

Regina BRUDER, Darmstadt

Langfristige fachdidaktische Forschungsprojekte zur mathematischen Unterrichtsentwicklung in der Sekundarstufe I

Funktion und Ziele von Langzeitstudien

International i.w. übereinstimmend beschäftigt sich die Mathematikdidaktik mit Zielen des Lehrens und Lernens von Mathematik und der Inhaltsauswahl für den Mathematikunterricht (MU), Phänomenen und Gesetzmäßigkeiten des Lehrens und Lernens von Mathematik (Bedingungen und Einflussfaktoren, auf Individuen- und Gruppenebene), spezifischen Gestaltungsmöglichkeiten zur Realisierung der jeweiligen Ziele und Inhalte des MU und sie beschäftigt sich mit der Reflexion und Evaluation der Untersuchungsergebnisse und –methoden zu den vorher genannten Aspekten, vgl. Bruder (1988). Vor diesem Hintergrund gehören zu möglichen Zielen von Langzeitstudien insbesondere Lernprozessbeobachtungen (unter kontrollierten Bedingungen), Lerneffektmessungen bei Individuen und Gruppen (Längsschnitt unter kontrollierten Bedingungen), Fragen der Lehrerprofessionalisierung (insbesondere in der Aus- und Fortbildung); auch die Evaluation eines implementierten Curriculums könnte dazu gehören sowie die Entwicklung und Erprobung von (ganzheitlichen) Unterrichtskonzepten. Solche Ziele erfordern Langzeitstudien. Gemeint sind mit dieser Kategorie Untersuchungen mit empirischen Anteilen, die Zeiträume von mindestens einem Schuljahr umfassen.

Für Langzeitstudien gelten gewisse Forschungsparadigmen. Beispielsweise gehen sie in Form von Interventionsstudien davon aus, dass Lehr- und Lernprozesse ganz erheblich von den Entscheidungen der Lehrkräfte im Unterricht beeinflusst werden. *„Die Lehrervorstellungen bilden die Basis für diese Entscheidungen, daher ist ihre Kenntnis wichtig für alle Untersuchungen, in denen es um die Analyse von Lernprozessen in üblichen Unterrichtskontexten geht“* Fischler (2001), S.105. Dieser Hintergrund hat Konsequenzen: Z.B. macht es wenig Sinn, Kompetenzdiagnostik von Schülern mit Vergleichsarbeiten betreiben zu wollen, ohne die unterrichtliche Situation und Art und inhaltliche Ausrichtung der Orientierungsbildung durch die Lehrkraft zumindest mit zu beobachten und bei den Ergebnissen zu berücksichtigen. Das gilt besonders dann, wenn es um langfristigen Kompetenzaufbau gehen soll.

Ferner kann davon ausgegangen werden, dass Innovationen für den MU auch auf der Lehrerebene die Berücksichtigung ihrer eigenen Lernprozesse erfordern. Diese zu beschreiben bedarf es fundierter Konzepte wie für die Lernprozesse der Schüler auch.

Langzeitstudien benötigen eine tragfähige theoretische Basis

Ein geeignetes Konzept, mit dem die Entstehung und die Qualität von Lernprozessen von (älteren) Schülern und Erwachsenen in einer handhabbaren Weise beschrieben werden kann, ist z.B. das Tätigkeitskonzept aus der osteuropäischen Forschungstradition, das hier exemplarisch kurz vorgestellt werden soll. Danach erfordert ein (nachhaltiger) Lernfortschritt eine *selbst gestellte Lernaufgabe* und die Erarbeitung einer *Orientierungsgrundlage* für die zur Bewältigung der Lernaufgabe notwendigen Lernhandlungen, vgl. Lompscher (1988). Je umfassender und reichhaltiger die aufgrund der Vorgaben der Lehrkraft bzw. der Lehr- und Lernmaterialien individuell konstruierte *Lernaufgabe* ist, umso größer sind die Chancen, dass die zu entwickelnde Orientierungsgrundlage einen höheren Allgemeinheitsgrad mit entsprechend größerem Vernetzungspotenzial erreicht. Ein Beispiel für eine recht weit reichende individuell konstruierte Lernaufgabe zeigt die folgende Schüleräußerung aus einem Lerntagebuch in Klasse 7: „*Wir lernen jetzt, Zuordnungen mathematisch darzustellen und Fehler in der Zeitung zu finden. Und wir wollen aus den Zuordnungen noch mehr herausholen*“. Im Unterricht wurde der Mehrwert einer mathematischen Betrachtung von Zuordnungen thematisiert (Prognosen entwickeln bzw. „Zwischenwerte“ bestimmen), was zu der entsprechenden Schülerinterpretation führte. Überlegungen zu einem langfristigen Kompetenzaufbau im MU, die derzeit noch ganz am Anfang stehen, werden um die Frage der Weite und Tragfähigkeit von solchen Zielorientierungen nicht herum kommen.

Bei Lehrkräften in einer Fortbildung bzw. in einem Forschungsprojekt kommt die individuelle Lernaufgabe oft als Frage daher: „*Wie kann ich mit den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen meiner Schülerinnen und Schüler angemessen umgehen?*“ Auch hier gilt: Je enger und konkret situationsbezogen die Frage gestellt ist, um so weniger besteht die Notwendigkeit, eine weiter reichende Handlungsorientierung auszubilden.

Die zur Lernaufgabe zu erarbeitende Handlungsorientierung kann in Anlehnung an Galperin (1967) unterschiedliche Niveaus erreichen. Wir bezeichnen sie wie folgt: I Orientierung nach Versuch-Irrtum (Probierorientierung), II Orientierung am Beispiel (Muster) und III Feldorientierung. Eine Feldorientierung in einem Themenfeld ist z.B. daran erkennbar, dass man in der Lage ist, selbst Beispiele in diesem Themenfeld zu generieren. Auf diese Weise können auch Effekte von Lehreraus- und -fortbildung qualitativ anhand der Arbeitsprodukte der Teilnehmer/innen beschrieben werden, vgl. Komorek (2006).

Fragestellungen aktueller Langzeitprojekte

Die zentrale Frage in einem von der DFG geförderten Langzeitprojekt über insgesamt 6 Jahre (vgl. Komorek et al (2007), Collet (2009)) mit dem Ziel der Implementation der Forschungsergebnisse in die Schulpraxis lautete: *Wie kann im MU Problemlösekompetenz entwickelt werden?*

An diesem Projekt soll gezeigt werden, welche grundsätzlichen Fragen sowohl mit theoretischen Konzepten als auch anhand praktischer Erprobungen mit entsprechenden Effektmessungen schrittweise zu beantworten sind:

Was soll (sinnvollerweise) unter Problemlösenlernen im Mathematikunterricht verstanden werden? Um welche Lernziele und -inhalte geht es? (Theoretische Ableitungen und Begründungen)

Wie kann man Problemlösen lernen? (Entwicklung eines theoriebasierten Konzeptes, Laborstudie zur Überprüfung)

Wie kann man „Problemlösenlernen“ im MU für alle Lernenden organisieren und gestalten? (Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes auf der Grundlage der theoretischen Vorstellungen zum Problemlösenlernen; Pilotstudie)

Wie wird das entwickelte Unterrichtskonzept von den Lehrkräften angenommen und umgesetzt und welche Effekte zeigen sich bei den Schüler/innen? (Akzeptanz- und Effektmessungen auf Lehrerebene und bei den Schülern im Rahmen einer Interventionsstudie im Feld)

Wie können die erzielten Ergebnisse in die Praxis überführt werden? (Konzeptentwicklung für eine Implementierung im Feld)

Angestrebt wurde mit diesem Projekt ein fundiertes Lehrerfortbildungskonzept zum Problemlösenlernen im MU. Dieses im Projekt in einem mehrfaktoriellen Design mit 49 Lehrkräften erprobte Konzept wird jetzt seit drei Jahren umgesetzt in Form eines blended learning Angebotes als modularisierter Halbjahreskurs über eine MOODLE-Lernplattform unter www.proLehre.de in Verbindung mit entsprechenden Unterstützungssystemen wie der Aufgabendatenbank www.madaba.de.

Aktuell laufen Langzeitprojekte mit ähnlich weit greifender Zielstellung wie das Projekt CALiMERO (2005-2012), an dem 6 Gymnasien mit 29 Schulklassen beteiligt sind. Hier geht es um die Entwicklung und Erprobung von Lehr- und Lernmaterialien für eine mathematische Kompetenzentwicklung mit Unterstützung von CAS-fähigen Taschencomputern ab Klasse 7 in Gymnasien, vgl. Ingelmann (2009) und Bruder & Weiskirch (2008). In dieser vom Land Niedersachsen und der Firma Texas Instruments unterstützten Interventionsstudie wird sowohl das Curriculum weiter

entwickelt als auch ein Unterrichtskonzept zum kompetenzorientierten Rechnereinsatz umgesetzt. Bestandteile dieses Unterrichtskonzeptes sind folgende methodischen Elemente: Varianten für Themeneinstiege, Mind Map bzw. semantisches Netz zur inhaltlichen Strukturierung einer Unterrichtseinheit, Lernprotokoll zur Verständnisreflexion nach den ersten Stunden zu einem neuen Thema (vgl. Bruder (2007)), Wissensspeicher, Hilfen zur Bedienung und zum Einsatz des Taschencomputers, Hinweise zu rechner-spezifischen und rechnerfreien Fertigkeiten, vermischte Kopfübungen zum Wachhalten von Basiskönnen (vgl. Bruder (2008a)), ein Konzept für vielseitige Aufgaben beim Üben und Anwenden (vgl. u.a. Bruder (2008b) und Leuders (2008)), Angebote zur Selbsteinschätzung und Beispiele für Klassenarbeitsaufgaben (vgl. Büchter & Leuders (2005)).

Im letzten Jahr wurde ein weiteres Projekt in Niedersachsen gestartet (MABIKOM 2008-2012) mit dem Ziel, ein alltagstaugliches Unterrichtskonzept zu entwickeln für binnendifferenziertes Lehren und Lernen von Mathematik in der Sekundarstufe I, wobei ab Klasse 7 dann wiederum das Potenzial der eingesetzten Rechnertechnologie genutzt werden soll. Die zentrale Frage in diesem Projekt lautet: *Wie kann man mit heterogenen Lernvoraussetzungen im MU so umgehen, dass möglichst viele Lernende kognitiv wie motivational angesprochen und effektiv Lernfortschritte für alle erreicht werden?* Der Fortschritt in diesem Projekt wird ähnlich wie bei CALiMERO auf der Kommunikationsplattform www.proLehre.de dokumentiert.

Ausgewählte Untersuchungsmethoden für Langzeitstudien

Es zeigt sich, dass für die Evaluation von Langzeitstudien eine Kombination aus verschiedenen qualitativen und quantitativen Untersuchungs- und Auswertungsmethoden sinnvoll ist.

Eine der Kernfragen der Evaluation in Interventionsstudien über längere Zeiträume lautet z.B.: *Wie kann man konzeptbezogene Lernzuwächse innerhalb eines Schuljahres effektiv messen?*

Wir haben hierfür in Kombination mit anderen Instrumenten zur Kontrolle der Rahmenbedingungen das Format eines „open ended test“ (pre-post) eingesetzt. Dieses Testformat zeichnet sich aus durch ein wellenförmiges Anforderungsprofil und bildet ähnlich wie bei Vergleichsarbeiten ein möglichst breites Kompetenzprofil ab. Entscheidender Vorteil des Formats ist die Vermeidung von Deckeneffekten durch die erhöhte Itemzahl. Ferner wurde darauf geachtet, dass alle Aufgaben bereits zum Schuljahresbeginn prinzipiell lösbar sein müssen. Erwartet werden dann in den verschiedenen Leistungsgruppen im Laufe eines Schuljahres Lernzuwächse bzgl. Anzahl

und Qualität der Aufgabenbearbeitung. Lernzuwächse über einem Drittel Standardabweichung sind unter kontrollierten Bedingungen als Interventionseffekte interpretierbar, vgl. Lange & Lehmann (2001). Die Definition von drei Leistungsgruppen (lernschwache Schüler, mittleres Leistungsniveau und leistungsstarke Schüler) erfolgt jedoch nicht durch äquidistante Aufteilung der Gesamtpunktzahl sondern inhaltlich begründet aus dem Anforderungsprofil der gestellten Aufgaben.

Im Projekt CALiMERO haben die lernschwachen Schüler/innen ihre Leistungen im Laufe des 7., 8. und 9. Schuljahres deutlich über den Erwartungen des Zuwachses innerhalb eines Schuljahres steigern können. Die eingesetzten Instrumente sind unter <http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/fbereiche/didaktik/research/projekte.php> verfügbar und die Ergebnisse im Detail siehe Ingelmann (2009).

Um jedoch einen nachvollziehbaren Zusammenhang mit der Intervention und dem implementierten Unterrichtskonzept herstellen zu können, ist nach Wegen zu suchen um die Frage zu beantworten, ob die beteiligten Lehrkräfte die gemeinsam erarbeiteten Materialien und Konzepte auch eingesetzt haben. Bei solch langen Untersuchungszeiträumen und großen Populationen scheidet die Methode der Videoanalyse von vorneherein aus. Wir haben uns dafür entschieden, ein Instrument mit Doppelfunktion einzusetzen: Teilstandardisierte Stundenberichte der Lehrkräfte haben sowohl eine Monitoring- als auch eine Evaluationsfunktion. Auf dem Berichtsbogen werden auf einer Seite wesentliche Elemente des umzusetzenden Konzeptes aufgelistet und haben so eine Erinnerungsfunktion für die Lehrkräfte. Gleichzeitig zeigt der Einsatz der Stundenberichte über mindestens 10 Wochen, dass man Auswirkungen spezifischer Interventionen in diesem Zeitraum beobachten kann und die Selbstberichte der Lehrkräfte zu ihrem Unterricht sehr gut mit den Ergebnissen der analysierten Arbeitsprodukte korrespondieren, vgl. auch Collet (2009).

Im Projekt CALiMERO trat das Phänomen auf, dass bereits nach einigen Monaten in Klasse 7 der eingeführte Taschencomputer zu einem selbstverständlichen und individuell auch unterschiedlich genutzten Werkzeug geworden ist, so dass eine Dokumentation des Einsatzes durch die Lehrkräfte in der bisherigen Form nicht mehr sinnvoll war. Deshalb wurde ab Klasse 8 ein teilstandardisiertes Unterrichtsprotokoll für Schüler eingesetzt, ebenfalls abrufbar unter <http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/fbereiche/didaktik/research/projekte.php>. In jeder beteiligten Klasse wurde jeweils eine thematische Einheit durchgehend protokolliert, so dass von jedem Schüler ein Stundenprotokoll vorliegt. Die Schüler gaben z.B. Auskunft darüber, ob in der jeweiligen Stunde die im Konzept grundsätzlich

vorgesehenen methodischen Elemente in der Stunde vorkamen oder nicht. Auf diese Weise wurde auch eine Vorstellung darüber gewonnen, wie oft der Taschencomputer in Schülerhand eingesetzt wird, nämlich im Mittel in drei Viertel aller Unterrichtsstunden und welche Einsatzzwecke dominieren. Die vom Konzept her intendierten vielfältigen explorativen Einsatzszenarien werden von den Schülern auch in etwa vergleichbaren Anteilen identifiziert.

In 22% der über 400 protokollierten Stunden in Kl.9 werden Kopfübungen eingesetzt und es zeigt sich jetzt ein klarer Zusammenhang zu den Ergebnissen im gesonderten Test zu rechnerfreien Fertigkeiten. In den Klassen, in denen regelmäßig, also mindestens vierzehntägig, die im Konzept verabredeten vermischten Kopfübungen stattfinden zum Wachhalten von Basiswissen auch aus länger zurückliegenden Themengebieten, sind über den Erwartungen liegende Leistungssteigerungen zu verzeichnen. Die anderen Klassen bleiben im Mittel stabil oder verringern sogar ihre Leistungen im Laufe des Schuljahres. Diese Ergebnisse sind ein klarer Beleg dafür, dass die oft beklagten Defizite im mathematischen Basiskönnen nicht einfach dem Taschencomputer angelastet werden dürfen sondern mit dem Unterrichtskonzept zusammen hängen, mit dem der Rechner eingesetzt wird.

In den Evaluationsstudien zu Interventionen über längere Zeiträume lautet eine weitere Frage, wie tiefgehend bestimmte Konzepte auf der Seite der Lehrkräfte individuell verarbeitet wurden. Eine Analyse der entwickelten Arbeitsprodukte im Problemlösenprojekt konnte etwa 60% der Teilnehmer im Laufe eines Schuljahres eine Feldorientierung bzgl. des zu implementierenden Konzeptes bescheinigen. Eine Alternative oder auch Ergänzung zur Analyse von Arbeitsprodukten bietet die repertory grid Befragung, die wir bereits in größerem Umfang zur Messung von Fortbildungseffekten zur „neuen Aufgabekultur“ eingesetzt haben. Vorteile der Methode liegen in der Vermeidung von Anpassungsleistungen und die Befragung wird nicht als Testsituation erlebt. Vorstellungen sind individuell und in der Entwicklung erfassbar. Allerdings sind Erhebung und Auswertung recht aufwändig. Während mit klassischen Lehrerbefragungen festgestellt wurde, dass die Vorstellungen und Einstellungen zum MU von erfahrenen Lehrkräften doch sehr stabil sind, lassen sich mit der repertory grid Befragung spezifische Entwicklungen aufzeigen – z.B. eine stärkere Ausdifferenzierung und Erweiterung erkannter Aufgabenmerkmale bis hin zu Blickwinkelverschiebungen zu tiefer gehenden Analysekriterien, vgl. die Auswertungen von Collet (2009).

Thesen zur fachdidaktischen Forschung für eine Weiterentwicklung des Mathematikunterrichts

I. Werden Weiterentwicklungen des MU angestrebt, müssen entsprechende Forschungsarbeiten zur Konzeptentwicklung und späteren Implementierung viel stärker als bisher langfristig angelegt werden.

II. Langzeitstudien benötigen sowohl qualitative als auch quantitative empirische Forschungsmethoden. Eine Verbindung zwischen beiden kann einen bedeutenden Zugewinn an Erkenntnis für den MU bringen und darüber hinaus das Profil der Fachdidaktik in der wissenschaftlichen Kommunikation schärfen.

III. Kein noch so wertvolles Forschungsergebnis setzt sich von alleine durch. Vielmehr bedarf es eines partizipativen Projektdesigns, eines einflussreichen, reflektierten Engagements von Personen und geeigneter Netzwerke an den Schulen zur Umsetzung bis hin zur Ergebniskontrolle.

IV. Untersuchungen zur Weiterentwicklung des MU sollten sich letztlich an ganzheitlichen Unterrichtskonzepten messen lassen bzw. diese voranbringen. Die aus sehr speziellen Forschungsdesigns gewonnenen Detailansichten relativieren sich nicht selten im Unterrichtsalltag und werden von anderen, stärkeren Effekten überlagert.

V. Fachdidaktische Forschung für eine Weiterentwicklung des MU ist immer mit Fragen nach Akzeptanz und Machbarkeit sowie nach „Effektivität“ konfrontiert und bedarf der Unterstützung und Multiplikation durch viele engagierte und kompetente Partner auf allen Ebenen – von der Schule bis zu den Ministerien.

Literatur

- Bruder, R. & Weiskirch, W. (Hrsg.) (2008): CALIMERO - Computer-Algebra im Mathematikunterricht: Entdecken, Rechnen, Organisieren. Bände 1 - 4: *Arbeitsmaterialien für Schülerinnen und Schüler*. Münster 2007 und 2008
- Bruder, R. (2008a): Wider das Vergessen. Fit bleiben durch vermischte Kopfübungen. In: *mathematik lehren 147*, Friedrich Verlag, S.12-14.
- Bruder, R. (2008b): Üben mit Konzept. In: *mathematik lehren 147*, Friedrich Verlag, S.4-11
- Bruder, R. (2007): Lerngelegenheiten für Reflexionen im Mathematikunterricht. In: Peter-Koop, A. & Bikner-Ahsbahr, A. (Hrsg.): *mathematische bildung – mathematische leistung*. Festschrift für Michael Neubrand zum 60.Geburtstag. Franzbecker 2007, S.305-316
- Bruder, R. (1988): *Grundfragen mathematikmethodischer Theoriebildung unter besonderer Berücksichtigung des Arbeitens mit Aufgaben*. Habilitationsschrift, Potsdam.
- Büchter, A. & Leuders, T. (2005): Kriterien für die Gestaltung von Tests, die zur

- Steigerung der Unterrichtsqualität beitragen können. *Pädagogik*, 57 (5), S. 14-18.
- Collet, C. (2009): Wirkungsanalysen von Lehrerfortbildungen zu Problemlösen in Verbindung mit Selbstregulation. In: Heinze, A. & Krummheuer, G. (Hrsg.): *Empirische Studien zur Didaktik der Mathematik*, 2, Münster: Waxmann (in Druck)
- Fischler, H. (2001): Verfahren zur Erfassung von Lehrer-Vorstellungen zum Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg.7, 2001, S.105.
- Galperin, P.J.(1967): Die Psychologie des Denkens und die Lehre von der etappenweisen Ausbildung geistiger Handlungen. In: *Untersuchungen des Denkens in der sowjetischen Psychologie*. Berlin: Volk und Wissen.
- Ingelmann, M. (2009): *Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für einen CAS-gestützten Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos (in Druck)
- Komorek, E. (2006): *Mit Hausaufgaben Problemlösen und eigenverantwortliches Lernen in der Sekundarstufe I fördern. Ein Ausbildungsprogramm für zukünftige Mathematiklehrer*. Berlin: Logos.
- Komorek, E., Bruder, R., Collet, C. & Schmitz, B. (2007): Contents and results of an intervention in maths lessons in secondary level I with a teaching concept to support mathematic problem-solving and self-regulative competencies. In: Prenzel, M. (Hrsg.): *Studies on the educational quality of schools. The final report on the DFG Priority Programme*. Münster: Waxmann, S. 175-196.
- Lange, R. & Lehmann, R. (2001): Ergebnisse der Erhebung von Aspekten der Lernausgangslage und der Lernentwicklung – Klasse 9 (LAU9).
<http://www.ggg-hamburg.de/Inhalt/BSJB-LAU9-2001.html> (Zugriff am 23.1.2009).
- Leuders, T. (2008): Übungsaufgaben produktiv weiterentwickeln. In: *mathematik lehren 147*, Friedrich Verlag, S.17-21.
- Lompscher, J. (Hrsg.) (1988): *Persönlichkeitsentwicklung in der Lerntätigkeit*. Berlin: Volk und Wissen / Luchterhand