

Laubmeister, Clara; Schwank, Inge

Förderung geometrischer Fähigkeiten in heterogenen Lerngruppen durch Assistive Technologien mit dem Fokus Körperliche und motorische Entwicklung

Ferencik-Lehmkuhl, Daria [Hrsg.]; Huynh, Ilham [Hrsg.]; Laubmeister, Clara [Hrsg.]; Lee, Curie [Hrsg.]; Melzer, Conny [Hrsg.]; Schwank, Inge [Hrsg.]; Weck, Hannah [Hrsg.]; Ziemer, Kerstin [Hrsg.]: Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung. Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2023, S. 66-80



Quellenangabe/ Reference:

Laubmeister, Clara; Schwank, Inge: Förderung geometrischer Fähigkeiten in heterogenen Lerngruppen durch Assistive Technologien mit dem Fokus Körperliche und motorische Entwicklung - In: Ferencik-Lehmkuhl, Daria [Hrsg.]; Huynh, Ilham [Hrsg.]; Laubmeister, Clara [Hrsg.]; Lee, Curie [Hrsg.]; Melzer, Conny [Hrsg.]; Schwank, Inge [Hrsg.]; Weck, Hannah [Hrsg.]; Ziemer, Kerstin [Hrsg.]: Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung. Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2023, S. 66-80 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-263036 - DOI: 10.25656/01:26303

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-263036>

<https://doi.org/10.25656/01:26303>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<http://www.klinkhardt.de>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-Licence: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work or its contents. You are not allowed to alter, transform, or change this work in any other way.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Clara Laubmeister und Inge Schwank

Förderung geometrischer Fähigkeiten in heterogenen Lerngruppen durch Assistive Technologien mit dem Fokus Körperliche und motorische Entwicklung

Abstract

Vorgestellt wird die Entwicklung eines Lehr-Lernarrangements, welches geometrische Fähigkeiten zu *Raum und Form* von heterogenen Schüler:innengruppen in der Sekundarstufe I mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen fördern soll. Um Barrieren entgegenzuwirken, werden als Assistive Technologien (AT) unter anderem ein 3D-Modellierungsprogramm und ein 3D-Drucker eingesetzt, mit denen geometrische Figuren und Körper konstruiert und gedruckt werden können. Die Lernenden konstruieren diese zunächst im Zuge der zu erwerbenden geometrischen Konzepte eigenständig am PC, um sie dann als 3D-Körper drucken zu lassen und unterschiedliche Produkte zu vergleichen. Die digitale sowie haptische Auseinandersetzung mit den mathematischen Grundlagen von *Raum und Form* ermöglicht einen Lernzugang auf verschiedenen Ebenen sowie ein hohes Maß an Eigenständigkeit und damit Selbstwirksamkeitserleben. Genauer wird auf das Design-Prinzip der Darstellungsvernetzung des Lehr-Lernarrangements und die im Projekt gesammelten Erkenntnisse dazu eingegangen.

Schlagworte

Körperliche und motorische Entwicklung, Assistive Technologien, Geometrie, 3D-Druck, Lehr-Lernarrangement

1 Mathematikdidaktische und sonderpädagogische Relevanz

Wie lassen sich mathematische Begriffsbildungsprozesse initiieren und ihre Entfaltung vorantreiben? Bezüglich der Schulmathematik ist eine Verwurzelung in für die Schüler:innen geeignet gestaltete Realitäten von ausschlaggebender Bedeutung. Damit harmonisiert eine empirische Auffassung von (Schul-)Mathematik, die diese Wissenschaft von einer reinen Geisteswissenschaft um zweckdienliche Elemente einer Naturwissenschaft erweitert. Einer der prominenten Vertreter ist

David Tall, der herausstellt: „Conceptual embodiment grows from a child’s experience of everyday perception and action“ (Tall, 2013, S. 140). Entscheidend ist, dass es sich hier beim *conceptual embodiment* nicht um eine Vorstufe ernsthafter mathematischer Beschäftigung handelt, sondern um eine der drei zentralen Komponenten der *Worlds of Mathematics* (Tall, 2013). Mathematikdidaktische Materialien als Hilfsmittel zu sehen, mit denen eine empirisch-gegenständliche Mathematik betrieben werden kann, verkennt deren Schlüsselrolle, Erkenntnis und Verständnis überhaupt erst zu ermöglichen. Ist ein Inhalt vorgegeben, können zu diesem unterrichtstaugliche Lehr-Lernarrangements konzipiert, untersucht und weiterentwickelt werden. Dabei sind unbedingt die Adressat:innenorientiertheit und damit einhergehend inklusive Settings mit einem weiten Inklusionsverständnis und damit auch ein Fokus auf sonderpädagogische Förderbedarfe explizit in den Blick zu nehmen (als fächerübergreifendes Praxisbeispiel siehe z. B. Hartke, 2017). Dass Zwei und Zwei Vier ergibt, sollte immer stimmen, wie aber dieser Zusammenhang auf welchen Wegen erfolgreich erlernt wird, ist höchst unterschiedlich.

Mit der Technologisierung haben sich die Möglichkeiten, Zugänge zu Inhalten zu schaffen, grundsätzlich erweitert. Dies hat bereits zu ersten Ergänzungen hinsichtlich der enaktiven, ikonischen und symbolischen Repräsentationsformen nach Bruner (1973) als Leitideen geführt, so ist z. B. enaktiv zu virtuell-enaktiv ausgebaut (Hartmann et al., 2007) und die Bedeutung digitaler Medien und Werkzeuge allgemein herausgestellt worden. Zu den neuen Möglichkeiten zählen die virtuelle Gestaltung, die Programmierung und schließlich die maschinelle Herstellung von gegenständlichen mathematischen Objekten durch Schüler:innen – z. B. mittels 3D-Druckern, Schmelzschneide- oder Stickmaschinen (Dilling et al., 2020).

Im Bereich des Förderschwerpunkts Körperliche und motorische Entwicklung (KME) stellen Zugänge zur Geometrie eine besondere Hürde dar (Bergeest & Boenisch, 2019). Geometrisches Zurechtfinden setzt räumliche Fähigkeiten voraus (Milz, 2004). Kindern mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen fehlen allerdings motorische Grunderfahrungen der frühen Kindheit und wesentliche Umwelterfahrungen, weshalb sie häufig eine nicht altersgerechte Wahrnehmungs- und Orientierungsfähigkeit haben (Kunert, 1972; Walter-Klose, 2019; Wiczorek, 2005). Auch hirnorganische Veränderungen bei angeborener körperlicher Behinderung können Auswirkungen auf die visuell-räumliche Wahrnehmung haben, in Folge dessen es bspw. zu Lernschwierigkeiten in Geometrie und bei der Begriffsbildung von zeitlichen und räumlichen Präpositionen (vor/hinter, über/unter, neben/dazwischen, größer/kleiner etc.) kommen kann (Blume-Werry, 2012). Allerdings liegen immer noch keine umfassenden Forschungserkenntnisse dazu vor, wie von solchen Grundlagen ausgehend geeigneter Geometrieunterricht gestaltet werden könnte. Auf Grundlage der Relevanz dieses Forschungsdesiderats wird ein Lehr-Lernarrangement anhand von Design-Prinzipien entwickelt und empirisch

untersucht, welches die Entwicklung geometrischer Fähigkeiten bei Schüler:innen mit dem Förderschwerpunkt KME leichter ermöglichen soll. Assistive Technologien (AT) werden dabei unterstützend eingesetzt.

Barrierefreiheit, Universal Design und AT sind nach der UN-Behindertenrechtskonvention Grundvoraussetzungen und müssen zusammen gedacht werden, um schulische Inklusion und Teilhabe zu erreichen (Bühler, 2017). Die Grundsätze sollen auch für das vorliegende Projekt leitend sein. Als AT bzw. Hilfsmittel werden nach internationaler Norm Produkte definiert,

die von oder für Menschen mit Behinderungen [oder anderen Diversitätsdimensionen – Anm. d. Verf.] verwendet werden, um am öffentlichen Leben teilzuhaben; um Körperfunktionen/-strukturen und Aktivitäten zu schützen, zu unterstützen und zu ertüchtigen, zu messen oder zu ersetzen; oder um Schädigungen, Beeinträchtigungen der Aktivität und Einschränkungen der Teilhabe zu verhindern. (DIN EN ISO 9999:2017-03)

Unter AT können, anders als von der internationalen Norm definiert, nicht nur verschreibungspflichtige Hilfsmittel gefasst werden, sondern auch (angepasste) Alltagsgegenstände. Im Unterricht ermöglichen und unterstützen AT Lernprozesse von Schüler:innen mit Unterstützungsbedarf und bieten somit einen Zugang zur Teilhabe an Bildung (Christ, 2020).

Bei inklusivem Unterricht im Sinne eines weiten Inklusionsbegriffs stehen heterogene Schüler:innengruppen mit einer Vielzahl an Diversitätsdimensionen, die im Unterricht relevant sind und Berücksichtigung finden sollten, im Fokus (Lindemeier & Lütje-Klose, 2015). Dabei ist es auch wichtig, dass Lernende mit speziellen Bedürfnissen bedacht werden. Der Beitrag betrachtet nun körperlich-motorische Beeinträchtigungen als mögliche Diversitätsdimension.

2 Forschungsinteresse und -methodik

Das Projekt ist im Bereich der empirischen fachdidaktischen Entwicklungsforschung zu verorten, da die individuellen Lernhürden im Lernprozess einzelner Schüler:innen analysiert werden. Das forschungsmethodische Vorgehen ist auf das Modell des *Forschungs- und Nachwuchskolleg Fachdidaktische Entwicklungsforschung zu diagnosegeleiteten Lehr-Lernprozessen* (FUNKEN-Modell) gestützt. Das FUNKEN-Modell lässt sich in die traditionellen fachdidaktischen Forschungsansätze wie Design Science (Wittmann, 1995) und Design Research (Gravemijer & Cobb, 2006) einordnen. Kennzeichnend für das FUNKEN-Modell ist das Zusammendenken der Entwicklungs- und Forschungsebene, die sowohl prozess- und gegenstandsorientiert, als auch iterativ und vernetzt sind (Hußmann et al., 2013).

Für das Projekt lassen sich folgende Interessen formulieren:

Entwicklungsinteresse: Wie kann ein Lehr-Lernarrangement mit Design-Prinzipien für Schüler:innen mit dem Förderbedarf KME gestaltet sein, um den Aufbau geometrischer Fähigkeiten zu *Raum und Form* zu fördern?

Forschungsinteresse: Welche Lernhürden zeigen sich bei Schüler:innen mit dem Förderbedarf KME im Hinblick auf geometrische Fähigkeiten zu *Raum und Form* als Phänomene?

Wie kann das Lehr-Lernarrangement auf Basis der Hürden im Lernprozess weiterentwickelt werden?

Im Projekt werden entlang des FUNKEN-Modells mehrere Design-Experimente durchgeführt, die videographiert werden. Angelehnt an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) wird deduktiv und induktiv ein Kategoriensystem erstellt, anhand dessen wichtige Szenen der Design-Experimente ausgewählt werden, um anschließend Hürden in den Lernprozessen der Schüler:innen, die sich als Phänomene zeigen, zu analysieren. Auf Basis dessen werden die Design-Prinzipien und das Lehr-Lernarrangement weiterentwickelt.

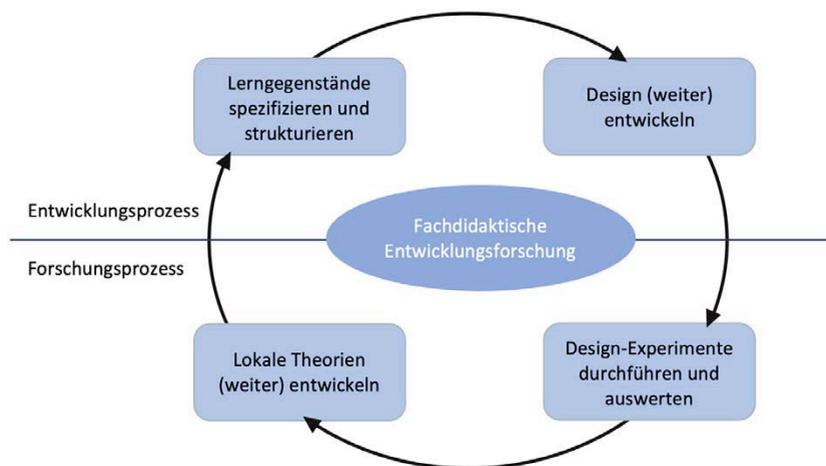


Abb. 1: Zyklus des FUNKEN-Modells (nach Prediger et al., 2012)

Der Zyklus des FUNKEN-Modells (Abbildung 1) gliedert sich in vier Arbeitsbereiche, welche iterativ und eng miteinander vernetzt sind. Auf der Entwicklungsebene sieht das Modell u. a. vor, dass literaturbasierte und gegenstandsorientierte Design-Prinzipien, welche leitend für das Lehr-Lernarrangement sind, in Design-Experimenten erprobt und weiterentwickelt werden (Prediger et al., 2012). Konkret werden für das Projekt didaktische Prinzipien der Mathematikdidaktik und der allgemeinen Didaktik mit dem Fokus KME ausgewählt, aus de-

nen die Design-Prinzipien für das Lehr-Lernarrangement hervorgehen. Als mathematikdidaktische Prinzipien werden *Grundideen der Elementargeometrie* nach Wittmann (1999) sowie die *Darstellungsvernetzung* (Bruner, 1973; Hartmann et al., 2007; Prediger & Wessel, 2011) ausgewählt. Die didaktischen Prinzipien aus der allgemeinen Didaktik mit Blick auf KME sind *Handlungsorientierung* (Bergeest & Boenisch, 2019; KMK, 1998; Jank & Meyer, 2020; Wiater, 2008) und *Unterstützung durch Piktogramme* bei Verwendung von Fachsprache (Noll et al., 2020). Bei letzterem liegt ein Forschungsdesiderat im Bereich KME vor, weshalb sich hier auf andere Förderschwerpunkte und die allgemeine Didaktik bezogen wird. In diesem Beitrag wird genauer auf die *Darstellungsvernetzung* eingegangen (siehe Abschnitt 3.1), da beide auf Basis der gewonnenen empirischen Daten weiterentwickelt werden. Die weiteren didaktischen Prinzipien – *Grundideen der Elementargeometrie* und *Unterstützung durch Piktogramme* – fungieren als Grundlage für die Entwicklung des Lehr-Lernarrangements und werden nicht auf Grundlage empirischer Daten weiterentwickelt.

3 Lehr-Lernarrangement

In diesem Abschnitt soll zunächst auf ein Design-Prinzip und auf die Einbettung des Lehr-Lernarrangement eingegangen werden. Abschließend werden das Arrangement und die erste Erprobung vorgestellt.

3.1 Design-Prinzipien

Im Folgenden wird exemplarisch ein didaktisches Prinzip aus Perspektive der Mathematikdidaktik vorgestellt sowie die Ausformulierung als Design-Prinzip vorgenommen, sprich die Konkretisierung in Bezug auf das Lehr-Lernarrangement.

Darstellungsvernetzung

In den deutschen Bildungsstandards zum Mittleren Schulabschluss (KMK, 2003) wird als allgemeine mathematische Kompetenz die Verwendung von mathematischen Darstellungen aufgeführt. Genauer bedeutet das, dass Lernende mit Erwerb des Mittleren Schulabschlusses „verschiedene Formen der Darstellung von mathematischen Objekten und Situationen anwenden, interpretieren und unterscheiden, Beziehungen zwischen Darstellungsformen erkennen [sowie] unterschiedliche Darstellungsformen je nach Situation und Zweck auswählen und zwischen ihnen wechseln“ (KMK, 2003, S. 7).

Bruner (1973) entwickelte das didaktische Prinzip der drei Darstellungs- bzw. Repräsentationsformen – das E-I-S-Prinzip. Die enaktive Repräsentation (E) meint die Handlung am Lerngegenstand, die ikonische Repräsentation (I) ist die bildliche Darstellung des zu lernenden Themas und die symbolische Repräsentationsform (S) erfolgt durch (mathematische) Zeichen sowie der Sprache (Bruner,

1973). Dieses Prinzip wird von Hartmann et al., (2007) durch die virtuell-enaktive Repräsentation ergänzt, welche das enaktive Handeln in einer computergestützten Umgebung meint.

Studien belegen, dass der Wechsel zwischen den unterschiedlichen Repräsentationsformen ein tiefgehendes und flexibles mathematisches Verständnis unterstützt (Ainsworth et al., 2002). Eine Weiterführung des Darstellungswechsels prägen Prediger und Wessel (2012), die den Begriff der Darstellungsnetzwerk nutzen. Die Autorinnen heben die Wichtigkeit der Anregungen im Lernweg für Vernetzungen zwischen den Darstellungsformen hervor, sodass Schüler:innen „Darstellungen erzeugen, deuten und vernetzen [...] können“ (Prediger & Wessel, 2012, S. 29). Konkret für das Lehr-Lernarrangement ergibt sich daraus für die Darstellungsnetzwerk als Design-Prinzip Folgendes: Die Vernetzung der vier Repräsentationsformen enaktiv, virtuell-enaktiv, ikonisch und symbolisch wird fokussiert und innerhalb der Design-Experimente angeregt. Durch die Verwendung haptischen Materials (Abbildung 4), die Konstruktion am Computer (Abbildung 3) und das gleichzeitige Aufgreifen von Maßangaben und Schrägbildern (Abbildung 2) wird eine Vernetzung aller Darstellungsebenen im Lehr-Lernarrangement angestrebt.

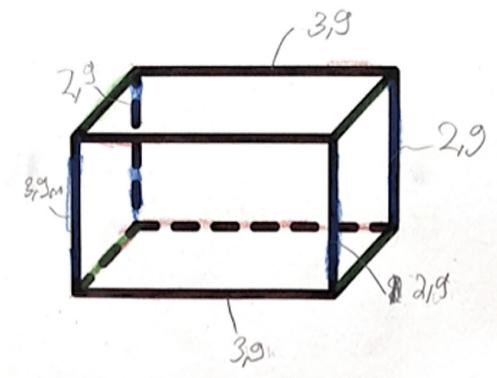


Abb. 2: Arthurs Beschriftung des Quader-Schrägbilds

3.2 Einbettung des Forschungsprojekts

Die empirische fachdidaktische Forschung erfolgt in Kooperation mit dem Institut für Mathematikdidaktik der Universität zu Köln im „MINT-Lernraum“. Die Schüler:innen, die für das Projekt ausgewählt werden, besuchen die 5. bzw. 6. Klasse und werden in Mathematik nach dem Kernlehrplan für die Realschule in Nordrhein-Westfalen unterrichtet. Dieser sieht einige inhaltsbezogene Kompetenzen in Geometrie für Ende der Jahrgangsstufe 6 vor. Für das Projekt wird sich daran orientiert und folgende Fähigkeiten dafür herangezogen: Ebene und räumliche

Figuren werden von Lernenden mithilfe von Grundbegriffen beschrieben und die Grundfiguren und -körper Rechteck, Quadrat, Quader und Würfel benannt und charakterisiert. Rechteck und Quadrat werden (im Koordinatensystem) von Lernenden gezeichnet, Schrägbilder von Quader und Würfel skizziert und dazu Körper hergestellt. Außerdem werden Längen der Grundfiguren und -körper von Lernenden gemessen (Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen, 2004).

3.3 Lehr-Lernarrangement und dessen erste Erprobung

Im Projekt wurde bereits 2021 ein Design-Experiment mit sechs Sitzungen an einer inklusiven Schule mit Förderschwerpunkt KME durchgeführt. Jede Sitzung dauerte 45 Minuten, bei denen vier männliche Schüler der 5. Klasse teilnahmen. Die motorischen Fähigkeiten der Schüler waren sehr unterschiedlich. Zwei von ihnen waren auf einen Rollstuhl angewiesen, einer der beiden verfügte zudem über eine sehr eingeschränkte Feinmotorik in den Händen. Zur Ausführung der konkreten didaktischen Realisierung siehe Abschnitt 4.

Das erste Design-Experiment war inhaltlich in drei Schritten aufgebaut:

1. Erarbeitung der Eigenschaften von Figuren und Körpern (Quadrat, Rechteck, Quader und Würfel) sowie Thematisierung von Grundfläche und Höhe (3 Sitzungen)
2. Konstruktion mittels des Modellierungsprogramms *Fusion 360* von Quader und Würfel sowie anschließender 3D-Druck der Quader bzw. Würfel (2 Sitzungen)
3. Messen der gedruckten 3D-Körper und Übertragung/Beschriftung zugehöriger Schrägbilder auf Arbeitsblättern (1 Sitzung)

In diesem Beitrag wird der zweite Schritt des Lehr-Lernarrangement aufgrund des digitalen Charakters genauer vorgestellt.

Zur Förderung der Entwicklung geometrischer Fähigkeiten leistet der Einsatz von Technologien einen bedeutenden Beitrag. Mit geeigneten Programmen können Konstruktionen durch die dynamische Visualisierung dargestellt und der Aufbau der Grundvorstellungen der Lernenden gefördert werden (vom Hofe, 2003). Für das Projekt werden daher als AT das Programm *Fusion 360* in Kombination mit dem 3D-Drucker ausgewählt. *Fusion 360* ist ein CAD-Programm (computer-aided design, deutsch: rechnergestütztes Konstruieren), mit welchem 3D-Objekte für den späteren Druck im 3D-Drucker konstruiert werden können. Die Auswahl fiel auf diese Technologien, da durch sie die häufig fehlende Feinmotorik der Lernenden ausgeglichen werden kann. Einen Quader aus Pappe mit Schere und Klebestift zu basteln, kann für Kinder mit Förderschwerpunkt KME eine unüberwindbare Hürde sein. Mit dem Programm kann eigenständig am PC gearbeitet und die geometrischen Körper mit dem 3D-Drucker produziert werden. Individuelle AT, wie ein Joystick oder spezielle Tastatur, können bei Bedarf

hinzugenommen werden. Durch die selbstständige Arbeit, bei der sich das Kind als Verursacher von Handlungen und deren Auswirkungen erlebt, wird auch die Selbstwirksamkeit gefördert (Fischer, 2019), was zusätzlich eine Forderung der KMK (1998) hinsichtlich des Förderschwerpunkts KME ist. Selbstwirksamkeit „repräsentiert die Gewissheit einer Person, Kontrolle über das eigene Leben zu haben und sich seiner Kompetenzen zur Bewältigung möglicher Probleme gewahr zu sein.“ (Fischer, 2019, S. 79) Zudem kann der Einsatz einer digitalen Technologie motivationsfördernd für die Lernenden sein (Hillmayr et al., 2017).

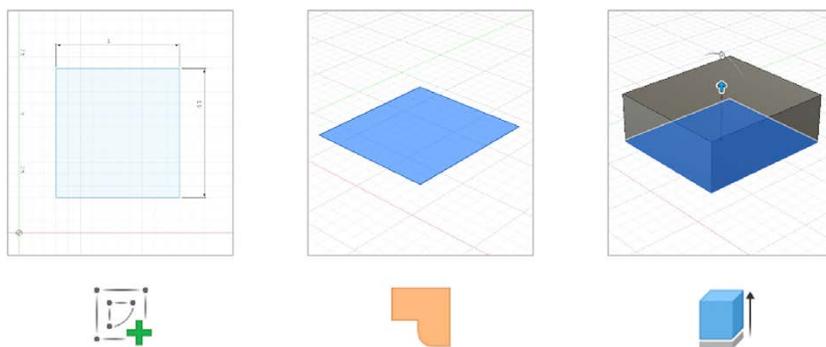


Abb. 3: Schrittweise Konstruktion eines Quaders. Screenshots zu Arbeitsschritten im Programm Fusion 360: Skizze, Fläche, Extrusion

Der im Voraus geplante Körper wird von den Lernenden in einem dreischrittigen Vorgehen konstruiert (Abbildung 3), welches sich an der Formel für die Volumenberechnung für die Körper Quader und Würfel orientiert und somit als Vorbereitung darauf dient. Zunächst wird die Grundfläche in einem dreidimensionalen Koordinatensystem mit genauen Zentimeterangaben durch das Tool *Skizze* angelegt. Diese Skizze wird in einem zweiten Schritt durch das Tool *Fläche* ausgefüllt, für welches das orange Piktogramm für Fläche angeklickt werden muss. Der letzte Schritt, die Erzeugung der Höhe, wird durch das Tool *Extrusion* vorgenommen, wofür unter dem Reiter Körper auf das blaue Piktogramm für Extrusion geklickt werden muss. Als Hilfestellung für den Ablauf bekommen die Schüler:innen im Voraus ein Arbeitsblatt, auf welchem das Vorgehen mit Unterstützung von den im Programm verwendeten Piktogrammen dargestellt ist. Auf selbigem planen die Lernenden zudem vor der softwarebasierten 3D-Konstruktion den Körper. Im Programm können die Lernenden während der Erstellung und im Anschluss daran ihre Konstruktion von allen Seiten betrachten. Abschließend werden die konstruierten Körper mit einem 3D-Drucker ausgedruckt (Abbildung 4).

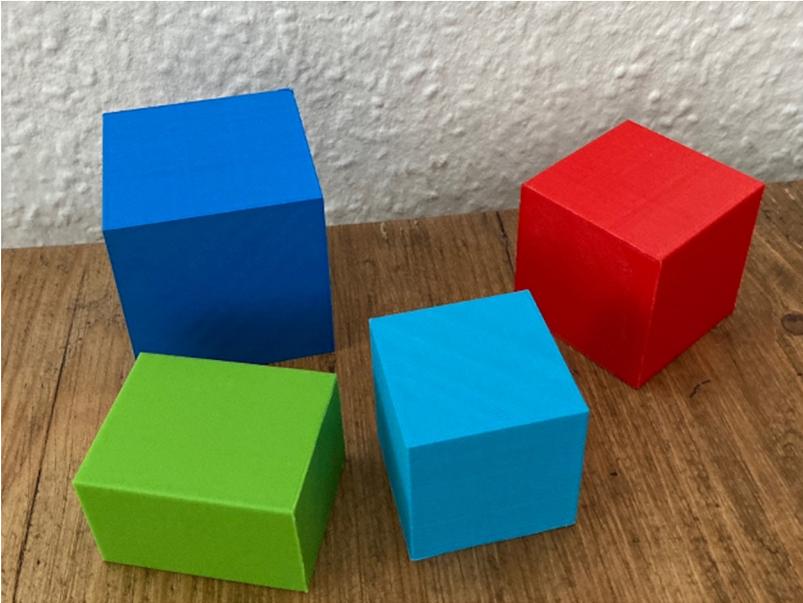


Abb. 4: Gedruckte Körper der Schüler

4 Erkenntnisse

Im ersten Design-Experiment zeigten sich bereits eine Vielzahl von Erkenntnissen zur Weiterentwicklung der Design-Prinzipien und des Lehr-Lernarrangements. Im Folgenden soll nun ein Vergleich zwischen der haptischen Verwendung von AT und der digitalen Auseinandersetzung mit dem Material im Hinblick auf die Design-Prinzipien vollzogen werden. Genauer in den Blick genommen wird dafür der Schüler Adam (Pseudonym).

Der folgende Transkriptauszug der fünften Sitzung zeigt, wie Adam im Gespräch mit der Forschenden (F) herausfindet, welche Grundfläche der vor ihm liegende Quader hat und das Lineal als Assistives Messinstrument (AT) hinzugenommen wird. Da die Feinmotorik von ihm sehr eingeschränkt ist, benötigt er an einigen Stellen Hilfe.

1	F	Wo ist denn zum Beispiel die Grundfläche [Tippt auf den Quader.] von dem Quader?
2		
3	Adam	[Kippt den Quader zweimal, sodass nun die untere Fläche oben liegt und tippt anschließend auf die obere Fläche des Quaders.]
4		Hier.

5	F	Ja ... Wenn man es hochhebt [Hebt den Quader senkrecht einige Zentimeter nach oben.], zeig mir jetzt noch einmal die Grundfläche.
6		
7	Adam	[Fährt mit dem Zeigefinger über die untere Fläche des Quaders.]
8	F	Genau, sehr gut. [Legt den Quader wieder auf den Tisch.] Und welche Form hat die?
9		
10	Adam	[Dreht den großen Quader wieder zweimal, sodass sie untere Fläche nun wieder oben liegt.]
11		
12	F	[Hebt den Quader und hält die Grundfläche in Adams Richtung.] Welche Form hat die Grundfläche?
13		
14	Adam	[Guckt kurz F an und anschließend wieder auf den Quader] Quadrat.
15	F	Quadrat oder Rechteck?
16	Adam	Quadrat. [sehr leise]
17	F	Quadrat ist [Stellt den Quader mit der Grundfläche in Adams Richtung auf den Tisch zurück und zeichnet mit den Fingern ein Quadrat in der Luft nach.]
18		
19	Adam	//Ne. Warte.//
20	F	//Wenn alle Seiten gleich// lang sind.
21	Adam	Kann man messen?
22	F	Ja. [Holt aus Adams Mäppchen ein Lineal und hält es an eine Kante der Grundfläche des Quaders.] ...
23		
24	Adam	Vier Zentimeter.
25	F	[Dreht den Quader um 90°, sodass das Lineal an einer der benachbarten Kanten der Grundfläche des Quaders anliegt.]
26		
27	Adam	Drei Zenti-
28	F	Und sind die Seiten gleich lang?
29	Adam	Nö.
30	F	[Legt den Quader wieder auf den Tisch.] Ist es dann ein Quadrat?
31	Adam	Nö.
32	F	Dann ist es ein Rechteck, ne? Dann trage ich das mal hier ein. [Trägt das Ergebnis auf dem Blatt auf dem Tisch ein.]
33		

Transkriptauszug zur Grundfläche eines Quaders (Dauer 1:15 Min.)

Bei dieser Szene wird ersichtlich, dass Adam, um die Grundfläche des Quaders herauszufinden, eigenständig eine Lösungsstrategie wählt. Zuerst hat Adam, möglicherweise durch seine eingeschränkte Feinmotorik, Schwierigkeiten zu zeigen, wo die Grundfläche des Quaders ist, da er nicht beide Hände zum Hochheben und Zeigen verwenden kann. Deshalb dreht er den Quader zunächst zweimal (Z. 3f.), sodass die ursprüngliche Grundfläche nach oben zeigt. Indem der Quader

senkrecht nach oben gehoben wird, kann Adam eindeutig die Grundfläche mit dem Finger zeigen (Z. 7). Auf die Frage, welche Form die Grundfläche hat, hat er selbstständig die Idee, die Grundfläche auszumessen (Z. 21). Durch Unterstützung kann er somit die Längen der Grundflächen abmessen (Z. 24, 27) und erkennt, dass die Seiten mit 4 cm und 3 cm nicht gleich lang sind (Z. 29) und die Grundfläche somit kein Quadrat sein kann (Z. 31). In dieser Szene findet eine Vernetzung der enaktiven und symbolischen Darstellungsformen statt. Adam handelt zunächst (teilw. mit Unterstützung) enaktiv und kann anschließend die Angaben zu den Längen symbolisch durch Sprache ausdrücken.

Eine weitere Szene der fünften Sitzung zeigt, wie Adam mithilfe des verwendeten Programms einen Quader erstellt, der zuvor auf einem Arbeitsblatt geplant worden war. Zum Zeitpunkt der Szene hat er bereits die Grundfläche konstruiert.

1	F	Und als letzten Schritt, was brauchen wir jetzt noch? Jetzt haben wir ja die
2		Grundfläche, ne? [Zeigt auf die Grundfläche auf dem Bildschirm.]
3		Also da- [Tippt mit dem Finger auf eine Stelle auf dem rechten
4		Blatt, das vor Adam liegt.]
5	Adam	[Fährt mit dem Cursor im Programm zum orangenen Piktogramm für Extrusion.]
6		
7	F	Schau einmal auf dein Arbeitsblatt. Da [Tippt weiter auf die Stelle auf
8		dem Arbeitsblatt.] können wir jetzt einen Haken hinter machen, ne?
9		Skizze und Fläche haben wir gemacht. Jetzt fehlt nur noch die Höhe.
10	Adam	[Klickt auf den Reiten Körper und fährt mit dem Cursor zum
11		blauen Piktogramm für Extrusion.]
12	F	[Macht mit der rechten Hand eine Bewegung nach oben] Wie
13		heißt das nochmal, dieses schwierige Wort hier? [Zeigt auf dem Arbeits-
14		blatt auf das Wort und Piktogramm zur Extrusion.]
15	Adam	Extrusion. [Klickt mit dem Cursor auf das Piktogramm zur Extrusion und bewegt ihn anschließend auf die konstruierte Grundfläche.]
16		
17	F	Extrusion, genau. Und wie hoch, guck mal [Zeigt auf Adams Arbeitsblatt zur Planung des Körpers.]
18		
19	Adam	Zwei Zentimeter.
20	F	Zwei Zentimeter. Gut.
21	Adam	Das?
22	F	Mhm. [bestätigend] Du musst da erst draufklicken und dann kann man
23		das nochmal verschieben.
24	Adam	[Klickt auf die Grundfläche, die im Programm geöffnet ist.]
25	F	Genau. Ja, jetzt musst du –

26	Adam	[Gibt ,2 c' auf der Laptop-Tastatur ein und erreicht mit der linken Hand nicht mehr das ,m' auf der Tastatur.]
28	F	Ja genau, so kannst du das auch machen. Soll ich hier auf das klicken?
29		[Zeigt auf die Enter-Taste der Laptoptastatur.] Achso, Zentimeter.
30		[Tippt auf das ,m' auf der Tastatur.] Soll ich hier?
31	Adam	Ja. [geflüstert]
32	F	[Drückt die Enter-Taster. Auf dem Bildschirm erscheint ein Quader mit der Höhe 2cm.] Guck mal, jetzt ist der Quader fertig.

Transkriptauszug zur Extrusion einer Fläche zum Quader (Dauer:1 Min.)

An dieser Szene kann man ebenfalls die Selbstständigkeit des Schülers erkennen. Er nimmt eigenständig den Übergang von der zweidimensionalen Grundfläche in den 3D-Körper vor, indem er die Höhe erzeugt. Man erkennt, dass er die Hilfestellung möglicherweise nicht mehr benötigt hätte, da er vor der Hinführung zur nun benötigten Erzeugung der Höhe (Z. 9) schon mit dem Cursor die Extrusion ansteuert (Z. 5f.). Auch ohne eine Korrektur bemerkt er direkt, dass er anstatt des orangen das blaue Piktogramm auswählen muss (Z. 10f.). Nachdem Adam auf dem Arbeitsblatt die geplante Höhe abgelesen und auf der Laptoptastatur ,2c' richtig eingegeben hat (Z. 26), benötigt er Hilfestellung bei der weiteren Eingabe (Z. 27f.), da er diese auf der rechten Seite durch die Bewegungseinschränkung nicht erreicht. An dieser Stelle war eigentlich vorgesehen, dass er mit seinem Trackball durch Hochziehen der Grundfläche die Höhe erzeugt. Durch die Eingabe an der Tastatur, die am Ende übernommen werden musste, ging zum Teil die Eigenständigkeit von Adam verloren. Eine für ihn geeignete Tastatur wäre sogar der Verwendung des Trackballs vorzuziehen, da die eigene Eingabe der Zentimeterangaben mathematisch exakter ist und der symbolische Charakter verstärkt wird. Hier ist ebenfalls eine Vernetzung der virtuell-enaktiven, ikonischen und symbolischen Darstellungsformen erkennbar. Adam handelt zum einen am Computer virtuell-enaktiv an der ikonischen Darstellung der Grundfläche bzw. des Körpers. Zum anderen nimmt er hierbei die symbolische Planung des Körpers in Zentimeterangaben zur Hilfe und verwendet diese, um die richtige Höhe im Programm einzugeben.

Abschließend lässt sich sagen, dass Adam zwar mit den haptischen Modellen von Quadern und Würfeln mit Unterstützung der Forschenden in der enaktiven und symbolischen Ebene erfolgreich arbeiten kann. Insbesondere in der virtuell-enaktiven Ebene – der digitalen Umgebung des Programms – kann er jedoch selbstständig mit Hilfestellung durch AT das Ziel erreichen. Insgesamt wird an einigen Stellen noch Unterstützung bei der Arbeit mit dem haptischen Material von einer weiteren Person benötigt, wie beim Anlegen des Lineals am zu messenden Körper oder beim Aufschreiben der zu messenden Zentimeterangaben. Im Programm

könnte die Abmessung der jeweiligen Seiten bzw. Kanten eigenständig mit der Funktion *Messen* mit dem Trackball durchgeführt werden. Um zukünftig auch das Betätigen aller Tasten auf der Tastatur zu gewährleisten, kann zusätzlich eine externe (Spezial-)Tastatur angeschlossen werden, die in Reichweite gestellt wird.

5 Fazit und Ausblick

Insgesamt ist festzuhalten, dass bereits erste Erkenntnisse zur Darstellungsvernetzung im Lehr-Lernarrangement gewonnen werden, die weiterentwickelt werden können.

Zum Design-Prinzip der Darstellungsvernetzung zeigt sich, dass bei der Arbeit im Programm *Fusion 360* als AT eine Vernetzung der virtuell-enaktiven und der ikonischen Darstellungsebene stattfindet. Die Handlung im Programm findet immer an der bildlichen Darstellung des Körpers statt und die Lernenden haben die Möglichkeit, ihren in der Computerumgebung konstruierten Körper zu drehen und somit von allen Seiten genau anzuschauen, was für Lernende mit Förderschwerpunkt KME nicht immer an haptischem Material barrierefrei und selbstständig umsetzbar ist. Die dabei stattfindende stetige Vernetzung der virtuell-enaktiven und ikonischen Darstellung kann die erste Vorbereitung dafür sein, in einem nächsten Schritt zur Verwendung von Körper-Schrägbildern überzugehen, bei denen die ikonische Darstellungsform noch stärker im Vordergrund steht. Auch die Lernprozesse der Schüler:innen konnten durch die barrierearme Konstruktion im Programm unterstützt werden, ohne feinmotorische Fähigkeiten zum Basteln haben zu müssen.

Es gibt durch den ersten Zyklus Hinweise darauf, dass das virtuell-enaktive Arbeiten mit einem Computer oder Tablet für Schüler:innen mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen einen barrierearmen Zugang zum Lernen bietet und selbstständiges Handeln ermöglicht. Diese Aussagen sollen in einem zweiten Zyklus gesichert werden, in den die bislang gewonnenen Erkenntnisse u. a. zu AT sowie die Weiterentwicklung zu den Design-Prinzipien Darstellungsvernetzung und Handlungsorientierung sowie zum Lehr-Lernarrangement einfließen.

Mit dem Projekt werden erste Ideen aufgezeigt, wie Lernende mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen in geometrischen Fähigkeiten zu *Raum und Form* auch in inklusiven Settings gefördert und unterstützt werden können, sodass möglichen Lernschwierigkeiten in Geometrie (Blume-Werry, 2012) begegnet werden kann. Das Lehr-Lernarrangement mit Design-Prinzipien kann bei zukünftiger Forschung zudem auf andere Diversitätsdimensionen, wie kognitive Einschränkungen, Lernbeeinträchtigungen und Sehbeeinträchtigungen, übertragen werden bzw. richtungweisend sein. Auch die Erkenntnisse zum virtuell-enaktiven Arbeiten mit Computer und Tablet bei Schüler:innen mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen können auf andere Fächer übertragen werden.

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S., Bibby, P. & Wood, D. (2002). Examining the Effects of Different Multiple Representational Systems in Learning Primary Mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 25–61.
- Bergeest, H. & Boenisch, J. (2019). *Körperbehindertenpädagogik. Grundlagen – Förderung – Inklusion* (6. Aufl.). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Blume-Werry, A. (2012). *Lernverhalten von Kindern mit Hydrocephalus. Zur Bedeutung des räumlichen Denkens für schulisches Lernen* (Bd. 6). Oberhausen: Athena.
- Bruner, J. S. (1973). Der Verlauf der kognitiven Entwicklung. In D. Spanhel (Hrsg.), *Schülersprache und Lernprozesse* (S. 49–83). Düsseldorf: Schwann.
- Bühler, C. (2017). Barrierefreiheit und Assistive Technologie als Voraussetzung und Hilfe zur Inklusion. In T. Bernasconi & U. Böing (Hrsg.), *Schwere Behinderung & Inklusion Facetten einer nicht ausgrenzenden Pädagogik* (S. 155–169). Oberhausen: Athena.
- Christ, K. (2020). Schulische Teilhabe durch assistive Technologien. In A. Schumacher & E. Adelt (Hrsg.), *Lern- und Entwicklungsplanung in der Praxis. Lernprozesse begleiten und individuell gestalten* (S. 153–156). Bielefeld: wbv.
- Dilling, F., Pielsticker, F. & Witzke, I. (2020). Empirisch-gegenständlicher Mathematikunterricht im Kontext digitaler Medien und Werkzeuge. In F. Dilling & F. Pielsticker (Hrsg.), *Mathematische Lehr-Lernprozesse im Kontext digitaler Medien* (S. 1–27). Wiesbaden: Springer.
- DIN (Hrsg.). (2017). *DIN EN ISO 9999:2017-03, Hilfsmittel für Menschen mit Behinderungen, – Klassifikation und Terminologie (ISO 9999:2016); Deutsche Fassung EN ISO 9999:2016*. Berlin: Beuth.
- Fischer, K. (2019). *Einführung in die Psychomotorik* (4. Aufl.). Stuttgart: UTB.
- Gravemeijer, K. & Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. In J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational Design Research* (S. 17–51). London: Routledge.
- Hartke, B. (2017). *Handlungsmöglichkeiten Schulische Inklusion: Das Rügener Modell kompakt*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hartmann, W., Näf, M. & Reichert, R. (2007). *Informatikunterricht planen und durchführen*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Zierwald, L. & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit* (Zentrum für Internationale Vergleichsstudien, Hrsg.). Münster New York: Waxmann.
- Hußmann, S., Tiehle, J., Prediger, S., & Ralle, B. (2013). Gegenstandsorientierte Unterrichtsdesigns entwickeln und erforschen. Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In M. Komorek & S. Prediger (Hrsg.), *Der lange Weg zum Unterrichtsdesign Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme* (S. 25–42). Münster u. a.: Waxmann.
- Jank, W. & Meyer, H. (2020). *Didaktische Modelle* (14. Aufl.). Berlin: Cornelsen.
- KMK. (1998). *Empfehlungen zum Förderschwerpunkt körperliche und motorische Entwicklung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 20.03.1998*. Bonn.
- KMK. (2003). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 4.12.2003*. München: Luchterhand.
- Kunert, S. (1972). Prinzipien der Unterrichts- und Erziehungsarbeit bei Körperbehinderten. In W. Bläsig, G. W. Jansen, & M. H. Schmidt (Hrsg.), *Die Körperbehindertenschule. Eine Darlegung der gegenwärtigen didaktischen und methodischen Konzeption* (S. 43–57). Berlin: Marhold.
- Lindmeier, C. & Lütje-Klose, B. (2015). Inklusion als Querschnittsaufgabe in der Erziehungswissenschaft. *Erziehungswissenschaft*, 26(51), 7–16.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Weinheim Basel: Beltz Verlag.
- Milz, I. (2004). *Rechenschwächen erkennen und behandeln. Teilleistungsstörungen im mathematischen Denken neuropädagogisch betrachtet* (6. Aufl.). Dortmund: Borgmann.

- Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). (2004). *Kernlehrplan für die Realschule in Nordrhein-Westfalen: Mathematik*. Frechen: Ritterbach.
- Noll, A., Roth, J. & Scholz, M. (2020). Lesebarrieren im inklusiven Mathematikunterricht überwinden – visuelle und sprachliche Unterstützungsmaßnahmen im empirischen Vergleich. *JMD*, 41(1), 157–190.
- Prediger, S., Link, M., Hinz, R., Hußmann, S., Thiele, J. & Ralle, B. (2012). Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen – Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. *MNU*, 65(8), 452–457.
- Prediger, S. & Wessel, L. (2011). Darstellen – Deuten – Darstellungen vernetzen. Ein fach- und sprachintegrierter Förderansatz für mehrsprachige Lernende im Mathematikunterricht. In S. Prediger & E. Özdil (Hrsg.), *Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung in Deutschland* (S. 163–184). Münster u. a.: Waxmann.
- Prediger, S. & Wessel, L. (2012). Darstellungen vernetzen. Ansatz zur integrierten Entwicklung von Konzepten und Sprachmitteln. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 54(45), 28–33.
- Tall, D. O. (2013). *How humans learn to think mathematically. Exploring the three worlds of mathematics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- vom Hofe, R. (2003). Grundbildung durch Grundvorstellungen. *Mathematik lehren*, 118, 4–6.
- Walter-Klose, C. (2012). *Kinder und Jugendliche mit Körperbehinderung im gemeinsamen Unterricht. Befunde aus nationaler und internationaler Bildungsforschung und ihre Bedeutung für Inklusion und Schulentwicklung*. Oberhausen: Athena.
- Wiater, W. (2008). *Unterrichtsprinzipien. Prüfungswissen – Basiswissen Schulpädagogik* (3. überarb. Aufl.). Donauwörth: Auer.
- Wieczorek, M. (2005). Zur Problematik des Mathematikunterrichts bei Schülern mit Körperbehinderungen – Methodisch-didaktische Zugangswege. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, 6, 235–241.
- Wittmann, E. Ch. (1995). Mathematics education as a 'design science'. *Educational Studies in Mathematics*, 29(4), 355–374.
- Wittmann, E. Ch. (1999). Konstruktion eines Geometrieunterrichts ausgehend von Grundideen der Elementargeometrie. In H. Henning (Hrsg.), *Mathematik lernen durch Handeln und Erfahrung. Festschrift zum 75. Geburtstag von Heinrich Besuden* (S. 205–216). Oldenburg: Bültmann & Gerriets.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben „Zukunftsstrategie Lehrer:innenbildung (ZuS)“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsinitiative Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01JA1815 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.