

Jürgen Roth, Stefan Schumacher, Kerstin Sitter
(Universität Koblenz Landau)

(Erarbeitungs-)Protokolle als Katalysatoren für Lernprozesse

1 Darstellungskompetenz und (Erarbeitungs-)Protokolle

1.1 Darstellungskompetenz

Darstellungen umfassen Beschreibungen, Bilder, Skizzen, Symbole, Tabellen oder auch andere Inskriptionen mit denen Schülerinnen und Schüler über Lernprozesse nachdenken, sie verarbeiten, (re-)konstruieren und organisieren (DÖRFLER 2003, S. 83). Darstellungen und ein adäquater Umgang mit ihnen spielen beim Lernen von Mathematik eine wesentliche Rolle, weil die Mathematik als die Wissenschaft von den Mustern und Strukturen ausschließlich über Darstellungen zugänglich ist (DUVAL 2006). Die beiden damit verbundenen Fähigkeiten, nämlich einerseits gegebene Darstellungen eines Phänomens interpretieren und andererseits selbständig Darstellungen zu einem Phänomen erzeugen bzw. konstruieren zu können (siehe auch SCHNOTZ, BAADTE, MÜLLER und RASCH 2011), werden zusammenfassend als *Darstellungskompetenz* oder auch „*representational competence*“ (IZSÁK 2011) bezeichnet. Obwohl der zweite Aspekt der Darstellungskompetenz, die Fähigkeit zum selbständigen Erzeugen von Darstellungen, für das Lernen von Mathematik ebenfalls zentral ist (IZSÁK 2011), wird dieser bisher wenig beachtet. Dies ist umso erstaunlicher, als bereits REISBERG (1987) in seinem sowohl konzeptionellen als auch empirischen Artikel „External Representation and the Advantages of Externalizing One’s Thoughts“ die zentrale Bedeutung des Externalisierens eigener Vorstellungen während des Lernprozesses herausstellt. Externalisierungsprozesse finden immer dann statt, wenn eigene Ideen, individuelle Vorstellungen, oder auch Ergebnisse von Aushandlungsprozessen externe Gestalt annehmen (vgl. FETZER 2003). Im deutschsprachigen Raum wird dafür oft synonym der Begriff des Darstellens verwendet, mit dem „Jede Art der Veräußerung des Denkens“ (KRAUTHAUSEN & SCHERER 2007, S. 154) gemeint ist. Der Begriff „Darstellen“ impliziert bereits, dass hierzu Darstellungen des jeweiligen Phänomens selbständig erzeugt werden müssen, also der zweite Fähigkeitsaspekt der Darstellungskompetenz angesprochen wird.

1.2 Die Bedeutung des Protokollierens für den Lernprozess

Das Darstellen, also das selbstständige Erzeugen von Repräsentationen, dient dem Erzeuger einerseits zur Kommunikation mit Dritten, um Gedanken oder Vorstellungen mitzuteilen, andererseits aber auch der Kommunikation mit sich selbst (REISBERG 1987; SCHNOTZ et al. 2011). Wenn zu diesen Zwecken Vorgehensweisen und Ergebnisse von Arbeits- und Denkprozessen in Skizzen und/oder Texten festgehalten werden, sprechen wir im Folgenden von „(Erarbeitungs-)Protokollen“ und nennen die entsprechende Tätigkeit „Protokollieren“.

Protokollieren hat eine ganze Reihe von positiven Auswirkungen auf den Lernprozess und die Verständniseentwicklung. Ein Vorteil ist, unabhängig vom Adressat, die dauerhaft zugängliche externe Fixierung der Darstellungen (BRUNER 1996, S. 22f.). So kann das Arbeitsgedächtnis entlastet werden, denn: „Dadurch, dass eine externe Repräsentation erzeugt wird, lädt das Individuum einige der Erfordernisse des Problemlösens auf die Umgebung ab [...]“ (SCHNOTZ et al. 2011, S. 217). In der Folge können zum Beispiel Flüchtigkeitsfehler reduziert werden, da diese als Fehlleistungen des Arbeitsgedächtnisses anzusehen sind (WARTHA & WITTMANN 2009).

Darüber hinaus werden individuelle Vorstellungen erst durch selbsterzeugte Darstellungen im Rahmen von Protokollen zugänglich für Reflexionsprozesse, die grundlegend für das Lernen sind. Reflexion ist dabei als kognitive Aktivität zu verstehen, bei der das eigene Wissen und Handeln bewusst gemacht und dadurch veränderbar wird (DREXL 2014, S. 23f). So lassen sich basierend auf selbsterzeugte Darstellungen durch gemeinsame Reflexion in einer Gruppe z. B. Lücken im bisher erarbeiteten Wissen aufdecken (COX 1999). Prozesse des Darstellens können auch Auslöser für Reflexionsprozesse innerhalb einer Gruppe werden, wenn sich durch das Darstellen zeigt, dass unterschiedliche Vorstellungen vorliegen, die es dann durch sozialen Austausch auszuhandeln gilt (REISBERG 1987).

Des Weiteren kann bereits der Prozess des Protokollierens selbst bei der oder dem protokollierenden Lernenden dazu führen, sich beim eigenen Denken zuzuschauen sowie dazu anregen, Denkprozesse und Lösungsideen in eine für andere verständliche Form zu bringen (RASCH und SCHÜTTE 2008). SCHWEIGER (1996) betont in diesem Zusammenhang, dass das Bemühen um Verständigung mit Anderen, den Lernprozess kognitiv aktivieren und unterstützen kann – ein Aspekt, der auch beim Protokollieren von Bedeutung ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Protokolle zugleich Träger von Wissen, Katalysatoren für Reflexions- und Lernprozesse, Kommunikationsmittel und Grundlage für die Metakognition sind. Damit sind sie insbesondere im Rahmen von eigenverantwortlichen Lernsettings von essentieller Bedeutung. Renate Rasch hat aber auch

darauf hingewiesen, dass die „Darstellung mathematischer Sachverhalte [...] eine recht anspruchsvolle Kompetenz“ ist, da oft Übersetzungen zwischen Darstellungsmodalitäten gefordert sind und die Lernenden in der Lage sein müssen ihre Gedanken zu ordnen und diese dann evtl. sogar für andere verständlich extern darzustellen (RASCH und SCHÜTTE 2008, S. 87f).

2 Empirische Untersuchung zur Protokollierfähigkeit

Trotz der konzeptionell herausgearbeiteten deutlichen Vorteile für den Lernprozess und des hohen Anspruchsniveaus des Protokollierens, mangelt es an empirischer Forschung zur Fähigkeit des Darstellens. Ziel des vorgestellten Forschungsprojektes, an dem Renate Rasch an vielen Stellen maßgeblich beteiligt war, ist es daher, das Darstellen von Beobachtungen, Vorgehensweisen, Erkenntnissen und Ergebnissen in eigenverantwortlichen Lernprozessen an außerschulischen Lernorten näher zu untersuchen. Das Zielkonstrukt nennen wir „Protokollierfähigkeit“ und bezeichnen damit die Fähigkeit, (Erarbeitungs-)Protokolle so zu erstellen, so dass der Protokollant und/oder Dritte mit den angefertigten Protokollen auf den Erkenntnisprozess rückschließen können. Ein Protokoll bezieht sich auf Beobachtungen und Erkenntnisse allgemein, es wird festgehalten was in einer bestimmten Situation wichtig und erkenntnisleitend erscheint. Im Spezialfall des Erarbeitungsprotokolls besteht das Ziel des Protokollierens darin, als wichtig erachtete Vorgehensweisen und Ergebnisse eines (eigenen) Forschungs- bzw. Problemlöseprozesses festzuhalten (vgl. hierzu auch den Begriff der Handlungsprotolle bei DÖRFLER 2003).

Im Folgenden werden zunächst die beiden empirischen Teiluntersuchungen, die in der Primarstufe bzw. in der Sekundarstufe I umgesetzt wurden, näher beschrieben und anschließend die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den empirischen Untersuchungen und deren Ergebnissen herausgearbeitet.

2.1 Das Teilprojekt Primarstufe

Im *Teilprojekt Primarstufe* wurde das Konzept des Protokollierens als Strategie für nachhaltigen Erkenntnisgewinn in eigenverantwortlichen Lernprozessen mit dem inhaltlichen Schwerpunkt der Entwicklung von geometrischem Wissen und Können zu Körpern realisiert (vgl. SITTER 2015). Durch eine intensive Vernetzung mit dem schulischen Unterricht sollten in Verbindung mit dem Protokollieren tragfähige Vorstellungen zu geometrischen Körpern angebahnt sowie der Blick für die Geometrie in der Umwelt bei Viertklässlern geöffnet und vertieft werden. Dabei sollte geometrischen Begriffen Sinn verliehen werden und das Wissen zu Körpern zur Anwendung kommen. Die Gliederung der Unterrichtsstunden erfolgte in Anlehnung an das Vier-

Phasen-Modell von BEZOLD (2009, S. 182ff.). Die Strukturierung bezog sich auf den Begriffsbildungsprozess nach WINTER (1983), welcher davon ausgeht, dass effektives Begriffslernen einen Zugang voraussetzt, „der sowohl maximale Eigeninitiative begünstigt als auch die Bedeutungshaltigkeit des zu erwerbenden Begriffs von vornherein erkennen lässt“ (WINTER 1983, S. 177). Und so ging es im vorliegenden Teilprojekt mit Forscherauftrag, Skizzenblock und Stift für sechs Doppelstunden (eine Doppelstunde wöchentlich, Oktober/November 2012) hinaus in die außerschulische Lernumgebung, die authentische Lebenswirklichkeit der Kinder. Jede Doppelstunde gliederte sich dabei wie folgt:

- Phase I:** Reflexionsphase zur vorausgegangenen Stunde
- Phase II:** Initiierungsphase – Hinführung zum neuen „Forscherauftrag
- Phase III:** Gemeinsames Erkunden in der Gruppe – skizzenhaftes Protokollieren am außerschulischen Lernort
- Phase IV:** Individuelles Darstellen – Protokollieren im Klassenraum

Zu Beginn jeder Stunde moderierte die Lehrkraft eine Reflexionsphase (Phase I) zur vorausgegangenen Stunde im Sitzkreis im Klassenzimmer. Hier wurden wichtige Erkenntnisse auf der Basis der Eigenproduktionen der Kinder, die vorab von der Lehrkraft gesichtet und mit einem Kommentar zur Weiterentwicklung versehen wurden, zusammengefasst und das reguläre Wissen und Können zu Körpern gesichert. Innerhalb der Initiierungsphase (Phase II) wurden organisatorische Dinge, wie Zeit- und Gruppeneinteilung für den sich daran anschließenden außerschulischen Lernprozess, geplant und der jeweilige Forscherauftrag sowie die damit verbundenen Tätigkeiten für die Erkundungen in der nahen Umgebung der Schule gemeinsam mit den Kindern besprochen. Verschiedene Gebäude (vgl. Abb. 1) wurden folglich (Phase III) unter geometrischen Gesichtspunkten in Kleingruppen genauer betrachtet und erste Entdeckungen skizzenhaft protokolliert. Der konkrete Forscherauftrag in der außerschulischen Lernumgebung lautet dabei wie folgt:



Abb. 1: Gebäudebeispiel

Geht in die Mustermannstraße und sucht das Haus mit der Nummer XX.

Betrachtet alles ganz genau. Welche geometrischen Körper könnt ihr am und um das Gebäude entdecken? Welche Eigenschaften sind kennzeichnend? Was ist das Besondere?

Tauscht euch in der Forschergruppe aus und macht euch mit Hilfe eures Skizzenblocks erste Notizen und Skizzen zu euren Entdeckungen!

Vor Ort nahmen die Lernenden verschiedene Perspektiven bzgl. des zu entdeckenden Objektes ein, spürten Besonderheiten auf, protokollierten mit Hilfe ihres Skizzenblocks erste Erkenntnisse und tauschten sich mit ihren Gruppenmitgliedern über wichtige Eigenschaften und Zeichenschritte aus. Auch die Tatsache, dass es in unserer Umwelt keine Idealkörper gibt, kam hier immer wieder zur Sprach. Statt die Formabweichungen zu akzeptieren und vordergründig geometrische Eigenschaften zu betrachten, diskutierten die Schülerinnen und Schüler über Unterschiede und Gemeinsamkeiten, indem sie ihr begriffliches Wissen zu Körpern nutzten.

Zurück im Klassenzimmer (Phase IV) hatten die Schülerinnen und Schüler dann noch einmal die Gelegenheit ausgewählte Skizzen und Notizen, die sie in der außerschulischen Lernumgebung angefertigt hatten, im so genannten „Forscherheft“ auszuarbeiten, zu überprüfen und ggf. zu vervollständigen – und zwar so, dass sich ein anderes Kind die Entdeckungen gut vorstellen kann (vgl. Abb. 2). Mehr Vorgaben gab es hierbei nicht. Gestützt wurde die Protokollierung durch ein von uns angelegtes Körperlexikon, das als zentrales Nachschlagewerk für wichtige Begriffe und Eigenschaften sowie zentrale Schritte im Zeichenprozess rund um geometrische Körper von den Schülerinnen und Schülern genutzt werden konnte (vgl. SITTER 2014).

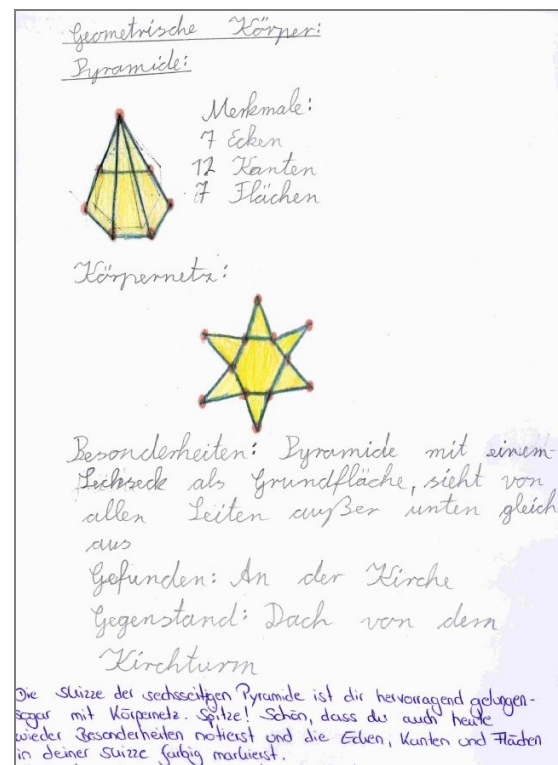


Abb. 2: Beispielprotokoll

Ein wichtiges Vorhaben des Teilprojekts ist es, zu untersuchen, inwiefern sich die Einbeziehung außerschulischer Lernorte und der Einsatz von Protokollen auf die Entwicklung nachhaltigen geometrischen Wissens von Viertklässlern auswirken. Ist der Leistungszuwachs in der außerschulischen Lernumgebung in Verbindung mit dem Protokollieren vergleichbar zu einem Unterricht zum selben Inhalt, Vorgehen und mit derselben Unterrichtszeit, aber in gewohnter Form im Klassenzimmer? Wie entwickeln sich die Leistungen der Schülerinnen und Schüler, die einen außerschulischen Lernort aufsuchen und ihre Entdeckungen protokollieren, im Vergleich zu Lernenden, die gänzlich ohne außerschulische Lernorte und ohne Protokollieren ihr Wissen und Können zu Körpern erweitern? Eine weitere, mit dem *Teilprojekt Sekundarstufe* gemeinsame und im vorliegenden Beitrag zentrale Zielsetzung, wird zudem auf die Erfassung grundlegender Protokollierfähigkeiten und deren Bedeutung für den Lern-

erfolg bei Schulkindern gelegt. Wie lassen sich diese messen? Welchen Einfluss auf den Lernerfolg haben sie?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein Pre-Post-Follow-Up-Test-Design mit zwei Experimental- und einer Kontrollgruppe ($N = 119$ Viertklässler) gewählt. Während die Experimentalgruppe 1 (EG 1), wie weiter oben aufgeführt, ihr geometrisches Wissen und Können zu Körpern am außerschulischen Lernort unter Berücksichtigung des Vier-Phasen-Unterrichtsmodells nach BEZOLD (2009) erweiterte und vertiefte, entwickelte die Experimentalgruppe 2 (EG 2) ihre geometrischen Kompetenzen anhand von Abbildungen aus Lehrwerken und Körpermodellen an Stationen im Klassenzimmer weiter. Das Unterrichtskonzept war ansonsten identisch mit dem der EG 1. Auch hier wurde nach dem Vier-Phasen-Modell von BEZOLD (2009) vorgegangen (allerdings im Unterschied zu EG 1 nur im Klassenzimmer gelernt und gearbeitet) und die Entdeckungen von den Schülerinnen und Schülern protokolliert. In beiden Gruppen wurde zudem eine Unterteilung in „mit Protokollierhilfen“ und „ohne Protokollierhilfen“ vorgenommen. Das heißt ein Teil der Gruppe wurde durch frei zur Verfügung stehende Satzanfänge, Leitfragen und ähnliches (kurz Prompts) zu gezielten Protokollierungen angeregt, der andere Teil erhielt ausschließlich den Arbeitsauftrag zu protokollieren. Um vergleichende Informationen über die Wirksamkeit des Lernens am außerschulischen Lernort (EG 1) bzw. die Wirksamkeit des schulischen Lernens unter Berücksichtigung des gleichen Unterrichtskonzeptes (EG 2) zu erhalten, wurde zudem eine Kontrollgruppe (KG) zeit- und inhaltsgleich wie gewohnt in der Schule anhand von Kopiervorlagen aus verschiedenen Lehrbüchern sowie Prototypen und Unterrichtsmodellen zu Körpern unterrichtet.

Als Messinstrumente wurden ein eigens erstellter Test zur Erfassung geometrischer Kompetenzen mit dem Schwerpunkt geometrische Körper sowie ein in gruppenübergreifender Zusammenarbeit mit dem *Teilprojekt Sekundarstufe* entwickeltes „Video-Item“-Analyseinstrument zur Erfassung der Protokollierfähigkeit gewählt. Ersteres umfasste dabei 14 Items, die alle inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzen aus der Leitidee Raum und Form (KMK 2005, S. 10) abbildeten, wobei der Schwerpunkt auf der Kompetenz „Geometrische Figuren erkennen, benennen und darstellen“ lag. Das Messinstrument zur Erfassung der Protokollierfähigkeit wird weiter unten (Abschnitt 3) vorgestellt.

2.2 Das Teilprojekt Sekundarstufe I

Im *Teilprojekt Sekundarstufe* wurde die Leistungsentwicklung und die Entwicklung der Protokollierfähigkeit an einer Laborstation des Mathematik-Labors „Mathe ist mehr“ (vgl. mathe-labor.de) der Universität Koblenz-Landau am Campus Landau

untersucht. Der außerschulische Lernstandort wird von der Arbeitsgruppe Didaktik der Mathematik (Sekundarstufen) als Schülerlabor Mathematik betrieben, in dem sich Schulklassen anhand vorstrukturierter Lernumgebungen mit einem Lehrplanthema auseinandersetzen. Im Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ können Schülerinnen und Schüler unter expliziter Zielsetzung handlungsorientiert und experimentell mathematische Grundlagen und Zusammenhänge an Phänomenen in einem Zeitrahmen von drei Doppelstunden pro Laborstation entdecken, erarbeiten und durchdringen. Die Lernenden arbeiten grundsätzlich in Vierergruppen selbständig an schriftlichen Arbeitsaufträgen. Sie setzen sich dabei mit Materialien, gegenständlichen Modellen, Simulationen und ggf. Videos auseinander, rufen bei Bedarf die zur Verfügung gestellten Hilfestellungen ab, kommunizieren in der Gruppe über ihre Beobachtungen, strukturieren und dokumentieren ihre Arbeitsprozesse sowie -ergebnisse und reflektieren diese (vgl. Abb. 3). Hierzu sind in die Arbeitshefte spezielle Kästen integriert, in denen Lernende ihre Ergebnisse und Vorgehensweisen, unter Nutzung vielfältiger selbsterzeugter Darstellungen, festhalten können.

Inhaltliches Ziel der in der Untersuchung eingesetzten Laborstation „Mathematik und Kunst“ ist die Erarbeitung von Grundvorstellungen zu Bruchzahlen und der Bruchrechnung. Hierzu werden an Kunstwerken der konkreten Kunst die ihnen zugrundeliegenden mathematischen Muster und Strukturen analysiert. Dies ist insofern legitim, als Künstler dieser Kunstrichtung, wie etwa Max Bill, ihre Kunstwerke weitgehend auf der Grundlage von mathematischen Ideen entwickeln.

Die Lernumgebung wurde mit dem Ziel konzipiert, den Aufbau von Grundvorstellungen zu fördern. Bei Grundvorstellungen zu Bruchzahlen werden Bruchzahlen und Rechenoperationen in verschiedenen, sachlich sinnvollen Zusammenhängen inhaltlich gedeutet und dargestellt (vom Hofe 1996). Bei der Grundvorstellung „Teil eines Ganzen“ wird die Zahl Eins bildlich als ein Ganzes dargestellt und diese bildliche Darstellung anschließend geeignet in Teile unterteilt, die relativ zum Ganzen als Anteil gedeutet werden können. Bildliche Darstellungen können dabei geometrische Figuren wie Kreise oder Quadrate sein, aber auch konkrete Darstellungen wie etwa Kuchen und Pizzen. Diese Deutung für Bruchzahlen lässt sich auch auf Kunstwerke der konkreten Kunst übertragen. In der konkreten Kunst werden häufig geometrische Figuren wie zum Beispiel Quadrat oder Rechtecke anhand



Abb. 3: Schülerinnen und Schüler bei der Laborarbeit

bestimmter Kriterien weiter unterteilt. Diese Unterteilungen werden dann so eingefärbt, dass aus der Kombination aus Unterteilung und Färbung ein besonders harmonisches Bild entsteht. Die Grundvorstellung Teil eines Ganzen stellt dabei ein tragfähiges Konzept zur Analyse dieser aus Form und Farbe gegebenen Strukturen dar. In seinem Kunstwerk „Progression in fünf Quadraten“ hat Max Bill insgesamt fünf deckungsgleiche Quadrate untereinander angeordnet (vgl. Abb. 4). Das obere Quadrat wird noch nicht unterteilt. Das zweite Quadrat wird in der Mitte in zwei deckungsgleiche Rechtecke, also zwei Hälften unterteilt. Danach folgt eine Drei-, Vier- und Fünfteilung in jeweils deckungsgleiche Teile. An diesem Kunstwerk können nun erste Strukturen zum Beispiel bezogen auf Größenvergleiche von Stammbrüchen anschaulich erforscht werden. Um die dem Kunstwerk zugrundeliegende Struktur und somit die Grundvorstellung zugänglich zu machen, wurden eigens für das Mathematik-Labor Kunstwerk-Puzzles entwickelt (vgl. Abb. 4).

Ein Viertel Puzzleteil ist zum Beispiel beobachtbar kleiner als ein Drittel, weil bei einem Viertel das gleiche Ganze in mehr deckungsgleiche Teile unterteilt wird. Diese Idee lässt sich auf alle Vergleiche zählergleicher Brüche übertragen. Die Erforschung solcher Vergleiche kann durch Computersimulationen unterstützt werden, da über die begrenzte Fallzahl des Puzzles hinweg, neue Fälle getestet werden können, die einen vermuteten Zusammenhang bestätigen oder widerlegen. Hier zeigt sich, dass mathematisches Forschen durchaus mit Methoden der empirischen Wissenschaften vereinbar ist.

Die Laborarbeit im Mathematik-Labor besteht aber nicht nur aus dem erforschen neuer Strukturen. Zum Abschluss können die Schülerinnen und Schüler ihr erworbenes Wissen über Bruchzahlen und die Bruchrechnung produktiv einsetzen um eigene Kunstwerke nach mathematischen Gestaltungsprinzipien zu entwerfen. Dabei wird indirekt neues Wissen über Bruchzahlen generiert, sowie vorhandenes Wissen über Strukturen gefestigt. In Anlehnung an eine „Kunstwerkreihe“ von Max Bill mit dem Titel „ $8 (2 \frac{4}{4}) = 8$ “ sollen die Lernenden auf zwei deckungsgleiche, regelmäßige Sechsecke drei Farben gleichmäßig verteilen. Hierzu werden, je nach Komplexitätsgrad des von ihnen erstellten Kunstwerks, bereits erste anschauliche Strategien zur Addition von Bruchzahlen benötigt. Zu jedem Kunstwerk, fertigen die Lernenden ein Poster an, auf dem neben dem Kunstwerk auch das zugrundeliegende mathematische Konzept dargestellt wird. Diese können im Anschluss an den Laborbesuch im Rahmen einer Klassenzimmerversnissage präsentiert werden.

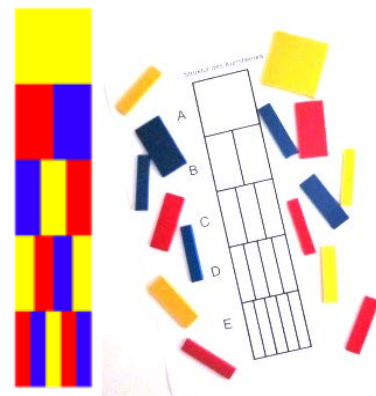


Abb. 4: Max Bill „progression in fünf quadraten“ (links) und das äquivalente Kunstwerkpuzzle (rechts)

Ein zentraler Aspekt der Gestaltung der Arbeitshefte wurde in der vorgestellten Untersuchung zur Variation der Untersuchungsbedingungen genutzt, um der Frage nachzugehen, wieviel Unterstützung beim Festhalten der Ergebnisse und Vorgehensweisen, also beim Erstellen von Erarbeitungsprotokollen für die Lernenden jeweils sinnvoll ist. Der Grad der Unterstützung ist hier als Kontinuum zwischen den Polen „keine Unterstützung“, also dem bloßen Stellen eines inhaltlichen Problems, ohne explizite Aufforderung oder Vorgaben zum Festhalten der Ergebnisse bis hin zum Pol „vollständige Vorgabe“, bei dem die Ergebnisse und Vorgehensweisen beispielhaft gegeben werden. Eine etwas schwächere Form der vollständigen Vorgabe, stellt etwa ein Lückentext dar. Diese starken Formen der Unterstützung schränken allerdings individuelle Vorgehensweisen beim Erforschen mathematischer Muster und Strukturen stark ein.

Für die Untersuchung wurden zwei Niveaus der Instruktion bezogen auf die Unterstützung beim Erstellen von Erarbeitungsprotokollen herausgearbeitet und in den Arbeitsheften der Lernumgebung umgesetzt. Niveau 1 mit einem hohen Maß an Unterstützung und Niveau 2 mit einem geringeren Maß an Unterstützung. In Niveau 1 wurden Aufforderungen zum Festhalten von Ergebnissen mit passenden Satzanfängen und Vorgaben von Skizzen kombiniert und in die Arbeitshefte implementiert. In Niveau 2 wurde in den Arbeitsheften ausschließlich zum Festhalten von Ergebnissen aufgefordert. Entsprechend dieser beiden Niveaus wurden in der durchgeführten quasi-experimentellen Pre-, Post-, Follow-Up-Test Studie zwei Experimentalgruppen mit einer Kontrollgruppe verglichen. Die untersuchten Schülerinnen und Schüler kamen aus insgesamt acht sechsten Klassen zweier Gymnasien. Experimentalgruppe 1 ($N = 81$) arbeitete mit Arbeitsheften auf Instruktionsniveau 1, während Experimentalgruppe 2 ($N = 68$) mit Arbeitsheften auf Instruktionsniveau 2 arbeitete. Die Kontrollgruppe ($N = 50$) wurde inhalts- und zeitgleich regulär in der Schule unterrichtet.

2.3 Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Teilprojekte

Nach einem Überblick über die beiden Projekte, sollen nun einige Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verschiedenen Ansätze herausgearbeitet werden. In beiden Teilprojekten steht ein außerschulischer Lernort im Mittelpunkt. Während im *Teilprojekt Sekundarstufe* mit dem Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ ein Schülerlabor als außerschulischer Lernort gewählt wurde, der methodisch-didaktisch vorstrukturiert und für spezielle Lernzwecke eingerichtet wurde (SALZMANN 1991, S. 14), erhält der Ort im *Teilprojekt Primarstufe* erst durch die gezielte Unterrichtseinbindung durch die Lehrkraft einen Bildungsauftrag (SCHERER 2010). Im Zentrum des *Teilprojektes Sekundarstufe* steht folglich die handlungsorientierte und experimentelle Auseinandersetzung mit einem Lehrplanthema in einer vorstrukturierten Lernumgebung, im *Teilprojekt Primarstufe* die Begegnung mit der

authentischen Lebenswirklichkeit der Kinder, an die ein Lernziel herangetragen wird. Beiden Projekten gemeinsam ist dagegen die Art und Weise des Lernens bzw. des Erkenntnisgewinns am außerschulischen Lernort. Im Zentrum beider Projekte steht ein eigenverantwortlicher Lernprozess initiiert durch Protokolle, die im späteren Unterricht zum Ausgangspunkt vertiefender Reflexionsphasen oder für die Weiterarbeit genutzt werden können. Während die konkrete Vernetzungsarbeit mit dem schulischen Lernort im *Teilprojekt Primarstufe* innerhalb des Projekts umgesetzt wird, bleibt diese im *Teilprojekt Sekundarstufe* der Mathematiklehrkraft der Klasse überlassen – deshalb auch die Differenz von drei Doppelstunden innerhalb der Projekte. Was den sozialen Austausch und die Arbeit in Kleingruppen am außerschulischen Lernort betrifft, so kann festgehalten werden, dass dies in beiden Projekten gegeben ist. Die Tatsache der verschiedenen außerschulischen Lernorte wirkt sich allerdings auf die dort vorzufindenden Darstellungen aus (didaktisch aufbereitete Darstellungen vs. Darstellungen aus der Umwelt). Im Gegensatz zum *Teilprojekt Sekundarstufe* basiert das von den Grundschulkindern selbst erstellte Protokoll nicht auf einer mehr oder weniger vorstrukturierten Protokollvorlage, sondern einem einfachen weißen Blatt Papier versehen mit dem Auftrag, alles aufzuschreiben und zu skizzieren, was sie in der außerschulischen Lernumgebung entdeckt haben – und zwar wieder so, dass sich ein anderes Kind die Entdeckungen gut vorstellen kann. Im *Teilprojekt Sekundarstufe* gab es neben einem individuellen Protokollierbogen zudem ein gemeinsames Gruppenheft, indem zentrale Ergebnisse aus der gemeinsamen Gruppenarbeit an den Stationen festgehalten wurden und welches zum Ausgangspunkt vertiefender Reflexionsphasen bzw. für die Weiterarbeit im späteren Unterricht von der Mathematiklehrkraft genutzt werden konnte. Um der Frage nachzugehen, wie viel Unterstützung beim Erstellen von Protokollen in der außerschulischen Lernumgebung für die Lernenden jeweils sinnvoll ist, wurde in beiden Projekten zudem eine Unterteilung der Experimentalgruppen in „mit Protokollierhilfen“ und „ohne Protokollierhilfen“ vorgenommen. Im *Teilprojekt Sekundarstufe* wurden dabei zwei Niveaus der Protokollierhilfen herausgearbeitet und in den Arbeitsheften der Lernumgebung umgesetzt. Im *Teilprojekt Primarstufe* wurde dieser Aspekt durch frei zur Verfügung stehende Satzanfänge und Leitfragen initiiert und nicht direkt in das Forscherheft integriert.

3 Das Messinstrument zur Erfassung der Protokollierfähigkeit

Für das Testen der Fähigkeit zum Erstellen von Protokollen wurden in gruppenübergreifender Zusammenarbeit sogenannte „Video-Items“ sowie ein entsprechendes Analyseschema entwickelt (vgl. Engl et al. 2014). Die Konzeption der Video-Items beruht

dabei auf der Idee, Schülerinnen und Schülern Videosequenzen von fachdidaktischen Demonstrationen (Dauer: ca. drei Minuten) zu präsentieren, verbunden mit der Aufgabe, den Videoinhalt in Form eines Protokolls darzustellen. Dabei wurde darauf geachtet, dass nicht nur die Arbeitsaufträge, sondern auch die Videosequenzen über die Domänen hinweg strukturgleich gestaltet sind.

Im Video des *Teilprojektes Primarstufe* wurde – in Anlehnung an das Unterrichtsexperiment – ein unter geometrischen Gesichtspunkten betrachtetes Wohngebäude und seine Umgebung vorgestellt (vgl. Abb. 5). Zum Video erhielten die Schülerinnen und Schüler folgenden Arbeitsauftrag:

Schreibe und skizziere alles auf, was du gesehen hast. Notiere und skizziere es so, dass sich andere Kinder das Gebäude sowie die Umgebung gut vorstellen können.

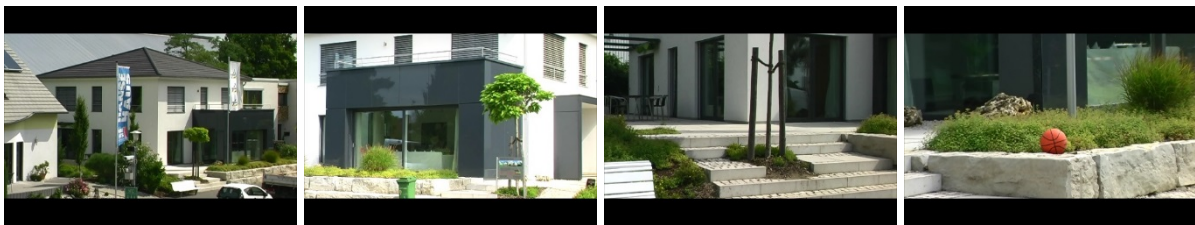


Abb. 5: Bildausschnitte aus dem Video-Item (*Teilprojekt Primarstufe*)

Im *Teilprojekt Sekundarstufe* wurde, dem Vorgehen am außerschulischen Lernort entsprechend, das Arbeiten mit gegenständlichen Modellen zur Ausbildung von Grundvorstellungen zur Addition von Brüchen aufgegriffen (vgl. Abb. 6). Zum Video erhielten die Schülerinnen und Schüler folgenden Arbeitsauftrag:

Du siehst gleich ein Video in dem dir die Addition zweier Brüche erklärt wird. Sieh es dir genau an, denn das Video wird nur einmal gezeigt. Notiere das, was du im Video gesehen hast so, dass du mit deinen Notizen besonders gut für deine nächste Klassenarbeit lernen kannst. Du kannst einen Text schreiben oder etwas zeichnen.

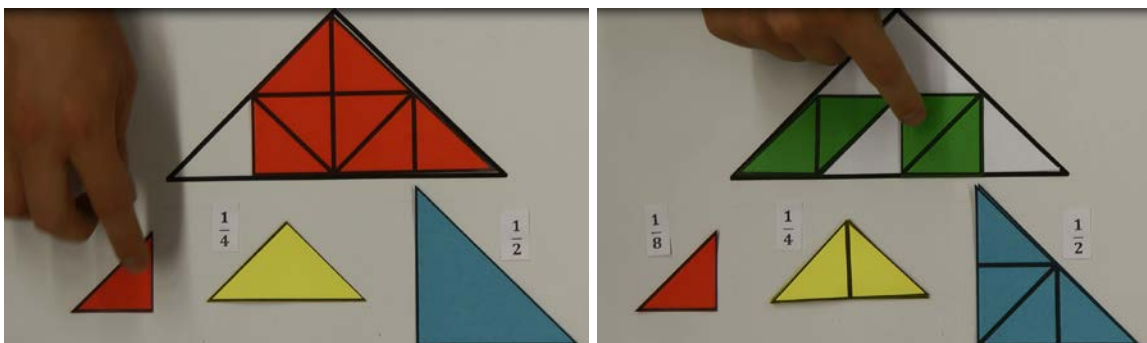


Abb. 6: Bildausschnitte aus dem Video-Item (*Teilprojekt Sekundarstufe*)

In den Arbeitsaufträgen zu den beiden Videos werden unterschiedliche Adressaten angesprochen. Dies erklärt sich aus den beiden unterschiedlichen Situationen, die die Videos wiedergeben. Im ersten Fall wird eine Alltagssituation betrachtet, die man eher einem Dritten darstellen möchte, der nicht dabei war. Beim zweiten Video handelt es sich um eine Lernsituation, deren Inhalt man situationsbezogen eher für sich selbst protokollieren möchte.

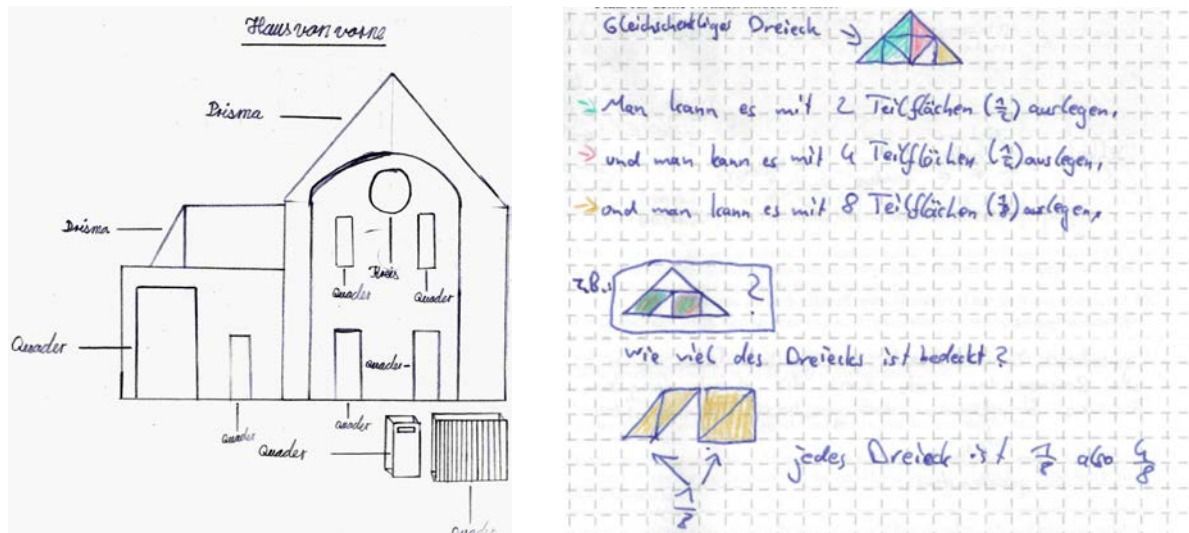


Abb. 7: Beispielprotokolle Nachttest (Teilprojekt Primarstufe: links, Teilprojekt Sekundarstufe: rechts)

Um die Ausprägung der Qualität und die Entwicklung der Protokollierfähigkeit bei Lernenden auf der Basis der Videoprotokolle erfassen zu können, wurde ein einheitliches Bewertungssystem entwickelt. Dieses umfasst folgende vier Kategorien: Gliederung (Absätze, Strukturierungselemente, Lesbarkeit), Produkt (korrekte Darstellung wesentlicher Inhalte), Beziehungen (korrekte Darstellung wesentlicher Beziehungen zwischen Inhalten, innere Struktur, Systematik des Aufbaus) und Repräsentationsform (Art der gewählten Repräsentationsform, Verwendung mehrerer Repräsentationsformen). Erfasst wurden die Daten zu je drei Messzeitpunkten (unmittelbar vor, direkt nach sowie vier Wochen nach der Intervention). Abbildung 7 zeigt beispielhaft zwei nach dem oben beschriebenen Auswertungssystem als gut eingestufte Protokolle.

4 Empirische Ergebnisse zur Entwicklung der Protokollierfähigkeit

Für die Entwicklung der Protokollierfähigkeit zeigt eine Varianzanalyse mit Messwiederholung im *Teilprojekt Primarstufe* einen signifikanten Interaktionseffekt

zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit ($F(4,232) = 3.63$, $p = .007$, $\eta^2 = .059$) und im *Teilprojekt Sekundarstufe* einen marginal signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit ($F(4,306) = 2.076$, $p = .084$, $\eta^2 = .027$). In beiden Untersuchungen können also Gruppenunterschiede über die Messzeitpunkte hinweg festgestellt werden. Abbildung 8 gibt einen ersten Überblick über diese Ergebnisse.

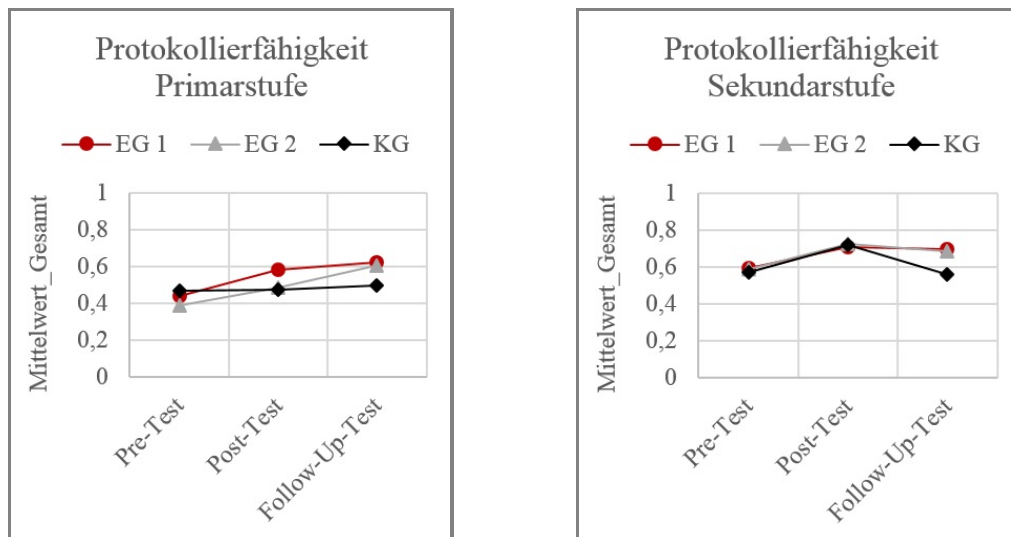


Abb. 8: Entwicklung Protokollierfähigkeit

Betrachtet man in Abbildung 8 die Graphik zum *Teilprojekt Primarstufe*, so fällt auf, dass in den Experimentalgruppen über alle Messzeitpunkte hinweg ein Trainingseffekt zu beobachten ist. In der Kontrollgruppe ist hingegen über die Messzeitpunkte hinweg keine Veränderung zu verzeichnen (vgl. Abb. 8). Eine besondere Auffälligkeit ist, dass es in beiden Experimentalgruppen von Post- zu Follow-Up-Test erneut einen Zuwachs gibt. Der Post-hoc Vergleich mit dem Tukey HSD Test zeigt einen marginal signifikanten Mittelwertunterschied ($p = .089$) zwischen Experimentalgruppe 1 und Experimentalgruppe 2.

Betrachtet man die zur Untersuchung *des Teilprojektes Sekundarstufe* gehörige Grafik, so fällt auf, dass zum Zeitpunkt des Nachtests zunächst in allen drei Gruppen ein Trainingseffekt zu beobachten ist. In der weiteren Betrachtung fällt allerdings auf, dass die Kontrollgruppe zum Zeitpunkt des Follow-Up-Tests auf ihren Ausgangswert zurückfällt, während in den beiden Experimentalgruppen zum Zeitpunkt des Follow-Up-Tests ein Trainingseffekt bestehen bleibt (vgl. Abb. 8). Im *Teilprojekt Sekundarstufe* wurde zur Analyse der paarweisen Vergleiche der Post-Hoc-T-Test nach Dunnett verwendet (Annahme: EG1 und EG2 > KG). Dunnetts Post-Hoc-T-Test zeigt tatsächlich im Vergleich der Kontrollgruppe zur Experimentalgruppe 1 einen marginal signifikanten Unterschied ($p = .06$) und zwischen Kontrollgruppe zur

Experimentalgruppe 2 ebenfalls einen marginal signifikanten Unterschied ($p = .067$) an.

Weitere Ergebnisse des *Teilprojekts Sekundarstufe* zeigen außerdem, dass das Instruktionsniveau der Prompts keinen Einfluss auf die Entwicklung der Protokollierfähigkeit hat. Alleine die Aufforderung zum Protokollieren führt zu einem vergleichbaren Ergebnis wie ein durch Prompts angeleitetes Protokollieren. Dies ist auch im *Teilprojekt Primarstufe* zu erkennen. Auch hier können keine Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen „mit Protokollierhilfen“ und „ohne Protokollierhilfen“ festgestellt werden. Hier sei angemerkt, dass die Grundschul Kinder die frei zur Verfügung stehenden Prompts schlichtweg nicht genutzt haben. Kinder im Grundschulalter fällt es oft noch schwer, sich sprachlich auszudrücken. Gezielte Schreibanlässe, die in weiterführenden Schulen immer wieder auftreten und speziell in den Experimentalgruppen initiiert wurde, wurden in der Kontrollgruppe nicht gesetzt. Folglich verwundert es nicht, dass die Kontrollgruppe des *Teilprojektes Primarstufe* ihre Fähigkeiten im Protokollieren nicht erweitern konnte. Die Kinder wurden hier nicht gezielt dazu angeleitet¹. Stattdessen wurde vordergründig mit Arbeitsblättern und Aufgabenstellungen aus dem Schulbuch gearbeitet.

Anders sieht dies im *Teilprojekt Sekundarstufe* aus. Hier konnten die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe ihre Protokollierfähigkeit auch im Regelunterricht erweitern. Hier könnte argumentiert werden, dass Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe bereits geübt darin sind Sachverhalte darzustellen, zum Beispiel durch das Übernehmen von Tafelbildern in das eigene Heft. So könnten Schülerinnen und Schüler auch aus dem Regelunterricht inhaltbezogen, durch die Teilnahme an einer entsprechenden Unterrichtseinheit, ihre Protokollierfähigkeit erweitern. Protokolle auf Basis der Video-Items könnten mit dem Abschreiben eines Tafelbildes mit zusätzlichen Erklärungen verglichen werden, da im Video das Endprodukt als Standbild zu sehen ist. Ein Tafelbild ist auch ein Endprodukt, das im Entstehen durch Erklärungen der Lehrkraft begleitet wird.

Der Zuwachs der Protokollierfähigkeit in den Experimentalklassen des *Teilprojektes Primarstufe* zwischen Post- und Follow-Up-Test könnte drei mögliche Gründe haben: erstens das identische Video im Pre- und Follow-Up-Test, zweitens die Gewöhnung an die Struktur und drittens die Weiterarbeit im späteren Unterricht. Betrachtet man die Ergebnisse des *Teilprojektes Sekundarstufe*, so fällt auf, dass obwohl auch hier das Video des Follow-Up-Tests dem des Pre-Tests entsprach und die Möglichkeit der Gewöhnung an die Struktur des Videos bestand, kein Zuwachs von Post- zu Follow-Up-Test zu verzeichnen ist. Die ersten beiden Gründe scheinen also nicht unbedingt

¹ Dass gezielte Schreibanlässe im Mathematikunterricht der Grundschule nicht die Regel sind, wird in Gesprächen mit Lehrkräften bestätigt.

ausschlaggebend für die weitere Entwicklung im *Teilprojekt Primarstufe* gewesen zu sein. Damit scheint die Weiterarbeit im späteren Unterricht nach Abschluss der Untersuchung ursächlich zu sein. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen im *Teilprojekt Sekundarstufe*, in dem die Protokollierfähigkeit nicht weiter gezielt trainiert und auch an neuen Inhalten weitergearbeitet wurde. Dies könnte erklären, warum es im *Teilprojekt Sekundarstufe* zu keinem weiteren Zuwachs im Follow-Up-Test gekommen ist. Der Abfall des Wertes der Protokollierfähigkeit in der Kontrollgruppe des *Teilprojektes Sekundarstufe* könnte auf einen weniger nachhaltigen Erwerb dieser Fähigkeit durch den stark lehrezentrierten Unterricht zurückzuführen sein. In den Experimentalgruppen des *Teilprojektes Sekundarstufe* konnten sich die Schülerinnen und Schüler ihre Protokollierfähigkeit selbstständig unter Nutzung der gegebenen Instruktionen und somit offensichtlich nachhaltiger erarbeiten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Protokollierfähigkeit in beiden Projekten an außerschulischen Lernorten verbessert werden konnte. Auch im schulischen Kontext lassen sich Kompetenzen im Protokollieren erweitern (vgl. Entwicklung EG 2 *Teilprojekt Primarstufe* oder die Entwicklung KG im *Teilprojekt Sekundarstufe*). Entscheidend ist, dass eigenverantwortliche Lernprozesse durch Protokolle initiiert werden. Der Lernort und die Art der Anleitung zum Protokollieren haben keinen signifikanten Einfluss auf die Protokollierfähigkeit. Entscheidend ist, dass Schülerinnen und Schüler zum Protokollieren angehalten werden.

5 Literatur

- Bezold, A. (2009). *Förderung von Argumentationskompetenzen durch selbstdifferenzierende Lernangebote: Eine Studie im Mathematikunterricht der Grundschule*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Bruner, J. (1996). *The culture of education*. Cambridge: Harvard University Press.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363.
- Dörfler, W. (2003). Protokolle und Diagramme als ein Weg zum diskreten Funktionenbegriff. In M.H.G. Hoffmann, (Hrsg.), *Mathematik verstehen (S. 78-94)*. Hildesheim: Franzbecker.
- Drexler, D. (2014). *Qualität im Grundschulunterricht - Der Einfluss der Elementar- auf die Primarpädagogik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61, 103–131.
- Engl, L.; Schumacher, S.; Sitter, K.; Größler, M.; Niehaus, E.; Rasch, R.; Roth, J. & Risch, B. (2014). Entwicklung eines Messinstrumentes zur Erfassung der Protokollierfähigkeit - initiiert durch Video-Items. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*.
- Fetzer, M. (2003). Verschriftlichungsprozesse im Mathematikunterricht der Grundschule aus interaktionstheoretischer Sicht. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 24(3/4), 172-189.
- Vom Hofe, R. (1996): Grundvorstellungen – Basis für inhaltliches Denken. *Mathematik lehren – Grundvorstellungen*. 78, 4-8.
- Izsák, A. (2011). Representational Competence and Algebraic Modeling. In E. Knuth (Ed.), *Early Algebraization* (pp. 239-258). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Krauthausen, G. & Scherer, P. (2007). *Einführung in die Mathematikdidaktik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich: Beschluss vom 15.10.2004*. München: Luchterhand.
- Rasch, R. & Schütte, S. (2008). Zahlen und Operationen. In G. Walther et al.(Hrsg.), *Bildungsstandards für die Grundschule: Mathematik konkret* (S. 66-88). Berlin: Cornelsen Scriptor Verlag GmbH & Co. KG.
- Reisberg, D. (1987). External representation and the advantages of externalizing one's thought. In E. Hunt (Ed.), *The Ninth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 281-293). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Salzmann, C. (1991). *Regionales Lernen und Umwelterziehung: Beispielhafte erlebnispädagogische Reflexionen*. Lüneburg: Neubauer
- Scherer, P. & Rasfeld, P. (2010). Außerschulische Lernorte - Chancen und Möglichkeiten für den Mathematikunterricht. *mathematik lehren*, 160, 4-10.
- Schnotz, W.; Baadte, C.; Müller, A. & Rasch, R. (2011). Kreatives Denken und Problemlösen mit bildlichen und beschreibenden Repräsentationen. In K. Sachs-Hombach, & R. Totzke (Hrsg.), *Bilder-Sehen-Denken* (S. 204-252). Köln: Herbert von Halem Verlag.

- Schweiger, F. (1996). Die Sprache der Mathematik aus linguistischer Sicht. In K.P. Müller (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 1996* (S. 44-51). Hildesheim: Franzbecker.
- Sitter, K. (2014). Grundfläche zeichnen, Spitze markieren, Kanten antragen – so einfach kann räumliches Zeichnen sein. *Grundschulunterricht Mathematik*, 3, 28-35.
- Sitter, K. (2015). Zum Einfluss außerschulischer Lernorte auf einen nachhaltigen Erkenntnisgewinn im Geometrieunterricht der Grundschule. In D. Karpa, G. Lübbecke & B. Adam (Hrsg.), *Außerschulische Lernorte. Theorie, Praxis und Erforschung außerschulischer Lerngelegenheiten* (S. 274-294). Immenhausen: Prolog-Verlag.
- Wartha, S. & Wittmann, G. (2009). Ursachen für Lernschwierigkeiten im Bereich des Bruchzahlbegriffs und der Bruchrechnung. In A. Fritz & S. Schmidt (Hrsg.), *Fördernder Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I* (S. 73-108). Weinheim: Beltz.
- Winter, H. (1983). Über die Entfaltung begrifflichen Denkens im Mathematikunterricht. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 4/3, 175-204.