

Gelernt – gekonnt – vergessen?

Kopfübungen im Physikunterricht zum Wachhalten von Grundwissen und Grundkönnen

MARTIN DICKMANN – MARVIN KNITTEL – HEIKE THEYSSEN

Im Physikunterricht steht häufig die Erarbeitung neuer fachlicher Konzepte im Vordergrund, während das regelmäßige Üben und Anwenden von einmal Gelerntem eine untergeordnete Rolle spielen. Das ist problematisch, da nicht regelmäßig aktiviertes Wissen schnell verblasst und als Grundlage für weiteres Lernen nicht zur Verfügung steht. Deshalb wurde die aus der Mathematikdidaktik zum Wachhalten von Grundwissen und -können bekannte und praxiserprobte Übungsmethode „vermischte Kopfübungen“ für den Physikunterricht der Sekundarstufe I adaptiert und erprobt.

1 Einleitung

Eine zentrale Herausforderung für nachhaltigen und kumulativen Wissenserwerb auch im MINT-Unterricht ist das Vergessen. Vergessen bedeutet, dass zuvor Gelerntes nach kurzer Zeit schwer oder gar nicht mehr abrufbar ist (z.B. WELLENREUTHER, 2019). Insbesondere in sogenannten Wiederholungsstunden fällt auf, dass Lernende einen Großteil bereits thematisierter fachlicher Begriffe, Konzepte und Zusammenhänge weder spontan reproduzieren noch flexibel anwenden können. Die sichere Verfügbarkeit von grundlegendem Wissen und Können ist aber gerade eine notwendige Voraussetzung für erfolgreiches Weiterlernen (FELDT-CAESAR, 2017; RÖDER, 2016). Dennoch wird das regelmäßige und wiederholte Üben im physikbezogenen Unterrichtsalltag oft vernachlässigt (HEPP, 2019a; HOPF et al., 2022), insbesondere im Sinne von Abrufübungen zur Wissenskonsolidierung (vgl. ROELLE et al., 2022). Mögliche Gründe sind dichte Lehrpläne und geringe Zeitressourcen. Es stellt sich die Frage, wie einmal erworbenes grundlegendes physikalisches Wissen und Können im Physikunterricht möglichst dauerhaft wachgehalten werden kann. Ein aus unserer Sicht vielversprechender Ansatz sind „vermischte Kopfübungen“ aus dem Mathematikunterricht (u. a. BRUDER, 2008a; RÖDER, 2016). In diesem Beitrag stellen wir daher eine für den Physikunterricht adaptierte Variante dieser Übungsmethode sowie erste Ergebnisse zu deren Wirksamkeit vor.

2 Grundlagen

2.1 Rolle des Übens im Physik- und Mathematikunterricht

Üben umfasst alle Lernaktivitäten, die Lernende unterstützen *„neu aufgenommene Informationen, neu erkannte Zusammenhänge und im Prinzip erfasste Abfolgen von Denk- und Handlungsschritten auf eine Weise präsent zu haben, dass über sie in Situationen, in denen diese Informationen etc. gebraucht werden, möglichst sicher verfügt werden kann“* (HEYMANN, 2012, 7). Dieses weite Verständnis von Üben ist lernpsychologisch verankert (RENKL, 2020) und bildet im Wesentlichen den Bezugspunkt für die fachdidaktische Entwicklung von Übungs-

formaten sowie die Formulierung von Gestaltungsregeln für Übungsphasen im Mathematik- und Physikunterricht (z.B. Mathematikdidaktik: SCHERER & WEIGAND, 2017; Physikdidaktik: HOPF et al., 2022). HEPP (2019a) fordert für den Physikunterricht, dass in jeder Unterrichtsstunde geübt werden sollte und regelmäßige (wöchentliche) Wiederholungen notwendig sind, um Wissen verfügbar zu halten. In der Unterrichtspraxis werden Übungsphasen im Physikunterricht jedoch häufig vernachlässigt (z.B. HOPF et al., 2022), obwohl deren Bedeutsamkeit für die lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht immer wieder betont wird (z.B. KRABBE et al., 2015) und „Gelerntes üben“ eine Standardsituation im Physikunterricht sein soll (HOPF et al., 2022). HEPP (2019b) sieht daher die Notwendigkeit, eine „Kultur des Übens“ (S. 11) für den Physikunterricht zu entwickeln. Grundsätzlich liegen für den Physikunterricht bereits vielfältige Methoden zum Üben in unterschiedlichen Lernphasen vor (Übersicht: HEPP, 2019b), auch umgesetzt in digitalen Aufgabenformaten (z.B. WATZKA et al., 2019). Diese verbleiben aber in der Regel im „Best-Practice-Status“, da sie in der Unterrichtspraxis häufig nicht etabliert sind. Folglich liegen nur einzelne Erfahrungsberichte und wenig empirische Daten zu ihrer Wirksamkeit vor. Im Mathematikunterricht hat das Üben dagegen traditionell einen hohen Stellenwert und es gibt eine Vielzahl von fachdidaktisch entwickelten und praxiserprobten Übungsformaten sowie Gestaltungsprinzipien (u. a. SCHERER & WEIGAND, 2017). Um dem Vergessen von grundlegendem Wissen und Können im Mathematikunterricht explizit entgegenzuwirken, wird die Übungsmethode „vermischte Kopfübungen“ (BRUDER, 2008b; RÖDER, 2016) als ein möglicher Ansatzpunkt beschrieben.

2.2 „Vermischte Kopfübungen“ im Mathematikunterricht

„Vermischte Kopfübungen“ sind eine zeitökonomische Übungsmethode aus dem Mathematikunterricht, mit der Grundwissen und -können wachgehalten und eigenverantwortliches (Nach-)Lernen angeregt werden kann (u. a. BRUDER, 2008a; RÖDER, 2016). (Mathematisches) Grundwissen und -können umfasst nach FELDT-CAESAR (2017) Begriffe, Zusammenhänge und Verfahren, die langfristig und situationsunabhängig, ohne den Einsatz von Hilfsmitteln verfügbar sein sollen.

Vermischte Kopfübungen (Mathematik; nach RÖDER, 2016)	Physikalische Kopfübungen (blau: identisch übernommen)
Wöchentliches Ritual	Wöchentliches Ritual
Ohne Hilfsmittel und ohne Benotung	Ohne Hilfsmittel und ohne Benotung
Zeitbedarf: etwa zehn Minuten (einschließlich Korrektur)	Zeitbedarf: etwa zehn Minuten (einschließlich Korrektur)
Bis zu zehn Aufgaben aus unterschiedlichen Themengebieten (nicht aus dem aktuellen Stoff)	Bis zu zehn Aufgaben aus einem Inhaltsfeld (oder zu einem Basis-konzept; keine direkten Aufgaben zum aktuellen Thema)
Möglichst keine schriftlichen Nebenrechnungen erforderlich	Erfassen insbesondere konzeptuelles, physikalisches Grundwissen und -können (möglichst keine physikalischen Rechenaufgaben)
Schüler/innen haben die Möglichkeit, eigene Stärken und Schwächen zu erkennen	Schüler/innen haben die Möglichkeit, eigene Stärken und Schwächen zu erkennen

Tab.1. Merkmale vermischter Kopfübungen für den Mathematikunterricht (linke Spalte) und ihre Adaption für den Physikunterricht (rechte Spalte)

„Vermischte Kopfübungen“ sollen eine regelmäßige „*rituelle Lerngelegenheit*“ (BRÜDER, 2008b, 12) sein, bei der die Lernenden ihr Grundwissen und - können zu unterschiedlichen Themengebieten eigenständig überprüfen können. Durch dessen regelmäßige Anwendung, können die Lernenden ein Gefühl der Sicherheit und Zufriedenheit mit ihren Fähigkeiten entwickeln (BRÜDER, 2008b). Das Antwortformat beschränkt sich mit Blick auf den Zeitbedarf (max. 10 Minuten) auf kurze Antwortoptionen, wie z.B. eine Zahl, eine Gleichung, einen Satz oder das Setzen einer Markierung. Um eigene Stärken und Schwächen zu erkennen, werden den Schüler/innen am Ende der Bearbeitungszeit Lösungen zur Verfügung gestellt und die Antworten im Zuge einer Selbstkontrolle individuell verglichen (BRÜDER, 2008b). Die Themen und deren Reihenfolge sollten in den Kopfübungen für einen gewissen Zeitraum beibehalten werden (RÖDER, 2016). Tabelle 1 zeigt links die wesentlichen Merkmale der Übungsmethode nach RÖDER (2016) im Überblick. Insgesamt zeichnet sich die Übungsmethode durch eine hohe Akzeptanz bei Lehrkräften und Lernenden aus (z.B. RÖDER, 2016). Für den Mathematikunterricht liegen mittlerweile umfangreiche Sammlungen von Kopfübungsaufgaben vor. Die genaue Zusammenstellung der Aufgaben, die Art der Bereitstellung der Aufgaben sowie die Vorgehensweise bei der Besprechung der Aufgaben sind nicht starr vorgegeben, sondern können durch die Lehrkräfte individuell an die Bedürfnisse der jeweiligen Lerngruppe angepasst werden.

2.3 Physikalische Kopfübungen

Die Merkmale „vermischter Kopfübungen“ für den Mathematikunterricht (Tab.1, linke Spalte) erscheinen als geeigneter Orientierungsrahmen für die Umsetzung dieser Übungsmethode im Physikunterricht der Sekundarstufe I. Konkretisierungs- und Anpassungsbedarf besteht jedoch zum einen im Hinblick auf die Art der Zusammenstellung der in den Kopfübungen adressierten Themen, zum anderen in der physikbezogenen Auswahl geeigneter Aufgabentypen. Die rechte Spalte von Tabelle 1 zeigt die von uns normativ festgelegten wesentlichen Merkmale physikalischer Kopfübungen. Die große Mehrheit der Merkmale ist von den „vermischten Kopfübungen“ aus der Mathematikdidaktik übernommen, was durch die blaue Hervorhebung kenntlich gemacht ist.

Im Physikunterricht der Sekundarstufe I steht das Kennenlernen und das qualitative Verstehen von physikalischen Phänomenen und Konzepten im Vordergrund. Schüler/innen sollen am Ende der Sekundarstufe I „über ein strukturiertes Basiswissen auf der Grundlage der Basiskonzepte“ (KMK, 2005, 11) verfügen. Dabei wird Basiswissen im Rahmen dieses Beitrags verstanden als Grundwissen und -können. Dieses Wissen wird im Unterricht immer gekoppelt an bestimmte Inhaltsfelder vermittelt. Die Basiskonzepte sind als „*physikalische Brillen*“ (HOPF et al., 2022, 26) zu verstehen, durch die ein Sachverhalt unter übergreifenden fachlichen Gesichtspunkten beschrieben wird. Um mit Hilfe dieser „Brillen“ eine horizontale und vertikale Vernetzung fachlichen Wissen zu ermöglichen, muss das entsprechende Grundwissen und -können aus den jeweiligen Inhaltsfeldern verfügbar sein. Für die Kopfübungen bieten sich daher zwei Umsetzungsvarianten an: (1) Aufgaben zu einem Inhaltsfeld über mehrere Basiskonzepte hinweg oder (2) Aufgaben zu einem Basiskonzept über mehrere Inhaltsfelder hinweg. Voraussetzungsärmer und „näher“ an der Unterrichtspraxis, die ebenfalls nach Inhaltsfeldern strukturiert ist, scheint uns die erste Variante zu sein.

Eine zentrale Herausforderung besteht in der Auswahl geeigneter Aufgabentypen, mit denen es möglich ist, innerhalb von 10 Minuten auch konzeptuelles Physikverständnis zu üben. In Fachwissenstests zum konzeptuellen Verständnis haben sich geschlossene Multiple-Choice-Aufgaben (MC-Aufgaben) mit typischen Lernendenvorstellungen als attraktiven Distraktoren bewährt. Mit diesem Format wird zum einen eine höhere Bearbeitungsquote gegenüber offenen Antwortformaten erreicht. Zum anderen wird durch die Verwendung attraktiver Distraktoren die erhöhte Wahrscheinlichkeit, eine richtige Antwort zu erraten, kompensiert. Darüber hinaus sind MC-Aufgaben zeitökonomisch zu bearbeiten und somit auch prädestiniert für die Verwendung in physikalischen Kopfübungen. Zusätzlich werden auch Aufgaben mit offenem Antwortformat, die z.B. eigene Zeichnungen erfordern, eingebaut. Neben geschlossenen MC-Aufgaben und Aufgaben mit offenem Antwortformat sind im Rahmen einer digitalgestützten Umsetzung physikalischer Kopfübungen noch vielfältigere Aufgabentypen (z.B. Drag & Drop-Aufgaben) denkbar.

3 Erprobung physikalischer Kopfübungen

In einer explorativen Studie wurde das oben beschriebene Konzept der physikalischen Kopfübungen in Variante (1) für die siebte Jahrgangsstufe einer nordrhein-westfälischen Gesamtschule umgesetzt und im Unterricht erprobt (KNITTEL, 2023). Für die Kopfübungen wurde das Inhaltsfeld „Sonnenenergie und Wärme“ gewählt, das zum Zeitpunkt der Studie für alle drei siebten Klassen dieser Schule seit über sechs Wochen abgeschlossen war. Daher war anzunehmen, dass bereits viel Wissen aus diesem Inhaltsfeld vergessen war und damit ein großes Potenzial bestand, durch Kopfübungen Wissen zu „reaktivieren“.

3.1 Aufgaben der physikalischen Kopfübungen zum Inhaltsfeld „Sonnenenergie und Wärme“

Anhand der beschriebenen Merkmale physikalischer Kopfübungen (Tab. 1) wurden exemplarisch 20 Kopfübungsaufgaben zu

dem gewählten Inhaltsfeld entwickelt. Abbildung 1 zeigt zwei Beispielaufgaben (Gesamtübersicht Kopfübungen: siehe Online-Ergänzung). Beide Aufgaben fragen physikalisches Grundwissen und -können aus dem Inhaltsfeld „Sonnenenergie und Wärme“ (vgl. MSB NRW, 2013) ab. In Aufgabe 2 wird ein schultypisches Freihandexperiment beschrieben, das den Schüler/innen aus dem vorangegangenen Unterricht prinzipiell bekannt war. Diese Aufgabe ist eine geschlossene MC-Aufgabe, die das dominierende Aufgabenformat bei den entwickelten Kopfübungsaufgaben ist. Die MC-Aufgaben bestehen aus vier Antwortmöglichkeiten, mit einer physikalisch korrekten Antwort sowie drei weiteren auf Basis von Lernendenvorstellungen entwickelten Antworten als Distraktoren. So ist in Aufgabe 2 die Antwortmöglichkeit b) die physikalisch korrekte Antwort, während die Antwortmöglichkeit a) auf die Lernendenvorstellung „Teilchen besitzen eine Farbe und dehnen sich bei Erwärmung aus“ (FISCHLER & SCHECKER, 2018, S. 140), die Antwortmög-

2) Wärmeausdehnung von Gasen
 Du stülpest einen Luftballon über eine Wasserflasche, die mit Luft bei Raumtemperatur (21°C) gefüllt ist. Wenn du die Wasserflasche in ein Becken mit heißem Wasser stellst, wird der Ballon größer. Warum?

Die Luft wird erwärmt und ...

- a) die Luftteilchen dehnen sich aus.
- b) die Luftteilchen bewegen sich mehr.
- c) die Luft zwischen den Teilchen dehnt sich aus.
- d) die Teilchen zwischen der Luft dehnen sich aus.



10) Der wackelnde Deckel
 Du stellst einen Kochtopf mit Deckel und Wasser bei Raumtemperatur (21°C) auf die Herdplatte. Als nach wenigen Minuten das Wasser siedet, hörst du, wie der Deckel auf dem Kochtopf wackelt. Warum wackelt der Deckel auf dem Kochtopf, wenn das Wasser siedet? Schreibe oder zeichne deine Antwort in das Feld!

Abb. 1. Aufgabenbeispiele Kopfübungen

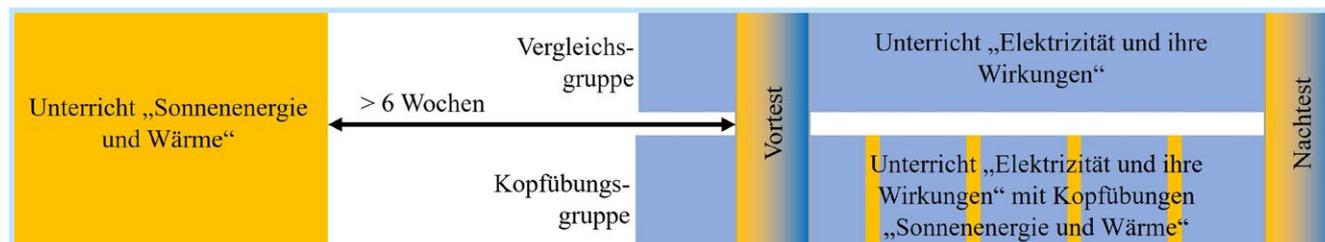


Abb. 2. Ablauf des Unterrichts und der Studie

lichkeit c) auf die Lernendenvorstellung „Zwischen den Teilchen ist Luft“ (ebenda, 144) und die Antwortmöglichkeit d) auf die Lernendenvorstellung „Zwischen den Teilchen eines Stoffs befindet sich derselbe Stoff in verdünnter Form“ (ebenda, 145) abzielen.

Aufgabe 10 ist eine der wenigen offenen Aufgaben der beiden Sets. Sie verlangt die Erklärung eines Alltagsphänomens, das dem Inhaltsfeld zuzuordnen ist. Der Erwartungshorizont besteht hier darin, dass die Schüler/innen das Anheben des Deckels durch aufsteigenden Wasserdampf und/oder sich ausdehnende Luft über dem Wasser erklären. Nach Entweichen eines Teils des Wasserdampfes bzw. der heißen Luft fällt der Deckel zurück, „klappert“ und der Vorgang beginnt erneut.

3.2 Einsatz der physikalischen Kopfübungen

Zur Erprobung der entwickelten Kopfübungsaufgaben wurde eine Vergleichsstudie durchgeführt (Abb. 2). Vor Beginn der Studie wurden alle drei Klassen von derselben Lehrkraft mit den gleichen Materialien unterrichtet. Zwei Klassen wurden zufällig der Kopfübungsgruppe (N = 37 Schüler/innen) zugeordnet und eine Klasse einer Vergleichsgruppe ohne Einsatz von Kopfübungen (N = 22 Schüler/innen). Während der insgesamt sechswöchigen Studie wurden alle drei Klassen im Inhaltsfeld „Elektrizität und ihre Wirkungen“ unterrichtet (90 Minuten pro Woche). In der Kopfübungsgruppe wurden zusätzlich einmal wöchentlich zu Stundenbeginn die physikalischen Kopfübungen eingesetzt. Dabei kamen jeweils 10 Kopfübungsaufgaben zum Einsatz. In der ersten und letzten Woche wurde mit einem lernzielbezogenen Vor- bzw. Nachtest das Wissen der Schüler/innen in beiden Gruppen sowohl im Inhaltsfeld „Sonnenenergie und Wärme“ als auch im Inhaltsfeld „Elektrizität und ihre Wirkungen“ erhoben.

Es zeigt sich (Abb. 3), dass die Schüler/innen im unterrichteten Inhaltsfeld, unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit, mit großem Effekt signifikant hinzulernen. Darüber hinaus lernen nur die Schüler/innen der Kopfübungsgruppe im Inhaltsfeld

„Sonnenenergie und Wärme“ signifikant hinzu, was sich als direkter Effekt der Kopfübungsaufgaben interpretieren lässt. Dabei wird nicht angenommen, dass die Kopfübungen für sich genommen lernwirksam sind. Vielmehr ist anzunehmen, dass das nach Abschluss der Unterrichtseinheit „Sonnenenergie und Wärme“ vorliegende Wissen nach sechs Wochen zum Zeitpunkt des Vortests bereits teilweise vergessen war und durch die Kopfübungen erfolgreich „reaktiviert“ werden konnte.

Erfreulich ist zudem der Befund, dass der Lernzuwachs im unterrichteten Inhaltsfeld „Elektrizität und ihre Wirkungen“ in der Kopfübungsgruppe nicht geringer ausfällt als in der Vergleichsgruppe ohne Kopfübungen. Der Zeitaufwand für die Kopfübungen scheint sich somit nicht negativ auf den Lernzuwachs im aktuellen Unterrichtsthema auszuwirken.

Die Ergebnisse zur Lernwirksamkeit sollen in einer Folgestudie noch auf breiterer empirischer Basis untersucht werden. So fehlt z.B. in der vorliegenden Studie ein Maß für die „Erstaneignungsqualität“ des Wissens beim Abschluss des Unterrichts zum Inhaltsfeld „Sonnenenergie und Wärme“, auf das die Ergebnisse des Vor- und Nachtests bezogen werden könnten. Dennoch deuten die Ergebnisse insgesamt ein Potential der Übungsmethode für die Unterstützung von kognitiven Lernprozessen im Physikunterricht an.

Die in die Studie einbezogene Lehrkraft erkennt einen deutlichen Nutzen für ihre Unterrichtspraxis durch den Einsatz der Kopfübungen. Insbesondere die Verlagerung organisatorischer Aufgaben, wie beispielsweise die Anwesenheitskontrolle, in die Bearbeitungszeit der Kopfübungen, ermöglicht eine effizientere Nutzung der Unterrichtszeit. Die Lehrkraft bewertet den Einsatz der Übungsmethode darüber hinaus als praktikabel, insbesondere da der angenommene Zeitrahmen von 10 Minuten während der Studie nicht überschritten wird. Diese zeitliche Begrenzung ermöglicht eine Integration der Kopfübungen in den Unterrichtsverlauf, ohne die geplanten Unterrichtsziele zu beeinträchtigen.

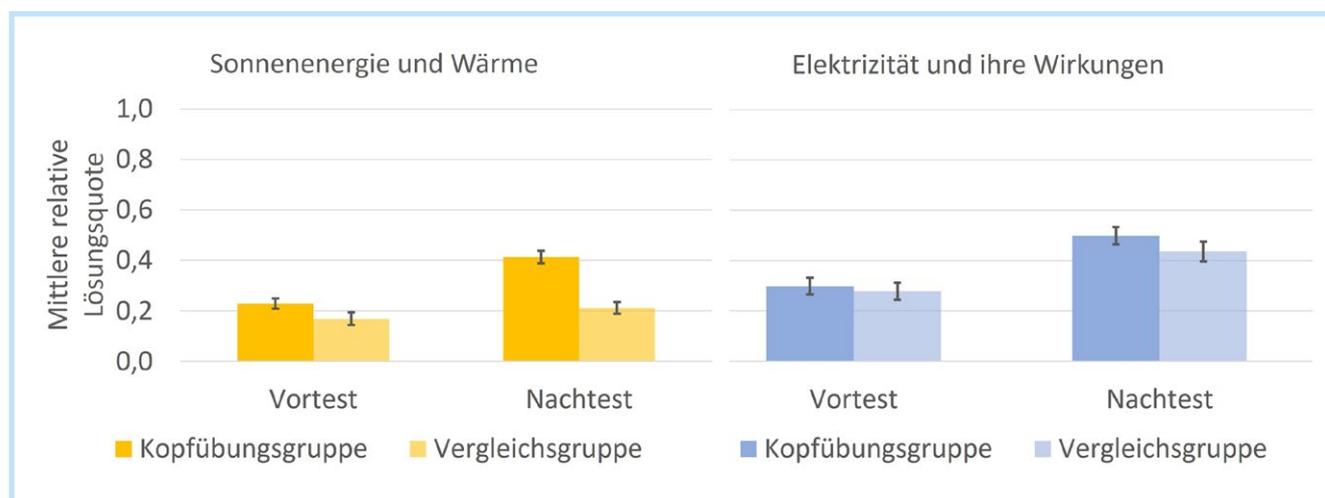


Abb. 3. Ergebnisse der Vor- und Nachtests in beiden Inhaltsfeldern und beiden Gruppen (Mittelwerte und Standardfehler der Mittelwerte)

6 Ausblick

In der oben vorgestellten Erprobung wurden entsprechend der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Umsetzungsvariante (1) immer zehn Kopfübungsaufgaben aus einem Inhaltsfeld zu mehreren Basiskonzepten behandelt. Ziel ist es, das Grundwissen und Grundkönnen aus den jeweiligen Inhaltsfeldern gut abrufbar zu halten, da das eine notwendige Voraussetzung für einen nachhaltigen Wissenserwerb ist. Im Verlauf des Physikunterrichts wird darüber hinaus ein möglichst kumulativer Wissenserwerb angestrebt. Dazu zählt beispielsweise, erworbenes Wissen über verschiedene Inhaltsfelder hinweg vernetzen zu können. Zur Förderung dieser Fähigkeit könnte es sinnvoller sein, in den Kopfübungssequenzen gezielt Aufgaben zu einem Basiskonzept aus mehreren Inhaltsfeldern einzusetzen (Umsetzungsvariante (2)).

Unabhängig von der genauen Umsetzungsvariante kann der systematische Einsatz von physikalischen Kopfübungsaufgaben im Physikunterricht der Sekundarstufe I aus unserer Sicht eine geeignete Maßnahme sein, um Grundwissen und -können wachzuhalten. Dies kann als Grundlage für weiteres Lernen dienen und somit dazu beitragen, langfristig das Kompetenzniveau der Schüler/innen zu erhöhen. Insbesondere könnten leistungsschwächere Lernende profitieren. Denn obwohl diese im Allgemeinen eine niedrigere Erstaneignungsqualität als leistungstärkere Lernende aufweisen, könnten sie umso mehr davon profitieren, wenn erworbenes Wissen durch Kopfübungen wachgehalten wird und nicht in vereinzelt Wiederholungsstunden mit erheblichem Aufwand „neu erlernt“ werden muss. Mit Blick auf die Praxis kann der Implementationsaufwand durch den Aufbau eines gemeinsamen, auf das schulinterne Curriculum abgestimmten Pools an Kopfübungsaufgaben innerhalb der Schule weiter gesenkt werden. Vergessen ist eine zentrale Herausforderung für jeden nachhaltigen Wissenserwerb, nicht nur im Physikunterricht der Sekundarstufe I. Physikalische Kopfübungen könnten daher auch als Übungsmethode in der Sekundarstufe II und im tertiären Bildungsbereich potenziell gewinnbringend sein. Beispielsweise wird in vielen Studiengängen in der Lehramtsausbildung (z.B. Physik, Sachunterricht) inhaltliches Wissen nur zu einem Zeitpunkt im Studienverlauf vermittelt, während selten explizite Maßnahmen zum regelmäßigen und wiederholenden Üben über einen längeren Zeitraum (z.B. Bachelorstudium) implementiert sind.

Literatur

BRUDER, R. (2008a). Üben mit Konzept. *mathematiklehren – Üben mit Konzept*, 147, 4–11.

BRUDER, R. (2008b). Wider das Vergessen: Fit bleiben durch vermischte Kopfrechenübungen. *mathematiklehren – Üben mit Konzept*, 147, 12–14.

FELDT-CAESAR, N. (2017). *Konzeptualisierung und Diagnose von mathematischem Grundwissen und Grundkönnen*. Springer Fachmedien.

FISCHLER, H., & SCHECKER, H. (2018). Schülervorstellungen zu Teilchen und Wärme. In: H. SCHECKER, T. WILHELM, M. HOPF, & R. DUIT (Hg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 139–161). Springer Spektrum.

HEPP, R. (2019a) Kein Lernen ohne Üben - Effektives Lernen initiieren und Gelerntes nachhaltig sichern. *Unterricht Physik*, 173, 2–7.

HEPP, R. (2019b) Wie kann Üben gelingen? Methoden und Strategien nachhaltigen Übens. *Unterricht Physik*, 173, 8–11.

HEYMANN, H. W. (2012). Schüler beim Aufbau von Kompetenzen unterstützen: Üben, Anwenden, Vertiefen-Gelingsbedingungen für nachhaltiges Lernen. *Pädagogik*, 12, 6–11.

HOPF, M., SCHECKER, H., HÖTTECKE, D., & WIESNER, H. (Hg.) (2022). *Physikdidaktik kompakt* (1. vollständig neu bearbeitete Auflage). Aulis. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.5555/9783761430149>.

KNITTEL, M. (2023). *Kopfübungen im Physikunterricht. Eine Studie zur Untersuchung der Wirksamkeit von Kopfübungen im Physikunterricht der Sekundarstufe 1*. Unveröffentlichte Masterarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (Hg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.

KRABBE, H., ZANDER, S., & FISCHER, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht: Materialien zur Lehrerfortbildung* (1. Aufl.). *Ganz In – Materialien für die Praxis*. Waxmann.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013). *Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe 1 in Nordrhein-Westfalen: Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik*. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.

RENKL, A. (2020). Wissenserwerb. In: E. Wild, & J. Möller (Hg.), *Pädagogische Psychologie*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_1.

RODER, U. (2016). Grundlegendes Wissen und Können in der Oberstufe. Vermischte Kopfübungen als Instrument zum Wachhalten von Grundwissen und -können. *Praxis der Mathematik*, 58, 36–41.

ROELLE, J., ENDRES, T., & RENKL, A. (2022). Wie können Abrufübungen (nicht) für das Lernen in Schule und Hochschule relevant gemacht werden? *Unterrichtswissenschaft*, 50, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42010-021-00139-2>.

SCHERER, P., & WEIGAND, H.-G. (2017). Mathematikdidaktische Prinzipien. In M. ABSHAGEN, B. BARZEL, J. KRAMER, T. RIECKE-BAULECKE, B. RÖSKEN-WINTER, & C. SELTER (Hg.), *Basiswissen Lehrerbildung: Mathematik unterrichten* (S. 28–42). Kallmeyer.

WATZKA, B., RICHTENBERG, S., SCHWEINBERGER, M., & GIRWIDZ, R. (2019). Interaktiv üben mit H5P-Aufgaben. Vielfältige, digitale Aufgabenformate erstellen und einsetzen. *Unterricht Physik*, 173, 28–31.

WELLENREUTHER, M. (2019). *Forschungsbasierte Schulpädagogik: Anleitungen zur Nutzung empirischer Forschung für die Schulpraxis*. 6th edition. Bertelsmann.

MARTIN DICKMANN, martin.dickmann@uni-due.de, ist Studienrat im Hochschuldienst in der Didaktik der Physik an der Universität Duisburg-Essen und forscht u.a. zu physikalischen Kopfübungen. Universität Duisburg-Essen, Universitätsstraße 2, 45117 Essen.

MARVIN KNITTEL hat das Lehramtstudium für die Fächer Physik und Sport an der Universität Duisburg-Essen absolviert und im Rahmen seiner Masterarbeit die Studie zu den physikalischen Kopfübungen durchgeführt. Aktuell ist er Lehramtsanwärter am ZfSL Kleve.

HEIKE THEYSSEN ist Professorin für Didaktik der Physik an der Universität Duisburg-Essen. ■