

## Unterricht in Mathematik und den Naturwissenschaften

### Bericht und Reflexionen zu einer PISA-2000 Fachtagung

von Lisa Hefendehl-Hebeker

*Vom 10. bis 12. März fand im Hotel Döllnsee-Schorfheide eine vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin organisierte Tagung statt, zu der etwa 80 Personen eingeladen waren: die Mitglieder der PISA-Expertengruppen Mathematik und Naturwissenschaften, Teilnehmer/innen der betreffenden Fachdidaktiken sowie Vertreter/innen der Kultusbehörden des Bundes und der Länder und der zugeordneten Landesinstitute für Schule und Bildung.*

Die Tagung stand im Zeichen der vehementen Bildungsdiskussion, die infolge PISA 2000 in Gang gekommen ist, diente einem Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen den teilnehmenden Gruppen und hatte das Ziel, Klärungen zu bewirken und Impulse auszulösen. Die Tagungsstruktur sah eine thematische Dreiteilung vor.

#### Grundsatzreferat „Zur Bedeutung der PISA-Studie“

Am Begrüßungsabend steckte Hermann Lange in seinem Grundsatzvortrag „Zur Bedeutung der PISA-Studie“ einen weiten Problemhorizont ab.<sup>1</sup> Die einführende Verortung des PISA-Prozesses in einer längeren Entwicklungsgeschichte machte die Virulenz des Geschehens deutlich. Die Tatsache, dass die in den 60er und 70er Jahren begonnene Bildungsdiskussion stecken geblieben und jetzt um so vehementer aufgeflammt ist, wurde als Anlass zu einem doppelten Schluss interpretiert: Die Diskussion stagnierte, weil der erforderliche Wandel äußerst schwierig ist, und sie bekam neuen Auftrieb, weil die Ergebnisse von PISA 2000 in eine Zeit erhöhter Sensibilität für die Notwendigkeit von Veränderungen fielen und damit gewissermaßen eine Schwellensituation trafen.

Der erforderliche Wandel müsste sich nach Ansicht des Referenten auf drei Ebenen vollziehen: er müsste die Unterrichtspraxis zusammen mit ihrer ideellen Steuerung durch die Schulpädagogik sowie ihrer ad-

ministrativen Steuerung durch die Schulverwaltung erfassen. Jeder dieser drei Bereiche müsste die ihm eigenen gewundenen Einseitigkeiten überwinden und sich nüchtern auf eine Steuerung nach betriebswirtschaftlichen Grundsätzen – Überprüfung der Arbeitsorganisation, Qualitätskontrolle und -förderung – einlassen. Speziell wurden die folgenden Entwicklungen angeraten:

- Die Schulpraxis sollte die von Lehrerisolation und Individualismus geprägte Arbeit vor Ort zugunsten einer teamgesteuerten Schulentwicklungsarbeit aufgeben.
- Die Schulpädagogik sollte ihr Selbstverständnis als traditionelle Geisteswissenschaft öffnen und die noch unterentwickelte empirische Bildungsforschung verstärken.
- Die Schulverwaltung sollte den Schwerpunkt von einer Rechts- und Verhaltenskontrolle auf eine Ergebniskontrolle verlagern. Überdies wäre die noch unterentwickelte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der öffentlichen Verwaltung zu verstärken.

Damit ist ein schwieriger Wandel angezeigt, zu dessen Vollzug mentale Modelle, die unser Handeln bestimmen, in der Tiefe verändert werden müssen.

Was die Unterrichtsrealität selbst betrifft, so erzeugen die PISA-Ergebnisse nach Darstellung des Referenten einen hohen Handlungsdruck, liefern aber keine Erklärungen für das Sosein der Befunde. Deshalb

<sup>1</sup> S.a. den Beitrag im vorliegenden Heft von Hermann Lange: Folgerungen aus PISA [MT]

gibt es vorerst nur Annahmen von Wirkungszusammenhängen, die genauer geprüft und in den Fokus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit gerückt werden müssen. Dabei wurden insbesondere drei wesentliche Handlungsfelder ausgewiesen:

In der Unterrichtspraxis wird es wesentlich darauf ankommen, wie eine angemessene Förderung individuellen Lernens in zunehmend heterogenen Lerngruppen erfolgen kann. Dabei hat der Erwerb basaler Sprach- und Selbstregulationskompetenzen eine Schlüsselfunktion. Um die ganze Breite der Zugänge zum Weltverstehen zu gewährleisten, sind Basiskompetenzen auszuweisen und normativ zu formulieren; begleitendes Orientierungswissen kann dagegen individuell bzw. kollektiv und zeitabhängig unterschiedlich definiert werden.

Im Interesse optimaler Lernchancen für alle Kinder wird langfristig auch die vorhandene Schulstruktur mit ihren bestehenden Tendenzen zum Aussondern überdacht werden müssen, nachdem Erfahrungen zeigen, dass leistungsgemischte Lerngruppen bei geeignetem Umgang mit Heterogenität Vorteile für schwächere Schülerinnen und Schüler bieten, ohne den Stärkeren zu schaden. Um jedoch nicht zu viele Variablen auf einmal zur Disposition zu stellen, wurde vorläufig von einer Schulstrukturdebatte abgeraten und statt dessen empfohlen, innerhalb des bestehenden Systems die vorhandenen Bildungspotentiale besser zu nutzen. Folgende Ansatzpunkte wurden genannt: Verbesserung der Vorschulbildung und der Grundschularbeit, Verbesserung der Basiskompetenzen im Rahmen der beruflichen Bildung, flexiblere Möglichkeiten zur Korrektur getroffener Schulformentscheidungen, dazu vorgängig eine Verlängerung der Grundschulzeit auf sechs Jahre, um das „Interventionsfenster“ zu vergrößern.

Vor diesem Horizont bekommt die Qualifizierung von Lehrkräften eine zentrale Bedeutung, und dies nicht nur im Sinne individueller Aus- und Fortbildung, sondern als Qualifizierung des Systems Schule insgesamt. Empirische Studien zeigen, dass Lehrer/innen mit Erfolg an der Fächerverteilung und der Verteilung der Mittel beteiligt werden können. Diese Handlungsfreiheit muss aber mit einem geeigneten Controlling i. S. von Ergebnisklärung und Aufweis von Verbesserungsmöglichkeiten verbunden werden. In dieses Controlling sind auch die Handlungsweise von Schulleitung und die Wirkungsweise von Schulaufsicht einzubeziehen.

Nach dieser umfassenden Reformvision zog der Referent ein mahnendes Fazit, das auf die Bildungspolitik gerichtet war: Ohne die Bildungsforschung wäre eine solche umfassende Reformdiskussion nicht in Gang gekommen. Im Dienste systemischer Konsistenz dürfte die Bildungspolitik selbst nun aber nicht einfach

nach dem Prinzip des trial and error reagieren, sondern müsste sich ihrerseits einem Prozess wissenschaftlicher Theoriebildung und Controlling unterziehen.

## Unterricht in Mathematik und Naturwissenschaften

Der zweite Tag war ganztätig der Arbeit in den Fachgruppen Mathematik und Naturwissenschaften gewidmet.

In seiner Eröffnungsrede fokussierte der Sprecher des PISA 2000 Konsortiums, Jürgen Baumert, die im Anschluss an die Ergebnisse von PISA 2000 entstandene Diskussion um die Bildungsstandards als besondere Herausforderung für die Fachdidaktiken.

Ihnen wies er gemäß ihrer spezifischen Mittlerrolle zwischen Theorie und Praxis eine doppelte Aufgabe zu: einerseits eine bildungstheoretische Fundierung der Standards, andererseits eine fachspezifische Ausgestaltung auf der Aufgabenebene, durch die sie für die Unterrichtspraxis interpretierbar und handhabbar gemacht werden.

Zugleich aber betonte auch er die Notwendigkeit von Veränderungen auf administrativer Ebene und benannte vier Herausforderungen, zu deren Bewältigung er von der Tagung Klärungen und neue Impulse erhoffte:

- eine sachgerechte Grenzziehung zwischen Wissenschaft und Politik;
- ein effektives Wissensmanagement in den Verwaltungen;
- eine Verbesserung der Infrastruktur in den Erziehungswissenschaften und Fachdidaktiken (z. B. eine systematische Nachwuchsförderung mit effektiver Karriereplanung)
- und eine Lehrerbildung als langfristig gestaltbarer Prozess, der die zweite und dritte Phase effizient verzahnt.

Es folgten zwei Grundsatzreferate von Manfred Prenzel und Michael Neubrand, die auf die PISA-Konzeption zur mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundbildung eingingen. Dazu muss betont werden, dass die PISA-Studie nicht curriculumbasiert ist, also nicht primär Kenntnisse und Fähigkeiten testet, wie sie in traditionellen Schulcurricula festgelegt sind. Statt dessen liegt der Schwerpunkt in den von PISA erfassten Inhaltsbereichen Mathematik und Naturwissenschaften auf der funktionalen Anwendung von Kenntnissen in ganz unterschiedlichen Kontexten und auf ganz unterschiedliche, Reflexion und Einsicht fordernde Weise. Das ist keine per se curriculumferne Fokussierung; sie berührt Ziele, die häufig in Lehrplanpräambeln niedergelegt sind, aber

nicht unbedingt in den einzelnen stofflichen Festlegungen aufgehen.

Manfred Prenzel gab einen Ausblick auf die Untersuchung PISA-2006, in der die Kompetenzen von 15-jährigen Schülerinnen und Schülern in einer sich dynamisch entwickelnden Wissensgesellschaft erfasst werden und in der die Naturwissenschaften die Hauptkomponente bilden sollen.

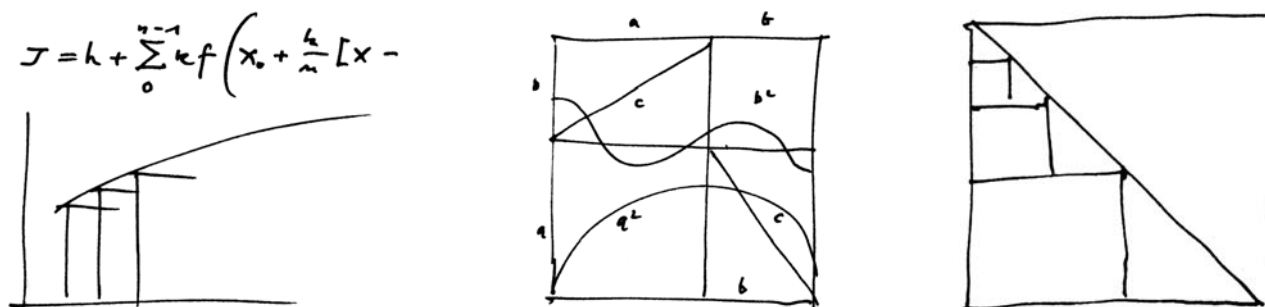
Dabei erläuterte er die zugrundeliegende Rahmenkonzeption (framework) der naturwissenschaftlichen Grundbildung (scientific literacy) in ihrer Entwicklung von PISA 2000 bis PISA 2006. Nach der ursprünglichen Definition im Rahmen des ersten Zyklus von PISA gehört zur naturwissenschaftlichen Grundbildung ein Verständnis grundlegender naturwissenschaftlicher Konzepte (wie Wärmeleitfähigkeit, Reaktionsgeschwindigkeit, Zelle, Kontinentalverschiebung), die Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Fragen stellen, Kenntnisse anwenden, Experimente durchführen, Schlussfolgerungen ziehen) sowie die Fähigkeit, dieses Konzept- und Prozesswissen bei der Beurteilung von naturwissenschaftlich-technischen Sachverhalten anzuwenden. Für den dritten Zyklus von PISA soll diese Rahmenkonzeption maßgeblich um eine affektive Komponente ergänzt werden: die Bereitschaft zur Auseinandersetzung. Es geht also – in doppelter Negation formuliert – darum, in welchem Maße die Probanden nicht nichts mehr von den Naturwissenschaften wissen wollen. Damit wird eine Disposition in den Blick genommen, die für die Stellung der Naturwissenschaften (und ebenso der Mathematik, Anm. d. Verf.) im öffentlichen Bewusstsein und der dadurch beeinflussten Bildungsbereitschaft wesentlich ist.

Zugleich wurde deutlich gemacht, dass solche Rahmenkonzeptionen eine vielfältige Funktion haben. Sie liefern einerseits eine bildungstheoretische Verortung der Testintention, indem sie Ziele formulieren, die aus dem Fach selbst kommen, aber auch solche, die bildungspolitisch wünschenswert sind, und sie etablieren zugleich ein Gerüst für die Testkonzeption und Testauswertung (etwa die Entwicklung von Skalen betreffend).

Das Konzept der mathematischen Grundbildung (mathematical literacy) ist, wie Michael Neubrand ausführte, darauf ausgerichtet, die Mathematik als eine spezifische Weise des Weltverstehens kennen, handhaben und würdigen zu lernen. Es geht um folgende Fähigkeiten: Zu erkennen, was Mathematik zum Verständnis der Welt (genauer: der natürlichen, sozialen und kulturellen Umwelt) beitragen kann; mit Hilfe der Mathematik begründete Urteile zu fällen und die Überlegungen mitzuteilen; und insgesamt mathematische Kenntnisse funktional und flexibel einzusetzen und anzuwenden.

Die mathematikdidaktische Hintergrundphilosophie speist sich wesentlich aus vier Quellen:

- Hans Freudenthal (1981, 1983) propagierte seit den 70er Jahren eine Auffassung von Mathematik, die zugleich ein das Lehren und Lernen von Mathematik beschreibendes Modell liefert. Danach wurden mathematische Begriffe, Ideen und Strukturen als Werkzeuge geschaffen, um Phänomene der physikalischen, sozialen und mentalen Welt zu organisieren. Sie sind also „in der Welt“ verankert und haben sich aus einem zunehmend reflektierten Gebrauch in kontextbezogenen Problemsituationen entwickelt. Ein an natürlichen Bedingungen der mathematischen Erkenntnisbildung orientierter Unterricht imitiert dementsprechend einen Prozess der Nacherfindung mathematischer Begriffe und Ideen, der an geeigneten Problemsituationen ansetzt und in einem Prozess „progressiver Schematisierung“ tragfähige „mentale Objekte“ als Grundlage der mathematischen Begriffe und ihres Gebrauchs ausbildet.
- Alan Schoenfeld (2001) argumentiert von einer biographischen Perspektive her. Als „literate citizen“ muss man Probleme bewältigen, für die keine vorgefertigten Lösungen vorhanden sind, Entscheidungen treffen und Daten analysieren und dazu moderne Technologien verständig und flexibel einsetzen und schließlich auch seine Gedanken überzeugend darstellen können. Diese breit gefächerten Fähigkeiten sind wichtig für jede Art von Bewährung im beruflichen und persönlichen Leben und sollten konsequent auch im Unterricht angesprochen werden, möglichst in allen Fächern, wann immer sich die Kontexte anbieten.
- Heinrich Winter (1995) bündelt die Breite des Anspruchs an mathematische Allgemeinbildung aus mathematikdidaktischer Sicht in drei Grunderfahrungen, die der Mathematikunterricht ermöglichen sollte: „1. Erscheinungen der Welt um uns, die uns alle angehen oder angehen sollten, aus Natur, Gesellschaft und Kultur, in einer spezifischen Art wahrzunehmen und zu verstehen, 2. mathematische Gegenstände und Sachverhalte, repräsentiert in Sprache, Symbolen, Bildern und Formeln, als geistige Schöpfungen, als eine deduktiv geordnete Welt eigener Art kennen zu lernen und zu begreifen, 3. in der Auseinandersetzung mit Aufgaben Problemlösefähigkeiten, die über die Mathematik hinausgehen (heuristische Fähigkeiten), zu erwerben.“
- Aus bildungstheoretischer Sicht macht Heinz-Elmar Tenorth (1994) den Allgemeinbildungsanspruch der Schule an zwei Polen fest, der Sicherung eines Minimalbestandes an Kenntnissen einerseits und der Kultivierung der Lernfähigkeit anderer-



seits. Dabei ist Lernfähigkeit als eine individuelle Verhaltensdisposition verstanden, die sich dadurch auszeichnet, dass Menschen im Umgang mit Schwierigkeiten und Problemen kognitive Lösungswege und Strategien bevorzugen. Dieser lernende Umgang mit Problemen muss entsprechend im Unterricht kultiviert werden.

Vor dem Hintergrund dieser Auffassungen können die in den traditionellen Curricula oft vorherrschend unterrichteten prozeduralen Fähigkeiten ohne Kontextbezug nicht den Fokus von PISA bilden. Vielmehr ergibt sich die zentrale These: *Mathematische Grundbildung muss die Spannweite des mathematischen Arbeitens abbilden.*

Von einer solchen Rahmenkonzeption bis zur praktischen Durchführung einer breit angelegten Vergleichsstudie ist nun aber noch ein beachtliches Stück Arbeit zu leisten, in dessen Zentrum die Konstruktion der Testitems steht und in dem Fragen wie die folgenden zu klären bzw. ihrerseits empirisch weiter zu untersuchen sind: 1. Durch welche inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen lässt sich die intendierte Spannweite fachbezogenen Arbeitens adäquat erfassen? 2. Wodurch zeichnen sich essentiell verschiedene Schwierigkeitsstufen aus? Wie kann man die Ensembles der schwierigkeits erzeugenden Faktoren adäquat beschreiben? 3. Wie codiert man Aufgabenlösungen in geeigneter Weise, um eine möglichst objektive Auswertung zu ermöglichen? Diese Fragen wurden arbeitsteilig in Form von Kurzreferaten und Diskussionen weiter verfolgt.

### Konsequenzen aus PISA

Die letzte Arbeitseinheit der Tagung war der Frage gewidmet, welche Konsequenzen sich auf verschiedenen Ebenen des Bildungswesens aus der PISA-Studie und ihren Wirkungen ergeben.

Eine einschneidende, weil administrativ verfügte Konsequenz ist die Einführung nationaler Bildungsstandards zunächst für den mittleren Schulabschluss, die am 4. 12. 2003 durch die KMK beschlossen wurde und für die eine Expertise (Klieme u. a. 2003) die Grundlagen legt. Dort heißt es (S. 9):

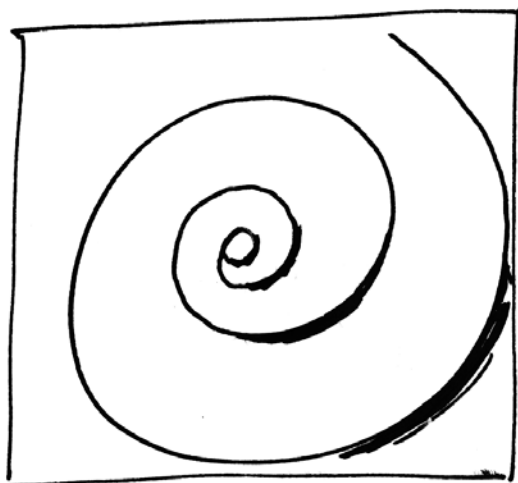
Nationale Bildungsstandards formulieren verbindliche Anforderungen an das Lehren und Lernen in der Schule. Sie stellen damit innerhalb der Gesamtheit der Anstrengungen zur Sicherung und Steigerung der Qualität schulischer Arbeit ein zentrales Gelenkstück dar. [...] Sie legen fest, welche *Kompetenzen* die Kinder oder Jugendlichen bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe mindestens erworben haben sollen. Die Kompetenzen werden so konkret beschrieben, dass sie in Aufgabenstellungen umgesetzt und prinzipiell mit Hilfe von Testverfahren erfasst werden können.

Die Länder sind verpflichtet, die Standards in der Lehrplanarbeit, der Schulentwicklung und der Lehreraus- und -fortbildung zu implementieren und anzuwenden.

Über die Konzeption der Bildungsstandards und den zugehörigen Prozess der Aufgabenentwicklung informierten zwei Impulsreferate von Christa Herwig und Werner Blum. Aus der PISA-Konzeption übernommen wurde die Auffassung, dass mathematische Fähigkeiten sich nicht allein an Inhaltskatalogen festmachen lassen, sondern dass sogenannte prozessbezogene Kompetenzen, die mathematische Tätigkeiten beschreiben, einen wesentlichen Bestandteil ausmachen. Von hier aus sehen die Bildungsstandards eine Ausdifferenzierung nach drei Dimensionen vor:

1. Allgemeine Kompetenzen im Fach Mathematik: mathematisch argumentieren; Probleme mathematisch lösen; mathematisch modellieren; mathematische Darstellungen verwenden; mit symbolischen, formalen und technischen Elementen der Mathematik umgehen; kommunizieren.
2. Mathematische Leitideen: Zahl, Messen, Raum und Form, funktionaler Zusammenhang, Daten und Zufall.
3. Anforderungsbereiche: Reproduzieren, Zusammenhänge herstellen, Verallgemeinern und reflektieren.

Die Entwicklung von Aufgabensets, in denen dieses Kompetenzmodell beispielhaft operationalisiert wird, ist in Arbeit und soll im ersten Durchgang bis Ende 2004 abgeschlossen sein.



Das Thema Bildungsstandards löste aufgrund seiner potentiellen schulpraktischen Auswirkungen in besonderem Maße kontroverse Diskussionen aus. Auf der einen Seite stand die Hoffnung, die Bildungsstandards könnten in der Unterrichtspraxis einen qualitätssteigernden Reflexionsprozess bewirken und die begleitende Aufgabenentwicklung könnte die Unterrichtskultur günstig beeinflussen. Auf der anderen Seite stand die Befürchtung, jegliche Operationalisierung bringe automatisch die Gefahr neuer Verfestigungen mit sich und der Zuschnitt des Unterrichts auf Abprüfbarkeit („teaching to the test“) konterkariere die durch den PISA-Prozess neu ins Bewusstsein gehobene prinzipielle Offenheit lebendiger und gehaltvoller Lehr- und Lernprozesse. Konsensfähig war die Einschätzung, dass es darauf ankomme, die Lehrerschaft auf breiter Basis in diesen Prozess der Reflexion und der Bewusstseinsbildung hineinzunehmen – in der Ausführung eine nichttriviale Aufgabe – und nicht durch eine übereilte administrative Hektik zu verschrecken.

### Nachlese

Der PISA-Prozess hat wie kaum ein anderes Geschehen das Bewusstsein für die Notwendigkeit von Reformen im Bildungswesen bestärkt. Entscheidend für das Fach Mathematik ist die Auffassung, dass es nicht allein auf „skills and routines“, sondern auf den ein-sichtsvollen Umgang mit dem Fach und eine entsprechende Lernbereitschaft ankommt. Abstrakt geht es

darum, einseitige Verfestigungen zugunsten eines offeneren, lebendigeren und nachhaltigeren Wissensbildungsprozesses zu überwinden. Dieses Ziel darf aber nicht durch neue Verfestigungen im administrativen Bereich konterkariert werden.

Es wird also darauf ankommen, auf den verschiedenen Ebenen des Geschehens die je richtige Balance zu finden. Das Lernziel fachlicher Vermittlung fordert die Balance zwischen gesicherten Routinen und der Fähigkeit, Wissen flexibel einzusetzen. Seine Umsetzung erfordert auf unterrichtsmethodischer Ebene die Balance zwischen Instruktion und Konstruktion, zwischen Steuerung und Offenheit, zwischen Vergleichbarkeit der Anforderungen und Umgang mit Heterogenität. Dazu ist auf der Ebene der Schulorganisation und Schulverwaltung eine Balance zwischen normierenden Vorgaben und konstruktiver Beteiligung der Lehrkräfte vorzusehen. Nicht zuletzt muss sich auch die Lehramtsausbildung der ersten Phase auf diese Notwendigkeiten einstellen und die Studierenden auf eine aktive Konstruktion und Aneignung von Wissen einstimmen. Im Dienste dieses Ziels aber wird die optimale Fachstruktur nicht immer auch eine optimale Lehrstruktur sein.

### Literatur

- Freudenthal, H. (1981): Major problems of mathematical education. *Educational Studies in Mathematics*, 133–150.
- Freudenthal, H. (1983): *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures*. Dordrecht.
- Klieme, E. u. a. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise. Hrsg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. <http://www.dipf.de>.
- Schoenfeld, A. (2001): Reflections on an Impoverished Education In: Steen, L.A. (ed.): *Mathematics and Democracy: The Case for Quantitative Literacy*. Princeton, NJ, 49–54.
- Tenorth, H. (1994): „Alle alles zu lehren“: Möglichkeiten und Perspektiven allgemeiner Bildung. Darmstadt.
- Winter, H. (1995): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik* Nr. 61, 594–597.

### Adresse der Autorin

Prof. Dr. Lisa Hefendehl-Hebeker  
Institut für Mathematik  
Campus Duisburg  
Universität Duisburg-Essen  
47048 Duisburg  
[hefendehl@math.uni-duisburg.de](mailto:hefendehl@math.uni-duisburg.de)