

Evaluation multimedialen Lernens in der Mathematikdidaktik

Ein Überblick zu Forschungszielen und -methoden

von

Andreas Eichler, Bielefeld
Gerald Wittmann, Schwäbisch Gmünd

Kurzfassung: Es wird ein Überblick zu Evaluationsberichten gegeben, die das multimediale Lernen in Mathematikunterricht und -studium erfassen. Die einheitliche, nach den Kategorien Akzeptanz, Lernprozess, Lerneffekt und Lerneffizienz strukturierte Darstellung ermöglicht einen Vergleich der Ansätze und die Identifizierung prinzipieller Forschungsmuster. Die anschließende Diskussion der Evaluation im MaDiN-Projekt führt zu einer Erweiterung des Spektrums forschungsmethodologischer Aspekte. Daraus ergeben sich thesenartige Forderungen zur Evaluation multimedialen Lernens in der Mathematikdidaktik.

Abstract: The contribution begins by giving a survey on evaluative reports on multi-medial learning in mathematics instruction at the school and at the teacher college and university levels. The standardized presentation structured according to the categories of acceptance, as well as to those of process, effect, and efficiency of learning, permits to compare the various approaches, and to identify the basic patterns of research. The ensuing discussion of the evaluation within the MaDiN project leads towards extending the range of aspects of research methodology. The results are requirements concerning the evaluation of multi-medial learning in mathematics education presented in the form of theses.

1 Einführung

In der Mathematikdidaktik gibt es eine Fülle von Publikationen zur theoriegeleiteten Entwicklung von Unterrichtskonzepten und -materialien für den Computereinsatz im Mathematikunterricht.¹ In jüngster Zeit kommen internetgestützte Lernangebote hinzu, die

- eine multimediale Aufbereitung einzelner Themen der Schulmathematik liefern (z. B. MathePrisma², mathe online Galerie³, ZERO Mathematik online⁴) und sich damit sowohl an Schüler als auch Studierende wenden, oder

¹ Für einen Überblick vgl. Weigand/Weth (2002) und die jährlich erscheinenden „proceedings“ des Arbeitskreises „Mathematikunterricht und Informatik“ der GDM.

² www.matheprisma.de

- umfassende Lernangebote für den Mathematikunterricht oder das Mathematikstudium bieten (z. B. MaDiN⁵, EMILeA-stat⁶, math-kit⁷, LeActiveMath⁸).

Zu einer theoriegeleiteten systematischen Evaluation, d. h. über Erfahrungsberichte hinausgehende empirische Untersuchungen computerunterstützter Lernangebote und speziell multimedialer mathematikdidaktischer Lernumgebungen existieren dagegen sehr viel weniger Ansätze.

Im Folgenden wird deshalb genau dieser Aspekt, die Evaluation, in den Mittelpunkt gerückt, wobei das primäre Interesse den Forschungszielen und den damit verbundenen Methoden gilt. Es erfolgt eine Klärung zentraler Begriffe (Abschnitt 2), anschließend wird ein nach Kategorien gegliederter Überblick zu vorhandenen Evaluationsansätzen gegeben (Abschnitt 3). Dabei werden vorliegende empirische Untersuchungen „durch die Brille der Evaluation“ neu betrachtet und im Hinblick auf Forschungsziele und -methoden dargestellt.

Ausführlicher vorgestellt und diskutiert wird die von den beiden Verfassern durchgeführte Evaluation im Projekt MaDiN. Dies geschieht einerseits, um exemplarisch die wichtige Rolle der entwicklungsbegleitenden Evaluation zu beschreiben. Andererseits dient die Ausführlichkeit der Darstellung dem Zweck, die in den Abschnitten 2 und 3 skizzierten Forschungsansätze und -methoden zu erweitern. Dazu werden die prinzipiellen methodischen Vorüberlegungen zum Evaluationsansatz (Abschnitt 4) und die speziellen Maßnahmen der MaDiN-Arbeitsgruppen aus Braunschweig und Würzburg diskutiert (Abschnitte 5 und 6).

Im Ausblick werden schließlich die Ergebnisse der diskutierten Systematisierung von Evaluationen zusammengefasst und mögliche weitere Forschungsschritte skizziert (Abschnitt 7).

2 Multimedia, Interaktivität, Evaluation – Begriffsklärungen

Der Begriff *Multimedia* ist nicht eindeutig zu fassen (vgl. Klimsa 2002; Schulmeister 2002, 19ff.). In der Literatur findet man Definitionen,

- die sich ausschließlich auf den *Medieneinsatz* stützen (Multimedia als Zusammenspiel mehrerer Medien, egal welcher Art),

³ www.mathe-online.at/galerie.html

⁴ www.uni-flensburg.de/mathe/zero/zero.html

⁵ www.madin.net

⁶ www.estat.de

⁷ www.math-kit.de

⁸ www.leactivemath.org

- die *technische Aspekte* in den Vordergrund rücken (Multimedia als Einsatz des Computers zur Integration von Text, Bild, Film und Ton) oder
- die sich an den *Besonderheiten des Lernprozesses* orientieren (multimediales Lernen zeichnet sich durch die Möglichkeit zur Interaktivität und zu einer nicht-linearen Vorgehensweise aus).

Unabhängig davon, welches Kriterium man heranzieht, lässt sich der Computereinsatz im Mathematikunterricht (speziell das Arbeiten mit CAS oder DGS) als multimediales Lernen auffassen. In besonderer Weise gilt dies natürlich auch für internetgestützte Lernumgebungen.

Unter *Interaktivität* versteht Baumgartner (1997, 133) „die Möglichkeit, daß Benutzer nicht bloß Rezipienten sind, sondern in den medial vermittelten Informations-, Kommunikations- und Lernprozeß gestaltend eingreifen. Dies betrifft sowohl die Gestaltung der Inhalte, ihre Reihenfolge als auch die Zeit, die mit einzelnen Phasen des Prozesses zugebracht wird.“ Die Interaktivität gilt gemeinhin als „eine der bedeutendsten, wenn nicht die fundamentalste Eigenschaft von didaktischen Multimediaanwendungen, da sie sowohl im kognitiven als auch im motivationalen Bereich eine tiefe Wirkung hinterlässt“ (Strzebkowski/Kleeborg 2002, 231).

Vertiefend kann man unterscheiden (vgl. ebd., 232f.)

- die *Steuerungsinteraktivität*, die individuelle Navigationsmöglichkeiten umfasst,
- die *didaktische Interaktivität*, die sich auf interaktive Elemente (z. B. Applets, Animationen, Simulationen) bezieht, die den selbst gesteuerten Erkenntnisprozess der Nutzer unterstützen sollen.

Der Terminus *Evaluation* wird in der Praxis mit höchst unterschiedlichen Bedeutungen belegt. Einerseits werden bereits sehr vage Ansätze darunter subsumiert – beispielsweise eine im Vorfeld der Projektrealisierung angesiedelte Befragung potenzieller Anwender zur Erfassung der Rahmenbedingungen als „Kontextevaluation“ (Wottawa/Thierau 1998, 329) –, andererseits wird explizit die abschließende Bewertung einer Maßnahme als wesentliches Merkmal gefordert (vgl. Baumgartner 1997, 132).

Trotz dieser Spannweite lassen sich drei Kriterien ausmachen, die als allgemeine Kennzeichen wissenschaftlicher Evaluation angesehen werden können (vgl. Wottawa/Thierau 1998, 14):

- Evaluation dient wie schon in der Wortbedeutung erkennbar „als Planungs- und Entscheidungshilfe und hat somit etwas mit der Bewertung von Handlungsalternativen zu tun“ (ebd., 14). Bezogen auf multimediale Lernumgebungen sind „Qualität, Funktionalität, Wirkung, Effizienz und Nutzen“ (Tergan 2000, 23) Aspekte einer solchen Bewertung.

- „Evaluation ist ziel- und zweckorientiert. Sie hat primär das Ziel, praktische Maßnahmen zu überprüfen, zu verbessern oder über sie zu entscheiden.“ (Wottawa/Thierau 1998, 14)
- Evaluation umfasst die „systematische Anwendung sozialwissenschaftlicher Forschungsmethoden“ (Rossi/Freemann/Hofmann 1988, 3). Sie muss daher den Standards sozialwissenschaftlicher Forschung genügen (vgl. Wottawa/Thierau 1998, 14).

Obwohl die Evaluation ein prinzipieller und ständiger Bestandteil der Entwicklung multimedialer und insbesondere internetbasierter Lernangebote ist (vgl. Fricke 1995, 11), erweist sie sich in der Praxis häufig als unbefriedigend. Schulmeister (2002, 411) konstatiert gar die „Nicht-Evaluierbarkeit von Multimedia“ und fasst damit seine vernichtende Kritik an den Methoden und Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen zur Evaluation multimedialen Lernens zusammen: „Das Ziel der meisten Studien besteht darin, einen Effekt der Lernmethode auf das kognitive Lernen der Studierenden nachzuweisen. Nur wenigen gelingt es, in vielen Studien zeigt sich, daß sich im kognitiven Lernzielbereich keine Unterschiede ergeben“ (ebd., 411), sondern in affektiven oder anderen Bereichen.

Die Frage nach der höheren *Effizienz* einer multimedialen Lernumgebung, also die Frage, ob dort mehr gelernt werden kann als mit herkömmlichen Methoden, lässt sich allenfalls durch sehr umfangreiche Untersuchungen beantworten, wenn die notwendige Begrenzung von Variablen und deren Kontrolle gelingt, nicht jedoch im Rahmen begrenzter Studien (vgl. ebd., 387ff.). Anders ist dies für *Effekte* multimedialen Lernens: Der Frage, ob dort beispielsweise ein anderes Verständnis bestimmter Begriffe und Methoden erwächst, kann auch in kleineren (qualitativen oder quantitativen) Studien nachgegangen werden (zur Unterscheidung von Lerneffizienz und Lerneffekten vgl. Götz 1999, 77ff.).

Zusätzlich zu dieser Kritik gibt es weitere Argumente, die den Verzicht auf den Versuch einer Effizienzbelegung plausibel machen. So sind – angesichts des derzeit noch nicht sehr weit entwickelten Standes von theoriegeleiteten Lernkonzeptionen in der Mathematikdidaktik und ihrer Evaluation – die Fragen, *ob* und *wie* das Lernen beim Einsatz von Multimedia möglich ist (bzw. *wie* es sich verändert) und schließlich *was* gelernt wird, viel zentraler als der schwierige, wenn nicht unmögliche Vergleich mit traditionellen Lernkonzeptionen. Evaluationsstudien erheben also häufig nicht das, was den Kern multimedialen Lernens ausmacht.

Ein wichtiges Kriterium für multimediale Lernkonzeptionen, die unabhängig von Zeit, Ort und insbesondere einer Lehrperson genutzt werden, ist das *ob*, dessen Basis in der Akzeptanz der Lernumgebung zu suchen ist. Die unerlässliche Analyse der Akzeptanz darf jedoch nicht als alleiniger und entscheidender Faktor für die Bewertung multimedialer Lernumgebungen herangezogen werden (vgl. Baumgartner 1999, 205f.). Problematisch ist speziell bei Kurzzeitstudien, dass die Akzeptanz

in hohem Maße von Neuigkeitseffekten geprägt ist („Hawthorne-Effekt“, vgl. Schulmeister 2002, 396ff.).

Das *Wie* und das *Was* des Lernens werden bei multimedialen Lernumgebungen wesentlich mitbestimmt durch deren Interaktivität und sind damit interindividuell verschieden. Bei der Evaluation „geht es gerade nicht um die inhaltliche *statische* Qualität des Materials, sondern darum, wie weit es in der Lage ist, Lernprozesse durch Interaktion anzustoßen und zu unterstützen“ (Baumgartner 1997, 138; Hervorhebung im Original). Deshalb „ist es beim mediengestützten Lernen gerade wichtig, das Augenmerk der Evaluation nicht nur auf den Lerneffekt einer einzelnen Kurseinheit (Wissenstransfer) zu legen. Das würde bedeuten, im alten Paradigma der (sequentiellen) Vermittlung theoretischen Wissens zu bleiben.“ (ebd., 138). Da eine multimediale Lernumgebung umfangreiche Lerninhalte (in der Regel unstrukturiert oder nur teilweise strukturiert) anbietet, muss die Meta-Ebene der individuellen Lernorganisation mit in die Evaluation einbezogen werden.

3 Untersuchungsberichte in der Mathematikdidaktik

In der deutschsprachigen Mathematikdidaktik existiert eine Reihe von Untersuchungsberichten zur Evaluation multimedialen Lernens – auch wenn die jeweiligen Autoren ihre Vorgehensweise nicht als solche bezeichnen. Die Betrachtung als Evaluation liefert deshalb eine interessante, weil neue Perspektive auf bekannte Arbeiten. Im Folgenden wird eine Auswahl einschlägiger Publikationen diskutiert. Sie müssen dabei zwei Kriterien genügen:

- Ihnen liegt eine *empirische Untersuchung* zugrunde, die sich auf das multimediale Lernen als solches bezieht. Dies schließt Rezensionen (vgl. Kreutzkamp/Wolpers 1997) oder Evaluationen ausschließlich auf der Basis von Kriterienkatalogen (vgl. Herden/Pallack 2001) ebenso aus wie die Befragung potenzieller Nutzer im Vorfeld der Entwicklung (vgl. Bauch/Ehmann/Schlegel 2004).
- Sie sind *theoriegeleitet* – anders als reine Erfahrungsberichte (vgl. etwa Henn 1996). Die Theorie kann sich dabei sowohl auf die Untersuchungsmethoden beziehen als auch einen inhaltlichen Hintergrund für die Auswertung liefern.

Die Einordnung der Arbeiten erfolgt entsprechend der Zielrichtung der Evaluation in ein vier Kategorien umfassendes System. Es lassen sich mit den Überlegungen im Abschnitt 2 unterscheiden:

- Die *Akzeptanz*, die sich auf den affektiv-emotionalen Bereich bezieht. Diese Kategorie kann die Akzeptanz des Designs, der Strukturierung, des Inhalts, der technischen und didaktischen Funktionalität oder die Akzeptanz einzelner, beispielsweise interaktiver Elemente der Lernumgebung umfassen (vgl. Götz 1999, 67).

- Der *Lernprozess* der Nutzer und die *Lerneffekte*. Diese zwei Kategorien beziehen sich auf die Beschreibung der Wirkung einer pädagogischen bzw. didaktischen Konzeption und deren *interne Beurteilung*, d. h. den Vergleich der Wirkung mit den Zielen solch einer Konzeption. Die Beschreibung von Lernprozess und Lerneffekten sind in den im Folgenden diskutierten Untersuchungen häufig eng verbunden. Eine Trennung dieser beiden Kategorien wird hier erst bei der Beschreibung der Evaluation von MaDiN vorgenommen.
- Der *Lernerfolg* (bzw. die *Lerneffizienz*). Diese Kategorie zielt auf die *externe Beurteilung* der Wirkung einer pädagogischen bzw. didaktischen Konzeption, d. h. den wertenden Vergleich der evaluierten Konzeption mit bereits bestehenden Konzeptionen.

Bei den Untersuchungsberichten wird eine prinzipielle und für die theoretisch-methodische Anlage der Evaluation zentrale Unterscheidung vorgenommen in

- Lernkonzeptionen für den Mathematikunterricht oder das Mathematikstudium, in denen der Rechneinsatz (insbesondere mit mathematikspezifischer Software wie CAS oder DGS) eine wesentliche Rolle spielt; entscheidend ist jedoch, dass die *Lehrperson* Träger der pädagogischen bzw. didaktischen Konzeption bleibt und die Konzeption nicht Programm-immanent ist (3.1);
- multimediale Lernumgebungen für Schüler oder Studierende, in denen die *Software* – unabhängig vom jeweiligen Einsatz – zum Träger der pädagogischen bzw. didaktischen Konzeption wird (3.2).

3.1 Computereinsatz in Mathematikunterricht und -studium

Zum Computereinsatz in Mathematikunterricht und -studium gibt es viele, für die Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis durchaus wertvolle Erfahrungsberichte, jedoch nur wenige veröffentlichte Evaluationen in obigem Sinne. Im Folgenden werden die Arbeiten von Barzel (2005), Biehler (2004), Büchter/Preussler/Herdegen-Schickhaus (2002) Christl (2001), Gawlick (2000; 2002), Grogger (1995), vom Hofe (1998; 1999), Hölzl (1994; 1999), Jungwirth (1994), Krummheuer (1989), Maczey (2002), Nocker (1994), Pallack (2002), Schaumburg/Issing (2002), Schneider (1999), Svecnik (1995) und Weigand (1997; 1999) näher betrachtet.

Akzeptanz: Die Frage der Akzeptanz der eingesetzten Software ist zumindest implizit in allen genannten Arbeiten enthalten, spielt aber in der Regel nur eine untergeordnete Rolle. Explizit wird sie weitaus seltener diskutiert.

Schneider (1999) erhebt die Akzeptanz des CAS-Einsatzes bei Studierenden in einer Analysis-Vorlesung mittels Fragebogen zu Beginn und am Ende der Veranstaltung sowie durch einen persönlichen Erfahrungsbericht der Studierenden.

Die Untersuchung von Biehler (2004) prüft die Akzeptanz der Statistik-Software Fathom⁹ nach einem zweimonatigen Unterrichtsversuch im 13. Jahrgang. Dazu wird ein Fragebogen für die Schüler ausgewertet.

Im österreichischen Derive-Projekt erhebt Grogger (1995) die Akzeptanz des CAS-Einsatzes bei insgesamt 549 Schülern in zwei Typen von Versuchsklassen, die sich in der Intensität des Computereinsatzes unterscheiden, sowie Kontrollklassen, in denen ohne Computer gearbeitet wurde. Ein Fragebogen mit 50 Items und einer fünfstufigen Antwortskala erfasst die Einstellungen der Schüler zum Einsatz von Derive im Mathematikunterricht und wird faktorenanalytisch ausgewertet. Offene Fragen zielen auf die Wahrnehmung von Veränderungen im Unterricht infolge des Computereinsatzes, die Antworten werden inhaltsanalytisch ausgewertet. In einer ähnlich angelegten Parallelstudie befragt Svencik (1995) die Lehrer dieser Klassen „über ihre Einschätzungen, Meinungen und Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Einsatz des Programms sowie dessen Auswirkungen auf Einstellungen, Lernerfolge und Motivation der Schüler im Mathematikunterricht“ (ebd., 4). Die Ergebnisse beider Untersuchungen werden ferner miteinander verglichen.

Lernprozess und Lerneffekte: Hier ist als vorherrschende methodologische Ausrichtung die *interpretative Unterrichtsforschung* zu nennen. Ihr Forschungsgegenstand ist die Interaktion (im weitesten Sinne) im Mathematikunterricht, eine ihrer charakteristischen forschungsmethodischen Arbeitsweisen die sequentielle Analyse der Transkripte von Videoaufzeichnungen (vgl. Krummheuer 1993).

Die erste Arbeit dieser Richtung stammt von Krummheuer (1989). Auf der Basis von ergonomischen, didaktisch-instruktionspsychologischen und insbesondere didaktisch-interaktionstheoretischen Ansätzen werden die Interaktionsprozesse der Schüler untereinander sowie zwischen Schülern und Computer (mit Basic-Interpreter) untersucht. Die Kernfrage lautet, „inwieweit die Benutzer alltägliche Interaktionsstrukturen an dem Computer zu realisieren versuchen, inwieweit das Computersystem dies unterstützt und inwieweit ein alternativer kreativer Umgang mit diesem System ermöglicht wird“ (ebd., 68).

Jungwirth (1994) knüpft unmittelbar an die Arbeiten von Krummheuer (1989; 1993) an und untersucht Unterricht am Computer im Hinblick auf die Rahmung¹⁰ einzelner Arbeitsschritte durch Schüler und Lehrer, die Handlungspraktiken von Schülern und Lehrern sowie die Interaktion zwischen Lehrkraft und Schülern, wobei auf geschlechtsspezifische Aspekte geachtet wird.

⁹ www.keypress.com/fathom

¹⁰ Als Rahmung wird in diesem Zusammenhang die individuelle, gewohnheitsmäßige, inhaltsbezogene Deutung der Arbeitsschritte durch die beteiligten Personen bezeichnet.

In anderen (vor allem späteren) Arbeiten der interpretativen Unterrichtsforschung tritt die Beschreibung der Interaktion als Forschungsziel in den Hintergrund. Das eigentliche Interesse gilt *mathematisch-epistemologischen Fragestellungen* (z. B. Lösungsstrategien in der Geometrie beim Arbeiten mit DGS oder Begriffsentwicklung in der Analysis bei Einsatz eines CAS). Die interpretative Unterrichtsforschung verbindet sich hier mit klassischen stoffdidaktischen Analysen.

Die beiden Fallstudien von vom Hofe (1998; 1999), die demselben Projekt zum CAS-Einsatz in einem Analysis-Grundkurs entstammen, belegen dieses Spektrum an Forschungszielen: Es werden einerseits „typische Handlungs- bzw. Interaktionsmuster“ (vom Hofe 1999, 215), andererseits „geistige Hindernisse“ (vom Hofe 1998, 260) beim Erarbeiten des Grenzwertbegriffs durch eine Schülergruppe am Computer aufgezeigt. Die Forschungsmethode umfasst jeweils die sequentielle Interpretation von Videoaufzeichnungen der Gruppenarbeit am Computer unter zusätzlicher Nutzung der Bildschirmdarstellungen.

Ähnliches gilt für die Arbeiten von Hölzl (1994; 1999): In der ersten Studie werden ausschließlich einzelne Schülerpaare bei ihrer Arbeit mit DGS am Computer beobachtet, was die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes reduziert und auf den geometrischen Aufgabenlöseprozess der beiden Schüler fokussiert. In der zweiten Untersuchung werden neben Partnerarbeitsphasen auch Episoden aus einem lehrerzentrierten Unterricht analysiert.

Neben diesen gibt es weiterhin Projekte, die sich selbst nicht der interpretativen Unterrichtsforschung zuordnen, mit dieser Forschungsrichtung aber – zumindest implizit – ihre Basis in der qualitativen Sozialforschung und deren forschungsmethodischen Ansätzen gemein haben.

Schneider (1999) untersucht die Begriffsentwicklung von Studierenden im Rahmen einer Analysis-Lehrveranstaltung, bei der durchgängig CAS eingesetzt wurde. Die forschungsmethodische Basis bilden offene Partnerinterviews, deren Schwerpunkte eine Diskussion der beiden Partner sowie ein Rollenspiel zur Erklärung eines Begriffs aus der Analysis sind. Die Interviewtranskripte werden inhaltsanalytisch ausgewertet.

Weigand (1997) betrachtet Lösungswege von Schülern und Studierenden beim Bearbeiten von Ortslinienproblemen mit DGS. Hierzu werden die schriftlichen Lösungen der Versuchspersonen nach zwei Hauptstrategien sowie Fehlermustern kategorisiert und die Häufigkeiten der Kategorien registriert.

Weigand (1999) untersucht das Lösungsverhalten von Schülern beim Bearbeiten von Aufgaben im CAS-gestützten Analysisunterricht. Den theoretischen Hintergrund liefert dabei ein semiotisches Modell. Weigand wertet die Transkripte der Videoaufzeichnungen – anders als in der interpretativen Unterrichtsforschung üblich – explorativ-paraphrasierend aus (vgl. Beck/Maier 1994, 48ff.), reichert aber

den methodischen Ansatz der interpretativen Unterrichtsforschung durch die qualitative und quantitative Analyse der Schülerlösungen sowie von Computerprotokollen an.

Barzel (2005) erprobt Materialien mit integriertem CAS-Einsatz zum selbstständigen Lernen für Schüler in der Jahrgangsstufe 11. Das zentrale Interesse gilt der Förderung inhaltlicher und prozessualer Ziele. Auch hier findet sich ein mehrperspektivischer Ansatz: Es erfolgt einerseits eine quantitative Auswertung von Fragebögen für Lehrkräfte ($n = 17$) und Schüler ($n = 578$), die im Wesentlichen auf die Akzeptanz zielen, sowie von Abschlusstests, die den Lernerfolg erfassen sollen. Andererseits werden transkribierte Videoaufzeichnungen des Unterricht und von Interviews mit Schülern und Lehrern auf der Basis der Grounded Theory ausgewertet. Hiermit werden Aspekte des Lernprozesses beschrieben.

Büchter/Preussler/Herdeegen-Schickhaus (2002) evaluieren den BLK-Modellversuch SelMa¹¹, bei dem das Lernen mit dem Computer breiten Raum einnimmt. Insgesamt 39 Untersuchungsfragen beziehen sich überwiegend auf die Akzeptanz bei Schülern und Lehrern sowie auf Lerneffekte (die Veränderung des Unterrichts durch den Einsatz von SelMa-Modulen). Dem entspricht ein mehrperspektivischer Ansatz mit Methodentriangulation: Zunächst werden Gruppendiskussionen mit den Autoren der Materialien und Interviews mit Schülern und Lehrern inhaltsanalytisch ausgewertet, mit dem Ziel, Hypothesen für die anschließend quantitative Auswertung der schriftliche Befragung von Schülern ($n = 712$) und Lehrern aus 39 Versuchsklassen zu generieren. Der Fragebogen umfasst sowohl geschlossene als auch offene, eine Beschreibung fordernde Items. Nach einer Kodierung und Skalenbildung wird das Datenmaterial quantitativ ausgewertet (Korrelationsanalyse).

Maczy (2002) evaluiert eine Lehrveranstaltung zur Geometrie für Lehramtsstudierende, in der Übungsaufgaben mit DGS zu bearbeiten waren. Die Forschungsfragen zielen themenspezifisch auf eine Veränderung der ausgewählten Inhalte und mathematischen Begriffe durch den DGS-Einsatz. Das wesentliche Forschungsinstrument bilden halbstrukturierte Interviews mit Studierenden, die weitgehend explorativ-paraphrasierend ausgewertet werden. Der theoretische Hintergrund entstammt sowohl der allgemeinen Lehr-Lern-Forschung als auch geometriedidaktischen Arbeiten. Die Analyse mündet in die Beschreibung typischer Sichtweisen mathematischer Begriffe und Arbeitsweisen von Studierenden.

Einen völlig anderen Weg wählt Pallack (2002), der den Einsatz eines Programms zur Bruchrechnung außerhalb des regulären Unterrichts evaluiert. Er fragt zunächst nach dem Lerneffekt: „Kann ein Lernprogramm zur Bruchrechnung bei Schülern vorhandene Defizite beseitigen [...]?“ (ebd., 64). Weiterhin wird der Lernprozess betrachtet: „Können Schüler in Einzelarbeit sinnvoll mit einem Programm zur

¹¹ www.learn-line.nrw.de/angebote/selma

Bruchrechnung arbeiten?“ (ebd., 65) Mit Hilfe eines Leistungstests werden fünfzehn Schüler der 7. Jahrgangsstufe ausgewählt, die Defizite aufweisen. In Einzelsitzungen werden die Probanden gefilmt und der Bildschirminhalt erfasst. Aus den Daten wird ein schriftliches, schematisches Verlaufsprotokoll erstellt, das für Verfahren der Clusteranalyse und der formalen Begriffsanalyse zugänglich ist. Somit werden typische Elemente im Lernprozess identifiziert. Der eigentliche Lerneffekt wird durch einen Nachtest ermittelt.

Nocker (1994) untersucht im Rahmen des österreichischen Derive-Projekts, ob sich durch den CAS-Einsatz Veränderungen im Verlauf einzelner Mathematikstunden in Klasse 9 bis 11 ergeben. In Versuchs- und Kontrollklassen notieren Beobachter mit Hilfe eines vorgegebenen mehrdimensionalen Kodierschemas jeweils für 5-Minuten-Intervalle die dort dominierende Kategorie. Diese Protokolle werden (unter Einbeziehung begleitender Fragebögen für die betreffenden Lehrkräfte) im Hinblick auf die Häufigkeiten der einzelnen Kategorien ausgewertet.

Lerneffizienz: Ein übliches, methodenvergleichendes Design besteht hier aus einer gezielten Intervention einschließlich Kontrollgruppe sowie Vor- und Nachtest.

Christl (2001) evaluiert auf diese Weise den Einsatz von Sphäri für Windows¹², einer 3D-Software zur Kugelgeometrie, in zehn 11. Gymnasialklassen ($n = 231$), wobei allerdings die Zahl der jeweils erteilten Unterrichtsstunden deutlich schwankt. In der Kontrollgruppe, bestehend aus vier Klassen, werden dieselben Lerninhalte ohne Computer unterrichtet ($n = 73$). Die Raumvorstellung der Schüler wird in beiden Gruppen mittels Vor- und Nachtest erfasst sowie getrennt nach Jungen und Mädchen betrachtet, ebenso wird ein Nachtest zu den behandelten Lerninhalten durchgeführt.

Gawlick (2000; 2002) untersucht die Lerneffizienz in 7. Klassen beim Erlernen der üblichen Standardkonstruktionen mit einem klassischen Methodenvergleich: In drei Versuchsklassen wird anwendungsorientiert mit DGS gearbeitet, in drei Versuchsklassen anwendungsorientiert ohne DGS und drei weitere Klassen bilden die Kontrollgruppe ($n = 214$). Der Lernzuwachs zwischen Vor- und Nachtest wird einer statistischen Hypothesenprüfung unterzogen, die differenzierte Aussagen für verschiedene Gruppen (z. B. Mädchen und Jungen, leistungsstarke und -schwache Schüler) und Lerninhalte (z. B. „dynamische“ und „statische“ Aufgaben) gestattet.

Im Rahmen der breit angelegten Evaluation des Unterrichts in Laptop-Klassen untersuchen Schaumburg/Issing (2002) infolge der Leitfrage „Kommt es durch den Einsatz der Laptops zu Verbesserungen in der Beherrschung der Unterrichtsfächer?“ (ebd., 18) auch die Lerneffizienz (neben der Akzeptanz und möglichen Lerneffekten). Hierzu werden die Ergebnisse eines Mathematik-Leistungstests –

¹² Es konnte keine aktuelle Bezugsmöglichkeit ermittelt werden.

getrennt in vier Teilskalen – von Schülern aus Laptop-Klassen ($n = 46$) und Kontrollklassen ($n = 44$) einer Signifikanzprüfung unterzogen.

Zusammenfassung: Trotz der unterschiedlichen Fragestellungen und Forschungsansätze lassen sich Muster in den Evaluationen rechnergestützter Lernkonzeptionen erkennen. Beim Rechneinsatz in Mathematikunterricht und -studium spielen Akzeptanzfragen nur eine untergeordnete Rolle. Die Akzeptanz des Arbeitens am Computer im Allgemeinen oder der jeweiligen Software im Speziellen wird häufig allenfalls implizit erfasst. Auch die wenig aussichtsreiche Beurteilung der Effizienz (vgl. oben) wird nur vereinzelt angestrebt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt zumeist auf der Beschreibung von Lernprozessen und von bestimmten, mit den programmspezifischen Arbeitsweisen verbundenen Lerneffekten. Dabei überwiegt ein qualitativer Ansatz, der sowohl die Individualität der Lernenden als auch die Inhalts- und Situationsabhängigkeit des Computereinsatzes berücksichtigt. Bei Arbeiten, die sich auf Unterricht unter Realbedingungen beziehen, ist häufig ein mehrperspektivischer Ansatz zu finden.

3.2 Multimediale Lernumgebungen

Die Entwicklung multimedialer Lernumgebungen ist eine noch sehr junge Arbeitsrichtung. Zahlreiche größere Projekte (u. a. auch einige der im Zuge des BMBF-Programms „Neue Medien in der Bildung“ geförderte) sind noch in der Abschlussphase oder es ist keine explizite Evaluation geplant, so dass nur in wenigen Fällen publizierte Berichte vorliegen. Im Folgenden werden die Studien von Backe-Neuwald/Volbracht (1999), Draschoff (1997; 2000), Hartmann (2002), Krivsky (2003), Ossimitz (2000), Weigand (2001) und Xylander (2003) einbezogen.

Akzeptanz: Draschoff (1997) untersucht die Akzeptanz von Telekolleg-Lernprogrammen bei Realschülern. Die Datenerhebung erfolgt mittels schriftlicher Befragung, teilnehmender Beobachtung bei der Arbeit mit einem Lernprogramm und anschließender Gruppendiskussion sowie offenen, teilstrukturierten Nachinterviews. Die Datenauswertung erfolgt inhaltsanalytisch, wobei sich die gewonnenen Kategorien direkt auf die Lernumgebung (Konstruktionsprinzipien bzw. Ausgestaltung einzelner Komponenten) beziehen. Auffallend für eine Akzeptanzstudie ist die lange Laufzeit von fünf Monaten, die Neugierkeits-effekte ausschließen soll.

Ossimitz (2000) erfasst die Akzeptanz von mathe-online in mehreren schriftlichen Befragungen mit standardisierten Fragebögen für Kursteilnehmer und -leiter. Sämtliche Items beziehen sich auf die Akzeptanz der Lernumgebung als Ganzes, so dass kein direkter Bezug zu einzelnen Elementen von mathe-online möglich ist. Die Auswertung erfolgt quantitativ über die Interpretation von Häufigkeiten, mit denen die Items hinsichtlich einer Ordinalskala bewertet werden. Die Befragung der Kursleiter liefert über die Akzeptanz hinaus Hinweise auf die (durch mathe-online nicht vorgegebene) Steuerung der Lernorganisation.

Xyländer (2003, 175ff.) erhebt die Akzeptanz einer Lernumgebung zur Mathematik für Studierende im Fach Chemie mittels zweier Fragebögen, die skalierbare Items enthalten. Erfasst werden Vorkenntnisse und Erwartungen sowie Erfahrungen von Studierenden nach einer längeren, durch konkrete Aufträge angeleiteten Arbeitsphase mit der Lernumgebung. Eine Vielzahl konkreter Fragen erlaubt Rückschlüsse auf einzelne Aspekte der Lernumgebung. Da lediglich fünf Personen befragt wurden, lassen sich allerdings nur Tendenzen erkennen.

Krivsky (2003, 133ff.) erhebt die Modul-spezifische Akzeptanz der Lernumgebung MathePrisma mit Hilfe zweier Online-Fragebögen für Lehrende und Lernende. Ergänzt wird dieser Teil der Untersuchung durch die Auswertung der Web-Server-Statistiken, die die Ansteuerung einzelner Programmelemente sowie die Verweildauer bei diesen Elementen erfassen. Schließlich setzt Krivsky Fragebögen nach dem schulischen Einsatz von MathePrisma in der 8. Jahrgangsstufe und in einer Grundvorlesung zur Mathematik ein. Die Daten zu den Items der Fragebögen, die Aspekte der inhaltlichen und technischen Akzeptanz umfassen, werden allein unter dem Gesichtspunkt der Häufigkeit ausgewertet, wobei die Items vorab nach ihrer Wertigkeit hinsichtlich der Kategorie Motivation skaliert werden.

Lernprozess und Lerneffekte: Die Untersuchung von Krivsky (2003) enthält über den Aspekt der Akzeptanz hinaus wenige Hinweise zur Lernorganisation und zu Lerneffekten. So zeigt sich etwa nach dem Einsatz in Klasse 8 die Übernahme der zum Schulbuch konkurrierenden fachlichen Notation von MathePrisma. Die Aussage, dass sich durch MathePrisma die „Lerninhalte leichter bei den Lernenden“ (ebd., 169) einprägen, bleibt dagegen eine durch die publizierten Evaluationsergebnisse nicht zu belegende These hinsichtlich der Effizienz des Programms.

Backe-Neuwald/Volbracht (1999) erhalten im Rahmen eines qualitativen, ansatzweise auch quantitativen, mehrfach vergleichenden Designs Hinweise über einzelne Aspekte des Lernprozesses in einer multimedialen Lernumgebung für die Primarstufe zur Schulung der räumlichen Orientierung. Untersucht werden Unterschiede im Lernprozess zwischen Kindern und Erwachsenen, zwischen dem Lernen in der Realität und der multimedialen Umgebung sowie in Abhängigkeit von den Vorerfahrungen der Kinder. Nach dem Arbeiten mit der Lernumgebung werden die Probanden interviewt und die Transkripte explorativ-paraphrasierend ausgewertet. Es zeigen sich unterschiedliche Strategien bei der Lösung konkreter Probleme sowie Defizite, die die multimediale Lernumgebung im Vergleich mit der Realität aufweist und die den Lernprozess wesentlich beeinflussen.

In einer größeren Studie evaluiert Draschoff (2000, 155ff.) eine multimediale Lernumgebung zur Trigonometrie, die unter Anwendung einer speziellen Lerntheorie („Konfliktinduzierung“) entwickelt wurde. Zur Erfassung des Lernprozesses werden die Äußerungen der Versuchspersonen beim Einsatz der Software aufgezeichnet („lautes Denken“) und die zugehörigen Bildschirminhalte protokolliert.

Die entsprechenden Transkripte werden inhaltsanalytisch mit einem Kategoriensystem ausgewertet, das den lerntheoretischen Hintergrund widerspiegelt. Die so gewonnenen Kategorien werden einerseits statistisch ausgewertet, andererseits qualitativ zu personenzentrierten Fallstudien zusammengefasst. Der Vergleich von Lerneffekten bei der Arbeit mit unterschiedlichen Varianten der Lernumgebung ist ein weiterer Bestandteil dieser Untersuchung. Dabei werden Lerneffekte von Versuchs- und Kontrollgruppe (jeweils Schüler in Klasse 10) nach einer Lernphase mit einem Papier- und Bleistift-Test gemessen. Die Einteilung in Versuchs- und Kontrollgruppe (Parallelisierung und Randomisierung) erfolgt aufgrund von Persönlichkeitsmerkmalen, die in einem Vortest erhoben werden. Die Lerneffekte werden nach verschiedenen Aspekten (wie Problemlöseverhalten oder Verständnistiefe) aufgeschlüsselt und zusätzlich in Abhängigkeit von den erhobenen Persönlichkeitsmerkmalen betrachtet. Aufgrund der geringen Probandenzahl ($n = 53$) lassen sich aber meist nur Tendenzen und kaum signifikante Unterschiede erkennen.

Weigand (2001) untersucht den Aspekt der Lernorganisation durch die Evaluation einer Veranstaltung im Rahmen des Lehramtsstudiums, bei der „das Internet als ein Werkzeug für die Kommunikation zwischen dem Dozenten, den Hilfskräften und Studierenden eingesetzt“ (ebd., 104) wird. Ausgewertet werden die E-Mail-Kommunikation und die Beiträge im veranstaltungsbegleitenden Diskussionsforum. Das Untersuchungsinteresse gilt der internetgestützten Kommunikation und ihrem Einfluss auf die Veranstaltung. Den theoretischen Rahmen bildet eine Kategorisierung von Kommunikationsarten (Appell, Diskussion, Dialog). Die Auswertung erfolgt sowohl quantitativ als auch qualitativ (explorativ-paraphrasierend).

Lerneffizienz: Die Lerneffizienz beim Arbeiten mit einer aufgrund von medienpsychologischen Erkenntnissen selbst entwickelten multimedialen Darbietungsform evaluiert Hartmann (2002) in einer kleineren Studie. Probanden sind Lehramtsstudierende, zur Anwendung gelangt ein klassisches methodenvergleichendes Design: Erhebung des Vorwissens mit darauf basierender Einteilung der Probanden in Gruppen, Unterweisung in Gruppen mit unterschiedlichen Methoden, Nachtest zur Messung des Lernerfolgs. Infolge der geringen Zahl von Probanden ($n = 144$), die auf eine Test- und fünf Kontrollgruppen verteilt werden, gibt es jedoch kaum signifikante Ergebnisse.

Zusammenfassung: Trotz unterschiedlicher Fragestellungen und Vorgehensweisen lassen sich auch hier Muster in den vorgestellten Evaluationsberichten erkennen. Der Schwerpunkt des Interesses besteht in der Untersuchung der Akzeptanz und (wie schon beim Computereinsatz in Mathematikunterricht und -studium; vgl. 3.1) in der Analyse der Lernprozesse und von Lerneffekten. Die sowohl mit qualitativen als auch quantitativen Methoden untersuchte Akzeptanz ist ein wesentlicher Aspekt der Evaluation multimedialer (und Lehrperson-unabhängiger) Lernumgebungen. So ist die Akzeptanz dieser Art von Lernkonzeptionen insbesondere Vor-

aussetzung für den Beginn eines orts- und zeitunabhängigen Lernprozesses. Evaluationsergebnisse zu Lernprozessen und -effekten zielen in beschreibender Form auf die prinzipielle Möglichkeit, mathematische bzw. mathematikdidaktische Inhalte in Form einer multimedialen Lernumgebung zu transportieren oder in den Mathematikunterricht zu implementieren. Dabei basieren die Untersuchungen mit differenzierten Forschungsergebnissen auf einem qualitativen Design. Die Lerneffizienz wird nur in einem Fall zentraler Bestandteil der Evaluation.

Weder die reinen Akzeptanzstudien noch die Analysen von Lernprozessen und -effekten geben Hinweise, *warum und durch welche Elemente* einer multimedialen Lernumgebung Lernprozesse angestoßen werden und einen bestimmten Verlauf nehmen sowie Lerneffekte ausgelöst werden. Dadurch fehlen Ansätze einerseits für konkrete Gütekriterien multimedialer Lernumgebungen und andererseits für die noch entwicklungsfähige Konzeption von Evaluationen. So geht auch aus den Untersuchungsberichten kaum hervor, welchen Einfluss die durchgeführten Evaluationsmaßnahmen jeweils auf die (Weiter-)Entwicklung der Lernkonzeption haben. Dementsprechend werden in der Regel Lernumgebungen evaluiert, deren Konzeption (und teilweise auch Fertigstellung) bereits abgeschlossen ist. Das Ziel der Evaluation besteht in einer allgemeinen, nachträglichen Beurteilung der Konzeption, und nicht in der Optimierung der Lernumgebung hinsichtlich explizit formulierter Ziele.

4 Evaluation im MaDiN-Projekt

Die von den Arbeitsgruppen aus Braunschweig und Würzburg im MaDiN-Projekt¹³ durchgeführten Evaluationsmaßnahmen sind durchweg entwicklungsbegleitend. Es handelt sich um *formative Evaluationen* (vgl. Tergan 2000, 25). Sie sind methodisch so angelegt, dass sie „relativ rasch relevante Daten für Entscheidungen liefern können“ (ebd., 25), denn das prinzipielle Ziel dieser Maßnahmen war „die Sicherung und Optimierung der [...] Qualität des jeweiligen Bildungsangebotes unter Berücksichtigung der gewählten Ziele, Qualitätskriterien und Rahmenbedingungen des vorgesehenen Einsatzes“ (ebd., 49). Konkret bedeutet dies neben der ständigen Verbesserung von MaDiN auch die Weiterentwicklung zugehöriger Lehrveranstaltungs-konzepte. Es ging also, um auf eine Unterscheidung von Fricke (2002) zurückzugreifen, nicht nur um eine Evaluation der Software, sondern vielmehr um eine Evaluation des Lernens mit der Software.

¹³ MaDiN (Mathematikdidaktik im Netz) ist eine internetbasierte Lernumgebung zur Unterstützung des Lehramtsstudiums Mathematik, in der die schulrelevanten Bereiche der Mathematik fachlich und didaktisch aufbereitet sind (vgl. Stein/Tietze/Weth/Weigand 2004).

Zentraler Aspekt ist dabei die Bewertung von Zielen, die mit dem MaDiN-Projekt verbunden sind. Diese Ziele sind bei MaDiN von der jeweiligen Arbeitsgruppe abhängig und repräsentieren die dort vorherrschenden Prinzipien der Lehramtsausbildung, die nicht zuletzt durch die Ausrichtung auf unterschiedliche Schulstufen verschiedene Schwerpunkte besitzen. Diese Prinzipien bilden den theoretischen Hintergrund für die Strukturierung und Aufbereitung der mathematischen und mathematikdidaktischen Inhalte für MaDiN, ergänzt durch mediendidaktische Überlegungen (z. B. zur Software-Ergonomie; vgl. Ludwig/Wittmann 2001 und die dort zitierte Literatur).

Die Evaluation von MaDiN sollte aufzeigen, in welcher Weise die Ziele des Projekts – hinter denen letztlich Ziele der Lehramtsausbildung stehen – erreicht werden. Daher durfte sie sich nicht auf reine Akzeptanzstudien oder eine Erhebung des Nutzerverhaltens beschränken, sondern sollte Arbeitsverhalten und auch Arbeitsergebnisse der Studierenden in einer internetgestützten Lehr-Lern-Umgebung sowie darüber hinaus ihre individuellen Vorstellungen und Einstellungen erfassen. Im Sinne einer formativen Evaluation wurden auf dieser Basis die Entwicklungsprinzipien bestätigt oder modifiziert. Während die interne Beurteilung, der Abgleich der Evaluationsergebnisse mit den Zielen von MaDiN, im Mittelpunkt der Untersuchungen steht, spielt die externe Beurteilung hinsichtlich der Effizienz keine Rolle.

Insbesondere der Ansatz, von individuellen (und damit interindividuell verschiedenen) Vorstellungen und Einstellungen auszugehen, bedingt eine prinzipielle Entscheidung für ein qualitatives Vorgehen, allgemein für ein verstehendes Paradigma der qualitativen (Sozial-)Forschung (vgl. Lamnek 1995, I, 42ff.; Spöhring 1989, 58ff.). Wesentlicher Gedanke der explorativ angelegten Evaluation ist es schließlich, den Projektverlauf empirisch begründet zu steuern und dabei „so offen wie möglich gegenüber neuen Entwicklungen und Dimensionen zu sein, die dann in die Generierung der Hypothesen einfließen können“ (Lamnek 1995, I, 23), wobei die Hypothesen hier als Steuerungshypothesen hinsichtlich der Entwicklung von MaDiN zu verstehen sind.

Das methodische Vorgehen aller Evaluationen orientiert sich an dem Ansatz der Einzelfallstudie (vgl. Lamnek 1995, II, 4ff.; Stage 2000) mit dem Ziel, durch die Analyse von Einzelfällen allgemeine Erkenntnisse und schließlich konkrete Entwicklungsaufträge für MaDiN zu gewinnen. Die Fallstudien basieren zwar auf einzelnen Lehrveranstaltungen in ihrer spezifischen Einzigartigkeit, beschränken sich aber nicht darauf, diese als solche zu beschreiben (vgl. zu dieser Forderung Lamnek 1995, II, 15ff.). Wesentlich hierfür ist die Theoriebezogenheit der Fallstudien. So werden in der vorliegenden Untersuchung beispielsweise hinter dem Lern- und Arbeitsverhalten einzelner Studierender immer wieder grundlegende Fragen der

Lehramtsausbildung im Fach Mathematik sichtbar. Die Bedeutung von Fallstudien liegt gerade darin, diese allgemeinen Aspekte zutage zu fördern.

5 Evaluation der Braunschweiger MaDiN-Arbeitsgruppe

Die folgende Darstellung bezieht sich auf die Evaluation der beiden in Braunschweig entwickelten MaDiN-Module zur Didaktik der Stochastik sowie zur Oberstufengeometrie (zur Konstruktion beider Module vgl. Eichler/Tietze 2004, zur Konstruktion der thematischen Zugänge Eichler 2004) und eines zusätzlichen Projekts zu einer Anfängervorlesung Analysis.

5.1 Ziele der MaDiN-Module

Für die Braunschweiger Module, die sich an Lehramtsstudierende in der ersten und zweiten Ausbildungsphase sowie darüber hinaus an Lehrerinnen und Lehrer und schließlich Dozenten im Bereich der Lehramtsausbildung richten, wurden folgende sechs grundsätzlichen Ziele formuliert (vgl. dazu Eichler 2003, zu allgemeinen Zielen multimedialer Lernangebote Dörr/Strittmatter 2002, 30f.):

1. Das zentrale Anliegen von MaDiN ist das Herausstellen eines *problemorientierten Zugangs* zu den behandelten Themenbereichen, über den die fachliche Erschließung eines Themas sowie die Beschäftigung mit eigenen Problemlöseprozessen angeregt werden soll.
2. Die für diese Problembearbeitung notwendige fachliche Grundlage soll einschließlich der didaktischen Erörterung des Themenumfeldes als Basiswissen integriert werden und einen eigenen, *theorieorientierten Zugang* ermöglichen.
3. Beide Zugänge sollen individuelles Lernen durch interaktive Steuerungsmöglichkeiten hinsichtlich der Informationsauswahl ermöglichen.
4. Die Möglichkeit der aktiven Wissenskonstruktion soll insbesondere durch interaktive Elemente realisiert werden, mit denen sich ein Nutzer entdeckend Begriffen, Methoden oder auch Problemkontexten nähern kann.
5. Beide Zugänge sollen anwendungsorientiert sein. Beispiele und Probleme sollen möglichst aus der Realität stammen.
6. Neben vorgefertigten Elementen, zu denen auch die interaktiven gehören, sollen Handlungsaufforderungen geschaffen werden, um die eigene Rechnerkompetenz zu erhöhen. Das umfasst einerseits die Daten-Recherche im Internet, andererseits den Einsatz von begleitender Software.

Die Evaluation bezieht sich primär auf die Ziele 1 bis 4.

5.2 Rahmenbedingungen und Ziele der Evaluation

Um einen Ansatz zur Bewertung der oben genannten Ziele bzw. ihrer Umsetzung in MaDiN zu erhalten, wurde die Gesamtevaluation mit unterschiedlichen Einsatzorten und -szenarien in vier Abschnitte unterteilt (Tabelle 1).

Für die einzelnen Teilevaluationen sind folgende Forschungsfragen maßgeblich:

1. Welche technischen und inhaltlichen Entwicklungen von MaDiN fördern oder behindern den Umgang mit der Lernumgebung?
2. Welche Elemente der Lernumgebung werden aus welchem Grund innerhalb der verschiedenen Einsatzszenarien verwendet?
3. Gibt es Veränderungen im Lernen bezogen auf die traditionelle Lehre?

Teilmodul	Einsatzort	Einsatzszenario	Zugang
Didaktik der Stochastik	Hauptseminar	Selbstlernen	theorie- und problemorientiert
Didaktik der Oberstufengeometrie	Hauptseminar	Nachbereitung des Seminars, Unterrichtsvorbereitung,	theorie-, problem- und beispielorientiert
Analysis	Vorlesung und Übung	Nachbereitung der Vorlesung, Vorbereitung eines Vortrags	theorie- und beispielorientiert
Wahrscheinlichkeitsrechnung	Übung	Einsatz in der Übung (Demonstration)	beispielorientiert

Tabelle 1: Einteilung der Evaluation durch die Braunschweiger MaDiN-Arbeitsgruppe

5.3 Evaluationsmethoden

Im ersten Abschnitt der Evaluation (siehe Tabelle 1) konzentrierte sich die Analyse auf die Bewertung von thematischen Zugängen (theorie- und problemorientierter Zugang). Die Aufgabenstellung war dabei z. T. offen, d. h. es wurde eine Aneignung didaktischen und fachtheoretischen Wissens ohne nähere Beschränkung gefordert, z. T. aber auch zielgerichtet durch die Vorgabe, sich mit einer Problemstellung zu befassen. Die im weiteren Entwicklungsverlauf von MaDiN verwertbaren Evaluationsdaten wurden dabei erhoben durch

- einen Fragebogen zu Voraussetzungen hinsichtlich des Rechnergebrauchs sowie der fachlichen Vorbildung;
- eine offene schriftliche Befragung nach Abschluss des Einsatzes von MaDiN, in dem auf eine fiktive Frage eines Interessenten, welche Möglichkeiten das Modul bietet, geantwortet werden sollte;

- ein im Sinne der vier Fragekategorien halbstrukturiertes Interview nach Abschluss des Einsatzes von MaDiN;
- einen kurzen Wissenstest nach Abschluss des Einsatzes von MaDiN.

Die Daten wurden anonym erhoben, um dem methodischen Problem eines potenziellen Abhängigkeitsverhältnisses zu begegnen (vgl. Tergan 2000, 27). Das halbstrukturierte Interview wurde von studentischen Hilfskräften geführt.

Die *offene schriftliche Befragung* hatte in der Evaluationskonstruktion die Funktion, Kategorien für die Beurteilung von (vorher nicht absehbaren) Aspekten von MaDiN herauszuarbeiten. Ein weit ausgearbeitetes Verfahren für ein im Grunde texthermeneutisches Vorgehen (vgl. dazu Danner 1998) zum Gewinnen von Einzelfall-übergreifenden Erkenntnissen besteht in dem Ansatz der Typenbildung nach Kelle/Kluge (1999), der hier bewusst auf die Fallkontrastierung verkürzt wurde.

Die empirisch entwickelten Kategorien sind mit den theoretisch entwickelten zu einem Korsett für die Entwicklung von halbstrukturierten *Leitfadeninterviews* sowie für die Auswertung der (verbalen) Daten aller folgenden Evaluationsschritte verbunden worden. Sie umfassen die Auswahl von Modul-Elementen und die Begründung der Auswahl hinsichtlich der technischen und inhaltlichen Informationsaufbereitung (vgl. Eichler 2001).

Die Auswertung der Daten orientiert sich an dem von Mayring entwickelten Leitfaden zur *qualitativen Inhaltsanalyse* (vgl. Mayring 2002). So wurden in den erhobenen Daten „inhalts tragende“ Textstellen identifiziert, den Vorab-Kategorien zugeordnet, paraphrasiert und schließlich zu fallübergreifenden Aussagen höherer Abstraktion verdichtet. In der abschließenden Analyse wurden wiederum aus diesen Aussagen Kategorien im Sinne eines konkreten Entwicklungsauftrags für MaDiN herausgearbeitet.

Dieses prinzipielle methodische Verfahren wurde im zweiten Evaluationsschritt variiert. Dort wurde das halbstrukturierte Leitfadeninterview zweifach, nach dem ersten Einsatz von MaDiN und nach Beendigung des gesamten Einsatzes, verwendet. Dadurch ergab sich einerseits die fallübergreifende Analyse, andererseits der Ansatz einer Längsschnittstudie, innerhalb der das betreffende Modul erheblich weiterentwickelt wurde. Im Rahmen dieses Evaluationsschrittes wurde weiterhin der Bezug zu den Vorerfahrungen der MaDiN-Nutzer hergestellt.¹⁴

Erweitert wurde das methodische Konzept durch Verfahren, die Lerneffekte durch den Umgang mit MaDiN beleuchten sollten. Dazu gehören ein Wissenstest, bezogen auf nichtalgorithmische Fragen zu Begriffen und Methoden der beschreibenden Statistik, im ersten Evaluationsschritt sowie Klausuraufgaben im zweiten und

¹⁴ Die Konstruktion und die Ergebnisse dieses Evaluationsschrittes sind Bestandteil einer Projektarbeit von Christine Kaatz (2003, unveröffentlicht).

vierten Evaluationsschritt, die speziell auf die visuellen Darstellungsmöglichkeiten der Module von MaDiN zielten. Die Analyse der Tests bzw. Klausuren erfolgte insbesondere für die Antworttexte qualitativ und für die Bewertung im Rahmen der Punktevergabe für die entsprechenden Aufgaben quantitativ.

5.4 Evaluationsergebnisse

Der Erkenntnisgewinn der entwicklungsbegleitenden, formativen Evaluationen darf nicht unterschätzt werden; er hat die Entwicklung von MaDiN entscheidend gesteuert. Da die Evaluationsergebnisse weitgehend veröffentlicht sind, wird im Folgenden nur ein Überblick mitsamt der Einordnung in die wesentlichen Aspekte einer multimedialen Lernumgebung gegeben werden.

Akzeptanz: Hinsichtlich der Akzeptanz der grafischen und textlichen Gestaltung ergaben sich keine Änderungen der Entwicklungsaufträge. Anders ist dies bei der inhaltlichen Akzeptanz: Hier führte die Evaluation zu einer starken Reduzierung der Seitentexte sowie zu einer Tiefenstaffelung der Informationen in Form von „Topic und Comment“ (vgl. Schnotz 2000, 72). Diese umfasst die Aufteilung in sichtbare, überblicksartige Informationen zu einem Thema, die mit zunächst nicht sichtbaren Zusatz-Informationen verlinkt sind (vgl. Eichler 2004).

Lernorganisation: Die Aufteilung der Information berührt bereits den Aspekt der Lernorganisation. So bedingt die adäquate Informationsaufteilung sowohl innerhalb einzelner Seiten als auch zwischen verschiedenen Seiten erst die angemessene Lernorganisation beim Umgang mit einer multimedialen Lernumgebung. Die Ergebnisse der Evaluation haben weiterhin zu einer vollständigen Reorganisation des problemorientierten Zugangs insbesondere durch die Neugestaltung des dort integrierten Systems von Hilfestellungen geführt (vgl. Eichler 2001 und 2004). Ein weiterer wesentlicher Erkenntnisgewinn ist in der Intensivierung der Entwicklung interaktiver Elemente als Visualisierung zentraler Ideen eines Themenkomplexes zu sehen (vgl. Eichler/Tietze 2004).

Lerneffekte: Die differenzierte Beurteilung, ob und welche Lerneffekte zu verzeichnen sind, ist schwierig im Gegensatz zu der generalisierenden Aussage, dass ein Lernzuwachs mit der Verwendung von MaDiN möglich ist. Auch die Analysen der Tests und Klausuren lassen nur sehr vage Hypothesen zu hinsichtlich der Verschiebung von formalen zu visuellen Begriffsdeutungen. Sehr viel entscheidender ist hier die im letzten Punkt angesprochene konzeptionelle und strukturelle Entwicklung von MaDiN, die Lerneffekte (bezogen auf MaDiN) erst ermöglicht. Für die Bewertung von Lerneffekten, die auf der theoretischen Konzeption der Zugänge zu MaDiN basieren, ist die momentane Datenlage nicht ausreichend.

6 Evaluation der Würzburger MaDiN-Arbeitsgruppe

Das Modul zur Didaktik der Geometrie – es richtet sich an Studierende des Lehramts für die Sekundarstufe I – war das erste in Würzburg entwickelte Modul und stand deshalb im Mittelpunkt der Evaluation. Im Folgenden wird die Evaluation in die eingangs beschriebenen Kategorien eingeordnet (für eine ausführlichere Darstellung von Methoden und Ergebnissen vgl. Wittmann 2003).

6.1 Ziele des MaDiN-Moduls

Mit einer Lehrveranstaltung zur Didaktik der Geometrie werden zunächst *fachbezogene Ziele* verfolgt. Sie lassen sich im Wesentlichen in zwei Kategorien teilen:

- Die Studierenden sollen *Kenntnisse* über Ziele, Inhalte und Methoden des Geometrieunterrichts sowie über Lernprozesse im Geometrieunterricht *erwerben*.
- Die Studierenden sollen darüber hinaus Ziele, Inhalte und Methoden des Geometrieunterrichts sowie Lernprozesse im Geometrieunterricht *reflektieren* und letztlich ein *adäquates Bild* von Geometrie und Geometrieunterricht *erwerben*.

Speziell hinter der zweiten Kategorie steht der Gedanke, dass im Lehramtsstudium nicht nur „statisches“ (und häufig auch „träges“) Wissen angehäuft, sondern die Basis für ein lebenslanges Lernen der zukünftigen Lehrer gelegt werden soll (vgl. für die Primarstufe Krauthausen 1998 und für die Sekundarstufe GDM/DMV 2001). Hinzu kommen *allgemeine Ziele* eines Lehramtsstudiums (wie Medienkompetenz oder Diskussionsfähigkeit).

Das Modul zur Didaktik der Geometrie ist primär für einen vorlesungsbegleitenden Einsatz konzipiert – davon ausgehend, dass klassische Vorlesungen auch weiterhin ein wesentliches Element eines Hochschulstudiums bilden – und soll zusätzlich zur Vorlesung weitere Lernangebote bereitstellen. Derartige Einsatzvarianten werden auch als „Hybrid-Modelle“ oder „Blended Learning“ bezeichnet.

6.2 Rahmenbedingungen und Ziele der Evaluation

Eine Evaluation des Moduls Didaktik der Geometrie kann also nicht isoliert für sich erfolgen, sondern stets nur im Kontext einer Lehrveranstaltung. Den Rahmen der Evaluation im WS 2002/03 bildeten zwei Vorlesungen zur Didaktik der Geometrie für Studierende des Lehramts an Haupt- und Realschulen an der Universität Würzburg und der PH Weingarten.

Die Problematik der Evaluation liegt nun darin, dass die Ziele der Lehrveranstaltung nur teilweise einfach abzu prüfende „Wissensziele“ sind. Gerade diejenigen Ziele, die in besonderer Weise mit dem Einsatz der multimedialen Wissensbasis und des Diskussionsforums verknüpft sind, beziehen sich auf überwiegend langfristige Prozesse. Hier kann im Rahmen der Evaluation lediglich erfasst werden, ob

diese Prozesse angestoßen werden. Für die Evaluation waren deshalb folgende *Leitfragen* maßgeblich:

- Welche Lernangebote von MaDiN nehmen die Studierenden an und wie nutzen sie diese?
- Wie beschreiben Studierende ihr Lern- und Arbeitsverhalten im Rahmen einer solchen internetgestützten Lehrveranstaltung?
- Welche Veränderungen sehen sie im Vergleich zu einer traditionellen Lehrveranstaltung?

6.3 Evaluationsmethoden

Wesentliches Evaluationsinstrument waren *zwei Staffeln offener Einzelinterviews*, zunächst mit sechs Studierenden der Universität Würzburg im Dezember 2002 und später mit neun Studierenden der PH Weingarten im Februar 2003. Aufgrund des zeitlichen Abstands beider Staffeln konnten die Ergebnisse der ersten sechs Interviews in die Planung der neun folgenden Interviews einfließen.

Alle Interviews wurden als *Fremdinterviews* durchgeführt. Der Interviewer war den Studierenden bis dato nicht bekannt, er wurde ihnen als Mitglied des Entwicklungsteams vorgestellt. Durch das Ziel, MaDiN zu verbessern, war ein gemeinsamer Rahmen für das Interview vorgegeben.

Die Interviews waren als *Leitfadeninterviews* konzipiert (vgl. Bortz/Döring 2002, 308ff.; Lamnek 1995, 35ff.): Die anzusprechenden Themen waren durch den Leitfaden vorgegeben, die Reihenfolge und die exakte Formulierung der Fragen verblieb jedoch beim Interviewer, der bei Bedarf auch durch gezieltes Nachfrage eine Klärung von Aussagen herbeiführen konnte.

Entsprechend den Evaluationszielen umfassen die Interviewtranskripte inhaltlich drei verschiedene Ebenen:

- eine sachbezogene *Beschreibung des Lern- und Arbeitsverhaltens* der Studierenden im Rahmen der betreffenden Lehrveranstaltung,
- eine *Schilderung von Gefühlen* der Studierenden während und im Umfeld der Lehrveranstaltung,
- die rückblickende *Reflexion* dieser Erfahrungen.

Die Auswertung der Transkripte geschah auf dem Wege einer qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Bortz/Döring 2002, 329ff.; Lamnek 1995, 172ff.; Mayring 2002, 82ff.). Hiermit wurden zwei Ziele verfolgt: die *Strukturierung* der Äußerungen sowie ihre *Paraphrasierung*.

Weitere *qualitative Daten* lieferten die Beiträge der Studierenden im Diskussionsforum sowie ihre Klausuren: Sie wurden im Hinblick auf die Argumentationsstruktur (eindimensional versus komplex) und den Reflexionsgrad der Beiträge (naiv

versus reflektiert) ausgewertet. Diese Informationen konnten die Ergebnisse der Interviews ergänzen und validieren.

Die erhobenen Daten wurden in zweifacher Hinsicht betrachtet:

- Eine *personenzentrierte Analyse* lieferte für jeden der Studierenden ein „Profil“ seiner individuellen Lern- und Arbeitsweisen.
- Eine *personenvergleichende Analyse* basierte auf dem Inbeziehungsetzen gleicher Kategorien über verschiedene Studierende hinweg (im Sinne einer Fallkontrastierung; vgl. Kelle/Kluge 1999, 54ff.). Sie zeigt das Spektrum auftretender Lern- und Arbeitsweisen sowie mögliche Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen zwischen verschiedenen Ausprägungen derselben Kategorien auf.

6.4 Evaluationsergebnisse

Die Evaluationsergebnisse werden – geordnet nach dem schon in 3 und 5.4 angewendeten Kategoriensystem – zusammenfassend dargestellt.

Akzeptanz: Die Akzeptanz sowohl der Texte (Länge und Verständlichkeit) als auch der anderen multimedialen Elemente ist in Bezug auf ihre Gestaltung sehr gut. Die inhaltliche Akzeptanz hängt einerseits davon ab, ob sich ein unmittelbarer Schulbezug erkennen lässt, andererseits von den Vorkenntnissen der Studierenden. Beide Faktoren erhöhen die inhaltliche Akzeptanz.

Lernorganisation: Dieser Aspekt stand im Mittelpunkt der Evaluation. Auf individueller Ebene konnten über die rein deskriptive Ebene hinaus auch Zusammenhänge zwischen der Lernorganisation von Studierenden und ihrer Einstellung zum Studium aufgezeigt werden.

- Die beiden evaluierten Lehrveranstaltungen werden als arbeitsaufwändiger, aber auch ertragreicher eingestuft als andere. Der Einsatz des Internets kann also zu einer inhaltlichen „Verdichtung“ des Lehramtsstudiums führen.
- Nicht alle Studierende verfügen über eine adäquate Hardwareausstattung und nötige Vorkenntnisse im Umgang mit dem Internet. In diesen Fällen ist der Aufwand zur Informationsbeschaffung häufig unverhältnismäßig hoch.
- Beim Lösen der Übungsaufgaben und der Vorbereitung von Klausuren stützen sich die Studierenden im Wesentlichen auf die eigene Mitschrift aus der Vorlesung, die entsprechenden Seiten in MaDiN und die Freitextsuche im WWW per Suchmaschine. Hinzu kommen noch vereinzelt Schulbücher oder andere Materialien. Kein einziger der befragten Studierenden nutzte die Literaturangaben in MaDiN, um aus Anlass der Lehrveranstaltung die Hochschulbibliothek zu besuchen. Weite Bereiche der fachdidaktischen Literatur erscheinen den Studierenden praxisfern und schwer verständlich.

- Während ein Teil der Studierenden sehr motiviert ist, besitzt ein anderer Teil eine vergleichsweise geringe fachspezifische Motivation, verbunden mit einer engen Vorstellung von Mathematikdidaktik, die beinahe alles als praxisfern ablehnt, was nicht eine unmittelbare Anleitung zum Unterrichten darstellt. Insgesamt zeigt sich eine deutliche Differenz zwischen den in der Literatur geforderten Zielen der Mathematiklehrerbildung und den Erwartungen, die ein Teil der Studierenden an das Lehramtsstudium richtet.

Lerneffekte: Lerneffekte im Sinne eines Zuwachses an fachdidaktischem Wissen lassen sich mit dieser Form der Evaluation nicht unmittelbar erfassen. Deutlich wird aber, dass – nicht zuletzt aufgrund des Einsatzes von MaDiN – Reflexionsprozesse (etwa zur Sichtweise der Studierenden auf den Unterricht) angestoßen werden können. Das Ergebnis dieser Reflexionsprozesse und die Frage der Nachhaltigkeit über die erste Phase der Lehramtsausbildung hinaus bleiben allerdings offen. Die Evaluation liefert aber über die Erfassung der Lernorganisation Hinweise darauf, wie Lernumgebungen gestaltet werden müssen, damit sie überhaupt Impulse für einen tiefer gehenden Lernprozess bei den Studierenden liefern können.

7 Ausblick

Betrachtet man die diskutierten Evaluationsberichte zum rechnergestützten Unterricht und zu multimedialen Lernumgebungen, so erkennt man bei ersteren eine starke Fokussierung auf Lernprozesse und Lerneffekte. Insbesondere wird die Interaktion zwischen Mensch und Rechner sowie die daraus resultierende, möglicherweise im Vergleich zum herkömmlichen Unterricht geänderte Begriffsbildung untersucht. Akzeptanzfragen sind dagegen in jederzeit durch die Lehrperson korrigierbaren Lernkonzeptionen nachrangig. Die Untersuchungen in diesem Bereich sind damit den Evaluationen multimedialer Lernumgebungen quasi um einen Schritt voraus. So verbleiben letztere entweder bei der unerlässlichen Bewertung der Akzeptanz dieser Art von Lernkonzeptionen oder enthalten lediglich allgemeine Analysen zum Lernprozess und Lerneffekten.

Eine in der hier vorgestellten Evaluation von MaDiN enthaltene Weiterentwicklung der Evaluation besteht in dem Erklärungsversuch, warum die Konzeption einzelner Modul-Elemente aus Nutzersicht bestimmte fördernde oder behindernde Auswirkungen auf den Lernprozess als Ganzes haben.

Der Erkenntnisgewinn einer Evaluation ist offenbar abhängig von ihrer methodischen Konzeption. Für weitere Entwicklungs- und Evaluationsansätze multimedialer Lernumgebungen ergeben sich deshalb folgende thesenartig formulierte Forderungen:

- Für die Konzeptionen neuer multimedialer Lernumgebungen ist die Auseinandersetzung mit bisherigen Evaluationsberichten wichtig. Dieser Schritt scheint selbstverständlich zu sein, fehlt aber in zahlreichen vorgestellten Arbeiten.
- Zukünftige Evaluationen sollten die Ergebnisse zur Akzeptanz, zum Lernprozess und zu Lerneffekten in einen empirisch begründeten Kriterienkatalog für die Güte multimedialer Lernumgebungen verdichten. Ein solcher Kriterienkatalog könnte einerseits die konzeptionelle Entwicklungsarbeit erheblich entlasten und andererseits als heuristischer Rahmen von Evaluationsmaßnahmen dienen.
- Quantitative Methoden können Aspekte der Akzeptanz und bisher noch nicht geleistete Bewertungen von eng umrissenen Lerneffekten, bei denen eine Variablenkontrolle zumindest annähernd gewährleistet ist, beleuchten.
- Für ein differenziertes Verstehen von Lernprozessen und -effekten multimedialer Lernumgebungen sowie von individuellen Sinnzuschreibungen sind allein qualitative Methoden aussichtsreich. Nur sie besitzen das Potenzial, die Bedeutung von Konstruktionsprinzipien für multimediale Lernumgebung und insbesondere von einzelnen Elementen einer Lernumgebung für das individuelle Arbeiten zu erschließen. Entsprechende Studien zum Rechneinsatz im Mathematikunterricht wurden hier diskutiert.
- Eine Bewertung der Lerneffizienz, die aus dem Vergleich herkömmlicher mit multimedialen Lernkonzeptionen resultiert, ist unfruchtbar. Multimediale Lernumgebungen treten – angesichts der Durchdringung vieler Lebensbereiche und damit auch des Bildungssektors mit modernen Kommunikations- und Informationstechnologien – nicht in Konkurrenz zum Lernen ohne Computer, sondern stellen eine notwendige Erweiterung von traditionellen Verfahren dar.

Methodologisch orientierte Literatur

- Baumgartner, P. (1997): Evaluation vernetzten Lernens: 4 Thesen. In: Simon, H. (1999) (Hrsg.): *Virtueller Campus. Forschung und Entwicklung für neues Lehren und Lernen*. Waxmann: Münster, 131–146
- Baumgartner, P. (1999): 10 Todsünden in der Medienevaluation interaktiver Lehr- und Lernmedien. In: Lehmann, K. (1999) (Hrsg.): *Studieren 2000. Alte Inhalte in neuen Medien?* Waxmann: Münster, 199–220
- Beck, C./Maier, H. (1994): Zu Methoden der Textinterpretation in der empirischen mathematikdidaktischen Forschung. In Maier, H./Voigt, J. (1994) (Hrsg.): *Verstehen und Verständigung. Arbeiten zur interpretativen Unterrichtsforschung. IDM Untersuchungen zum Mathematikunterricht*. Band 19. Aulis: Köln, 43–76
- Bortz, J./Döring, N. (1995): *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Springer: Berlin/Heidelberg/New York
- Danner, H. (1998): *Methoden geisteswissenschaftlicher Methodik*. Mohr: Tübingen
- Fricke, R. (1995): *Evaluation von Multimedia. Arbeiten aus dem Institut für Empirische Pädagogik und Instruktionspsychologie*. Bericht Nr. 15. TU Braunschweig

- Fricke, R. (2002): Evaluation von Multimedia. In: Issing/Klimsa (2002), 445–463
- Götz, K. (1999): Zur Evaluierung beruflicher Weiterbildung. Bd 1. Theoretische Grundlagen. Beltz: Weinheim
- Kelle, U./Kluge, S. (1999): Vom Einzelfall zum Typus. Leske + Budrich: Opladen
- Krummheuer, G. (1993): Orientierungen für eine mathematikdidaktische Forschung zum Computereinsatz im Unterricht. In: Journal für Mathematikdidaktik 14(1), 59–92
- Lamnek, S. (1995): Qualitative Sozialforschung. 2 Bde. Beltz/PVU: Weinheim
- Mayring, P. (2002): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Beltz: Weinheim/Basel
- Rossi, P. H./Fremann, H. E./Hofmann, G. (1988): Programm-Evaluation. Einführung in die Methoden angewandter Sozialforschung. Enke: Stuttgart
- Spöhring, W. (1989): Qualitative Sozialforschung. Teubner: Stuttgart
- Stage, R. E. (2000): Case Studies. In: Denzin, N. K./Lincoln, Y. S. (2000) (Hrsg.): Handbook of Qualitative Research. Sage: Thousand Oaks/London/New Delhi, 435–508
- Schulmeister, R. (2002): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design. Oldenbourg: München
- Tergan, S.-O. (2000): Grundlagen der Evaluation: Ein Überblick. In: Schenkel, P./Tergan, S.-O./Lottmann, A. (2000) (Hrsg.): Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. BW-Verlag: Nürnberg, 22–51.
- Wottawa, H./Thierau, H. (1998): Lehrbuch Evaluation. Hans Huber: Bern

Projekt- und Untersuchungsberichte

- Backe-Neuwald, D./Volbracht, S. (1999): Computereinsatz im Geometrieunterricht der Primarstufe. „Das Stadtspiel“ – Eine virtuelle Umgebung. In: mathematica didactica 22(1), 97–116
- Barzel, B. (2005): „Offener Unterricht? Rechner? ... Dafür bleibt keine Zeit ...“. Erscheint in: Beiträge zum Mathematikunterricht 2005
- Bauch, M. J./Ehman, C./Schlegel, D. (2004): Die Eingangsbefragung im Rahmen von math-kit – Benutzerprofile von Studienanfängern im Hinblick auf den Multimedia-Einsatz in der Hochschullehre. Schriftenreihe math-kit. Heft 7. Universität Bayreuth
- Biehler, R. (2004): MUFFINS in Klasse 13 – Evaluation eines Unterrichtsexperiments zur anwendungsbezogenen Statistik. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 2004, 93–96
- Büchter, A./Preussler, A./Herdeegen-Schickhaus, M. (2002): Abschlussbericht der projektspezifischen Evaluation des BLK-Modellversuchs „Selbstlernen in der gymnasialen Oberstufe Mathematik – SelMa“. Unveröffentlichter Projektbericht. Institut für Schulentwicklungsforschung. Universität Dortmund
- Christl, M. (2001): Kugelgeometrie mit dem Computer. In: Der Mathematikunterricht 47(5), 43–53
- Draschoff, S. (1997): Akzeptanz von Telekolleg-Lernprogrammen bei Schülern. Explorationsstudie im Rahmen einer Evaluation von Lernsoftware im Telekolleg Mathematik. In: mathematica didactica 20(2), 24–44
- Draschoff, S. (2000): Lernen am Computer durch Konfliktinduzierung. Gestaltungsempfehlungen und Evaluationsstudie zum interaktiven computerunterstützten Lernen. Waxmann: Münster
- Eichler, A. (2001): Neue Wege in die Beschreibende Statistik? Entwicklung und Evaluation einer virtuellen Lehr- und Lernumgebung. In: mathematica didactica 24(1), 94–116

- Eichler, A. (2003): MaDiN – Teaching School Mathematics using the web. In: Proceedings of the IASE satellite conference on Statistics Education – Statistics Education and the Internet 2003 (CD-ROM)
- Eichler, A. (2004): Problemorientiertes und interaktives Lernen und Lehren von Stochastik im Netz. In: Biehler, R./Engel, J./Meyer, J. (2004) (Hrsg.): Neue Medien und innermathematische Vernetzungen in der Stochastik. Anregungen zum Stochastikunterricht. Bd. 2. Franzbecker: Hildesheim, 91–106.
- Gawlick, T. (2000): Zum Erwerb geometrischer Grundbegriffe mit bzw. ohne DGS im regulären Mathematikunterricht. In: Herget, W./Sommer, R. (2000) (Hrsg.): Lernen im Mathematikunterricht mit neuen Medien. Franzbecker: Hildesheim, 45–53
- Gawlick, T. (2002): On Dynamic Geometry Software in the Regular Classroom. In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik 34(3), 85–92
- Grogger, G. (1995): Der Einsatz von Derive im Mathematikunterricht an allgemeinbildenden höheren Schulen in Österreich. Ergebnisse einer bundesweiten Schülerbefragung im Schuljahr 1993/94. ZSE Report Nr. 6. Zentrum für Schulentwicklung: Graz [<http://schulen.eduhi.at/derive/schueler.pdf>] (22.03.2005)
- Hartmann, M. (2002): Eine Untersuchung zur Lernwirksamkeit einer multimedialen Instruktionsform. Medienpsychologie als Grundlage einer effektiveren Vermittlung mathematischer Inhalte. In: *mathematica didactica* 25(2), 65–81
- Henn, H.-W. (1996): Schulversuche zum Einsatz von Computer-Algebra-Systemen in Baden-Württemberg. In: *mathematica didactica* 19(2), 18–27
- Herden, G./Pallack, A. (2001): Vergleich von rechnergestützten Programmen zur Bruchrechnung – Nachhilfellehrer Computer. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 22(1), 5–28
- vom Hofe, R. (1998): Probleme mit dem Grenzwert – Genetische Begriffsbildung und geistige Hindernisse. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 19(4), 257–291
- vom Hofe, R. (1999): Explorativer Umgang mit Funktionen – Interaktion und Kommunikation in selbstorganisierten Arbeitsumgebungen. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 20(2/3), 186–221
- Hölzl, R. (1994): Im Zugmodus der Cabri-Geometrie. Interaktionsstudien und Analysen zum Mathematiklernen mit dem Computer. Deutscher Studien Verlag: Weinheim
- Hölzl, R. (1999): Qualitative Unterrichtsstudien zur Verwendung dynamischer Geometrie-Software. Wißner: Augsburg
- Jungwirth, H. (1994): Mädchen und Buben im Computerunterricht – Beobachtungen und Erklärungen. In: *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 26(2), 41–48
- Kreutzkamp, T./Wolpers, H. (1997): Software für die Bruchrechnung. In: *mathematica didactica* 20(2), 45–60
- Krivsky, S. (2003): Multimediale Lernumgebungen in der Mathematik. Hildesheim: Franzbecker
- Krummheuer, G. (1989): Die menschliche Seite am Computer. Studien zum gewohnheitsmäßigen Umgang mit Computern im Unterricht. Deutscher Studienverlag: Weinheim
- Ludwig, M./Wittmann, G. (2001): Eine internetgestützte Wissensbasis zur Didaktik der Geometrie. Entwicklung und Pilotstudie. In: *mathematica didactica* 24(1), 82–92
- Maczey, D. (2002): Ein Projekt zum Einsatz von Software für Dynamische Geometrie (DGS) in der Lehramts-Ausbildung. Ein Zwischenbericht. In: Bender, P./Herget, W./Weigand, H.-G./Weth, T. (2002) (Hrsg.): Lehr- und Lernprogramme für den Mathematikunterricht. Hildesheim: Franzbecker, 116–122

- Nocker, R. (1994): Veränderungen des Methodeneinsatzes im Mathematikunterricht durch die Verwendung eines Computeralgebrasystems. Austrian Center for the Didactics of Computer Algebra [<http://schulen.eduhi.at/derive/methoden.pdf>] (22.03.2005)
- Ossimitz, G. (2000): Gesamtbericht zur Evaluation von mathe-online. [www.mathe-online.at/zweiterbw/dokumente/enderber.pdf] (22.03.2005)
- Pallack, A. (2002): Nachhilfelehrer Computer – Untersuchungen zum unterrichtsbegleitenden Rechneinsatz im Bruchrechnenunterricht. Franzbecker: Hildesheim
- Schaumburg, H./Issing, L. J. (2002): Lernen mit Laptops. Ergebnisse einer Evaluationsstudie. Bertelsmann Stiftung: Gütersloh
- Schneider, E. (1999): Analysisausbildung mit dem Computer. In: *mathematica didactica* 22(1), 50–77
- Svecnik, E. (1995): Der Einsatz von Derive im Mathematikunterricht an allgemeinbildenden höheren Schulen in Österreich. Ergebnisse einer bundesweiten Lehrerbefragung im Schuljahr 1993/94 sowie vergleichende Darstellung mit Ergebnissen einer Schülerbefragung. ZSE Report Nr. 12. Zentrum für Schulentwicklung: Graz [<http://schulen.eduhi.at/derive/lehrer.pdf>] (22.03.2005)
- Stein, M./Tietze, U.-P./Weigand, H.-G./Weth, T. (2004): Das Projekt MaDiN. In: *Mitteilungen der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 12(2), S. 112–115
- Eichler, A./Tietze, U.-P. (2004): Die Bedeutung des Rechners für eine problemorientierte Lehre – am Beispiel Oberstufengeometrie und Stochastik. In: *mathematica didactica* 27(2), 39–63
- Weigand, H.-G. (1997): Beobachtungen von Lernenden beim heuristischen Arbeiten mit Ortslinien. In: Hischer, H. (1997) (Hrsg.): *Geometrie und Computer. Suchen, Entdecken und Anwenden*. Franzbecker: Hildesheim, 59–65
- Weigand, H.-G. (1999): Eine explorative Studie zum computerunterstützten Arbeiten mit Funktionen. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 20(1), 28–54
- Weigand, H.-G. (2001): Internet-gestützte Kommunikation in der Lehramtsausbildung. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 22(2), 99–122
- Wittmann, G. (2003): Wie lernen Studierende in internetgestützten Lernumgebungen? Erscheint in: Bender, P. (2003) (Hrsg.): *WWW und Mathematik – Lehren und Lernen im Internet*. Franzbecker: Hildesheim
- Xylander, B. (2003): Veranschaulichung und Gruppentheorie und das gruppentheoretische Lehrmaterial Symmetrie Molekularer Strukturen. Dissertation, Universität Halle-Wittenberg

Weitere Literatur

- Dörr, G./Strittmatter, P. (2002): Multimedia aus pädagogischer Sicht. In: Issing/Klimsa (2002), 29–42
- DMV/GDM (2001): Vorschläge zur Ausbildung von Mathematiklehrerinnen und -lehrern für das Lehramt an Gymnasien in Deutschland. DMV/GDM-Denkschrift zur Lehrerausbildung. In: *GDM-Mitteilungen* 72, 34–42
- Issing, L. J./Klimsa, P. (2002) (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. Lehrbuch für Studium und Praxis. Beltz/PVU: Weinheim
- Klimsa, P. (2002): Multimediane Nutzung aus psychologischer und didaktischer Sicht. In: Issing/Klimsa (2002), 5–17
- Krauthausen, G. (1998): *Lernen – Lehren – Lehren lernen*. Klett: Stuttgart

- Schnotz, W. (2002): Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In: Issing/Klimsa (2002), 65–82
- Strzebkowski, R./Kleeberg, N. (2002): Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In: Issing/Klimsa (2002), 229–245
- Weigand, H.-G./Weth, T. (2002): Der Computer im Mathematikunterricht. Spektrum: Heidelberg/Berlin

Anschrift der Verfasser

Andreas Eichler
Universität Bielefeld
Fakultät für Mathematik
Postfach 10 01 31
33501 Bielefeld
andreas.eichler@uni-bielefeld.de

Gerald Wittmann
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
Institut für Mathematik und Informatik
Oberbettringer Str. 200
73525 Schwäbisch Gmünd
gerald.wittmann@ph-gmuend.de