

Frank Lipowsky, Tobias Richter, Rita Borromeo-Ferri, Mirjam Ebersbach, Martin Hänze

## Wünschenswerte Erschwernisse beim Lernen

**Zusammenfassung:** Der Beitrag beleuchtet didaktische Maßnahmen, die unter dem Begriff „Wünschenswerte Erschwernisse“ zusammengefasst werden. Diese Maßnahmen erschweren zwar kurzfristig das Lernen, langfristig aber fördern sie das Behalten und den Transfer des Gelernten. Vier dieser wünschenswerten Erschwernisse sind empirisch besonders gut belegt: 1) Das verteilte Lernen, 2) das verschachtelte Lernen, 3) der Testungseffekt und 4) der Generierungseffekt. Zu jeder dieser wünschenswerten Erschwernisse werden aktuelle Forschungsergebnisse präsentiert. Diese verdeutlichen, dass es sinnvoll sein kann, den Prozess des Lernens gezielt anspruchsvoller zu gestalten und zu erschweren, um die Lernenden kognitiv stärker zu aktivieren und dazu anzuregen, Lerninhalte tiefer zu durchdringen und miteinander zu vernetzen. Für Lehrerinnen und Lehrer eröffnen sich mit den wünschenswerten Erschwernissen neue Möglichkeiten, den Unterricht wirksamer zu gestalten.

Schlüsselwörter: Verteiltes Lernen, verschachteltes Lernen/Üben, Generierungseffekt, Testungseffekt, Lernen, kognitive Aktivierung

### Desirable difficulties in learning

**Abstract:** This paper focuses on didactic approaches that can be subsumed under the term ‘desirable difficulties’. The use of desirable difficulties in the classroom increases learning difficulty in the short term but it fosters retention and transfer in the long term. There is broad evidence for four desirable difficulties: 1) distributed practice, 2) interleaved practice, 3) the testing effect, and 4) the generation effect. The current state of research is reviewed for each type of desirable difficulty. The results suggest that it can be fruitful to make learning processes difficult and challenging for students in order to achieve a higher cognitive activation, to encourage a deep processing of learning content, and to enhance transfer. Desirable difficulties could be a new way for teachers to make instruction more effective.

Keywords: Distributed Practice, Interleaved Practice, Testing Effect, Generation Effect, Learning, Cognitive Activation

## 1 Einleitung

Gemeinhin zielen didaktische Maßnahmen im Unterricht darauf ab, das Lernen von Schülern/-innen zu erleichtern. Daher mutet es auf den ersten Blick ungewöhnlich an, wenn Lehrpersonen Lernprozesse von Schüler/-innen gezielt erschweren sollen, um diese mittel- und langfristig wirksamer zu gestalten. Genau dies verbirgt sich hinter den *wünschenswerten Erschwernissen*. Unter diesem Begriff (engl. *desirable difficulties*) werden Phänomene und Maßnahmen zusammengefasst, die das Lernen kurzfristig zwar erschweren können, es mittel- und langfristig aber erleichtern. Im Folgenden werden diese wünschenswerten Erschwernisse genauer vorgestellt.

## 2 Verteiltes Lernen

Für das Lernen steht nur eine begrenzte Lernzeit zur Verfügung, die oft auch auf verschiedene Fächer oder Lerninhalte verteilt werden muss. Dabei gehen Lernende meistens davon

aus, dass es sinnvoll ist, sich möglichst lange am Stück mit einem Thema zu beschäftigen. Ein solches Vorgehen zeigen Schüler/-innen z.B., wenn sie sich auf Leistungskontrollen vorbereiten und die Inhalte erst kurz vor der anstehenden Kontrolle am Stück lernen.

Was für viele Schüler/-innen und auch manche Lehrkräfte üblich und normal ist, steht im Kontrast zu Erkenntnissen aus der gedächtnispsychologischen Forschung. Schon Ebbinghaus (1966) wies nach, dass es sich auf das langfristige Behalten günstiger auswirkt, wenn der Lerninhalt nicht massiert – also als Ganzes am Stück – gelernt wird (aaaa), sondern zeitlich auf verschiedene Lernphasen (a - - -a - - -a - - - a) verteilt wird. Dieser positive Effekt des verteilten Lernens wurden vielfach belegt, und zwar für unterschiedliche Lernanforderungen, zeitliche Abstände (z.B. Cepeda/ Pashler/ Vul/ Wixted/ Rohrer 2006) und Altersgruppen (z.B. Galluccio/ Rovee-Collier 2006; Kornell/ Castel/ Eich/ Bjork 2010). Studien mit ganzen Schulklassen sind allerdings noch selten. Eine Ausnahme bildet die Studie von Vlach und Sandhofer (2012). Sie gingen der Frage nach, ob sich die Vorteile des verteilten Lernens auch für naturwissenschaftliche Lerninhalte zeigen – in dem Fall für das Prinzip der Nahrungsketten. Zudem untersuchten sie, ob sich das verteilte Lernen positiv auf den Wissenstransfer auswirkt – also die Übertragung des Gelernten auf neue Themen. Hierzu testeten sie zunächst das Vorwissen der untersuchten Grundschulkinder in Bezug auf Nahrungsketten (z.B. Welche Tiere fressen welche anderen Tiere in einem bestimmten Biotop, wie z.B. der Wüste? Welche Auswirkungen hat ein Eingriff in das Biotop – z.B. Umweltverschmutzung – auf die Nahrungskette?). Danach erhielt eine Gruppe an einem Tag vier Stunden hintereinander Unterricht zum Thema Nahrungsketten (massiertes Lernen), wie er ähnlich auch im Blockunterricht vorkommen kann. Eine andere Gruppe hatte je eine Unterrichtsstunde an vier aufeinanderfolgenden Tagen (verteilt Lernen). Der Unterrichtsinhalt war in beiden Gruppen gleich und bezog sich auf ein anderes Biotop als im Vortest (z.B. Ozean). Eine Woche nach der letzten Unterrichtsstunde erfolgte ein Nachtest mit den gleichen Fragen und zum gleichen Biotop wie im Vortest. Bei den Grundschulkindern, die verteilt gelernt hatten, zeigte sich ein signifikant größerer Wissenszuwachs von Vor- zu Nachtest im Vergleich zu denen, die massiert gelernt hatten. Zudem gelang es Kindern, die verteilt gelernt hatten, eher, ihr Wissen aus der Lernphase auf ein anderes Biotop zu übertragen. Zusammenfassend scheint das verteilte Lernen auch im Schulkontext einen Vorteil gegenüber dem massierten Lernen zu haben. Darüber hinaus kann sich das verteilte Lernen positiv auf den Wissenstransfer auswirken.

Obwohl die Vorteile des verteilten Lernens auf der Hand liegen und es sich um einen vielfach bestätigten Befund handelt, findet er in der Praxis bislang wenig Anwendung. Dies kann unter anderem daran liegen, dass das verteilte Lernen nicht so effektiv ist, wenn es um kurzfristiges Lernen (z.B. für die nächste Klassenarbeit) geht.

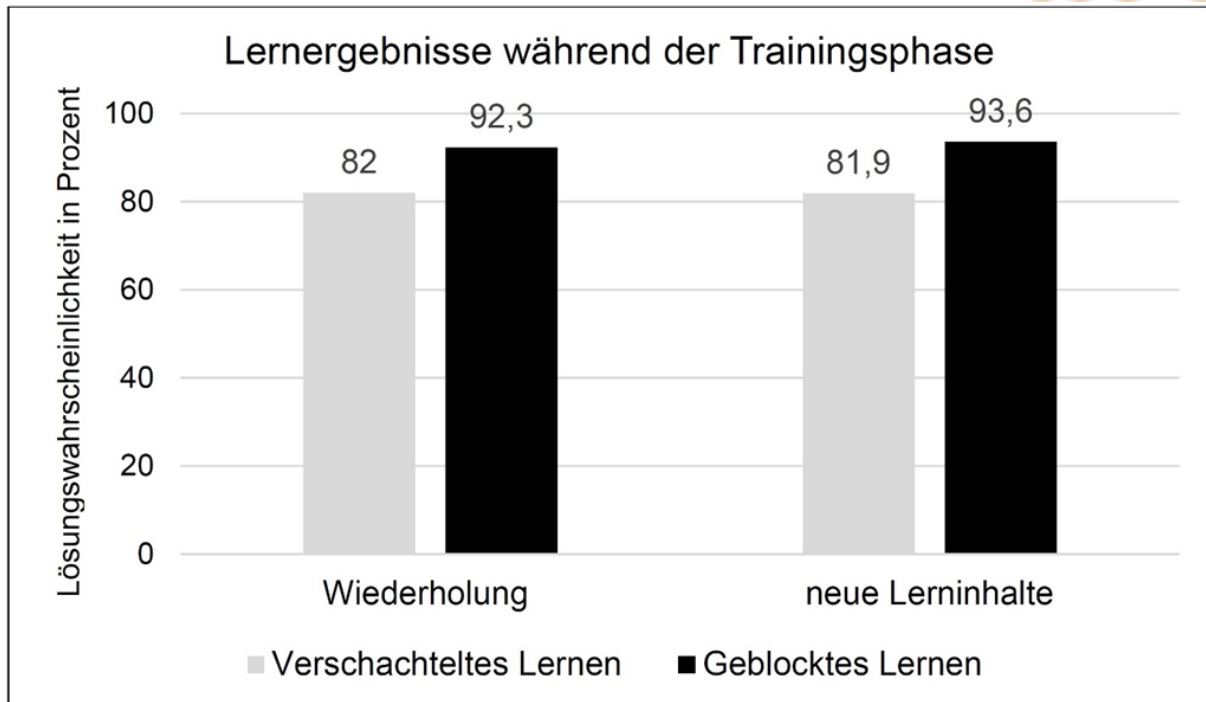
Welche Schlussfolgerungen ergeben sich aus diesen Befunden für Lehrpersonen? Zum einen ist es in vielen Fällen lernwirksamer, Lerninhalte zeitlich verteilt zu behandeln als am Stück. Blockunterricht dürfte dem längerfristigen Behalten eher entgegenwirken, während eine wiederholte Auffrischung des Wissens im Sinne des verteilten Lernens förderlich sein sollte. Auch auf Hausaufgaben lässt sich der Befund übertragen: Hausaufgaben zu einem bestimmten Thema dürften wirksamer sein, wenn diese auf mehrere Zeitpunkte verteilt und dadurch immer wieder aufgegriffen werden, als wenn sie geblockt aufgegeben und bearbeitet werden. Eine weitere Schlussfolgerung könnte darin bestehen, den Schülern/-innen den Vorteil verteilten Lernens mit eigenen Experimenten vor Augen zu führen.

### 3 Verschachteltes Lernen

Das verschachtelte Lernen lässt sich als eine erweiterte Form des verteilten Lernens begreifen. Beim verschachtelten Lernen werden Inhalte vermischt behandelt (*abcabcabcabc*) und nicht – wie dies im Unterricht häufig üblich ist – geblockt und nacheinander (*aaaabbbbcccc*). Beim verschachtelten Lernen werden also beispielsweise Inhalte, Konzepte, Prinzipien oder Repräsentationsformen immer wieder abwechselnd erarbeitet und geübt, während beim geblockten Lernen erst ein Inhalt eingeführt, erarbeitet und ausführlich geübt wird, bevor der nächste Inhalt behandelt wird. Die meisten Schulbücher repräsentieren diesen letztgenannten Typ und dürften als „heimliche Lehrpläne“ und Orientierungshilfen die Unterrichtsvorbereitung und -gestaltung vieler Lehrkräfte beeinflussen. So gesehen lässt sich davon ausgehen, dass sich der Unterricht in vielen Klassenzimmern eher durch das geblockte sequenzierte Vorgehen auszeichnet.

Ergebnisse empirischer Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass verschachteltes Lernen mittelfristig effektiver ist als geblocktes Lernen (Dunlosky et al. 2013). Eine solche Studie stammt von Ziegler und Stern (2014). An ihr nahmen Schüler/-innen des 6. Schuljahres teil. Die teilnehmenden Klassen wurden hierbei in zwei Hälften geteilt: Die eine Hälfte der Schüler/-innen lernte geblockt, die andere verschachtelt. Der schulische Inhalt, um den es ging, entstammte der Algebra. Konkret ging es um die Addition und Multiplikation von Variablen, z.B.  $a^2+a^2 = 2a^2$  oder  $x \cdot x \cdot x = x^3$ . Die Inhalte wurden vor der Durchführung des Experiments in den beteiligten Klassen nicht durchgenommen. Gewöhnlich wird im Unterricht zunächst die Addition von Variablen behandelt, bevor auf die Multiplikation eingegangen wird. In der Studie entsprach dieses Vorgehen der geblockten Bedingung: Die Schüler/-innen wurden erst mit allen Aufgaben zur Addition, dann mit den Aufgaben zur Multiplikation konfrontiert, während die Schüler/-innen in der „verschachtelten Gruppe“ abwechselnd Additions- und Multiplikationsaufgaben zu bearbeiten hatten. Beide Trainings waren so konzipiert, dass sie von den Schülern/-innen nach einer kurzen Einführung selbständig absolviert werden konnten. Hierzu wurde eine Folge von Arbeitsblättern entwickelt, die die Schüler/-innen eigenständig bearbeiteten. Insgesamt erstreckten sich beide Trainings über 8 Unterrichtsstunden. Der Lernerfolg wurde während der Trainingsphase, einen Tag und eine Woche nach Abschluss der Trainingsphase sowie drei Monate später gemessen.

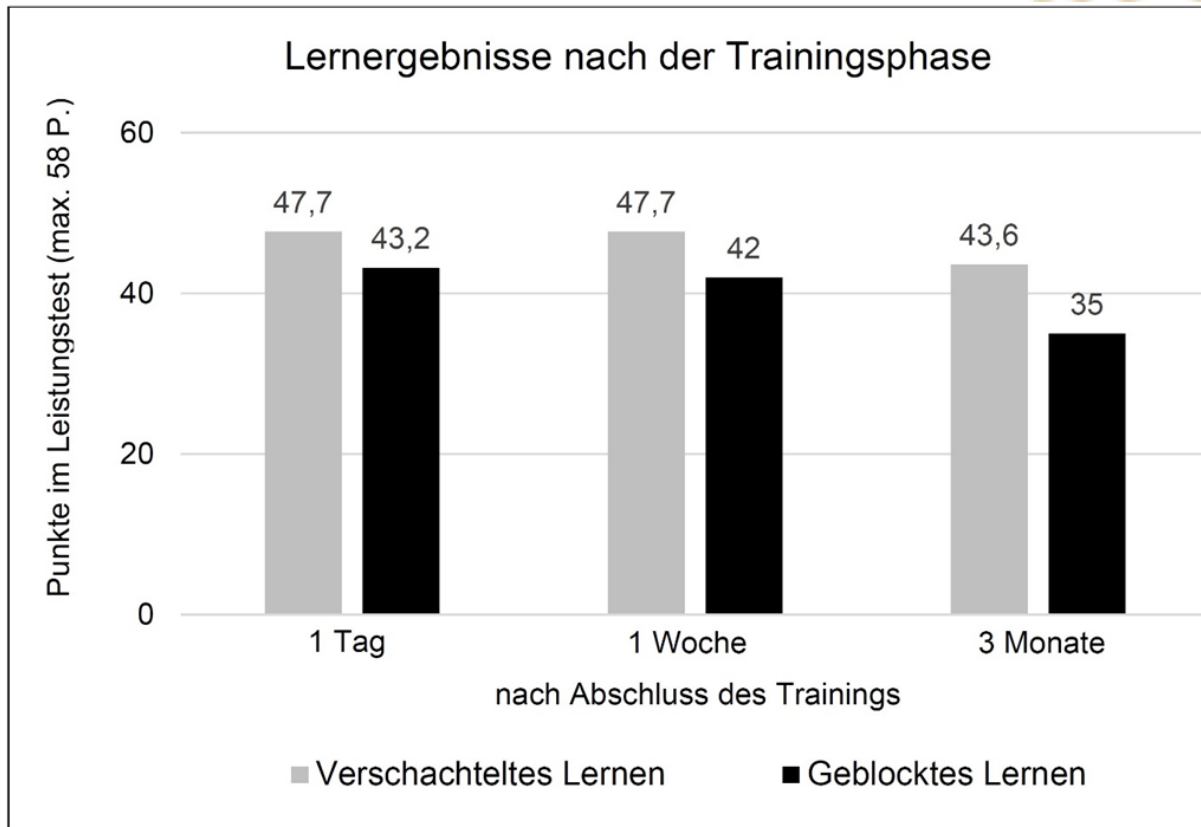
Der Vergleich der Lernergebnisse, die während der Trainingsphase erfasst wurden, zeigte zunächst deutlich die Überlegenheit der geblockten Bedingung. Schüler/-innen, die die Inhalte geblockt lernten, hatten kurzfristig einen Vorteil (vgl. Abb. 1), und zwar sowohl bei Wiederholungsaufgaben als auch bei Aufgaben, die sich auf neue Inhalte bezogen.



**Abb. 1:** Kurzfristiger Lernerfolg beim verschachtelten vs. geblockten Lernen (vgl. Ziegler/ Stern 2014)

Die Abbildung 2 zeigt, dass sich das Ergebnis jedoch umkehrt, wenn man den längerfristigen Lernerfolg betrachtet. Diejenigen Schüler/-innen, die die Inhalte verschachtelt lernten, schnitten einen Tag, eine Woche und drei Monate nach Abschluss des Trainings in den eingesetzten Leistungstests besser ab als die Schüler/-innen, die erst mit den Additionsaufgaben und dann mit den Multiplikationsaufgaben konfrontiert wurden. Zudem zeigte sich, dass Schüler/-innen in der „geblockten Gruppe“ mit der Zeit mehr Fehlvorstellungen entwickelten als die Schüler/-innen der „verschachtelten Gruppe“ (ohne Abb.).

Diese Ergebnisse der Studie von Ziegler und Stern (2014) unterstreichen die Überlegenheit des verschachtelten Lernens gegenüber dem geblockten Lernen. Doch welche Erklärungen gibt es dafür? Beim verschachtelten Lernen werden die Schüler/-innen vermehrt zu kognitiv anspruchsvolleren Aktivitäten angeregt. Wenn die Schüler/-innen beispielsweise unterschiedliche algebraische Operationen nicht geblockt, sondern vermischt und abwechselnd lernen, lädt dies dazu ein, diese zu vergleichen und auf Unterschiede zu untersuchen. Die Schüler/-innen lernen dabei nicht nur die relevanten Strategien kennen und auszuführen, sondern vor allem zu entscheiden, bei welcher Aufgabe welche Strategie anzuwenden ist und bei welcher Aufgabe eine andere Strategie zielführend ist. Beim verschachtelten Lernen werden durch die Kontrastierung der Inhalte demnach fruchtbare Vergleichsprozesse initiiert.



**Abb. 2:** Langfristiger Lernerfolg beim verschachtelten vs. geblockten Lernen (vgl. Ziegler/ Stern 2014)

#### 4 Der Generierungseffekt

Auch das aktive Erzeugen von zu lernendem Wissen kann ein wünschenswertes Erschweren darstellen. Wissen wird besser und nachhaltiger erinnert, wenn Lernende die Lösung für ein Problem selbst entwickeln und finden als wenn ihnen die Lösung vorgegeben wird. Im klassischen Experiment zum *Generierungseffekt* (Slamecka/ Graf 1978) sollten Lernende Wörter entweder nach einfachen Vorgaben selbst finden oder die vorgegebenen Wörter einfach nur lesen. Die Aufgabe bestand darin, dass sie zu einem vorgegebenen Wort jeweils das Gegenteil bilden sollten, wobei zusätzlich der Anfangsbuchstabe des gesuchten Wortes vorgegeben war (Beispiel: *lang* – *k*; gesuchtes Wort: *kurz*). Lernende, die die gesuchten Wörter finden sollten, konnten später beträchtlich mehr Wörter erinnern als Lernende, welche die entsprechenden Wortpaare nur durchgelesen hatten.

Die eher geringen Lernanforderungen in diesem Experiment werfen die Frage auf, inwieweit Vorteile des Generierens auch für anspruchsvollere Lernaktivitäten in der Schule beobachtet werden können. Die dem Generierungseffekt zugrundeliegenden Prozesse dürften auch vielen Lehrkräften bekannt sein, z.B. wenn diese Raum für entdeckende oder forschende Lernaktivitäten schaffen, weil sie davon überzeugt sind, dass die Inhalte dann besser behalten werden. Obgleich der Generierungseffekt als sehr robuster Effekt gilt, der konsistent über unterschiedliche Randbedingungen hinweg und mit beachtlicher Stärke gefunden wird (Bertsch et al. 2007), sind Lehrkräfte regelmäßig auch mit offensichtlichen Problemen konfrontiert. Ein Problem für die pädagogische Anwendung des Effekts liegt z.B. darin, dass das Generieren von Wissen nur dann hilfreich ist, wenn Schüler/-innen beim Lernen die zentralen Inhalte in den Blick nehmen und natürlich auch korrekte Lösungen entwickeln (z.B.

Richland et al. 2005). Lehrpersonen wissen jedoch: Lernende können beträchtliche Probleme haben, beim Lernen komplexerer Inhalte selbstständig Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden. So nehmen sogar Studierende in selbst erzeugten Zusammenfassungen nur etwa ein Drittel der zentralen, wichtigen Ideen von Lehrbuchtexten auf (Foos et al. 1994).

Die Forschung bestätigt hier ein vielen Lehrkräften aus der Praxis bekanntes Dilemma: Aktiv von Schülern/-innen selbst erzeugtes Wissen ist zwar von einer besseren Behaltensqualität; jedoch besteht – insbesondere bei komplexen Inhalten oder schwächeren Lernenden – eine nicht unerhebliche Herausforderung darin, Lernende zu lenken, die tatsächlich fachlich zentralen Inhalte und Zusammenhänge aktiv und korrekt zu generieren. Bei sehr komplexeren Inhalten besteht ein Problem darin, dass freie Lernkapazitäten zum aktiven Umgang mit den Inhalten beim Lernenden unter Umständen gar nicht zur Verfügung stehen.

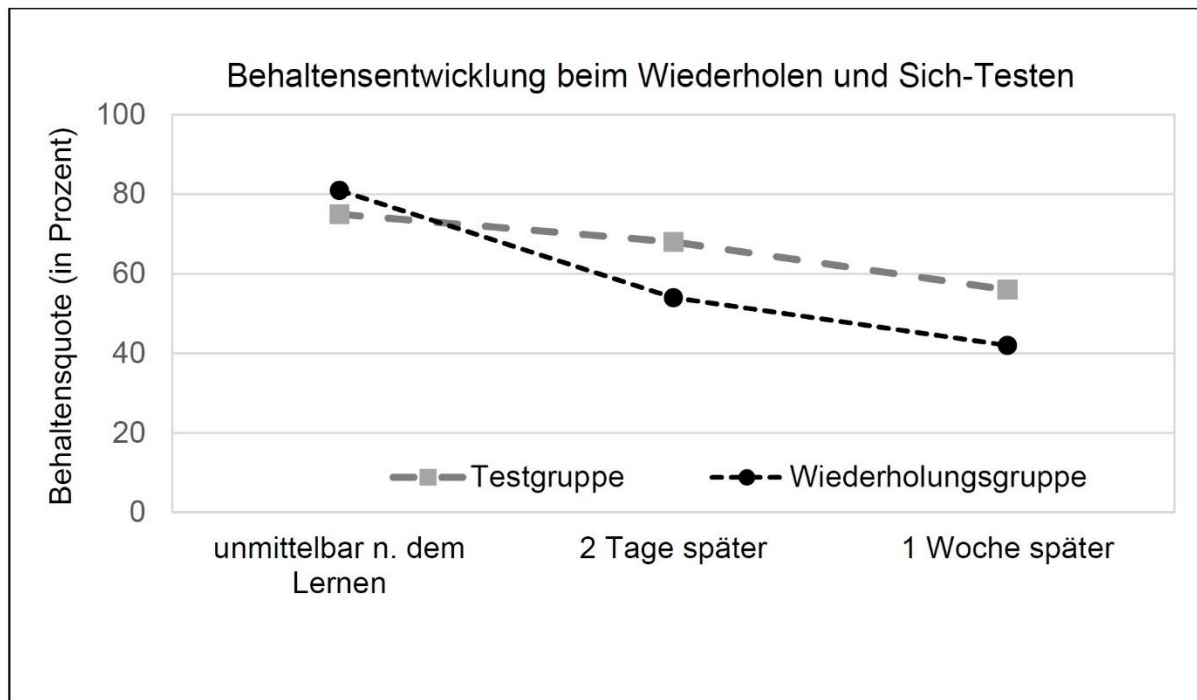
Die empirische Lehr-Lernforschung hat in den letzten Jahren einige Konzepte entwickelt, die zum Teil schon erfolgreich in den Schulunterricht Eingang gefunden haben und die ein gelenktes Generieren auch bei komplexeren Lerngegenständen ermöglichen. Dazu zählt etwa das selbstständige Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen oder mit gestuften Lernhilfen. Hierbei werden Lernende zunehmend zum Finden von Erklärungen für einzelne Lösungsschritte auch bei komplexen Problemstellungen angeregt (Hänze et al. 2010).

Eine besondere Rolle kommt dem Feedback beim generierenden Lernen zu. Es besteht die Gefahr, dass *falsche* selbst generierte Informationen – genauso wie richtiges selbst generiertes Wissen – besonders gut und nachhaltig erinnert werden. Studien belegen jedoch, dass Fehler keine schädliche Nachwirkung auf die Gedächtnisleistung haben, wenn sie durch angemessenes Feedback korrigiert werden (Metcalf/ Kornell 2007).

## **5 Tests als Lerngelegenheiten**

Tests werden im Schulunterricht meist in Form von Klassenarbeiten oder Klausuren eingesetzt, um den Lernerfolg nach einer Unterrichtseinheit überprüfen und bewerten zu können. Als didaktisches Mittel zur Förderung von Lernprozessen selbst werden sie dagegen bislang kaum genutzt. Der gedächtnispsychologische Testungseffekt legt nahe, dass hier ein ungenutztes Potenzial brach liegt: Die Abfrage des Gelernten und der dadurch erforderliche Abruf aus dem Langzeitgedächtnis fördern nämlich das längerfristige Behalten weitaus stärker als herkömmliche didaktische Maßnahmen wie die Wiederholung von Inhalten.

Ein anschauliches Beispiel dafür, wie groß der lernförderliche Effekt von Tests sein kann, liefert eine Untersuchung von Roediger und Karpicke (2006). Studierende sollten einen zusammenhängenden Text abschnittsweise lesen und erhielten nach jedem Abschnitt entweder Zeit, den Text noch einmal zu studieren (Wiederholungsgruppe) oder sie wurden aufgefordert, so viele Informationen wie möglich zu erinnern und diese aufzuschreiben. In einem Test unmittelbar nach dem Lernen schnitt die Wiederholungsgruppe noch etwas besser ab (81 % vs. 75 %, siehe Abb. 3), danach kehrte sich das Bild jedoch um. In den nachfolgenden Tests zwei Tage später und eine Woche später erinnerten jene Studierende mehr Informationen, die aufgefordert wurden, ihr Wissen selbst zu prüfen als jene Studierende, die die Textabschnitte wiederholt gelesen hatten. Die Unterschiede fielen jeweils deutlich aus und waren praktisch sehr bedeutsam (vgl. Abb. 3).



**Abb. 3:** Behaltensquoten in der Test- und Wiederholungsgruppe (vgl. Roediger/ Karpicke 2006)

Analog zu den oben dargestellten Ergebnissen von Ziegler und Stern (2014) zeigt sich also auch hier, dass die im Vergleich zur Wiederholung eingebaute Lerner Schwernis (hier: das eigene Wissen zu testen) das Behalten zwar kurzfristig erschwert, sich aber mittelfristig positiv auf das Behalten und Lernen auswirkt.

Für sich genommen können Tests allerdings nur dann lernförderlich sein, wenn auch korrekte Informationen und Wissensbestände erinnert und produziert werden oder wenn die Lernenden im Falle falsch erinnelter Informationen ein Feedback von der Lehrperson in Form der korrekten Antwort erhalten (vgl. Pashler et al. 2005).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Einsatz von Tests als Lerngelegenheiten ein großes Potenzial hat, welches im Schulunterricht bei Weitem nicht ausgeschöpft wird. Zwar nahmen an den meisten der bislang hierzu durchgeführten Untersuchungen Studierende teil, so dass noch wenig über die konkreten Einsatzmöglichkeiten von (Lern-)Tests im Schulunterricht bekannt ist. Die starken und robusten Effekte der bereits vorliegenden Untersuchungen legen aber nahe, dass Tests (sich selbst testen oder sich testen lassen) eine sehr wirksame didaktische Maßnahme darstellen können. Dies gilt sowohl für das Auswendiglernen von einzelnen Informationen (z.B. Vokabeln) als auch für das längerfristige Behalten von Informationen aus Lehrtexten. Dabei ist zu beachten, dass der Einsatz von Tests keinesfalls bedeutet, dass die Leistungen von Schülern/-innen in diesen Tests bewertet und benotet werden. Insbesondere dann, wenn viele fehlerhafte Antworten zu erwarten sind, sollte der Einsatz von Tests als Lerngelegenheiten jedoch mit einer Rückmeldung in Form der richtigen Antwort verknüpft werden.

Auch hier stellt sich die Frage, wie sich die positiven Effekte dieser wünschenswerten Erschwernis erklären lassen. Hierüber gibt es verschiedene Annahmen: Zum einen lässt sich annehmen, dass mit dem Sich-Selbst-Testen bzw. mit dem Sich-Testen-Lassen das wiederholte Abrufen von Informationen aus dem Gedächtnis trainiert wird, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Informationen auch in Zukunft leichter behalten und abgerufen werden können. Zum anderen lässt sich auch annehmen, dass durch das Testen das vorhandene

Wissen besser verknüpft und organisiert wird und auch Wissenslücken eher bemerkt werden.

## 6 Fazit

In diesem Beitrag wurden didaktische Maßnahmen vorgestellt, die das Lernen auf den ersten Blick erschweren, es aber mittel- und langfristig befördern und flexibilisieren. Zwar sind die Prozesse, die bei den Lernenden bei den wünschenswerten Erschwernissen konkret ablaufen, noch nicht umfassend erforscht, doch kann angenommen werden, dass die hier dargestellten Erschwernisse tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse des Ab- und Vergleichens zur Folge haben und die Lernenden stärker dazu anregen, Verknüpfungen mit dem Vorwissen herzustellen, Lücken im eigenen Wissen zu identifizieren und den Wissenserwerb zu überwachen. Damit sind letztlich auch lernerbezogene Indikatoren der kognitiven Aktivierung beschrieben, welche eine Basisdimension lernwirksamen Unterrichts darstellt (Lipowsky 2015).

## 7 Literatur

- Bertsch, S./ Pesta, B. J./ Wiscott, R./ McDaniel, M. A. (2007): The generation effect: A meta-analytic review. In: *Memory & Cognition*, H.2, 201-210.
- Cepeda, N. J./ Pashler, H./ Vul, E./ Wixted, J. T./ Rohrer, D. (2006): Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. In: *Psychological Bulletin*, H.3, 354-380.
- Dunlosky, J./ Rawson, K. A./ Marsh, E. J./ Nathan, M. J./ Willingham, D. T. (2013): Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. In: *Psychological Science in the Public Interest*, H.1, 4-58.
- Ebbinghaus, H. (1966): *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Amsterdam.
- Foos, P. W./ Mora, J. J./ Tkacz, S. (1994): Student study techniques and the generation effect. In: *Journal of Educational Psychology*, H.4, 567-576.
- Galluccio, L./ Rovee-Collier, C. (2006): Nonuniform effects of reinstatement within the time window. In: *Learning and Motivation*, H.1, 1-17.
- Hänze, M./ Schmidt-Weigand, F./ Stäudel, L. (2010): Gestufte Lernhilfen. In: Boller, S./ Lau, R. (Hrsg.): *Innere Differenzierung in der Sekundarstufe II. Ein Praxishandbuch für Lehrer/innen*. Weinheim, S. 63-73.
- Kornell, N./ Castel, A. D./ Eich, T. S./ Bjork, R. A. (2010): Spacing as the friend of both memory and induction in younger and older adults. In: *Psychology and Aging*, H.25, 498-503.
- Lipowsky, F. (2015): Unterricht. In: Wild, E./ Möller, J. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie* (2. überarbeitete Auflage), Heidelberg, 69-115.
- Metcalf, J./ Kornell, N. (2007): Principles of cognitive science in education: The effects of generation, errors, and feedback. In: *Psychonomic Bulletin & Review*, H.2, 225-229.
- Pashler, H./ Cepeda, N. J./ Rohrer, D./ Wixted, J. T. (2005): When does feedback facilitate learning of words? In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, H.1, 3-8.
- Richland, L. E./ Bjork, R. A./ Finley, J. R./ Linn, M. C. (2005): Linking cognitive science to education: Generation and interleaving effects. In: Bara, B. G./ Barsalou, L./ Bucciarelli, M. (Eds.): *Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Mahwah, NJ., S. 1850-1855.
- Roediger, H. L./ Karpicke, J. D. (2006): Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. In: *Psychological Science*, H.3, 249-255.



- Slamecka, N. J./ Graf, P. (1978): The generation effect: Delineation of a phenomenon. In: Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory, H.6 , 592-604.
- Vlach, H. A./ Sandhofer, C. M. (2012): Distributing learning over time: The spacing effect in children's acquisition and generalization of science concepts. In: Child Development, H.4, 1137-1144.
- Ziegler, E./ Stern, E. (2014): Delayed benefits of learning elementary algebraic transformations through contrasted comparisons. In: Learning and Instruction, H.1, 131-146.



**Frank Lipowsky,**

Jahrgang 1964, Professor für Empirische Schul- und Unterrichtsforschung  
Forschungsschwerpunkte: Unterrichtsqualität in der Primar- und Sekundarstufe, Lehrerprofessionalisierung; Kontakt: lipowsky@uni-kassel.de



**Tobias Richter,**

Jahrgang 1971, Professor für Allgemeine Psychologie  
Forschungsschwerpunkte: Sprach- und Textverstehen, Lernen und Gedächtnis, Lesekompetenz; Kontakt: tobias.richter@uni-kassel.de



**Rita Borromeo Ferri,**

Jahrgang 1976, Professorin für Didaktik der Mathematik  
Forschungsschwerpunkte: Mathematische Modellierung, Mathematische Denkstile im kulturellen Vergleich; Kontakt: borromeo@mathematik.uni-kassel.de



**Mirjam Ebersbach,**

Jahrgang 1975, Professorin für Entwicklungspsychologie  
Forschungsschwerpunkte: Entwicklung mathematischer und räumlicher Fähigkeiten, Informationsverarbeitung; Kontakt: mirjam.ebersbach@uni-kassel.de



**Martin Hänze,**

Jahrgang 1963, Professor für Pädagogische Psychologie  
Forschungsschwerpunkte: Empirische Lehr-/Lernforschung, Kooperative Lehr-/Lernformen, Unterstützung selbstständigen Lernens  
Kontakt: haenze@uni-kassel.de