

Michael NEUBRAND, Oldenburg

Professionalität von Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrern: Konzeptualisierungen und Ergebnisse aus der COACTIV- und der PISA-Studie

Auf den Tag genau vor 20 Jahren, am 7. März 1986, habe ich in Bielefeld auf der 20. Bundestagung für Didaktik der Mathematik einen Hauptvortrag über „Aspekte und Beispiele zum Prozesscharakter der Mathematik“ gehalten (Neubrand, 1986). Erhalten blieb der Zugriff auf mathematikdidaktische Fragestellungen: Was heißt es, Mathematik zu betreiben? Geblieben ist auch, „kognitive Aktivierung“ der Schülerinnen und Schüler als Kern didaktischen Handelns zu begreifen. Im Bielefelder Vortrag wurde diskutiert, auf welchen Ebenen dies stattfinden kann, auch wenn damals andere Bezeichnungen verwendet wurden. Hinzu kamen solche Fragen: Was wissen wir über Erreichtes? Kann man „innere Strukturen des mathematischen Wissens“ (Neubrand & Neubrand, 2004) von Schülerinnen und Schülern erkennen? Und eben jetzt die Frage, wie man Wissensstrukturen von Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrern definieren und erfassen kann.

Der Zeitpunkt, Lehrerwissen zu untersuchen, ist günstig. Denn durch die Ergebnisse der PISA-Studien sind zahlreiche Initiativen im deutschen Bildungssystem ausgelöst worden, und zwar auf unterschiedlichen Ebenen, etwa der Ebene der Schulstrukturen (z.B. Ganztagschulen), der Ebene von Leistungserhebungen (z.B. Vergleichsarbeiten als bildungspolitische Vorgaben) oder der Ebene der Steuerung des Bildungswesens (von Lehrplänen hin zu Bildungsstandards). Aber es fehlt die Ebene des Wissens und des Handelns der Lehrerinnen und Lehrer. Doch dies hat einen zentralen Einfluss auf das Geschehen in der Schule (Baumert, Blum & Neubrand, 2004).

Nach dieser entscheidenden Variable aller bildungsbezogenen Entwicklungen zu fragen, ist mit divergierenden Gedanken verbunden: Was sind die Ziele der Lehrkräfte im Unterricht? Mit welchen Methoden werden diese angegangen? Welches professionelle Wissen haben die Lehrkräfte? Und folglich: Kann man dieses professionelle Wissen so konzeptualisieren und erfassen, dass es einer empirischen Untersuchung zugänglich wird? Vor allem mit der zuletzt genannten Problematik hat sich die COACTIV-Studie auseinandergesetzt, und dies ist das Hauptthema dieses Vortrags.

1. Die COACTIV-Studie

Das (systematisch erhobene) „Wissen über Lehrer“ hat eine klar zu benennende Lücke. Es gibt zwar allgemeine Studien aus pädagogischer Perspektive (als Basis vorrangig: Shulman, 1986). Es gibt aber kaum Konzeptuali-

sierungen und noch weniger empirische Daten, sobald das professionelle Wissen von Lehrerinnen und Lehrern in Bezug zum jeweiligen Fach gesetzt wird. Deborah Ball (vgl. etwa: Ball, Hill & Bass, 2005) hat solche Fragen mit Blick auf US-amerikanische Primarstufenlehrkräfte thematisiert; in Deutschland kann man Arbeiten von Uwe-Peter Tietze (1985) über Mathematiklehrer in der Sekundarstufe II und von Andreas Eichler (2005) zu subjektiven Curricula von Stochastik-Lehrkräften nennen. Aber es bleibt eine Lücke bestehen. Es gibt kaum eine breite Übersicht über vorhandenes Professionswissen von Mathematiklehrerinnen und -lehrern. COACTIV will diese Lücke schließen, indem explizit die mathematik-spezifischen Facetten des Lehrerwissens herausgearbeitet werden (Krauss & al., 2004).

Der Bezug zum Fach Mathematik macht die Fragestellung zugänglicher als dies für manch andere Fächer der Fall wäre. Aus fachdidaktischer Perspektive wurden hier nämlich konzeptionelle Vorarbeiten für empirische Studien geleistet, jedenfalls bezüglich des Schülerwissens. So enthalten die Rahmenkonzeptionen von PISA und weitere Arbeiten aus dem Umfeld von PISA (Neubrand, 2004, 2005) kognitionspsychologisch und fachdidaktisch begründete Konzepte mathematischer Leistung von Schülerinnen und Schülern, die auf das Lehrerwissen zurückgespiegelt werden können. Der Fokus auf „kognitive Aktivierung“ hat hier seine Wurzeln.

Die COACTIV-Studie hat den vollen Titel „Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz“ und ist ein von der DFG gefördertes, in das Schwerpunktprogramm BiQua („Bildungsqualität von Schule“) eingebettetes und an PISA-2003 angehängtes Projekt. COACTIV wird von Jürgen Baumert (Berlin), Werner Blum (Kassel) und mir geleitet. Auf dieser Tagung wird auch Stefan Krauss (Berlin) weiter über die Studie berichten.

Die Daten der Studie wurden im Rahmen von PISA-2003 erhoben. In der Schülerstichprobe befinden sich 440 Klassen aus dem 9. Schuljahr (in 2003) und dem 10. Schuljahr (in 2004), die durch Aufstockung der Klassen zustande kamen, aus denen die Schülerinnen und Schüler für den internationalen Teil der PISA-Studie gezogen wurden. Diese Klassen wurden, soweit dies möglich war, also nicht mehr in den Hauptschulen, längsschnittlich verfolgt. Die Lehrerinnen und Lehrer dieser Klassen im Fach Mathematik bilden die Lehrerstichprobe. Befragt wurden 366 Lehrerinnen und Lehrer in 2003 und 217 in 2004. COACTIV untersucht somit „die Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer der PISA-Klassen“. Aufgrund dieses Ziehungsprozesses handelt es sich um einen repräsentativen Querschnitt durch die Lehrerinnen und Lehrer im Fach Mathematik in Deutschland.

COACTIV benutzt (vgl. detaillierter: Krauss & al., 2004)

- für Schülerinnen und Schüler den PISA-Schüler-Fragebogen (allgemeine und mathematik-spezifische Fragen) und die Leistungstests in PISA,
- für Lehrerinnen und Lehrer den PISA-Lehrer-Fragebogen (national und international, allgemein und mathematik-spezifisch: über Ziele des Mathematikunterrichts, Wahrnehmung des Unterrichts, Vorstellungen über Lehren und Lernen von Mathematik) sowie zusätzlich den COACTIV-Fragebogen. Dieser, teilweise computergestützte und mit Video-Beispielen versehene, Fragebogen stellt Aufgaben über didaktisches Handlungsrepertoire, über Auswahl und Anordnung von Aufgaben, über Erkennen von Fehlern (auch unter Zeitdruck), über diagnostische Fähigkeiten, über das Erkennen kognitiver Dimensionen von mathematischen Aufgaben und über Elemente eines vertieften Hintergrundwissens zur Schulmathematik.
- Zu COACTIV gehört zudem eine Auswertung von Hausaufgaben und Klassenarbeiten aus den PISA-Klassen.

2. Professionelles Wissen von Lehrerinnen und Lehrern: Was ist das? Wie kann man es konzeptualisieren?

In Anlehnung an mittlerweile "klassische" Konzepte von Shulman (z.B. Shulman, 1986), aber auch von anderen (z.B. Weinert & al., 1989; Baumert & al., 2000) wird der Gesamtkomplex „Professionelle Handlungskompetenz“ von Lehrerinnen und Lehrern ausdifferenziert: Es gehört dazu neben Überzeugungen, Werthaltungen, motivationalen Orientierungen und selbst-regulativen Fähigkeiten ein spezifisches Professionswissen i.e.S.. Dieses ist, dem Ansatz Shulmans folgend, konzeptionell in pädagogisches Wissen, fachdidaktisches Wissen (bei Shulman: pedagogical content knowledge) und Fachwissen (content knowledge) zu unterscheiden.

Vom fachdidaktischen Standpunkt aus besteht die entscheidende Problematik offenbar darin, Fachwissen und fachdidaktisches Wissen so zu konzeptualisieren und in Facetten des Lehrerwissens umzusetzen, dass die Spezifika des jeweiligen Faches - hier der Mathematik - hinreichend breit, vor allem aber authentisch ins Spiel gebracht werden können. Woran kann man sich halten? Drei Aspekte können leiten:

(1) Wir gehen von einer grundlegenden Orientierung aus: Schülerinnen und Schüler sollen im Fachunterricht „*kognitiv aktiviert*“ werden, der Unterricht soll demnach verständnisorientiert angelegt sein, und Lehrerinnen und Lehrer sollen die Voraussetzungen und Möglichkeiten dafür besitzen. Damit ist die COACTIV-Untersuchung spezifisch zugeschnitten. Rein methodisches Unterrichtsrepertoire interessiert weniger als die auf die Mathematik selbst bezogenen Ansätze im Unterricht: Welche Voraussetzungen sind nötig, um mathematische Tätigkeiten der Schülerinnen und Schü-

ler anzuregen und zu erkennen? Welche Kenntnisse braucht man für „unverfälschtes Zugänglich-Machen“ (Kirsch, 1977)?

(2) Fachdidaktisches Wissen soll unter dem Fokus der kognitiven Aktivierung breit abgebildet werden. Shulman folgend geht es dabei einerseits darum, spezifische Repräsentationsformen des mathematischen Wissens so zur Verfügung zu haben, dass damit Lehren und Lernen adäquat angelegt werden können. Andererseits muss fachdidaktisches Wissen auch Kenntnisse über Denkweisen (conceptions and preconceptions) der Schülerinnen und Schüler einschließen. Zusammen mit dem Spektrum an Interventionsmöglichkeiten im Mathematikunterricht sind unschwer die Eckpunkte eines „*didaktischen Dreiecks*“ zu erkennen.

(3) Die Konstruktion von Instrumenten erfordert es, einen aussagekräftigen inhaltlichen Zugriff auf das fachdidaktische Wissen zu erhalten. In der Mathematikdidaktik hat sich vielfach bewährt, *mathematische Aufgaben als Analyseinstrumente* einzusetzen. So konnten etwa bei PISA mathematische Leistungen differenziert dargestellt werden, weil bestimmte Aufgabenklassen unterschieden wurden (Neubrand, 2004); bei TIMSS-Video konnten mit Aufgabenanalysen inhaltliche Unterrichtsstrukturen aufgedeckt werden (Neubrand, 2006). Die Aufgaben im Unterricht sind nämlich Träger mathematischen Wissens und Ausgangspunkt des Lehrerhandelns gleichermaßen (Bromme, Seeger & Steinbring, 1990). Wenn aber Aufgaben das Handeln der Lehrerinnen und Lehrer bestimmen, dann kann man sie auch als Mittel zur Darstellung des professionellen Wissen nutzen.

Mit fachdidaktisch definierten Eigenschaften mathematischer Aufgaben erhält man somit Zugang zu Eckpunkten des fachdidaktischen Wissens und zu Elementen des auf den Mathematikunterricht bezogenen Fachwissens: Wissen über mathematische Anforderungen an Schülerinnen und Schüler zeigt sich etwa daran, ob das Potential einer Aufgabe für multiple Lösungswege erkannt wird. Professionelles Wissen als Grundlage für Erklärungswissen zeigt sich daran, ob verschiedene Repräsentationen mathematischer Begriffe verfügbar sind und für passende Aufgaben genutzt werden können. Wissen über mathematikbezogene Schülerkognitionen kann man auch durch Kenntnisse über typische Fehler und Fehlvorstellungen beim Aufgabenlösen erfragen. Wissen über lokale Interventionsmöglichkeiten zeigt sich, wenn in kritischen Situationen didaktische Strukturierungen von Aufgaben vorgenommen werden sollen. Die letztgenannten Aspekte kommen in COACTIV vor, werden hier jedoch nicht mehr näher beleuchtet. Wissen der Lehrerinnen und Lehrer über mathematische Anforderungen an Schülerinnen und Schüler äußert sich nicht zuletzt auch darin, welches Spektrum an Hausaufgaben und Klassenarbeiten sie stellen.

3. Ziele, Vorstellungen vom Lehren und Lernen und Unterrichtswahrnehmung von Mathematiklehrerinnen und -lehrern

Die Lehrerfragebögen in der PISA-Studie enthielten Skalen, um die angestrebten Ziele für den Mathematikunterricht abzubilden. Hierbei zeigten sich beachtliche Schulformunterschiede. Vgl. zu allen Details Baumert & al. (2004) sowie Kunter & al.(2005):

Während Lehrerinnen und Lehrer an Gymnasien die Modellierungs-Fähigkeit als Ziel hervorhoben, scheinen bei den Lehrerinnen und Lehrern an Hauptschulen mathematische Alltags-Anwendungen „nur“ der Motivation zu dienen. Kognitive Aktivierung sollte allerdings keine Frage der Schulform sein. Es ist durchaus möglich, „leichte“, aber dennoch kognitiv anregende Aufgaben zu finden. Das ist Teil professionellen Wissens.

Weiter wurden Vorstellungen von Fachlehrerinnen und -lehrern zum Lehren und Lernen von Mathematik erhoben. Auch hier sind deutliche Schulformunterschiede zu erkennen. Unterschiedliche Lern-Voraussetzungen in der Hauptschule scheinen die Lehrerinnen und Lehrer dort eher Methoden des „Einschleifens“ präferieren zu lassen, während am Gymnasium mehr „Vertrauen auf mathematische Selbstständigkeit“ gelegt wird. Aber ist dies nicht generell Voraussetzung für produktives Lernen, auch und gerade in der Hauptschule? Auch hiermit sind Komponenten des professionellen Wissens angesprochen.

4. Exemplarische Ergebnisse aus den COACTIV-Instrumenten

Elemente des fachdidaktischen Wissens und eines auf den Mathematikunterricht bezogenen Fachwissens zeigen sich an diesen Aufgaben:

Für Wissen über kognitive Hintergründe von Aufgaben und damit auch für Wissen, das Voraussetzung ist für das verständige Umgehen mit Schülerkognitionen, steht exemplarisch dieses Beispiel:

„*Hoch Null*“: Schüler haben immer wieder Schwierigkeiten, die Definition $a^0 = 1$ einzusehen. - Welche Ursachen könnten dieser Schwierigkeit zugrunde liegen? Bitte zählen Sie so viele Ursachen wie möglich auf.

Auf diese (Lehrer-)Aufgabe kann man auf unterschiedlichen Niveaus antworten: Man kann eine konkret-operationsbezogene Perspektive einnehmen: Schüler können sich „Null mal den Faktor a“ nicht vorstellen. Man kann aber auch eine allgemeine kognitive Problematik ansprechen: Die Schülerinnen und Schüler müssen sich hier - wie z.B. auch bei der Einführung der Bruchrechnung - von einer auf Zahlen bezogenen Sichtweise lösen und nun „in Beziehungen zwischen Zahlen“ denken. Gymnasiallehre-

rinnen und -Lehrer in der COACTIV-Erhebung von 2004 nannten 117 mal, in verschiedenen Varianten, das erste Niveau, nur 13 mal antworteten sie auf der zweitgenannten Ebene.

Exemplarisch für das Wissen über die Repräsentationsmöglichkeiten für mathematische Begriffe und damit auch exemplarisch für grundlegendes Wissen, welches zum verständigen Erklären gebraucht wird, ist eine Aufgabe, die wohl allen, die Mathematik lehren, schon begegnet ist:

„*Minus mal minus*“: Eine Schülerin sagt: Ich verstehe nicht, warum $(-1) \cdot (-1) = 1$ ist. - Bitte skizzieren Sie möglichst viele verschiedene Wege, mit denen Sie der Schülerin diesen Sachverhalt klar machen könnten.

Die Antworten der Gymnasiallehrer in der COACTIV-Erhebung von 2004 fielen so aus: Über 20 % konnten keine ausreichende Antwort geben (das wäre z.B.: „Das muss man als Regel lernen!“); 40 % konnten nur eine Erklärungsvariante präsentieren, 30 % zwei substantiell unterschiedliche Varianten und etwa 7 % mehr als drei Erklärungen. Zugänglich-Machen verlangt aber Verfügen über mehr als eine Darstellungs- und Erklärungsebene.

Wissen über multiple Lösungswege einer Aufgabe, mithin über das kognitive Potential, das aus einer Aufgabe geschöpft werden kann, zeigt die folgende Frage an die Lehrerinnen und Lehrer. Sie war Teil einer Reihe von Aufgaben, die mehrere Lösungsmöglichkeiten zulassen. Die Lehrerinnen und Lehrer sollten für jede Aufgabe so viele Lösungsmöglichkeiten wie möglich nennen.

„*Nachbarzahlen*“: Luca behauptet: „Das Quadrat einer natürlichen Zahl ist immer um 1 größer als das Produkt ihrer beiden Nachbarzahlen“. Stimmt Lucas Behauptung?

Die Hälfte der Gymnasiallehrer kann nur einen Lösungsweg für die Aufgabe angeben, etwa 38 % liefern zwei Lösungswege, 10 % aber können die Aufgabe überhaupt nicht lösen. Wie wichtig die Offenheit gegenüber mehreren Lösungsansätzen als Element professionellen Wissens ist, zeigt sich an den Schüler-Antworten auf diese Aufgabe. Die Aufgabe „Nachbarzahlen“ war nämlich auch eine national gestellte PISA-Aufgabe. Sie erwies sich zwar als sehr schwer, jedoch zeigt sich, dass keineswegs alle Schülerinnen und Schüler eine Lösungsvariante bevorzugten. Unter den Gymnasiasten wählten 7 % die algebraische Methode, 16 % argumentierten hingegen stimmig an typischen Beispielen. Professionelles Wissen bedeutet, sich auf solche unterschiedlichen Argumentationsformen einstellen zu können.

Die Sammlung von Hausaufgaben und Klassenarbeitsaufgaben und die anschließende Auswertung mit einem Klassifikationssystem (Jordan & al.,

2006) offenbarte das schon anderweitig bekannte Bild: Unabhängig von der Schulform sind Hausaufgaben und Klassenarbeiten eher „kognitiv arm“ zu nennen: Es überwiegen „technische“ Aufgaben, man findet - verglichen etwa mit den PISA-Aufgaben - deutlich weniger Aufgaben mit anspruchsvoller sprachlicher Gestaltung und erheblich weniger Aufgaben, die das Modellieren außermathematischer Sachverhalte verlangen.

Kann man, obwohl zahlreiche Fragen und Analysen aus COACTIV noch offen sind, eine Summe bisheriger Erkenntnisse ziehen? Wenn ja, dann diese:

Professionelles Wissen im skizzierten und von COACTIV konzeptualisierten Sinn kann nur auf der Basis von FACH-Didaktik, d.h. von bewusster Fachspezifität in der didaktischen Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern entstehen.

Literatur

- Ball, D.L., Hill, H.C. & Bass, H. (2005). Knowing Mathematics for Teaching: Who knows mathematics well enough to teach third Grade, and how can we decide? *American Educator, Fall 2005*, 14 - 23.
- 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.), *TIMSS/III: Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band II* (S. 271-315). Opladen: Leske & Budrich.
- Baumert, J., Blum, W. & Neubrand, M. (2004). Drawing the lessons from PISA-2000. Long term research implications: Gaining a better understanding of the relationship between system inputs and learning outcomes by assessing instructional and learning processes as mediating factors. In D. Lenzen, J. Baumert, R. Watermann & U. Trautwein (Hrsg.), *PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 7, Beiheft 3/2004*, 143 - 158.
- Baumert, J., Kunter, M., Brunner, M., Krauss, St., Blum, W. & Neubrand, M. (2004). Mathematikunterricht aus Sicht der PISA-Schülerinnen und -Schüler und ihrer Lehrkräfte. In M. Prenzel & al. (Hrsg.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 314 - 354). Münster: Waxmann.
- Bromme, R., Seeger, F & Steinbring, H. (1990). *Aufgaben als Anforderungen an Lehrer und Schüler* (= IDM-Untersuchungen zum Mathematikunterricht 14). Köln: Aulis.
- Eichler, A. (2005). *Individuelle Stochastikcurricula von Lehrerinnen und Lehrern*. Hildesheim: Franzbecker.

- Jordan, A., Ross, N., Krauss, St., Baumert, J., Blum, W., Löwen, K., Brunner, M., Kunter, M. (2006). *Klassifikationsschema für Mathematikaufgaben: Dokumentation der Aufgabenklassifikation im COACTIV-Projekt.* (= Materialien aus der Bildungsforschung, Nr. 81). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, 2006.
- Kirsch, A. (1977). Aspekte des Vereinfachens im Mathematikunterricht. *Didaktik der Mathematik*, 5, 87 - 101.
- Krauss, St., Brunner, M., Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Jordan, A. & Neubrand, M. (2004). COACTIV: Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 31 - 53). Münster: Waxmann. 2004.
- Kunter, M., Brunner, M., Baumert, J., Klusmann, U., Krauss, St., Blum, W., Jordan, A. & Neubrand, M. (2005). Der Mathematikunterricht der PISA-Schülerinnen und Schüler: Schulformunterschiede in der Unterrichtsqualität. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 8 (4), 502 - 520.
- Neubrand, J. (2006): The TIMSS 1995 and 1999 Video Studies: In Search for Appropriate Units of Analysis. In: F.K.S Leung, K.-D. Graf & F.J. Lopez-Real (Eds.), *Mathematics Education in Different Cultural Traditions: A Comparative Study of East Asia and the West. - The 13th ICMI Study.* (New ICMI Study Series, Vol. 9). (pp 291 - 318). Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- Neubrand, J. & Neubrand, M. (2004). Innere Strukturen mathematischer Leistung im PISA-2000-Test. In M. Neubrand (Hrsg.), *Mathematische Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in Deutschland: Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA-2000* (S. 87 - 107). Wiesbaden: VS - Verlag für Sozialwissenschaften.
- Neubrand, M. (1986). Aspekte und Beispiele zum Prozeßcharakter der Mathematik. *Beiträge zum Mathematikunterricht 1986*, S. 25 - 32.
- Neubrand, M. (Hrsg.) (2004). *Mathematische Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in Deutschland: Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA-2000.* Wiesbaden: VS - Verlag für Sozialwissenschaften.
- Neubrand, M. (2005). Impulse aus PISA für die mathematikdidaktische Forschung. *Der Mathematikunterricht*, 51 (2/3), 23 - 35 (2005).
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), S. 3-14.
- Tietze, U.-P. (1986). *Der Mathematiklehrer in der Sekundarstufe II: Bericht aus einem Forschungsprojekt.* Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Weinert, F. E., Schrader, F. W. & Helmke, A. (1989). Quality of instruction and achievement outcomes. *International Journal of Educational Research*, 13, 895-914.

homepage von COACTIV:

<http://www.mpib-berlin.mpg.de/coactiv/index.htm>