Leistungsheterogenität in einer digitalen Lernumgebung zum Modellieren

Lena Frenken & Gilbert Greefrath

Institut für Didaktik der Mathematik und der Informatik: WWU Münster

Digitale Lernumgebungen zum Modellieren können in vielerlei Hinsicht wertvoll sein. So besteht etwa die Möglichkeit, Aufgaben realistischer zu präsentieren. Weiterhin bietet auch die Analyse der Prozessdaten neue Forschungsansätze. Es wird über eine Studie berichtet, bei der 42 Lernende zwei Wochen lang in einer digitalen Lernumgebung zum Modellieren arbeiteten. Da während dieser Arbeitsphase differente Bearbeitungsprozesse auftreten konnten, wird unter qualitativen Gesichtspunkten sowie mit Variablen aus den Prozessdaten, das Potenzial der Lernumgebung zum Umgang mit Leistungsheterogenität analysiert. Es zeigt sich, dass nicht nur die Modellierungsleistung heterogen ist, sondern auch verschiedene mathematische Modelle mit unterschiedlichen digitalen Werkzeugen konstruiert werden. Auch die implementierten GeoGebra-Tutorials wurden sehr heterogen genutzt.

Einleitung

Innerhalb mathematischer Modellierungsprozesse von Schülerinnen und Schülern sind verschiedene Lösungswege zu erwarten. Dies kann durch den Einsatz digitaler Medien verstärkt werden, da etwa andere mathematische Modelle verwendet werden können oder eine erweiterte Möglichkeit besteht, Annahmen zu identifizieren. Vor allem durch die Kombination verschiedener digitaler Medien – zum Beispiel in einer digitalen Lernumgebung – kann dies angeregt werden. Eine solche digitale Lernumgebung zum mathematischen Modellieren wurde im Rahmen des Projekts *Modi – Modellieren digital* verwirklicht, indem mit dem CBA ItemBuilder (Rölke, 2012) Modellierungsaufgaben vorstrukturiert implementiert und über einen Browser ausgeliefert werden konnten. Während einer zweiwöchigen Phase im Distanzunterricht bearbeiteten Schülerinnen und Schüler aus zwei verschiedenen 9. Klassen fünf Modellierungsaufgaben innerhalb der digitalen Lernumgebung eigenständig. In diesem Beitrag soll untersucht werden, inwiefern Aspekte von Leistungsheterogenität mithilfe von Variablen, die aus computergenerierten Prozessdaten extrahiert wurden, beschrieben werden können, um so zu ergründen, inwiefern die Lernumgebung adäquate Lösungsmöglichkeiten für unterschiedlich starke Lernende bietet.

Theoretischer Hintergrund

Digitale Lernumgebungen

Der generische Begriff der digitalen Lernumgebung umfasst eine Vielzahl verschiedener Plattformen, welche Lerninhalte computer- oder webbasiert für Lernende zur Verfügung stellen (Baker et al., 2010; Isaacs & Senge, 1992; Jedtke & Greefrath, 2019). Dabei ist die Vorstrukturierung, welche durch die Erstellenden vorgenommen wird, ein wichtiges Kennzeichen (Roth, 2015) und impliziert, dass globale, computer- und informationsbezogene Kompetenzen (Senkbeil et al., 2019), welche etwa die Suche und Selektion von Inhalten inkludieren, nicht primär im Vordergrund stehen. Stattdessen können mathematikspezifische digitale Medien und Werkzeuge integriert sowie kombiniert werden, um so digitale mathematische Kompetenzen (Geraniou & Jankvist, 2019) zu fördern. Auf diese Weise können auch neue Interaktionsformen mit mathematischen Sachverhalten entstehen (Engelbrecht et al., 2020), die Mathematiklernen aus verschiedenen Perspektiven ermöglichen. Mit der Vorstrukturierung der Inhalte sowie der Kombination verschiedener digitaler Medien und Werkzeuge geht

Digitales Lernen in Distanz und Präsenz. Herbsttagung des Arbeitskreises Mathematikunterricht und digitale Werkzeuge am 25. September 2021. | Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz. DOI: 10.17185/duepublico/76030

aber auch einher, dass offene Lösungswege bereitet werden können (Roth, 2015), da Schülerinnen und Schüler etwa je nach Bedarf auf zusätzliche Elemente zurückgreifen oder unterschiedliche mathematische Modelle zur Bearbeitung heranziehen können. Insgesamt lässt sich hieraus folgern, dass Lernende eigenständig arbeiten, ihren Lernfortschritt selbst überwachen und den Prozess regulieren müssen. Ein erfolgreicher Umgang mit einer digitalen Lernumgebung erfordert entsprechend selbstregulative Fähigkeiten, kann diese jedoch gleichzeitig auch fördern (Greene et al., 2011; Veenman, 2007).

Mathematisches Modellieren in digitalen Lernumgebungen

Die Verwendung digitaler Medien und Werkzeuge in mathematischen Modellierungsprozessen kann generell als gewinnbringend beschrieben werden (z. B. Geiger, 2011; Hankeln & Greefrath, 2021), da etwa Kontexte authentischer dargestellt oder reale Probleme bearbeitet werden können, die eine Verwendung digitaler Werkzeuge erfordern, da sie mithilfe von Schulmathematik nur zeitintensiv oder gar nicht lösbar wären. Die theoretisch hergeleiteten Tätigkeiten, welche während des Modellierens mit digitalen Technologien auftreten können, wurden bereits in videobasierten, qualitativen Studien nachgewiesen (z. B. Daher & Shahbari, 2015; Molina-Toro et al., 2019). Diese können auch in einem idealisierten Kreislaufmodell dargestellt werden (vgl. Abbildung 1).

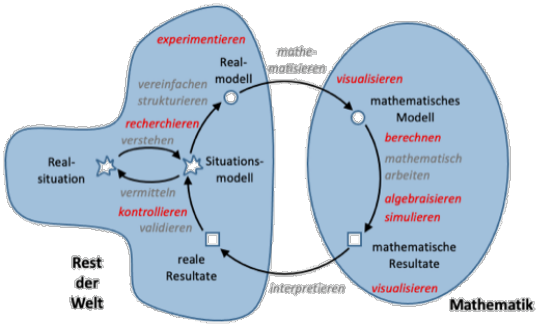

Abbildung 1: Modellierungskreislauf mit digitalen Tätigkeiten nach Hankeln und Greefrath (2021).

Ein Vergleich des modellierungsspezifischen Kompetenzerwerbs innerhalb einer Interventionsstudie von einer Gruppe, die vier Modellierungsaufgaben mit GeoGebra bearbeitete, und einer, welche die gleichen Aufgaben ohne digitale Technologien bearbeitete, konnte kein signifikanter Unterschied herausgestellt werden, wobei vermutet werden kann, dass die Gruppe mit GeoGebra gleichzeitig digitale mathematikspezifische Kompetenzen erworben hat, welche in der Studie nicht erfasst wurden (Hankeln, 2019). Es lässt sich jedoch konstatieren, dass die Computer-Selbstwirksamkeitserwartung in der Gruppe mit GeoGebra ein signifikanter Prädiktor für den Kompetenzerwerb darstellte (Greefrath et al., 2018). Dennoch ist abschließend zu formulieren, dass Bedingungen eines Kompetenzerwerbs beim Modellieren mit digitalen Werkzeugen und Medien noch nicht identifiziert werden konnten. Die Möglichkeit einer solchen Identifikation besteht in der Erforschung einer digitalen Lernumgebung zum mathematischen Modellieren, bei der verschiedene digitale Medien und Werkzeuge kombiniert und von den Lernenden eigenständig zur Bearbeitung ausgewählt werden können.

Leistungsheterogenität beim Modellieren in digitalen Lernumgebungen

Es ist bereits bekannt, dass für Lernende bei Modellierungsprozessen individuelle Routen im Modellierungskreislauf rekonstruiert werden können (Borromeo Ferri, 2006). Eine solche Charakterisierung

ist ebenfalls bei Modellierungsprozessen mit digitalen Werkzeugen tragfähig und lässt sich spezifisch auf den Werkzeugeinsatz ausweiten (Frenken et al., 2021). Durch die Anregung von Modellierungsprozessen innerhalb einer digitalen Lernumgebung, in welcher – wie oben beschrieben – Materialien vorstrukturiert werden, unterstützende Elemente optional sind und eine eigenständige Auswahl notwendig ist, lässt sich erwarten, dass sowohl Modellierungsprozesse als auch deren Produkte heterogen sind. Um eine Beschreibung und Untersuchung dieser Prozesse und Produkte sowie deren Heterogenität aus empirischer Sicht zu ermöglichen, können die nachfolgenden Forschungsfragen formuliert werden:

1. Welche Variablen können aus den computergenerierten Prozessdaten extrahiert werden, um die Bearbeitungsprozesse von Lernenden innerhalb einer digitalen Lernumgebung zum mathematischen Modellieren zu beschreiben?
2. Inwiefern lassen sich diese Variablen als Indikatoren für Leistungsheterogenität verwenden?

Methodik

Erhebungsmethodik

In der im Rahmen des Projekts Modi eingesetzten digitalen Lernumgebung waren insgesamt fünf Modellierungsaufgaben implementiert, welche vornehmlich mithilfe von eingebetteten GeoGebra-Applets bearbeitet werden sollten. Dazu wurde jede Aufgabe so strukturiert, dass sie auf vier Bildschirmseiten die zu verwendenden Elemente enthielt. Auf der ersten Seite wird die reale Aufgabe jeweils mit Bild oder Video und Text repräsentiert. Auf der zweiten Seite befindet sich ein GeoGebra-Applet, welches bereits zu der Aufgabe passend aufbereitet wurde, indem ein Hintergrund hinzugefügt und die Werkzeugleiste reduziert wurde, sodass aber immer noch verschiedene Lösungswege möglich sind. Auf der dritten Seite sollen die Lernenden ihr Ergebnis sowie ihr Vorgehen beschreiben. Auf einer weiteren Seite kann noch eine beispielhafte, ausführliche Lösung angesehen werden. Vor den fünf Modellierungsaufgaben haben die Lernenden außerdem die Möglichkeit, Videotutorials zu GeoGebra anzusehen und die dort präsentierten Aktionen direkt in GeoGebra-Applets neben den Videos zu üben. Auf allen Seiten stehen außerdem vier Elemente zur Verfügung: ein Notizentool, ein Skizzentool, eines der Videotutorials sowie ein wissenschaftlicher Taschenrechner. Diese Elemente sind in einer Seitenleiste rechts untereinander aufrufbar und auf allen Seiten präsent.

Die beschriebene Lernumgebung war über einen Webbrowser für die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler zugänglich, welche mithilfe eines Passworts und eines zufallsgenerierten Codes einen Zugang erhalten hatten. Während des Distanzunterricht bearbeiteten 42 Lernende aus zwei 9. Klassen von verschiedenen Gymnasien die Materialien innerhalb der digitalen Lernumgebung, wobei die Bearbeitung nicht terminiert, sondern vollkommen eigenständig erfolgte. Lediglich ein Zeitraum von zwei Wochen als Bearbeitungsrahmen wurde vorgegeben.

Auswertungsmethodik

Um den Forschungsfragen nachzugehen, wurden für diese Studie die computergenerierten Prozessdaten verwendet, welche auf dem Server gespeichert wurden und Informationen über die Interaktionen der Lernenden mit der Umgebung enthalten. Dabei werden Zeitstempel in Verbindung mit der Art des jeweiligen Elements, also zum Beispiel Button oder Textfeld, gespeichert. Auch die GeoGebra-Aktionen können betrachtet werden. Mit einem Programm basierend auf JavaScript konnten

außerdem die letzten Zustände in den GeoGebra-Applets von allen Lernenden rekonstruiert werden. Diese wurden herangezogen, um die Modellierungsleistung pro Aufgabe für alle Lernenden zu bestimmen, indem ein dreistufiges Rating vorgenommen wurde. Mit 0 wurden falsche oder nicht vorhandene Konstruktionen versehen. Lösungen, die nicht vollständig waren, erhielten im Rating den Code 1 und korrekte Lösungen wurden mit 2 kodiert. Aus dem beschriebenen kombinierten Ansatz aus der quantitativen Analyse der Prozessdaten und der qualitativen Analyse der Modellierungsprodukte können Aussagen über die Leistungsheterogenität in Prozess und Produkt abgeleitet werden, sodass die Forschungsfragen beantwortet werden können.

Ergebnisse

Extrahierte Variablen und Modellierungsleistung

Die folgenden Variablen konnten aus den computergenerierten Prozessdaten extrahiert werden: Anzahl der Logins, Angabe über die letzte Mathematiknote, verstrichene Zeit innerhalb der digitalen Lernumgebung, Anzahl der Werkzeuge in einem ausgewählten GeoGebra-Applet, Anzahl der Klicks auf die Playbuttons bei den Videotutorials zu GeoGebra. Die erreichten Durchschnittswerte dieser Variablen sowie die durchschnittliche Modellierungsleistung pro Aufgabe und pro Teilnehmenden ist in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt. Diese Variablen zielen auf die allgemeine Beschreibung der Bearbeitungsprozesse ab. Dabei können jedoch auch aus fachdidaktischer Sicht Bezüge zu Teilprozessen des Modellierens hergestellt werden. Vor allem die Variable der Anzahl genutzter Werkzeuge in GeoGebra lässt sich im Modellierungskreislauf dem Arbeiten in der Welt der Mathematik und den Übersetzungsprozessen dorthin verorten.

	Anzahl Login	Letzte Mathematiknote	Zeit [Min]	Anzahl Werkzeuge Spielplatz	Anzahl Play GeoGebra Videos	Durchschnitt Modellierungsleistung
Durchschnitt (alle SuS)	3,12	2,37	191	4,10	9,32	0,9

Tabelle 1: Extrahierte Variablen und Modellierungsleistung mit durchschnittlichen Ausprägungen

Die Modellierungsleistung, welche auf Basis letzter Zustände in den GeoGebra-Applets kodiert wurde, lässt sich ausdifferenziert so beschreiben, dass von den 42 Teilnehmenden insgesamt vier als stark modellierend beschrieben werden können, da sie im Durchschnitt 1,8 von 2 Punkten erreichten. Im Kontrast dazu stehen 8 Personen, welche über die fünf Aufgaben hinweg 0 Punkte erreichten. Von diesen 8 Personen hat allerdings nur eine überhaupt GeoGebra-Werkzeuge benutzt und entsprechend Bearbeitungen in den Applets vorgenommen.

Im Folgenden sollen anhand der Modellierungsleistung (stark, mittel, schwach) ausgewählte Fallbeschreibungen vorgenommen werden. Dazu werden zunächst zwei starke Modellierende (Laura und Sam[1]) betrachtet. Im Anschluss wird die Darstellung zweier Lernenden aus dem Mittelfeld vorgenommen und abschließend wird der einzige Bearbeitungsverlauf einer schwach modellierenden Person beschrieben. Bei der Beschreibung soll auch auf das Modellierungsprodukt in der Aufgabe Spielplatz eingegangen werden. Diese Aufgabe war die dritte innerhalb der Lernumgebung. Ziel in dieser

[1] Die in diesem Beitrag verwendeten Namen sind fiktiv.

Aufgabe ist es, den optimalen Bauplatz für einen neuen Spielplatz in dem dargestellten Park unter Berücksichtigung der vier Eingänge (markiert durch rote Kreuze) zu finden. Als Übersicht können aus Abbildung 2 die letzten Zustände der im Nachfolgenden beschriebenen fünf Lernenden im GeoGebra-Applet dieser Aufgabe eingesehen werden.

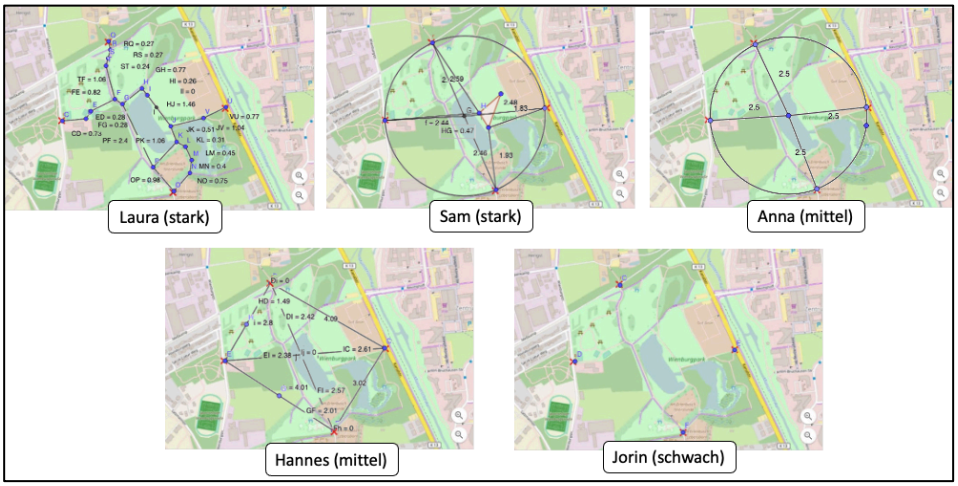

Abbildung 2: Letzte Zustände in dem GeoGebra-Applet zur Aufgabe Spielplatz der fünf ausgewählten Lernenden

Einzelfallbeschreibung: Laura

Laura hat sich innerhalb der zwei Wochen insgesamt fünfmal eingeloggt, wobei sie dies an zwei verschiedenen Tagen gemacht hat. Aus den Prozessdaten wird ersichtlich, dass sie häufig zwischen den Aufgaben wechselt und immer wieder zu den GeoGebra-Übungen am Anfang zurückkehrt. Dabei klickt sie die Videos allerdings nicht an. Sie hat als letzte Mathematiknote eine 1 angegeben. Insgesamt sind 130 Minuten verstrichen, in denen sie in der Lernumgebung eingeloggt war. Dies ist weniger als der Durchschnitt. In dem GeoGebra-Applet zur Aufgabe Spielplatz wechselt sie auch die Werkzeuge häufig (19-mal) und verwendet dabei insgesamt 7 Werkzeuge. Ihr Ansatz bei dieser Aufgabe besteht im Messen der einzelnen Wege. Sie beschreibt am Ende, wie sie damit zu dem optimalen Platz für den neuen Spielplatz gelangt ist.

Einzelfallbeschreibung: Sam

Das Arbeiten von Sam zeichnet sich durch regelmäßige Logins (insgesamt 5-mal an 5 verschiedenen Tagen) sowie eine hohe verstrichene Zeit (341 Minuten) aus. Er klickt auch die GeoGebra-Videos häufig an und kontrolliert seine Lösung der vorherigen Aufgabe beim nächsten Login, bevor er mit der Bearbeitung der nächsten Aufgabe beginnt. Teilweise verändert er die Lösung dann auch noch oder sucht nach einer weiteren Möglichkeit. In der Aufgabe Spielplatz verwendet er verschiedene Werkzeuge um einen Kreis zu konstruieren. Mithilfe des Kreises bestimmt er den Punkt, welcher mathematisch von allen vier Eingängen gleich weit entfernt ist. Er kommt zu folgendem Schluss: „…, da dieser Punkt [der Mittelpunkt des Kreises] im See lag habe ich für den realistischen geographisch optimalen Punkt Strecken von den Parkeingängen zu einer modellierten Fläche gezogen und habe versucht die Fläche so zu platzieren, dass die Strecken ähnlich lang sind.“ Dementsprechend lässt sich hier die Teilkompetenz des Validierens und die Verwendung des GeoGebra-Applets zur Suche nach einer alternativen Lösung erkennen.

Einzelfallbeschreibung: Anna

Anna loggt sich genau wie Laura und Sam insgesamt fünfmal ein, wobei dies nur an zwei unterschiedlichen Tagen erfolgt. Insgesamt verbringt sie auch ähnlich lange wie Laura in der digitalen Lernumgebung, nämlich 134 Minuten. Sie konstruiert bei der Aufgabe Spielplatz einen Kreis mit Mittelpunkt im See und wechselt dafür 12-mal zwischen insgesamt 7 verschiedenen Werkzeugen. Mit 63 Klicks auf GeoGebra-Videos nutzt Anna diese in hoher Frequenz. In ihrer Antwort zu der Aufgabe Spielplatz ist kein Validieren zu erkennen und sie interpretiert auch nicht, dass ihr optimaler Punkt in dem See liegt. Stattdessen beschreibt sie lediglich, dass der Spielplatz 2,5 Längeneinheiten von allen Eingängen entfernt sein muss.

Einzelfallbeschreibung: Hannes

Die Lösung der Aufgabe Spielplatz unterscheidet sich bei Hannes, einem mittelstarken Modellierer, von den bisher dargestellten, da er ein Viereck konstruiert und den Schnittpunkt der Diagonalen als optimalen Punkt wählt. Ein Validieren der Lage des Punktes im See ist nicht in den Eingaben erkennbar. Hannes nutzt dafür 6 verschiedene Werkzeuge, zwischen denen er sehr häufig – insgesamt 46-mal – wechselt. Auch die Videotutorials klickt er sehr häufig (40-mal) an. Er loggt sich an vier Tagen ein, um die Aufgaben zu bearbeiten. Von den hier betrachteten Lernenden weist er mit 495 Minuten, also etwas mehr als 8 Stunden, die höchste verstrichene Zeit innerhalb der Lernumgebung auf.

Einzelfallbeschreibung: Jorin

Jorin loggt sich innerhalb der zwei Wochen nur einmal für 24 Minuten ein. Er tätigt keinerlei Eingaben in Textfelder, wählt jedoch zumindest 7 verschiedene Werkzeuge aus. Darunter war allerdings auch das Löschen-Tool, welches er auch als letztes bei der Aufgabe Spielplatz verwendet. Entsprechend sind in dem Applet lediglich die vier verschiedenen Eingänge mit Punkten versehen worden. Eine mathematische Bearbeitung des Problems wird nicht ersichtlich. Die letzten beiden Aufgaben innerhalb der Lernumgebung bearbeitet Jorin gar nicht.

Diskussion

Insgesamt lässt sich aus den dargestellten Ergebnissen mit Hinblick auf die erste Forschungsfrage konstituieren, dass Variablen aus den computergenerierten Prozessdaten extrahiert werden konnten, welche auch herangezogen werden können, um modellierungsbezogene Bearbeitungsprozesse innerhalb einer digitalen Lernumgebung zu beschreiben. Diese Variablen lassen sich darüber hinaus als Indikatoren für Leistungsheterogenität heranziehen, welche nun nicht mehr nur in Bezug auf das Produkt beschrieben werden kann, sondern auch im Hinblick auf den Umgang mit GeoGebra und anderen eingebetteten Elementen. So kann beispielsweise unter anderem die Variable der Anzahl an Klicks auf GeoGebra-Tutorials als ein Anzeichen dafür hinzugezogen werden, inwiefern die Lernenden vertraut mit dem Werkzeug GeoGebra sind. Die Erkenntnisse über den Zusammenhang von Computer-Selbstwirksamkeitserwartungen und erfolgreichem Kompetenzerwerb beim Modellieren (Greefrath et al., 2018) können also hier aus einer anderen Perspektive analysiert werden. Durch die beschriebene unterschiedliche Nutzung der eingebetteten Elemente lässt sich also auch die vorteilhafte Charakteristik offener Lernumgebungen erkennen (Roth, 2015).

Mit Blick auf die zweite Forschungsfrage kann gefolgert werden, dass auf Basis der prozessbeschreibenden Variablen, welche sich auch auf die modellierungsspezifischen Aspekte der Bearbeitungsprozesse beziehen lassen, sowie der produktorientierten Bewertung letzter Zustände in den GeoGebra-Applets Leistungsheterogenität detailliert beschrieben werden konnte. Dabei ist jedoch nicht nur die mathematische Lösung der Modellierungsaufgaben heterogen, sondern auch der Werkzeugeinsatz sowie die Auswahl und Nutzung der verschiedenen zur Verfügung stehenden Elemente und die zeitliche Dimension können als heterogen deklariert werden (vgl. auch Borromeo Ferri, 2006; Frenken et al., 2021).

Anhand der wenigen betrachteten Fallbeschreibungen lassen sich hierbei allerdings keine empirischen Zusammenhänge zwischen einer bestimmten Art des Prozesses und der Modellierungsleistung entnehmen. Dennoch kann der vorgestellte Ansatz der Kombination von quantitativ orientierten Prozessdatenanalysen mit einer qualitativ orientierten Einstufung von Modellierungsprodukten innerhalb einer digitalen Lernumgebung als gewinnbringend gesehen werden. Als Einschränkung der beschriebenen Studie ist jedoch zu sehen, dass die Stichprobe für eine Prozessdatenanalyse klein war. Außerdem ist der Zustand des Distanzunterrichts ohne Unterstützung durch die Lehrkraft über zwei Wochen hinweg keineswegs als erstrebenswert oder üblich anzusehen, resultierte jedoch aus den Umständen der Pandemie und kann bei zukünftigen Einsätzen der Lernumgebung optimiert werden. Um den tatsächlichen und eigenständigen Umgang der Lernenden mit der digitalen Lernumgebung zu erforschen, war die Durchführung jedoch gewinnbringend. Es konnte dabei allerdings nicht kontrolliert werden, inwiefern die Lernenden Unterstützung durch andere Anwesende erhalten haben. Auch weitere Variablen, wie etwa die vorherige Nutzung von GeoGebra oder die Computer-Selbstwirksamkeit wären interessant gewesen, um z.B. die Häufigkeit der Nutzung von Werkzeugen in der Modellierungssituation mit der Nutzererfahrung der Probanden zu vergleichen.

Fazit und Ausblick

Um vertiefte Aussagen zur Nutzung einer solchen digitalen Lernumgebung zum Modellieren treffen zu können, sollten weitere Studien und Analysen durchgeführt werden. Zum einen ist eine ähnliche Studie im schulischen Kontext mit einer größeren Stichprobe denkbar. Im Rahmen einer Interventionsstudie, in welcher Modellierungsteilkompetenzen in Prä- und Posttest gemessen werden, können dann Prädiktoren für den Kompetenzerwerb aus den Prozessdaten extrahiert und überprüft werden. Zum anderen könnte mit den vorliegenden Daten eine Clusteranalyse durchgeführt werden, um Typen von Bearbeitungsprozessen identifizieren und somit Gestaltungskriterien für weitere Lernumgebungen ableiten zu können. Weitere Studien können auch dazu dienen, die Interpretation von aus Prozessdaten extrahierten Variablen valider zu gestalten.

Abschließend lässt sich aus der hier vorgestellten Studie jedoch bereits herleiten, dass die Potenziale einer digitalen Lernumgebung zum mathematischen Modellieren identifiziert werden konnten. Für die leistungsschwachen Lernenden lässt sich vermuten, dass Protokompetenzen wie Selbstregulation kaum oder gar nicht ausgebildet waren.

Literatur

Baker, R. S. J. d., D'Mello, S. K., Rodrigo, Ma. M. T. & Graesser, A. C. (2010). Better to be frustrated than bored: The incidence, persistence, and impact of learners' cognitive–affective states during interactions with

three different computer-based learning environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, *68*(4), 223–241. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.12.003

Borromeo Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM*, *38*(2), 86–95. https://doi.org/10.1007/BF02655883

Daher, W. M. & Shahbari, J. A. (2015). Pre-service teachers' modelling processes through engagement with model eliciting activities with a technological tool. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *13*(S1), 25–46. https://doi.org/10.1007/s10763-013-9464-2

Engelbrecht, J., Llinares, S. & Borba, M. C. (2020). Transformation of the mathematics classroom with the internet. *ZDM - Mathematics Education*. https://doi.org/10.1007/s11858-020-01176-4

Frenken, L., Greefrath, G., Siller, H.-S. & Wörler, J. F. (2021). Analyseinstrumente zum mathematischen Modellieren mit digitalen Medien und Werkzeugen. *mathematica didactica*, *44*(1), 1–19.

Geiger, V. (2011). Factors Affecting Teachers' Adoption of Innovative Practices with Technology and Mathematical Modelling. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. Stillman (Hrsg.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling. ICTMA 14* (S. 305–314). Springer Science+Business.

Geraniou, E. & Jankvist, U. T. (2019). Towards a definition of "mathematical digital competency". *Educational Studies in Mathematics*, *102*(1), 29–45. https://doi.org/10.1007/s10649-019-09893-8

Greefrath, G., Hertleif, C. & Siller, H.-S. (2018). Mathematical modelling with digital tools - A quantitative study on mathematising with dynamic geometry software. *ZDM - Mathematics Education*, *50*, 233–244. https://doi.org/10.1007/s11858-018-0924-6

Greene, J. A., Moos, D. C. & Azevedo, R. (2011). Self-regulation of learning with computer-based learning environments. *New Directions for Teaching and Learning*, *2011*(126), 107–115. https://doi.org/10.1002/tl.449

Hankeln, C. (2019). *Mathematischs Modellieren mit dynamischer Geometire-Software. Ergebnisse einer Interventionsstudie*. Springer Fachmedien.

Hankeln, C. & Greefrath, G. (2021). Mathematische Modellierungskompetenz fördern durch Lösungsplan oder Dynamische Geometrie-Software? Empirische Ergebnisse aus dem LIMo-Projekt. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *42*, 367–394. https://doi.org/10.1007/s13138-020-00178-9

Isaacs, W. & Senge, P. (1992). Overcoming limits to learning in computer-based learning environments. *European Journal of Operational Research*, *59*, 183–196.

Jedtke, E. & Greefrath, G. (2019). A Computer-Based Learning Environment About Quadratic Functions with Different Kinds of Feedback: Pilot Study and Research Design. In G. Aldon & J. Trgalova (Hrsg.), *Technology in Mathematics Teaching. Selected Papers of the 13th ICTMT conference* (S. 297–322). Springer Nature Switzerland.

Molina-Toro, J., Rendón-Mesa, P. & Villa-Ochoa, J. (2019). Research Trends in Digital Technologies and Modeling in Mathematics Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *15*(8). https://doi.org/10.29333/ejmste/108438

Rölke, H. (2012). The ItemBuilder. A graphical authoring system for complex item development. In T. Bastiaens & G. Marks (Hrsg.), *Proceedings of world conference on E-Learning in corporate, government, healthcar, and higher education 2012* (S. 344–353). AACE. https://www.learntechlib.org/p/41614/

Roth, J. (2015). Lernpfade: Definition, Gestaltungskriterien und Unterrichtseinsatz. In J. Roth, E. Süss-Stepancik & H. Wiesner (Hrsg.), *Medienvielfalt im Mathematikunterricht. Lernpfade als Weg zum Ziel* (S. 3–25). Springer Spektrum.

Senkbeil, M., Eickelmann, B., Vahrenhold, J., Goldhammer, F., Gerick, J. & Labusch, A. (2019). Das Konstrukt der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen und das Konstrukt der Kompetenzen im Bereich `Computational Thinking` in ICILS 2018. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland* (S. 79–111). Waxmann. https://doi.org/10.25656/01:18166

Veenman, M. V. J. (2007). The assessment and instruction of self-regulation in computer-based environments: A discussion. *Metacognition and Learning*, *2*(2–3), 177–183. https://doi.org/10.1007/s11409-007-9017-6

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts bibliothek

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/76030
URN: urn:nbn:de:hbz:465-20220615-142002-3

Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Lizenz (CC BY 4.0) genutzt werden.