

Entdeckendes Lernen und Productive Failure – Verbindung eines mathematikdidaktischen Prinzips mit pädagogisch-psychologischer Forschung

1. Theoretischer Hintergrund

Entdeckendes Lernen wird in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik als bedeutsamer didaktischer Ansatz propagiert (Winter 1989), im pädagogisch-psychologischen Diskurs aber hinsichtlich seiner Lernwirksamkeit kritisch betrachtet (Kirschner, Sweller & Clark., 2006). In diesem Diskurs wird allerdings die Mehrphasigkeit von Unterricht vernachlässigt. Komplexere Instruktionsmodelle berücksichtigen, dass verschiedene Phasen im Unterricht unterschiedliche Ziele verfolgen (Kalyuga & Singh, 2015; Leuders, 2016). So müssen Lernende in einer Erkundungsphase ein Konzept nicht vollständig entdecken, wenn dieses in einer anschließenden Instruktionsphase erarbeitet wird. Der Erkundungsphase kommt dann eine *lernvorbereitende* Rolle zu.

Ein mehrphasiges Instruktionsmodell, das in der pädagogisch-psychologischen Forschung untersucht wird, ist der *Productive Failure*-Ansatz (Kapur, 2010): Hier geht der Instruktionsphase eine Erkundungsphase voraus. Die Lösungsansätze aus dieser Erkundungsphase sind jedoch in der Regel unvollständig oder fehlerhaft (Kapur & Bielaczyc, 2012). Sie können dennoch eine Basis für das weitere Lernen in der Instruktionsphase sein. In der Tat zeigen viele Studien die lernvorbereitenden Effekte einer vorgeschalteten Erkundungsphase (Loibl, Roll & Rummel, 2016). Allerdings scheint diese vorgeschaltete Erkundungsphase nur dann lernförderliche Effekte zu haben, wenn (typische) Fehllösungen in der Instruktion aufgegriffen und mit der kanonischen Lösung verglichen werden (Loibl & Rummel, 2014). Demnach kommt der Fehlerverarbeitung (d.h. der Auseinandersetzung mit dem Spannungsverhältnis zwischen fehlerhaften Lösungen und dem zu erlernenden Konzept) in der Instruktionsphase eine tragende Rolle für den Aufbau fachlich konsolidierten Wissens zu. Zur Anregung einer Fehlerverarbeitung sollten die Prä- und Fehlkonzepte der Lernenden bekannt sein.

Der Fehlerverarbeitungsprozess erscheint besonders wichtig bei Lerninhalten, die aufgrund von Grundvorstellungsumbrüche einen Konzeptwechsel erfordern (Vosniadou & Verschaffel, 2004). Ein gut untersuchter Lerngegenstand mit Grundvorstellungsumbrüchen ist die Bruchrechnung (Prediger, 2008): Wissen aus dem Bereich der natürlichen Zahlen ist nicht ohne weiteres auf Brüche übertragbar, was zu Hürden beim Verständnis des Bruchkonzepts führt.

Vor diesem Hintergrund sind unsere Fragestellungen: 1) Welche Lösungen generieren die Lernenden in Erkundungsphasen zur Bruchdarstellung und Bruchvergleich? Ermöglichen diese Lösungen eine Diagnose der Prä- und Fehlkonzepte der Lernenden? 2) Wie wirkt die Anregung von Vergleichsprozessen nach einer Erkundungsphase auf den Lernerfolg im Bereich Brüche?

2. Methode

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurden in einer Interventionsstudie in der Jahrgangsstufe 5 in zwei Lerneinheiten (Bruchdarstellung und Bruchvergleich) drei Bedingungen verglichen. Teilnehmer waren 91 Fünftklässler aus 5 Realschulklassen. Aus organisatorischen Gründen wurden ganze Klassen den unterschiedlichen Bedingungen zugewiesen.

In beiden Lerneinheiten starteten alle Lernende mit einer *Erkundungsphase*. In der Einheit zur Bruchdarstellung sollten die SuS zeichnerisch 4 Pizzen ohne Rest auf 6 Kinder verteilen. In der Einheit zum Bruchvergleich sollten die Lernenden zeichnerisch und symbolisch entscheiden, wer beim Papierkorbball gewinnt: Die Gruppe mit 5 Mädchen und 3 Treffern oder die Gruppe mit 10 Jungen und 5 Treffern. Die Bearbeitungen wurden eingesammelt und ausgewertet.

Nach jeder Erkundungsphase erhielten die Lernenden in einer *Instruktionsphase* kanonische Lösungen. Zusätzlich bearbeiteten sie in dieser Phase Reflexionsaufgaben mit Selbsterklärungsprompts, die auf unterschiedliche Weise zur Fehlerverarbeitung anregten: 1) Lernende in der *Kontrollbedingung* erhielten nur richtige Lösungen. Eine Fehlerverarbeitung wurde nicht gefördert. 2) Lernende in der *Fehler-Bedingung* erhielten richtige Lösungen und typische Fehllösungen, die als fehlerhaft gekennzeichnet waren. Somit wurde eine Fehlerverarbeitung ermöglicht, jedoch nicht explizit angeregt. 3) Lernende in der *Prompt-Bedingung* waren aufgefordert, die Fehllösungen mit den richtigen Lösungen zu vergleichen. Dadurch wurde eine Fehlerverarbeitung explizit gefördert.

Jeweils nach der Instruktionsphase bearbeiteten alle Lernenden einen Posttest, der konzeptuelles Wissen und negatives Wissen (Oser, Hascher & Spychiger, 1999) erfasste.

3. Ergebnisse

Unsere qualitativen Auswertungen der Schülerlösungen zeigen, dass diese ermöglichen die Prä- und Fehlkonzepte der Lernenden zu diagnostizieren: Die Fehler konnten überwiegend auf fehlende Wissenskomponenten bei der

Anteilsvorstellung bzw. beim Bruchvergleich zurückgeführt werden. Dennoch gab es in jeder Lerneinheit einen überraschenden Befund bei den Schülerlösungen: Bei der Bruchdarstellung kann ein gewisser Anteil der Fehler auf technische Schwierigkeiten beim Einteilen von Kreisausschnitten zurückgeführt werden. Teilweise erschwert dies die Diagnose hinsichtlich der Anteilsvorstellung. Bei der Bruchvergleichsaufgabe gab es vereinzelte Fehlerlösungen, die auf schwierigkeiterzeugende Merkmale des Kontexts hindeuten. So argumentierten einige Lernende nicht mathematisch, sondern allgemein über Gerechtigkeit. Zusätzlich zeigt der Vergleich der Schülerlösungen mit den eingebrachten fehlerhaften Lösungen, dass die eingebrachten fehlerhaften Lösungen die meisten Schülerfehler abdeckten.

Der quantitative Vergleich der Experimentalbedingungen zeigte nur bei der zweiten Lerneinheit signifikante Effekte auf die Posttestergebnisse: Die Möglichkeit einer Fehlerverarbeitung war dann lernförderlich, wenn diese explizit angeregt wurde (Prompt-Bedingung). Ohne Vergleichsanregung war das Präsentieren von Fehlerlösungen lernhinderlich (Fehlerbedingung). Der fehlende Effekt bei der ersten Lerneinheit kann nach Analyse der Lösungen auf den Lerngegenstand (Bruchdarstellung) zurückgeführt werden: In der ersten Lerneinheit löste ein Großteil der Schülerinnen und Schüler die Erkundungsaufgabe vollständig und richtig. Somit gab es in der Erkundungsphase wenige Schülerfehler, die ein vergleichendes Ordnen notwendig gemacht hätten.

4. Diskussion

Der Beitrag verbindet fachdidaktische und pädagogisch-psychologische Ansätze im Rahmen eines mehrphasigen Instruktionsmodells mit einer Erkundungs- und einer anschließenden Instruktionsphase. Untersucht wurden die Schülerlösungen in der Erkundungsphase sowie die Effekte einer angeregten Fehlerverarbeitung in der Instruktionsphase durch das Einbringen fehlerhafter Lösungen. Zusammenfassend zeigen unsere Ergebnisse, dass das Einbringen fehlerhafter Lösungen in der Instruktionsphase lernförderliche Effekte haben kann, wenn die Lernenden explizit dazu angeregt werden diese fehlerhaften Lösungen mit den kanonischen Lösungen zu vergleichen. Ohne diese Anregung kann das Einbringen fehlerhafter Lösungen negative Effekte haben. Dies lässt sich dadurch erklären, dass ohne Anregung kaum Vergleichsprozesse stattgefunden haben. Nur vereinzelte Lernende der Fehlerbedingung gingen in der Instruktionsphase auf die fehlerhaften Lösungen ein. So führten die fehlerhaften Lösungen in der Fehler-Bedingung zu einer höheren kognitiven Belastung ohne dabei lernförderliche Prozesse anzuregen. Die Analyse der Schülerlösungen zeigte, dass die Schülerlösungen geeignet sind um Prä- und Fehlkonzepte zu diagnostizieren. Gleichzeitig zeigt

diese fachdidaktische Analyse die hohe Validität des instruktionspsychologischen Designs auf: Die eingebrachten fehlerhaften Lösungen deckten fast alle Schülerfehler ab und bargen damit das Potential zur Fehlerverarbeitung beizutragen.

Literatur

- Durkin, K., & Rittle-Johnson, B. (2012). The effectiveness of using incorrect examples to support learning about decimal magnitude. *Learning and Instruction*, 22(3), 206-214.
- Kalyuga, S. & Singh, A.-M. (2015). Rethinking the boundaries of cognitive load theory in complex learning. *Educational Psychology Review*. Advance Online Publication. doi: 10.1007/s10648-015-9352-0.
- Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, 38(6), 523-550.
- Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2012). Designing for productive failure. *Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 45–83.
- Kirschner, P.A., Sweller, J. & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Leuders, T. (2016). Multiple Ziele im Mathematikunterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 44(5), 252-266.
- Loibl, K., Roll, I. & Rummel, N. (2016). Towards a Theory of When and How Problem Solving Followed by Instruction Supports Learning. *Educational Psychology Review*. Advanced online publication. doi: 10.1007/s10648-016-9379-x
- Loibl, K., & Rummel, N. (2014). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction*, 34, 74-85.
- Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999). *Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des negativen Wissens*. In W. Althof (Hrsg.), Fehlerwelten (S. 11-41). Opladen: Leske + Budrich.
- Prediger, S. (2008). The relevance of didactical categories for analysing obstacles in conceptual change - Revisiting the case of multiplication of fractions. *Learning and Instruction*, 18(1), 3-17.
- VanLehn, K., Siler, S., Murray, C., Yamauchi, T., & Baggett, W. B. (2003). Why do only some events cause learning during human tutoring? *Cognition and Instruction*, 21(3), 209–249.
- Vosniadou, S., & Verschaffel, L. (2004). Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning and Instruction*, 14(5), 445-451.
- Winter, H. (1989). *Entdeckendes Lernen im Mathematikunterricht – Einblicke in die Ideengeschichte und ihre Bedeutung für die Pädagogik*. Braunschweig: Vieweg.