

Schukajlow, S., Blum, W., Messner, R., Pekrun, R., Leiss, D., Müller, M. (2009). Unterrichtsformen, erlebte Selbständigkeit, Emotionen und Anstrengung als Prädiktoren von Schülerleistungen bei anspruchsvollen mathematischen Modellierungsaufgaben. *Unterrichtswissenschaft*, 37 (2), 164-186

Unterrichtsformen, erlebte Selbständigkeit, Emotionen und Anstrengung als Prädiktoren von Schülerleistungen bei anspruchsvollen mathematischen Modellierungsaufgaben

Autoren:

Schukajlow, Stanislaw (Universität Kassel)

Blum, Werner (Universität Kassel)

Messner, Rudolf (Universität Kassel)

Pekrun, Reinhard (LMU, Universität München)

Leiss, Dominik (Universität Kassel)

Müller, Marcel (Universität Kassel)

Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt DISUM wurden zwei unterschiedliche Lehr-Lernformen – „direktiv“ und „operativ-strategisch“ – zur unterrichtlichen Behandlung von mathematischen Modellierungsaufgaben eingesetzt. Die im Herbst 2007 durchgeführte quasi-experimentelle Hauptstudie (14 Klassen; N = 224 RealschülerInnen) wurde in einer Vorstudie im Herbst 2006 mit 4 Klassen der Jahrgangsstufe 9 pilotiert (N = 64 RealschülerInnen). Ergebnisse: (1) Die Schüler-Leistungen unmittelbar nach dem Unterricht haben sich in beiden Lehr-Lernformen deutlich verbessert. (2) Drei Monate nach der Intervention waren die Testergebnisse der „operativ-strategisch“ unterrichteten Schüler im Vergleich zur „direktiven“ Gruppe deutlich höher. (3) Die im Unterricht von den Schülern erlebte Selbständigkeit spielte im „direktiven“ Unterricht für die Schülerleistungen keine Rolle. (4) Bei der Leistungsentwicklung im „operativ-strategischen“ Unterricht wurde sie ihrer generierenden Funktion für die Entwicklung der Schülerleistungen gerecht und hing positiv mit anderen Selbstwahrnehmungen wie Freude, Anstrengung und Strategienutzung zusammen.

Abstract

This article deals with two different strategies of teaching mathematical modelling – the “direct” and the “operative-strategic” method – evaluated in the research project DISUM. One year before these teaching methods were analyzed in a pre/post/follow-up quasi-experimental investigation, they were tested in a pilot study. Sixty-four fifteen-year-old students in four 9th grade classrooms from a German Realschule participated in this study. Results included the following. a) Both types of instruction improved students’ performance on modeling tasks as assessed immediately after the treatment. b) Three months later, participants in the “operative-strategic” instruction group outperformed participants in direct instruction group. c) In direct instruction, students’ perceived self-regulation did not relate to their performance. d) In contrast, self-regulation was positively related to performance in the operative-strategic condition, was positively related to students’ self-reported enjoyment, effort, and use of learning strategies.

1 Zur Fragestellung der Untersuchung

Im DISUM-Projekt¹ wurden zwei alternative Lehr-Lernformen verglichen, nämlich „direktiver“ und „operativ-strategischer“² Unterricht, deren „Kern“ ein Set identischer mathematischer Modellierungsaufgaben zu den Themen „Pythagoras“ und „Lineare Funktionen“ bildet. Damit wurde an die Expertise des im Anschluss an TIMSS formulierten Programms zur „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (SINUS) angeknüpft (Baumert & Lehmann 1997, S. 17 f. und 23 ff.). Das SINUS-Gutachten geht einerseits davon aus, dass die Wirkungen eines lehrergesteuerten Unterrichts, der die Merkmale der direkten Instruktion verwirklicht, vielfach belegt sind (vgl. neuerdings Hattie 2007). Andererseits zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler zur Lösung anspruchsvoller fachlicher Aufgaben ein hochstrukturiertes, in sich vernetztes, in seiner Mobilität erprobtes Wissen benötigen (BLK 1997). Um derartige Wissensformen zu entwickeln, müssen den Schülern bei der Bearbeitung und Übung von problemorientierten Lernaufgaben mehr Verantwortlichkeit, Eigenständigkeit und kooperativer Austausch ermöglicht werden. Solche Eigenaktivitäten der

¹ Das Forschungsprojekt „DISUM“ (Didaktische Interventionsformen für einen selbständigkeitsorientierten aufgabengesteuerten Unterricht am Beispiel Mathematik) wird seit 2005 von der DFG gefördert. Leiter des Projekts sind Prof. Dr. W. Blum (Kassel), Prof. Dr. R. Messner (Kassel) und Prof. Dr. R. Pekrun (München)

² Die Bezeichnung „operativ“ wurde in Anlehnung an die Theorie der Begriffsbildung von Aebli gewählt und soll die Förderung der aktiven Wissenskonstruktion in dieser Lehr-Lernform unterstreichen (Aebli 1980). Der Begriff „strategisch“ deutet auf die angestrebte Aktivierung von Schüler-Strategien durch die Lehrkraft in diesem Design hin.

Schüler kommen allerdings nur zum Ziel, wenn sie qualitativ vorstrukturiert sind und von Lehrpersonen prozessbegleitend Hilfestellungen geleistet werden (Reusser 2001b).

Im DISUM-Projekt wurde entsprechend dieser Forschungslage im „operativ-strategischen“ Unterricht – eingebettet in ein lehrergesteuertes Rahmenkonzept – der Schwerpunkt im 10-stündigen Unterrichtsablauf auf Lehr-Lernsituationen gelegt, in denen die Schüler zur eigenständigen und konstruktiven Lösung von Modellierungsaufgaben herausgefordert und bei ihrer Bewältigung durch prozessberatende und -evaluierende Impulse der Lehrperson unterstützt werden. Demgegenüber wurde im „direktiven“ Unterricht ein vorwiegend lehrergesteuerter Unterricht im Sinne darstellenden und fragend-entwickelnden Lehrens und effektiver, klar strukturierter Unterrichtsführung realisiert. Als wichtigstes unterscheidendes Merkmal der beiden Unterrichtsvarianten kann der Grad der den Schülern jeweils ermöglichten Selbstregulation und ihrer durch kooperativen Austausch gestützten Eigenaktivität angesehen werden. Durch die Selbständigkeit wird eine positive Wirkung auf die kognitive Aktivierung und damit die in den Schülerleistungen angestrebte Verstehenstiefe erhofft. Die Selbständigkeit der Schüler stellt somit die entscheidende vermittelnde Variable (Mediatorvariable) für die Verbesserung der Schülerleistungen dar (Messner & Blum 2006b). Da das Selbstständigkeits-erleben der Schüler ebenso wie begleitende motivationale Elemente vergleichend erhoben worden sind, lässt sich die dem DISUM-Projekt zugrunde liegende Annahme von der positiven Wirkung der Mediatorvariable *Schüler selbständigkeit* auf die Schüler-Leistungen sowie ihr Zusammenhang mit Freude, Langeweile, Anstrengung und Strategien der Schüler überprüfen.

2 Zur Wirkung einzelner Dimensionen von Lernumgebungen auf den Erfolg anspruchsvollen Fachunterrichts

2.1 Prozessmerkmale des Unterrichts als Bedingung der Schülerleistung

Analysen von Determinanten der Schüler-Leistungen zeigen, dass verschiedene Unterrichtsfaktoren miteinander vernetzt sind (vgl. z. B. Snow, Corno & Jackson 1996). Eine positive Leistungsentwicklung kann demnach nur dann erwartet werden, wenn ein fachlich gehaltvoller, kognitiv aktivierender Unterricht unter Berücksichtigung der relevanten Dimensionen des unterrichtlichen Bedingungsgefüges konzipiert wird. Bisher liegen nur wenig empirische Befunde darüber vor, wie verschiedene instruktionale Konzepte die Kognitionen und Emotionen der Schüler beeinflussen.

Selbstregulation und Lernstrategien

Die Lehr-Lernforschung hat das pädagogische Konzept der Selbständigkeit des Schülerhandelns als Selbstreguliertes Lernen neu bestimmt (Artelt, Demmrich & Baumert 2001). Grundgedanke ist, dass es sich dabei um ein komplexes Geschehen handelt, dessen Teilaspekte als Gefüge von Lernstrategien beschrieben werden können (Messner 2004). Schüler, die selbstreguliert lernen, wenden Strategien gleichzeitig auf mehreren Ebenen an. Von Pintrich u.a. sind kognitive, metakognitive Strategien und Strategien des Ressourcenmanagements unterschieden worden (Pintrich & Garcia 1994; Pintrich 1999). Die kognitiven Strategien beschäftigen sich mit der Informationsaufnahme und -verarbeitung. Metakognitive Strategien – Planung, Kontrolle und Regulation – steuern den Einsatz von kognitiven inhaltsbearbeitenden Strategien im Lernprozess. Strategien des Ressourcenmanagements unterstützen den Lernprozess. In ähnlicher Weise halten Brunstein und Spörer für erfolgreiches Lernen Strategiewissen und -können im kognitiven, motivationalen und metakognitiven Bereich für erforderlich (Brunstein & Spörer 2006). Bekannt ist auch das „Drei-Schichten-Modell“ selbstregulierten Lernens

nach Boekaerts (vgl. Boekaerts 1999). Neuerdings haben Mandl und Friedrich eine Ausdifferenzierung der für die Selbstregulation des Verhaltens wesentlichen Lernstrategien vorgenommen (Mandl & Friedrich 2006).

Die Anforderungen an Selbstregulation entlang des Lernprozesses werden durch die beiden Teilprozesse der individuellen Zielsetzung sowie der Steuerung des Verhaltens bei der Zielerreichung beschrieben (Zeidner, Boekaerts & Pintrich 2000, S. 751). Die Grenze zwischen selbst- und fremdreguliertem Lernen ist fließend. Schiefele und Pekrun unterstreichen, dass rein fremdgesteuertes Lernen unmöglich ist, weil unser kognitives System stets externe Impulse verarbeiten und daraus resultierende Handlungen anleiten muss (Schiefele & Pekrun 1996, S. 249). Werden diese Überlegungen auf die Lehr-Lernprozesse übertragen, kommt man zum Schluss, dass situativ verwirklichte Selbständigkeit als Mediatorvariable eine Art Plattform darstellt, um die für höhere Leistungen erforderlichen kognitiven Prozesse und kooperativen Austauschprozesse zu initiieren (Messner & Blum 2006a). Dieses Lernmodell betont einerseits die Bedeutung der Selbstregulation für die Leistungsentwicklung, andererseits kommt darin zum Ausdruck, dass der Lerneffekt auch von den Lernumgebungen maßgeblich beeinflusst wird.

Lernstrategien im Bereich Mathematik

Für einen effektiven selbstregulierten Lernprozess sind domänen- und aufgabenspezifische Strategien unerlässlich (Zimmerman 2002, S. 66). Der empirisch ermittelte Zusammenhang zwischen Lernstrategien und Schülerleistungen zeigt in der Mathematik ein uneinheitliches Bild. Einerseits wurde in mehreren Studien ein positiver Zusammenhang zwischen metakognitiven Strategien und Lösungsprozess-Erfolgen berichtet (De Corte, Verschaffel & Eynde 2000; Treilibs 1979; Greer & Verschaffel 2007), andererseits gibt es Studien, die eine schwache oder sogar negative Korrelation zwischen Leistungen und selbstberichteten Strategien konstatieren (Stebler & Reusser 1997; Lipowsky et al. 2005; Dresel & Haugwitz 2005).

Der Modellierungskreislauf als Strategie zur Lösung anspruchsvoller realitätsbezogener Mathematik-Aufgaben

Lösungsstrategien im Fach Mathematik wurden theoretisch und empirisch an einem breiten Spektrum von Aufgaben untersucht (vgl. z.B. Reusser & Stebler 1997; Reed 1999). Für den Typ realitätsbezogener komplexer mathematischer Aufgaben, die in der Didaktik der Mathematik entsprechend der zu ihrer Lösung erforderlichen kognitiven Konstruktionsleistungen Modellierungsaufgaben genannt werden, hat sich als Strategie der so genannte „Modellierungskreislauf“ etabliert (Blum 1996; Niss, Blum & Galbraith 2007). Dieser charakterisiert in idealtypischer Weise die einzelnen Schritte des Lösungsprozesses bei Aufgaben, die eine Transformation zwischen realer Problemsituation und mathematischen Konzepten zu ihrer Bearbeitung erfordern.

Eine Beispielaufgabe, an der diese Strategie veranschaulicht werden kann, ist die Aufgabe „Tanken“ (Blum & Leiss 2005).

Tanken

Frau Stein wohnt in Trier 20 km von der Grenze zu Luxemburg entfernt. Sie fährt mit ihrem VW Golf zum Tanken nach Luxemburg, wo sich direkt hinter der Grenze eine Tankstelle befindet. Dort kostet der Benzin nur 1,05 Euro im Gegensatz zu 1,30 Euro in Trier.

Lohnt sich die Fahrt für Frau Stein?



Abbildung 1. Aufgabe „Tanken“

Da die Behandlung von kognitiv herausfordernden Aufgaben im Unterricht als eine Voraussetzung für den Einsatz von Lernstrategien und zur Realisierung von Selbstregulation gilt (Weinstein, Husman & Dierking 2000), eignen sich Modellierungsaufgaben besonders für die Gestaltung von selbstständigkeitsorientierten Lernumgebungen.

Blum und Leiss charakterisieren den Lösungsprozess einer Modellierungsaufgabe idealtypisch als 7-schrittige Sequenz von Aktivitäten: (1) die Aufgabestellung verstehen und ein Situationsmodell bilden (van Dijk & Kintsch 1983); (2) das Situationsmodell strukturieren, idealisieren und präzisieren, ggf. durch Treffen geeigneter Annahmen, und ein Realmodell konstruieren; (3) das Realmodell in ein mathematisches Modell transformieren; (4) mathematische Verfahren anwenden und ein Resultat herleiten; (5) dieses mathematische Resultat in der Realität interpretieren und so ein reales Resultat erzielen; (6) das Resultat unter der Gegebenheiten der Situation überprüfen; (7) den Lösungsprozess dokumentieren (Blum & Leiss 2007). In den Modellierungskreislauf eingeordnete unterschiedliche Lösungswege der Aufgabe „Tanken“ sind im Anhang abgebildet. Neben kognitiven Bearbeitungsstrategien sind auch metakognitive Komponenten am Modellierungskreislauf beteiligt, z.B. die Kontrolle und Evaluation des Ergebnisses. Diese sind beim Lösen von komplexen realitätsbezogenen Aufgaben mit multiplen Lösungswegen ein wichtiges Teilelement.

Wie Schüler solche Modellierungsaufgaben lösen, wie Lehrer ihre Lösungsprozesse während der Aufgabenbearbeitung unterstützen und wie Modellierungsaufgaben im Unterricht behandelt werden können, sind wesentliche Fragestellungen des DISUM-Projektes, die in verschiedenen Phasen von DISUM untersucht wurden (Blum & Leiss 2007; Leiss & Wiegand 2005; Leiss, Möller & Schukajlow 2006; Leiss, Blum & Messner 2007). Da die beschriebene 7-schrittige Lösungsstrategie für diagnostische Zwecke im Unterricht und vor allem für die Anwendung durch Schüler zu subtil ist, wurde der Modellierungskreislauf im Rahmen des DISUM-Projektes zu einem 4-schrittigen „Lösungsplan“ verdichtet. Dieser umfasst: (1) Aufgabe verstehen, (2) Modell erstellen, (3) Mathematik benutzen, (4) Ergebnis erklären (vgl. Blum 2006). Mit einem solchen pragmatisch verkürzten Kreislauf können Lehrpersonen Schwierigkeiten der Schüler im Lösungsprozess besser identifizieren und auf dieser Basis intervenieren.

Training von Selbstregulation

Als bedeutsam hat sich die von Leutner u.a. vertretene Forschungsrichtung erwiesen, die Selbststeuerung in der Anwendung von Strategien auf der Motivations- und Bearbeitungsebene durch das Training übergeordneter Kontrollstrategien zu fördern (vgl. Leutner & Leopold 2006, 2002). Befunde zum Training von Strategien und Selbstregulation im Bereich Mathematik zeigen größtenteils einheitliche Ergebnisse und belegen einen positiven Einfluss solcher Programme auf die Leistungen. In einer Interventionsstudie von Kramarski et al. mit Schülern und in einer Studie von Schoenfeld mit Studenten verbesserte sich die Qualität der Lösungsprozesse durch die Anregung von selbstregulierten metakognitiven Aktivitäten und begünstigte die Leistungsentwicklung in Mathematik (Kramarski, Mevarech & Arami 2002; Schoenfeld 1992). Auch andere Studien mit dem Fokus auf der Förderung selbstregulativer Strategien (Camahalan 2006; Eshel & Kohavi 2003) und mit dem Schwerpunkt auf der Kombination von Förderung der Selbstregulation mit anderen Komponenten (Dresel & Haugwitz in press) berichten über den Anstieg der Leistungen nach Absolvierung von Trainingprogrammen.

Emotionen

Neben Selbstregulationsstrategien sind im Lernprozess Emotionen für die Leistungsentwicklung der Lernenden von Bedeutung. Im Rahmen seiner Kontroll-Wert-Theorie der Leistungs-emotionen differenziert Pekrun (2006; Pekrun, Goetz, Titz & Perry, 2002) Emotionen ent-

sprechend ihrer Valenz (positiv versus negativ) und dem implizierten Grad der Aktivierung (aktivierend versus desaktivierend). Für desaktivierende negative Emotionen, wie z.B. Hoffnungslosigkeit und Langeweile, werden negative Wirkungen auf Lernleistungen angenommen. Aktivierende negative Emotionen, z.B. Ärger und Angst, hingegen können Leistungen vermutlich sowohl negativ wie auch positiv beeinflussen. Der Einfluss von aktivierenden positiven Emotionen wie z.B. Lernfreude dürfte leistungsförderlich sein, während die Wirkungen von desaktivierenden positiven Emotionen, wie z.B. Zufriedenheit, ambivalenter sein dürften. Sieht man Untersuchungen zur häufig untersuchten Emotion Prüfungsangst ab, so liegen für Zusammenhänge von Emotionen mit Selbstregulation und Lernleistungen bisher hauptsächlich querschnittliche Befunde vor (Pekrun, Goetz et al. 2002). Weitgehend offen ist deshalb die Frage, wie Emotionen im Unterricht Leistungsveränderungen beeinflussen und welche Rolle verschiedene Instruktionsdesigns für die Beziehungen zwischen Emotionen und Lernen spielen.

Anstrengung

Das Erreichen von fremd- oder selbstgewählten Zielen, wie z.B. das Lösen einer komplexen Aufgabe, erfordert oft große Anstrengungen. Insbesondere Elaborations- und Organisationsstrategien, die eine tiefe Verarbeitung von Informationen anstreben, können für den Lerner mit erheblichen Anforderungen verbunden sein. Die Selbstregulation des Lernens setzt somit auch die Regulation von Anstrengungen voraus. Der Lerner soll die Anstrengungen im Lernprozess so lange aufrechterhalten, bis sein Ziel, z.B. die Lösung der Aufgabe, erreicht wird (Boekaerts & Cascallar 2006, S. 201). Ein Mangel an Anstrengung beim Lernen wird als eine mögliche Ursache von in der Studie von Pape et al. gemessenen schwachen Leistungseffekten beim Training der Selbstregulation genannt (Pape, Bell & Yetkin 2003). Somit scheint die Anstrengung ein bedeutender Einflussfaktor für Leistungen in Lernumgebungen zu sein, welche die Selbstregulation von Lernenden aktivieren.

2.2 Zur Konzeptualisierung selbständigkeitsorientierter Lernumgebungen

Bei der Entwicklung konstruktivistischer selbständigkeitsorientierter Lernumgebungen knüpft das DISUM-Projekt an Konzepte an wie Cognitive Apprenticeship (Collins, Brown & Newman 1989), Conceptual Change Teaching (Anderson & Roth 1987), Anchor Instruction (Cognition and Technology Group at Vanderbilt 1991) u. a. In diesen Lernumgebungen übernehmen die Lernenden die Verantwortung für ihre Lernprozesse und steuern stärker als in der direkten Instruktion ihren Wissenserwerb. Eine zentrale Aufgabe der Lehrperson in konstruktivistisch geprägten Lernumgebungen ist es, das selbständige Lernen der Schüler adaptiv zu unterstützen und den selbständigen Aufbau von Wissensstrukturen zu fördern.

Während in der direkten Instruktion das kooperative Lernen eine untergeordnete Rolle spielt, ist die Bedeutung von sozialen Aspekten des Lernprozesses in selbständigkeitsorientierten Lernumgebungen unbestritten (Shuell 1996). Eine gemeinsame Wissenskonstruktion wird in vielen Lerntheorien und Unterrichtskonzepten als eine Grundlage des Lernfortschrittes angesehen (Wygotski 1988). Die Analysen kooperativen Lernens zeigen, dass Arbeit in Gruppen im Unterricht wie im Labor nicht immer erfolgreich verläuft (Slavin 1996; Slavin, Hurley & Chamberlain 2003; Fürst 1999). Als lernförderlich wird von Slavin ein individuelles Engagement jedes Gruppenmitglieds und als lernhinderlich „social loafing“ angesehen, bei dem ein oder mehrere Gruppenmitglieder andere Gruppenmitglieder die Arbeit für sie erledigen lassen (Latané, Williams & Harkins 1979). Verschiedene Ansätze zur Optimierung des gemeinsamen Lernens wie z.B. „relational approach“, in dem neben dem von Slavin genannten individuellen Engagement der Schüler auch der Teamcharakter der Gruppenarbeit und anspruchs-

volle inhaltliche Argumentationen die Qualität der Kooperation positiv beeinflussen, sollen Schwächen dieser Sozialform ausgleichen und ihre Implementation in den Unterrichtsalltag erleichtern (Blatchford et al. 2006).

Eine Möglichkeit, die Qualität des kooperativen Lernens zu verbessern, besteht im Wechsel von individuellen und ko-konstruktiven Arbeitsphasen innerhalb einer Kleingruppe. Im Rahmen des DISUM-Projektes wurde das kooperative Lernen beim Lösen von Mathematikaufgaben wie folgt operationalisiert: In der Anfangsphase bearbeitet jeder Schüler für sich allein die Aufgabe und überlegt Lösungsansätze. Durch die individuelle Auseinandersetzung mit der Aufgabe sollen im Sinne einer verstärkten kognitiven Aktivierung die Grundlagen für die nachfolgende gemeinsame Lernphase geschaffen werden. Dann folgt eine Austauschphase mit einem gemeinsamen ko-konstruktivem Wissensaufbau (Reusser 2001a; Vidacovic & Martin 2004; Blum, Messner & Pekrun 2004). Im Gespräch werden individuelle Lösungsansätze ausgetauscht und weiterentwickelt. In der anschließenden individuellen Arbeitsphase soll jeder Lernende seine eigene Lösung aufschreiben oder verbessern. Die beschriebene Form der kooperativen Arbeit erfordert in hohem Maße Selbstregulation und ist somit charakteristisch für selbstständigkeitsorientierte Lernumgebungen.

Hattie, Biggs und Purdie haben in ihrer bekannten Metaanalyse eine große Anzahl von unterrichtlichen Interventionsstudien im Hinblick auf die Wirkung einzelner Instruktionsfaktoren zusammenfassend interpretiert (Hattie, Biggs & Purdie 1996). Dabei hat sich die Wirksamkeit direkter Lehr-Lernformen in empirisch robuster Form erwiesen. Dieses Ergebnis wurde von Hattie auch in seinen jüngsten Studien (Hattie 2007) abermals bestätigt. Hattie et al. haben allerdings festgestellt, dass Effekte der nicht auf bloße Reproduktion zielenden Interventionen größer sind, wenn diese (1) im inhaltlichen Kontext erfolgen (z.B. soll das Training mathematischer Kompetenzen in Mathematik stattfinden), (2) mit den Lern- wie auch den Testaufgaben aus demselben Wissensbereich konzipiert werden, (3) Lernende kognitiv und metakognitiv aktivieren (vgl. auch Seidel & Shavelson 2007). Direkte Instruktion und selbstständigkeitsorientierte Lernumgebungen können die Punkte (1) und (2) vergleichbar gut berücksichtigen. Beim Punkt (3) ist zu erwarten, dass selbstständigkeitsorientierte Lernumgebungen wesentlich besser als direkte Instruktion selbstregulative metakognitive Aktivitäten der Lernenden anregen können.

Entsprechende empirische Forschungen haben teilweise nur schwache Korrelationen von Lernstrategien und Selbstregulation mit Schülerleistungen erbracht (siehe Artelt 2000, 2006; Spörer & Brunstein 2006; Seidel & Shavelson 2007). Dies ist vermutlich auch darauf zurückzuführen, dass in diesen Studien traditioneller Unterricht mit überwiegenden Elementen der direkten Instruktion dominiert. Selbstregulative Elemente kommen demgegenüber kaum zur Wirkung. Die verfügbare empirische Evidenz lässt allerdings vermuten, dass eine höhere kognitive Aktivität der Lernenden, wie sie in selbstregulierten Szenarien intendiert wird, die Verstehenstiefe und damit z.B. die Modellierungsleistungen der Schüler fördern kann (Reusser 2001b).

Empirisch sind diese Wirkungen noch kaum untersucht. Im DISUM Projekt werden sie in einer quasi-experimentell angelegten Studie genauer erforscht. So wird in der hier berichteten Pilot-Studie (N=64 RealschülerInnen) den Fragen nachgegangen, welche Rolle selbstständigkeitsorientierte Lernumgebungen (hier „operativ-strategische“ Lernumgebung) beim Aufbau von Fachkompetenzen der Schüler spielen, inwieweit sie sich in den Selbstwahrnehmungen (Selbstständigkeit, Freude, Langeweile, Anstrengung, Planung und Kontrolle) niederschlagen und wie die Schüler-Selbstwahrnehmungen miteinander zusammenhängen. Die Bezeichnung „Pilot-Studie“ wird hier gewählt, weil diese Untersuchung die erste Erprobung beider Unter-

richtsdesigns im Hinblick auf ihre Wirkung darstellt. Die verwendeten Messinstrumente wurden im ersten Projektjahr entwickelt und in einer Feldstudie pilotiert.

2.3 Hypothesen

In der Pilot-Studie zum DISUM-Projekt wurden unter anderem fünf Hypothesen zu den aufgeführten Forschungsfragen am Beispiel mathematischer Modellierungsaufgaben überprüft (vgl. zu anderen Erkenntnissen aus dieser Studie Blum 2007).

Hypothese 1: Sowohl an die Prinzipien der direkten Instruktion angelehnte „direktive“ als auch selbstständigkeitsorientierte, „operativ-strategische“ Lernumgebungen führen zu Leistungssteigerungen im Mathematikunterricht.

Hypothese 2: Die Steigerung der Leistungen ist in den selbstständigkeitsorientierten „operativ-strategischen“ Lernumgebungen größer (Posttest) und wesentlich nachhaltiger (FollowUp-Test) (siehe Untersuchungsdesign in Abbildung 2).

Hypothese 3: Die im „operativ-strategischen“ Mathematikunterricht von den Schülern wahrgenommene bzw. erlebte Selbstregulation ist neben dem Vorwissen (Pretest) ein wichtiger Prädiktor von Schülerleistungen.

Hypothese 4: Emotionen (Freude, Langeweile), Anstrengung und strategische Elemente (Planung, Kontrolle) hängen positiv mit der erlebten Selbstregulation der Schüler zusammen.

Hypothese 5: In „direktiven“ Lernumgebungen ist der Zusammenhang zwischen der erlebten Selbstregulation im Unterricht mit den Leistungen der Schüler wesentlich geringer als in selbstständigkeitsorientierten Lernumgebungen.

3 Methode

3.1 Treatment

Zur Prüfung der aufgestellten Hypothesen wurden im Fach Mathematik zwei Treatments mit unterschiedlicher Ausprägung der Selbstregulation entwickelt und operationalisiert: die „direktive“ und die „operativ-strategische“ Lernumgebung (vgl. Punkt 1). Als Aufgabenmaterial wurden – im Rahmen von DISUM entwickelte – Modellierungsaufgaben mit multiplen Lösungsmöglichkeiten eingesetzt (Blum & Leiss 2007).

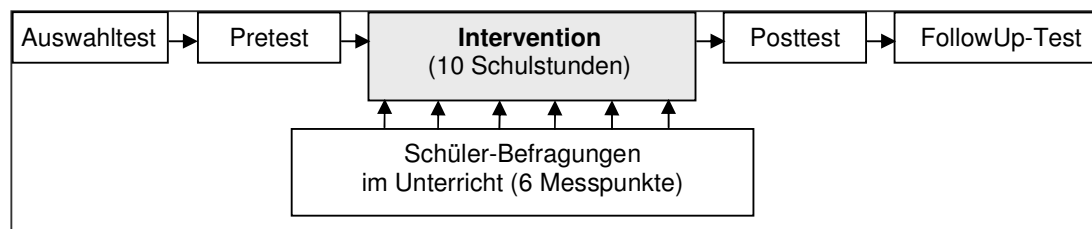


Abbildung 2. Übersicht über das Untersuchungsdesign

Das „direktive“ Treatment richtet sich auf die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Merkmale der direkten Instruktion. Im Unterricht werden diese Kriterien durch die Festlegung von Unterrichtsmethoden sowie durch die Orientierungen im Lehrerhandeln wie folgt konkretisiert:

- Der Lehrende erarbeitet im „direktiven“ Unterricht gemeinsam mit Schülern in einem fragend-entwickelnden Verfahren eine bestimmte Lösung einer gegebenen Modellierungsaufgabe zunächst an der Tafel und klärt alle Verständnisfragen zu dieser Lösung im Plenum.
- Im zweiten Schritt bearbeiten die Schüler individuell eine strukturähnliche Aufgabe und die Lehrperson unterstützt sie bei der Lösung der Aufgabe.

- Anschließend schreibt ein Schüler an der Tafel seine Lösung auf, die dann von Lehrern und Mitschülern korrigiert und gemeinsam besprochen wird.

Durch die beschriebene Abfolge wird den Schülern eine klare Lösungsstruktur präsentiert, deren Transfer auf andere Kontexte geübt wird.

Das „operativ-strategische“ Treatment orientiert sich an den Prinzipien von konstruktivistischen Lernumgebungen, die selbständigkeitsorientierte Komponenten in den Vordergrund stellen.

- Die Schüler bearbeiten Modellierungsaufgaben in 4er Gruppen nach dem Prinzip des individuellen Arbeitens in der Gruppe (siehe Punkt 2.2).
- Die Lehrperson unterstützt die Schüler bei der Aufgabenbearbeitung mit minimalen adaptiven Interventionen. Das Ziel der Interventionen ist, statt Schüler eine bestimmte Lösung produzieren zu lassen, sie zu ermutigen, individuelle Lösungsansätze zu verfolgen und sich über verschiedene Lösungen in der Gruppe auszutauschen. Der Modellierungskreislauf und der „Lösungsplan“ (siehe Punkt 2.1) sollen den Lehrkräften helfen, individuelle Schwierigkeiten im Lösungsprozess zu diagnostizieren und adaptiv zu intervenieren.
- Die Lösungen einer oder mehrerer Gruppen werden nach der Bearbeitung einer Aufgabe im Plenum diskutiert. Die Lehrperson moderiert die Diskussion.

Um das Einhalten des Treatments zu gewährleisten und zugleich die Lehrpersonen in ihren Handlungen nicht einzuengen, wurden ein System von Empfehlungen und Verboten sowie eine detaillierte Planung einzelner Unterrichtsstunden vorbereitet und in einer ein- bzw. zweitägigen Lehrerschulung erläutert. Am ersten Schulungstag bekamen die LehrerInnen ausführliche Erklärungen zu dem jeweiligen Treatment. Das Training des „direktiven“ Treatments beschränkte sich hierbei auf Diskussionen über die Qualitätskriterien der direkten Instruktion, weil diese Lehr-Lernform im Klassenraum tagtäglich praktiziert wird und – auch nach Meinung der beteiligten Lehrpersonen – keine zusätzliche Einübung erfordert. Mit den „operativ-strategischen“ Lehrkräften wurden der Modellierungskreislauf und der Lösungsplan zu einer Aufgabe am ersten Schulungstag eingeübt. Am zweiten Schulungstag wurde das selbständigkeitsorientierte Intervenieren im Sinne des Treatments an einer 2er Schülergruppe von Lehrpersonen erprobt und reflektiert.

3.2 Stichprobe und Messinstrumente

An der hier beschriebenen Untersuchung haben 4 Realschulklassen der Jahrgangsstufe 9 aus drei Gesamtschulen teilgenommen. Je zwei Klassen wurden in Abhängigkeit vom präferierten Lehrstil des unterrichtenden Lehrers dem „direktiven“ oder dem „operativ-strategischen“ Treatment zugeordnet. An einer Schule wurden beide Treatmentarten praktiziert. Dies war möglich, da die Gefahr der Treatmentdiffusion bei dieser Anlage der Studie als gering einzuschätzen ist. Erstens dürften Lehrer einen Unterrichtsstil auswählen, den sie für eine bessere Alternative halten, zweitens wurde das jeweilige Treatment in einem Regiebuch detailliert und trennscharf beschrieben und drittens war in jeder Unterrichtsstunde mindestens ein Beobachter anwesend, der auf das Einhalten des Treatments zu achten hatte. Eine Analyse der Videoaufzeichnungen der Unterrichtsstunden in allen vier Klassen hat erwartungsgemäß keine Treatmentdiffusion festgestellt (siehe auch einen Abschnitt zu Treatmentkontrolle im Punkt 4). Die Lehrkräfte waren zwischen 40 und 60 Jahre alt, drei männlich und eine weiblich und hatten eine langjährige (12 - 30 Jahre) Berufserfahrung. Lehrer, die einen „direktiven“ Stil in ihrem tagtäglichen Unterricht praktizieren und das auch in der Studie machen wollten, haben das im Rahmen der DISUM-Studie entwickelte „direktive“ Treatment realisiert. Lehrer, die im Unterricht stärker selbständigkeitsorientiert arbeiten, Erfahrungen mit der kooperativen Arbeit der Schüler haben und nach dem „operativ-strategischen“ Treatment ihren Unterricht

gestalten wollten, haben diese Treatment-Art im Rahmen des DISUM-Projektes umgesetzt. Es wurde keine Randomisierung der Lehrer vorgenommen, weil der Unterrichtsstil von Lehrpersonen möglichst nahe am in der Studie geforderten Unterrichtsstil sein sollte (vgl. hierzu Hasselhorn & Gold 2006, S. 248).

Vor der Untersuchung wurde die Schüler-Stichprobe mit Hilfe eines Leistungstests homogenisiert. Der Auswahltest bestand aus mehrfach in der PISA-Studie verwendeten Mathematikaufgaben (14 Items, Testreliabilität (Cronbachs-Alpha) = .71). Mit diesem Test wurden aus jeder der vier Klassen je 16 Schüler ausgewählt. Die Gesamtstichprobe der Untersuchung beträgt somit 64 Schüler. Die nicht ausgewählten Schüler aus der jeweiligen Klasse haben während der Studie in einem anderen Raum gearbeitet. Leider ist es nicht gelungen, das Leistungsniveau der Schüler in beiden Bedingungen durch den Auswahltest befriedigend anzugleichen (siehe Tabelle 3). Vermutlich ist die bestehende Differenz zwischen den Schülerleistungen im Pre-Test in beiden Treatments auf die eingeschränkte Parallelität des Pre- und des Auswahl-Tests zurückzuführen.“_Das zweite Auswahlkriterium war die Geschlechtsheterogenität. Die Schüler in beiden Treatmentvarianten waren im Mittel 15,4 Jahre alt (Standardabweichung .64) und etwa zur Hälfte weiblich (52%) und männlich (48%). Im „operativ-strategischen“ Treatment wurden von der Lehrperson unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Auswahltests leistungs- und nach Möglichkeit geschlechtsheterogene 4er Gruppen gebildet. Direkt vor und nach der Untersuchung sowie drei Monate nach der Intervention wurden die Schüler-Selbstwahrnehmungen zu unterschiedlichen Bereichen sowie die Leistungen der Schüler im Bereich mathematisches Modellieren mit Hilfe von Befragungen und selbstentwickelten Leistungstests erhoben (vgl. Abbildung 2). Im Pre-, Post- und FollowUp-Leistungstest hat ein Schüler jeweils unterschiedliche Test- und damit Aufgabenvarianten bearbeitet. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Testaufgaben in den drei Parallelversionen durch die Kontexte und das Zahlenmaterial. Jeder der drei Tests bestand aus 17 Items. Die Reliabilität³ des Gesamttests beträgt 0.78, seine mittlere Schwierigkeit (Logit-Wert) lag bei .74 (siehe weitere Informationen zum Testdesign und Beispielitems bei Leiss & Blum 2007). Die Leistungstests wurden unter der Verwendung eines dichotomen Rasch-Modells eindimensional skaliert (Rost 2004). Die Testergebnisse sind in der Tabelle 3 abgebildet.

Zur Kontrolle des Treatments wurden Befragungen der Schüler nach jeder Einzel- bzw. Doppelstunde durchgeführt und alle Unterrichtsstunden videographiert. Die erlebte Selbstregulation der Schüler wurde außerdem vor der Studie in drei Mathematikstunden zum Thema Satz des Pythagoras mit einem Fragebogen erhoben, um individuelle Eingangsvoraussetzungen der Schüler in diesem Bereich zu berücksichtigen.

Eine mathematikspezifische Skala zur Einschätzung der Selbstregulation wurde für die Untersuchung – z. T. in Anlehnung an Götz und PALMA-Studie – entwickelt und pilotiert (Götz 2004; Pekrun, Jullien et al. 2002). Diese Skala besteht aus den folgenden 6 Items (jeweils 4-stufige Likertskala zur Beantwortung; 1 „trifft nicht zu“, 2 „trifft eher nicht zu“, 3 „trifft eher zu“, 4 „trifft zu“): einem Item zur Zielsetzung sowie aus je einem Item zur Autonomie in der Zeiteinteilung, Arbeitsbeteiligung, Wahl der Lösungswege, Kontrolle und Evaluation des Lösungsprozesses (DISUM-Team 2006). Die anderen nach jeder Unterrichtsstunde abgefragten Skalen zu Freude und Langeweile (jeweils ein Item, 5-stufige Antwortskalen), Anstrengung (drei Items, 4-stufige Antwortskalen), Kontrolle und Planung (jeweils 4 Items, 4-stufige Antwortskalen) wurden aus verschiedenen Untersuchungen übernommen (Strategien aus Rakoczy, Buff & Lipowsky 2005; Anstrengung aus Kunter et al. 2002; Emotionen aus Pekrun, Jullien, Zirngibl, Hofe & Blum 2002). Beispielitems sind:

³ Die Reliabilität (Weighted Likelihood Estimation) wurde nach der Erwartungswertmethode berechnet (vgl. Rost 2004)

- Skala Selbstregulation: „Ich konnte mir heute eigene Ziele setzen, die ich erreichen möchte“ (Cronbachs- α je nach Messzeitpunkt: $\alpha_1=.73, \alpha_2=.74, \alpha_3=.71, \alpha_4=.79, \alpha_5=.75, \alpha_6=.87$)
- Skala Planung: „Als ich heute die Aufgaben gelöst habe, habe ich mir einen Arbeitsplan gemacht,“ (Cronbachs- α je nach Messzeitpunkt: $\alpha_1=.68, \alpha_2=.70, \alpha_3=.71, \alpha_4=.79, \alpha_5=.74, \alpha_6=.76$)
- Skala Kontrolle: „Als ich heute die Aufgaben gelöst habe, habe ich zwischendurch kontrolliert, ob ich noch auf dem richtigen Weg war“ (Cronbachs- α je nach Messzeitpunkt: $\alpha_1=.70, \alpha_2=.76, \alpha_3=.76, \alpha_4=.70, \alpha_5=.73, \alpha_6=.83$)
- Skala Anstrengung: „Wie konzentriert hast du heute die Aufgaben bearbeitet?“ (Cronbachs- α je nach Messzeitpunkt: $\alpha_1=.82, \alpha_2=.79, \alpha_3=.83, \alpha_4=.82, \alpha_5=.86, \alpha_6=.93$)
- Freude: „Die Aufgaben haben mir heute Spaß gemacht“
- Langeweile: „Ich habe mich heute gelangweilt“

Obwohl die Kontrolle des Lösungsprozesses als eine wichtige metakognitive Strategie in einer Skala mit vier Items separat abgefragt wurde, wurde ein Item zur Kontrolle auch in die Skala zur Selbstregulation aufgenommen. Diese Entscheidung ist mit der hohen Bedeutung der Kontrolle bei den gängigen Selbstregulationsmodellen zu begründen (vgl. z.B. Zimmerman, 2002). Mittelwerte und Standardabweichungen der Skalen zur Freude, Langeweile, Anstrengung, Kontrolle, Planung und Selbstregulation im jeweiligen Design sind in der Tabelle 1 abgebildet.

4 Ergebnisse und Diskussion

Treatmentkontrolle. Die zentrale Voraussetzung der Untersuchung, zwei Treatments zu entwickeln, die sich deutlich bzgl. der Selbstständigkeit der Schüler unterscheiden, konnte mit Hilfe von Videoanalysen bestätigt werden. Die Beobachtungen zeigen, dass Schüler im operativ-strategischen Unterricht mehr Möglichkeit hatten, ihren Lösungsprozess zu steuern. Um die erlebte Schüler-Selbstregulation in beiden Lehr-Lernformen zu vergleichen, wurden ferner arithmetische Mittelwerte der Skala Selbstregulation über alle 6 Messpunkte (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2) in beiden Treatments berechnet und der Unterschied in der Selbstwahrnehmungen der Schülern mit der univariaten Kovarianzanalyse (ANCOVA) auf Signifikanz überprüft. Als Kovariate wurde die an einem bis drei Messpunkten gemessene mittlere Selbstregulation der Schüler vor der Interventionsstudie genommen. Die Kovarianzanalyse zeigt einen signifikanten Unterschied auf dem 5%-Niveau zwischen der erlebten Selbstregulation von Schülern in beiden Unterrichtsformen⁴ (siehe Tabelle 2, $p<.05, \eta^2=.10$).

Tabelle 1. Mittelwerte (Mean) und Standardabweichungen (SD) im „direktiven“ und „operativ-strategischen“ Unterrichtsdesign

Skalen		MP 1		MP2		MP3		MP4		MP5		MP6	
		op	dir	op	dir	op	dir	op	dir	op	dir	op	dir
Freude	Mean	3.00	3.59	3.28	3.41	3.07	3.65	3.37	3.36	3.43	2.74	3.18	2.96
	SD	1.73	0.80	1.39	1.19	1.36	1.03	1.40	1.29	1.22	1.29	1.52	1.26
Langeweile	Mean	2.45	2.33	1.90	2.31	2.26	2.09	1.77	2.50	1.87	2.65	2.34	2.48
	SD	1.33	1.00	1.11	1.12	1.10	1.00	0.90	1.45	1.04	1.41	1.50	1.55
Anstrengung	Mean	3.03	3.05	3.10	2.94	2.96	3.22	3.04	2.99	3.00	2.91	2.82	2.85
	SD	0.70	0.41	0.71	0.59	0.85	0.47	0.61	0.57	0.72	0.61	0.97	0.78
Planung	Mean	2.79	2.61	2.66	2.65	2.58	3.00	2.79	2.41	2.73	2.53	2.53	2.46
	SD	0.74	0.77	0.68	0.75	0.72	0.68	0.74	0.81	0.74	0.79	0.85	0.86
Kontrolle	Mean	2.32	2.05	2.39	2.21	2.54	2.33	2.54	2.03	2.47	2.29	2.49	2.15
	SD	0.81	0.66	0.73	0.63	0.74	0.77	0.74	0.68	0.82	0.79	0.64	0.74
Selbstregulation	Mean	2.97	2.65	3.01	2.56	2.99	2.68	3.06	2.60	2.97	2.47	2.88	2.30
	SD	0.73	0.71	0.78	0.51	0.76	0.50	0.70	0.71	0.67	0.77	0.87	0.78

Mp1, Mp2, Mp3, Mp4, Mp5 und Mp6 sind Messpunkte nach jeder Doppel- bzw. Einzelstunde während der Unterrichtseinheit. „Op“ und „dir“ sind Abkürzungen für „operativ-strategische“ bzw. „direktive“ Lehr-Lernform. Die Anzahl der befragten Schüler in der jeweiligen Gruppe schwankte von 26 bis 30.

⁴ η^2 ist der Anteil der erklärten Varianz und ist durch folgende Formel mit der Effektgröße ϵ verbunden:

$$\eta^2 = \frac{\epsilon^2}{1 + \epsilon^2}. 10\% \text{ der erklärten Varianz entsprechen einer mittleren Effektgröße (Bortz 1993, S. 236).}$$

Tabelle 2. Mittelwerte und Standardabweichungen für die erlebte Selbstregulation vor und während der Interventionsstudie

	Direktiver Unterricht	Operativ-strategischer Unterricht
	Mean (SD)	Mean (SD)
Selbstregulation vor der Einheit	2.79 (.38)	2.94 (.51)
Selbstregulation während der Einheit	2.55 (.56)	2.98 (.62)

Zu Hypothesen 1 und 2: Leistungsveränderungen im selbstständigkeitsorientierten und direktiven Treatment

Der Vergleich von Leistungszuwächsen der Schüler vom Pre- zum Posttest (siehe Tabelle 3) mit ANOVA bestätigt die Hypothese 1: Beide Unterrichtsdesigns lassen die Fachkompetenz der Schüler im Posttest effektiv steigern ($p_{op.-str.} < 0.001$, $p_{dir} < 0.05$; $(\eta_{op.-str.})^2 = 0.37$, $(\eta_{dir})^2 = 0.22$). Dieses Ergebnis ist konform zu den Befunden von Metaanalysen, die eine deutliche Leistungssteigerung in Posttests sowohl in selbstständigkeitsorientierten als auch in direktiven Instruktionsdesign festgestellt haben.

Tabelle 3. Leistungen der Schüler im Pre-, Post-, und FollowUp-Test im direktiven und operativ-strategischen Treatment

	Pretest Mean (SD)	Posttest Mean (SD)	FollowUp Mean (SD)
Direktiver Unterricht	401 (64)	432 (71)	422 (86)
Operativ-strategischer Unterricht	432 (62)	475 (79)	493 (84)

Die Hypothese 2 wird teilweise bestätigt. Während Leistungsmessungen im Posttest einen nicht signifikanten Unterschied ($p > .05$, $\eta^2 = .03$) zwischen beiden Designs zeigen und man somit nur über einen Trend in Richtung selbstständigkeitsorientierter Lernumgebung sprechen kann, sehen mit ANCOVA ermittelten Differenzen im FollowUp-Test ganz anders aus. Wie man aus der Tabelle 3 entnehmen kann, fallen die Leistungen der gemäß dem „direktiven“ Design unterrichteten Schüler im FollowUp-Test ab. Die Kovarianzanalyse der Leistungen im FollowUp-Test mit dem Kovariat „Leistungen im Pretest“ zeigt signifikante Unterschiede zwischen beiden Unterrichtsdesigns in der Schüler-Perfomanz drei Monate nach der Intervention ($p > .05$, $\eta^2 = .10$). Die Leistungssteigerung ist somit in der selbstständigkeitsorientierten Lernumgebung tendenziell stärker und vor allem längerfristig stabiler als im „direktiven“ Unterricht.

Zu Hypothese 3: Selbstwahrnehmungen und Leistungen der Schüler im selbstständigkeitsorientierten Unterricht

Die Analyse von bivariaten Korrelationen zwischen den Leistungen im Posttest und der Selbstwahrnehmungen der Schüler zeigt, dass Leistungen im Pretest, Selbstregulation (SR), Anstrengung (Anstr) und Freude (Fr) im Unterricht mit den Schüler-Leistungen im Posttest zusammenhängen (siehe Tabelle 4). Die Selbstregulation korreliert von allen Selbsteinschätzungen am stärksten (0.59) mit den Leistungen im Posttest. Die Korrelationstabelle unterstützt somit die Hypothese 3, dass die erlebte Selbstregulation der stärkste Prädiktor von Schülerleistungen im selbstständigkeitsorientierten Unterricht ist.

Tabelle 4. Bivariate Korrelationen zwischen den Testleistungen und Selbstwahrnehmungen der Schüler im selbstständigkeitsorientierten Treatment

	Posttest	Pretest	SR	Anstr	Fr	Pl	Kontr	Langw
Posttest	–							
Pretest	0.70*	–						
SR	0.59*	0.51*	–					
Anstr	0.43*	0.48*	0.65*	–				
Fr	0.54*	0.51*	0.85*	0.69*	–			
Pl	0.32	0.29	0.59*	0.45*	0.60*	–		
Kontr	0.19	0.29	0.65*	0.35	0.58*	0.72*	–	
Langw	0.05	0.04	-0.06	-0.37*	0.02	0.09	0.08	–

* Korrelationen sind mindestens auf dem Niveau 0.05 signifikant. SR, Anstr, Fr, Pl, Kontr, Langw sind Abkürzungen von Selbstregulation, Anstrengung, Freude, Planung, Kontrolle und Langeweile.

Für die Überprüfung der Hypothese 3 wurde eine schrittweise Regressionsanalyse für das selbstständigkeitsorientierte Treatment durchgeführt. Ein Modell mit Pretestleistung und Selbstregulation als Prädiktoren der Leistung im Posttest konnte 53% der Varianz ($p < .01$) der Posttestleistung erklären (Pretest, $\beta = .53$, $p < .01$; Selbstregulation, $\beta = .32$; $p < .05$). Die Selbstregulation von Schülern war ein stärkerer Prädiktor der Posttestleistung als die anderen Variablen der Selbsteinschätzung. Die Befunde bestätigen die Hypothese 3.

Zu Hypothese 4: Selbstwahrnehmungen zu Selbstregulation, Emotionen, Anstrengung und Strategien im operativ-strategischen Unterricht

Die Analyse des Zusammenhanges zwischen der Selbstregulation und anderen Selbstwahrnehmungen der Schüler zeigt mittlere bis hohe Korrelationen zwischen den Skalenwerten zu Selbstregulation und Anstrengung, Freude, Planung und Kontrolle im selbstständigkeitsorientierten Treatment. Nur die Korrelation zwischen selbstwahrgenommener Langeweile und Selbstregulation ist unbedeutend (-0.06) und weist die Unabhängigkeit der beiden Merkmale auf.

Obwohl die Korrelationen zwischen der Selbstregulation und den anderen in der Tabelle 4 aufgeführten Variablen nicht kausal interpretiert werden können, unterstützen diese engen positiven Beziehungen zwischen den genannten Selbstwahrnehmungen und Leistungen der Schüler: Schüler, die über einen hohen Selbstregulationsgrad berichten, machen größere Fortschritte in der Fachkompetenz, strengen sich stärker an, planen und kontrollieren häufiger ihr Vorgehen bei der Aufgabenbearbeitung und empfinden mehr Freude am Unterricht.

Zu Hypothese 5: Selbstwahrnehmungen der Schüler und ihre Leistungen im direktiven Unterricht

Die Analyse des Zusammenhanges der Testleistungen mit den Schüler-Selbstwahrnehmungen in der direktiven Lernumgebung zeigt ein ganz anderes Bild als im operativ-strategischen Treatment. Keine der Schüler-Selbstwahrnehmungen im Unterricht hängt mit den Leistungen im Nachtest zusammen (siehe Tabelle 5).

Eine Regressionsanalyse bestätigte den durch die Korrelationstabelle vermittelten Eindruck, dass Schüler-Selbstwahrnehmungen im direktiven Unterricht die Leistungen im Posttest nicht signifikant vorhersagen können. Ein Regressionsmodell mit der der Pretestleistung als Prädiktor ergab eine signifikante Vorhersage der Posttestleistung ($R^2=0.351$, $p<0.01$).

Die Korrelationen zwischen der erlebten Selbstregulation und den Schüler-Leistungen in beiden Unterrichtsformen unterscheiden sich signifikant voneinander (Fischers $Z = -2.87$, $p < .05$). Hypothese 5 wird durch diese Daten bestätigt: In der direktiven Lernumgebung ist der Zusammenhang zwischen der erlebten Selbstregulation und den Schülerleistungen wesentlich geringer als im selbstständigkeitsorientierten Unterricht.

Tabelle 5. Bivariate Korrelationen zwischen Testleistungen und Selbstwahrnehmungen der Schüler im direktiven Treatment

	Posttest	Pretest	SR	Anstr	Fr	Pl	Kontr	Langw
Posttest	–							
Pretest	0.61*	–						
SR	–0.18	–0.21	–					
An	0.03	–0.03	0.33	–				
Fr	–0.08	–0.21	0.54*	0.65*	–			
Pl	–0.31	–0.30	0.62*	0.14*	0.40*	–		
Kontr	–0.19	–0.14	0.58*	0.52*	0.59*	0.49*	–	
Langw	0.10	0.34	–0.48*	–0.33	–0.46*	–0.23	–0.44*	–

* Korrelationen sind auf dem Niveau 0.05 signifikant. SR, Anstr, Fr, Pl, Kontr, Langw sind Abkürzungen von Selbstregulation, Anstrengung, Freude, Planung, Kontrolle und Langeweile.

5 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung von selbstständigkeitsorientierten und direktiven Lernumgebungen in vier Schulklassen zeigte im Mathematikunterricht mit Modellierungsaufgaben die tendenziell höhere Leistungen der Lehr-Lernform, die stärker die Selbstregulation der Schüler ermöglicht. Zwar können auch durch eine überwiegende Lehrersteuerung bedeutende Leistungsfortschritte erreicht werden, jedoch geben die berichteten Follow-Up-Daten Hinweise, dass die Leistungsfortschritte der Schüler in den direktiven Lernumgebungen möglicherweise mit der Zeit zurückgehen. Die kontrastierenden Lehr-Lernformen weisen ferner unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den Selbstwahrnehmungen der Lernenden und ihrer Leistungsentwicklung auf.

In der selbstständigkeitsorientierten Lernumgebung ist die erlebte Selbstregulation eine Art Schlüsselvariable, die positiv mit Leistungen, Anstrengung und Freude im Unterricht zusammenhängt. Eine wichtige Aufgabe der Lehrperson in dieser Lehr-Lernform ist es, den Unterricht so zu gestalten, dass die individuelle Selbstregulation der Schüler herausgefordert werden kann. Es dürfte zu empfehlen sein, Schüler im Unterricht zu ermutigen, ihre eigenen Lösungsideen zu entwickeln, sie zu einer Lösung auszubauen, eigene Lösungen mit Lösungen anderer zu vergleichen und sie ggf. eigenständig zu verbessern.

In der direktiven Lernumgebung wurden keine Zusammenhänge zwischen den untersuchten Schüler-Selbstwahrnehmungen und ihren Leistungen festgestellt. Vermutlich können Lernende in dieser Lehr-Lernform weniger als im selbstständigkeitsorientierten Unterricht ihren Lernprozess beeinflussen.

Deutlich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen der erlebten Selbstregulation und der Leistungsentwicklung der Schüler in beiden Designs lassen die Vermutung aufstellen, dass eine andere Variable diesen Zusammenhang moderiert. Diese Variable könnte mit „Gelegenheiten zum selbständigen Arbeiten“ bezeichnet werden. Haben Schüler die Gelegenheiten ihr Wissenserwerb selbst zu steuern, so wie es im operativ-strategischen Design intendiert wird, ist der Zusammenhang zwischen der selbstwahrgenommenen Regulation des Lernens und den Schülerleistungen hoch. Im fragend-entwickelnden, direktiven Unterricht, in dem die Schülerarbeit kleinschrittig von der Lehrkraft gelenkt wird, gibt es kaum Gelegenheiten zur Steuerung eigener produktiver Arbeit. Dadurch geht der Zusammenhang zwischen beiden Variablen zurück.

Zum Schluss soll auf mögliche Einschränkungen der Gültigkeit der dargelegten Befunde hingewiesen werden. Die Stichprobe der Untersuchung beträgt nur – je nach untersuchten Merkmalen – 64 bzw. 32 Schüler und ist gegenüber Zufallsschwankungen sehr empfindlich.

Ferner wurden Differenzen in der Selbstregulation der Schüler zum Teil durch eine Intervention in die Fachkompetenzen der „operativ-strategischen“ Lehrpersonen bewirkt, denn nur diesen Lehrern wurden bedeutsame fachdidaktische Ressourcen wie unterschiedliche Lösungswege zu einer Aufgabe, der Modellierungskreislauf und der Schüler-Lösungsplan zur Verfügung gestellt. Schließlich ist es durchaus möglich, dass kompetentere Lehrer häufiger selbstständigkeitsorientiert unterrichten und in der Studie demgemäß den „operativ-strategischen“ Unterrichtsstil gewählt haben. Solche Unterschiede in der Lehrerkompetenz könnten sich auf die Leistungsentwicklung der Schüler auswirken und einen Teil der Leistungsvarianz der Schüler erklären. Gründe für die nicht randomisierte Zuweisung der Lehrer zu den beiden Treatments wurden ausführlich im Punkt 3.2 dargelegt.

Sowohl die Ergebnisse als auch ihre eingeschränkte Gültigkeit zeigen die Notwendigkeit, die Zusammenhänge zwischen Selbstwahrnehmungen durch die Schüler und ihrer Leistungsfortschritten weiter zu untersuchen. Die Art des untersuchten Unterrichts soll bei der Planung und Auswertung dieser Studien stärker als bisher berücksichtigt werden.

Literatur

- Aebli, H. (1980). Denken: das Ordnen des Tuns. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Anderson, C. W. & Roth, K. J. (1987). Teaching of meaningful and self-regulated learning of science. In J. Brophy (Ed.), *Advances in research on teaching* (Vol. 1, pp. 265-306). Greenwich, CT: JAI Press.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Berlin: Waxmann.
- Artelt, C. (2006). Lernstrategien in der Schule. In H. Mandl & H. Friedrich (Eds.), *Handbuch Lernstrategien* (pp. 337-351). Göttingen: Hogrefe.
- Artelt, C., Demmrich, A. & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Eds.), *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (pp. 271-298). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J. & Lehmann, R. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske+Budrich.
- Blatchford, P., Baines, E., Rubie-Davies, C., Bassett, P. & Chowne, A. (2006). The Effect of a New Approach to Group Work on Pupil-Pupil and Teacher-Pupil Interactions. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 750-765.
- BLK. (1997). *Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"*. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung (Vol. 60). Bonn: Blk.
- Blum, W. (1996). Anwendungsbezüge im Mathematikunterricht - Trends und Perspektiven -. In G. Kadunz, H. Kautschitsch, G. Ossimitz & E. Schneider (Eds.), *Trends und Perspektiven* (Vol. 23, pp. 15-38). Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Blum, W. (2006). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht – Herausforderung für Schüler und Lehrer. In A. Büchter, H. Humenberger, S. Hußmann & S. Prediger (Eds.), *Realitätsnaher Mathematikunterricht - vom Fach aus und für die Praxis. Festschrift für Hans-Wolfgang Henn zum 60. Geburtstag* (pp. 8-23). Hildesheim/Berlin: Franzbecker.
- Blum, W. (2007). Mathematisches Modellieren – zu schwer für Schüler und Lehrer? In *Beiträge zum Mathematikunterricht* (pp. 3-12). Hildesheim: Franzbecker.
- Blum, W. & Leiss, D. (2005). "Filling Up" – the problem of independence-preserving teacher interventions in lessons with demanding modelling tasks. Paper presented at the CERME-4 – Proceedings of the Fourth Conference of the European Society for Research in Mathematics Education.

- Blum, W. & Leiss, D. (2007). How do Students and Teachers deal with mathematical Modeling Problems? The example Sugaloaf und the DISUM Project. In C. Haines, P. L. Galbraith, W. Blum & S. Khan (Eds.), *Mathematical Modelling (ICTMA12) - Education, Engineering and Economics*. Chichester: Horwood.
- Blum, W., Messner, R. & Pekrun, R. (2004). Antrag auf Gewährung einer Sachbeihilfe – im Rahmen des gemeinsamen Antrags der Forschergruppe Empirische Bildungsforschung der Universität Kassel: Universität Kassel.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-557.
- Boekaerts, M. & Cascallar, E. (2006). How Far Have We Moved Toward the Integration of Theory and Practice in Self-Regulation? *Educational Psychology Review*, 19, 199-210.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. (4., vollst. überarb. Aufl. ed.). Berlin <etc.>: Springer-Verlag.
- Brunstein, J. C. & Spörer, N. (2006). Selbstgesteuertes Lernen. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 677-685). Göttingen: Hogrefe.
- Camahalan, F. M. G. (2006). Effects of Self-Regulated Learning on Mathematics Achievement of Selected Southeast Asian Children. *Journal of Instructional Psychology*, 33(3), 194-205.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1991). The Jasper series as an example of anchored instructions: Theory, program, description, and assessment date. *Educational Psychologist*, 27, 291-315.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Wrihting and Mathematics. In L. B. Resnik (Ed.), *Knowing, learning and instruction: essay in honor of Robert Glaser* (pp. 453-492). Hilldsdale, NJ: Erlbaum.
- De Corte, E., Verschaffel, L. & Eynde, P. O. (2000). Self-Regulation: A Characteristic and a Goal of Mathematics Education. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 681-726). San Diego: Academic Press.
- DISUM-Team. (2006). *Skalenbuch zur Hauptstudie I*. Kassel: Universität Kassel.
- Dresel, M. & Haugwitz, M. (2005). The relationship between cognitive abilities and self-regulated learning: evidence for interactions with academic self-concept and gender. *High Ability Studies*, 16(2), 201-218.
- Dresel, M. & Haugwitz, M. (in press). A Computer Based Approach to Foster Motivation and Self-Regulated Learning. *Journal of Experimental Education*.
- Eshel, Y. & Kohavi, R. (2003). Perceived classroom control, self-regulated learning strategies, and academic achievement. *Educational Psychology*, 23(3), 249-260.
- Fürst, C. (1999). Die Rolle der Lehrkraft im Gruppenunterricht. In H.-D. Dann, T. Diegritz & H. S. Rosenbusch (Eds.), *Gruppenunterricht im Schulalltag. Realität und Chancen* (pp. 107-150). Erlangen: Univ.-Bibliothek.
- Götz, T. (2004). *Emotionales Erleben und selbstreguliertes Lernen bei Schülern im Fach Mathematik*. Psychologie (Vol. 20). München: Herbert Utz Verlag.
- Greer, B. & Verschaffel, L. (2007). Characterizing modeling competencies. In W. Blum, P. L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Eds.), *Applications and modelling in mathematics education: the 14th ICMI Study* (pp. 219–224). New York: Springer.
- Hattie, J. (2007). *Developing potentials for learning: evidence, assesment, and progress*. Paper presented at the EARLI 12, Budapest.
- Hattie, J., Biggs, J. B. & Purdie, N. (1996). Effects of learning skills interventions on student learning: A metaanalysis. *Review of Educational Research*, 66, 99-136.

- Kramarski, B., Mevarech, Z. R. & Arami, M. (2002). The effects of metacognitive instruction on solving mathematical authentic tasks. *Educational Studies in Mathematics*, 49, 225-250.
- Kunter, M., Schümer, G., Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., et al. (Eds.). (2002). *PISA 2000: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Berlin: Buch- und Offsetdruckerei H. Heenemann GmbH & Co.
- Latané, B., Williams, K. & Harkins, S. (1979). Many hands make light the work: The causes and consequences of social loafing. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 822-832.
- Leiss, D., Blum, W. & Messner, R. (2007). Die Förderung selbstständigen Lernens im Mathematikunterricht – Problemfelder bei ko-konstruktiven Lösungsprozessen. *JMD*, 28(3/4), 224-248.
- Leiss, D., Möller, V. & Schukajlow, S. (2006). Bier für den Regenwald. Diagnostizieren und fördern mit Modellierungsaufgaben. *Friedrich Jahresheft XXIV*, 89-91.
- Leiss, D. & Wiegand, B. (2005). A classification of teacher interventions in mathematics teaching. *ZDM*, 37(3), 240-245.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 240-258.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H. Friedrich (Eds.), *Handbuch Lernstrategien* (pp. 162-172). Göttingen: Hogrefe.
- Lipowsky, F., Rakoczy, K., Klieme, E., Reusser, K. & Pauli, C. (2005). Unterrichtsqualität im Schnittpunkt unterschiedlicher Perspektiven. In H. G. Holtappels & K. Höhmann (Eds.), *Schulentwicklung und Schulwirksamkeit* (pp. 223–239). München: Juventa Verlag Weinheim.
- Mandl, H. & Friedrich, H. F. (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Messner, R. (2004). Selbständiges Lernen. Mehr Schüler-Selbständigkeit durch ein neues Konzept. *Praxis Schule 5-10*(5), 6-8.
- Messner, R. & Blum, W. (2006a). *Selbständiges Lernen im Fachunterricht. Kasseler Forschergruppe empirische Bildungsforschung. Bericht 1* Kassel: university press.
- Messner, R. & Blum, W. (2006b). Selbständiges Lernen im Fachunterricht – sieben Projekte zur empirischen Unterrichtsforschung. In I. Mammes, S. Rahm & M. Schratz (Eds.), *Schulpädagogische Forschung - Unterrichtsforschung - Perspektiven Innovativer Ansätze* (pp. 107-123). Innsbruck: Studien Verlag.
- Niss, M., Blum, W. & Galbraith, P. L. (2007). Introduction. In W. Blum, P. L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education: the 14th ICMI Study* (pp. 1-32). New York: Springer.
- Pape, S., J., Bell, C., V. & Yetkin, I., E. (2003). Developing mathematical thinking and self-regulated learning: a teaching experiment in a seventh-grade mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 53, 179-202.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W. & Perry, R. P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91-105.
- Pekrun, R., Jullien, S., Zirngibl, A., Hofe, R. v. & Blum, W. (2002). *Skalenhandbuch PALMA 1. Messzeitpunkt (5. Klassenstufe)*. München: Institut Pädagogischer Psychologie.
- Pintrich, P. R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 459-470.
- Pintrich, P. R. & Garcia, T. (1994). Self-regulated learning in college students: Knowledge, strategies and motivation. In P. R. Pintrich, D. Brown & C. E. Weinstein (Eds.), *Student motivation, cognition and learning* (pp. 113-133). Hillsdale: Erlbaum.

- Rakoczy, K., Buff, A. & Lipowsky, F. (2005). *Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie "Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis". Befragungsinstrumente. Teil 1*. Frankfurt am Main: DIPF.
- Reed, S. K. (1999). *Word Problems Research and Curriculum Reform*. Studies in mathematical thinking and learning. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Reusser, K. (2001a). Co-constructivism in Educational Theory and Practice. In N. J. Smelser, P. Baltes & F. E. Weinert (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon/Elsevier Science.
- Reusser, K. (2001b). Unterricht zwischen Wissensvermittlung und Lernen lernen / Alte Sackgassen und neue Wege in der Bearbeitung eines pädagogischen Jahrhundertsproblems. In C. Finkbeiner & G. W. Schnaitmann (Eds.), (pp. 106-140). Donauwörth: Auer Verlag GmbH.
- Reusser, K. & Stebler, R. (1997). Every word problem has a solution. The social rationality of mathematical modelling at school. *Learning and Instruction*, 7(4), 309-327.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion*. (2. vollst. überarb. u. erw. Aufl. ed.). Bern: Huber.
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie* (Vol. 2, pp. 249-278). Göttingen: Hogrefe.
- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: problem solving, metacognition and sense making in mathematics. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 334-370). NY: Macmillan Publishing Company.
- Seidel, T. & Shavelson, R. J. (2007). Teaching Effectiveness Research in the Past Decade: The Role of Theory and Research Design in Disentangling Meta-Analysis Results. *Review of Educational Research*, 77(4), 454-499.
- Shuell, T. J. (1996). Teaching and learning in the classroom context. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 726-764). NY: Simon & Schuster Macmillan.
- Slavin, R. E. (1996). Research for the Future. Research on Cooperative Learning and Achievement: What We Know, What We Need to Know. *Contemporary educational psychology*, 21, 43-69.
- Slavin, R. E., Hurley, E. A. & Chamberlain, A. (2003). Cooperative learning and achievement: Theory and research. In W. M. Reynolds & G. E. Miller (Eds.), *Handbook of psychology: Educational psychology* (Vol. 7, pp. 177-198). New York: Wiley.
- Snow, R., Corno, L. & Jackson, D. (1996). Individual differences in affective and conative functions. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook educational psychology* (pp. 243-310). NY: Simons & Schuster Macmillan.
- Spörer, N. & Brunstein, J. C. (2006). Erfassung selbstregulierten Lernens mit Selbstberichtsverfahren: Ein Überblick zum Stand der Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20(3), 147-160.
- Stebler, R. & Reusser, K. (1997). *Self-reported strategy use - How do secondary school students prepare for mathematics assessments?* Paper presented at the 7th European Conference for Research on Learning and Instruction (EARLI), Athen, Griechenland.
- Treilibs, V. (1979). *Formulation Processes in Mathematical Modelling*. Shell Centre for Mathematical Education. University of Nottingham.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. NY: Academic Press.

- Vidacovic, D. & Martin, W., O. (2004). Small-group searches for mathematical proofs and individual reconstructions of mathematical concepts. *Journal of Mathematical Behavior*, 23, 465-492.
- Weinstein, C. E., Husman, J. & Dierking, D. R. (2000). Self-Regulation Interventions with a Focus on Learning Strategies. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook Self-Regulation* (pp. 728-747). San Diego: Academic press.
- Wygotski, L. S. (1988). *Denken und Sprechen*. Frankfurt a.M.: Fischer Taschenbuch.
- Zeidner, M., Boekaerts, M. & Pintrich, P. R. (2000). Self-Regulation: Directions and Challenges for Future Research. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook Self-Regulation* (pp. 726-768): Academic press.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview. *Theory into Practice*, 41(2), 61-70.

Anhang

Skizzierung der in den Modellierungskreislauf eingeordneten Lösungswege der Aufgabe „Tanken“ (aus Leiss, 2007)

