann u.a. 1997; Baumert, Bos & Lehmann 2000). PISA schließlich verbindet die Erfassung von Lesekompetenz, mathematischer Kompetenz und naturwissenschaftlicher Kompetenz mit der Selbstregulationsfähigkeit des Wissenserwerbs (Baumert u.a. 2001). Mit der Messung von informationstechnologischer Kompetenz sind mit zwei Untersuchungen der IEA erste vorsichtige Schritte unternommen worden, deren Richtung von PISA aller Wahrscheinlichkeit nach weiter verfolgt wird.

Schwieriger ist die Situation bei der Erfassung fremdsprachlicher Basiskompetenzen. Nach einer ersten Untersuchung der IEA Anfang der 70er Jahre ist deutlich geworden, dass Englisch immer mehr die Funktion einer Lingua franca übernehmen wird. Dies bedeutete, dass das Interesse der angelsächsischen und nicht angelsächsischen Länder an solchen Studien auseinander läuft. Es ist sicherlich kein Zufall, dass die Kultusministerkonferenz mit DESI (Deutsch-Englisch-Schülerleistungen International) eine Studie in Auftrag gegeben hat, die das kompetente Lesen und Schreiben in der Verkehrssprache und gleichzeitig die Beherrschung des Englischen in Wort und Schrift überprüfen wird. In einer Ausnahmeposition befinden sich im Grunde nur die Naturwissenschaften. Im angelsächsischen Sprachraum gibt es eine anhaltende Diskussion darüber, ob naturwissenschaftliche Literalität, den Rang einer kulturellen Basiskompetenz ähnlich wie mathematische Modellierungsfähigkeit beanspruchen kann oder ob der naturwissenschaftliche Unterricht nicht im Rahmen der Allgemeinbildung zentrales Orientierungswissen vermittelt, das aber in seinem Status dem anderer Domänen des Lehrplans vergleichbar ist. Vieles spricht für Letzteres. Bemerkenswert ist allerdings, dass es in Deutschland um diese Frage erstaunlich ruhig ist. Wir behandeln die Naturwissenschaften in der Regel unter „ferner liefen“.

Prognostische Validität der Erfassung von Basiskompetenzen

Wenn man von Basiskompetenzen spricht, die den Zugang zu allen wichtigen Kulturgütern eröffnen, kann man der Frage nicht ausweichen, welche Bedeutung die Verfügung über diese Kompetenzen über die Schule hinaus besitzt. Macht es wirklich für das berufliche Fortkommen oder generell den Lebenserfolg einen Unterschied, ob man ein kompetenter oder weniger kompetenter Leser ist oder ob man besser oder schlechter mit quantitativen Größen umgehen kann? Folgt man Ulrich Becks Diagnose der Risikogesellschaft, dann wären Bildungssystem und Beschäftigungssystem, aber auch Bildungssystem und Lebenserfolg praktisch voneinander abgekoppelt (Beck 1986).

Die Funktion der Schule erschöpfte sich in einem mehr oder weniger sinnlosen Wettbewerb um Bildungspatente, die selbst zunehmend an Wert verlören. Danach haben weder Kompetenzen noch Zertifikate eine entscheidende Bedeutung für berufliches Fortkommen oder eine erfülltes Leben.

Folgt man dagegen dem Soziologen John Meyer von der Stanford University, dann sind Bildungszertifikate und der Ort ihres Erwerbs, nicht aber schulische Qualifikationen für das Weiterkommen zentral (Meyer & Scott 1983). Angesichts des hoch differenzierten Universitätssystems der Vereinigten Staaten macht es in der Tat einen Unterschied, ob ich einen Studienabschluss in Stanford oder an einer University of Notre Dame erworben habe. Ob tatsächlich unterschiedliche Qualifikationen und Kompetenzen erworben wurden, ist gegenüber der Bedeutung der Reputation der Ausbildungseinrichtung sekundär.

Auch wenn es nur wenige prognostische Untersuchungen gibt, die eine definitive Antwort auf die aufgeworfenen Fragen erlauben, widersprechen die vorliegenden Untersuchungsbefunde meiner Ansicht nach hinreichend allen radikalen Entkopplungsthese. Den ersten Beleg liefert die internationale Studie der OECD, die sich mit Basiskompetenzen im Erwachsenenalter befasst - der International Adult Literacy Survey (IALS) (OECD 2000). In IALS wurden auf der Basis einer repräsentativen Stichprobe von Erwachsenen (16 Jahre und älter) aus 16 Ländern sowohl Lesekompetenz als auch der Umgang mit quantitativen Größen erhoben. In dieser Studie wurde unter anderem die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Beschäftigungskategorie im Produktionsbereich in Abhängigkeit von der Lesekompetenz geschätzt. Dabei wurden sowohl formale Bildungsabschlüsse als auch die Weiterbildungstätigkeit konstant gehalten. Das Ergebnis: Bei Kontrolle des Bildungsabschlusses der Sekundarstufe II, des Alters und der Weiterbildungstätigkeit wächst mit steigender Lesekompetenz die Wahrscheinlichkeit, zu einer „white collar high skilled occupation“ zu gehören; parallel dazu sinkt die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer „blue collar high skilled occupation“.

Der Ausprägungsgrad der Lesekompetenz scheint also auch den Berufserfolg zu beeinflussen. Dabei fungiert Lesekompetenz wahrscheinlich als Statthalter für einen breiteren Bereich von Kompetenzen. PISA wird uns darüber Auskunft geben, wie stark die Fähigkeiten in den Bereichen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften miteinander korrelieren.

Schließlich haben wir am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung eine Längsschnittuntersuchung 'Bildungsverläufe und psychosoziale Entwicklung im Jugend- und jungen Erwachsenenalter' (BIJU) mit einer großen Stichprobe von Schulabsolventen durchgeführt, die es erlaubt, die Vorhersagevalidität von Basiskompetenzen bei Personen mit gleichen Bildungsabschlüssen und gleichen Schulnoten zu überprüfen.

Das Fazit ist eindeutig: Auch bei gleichem formalen Bildungsabschluss ist die sichere Beherrschung von Basiskompetenzen eine persönliche Ressource, die den Übergang von der Schule in die berufliche Erstausbildung positiv beeinflusst. Schülerinnen und Schüler mit höherem Kompetenzniveau gelingt es häufiger, sich in zukunftsfähige Berufe, die auch auf höherem sozialen Niveau liegen, einzufädeln.

Grundzüge einer mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundbildung

Im Rahmen der Dritten Internationalen Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie wurde in der Altersgruppe, die sich im letzten Jahr der Sekundarstufe II noch in einer schulischen oder beruflichen Ausbildung befand, die mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung untersucht. In einer separaten Teilstudie waren darüber hinaus der Mathematik- und Physikunterricht in vorakademischen Bildungsgängen – und das heißt in Deutschland, der gymnasialen Oberstufe – Untersuchungsgegenstand. Im Folgenden möchte ich noch einmal einige Befunde zur mathematischen Grundbildung zusammenfassen, die insbesondere das Kompetenzprofil deutscher Schülerinnen und Schüler verdeutlichen. Ich konzentriere mich auf die mathematische Grundbildung, weil die Befunde zur naturwissenschaftlichen Grundbildung strukturell ähnlich sind (Baumert, Bos & Watermann 2000).

Unter den Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktikern zeichnet sich international ein Konsens darüber ab, was unter mathematischer und naturwissenschaftlicher Grundbildung zu verstehen sei. Die amerikanische Mathematiklehrervereinigung, in der Mathematiker, Mathematiklehrer und Fachdidaktiker zusammenarbeiten, hat Publikationen zur mathematischen Grundbildung vorgelegt, die in mancher Hinsicht als mustergültig angesehen werden können. In den „Principles and Standards for School Mathematics“ des National Council of Teachers of Mathematics (NCTM 2000) werden vier Bereiche mathematischer Grundbildung herausgestellt.

- Zur mathematischen Grundbildung gehört die Fähigkeit, die Anwendbarkeit mathematischer Konzepte und Modelle auf alltägliche, mehr oder weniger komplexe Problemstellungen zu erkennen. Es handelt sich also um die Fähigkeit zu beurteilen, ob Sachverhalte mathematisch modellierbar sind oder nicht.
- Zur mathematischen Grundbildung gehört ferner die Fähigkeit, die einem Problem zu Grunde liegende – oder genauer ausgedrückt: angemessene – mathematische Struktur zu erkennen.
- Als dritte Dimension stellt NCTM die Fähigkeit heraus, Aufgabenstellungen in geeignete Operationen zu übersetzen.

- Schließlich verlangt die mathematische Grundbildung auch eine ausreichende Kenntnis und Beherrschung von Lösungsroutinen. In diesem Grundbildungskonzept wird die Abarbeitung von Kalkülen und Algorithmen, also nicht über Bord geworfen, sondern in einen sinnstiftenden Kontext eingeordnet.

Die Empfehlungen des NCTM haben ebenso wie die grundlegenden Schriften des in den Niederlanden wirkenden Mathematikers Hans Freudenthal die Arbeit einer Gruppe deutscher Mathematiker und Mathematikdidaktiker beeinflusst, die für das Programm for International Student Assessment (PISA) der OECD eine Rahmenkonzeption entwickelt haben, in der mathematische Basiskompetenz begrifflich als Modellierungsfähigkeit gefasst und bildungstheoretisch in ein breiteres Konzept mathematischer Grundbildung eingeordnet wird (Neubrand u.a. 2001).

Naturwissenschaftliche Grundbildung heißt nach Ansicht der American Association for the Advancements of Science (AAAS 1993), also der großen amerikanischen Naturwissenschaftsorganisation, Vertrautheit mit der natürlichen Welt sowie Kenntnis ihrer Verschiedenheit und Einheit. Diese sehr konventionell auf phänomenologischer Ebene gewählte Definition wird dann weiter aufgefaltet. Dimensionen naturwissenschaftlicher Grundbildung sind:

- Verständnis zentraler naturwissenschaftlicher Konzepte und Prinzipien
- Kenntnis der Interdependenz von Naturwissenschaft und Technik
- Epistemologische Vorstellungen von der konstruktiven Natur der Naturwissenschaften sowie Kenntnis ihrer Grenzen und Stärken
- Verständnis der Grundzüge der naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und
- die Anwendung von naturwissenschaftlichem Wissen auf Sachverhalte des persönlichen und sozialen Lebens sowie die Entwicklung persönlichen und gesellschaftlichen Verantwortungsbewusstseins.

Die Arbeiten von AAAS standen Pate für die Entwicklung der theoretischen Rahmenkonzeption des naturwissenschaftlichen Bereichs in PISA (Deutsches PISA-Konsortium 2000).

Kompetenzprofile in der mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundbildung

Wie sind nun die Resultate von TIMSS vor dem Hintergrund dieser normativen Erwartungen zu beurteilen? Die Ergebnisse der TIMS-Studie bestätigen zunächst einmal jene Skeptiker, die generelle Zweifel an der Universalisierbarkeit einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung auf diesem hohen Niveau äußern. In vielen

Ländern erreichen Schulabsolventen im Alter von 18 Jahren dieses Niveau tatsächlich nicht, sondern bleiben deutlich darunter. Deutschland gehört zu dieser Ländergruppe. Gleichzeitig wird die Skepsis aber auch relativiert, denn die Resultate zeigen ebenfalls, dass es in einer ganzen Reihe europäischer Industriestaaten gelingt, etwa zwei Drittel der nachwachsenden Generation im Fach Mathematik mindestens auf das Niveau der Bildung von mathematischen Modellen und Verknüpfung komplexerer Operationen und rund ein Viertel auf das Niveau selbständigen mathematischen Argumentierens zu bringen. Gleichzeitig gelingt es in diesen Staaten, den Anteil sehr schwacher Lernender auf ein Minimum zu beschränken. Kurz gesagt: Einige Länder sind in dem Bemühen erfolgreich, das Niveau anzuheben und gleichzeitig Leistungsstreuung zu reduzieren.

Tabelle 1

Schüler nach Fähigkeitsniveau im Bereich mathematischer Grundbildung und ausgewählten Ländern

	Deutschland	Frankreich	Niederlande	Norwegen	Schweiz
Alltagsbezogene Schlussfolgerungen	15,4%	0,0%	3,7%	0,6%	0,8%
Anwendung von einfachen Routinen	36,6%	34,3%	21,5%	35,0%	29,3%
Bildung von Modellen und Verknüpfung von Operationen	34,1%	47,6%	41,3%	40,2%	43,0%
Mathematisches Argumentieren	13,9%	18,1%	33,4%	24,2%	26,9%

IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

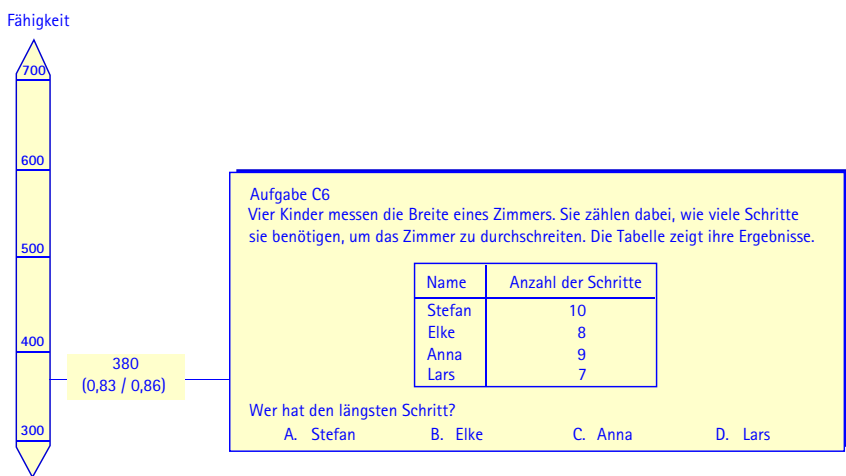
Um Testwerte inhaltlich zu verankern und damit zum „Sprechen“ zu bringen, haben wir für den Bereich der mathematischen Grundbildung vier Kompetenzstufen definiert, die von alltagsbezogenem Schlussfolgern auf Grundschulniveau bis hin zu mathematischem Argumentieren auf der höchsten Stufe reichen. Im Vergleich zu Frankreich, den Niederlanden, Norwegen und der Schweiz ist Deutschland die Gruppe der schwächsten Lerner, deren Kompetenz kaum über ein Grundschulniveau hinausreicht, mit 15,4 Prozent überaus stark besetzt. Andererseits ist der Anteil derer, die die höchste Stufe der mathematischen Grundbildung zu erreichen, in Deutschland mit 13,9 Prozent besonders schmal.

Was bedeuten diese Befunde im Detail? Wir haben versucht, die Kompetenzstufen anhand von Beispielaufgaben zu beschreiben, die von jungen Erwachsenen, die das jeweilige Niveau erreichen, mit hinreichender Sicherheit gelöst werden. Nehmen wir eine Aufgabe, die für die erste, unterste Kompetenzstufe, die wir als elementares Schlussfolgern bezeichnet haben, charakteristisch ist.

Vier Kinder messen die Breite eines Zimmers. Sie zählen dabei, wie viele Schritte sie benötigen, um das Zimmer zu durchschreiten. Die Ergebnisse sind in einer kleinen Tabelle ausgewiesen. Die Frage lautet: Wer hat den größten Schritt?

Abbildung 2

Testaufgabe aus dem Bereich mathematischer Grundbildung



IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

Für die Lösung dieser Aufgabe bedarf es im Grunde keines Mathematikunterrichts. Mit ein wenig Nachdenken ist die Lösung aufgrund von Alterserfahrung erschließbar. In Deutschland liegt die Lösungswahrscheinlichkeit bei dieser Aufgabe für 18-Jährige bei 86 Prozent. 14 Prozent unterläuft ein typischer Fehler; sie denken, mehr Schritte seien automatisch größere Schritte.

Junge Erwachsene der Kompetenzstufe I, die bei der ersten Aufgabe noch relativ erfolgreich sind, können eine Aufgabe des folgenden Typs nicht mehr sicher lösen:

Bei einer Wahl in einer Schule mit drei Kandidaten bekam Jan 120 Stimmen, Maria erhielt 50 Stimmen und Georg 30 Stimmen; welchen Prozentsatz der Gesamtstimmen bekam Jan?

Bei dieser Aufgabe handelt es um eine einschrittige Modellierungsaufgabe, die zwei einfache Operationen verlangt. Zunächst ist erforderlich, den Text, der keine großen sprachlichen Herausforderungen bietet, zu verstehen. Sodann muss die Gesamtstimmenzahl durch Addition ermittelt werden, damit man anschließend den Prozentsatz bilden kann. Diese Grundaufgabe der Prozentrechnung entspricht dem Niveau der Jahrgangsstufen 6 oder 7. Dass rund 52 Prozent der 18-Jährigen in Deutschland das durch diese Aufgabe angezeigte Kompetenzniveau der mathematischen Grundbildung nicht überschreiten oder gar nicht erreichen, zeigt den begrenzten Erfolg des obligatorischen Mathematikunterrichts.

Die folgende Aufgabe (Abbildung 3) ist ein Markieritem der Kompetenzstufe III der mathematischen Grundbildung:

Abbildung 3

Mathematische Beispielaufgabe der Niveaustufe III

A12. Diese beiden Anzeigen sind in einer Zeitung in einem Land erschienen, in dem die Währungseinheit zeds ist.

GEBÄUDE A	
Büroräume zu vermieten	
85-95	Quadratmeter
450 zeds	pro Monat
100-120	Quadratmeter
800 zeds	pro Monat

GEBÄUDE B	
Büroräume zu vermieten	
35-260	Quadratmeter
90 zeds	pro Quadratmeter
	pro Jahr

Eine Firma ist daran interessiert, ein 110 Quadratmeter großes Büro in diesem Land für ein Jahr zu mieten. In welchem Bürogebäude, A oder B, sollte sie das Büro mieten, um den niedrigeren Preis zu bekommen. Wie rechnen Sie?

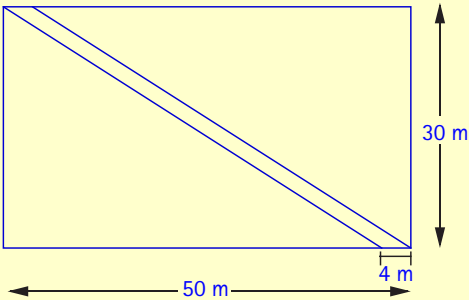
Dieses Item ist eine offene, relativ komplizierte Aufgabe, die sich nicht mit der Auswahl von Alternativen begnügt, sondern die Notierung der einzelnen Arbeitsschritte verlangt. Die Aufgabe erfordert eine mehrschrittige Modellierung, wobei Maß- und Referenzeinheiten nicht gleich sind - weder zeitlich noch in der Quadratmeterstückelung. Die Lösungswahrscheinlichkeit liegt im internationalen Durchschnitt bei 49 Prozent. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Teilnehmerländer allerdings erheblich. In Deutschland lösen 47 Prozent der 18-Jährigen die Aufgabe, in Frankreich 66, in Schweden 70 und in der Schweiz 66 Prozent. Auf der Ebene der mathematischen Kompetenzstufe III werden die Differenzen zu unseren Nachbarländern also deutlich sichtbar.

Für die Beschreibung der Kompetenzstufe IV soll eine geometrische Aufgabe herangezogen werden (siehe Abbildung 4):

Abbildung 4

Mathematische Beispielaufgabe der Niveaustufe III

B25. Wie aus der Skizze ersichtlich ist, verläuft ein Pfad diagonal durch das rechteckige Feld. Berechnen Sie die Fläche des Feldes OHNE den Pfad. Notieren Sie Ihren Lösungsweg!



Das Diagramm zeigt ein rechteckiges Feld mit einer Breite von 50 m und einer Höhe von 30 m. Ein Pfad verläuft diagonal durch das Feld von der oberen linken Ecke zum unteren rechten Eck. Die Pfadspur ist 4 m breit. Die Aufgabe besteht darin, die Fläche des rechteckigen Feldes ohne den Pfad zu berechnen.

IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

Der in der Aufgabe verlangte mathematische Stoff gehört zum Standardrepertoire der Mittelstufe. Die Schwierigkeit der Aufgabe liegt nicht in der stofflichen Anforderung, sondern erneut in der Modellierung. Denn sie ist wiederum mehrschrittig und abstrakter als in der vorgenannten Aufgabe. Die Lösungswahrscheinlichkeiten betragen in Deutschland 29, in der Schweiz 51, in Schweden 51 und in Frankreich 44 Prozent.

Lösung 1 („Einsicht statt Rechnen“):

Die beiden Dreiecke (ohne den Pfad) kann man einfach zusammenschieben. Das ergibt ein neues Rechteck mit den Seitenlängen 46 Meter und 30 Meter.

Fläche dieses Rechtecks (a x b): $46 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 1380 \text{ m}^2$

Lösung 2 („Erkennen der Kongruenz der beiden Restdreiecke“):

Fläche eines der Dreiecke: $0,5 \times \text{Grundlinie} \times \text{Höhe} = 0,5 \times 46 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 690 \text{ m}^2$

Da die beiden Dreiecke kongruent sind, ist die Gesamtfläche der Restfigur ohne Pfad:
 $2 \times 690 \text{ m}^2 = 1380 \text{ m}^2$

Lösung 3 („2 Dreiecksflächen berechnen“):

Wie bei Lösung 2; da die Kongruenz aber nicht erkannt wird, werden die Flächen beider Restdreiecke explizit ausgerechnet:

Fläche der beiden Dreiecke: $0,5 \times 46 \text{ m} \times 30 \text{ m} + 0,5 \times 46 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 1380 \text{ m}^2$

Lösung 4 („Rechnen statt Einsicht“):

Aufgabe „wörtlich nehmen“: Fläche ohne Pfad ist

$50 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ – Fläche des Parallelogramms

Die beiden Restdreiecke haben je einen Winkel von 90° und 2 spitze Winkel. Sei α der kleinere der beiden spitzen Winkel, dann gilt:

$$\sin \alpha = \frac{30 \text{ m}}{\text{Diagonale}}$$

Die Länge der Diagonalen wiederum ergibt sich mit Pythagoras:

$$\text{Diagonale}^2 = (30 \text{ m})^2 + (46 \text{ m})^2 = 3016 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Diagonale} = 54,92 \text{ m}$$

$$\text{und damit ist } \sin \alpha = \frac{30 \text{ m}}{54,92 \text{ m}} = 0,546$$

Die Fläche des Parallelogramms (= Pfad) ist nun:

$$4 \text{ m} \times \text{Diagonale} \times \sin \alpha = 4 \text{ m} \times 54,92 \text{ m} \times 0,546 = 120 \text{ m}^2$$

Damit ist das Grundstück „ohne Pfad“:

$$50 \text{ m} \times 30 \text{ m} - 120 \text{ m}^2 = 1380 \text{ m}^2$$

Diese Ergebnisse, die man mit komplexeren statistischen Analysen unterfüttern kann, lassen folgende Schlussfolgerungen zu: Je mathematisch anspruchsvoller die Aufgaben sind, desto deutlicher treten Schwächen deutscher Schülerinnen und Schüler hervor. Beim Lösen einschrittiger Modellierungsaufgaben und beim Abarbeiten von Kalkülen sind Schulabsolventen in Deutschland noch relativ tüchtig; wenn aber der gesamte Modellierungsprozess durchlaufen werden muss und die Modellierung mehrschrittig ist, vergrößert sich der Leistungsabstand zu anderen Referenzländern. Im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung fallen die Ergebnisse weniger dramatisch aus. Die Befunde sind jedoch strukturell ähnlich.

Voruniversitärer Mathematik- und Physikunterricht: Fachleistungen in der gymnasialen Oberstufe

Zielpopulation für die Untersuchung des voruniversitären Mathematik- und Physikunterrichts sind die Schülerinnen und Schüler, die sich im letzten Jahrgang der Sekundarstufe II befinden und zum Zeitpunkt der Erhebung oder im vorangegangenen Unterrichtsjahr einen voruniversitären Mathematik- oder Physikkurs (advanced mathematics/physics) besucht haben. In Deutschland beziehen sich die Befunde auf Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe, die sich – je nach Bundesland – in der 12. oder 13. Jahrgangsstufe kurz vor dem Abitur befinden. In Deutschland besuchen rund 25 Prozent des einschlägigen Altersjahrgangs eine gymnasiale Oberstufe. Neben der Schweiz weist Deutschland damit den niedrigsten relativen Besuch von Bildungsgängen auf, die zur allgemeinen Hochschulreife führen. Diese 25 Prozent der Alterskohorte nehmen am obligatorischen Mathematikunterricht entweder auf Grund- oder Leistungskursniveau teil. Für das Fach Physik reduzieren sich die Beteiligungsquoten auf knapp 10 Prozent eines Altersjahrgangs – Grund- und Leistungskurse zusammengefasst. Physik wird also in der gymnasialen Oberstufe eher ab- als angewählt. Um möglichst alle Länder in einen fairen internationalen Vergleich einbeziehen zu können, beschränke ich mich im folgenden auf einen Vergleich der jeweils 10 Prozent Leistungsstärksten des Altersjahrgangs. Dieses Vorgehen ist gerechtfertigt, da sich an der Struktur der Befunde auch bei der Betrachtung breiterer Jahrgangsteile nichts ändert. Die 10 Prozent Leistungsstärksten des einschlägigen Altersjahrgangs besuchen in Deutschland im Fach Mathematik ganz überwiegend Leistungskurse. Im Fach Physik verteilen sich diese Schülerinnen und Schüler auf Grund- und Leistungskurse (Baumert, Bos, Watermann 2000b).

Wie steht es um die Mathematikleistungen?

Tabelle 2

Schüler nach Fähigkeitsniveau im Bereich voruniversitärer Mathematik und ausgewählten Ländern (10% leistungsstärkste Schüler des Altersjahrgangs)

	Deutschland	Frankreich	Slowenien	Schweden	Schweiz
Elementares Schlussfolgern	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Anwendung einfacher Konzepte und Regeln	25,7%	0,0%	0,0%	12,0%	11,0%
Anwendung von Lerninhalten der Oberstufe	63,0%	69,8%	30,7%	65,6%	60,4%
Selbständiges Problemlösen	11,3%	30,2%	69,3%	22,4%	28,6%

IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

Die wichtigsten Ergebnisse für das Fach Mathematik, die in Tabelle 1 ausgewiesen sind, lassen sich knapp zusammenfassen: Wirklich schwache Mathematikleistungen sind unter den 10 Prozent Leistungsstärksten des Altersjahrgangs der 18- bis 19-Jährigen – in Deutschland also im wesentlichen Leistungskursbesucher – nicht anzutreffen. Bemerkenswert jedoch ist der Befund, dass in Deutschland 25 Prozent der Leistungskurschüler nur ein Leistungsniveau erreichen, das als Anwendung einfacher mathematischer Konzepte und Regeln, die an der Grenze zwischen Mittel- und Oberstufenstoff liegen, beschrieben werden kann. In Frankreich und Slowenien liegt die gesamte Gruppe der 10 Prozent Leistungsstärksten des Altersjahrgangs auf einem höheren Niveau. In Schweden und der Schweiz ist dieses Basisniveau mit 11 bzw. 12 Prozent nur halb so stark besetzt. In Deutschland erreichen 11 Prozent der Leistungskursbesucher mathematische Spitzenleistungen. In Slowenien sind dies 70, in Frankreich 30, in Schweden 22 und in der Schweiz 28 Prozent der vergleichbaren Leistungsgruppe. An diesen Befunden ändert sich auch nichts, wenn man die Unterrichtszeit über die Länder hinweg konstant hält.

Um spezifische Stärken und Schwächen von Besuchern voruniversitärer Mathematikprogramme anschaulich zu machen, möchte ich Ihnen eine Testaufgabe vorstellen,

deren Lösung nur die Beherrschung von mathematischem Standardstoff der Mittelstufe verlangt, aber dennoch auch für Oberstufenschüler sehr schwer sein kann, da sie eine inner- und außermathematische Übersetzungsleistung verlangt. Zunächst ist die alltagssprachlich beschriebene Situation in eine mathematische Vorstellungswelt zu übertragen, innerhalb derer die Problemstellung innermathematisch reformuliert werden muss, um zu einer numerischen Lösung der Aufgaben zu kommen. Und hier liegt die eigentliche Schwierigkeit der Aufgabe. Die TIMSS-Aufgabe lautet folgendermaßen:

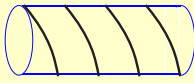
Eine Schnur ist symmetrisch um einen zylindrischen Stab gewickelt. Die Schnur windet sich genau viermal um den Stab. Der Umfang des Stabs beträgt 4 cm und seine Länge 12 cm. Bestimmen Sie die Länge der Schnur. Schreiben Sie alle Ihre Arbeitsschritte auf.

Hat man einmal die Barriere – nämlich den innermathematischen Problemraum rekonstruieren zu müssen, erkannt, ist die Lösung offensichtlich: Man muss den Zylinder abwickeln, um zu sehen, dass die Diagonale des Rechtecks der Länge der Schnur entspricht. Der Rest ist die Anwendung des Satzes des Pythagoras. Die Schwierigkeit der Aufgabe liegt in der Neubestimmung des Problemraumes. In Begriffen der Problemlöseforschung handelt es sich bei dieser Testaufgabe um einen Problemtypus, für dessen Lösung ein adäquater Lösungsweg bei gegebener Zielsetzung und hoher Unbestimmtheit der Mittel zu finden ist.

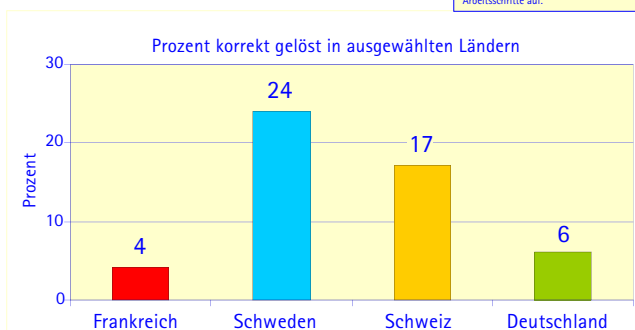
Abbildung 5

Voruniversitäre Mathematik, Teilgebiet Elementargeometrie

Aufgabe K14
Eine Schnur ist symmetrisch um einen zylindrischen Stab gewickelt. Die Schnur windet sich genau 4mal um den Stab. Der Umfang des Stabs beträgt 4 cm und seine Länge 12 cm.



Bestimmen Sie die Länge der Schnur. Schreiben Sie alle Ihre Arbeitsschritte auf.



Wie sehen die Lösungswahrscheinlichkeiten aus? In Schweden können 24 Prozent der Teilnehmer am voruniversitären Mathematikunterricht, in der Schweiz 17 und in Deutschland sechs Prozent diese Aufgabe lösen. In Frankreich, dessen Oberstufenschüler sich generell durch hervorragende Mathematikkenntnisse auszeichnen, sinkt die Lösungswahrscheinlichkeit sogar auf vier Prozent. Die dramatischen Unterschiede in den landesspezifischen Schwierigkeiten dieser Aufgabe und anderer ähnlicher Aufgaben, legen die Vermutung nahe, dass sich unterschiedliche didaktische Profile des voruniversitären Mathematikunterrichts nachweisen lassen. Und in der Tat lässt sich dies auch anhand der systematischen Analyse sogenannter differentieller Itemfunktionen zeigen.

Fasst man die Ergebnisse dieser Profilanalysen zusammen, kommt man zu folgendem Resümee: Deutsche Schülerinnen und Schüler sind beim voruniversitären Mathematiktest relativ zu den europäischen Vergleichspopulationen nicht nur insgesamt leistungsschwächer, sondern ihre Schwächen sind auch in den anspruchsvollen Bereichen des mathematischen Denkens besonders ausgeprägt. Der bedenkliche Befund lautet also: Je anspruchsvoller eine Aufgabe, umso mehr fallen die deutschen Abiturienten hinter Schülern und Schülerinnen anderer europäischer Länder zurück.

Der Mathematikunterricht im mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig des französischen Lycée d'Enseignement Général erreicht generell ein sehr hohes Niveau. Seine besondere Stärke liegt in der Vermittlung von mathematischen Kenntnissen zu anspruchsvollen Themen der Oberstufenmathematik und algebraischen Fertigkeiten. Gleichzeitig weisen die Ergebnisse darauf hin, dass strategische Kompetenzen wie Problemlösen, Umstrukturieren, Textverarbeitung und bildliches Denken französische Schüler vergleichsweise schwächer entwickelt haben. Das Profil schwedischer Schüler ist in gewisser Weise komplementär zum französischen Muster. Die schwedischen Schülerinnen und Schüler haben ihre besondere Stärke im strategischen Bereich bei Anwendungs- und Problemlösungsaufgaben sowie im prozeduralen Wissen und im qualitativen Verständnis mathematischer Konzepte. Dies lässt vermuten, dass der schwedische Mathematikunterricht stärker als der Unterricht in den übrigen untersuchten Ländern auf die Reformziele einer problem- und verständnisorientierten Didaktik abgestimmt ist.

Und wie steht es mit den Physikkenntnissen?

Tabelle 3

Schüler nach Fähigkeitsniveau im Bereich voruniversitärer Physik und ausgewählten Ländern (10% leistungsstärkste Schüler des Altersjahrgangs)

	Deutschland	Norwegen	Schweden	Slowenien
Elementares Wissen	21,0%	7,6%	0,0%	0,0%
Erklärung von Phänomenen	43,2%	29,2%	3,5%	0,0%
Anwendung von Lerninhalten der Oberstufe	28,3%	38,1%	64,9%	56,0%
Selbständige fachliche Argumentation	6,8%	22,8%	27,9%	39,5%
Überwinden von Fehlvorstellungen	0,7%	2,4%	3,7%	4,5%

IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

In Deutschland besuchen knapp 10 Prozent der 18- bis 19-Jährigen einen vorakademischen Physikkurs – also einen Grund- oder Leistungskurs in der gymnasialen Oberstufe. Diese Beteiligungsquote ist im Vergleich zu einer Reihe anderer europäischer Länder niedrig. Aus Gründen des fairen Vergleichs werden wiederum diese 10 Prozent der leistungsbesten Physiker des Altersjahrgangs international verglichen. Für das Fach Physik wurden im Rahmen von TIMSS fünf Kompetenzstufen definiert, die vom Lösen von Routineaufgaben auf Mittelstufenniveau bis zur Überwindung alltagsgebundener Fehlvorstellungen reichen. Im internationalen Vergleich ist die unterste Kompetenzstufe mit 21 Prozent ungewöhnlich stark besetzt. Tabelle 2 zeigt, dass in Norwegen der Anteil schwacher Leistungen im voruniversitären Physikunterricht nur knapp acht Prozent beträgt und in Schweden oder Slowenien die unterste Kompetenzstufe sogar unbesetzt bleibt. Bei dieser Teilgruppe handelt es sich in Deutschland im wesentlichen um Besucher eines Physikgrundkurses, die dieses Fach eher als Notlösung gewählt haben. Das modale Kompetenzniveau von Oberstufenschülern ist in Deutschland die Kompetenzstufe II, der rund 43 Prozent der Physikkursbesucher zuzuordnen sind. Auf diesem Niveau gelingt es, Faktenwissen zur Erklärung einfacher Phänomene der Oberstufenphysik anzuwenden, ohne dass vertiefte Kenntnisse von Konzepten oder Gesetzen erforderlich sind. Ebenso ist die dritte Kompetenzstufe mit 28 Prozent, bei der physi-

kalische Gesetze zur Erklärung von Experimenten auf Oberstufenniveau herangezogen werden können, noch relativ stark belegt. Ein deutlicher Einbruch zeigt sich auf der Ebene des selbständigen fachlichen Argumentierens oder bei der Überwindung alltagsgebundener Fehlvorstellungen. Hier wird deutlich, dass der vorakademische Physikunterricht in Norwegen, Schweden oder Slowenien ein qualitativ anderes Niveau erreicht.

Die relativen Stärken der deutschen Schülerinnen und Schüler liegen bei schematischen Routineaufgaben, die formal gelöst werden können – also salopp ausgedrückt bei der verbreiteten Gleichungsphysik. Eine selbständige Anwendung des Wissens in neuen Kontexten gelingt kaum. Die Schülerinnen und Schüler haben also – wie der Physikdidaktiker Horst Schecker (2001) sagt – im Unterricht das Lösen von Aufgaben und weniger das Lösen von Problemen gelernt. Am deutlichsten wird dies bei Aufgabenstellungen, bei denen nicht gerechnet, sondern begrifflich argumentiert werden muss – und zwar insbesondere dann, wenn physikalische Begriffe eine Rolle spielen, die im Alltagsverständnis eine andere Bedeutung haben. Dies sind Aufgaben, die alltagsbasierte Fehlvorstellungen thematisieren. Es gibt wahrscheinlich kein Fachgebiet, in dem die Didaktiker so gut über die alters- und erfahrungsabhängige Konzeptentwicklung informiert sind wie in den Naturwissenschaften. In allen drei naturwissenschaftlichen Fächern hat die Fachdidaktik ein solides Forschungswissen über die Entwicklung von Alltagskonzepten erzeugt. Man weiß mittlerweile, welche Fehlvorstellungen in welchem Alter prävalent sind und kennt auch Ansatzpunkte, um sie zu überwinden. Dennoch gelingt dies überall mehr schlecht als recht – insbesondere aber im Physikunterricht des Gymnasiums. Dies sei an folgender Aufgabe beispielhaft vorgeführt:

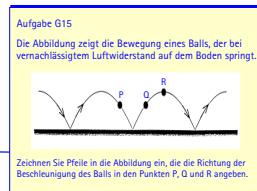
Die Abbildung 6 zeigt die Bewegung eines Balls, der bei vernachlässigbarem Luftwiderstand auf den Boden springt. Zeichnen Sie die Pfeile in die Abbildung ein, die die Richtung der Beschleunigung des Balls in den Punkten P, Q und R angibt.

Diese Aufgabe des TIMSS-Oberstufentests gehört generell zu den schwierigsten überhaupt. Die Schülerinnen und Schüler sollen an den gekennzeichneten Punkten die jeweilige Beschleunigung als Vektorpfeil einzeichnen. Die wenigsten Schüler erkennen, dass jeweils nur die Erdbeschleunigung senkrecht nach unten wirkt, wenn man – wie verlangt – von der Luftreibung absieht. Die meisten Schülerinnen und Schüler zeichnen eine Beschleunigung in der jeweiligen Bewegungsrichtung oder im Punkt Q nach oben ein. Dies entspricht der Alltagsvorstellung, dass in Richtung einer Bewegung immer eine Kraft wirkt. Anderenfalls käme der Körper zum Stillstand oder fiel im Falle des Wurfs einfach nach unten.

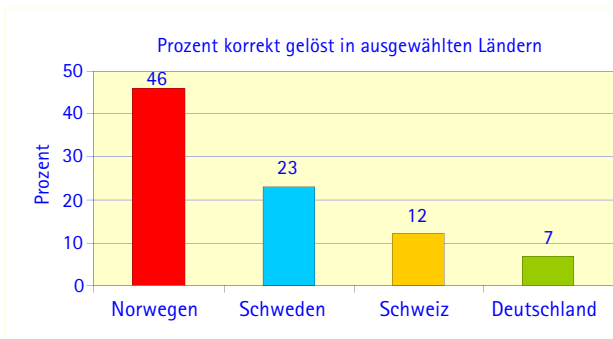
Kennzeichnet man das Leistungsprofil insgesamt, kann man sagen, dass die relative Stärke der deutschen Oberstufenschüler im formal quantitativen Umgang mit Physik liegt. Aus der Perspektive eines modernen, experimentell fundierten und

Abbildung 6

Voruniversitäre Physik, Teilgebiet Mechanik



B40
(0,16 / 0,07)



IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

verständnisorientierten Physikunterrichts ist dieses Resultat unbefriedigend. Während in anderen Ländern ein Unterricht zu überwiegen scheint, der auf qualitatives Verständnis physikalischer Konzepte und ein Verständnis physikalischen Arbeitens und Argumentierens Wert legt, ist der Unterricht in deutschen Grund- und Leistungskursen stärker der traditionellen Gleichungsphysik verhaftet.

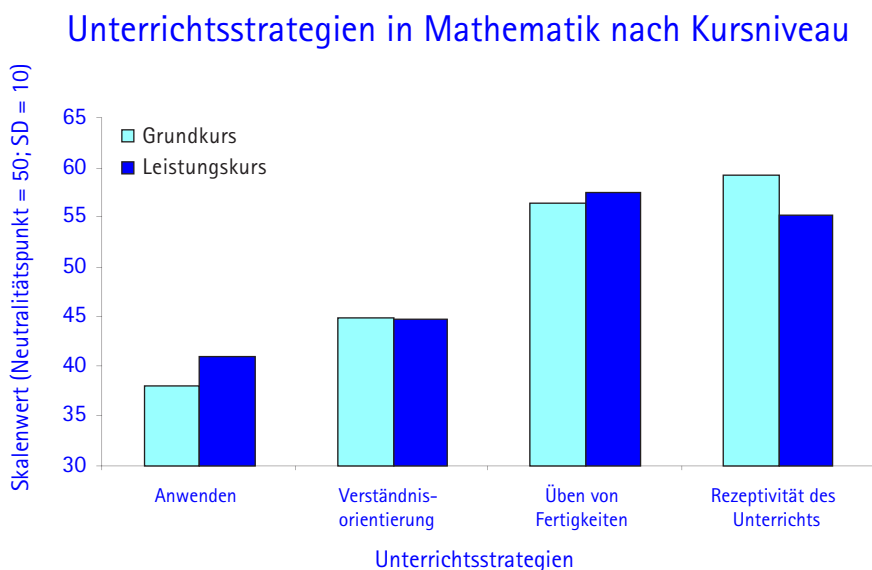
Grundmuster der Unterrichtsführung in Mathematik und Physik

Im folgenden möchte ich Sie dazu einladen, mit den Augen von Schülerinnen und Schülern einen Blick in den Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe zu werfen. Es ist keine Frage: Die jungen Erwachsenen der gymnasialen Oberstufe – und das gilt auch schon für Schülerinnen und Schüler der Mittelstufe – sind Experten der Unterrichtsbeurteilung. 15.000 Unterrichtsstunden eines Schülerlebens gehen nicht spurlos vorbei. Angaben von Schülern zur Unterrichtsführung haben gute prädiktive Validität für Leistungsentwicklungen. Aussagen von Lehrkräften über den eigenen Unterricht sind dagegen wenig zur Qualitätsbestimmung geeignet. Lehrerwahrnehmungen scheinen einen selbstwertschützenden Filter zu durchlaufen,

der die tatsächlich anzutreffende Variabilität der Unterrichtsqualität reduziert. Schülerurteile können sogar denen von geschulten Beobachtern – gleichgültig ob diese Videoaufzeichnungen einschätzen oder direkt am Unterricht teilnehmen – überlegen sein, wenn „seltene Ereignisse“ zu beurteilen sind.

Im Rahmen von TIMSS/III wurde eine Schülerbefragung zum Mathematik- und Physikunterricht durchgeführt, die theoretisch an Konzeptionen verständnisvollen Lernens anschließt (Baumert & Köller 2000). Die Schülerinnen und Schüler wurden gebeten anzugeben, wie häufig bestimmte Tätigkeiten in ihrem Mathematik- bzw. Physikunterricht auftreten, die Hinweise auf didaktische Akzentsetzungen geben. Die Schülerantworten lassen vorsichtige Rückschlüsse auf Verständnisorientierung des Unterrichts durch anspruchsvolle kognitive Eigentätigkeit von Schülern, die Auftretenshäufigkeit von Modellbildung und Anwendung des Gelernten in neuen Kontexten, die Bedeutung des naturwissenschaftlichen Experiments, das Ausmaß des Übens von einfachen Fertigkeiten und schließlich auch die Rezeptivität des Unterrichts zu.

Abbildung 7



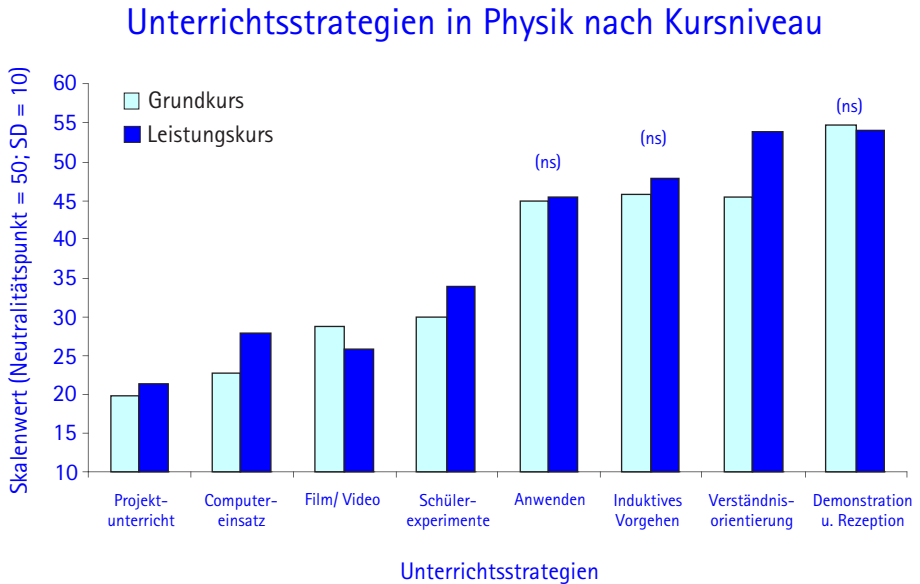
Die Analysen ergeben für den Mathematikunterricht folgendes Bild: Aus Schülersicht ist der Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe bemerkenswert variationsarm und insgesamt eine rezeptive Veranstaltung. Vorherrschend sind zwei aufeinander folgende Schritte: Sobald die Lehrkraft einen mathematischen Gedankengang entwickelt und vorgestellt hat, folgen in der Schülerarbeitsphase das Lösen von Gleichungen und die Übung von Rechenfertigkeiten. Inwieweit die Entwicklung des mathematischen Themas allein in der Hand der Lehrkraft liegt – der Gedanke wird dann an der Tafel vorgeführt – oder primär im lehrergeleiteten Unterrichtsgespräch erfolgt, kann aufgrund des TIMSS-Fragebogens nicht entschieden werden. Die Stunde endet mit dem Kopieren des Tafelanschriebs in die Schülerhefte – Material für die Vorbereitung der nächsten Klausur.

Das didaktische Grundmuster wird über Kursniveaus hinweg durchgehalten. Es ist nicht zu erkennen, dass Grund- und Leistungskurse unterschiedliche didaktischen Konzeptionen folgten. Dies gilt sowohl in curricularer als auch methodischer Hinsicht. Grundkurse scheinen, wenn man es zugespitzt ausdrückt, ausgedünnte Leistungskurse zu sein und überdies in methodischer Hinsicht schlechter bedacht zu werden. Laut Lehrplänen sollte die Anwendungsorientierung ein Kennzeichen des Grundkurses in der Oberstufe sein. Tatsächlich weisen die Leistungskurse jedoch einen größeren Anwendungsteil auf, als dies in Grundkursen der Fall ist.

Infolge der geringen didaktischen Variabilität des Unterrichts erklären die in TIMSS erfassten Merkmale der Unterrichtsgestaltung auch nur einen relativ geringen Anteil der Leistungsvarianz zwischen Kursen. Als wichtigste Unterrichtsdimension erwies sich eine verständnisorientierte Unterrichtsführung, die besonderen Wert auf kognitiv anspruchsvolle Tätigkeiten legt. In einem Unterricht, in dem die Schüler diese Dimension besonders ausgeprägt wahrnehmen, kommen häufiger Nicht-Routineaufgabenstellungen vor, die Problemlöseleistungen erfordern, legt die Lehrkraft Wert auf die Erklärung und Analyse von mathematischen Zusammenhängen und spielt schließlich mathematisches Modellierung eine größere Rolle. Das Ausmaß der Rezeptivität des Unterrichts dagegen steht in einem negativen Zusammenhang mit den erzielten Leistungsergebnissen.

Um Anhaltspunkte für die didaktische Gestaltung des Physikunterrichts zu gewinnen, wurden den Teilnehmern an Physikkursen ähnliche Fragen wie zum Mathematikunterricht gestellt. Die zentralen didaktischen Dimensionen, für die Indikatoren gewonnen werden sollten, sind wiederum die Verständnisorientierung, Rezeptivität und Anwendungsorientierung des Unterrichts. Ergänzend kam für das Fach Physik eine Reihe von Fragen nach der experimentellen und erfahrungsorientierten Ausrichtung des Unterrichts hinzu.

Abbildung 8



IEA. Third International Mathematics and Science Study.

© TIMSS/III-Germany

Die Analysen zeigen folgendes Bild: Im Physikunterricht ist die didaktische und methodische Variabilität aus Schülersicht größer als im Mathematikunterricht. Dennoch lässt sich auch im Physikunterricht ein Muster identifizieren, das den Unterricht über Kursniveaus hinweg prägt. Der Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe scheint vornehmlich Demonstrationsunterricht zu sein, in dem Lehrkräfte mit Hilfe des Vorführexperiments einen physikalischen Gedankengang entwickeln. Das gelenkte Schülerexperiment ist selten, und die Entwicklung von Experimenten durch Schüler kommt praktisch nicht vor. Ebenso führen Simulation und Modellbildung mit Hilfe des Computers – eigentlich *die* Mittel für einen intelligenten Physikunterricht der Oberstufe – ein Schattendasein.

Für das Fach Physik erklären die erfassten Unterrichtsmerkmale Leistungsunterschiede zwischen den Kursen besser als im Falle der Mathematik. Interpretiert man das optimale Erklärungsmodell extensiv, erzielt folgender Physikunterricht die günstigsten Leistungsergebnisse:

- Die Lehrkraft legt Wert auf kognitiv anspruchsvolle Aufgaben und das theoretische Verständnis von physikalischen Modellen.
- Sie unterstützt den Aneignungsprozess durch *theoretisch* gut vorbereitete Experimente, die auch unter Nutzung des Rechners durchgeführt und ausgewertet werden.
- Dabei sind Schüler- und Lehrerexperimente *nicht* Bestandteil eines induktiven Vorgehens, bei dem der handelnde Umgang mit Versuchsanordnungen bzw. die Beobachtung von Phänomenen der theoretischen Fragestellung vorgelagert sind.
- Schließlich wird die verfügbare Unterrichtszeit zur Erarbeitung und Konsolidierung von Sachverhalten optimal ausgenutzt.

Mathematische und physikalische Weltbilder: Eine vernachlässigte Dimension des Mathematik- und Physikunterrichts

Die Vermittlung adäquater epistemologischer Überzeugungen über die Grundlagen und Leistungsfähigkeit spezifischer Fächer und deren Grenzen gehört zum zentralen Anliegen des Oberstufenunterrichts (Köller, Baumert & Neubrand 2000). Unter den Begriffen „epistemologische Überzeugungen“ oder „Weltbilder“ werden jene Vorstellungen und subjektive Theorien zusammengefasst, die Personen über das Wissen und den Wissenserwerb generell oder in spezifischen Domänen entwickeln. Ausgangspunkt der im Rahmen von TIMSS/III durchgeführten Untersuchung zu epistemologischen Überzeugungen ist die Annahme, dass diese intuitiven Theorien die Art der Begegnung mit der erkennbaren Welt vorstrukturieren. Sie beeinflussen Denken und Schlussfolgern, Informationsverarbeitung, Lernen, Motivation und schließlich auch die akademische Leistung. Verschiedene Autoren sprechen von epistemologischen Orientierungen als mentalen Prozessen höherer Ordnung, die kognitive Vorgänge steuern. Wenn epistemologische Überzeugungen im Rahmen von Schulfächern behandelt werden, so geschieht dies nicht nur unter einem instrumentellen Blickwinkel, um Lernprozesse zu befördern, sondern immer auch mit einem bildungstheoretischen Anspruch. Denn die fachbezogenen intuitiven Theorien über Wissen und Wissensgenese geben Antworten darauf, welche Fragen in einem Fachgebiet überhaupt legitimerweise gestellt und mit welchen Verfahren und mit welcher Sicherheit diese beantwortet werden können. Die Klärung dessen, was Fächer oder Disziplinen in ihrer spezifischen Fokussierung leisten und wo ihre Grenzen liegen, gehört zum Bildungsauftrag eines jeden Schulfachs. Im pädagogischen Bereich haben epistemologische Überzeugungen also immer gleichzeitig instrumentelle und substantielle Bedeutung. Deshalb werden auch die epistemologischen Überzeugungen zum Kern der mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundbildung gerechnet.

Welche epistemologischen Vorstellungen von Mathematik und Mathematiklernen vermittelt nun ein Unterricht, der im wesentlichen rezeptiv auf Üben ausgerichtet ist und wenig verständnisorientiert erteilt wird? Es wird keinen überraschen, dass zentrales Moment des mathematischen Weltbilds von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe die Vorstellung einer schematisch-algorithmischen Ausrichtung von Mathematik und des Mathematiklernens ist. Die große Mehrheit der Befragten stimmt Aussagen zu, wie „Mathematik ist Behalten und Anwenden von Informationen, Formeln, mathematischen Fakten und Verfahren“ oder „Mathematik betreiben heißt: Allgemeine Gesetze und Verfahren auf spezielle Aufgaben anwenden“. Damit geht zusammen, dass Oberstufenschülern eine relativistische wissenschaftstheoretische Position, die den konstruktiven und prozessualen Charakter von Mathematik betont, deren Weiterentwicklung von Kreativität und Imagination abhängig ist, eher unvertraut ist. Allerdings ist die instrumentelle Bedeutung von Mathematik für Wirtschaft oder Technik fast jedem Gymnasiasten bewusst. Die dominante Vorstellung von Mathematik als der Anwendung von Rechenroutinen und dem Abarbeiten von Schemata ist das Ergebnis eines langen Prozesses, der in der Grundschule beginnt und bereits in der Mittelstufe verfestigte Resultate erkennen lässt.

Unter den Befragungsergebnissen zum Physikunterricht hat mich besonders überrascht, wie weit beim experimentellen Arbeiten in der Oberstufe ein induktives Vorgehen verbreitet ist. Das Demonstrationsexperiment oder das nach Anleitung durchgeführte Schülerexperiment liefert das Anschauungsmaterial, aus dem explorativ ordnend ein theoretisches Modell oder ein physikalisches Gesetz erschlossen werden soll. Danach ist das Experiment Ausgangspunkt der Entdeckung von in der Natur verborgenen Gesetzen, nicht aber der instrumentelle Durchgriff auf die Realität unter den Annahmen eines vorgängigen theoretischen Modells. In dieser didaktischen Konzeption scheinen ein missverständener Wagenschein und empirizistische Wissenschaftsvorstellungen eine unheilige Allianz einzugehen. In Physikkursen, in denen dieser induktive Umgang mit Experimenten ausgeprägt ist, findet man bei Kontrolle anderer Unterrichtsmerkmale die schwächsten Physikleistungen. Ein solches Vorgehen scheint auch nicht ohne Auswirkungen auf das physikalische Weltbild zu bleiben.

Auch im physikalischen Weltbild vom Gymnasiasten der Oberstufe lässt sich eine weitgehend geteilte Grundvorstellung identifizieren, in der sich die ontologische Überzeugung einer allmählichen Entdeckung des Bauplans des Universums mit der Vorstellung vom Systemcharakter physikalischen Wissens verbindet. Danach existieren in der Natur physikalische Gesetze, die von den Physikern Schritt für Schritt entdeckt werden. Physikalische Theorien systematisieren menschliche Erfahrungen, die vor allem im Experiment gemacht werden. Physik ist danach eine Leistung des Entdeckens. Diese Basisvorstellung wird in der internationalen Forschungsliteratur als traditionell-empiristisches Wissenschaftsbild bezeichnet. Die Vorstellung von Wissenschaft als einer Konstruktionsleistung ist in diesem Weltbild ein Fremdkörper.

Stressinduzierende Choreographien

Lassen sie mich zum Abschluss noch einmal den Blick über den Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe hinaus erweitern, um auf einige vermutlich generelle choreographische Merkmale des Unterrichts in Deutschland aufmerksam zu machen. Am besten durch Einzelfallstudien und Videoaufzeichnungen untersucht ist der Mathematikunterricht in der Mittelstufe. Es scheint eine in der Profession geteilte und über Lehrergenerationen hinweg transportierte didaktische Grundüberzeugung zu sein, dass Unterrichtsthemen im Gespräch zwischen Schülern und Lehrern zu entwickeln seien. Die Sozialform, in der dies in Deutschland überwiegend geschieht, ist der sogenannte fragend-entwickelnde Unterricht, dessen Pate Sokrates zu sein scheint. Die Unterrichtsstunde beginnt mit einem komplexen Problem, das in seiner Grundstruktur im nachfolgenden Gespräch entfaltet und mit dem Abschluss der Stunde zu einer konzisen Lösung geführt werden soll. In diesem Gespräch wird das Vorwissen des Schülers durch die Mäeutik des Lehrers – ähnlich wie es Sokrates mit Theaitet vorgeführt hat – ans Licht gehoben, gereinigt und weiterentwickelt. Dieser Unterricht kann, wenn er gelingt, im hohen Maße kognitiv aktivierend sein. Die Herausforderung besteht in der Übertragung der literarischen Kunstform des platonischen Dialogs auf eine zeitlich getaktete und sozial komplexe Gruppensituation. Unsere Videoaufzeichnungen aus der TIMS-Studie bestätigen in vielen Fällen das Ergebnis mathematikdidaktischer Fallstudien, in denen diese Unterrichtsform als schrittweise Trivialisierung eines komplexen Ausgangsproblems beschrieben wird. Die Lehrkraft beginnt in der Einführungsphase mit einer anspruchsvollen Aufgabenstellung, die Schüler allerdings nicht in ihrer Komplexität zu bearbeiten haben – wie man dies etwa in mathematischen Musterstunden in Japan beobachten kann –, sondern die sukzessiv in Teilleistungen und elementare Fragen zerlegt wird, die zu beantworten Schülern manchmal geradezu peinlich sein kann – etwa wenn Begriffe aus Tafelbildern zu benennen, simple Rechenoperationen auszuführen oder auf der Hand liegende Schlussfolgerungen zu ziehen sind. Die Fragefolge der Lehrkraft zielt konvergent auf das Unterrichtsziel hin und ist damit in hohem Maße von den „richtigen“ Antworten der Schüler abhängig.

Diese Form der Unterrichtsführung ist anspruchsvoll und risikoreich zugleich. Die Lehrkraft hat die widersprüchliche Aufgabe, das Unterrichtsgeschehen auf ein Stundenziel hinzulenken, das ihr in der Regel als Tafelbild schon vor Augen schwebt und gleichzeitig eine offene Gesprächssituation zu erzeugen, in der Schüler ihre Ideen zur Geltung bringen können. Dies ist ein schwieriger Balanceakt, der häufig aus strukturellen Gründen misslingt. Denn die Lehrkraft möchte an ihr Ziel gelangen und ist deshalb auf passende und fortführende Schülerbeiträge angewiesen, die sie aber im schnellen Wechsel des Gesprächs nicht überlegt auswählen und sinnvoll ordnen kann (Wenn nach einer Gruppen- oder Stillarbeit Schülerbeiträge gesammelt, gesichtet und besprochen werden, ist die Situation völlig anders). Die Suche nach der passenden

Antwort führt zu immer kürzeren und sich verengenden Nachfragen. Mit zwei Arten von Beiträgen kann eine Lehrkraft im fragend-entwickelnden Unterricht besonders schlecht umgehen: Dies sind die intelligenten Antworten, die vorgreifen und beiseite geschoben werden müssen, weil sie zum falschen Zeitpunkt geäußert werden, und der Fehler, den man nicht produktiv nutzen kann, da die Frage nach Ursachen und Folgen der falschen Antwort Seitenlinien der Argumentation öffnet, die vom geplanten Stundenverlauf wegführen. *Im unzureichenden Umgang mit Differenz liegt wahrscheinlich die eigentliche Schwäche dieser Unterrichtsform.* Den Schülern wird eine ähnlich widersprüchliche Aufgabe abverlangt wie der Lehrkraft. Sie sollen nämlich einen Argumentationsgang mitgestalten, dessen Ziel sie nicht kennen. Die Folge: Man tastet sich mit assoziativen Beiträgen an die Vorstellung der Lehrkraft heran, bis die Glieder des Reißverschlusses einrasten und Teilschritte abgearbeitet werden können.

Die beiden Ziele, Offenheit während des Gesprächs und konvergente Steuerung auf ein Ziel hin, sind also nur schwer zu vereinbaren. Erschwerend kommt hinzu, dass der Zeittakt einer Unterrichtsstunde unerbittlich ist. Das Unterrichtsskript verlangt ein „richtiges“ Ende, an dem die Argumente geordnet, die Ausgangsfrage geklärt oder das Problem gelöst sind. Lose Fäden nimmt man ungern zum Beginn der nächsten Stunde wieder auf. Die Dramaturgie der „geschlossenen Gestalt“ begünstigt wahrscheinlich die häufig anzutreffende schrittweise Trivialisierung des Frage- und Antwortspiels. Klieme und andere (2001) haben in einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), in der die Impulse, die bislang von TIMSS für Schule und Unterricht ausgegangen sind, beschrieben werden, mit Recht darauf hingewiesen, dass hierin die eigentliche Problematik des fragend-entwickelnden Unterrichts liege: Schüler würden nicht auf der Ebene des komplexen Ausgangsproblems kognitiv aktiviert, sondern auf der Ebene von Teilprozessen im Sinne von Reproduktion, Assoziation und einfachen Operationen.

Weder Lehrer noch Schüler haben in dem teilweise sehr schnellen Dialog eine Chance, wirklich nachzudenken, obwohl der Idee nach von allen, faktisch jedenfalls von der Lehrkraft ständige Konzentration verlangt wird. Stockt das Gespräch, entsteht Peinlichkeit. Schüler können sich dem entziehen, indem sie phasenweise einfach abschalten. Für die Lehrkraft, die das Gespräch in Gang halten und zielstrebig voranbringen muss, gibt es kein Entweichen aus dieser Situation höchster Aufmerksamkeit und Anspannung – gleichgültig, ob die Klasse klug mitspielt oder mauert. Wenn das Unterrichtsgespräch spielerisch gelingt, kann dies eine sehr befriedigende Erfahrung für die Lehrkraft sein – wenn es denn gelingt! Ein zähes Kleinarbeiten des Problems und ein mehr oder minder gewaltsames Ausfüllen des Tafelbildes durch mühsam herbeigeführte Schülerantworten – diese Choreographie des Unterrichts ist vor allem stressinduzierend.

Abhilfen

Der fragend-entwickelnde Unterricht ist auch in anderen Ländern zu finden, aber kaum als dominantes Unterrichtsmuster. Das Unterrichtsgespräch hat seinen festen Platz, aber es wechselt mit anderen Phasen ab, die Schüler zum selbständigen Nachdenken, aber auch zum Gespräch miteinander bringen und die Lehrkraft entlasten. In diesen Phasen gewinnt die Lehrkraft jenen Spielraum, der für eine gute Diagnostik, für die Sichtung alternativer Lösungen, die Entdeckung produktiver Fehler und besonders intelligenter Beiträge sowie die Vorbereitung eines Unterrichtsgesprächs, das von geordneten Schülerbeiträgen ausgeht, notwendig ist. Problematisch ist die Dominanz des fragend-entwickelnden Unterrichts als eines modalen Unterrichtsskripts.

Wie kann man dies ändern? Die Aufgabe ist deshalb so schwierig, weil sie die Änderung von hoch automatisierten Routinen verlangt, auf denen die Handlungssicherheit von Lehrkräften beruht. Bürokratisch anzuordnen, ist hier nichts. Allen Sachkundigen ist klar, dass der letzte Schritt zur Professionalisierung des Lehrerberufs noch aussteht, mit dem das Hauptmerkmal einer Profession zur Geltung kommt, – nämlich die eigene Tätigkeit beobachtbar und reflektierbar zu machen. Dies bedarf der allmählichen Entwicklung einer Sprache, die es erlaubt, in nicht verletzender Weise über Unterricht – seine Vorbereitung, Durchführung und Evaluation – zu sprechen. Der Ort für dieses Gespräch ist die einzelne Schule und insbesondere die Fachgruppe. Andere Länder haben diesen Schritt zur Professionalität, der auch eine Revision der Arbeitszeitregelung für Lehrkräfte einschließt, vollzogen und damit die Voraussetzung einer allmählichen, die Handlungssicherheit nicht bedrohenden Optimierung von Unterricht geschaffen. Das auf TIMSS antwortende Modellversuchsprogramm der Bund-Länder-Kommission (BLK) „Steigerung der Effizienz des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (SINUS) setzt folgerichtig an diesem Punkt an (Baumert u.a. 1997; Prenzel 2001). Es entwickelt die Infrastruktur und kultiviert die Handlungsmuster, die den Schritt in die professionelle Selbständigkeit der Lehrkräfte stützen.

Literatur

- American Association for the Advancement of Science. (1993). Benchmarks for science literacy. Project 2061. New York: Oxford University Press.
- Baumert, J. & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.). Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Kapitel VII in Band II: TIMSS – Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe (S. 271–315). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J. & Lehmann, R. u.a. (1997). TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J. u.a. (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Bonn: Bundesländer-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung 1997
- Baumert, J. u.a. (Hrsg.). (2001). PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.) (2000). Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band I: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit; Band II: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (2000). Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht im internationalen Vergleich. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.). Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Kapitel III in Band II: TIMSS – Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe (S. 129–180). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (2000b). Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung im internationalen Vergleich. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.). Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Kapitel IV in Band I: TIMSS – Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit (S. 135–197). Opladen: Leske + Budrich.
- Beck, U. (1986). Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

- Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.). (2000). Schülerleistungen im internationalen Vergleich: Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
- Flitner, W. (1961) Die gymnasiale Oberstufe. Heidelberg : Quelle & Meyer.
- Humboldt, W. von (1809). Der Königsberger und der litauische Schulplan. In Flitner, A. & Giel, K. (Hrsg.) Wilhelm von Humboldt: Schriften zur Politik und zum Bildungswesen (1960). S. 169-195. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Klieme, E. u.a. (2001). TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente. (Hrsg. BMBF) Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.). Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Kapitel VI in Band II: TIMSS - Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe (S. 229-269). Opladen: Leske + Budrich.
- Lehmann, R. H., Peek, R., Pieper, I. & Stritzky, R. von (1995). Leseverständnis und Lesegewohnheiten deutscher Schüler und Schülerinnen. Weinheim: Beltz.
- Luhmann, N. (1992). Beobachtungen der Moderne. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Meyer, J. & Scott, W. (1983). Organizational environments: Ritual and rationality. Beverly Hills, CA: Sage.
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2000). Principles and standards for school mathematics. Reston, VA: NCTM.
- Organisation for the Economic Co-Operation and Development (OECD). (2000). Literacy in the information age. Final report of the International Adult Literacy Survey. Paris and the Minister of Industry, Canada.
- Prenzel, M. (2001). Das BLK-Modellprogramm „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Konzeption, Arbeitsthemen und bisherige Ergebnisse des programms. In BMBF (Hrsg.), TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente. S. 59-65. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Schecker, H. (2001). TIMSS - Konsequenzen für den Physikunterricht. In BMBF (Hrsg.), TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente. S. 85-97. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Schleiermacher, F. E. D. (1826). Gedanken zu einer Theorie der Erziehung: Vorlesungen aus dem Jahre 1826. Heidelberg: Quelle & Meyer (1965).
- Tenorth, H.-E. (1994). „Alle alles zu lehren“: Möglichkeiten und Perspektiven allgemeiner Bildung. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.