

Repräsentation als kognitiv entlastende Strategie beim Problemlösen?

Dennis Jaeger*, Rainer Müller*

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physik und Physikdidaktik, Bienroder Weg 82, 38106 Braunschweig

dennis.jaeger@tu-bs.de, rainer.mueller@tu-bs.de

Kurzfassung

Eine gute Repräsentation kann in hohem Maße zu einer erfolgreichen Lösung eines Problems beitragen [1, 6, 21]. Aus kognitionspsychologischer Sicht erscheint insbesondere die mit der Repräsentation verknüpfte Wiedergabe und Reduktion der zur Lösung notwendigen Informationen aus dem Kontext der Problemstellung mit einer Verringerung der Elementinteraktivität und der kognitiven Belastung einher zu gehen [40]. Im Rahmen einer Vorstudie mit 170 Schülerinnen und Schülern der Klassen 7 bis 10 untersuchten wir neben dem Einfluss der Repräsentation auf die Leistung die Rolle der kognitiven Belastung im Problemlöseprozess.

1. Einleitung

In der Literatur wird zwischen diversen Arten von Repräsentationen unterschieden. Allgemein kann unter einer Repräsentation grob ein Bild, welches die Struktur der repräsentierten Situation wiedergibt, verstanden werden [11]. Dieses kann nach Ibrahim und Rebello [11] intern (im Kopf) oder extern (mit Stift und Papier) konstruiert werden. Den physikalischen Repräsentationen wird eine hohe Bedeutung beim Lösen des repräsentierten physikalischen Problems zugeschrieben [2, 18, 21]. Insbesondere bei textintensiven Arbeitsaufträgen erscheint aus einer kognitionspsychologischen Perspektive und unter Berücksichtigung des Konstruktions-Integrationsmodells nach [2, 4, 13] eine mit der Repräsentation erfolgte Reduktion auf die zielführenden Informationen und Anknüpfung an physikalische Formeln, die Anfertigung einer adäquaten Lösung zu erleichtern. Im Rahmen der Cognitive Load Theory ist davon auszugehen, dass eine physikalische Repräsentation kognitiv entlastend wirken und diese freiwerdenden kognitiven Kapazitäten den Lösungsprozess begünstigen können. Ob diese plausibel erscheinenden Mechanismen auf diese Weise wirken, ist Gegenstand der vorliegenden Kausalanalyse. Bevor im Folgenden die Studie und ihre Rahmenbedingungen vorgestellt werden, sollen zunächst zentrale Begriffe voneinander abgegrenzt und erläutert werden.

1.1. Aufgaben und Probleme

Während die Bedeutung des Problemlösens in der Literatur recht einheitlich als besonders hoch bewertet und diese Fähigkeit als „Schlüsselqualifikation“ bezeichnet [5] wird, weichen Definitionen eines

Problems in Abgrenzung zu einer Aufgabe durchaus voneinander ab vgl. z.B. [3, 42].

Reif [38] definiert ein Problem als eine Aufgabe, die eine Sequenz von Aktionen vom Ausgangs- zum Zielzustand erfordert. Anderson [39] setzt Problemlösen und Denken gleich, da für ihn das Denken stets mit einer Absicht verbunden ist, Ziele zu erreichen. Konträr zu diesen Definitionen findet heute allgemein eine differenziertere Betrachtung statt. Einem Problem werden gemeinhin ein Ausgangszustand, eine Barriere und ein Zielzustand zugeschrieben vgl. z. B. [3, 25, 36, 43]. Bei einer Aufgabe sind Routinen zur Lösung bekannt, sodass reproduktive Denkprozesse die Lösung der Aufgabe ermöglichen. Die Lösung eines einfachen Problems erfordert darüber hinaus konstruktive Denkprozesse zur Überwindung der Barriere [3].

Anhand dieser Definitionen erscheint eine Abgrenzung der beiden Begriffe auf dem ersten Blick gut möglich, jedoch ist diese selten eindeutig und vom Lernenden abhängig. Je nachdem ob bei dem Paar (Arbeitsauftrag, Person) eine Barriere entsteht, dessen Überwindung konstruktive Denkprozesse erfordert, kann von einer Aufgabe oder einem Problem gesprochen werden. Problematisch, da nicht völlig objektiv erscheint die Entscheidung, ob ein notwendiger Denkprozess bereits als konstruktiv oder nur als rein reproduktiv einzustufen ist. Eine allgemeine Übersicht zum Thema findet man in [3, 25], eine Übersicht mit Fokus auf die Physik z.B. in [7].

Da diese Frage nicht im Fokus der Untersuchung steht, werden die Begriffe Aufgabe und Problem hier daher, wie auch in verschiedener Literatur üblich [21, 41], synonym verwendet.

1.2. Cognitive Load Theory

Im Rahmen der Theorie der kognitiven Belastung beschäftigt man sich mit Anforderungen an die menschliche Kognition. Neue zu verarbeitende Anforderungen werden über die Sinnesorgane zusammen mit assoziierten Informationen und Informationsverarbeitungsstrategien aus dem Langzeitgedächtnis in ein sehr limitiertes Arbeitsgedächtnis geladen und dort analysiert [32, 34]. Anforderungen lassen sich unter anderem in einen Teil, der intrinsische Belastungen und einen Teil, der extrinsische Belastungen hervorruft, einteilen. Überschreitet die Summe aus beiden einen individuellen Grenzwert, kann es zu einer Überlastungssituation kommen, in der Lernen und eine erfolgreiche Lösung der Aufgabe sehr unwahrscheinlich werden vgl. z.B. [12, 28, 32, 33, 34, 40]. Natürlich gilt es daneben auch eine Unterforderungssituation zu vermeiden [28]. Während intendierte Anforderungen, wie die Komplexität einer Aufgabe eine intrinsische Belastung hervorruft, kann eine ungünstige Gestaltung des Aufgabenmaterials, wie zu komplizierte, aber auch langweilige Texte zu einer extrinsischen Belastung führen [40]. Es wird deutlich, dass die Tatsache, ob eine Anforderung als extrinsisch oder intrinsisch zu bezeichnen ist, vom Material, seiner Gestaltung und dem Präsentationsmodus sowie von den Voraussetzungen der Lernenden und den definierten Lernzielen abhängt. Insbesondere, wenn das Arbeitsmaterial eine komplexe Darstellungsform oder diverse Informationen beinhaltet, die verarbeitet und nach Relevanz sortiert werden müssen, erscheinen sinnvolle, da potentiell belastungsreduzierende Strategien, beim Lösen eine förderliche Rolle spielen zu können. Als eine solche Strategie lassen sich physikalische Repräsentationen bezeichnen, da sie als Ausdruck einer Abstrahierung, Umstrukturierung sowie Reduktion des Problems auf seinen prägnanten physikalischen Kern verstanden werden können.

1.3. Physikalische Repräsentation

Beim Lösen physikalischer Aufgaben kann zwischen verschiedenen Arten einer Repräsentation des Problems unterschieden werden. Allgemein wird sie „als wichtiger Bestandteil problemlösenden Denkens“ beschrieben [5]. Unter einer Repräsentation verstehen Chi et al. in [1] eine „[...] cognitive structure corresponding to a problem, constructed by a solver on the basis of his domain-related knowledge and its organization. A representation can take a variety of forms.“ Darüber hinaus wird dort festgestellt, dass Komponenten einer Repräsentation mit dem Problem korrespondieren und der Anfangszustand als auch der gewünschte Zielzustand sowie anwendbare Problemlöseoperatoren beinhaltet. Dies deckt sich mit der Ziel- und Situationsanalyse von Duncker nach [5], die auch als Methoden zum heuristischen Denken bezeichnet werden.

Allgemein kann zwischen interner und externer Repräsentation unterschieden werden (vgl. z.B. [11, 25, 26, 31]). Zur internen Repräsentation werden Inhalte gezählt, die das zu betrachtende Problem im Gedächtnis repräsentieren, weshalb sie auch als mentale Repräsentation bezeichnet wird [25]. Bei Texten als Instruktionsmaterial gilt nach dem Konstruktions-Integrationsmodell [13] als Voraussetzung der Bildung einer solchen Repräsentation das Laden von Informationen aus dem Text (Schritt 1) und das Laden von aktivierten, mit dem Problem assoziierten Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis (Schritt 2) vgl. Abb.1.

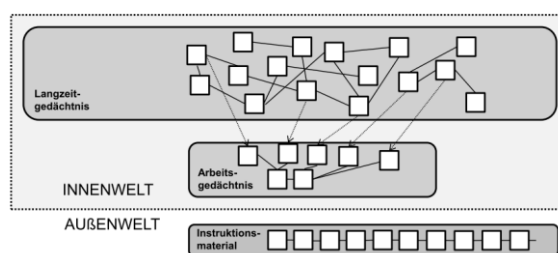


Abb.1 Konstruktions-Integrationsmodell nach Kintsch [13]; Schritt 2: Aktivierung und Laden assoziierter, bekannter Inhalte ins Arbeitsgedächtnis. Bild nach Friedrich, Anderson [4, 39], verändert.

Diese ersten Schritte des Modells, die die Bildung einer internen Repräsentation veranschaulichen sollen, scheinen für die Erstellung einer externen, also außerhalb des Gedächtnisses gespeicherten Repräsentation, wie eine Niederschrift, notwendig. Die physikalische Repräsentation ist nach Larkin [18] nah an den das Problem beschreibenden physikalischen Prinzipien angebunden. Darunter kann beispielsweise eine verschriftliche, physikalische Darlegung des Sachverhaltes verstanden werden. Auch in Reinhold et al. [21] handelt es sich um eine Übersetzung einer (alltagssprachlich formulierten) Problemstellung in die Sprache der Physik, was beispielsweise eine verbildlichte physikalische Betrachtung des Sachverhaltes sein kann.

In Studien lässt sich zeigen, dass eine adäquate physikalische Repräsentation sehr förderlich für den Lösungsprozess sein kann z.B. [26, 31, 43, 44]. Es wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass eine solche in der Lage ist, eine zukünftige interne Repräsentation zu beeinflussen und sich dadurch auch positiv auf den Lernprozess auszuwirken kann [31]. Anfänger unterscheiden sich von Experten in der Qualität ihrer Repräsentation. Während die „Repräsentation [von Anfängern] wenig für die quantitative Darstellung des [untersuchten] Vorgangs“ leistet, „versuchen [Experten] [...] die Aufgabe in physikalischen Begriffen zu repräsentieren und benutzen die in der Physik üblichen Idealisierungen“ [1,2, zitiert aus 21]. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in Studien, die auf nicht mathematische Repräsentationen fokussieren, z.B. Savelsbergh et al. nach [7].

Eine physikalische Repräsentation eines Problems kann stets intern oder extern also im Kopf oder auf dem Papier gebildet werden. Wie dargelegt, scheint die interne Repräsentation die daraufhin gebildete externe zu beeinflussen. Genauso liegt es nahe, dass die neu gebildete externe Repräsentation eine zukünftig gebildete interne Repräsentation zu einem Problem einer vergleichbaren physikalischen Struktur beeinflusst und auf diese Weise Lernen unterstützt wird.

In Anlehnung an die genannten Quellen wird in der vorliegenden Studie eine physikalische Repräsentation mit einer Verschriftlichung verknüpft. Genauer wurde das Konstrukt *Qualität der physikalischen Repräsentation eines Problems* in dieser Studie über die Verschriftlichung der internen Repräsentation der Schülerinnen und Schüler operationalisiert.

Der positive Einfluss einer adäquaten Repräsentation auf den Lösungs- und Lernprozess scheint empirisch recht gut abgesichert. Kaum untersucht scheint jedoch die Frage, wie dieser positive Einfluss funktioniert, bzw. welcher Mechanismus hier am Werk ist. Wie schon zuvor erwähnt, bietet die Cognitive Load Theory einen Erklärungsansatz, da diese darauf hindeutet, dass eine adäquate Repräsentation eine Reduktion der kognitiven Belastung zur Folge haben kann, was wiederum dazu führt, dass mehr kognitive Kapazitäten für den Kern des Problems zur Verfügung stehen, sodass in der Folge die Lösungswahrscheinlichkeit steigt. Neben der zu erwartenden kognitiven Entlastung auf Grund einer Reduktion auf zur Lösung notwendige Parameter sehen Simon & Simon [44] positive Effekte infolge der durch die Repräsentation erzeugte auf Symbolen fundierte Ausgangsbasis zur Generierung der physikalischen Gleichungen. Hier ist infolge der Cognitive Load Theory davon auszugehen, dass die Anknüpfung an bekannte physikalische Gleichungen im Langzeitgedächtnis erleichtert und so weniger kognitive Kapazitäten belegt sind, da entsprechende Symbole auch in der abgespeicherten Gleichung wiederzufinden sind. Auch Larkin argumentiert nach [31] dafür, dass eine externe Repräsentation das Problemlösen dadurch vereinfacht, dass es die assoziierte mentale Arbeitsbelastung reduziert. Eine empirisch fundierte Absicherung dieser Argumentationen mithilfe der Messung der kognitiven Belastung liegt nach dem Wissen der Autoren bisher so nicht vor.

2. Fragestellung

Bekannt ist bereits, dass physikalische Repräsentationen lösungsförderlich sein können. Die bisherigen Betrachtungen legen darüber hinaus nahe, dass sie mit einer Reduktion der kognitiven Belastung einhergehen und darüber die Lösung erleichtern können. Mit folgenden Hypothesen soll dies näher untersucht werden:

H1) Die Qualität der physikalischen Repräsentation hat einen positiven Einfluss auf die Leistung im Problemlöseprozess.

H2) Die Qualität der physikalischen Repräsentation hat einen negativen Einfluss auf die kognitive Belastung im Problemlöseprozess.

H3) Die kognitive Belastung ist ein Mediator von Qualität der Repräsentation auf die Leistung.

3. Studiendesign

Als Gelegenheitsstichprobe für die Studie konnten drei siebte, eine achte und drei zehnte Klassen eines Braunschweiger Gymnasiums gewonnen werden. Insgesamt nahmen damit 170 Probanden (84 weiblich, 15 keine Angabe) mit einem Durchschnittsalter von $M = 14,2$ ($SD = 1,64$) zwischen 11 und 18 Jahren teil. Alle Schulklassen haben die Thematik „gleichförmige Bewegung“ zuvor behandelt. Während die Behandlung des Themas in der 8. Klasse ein Jahr zurücklag, fand sie in den anderen Klassen erst wenige Tage bis Wochen zuvor statt.

Die Studie umfasste zwei Erhebungstermine zwischen denen eine Woche Zeit lag. Jeder Termin nahm 45 Minuten Zeit in Anspruch. Während beim ersten Termin relevante personenbezogene Variablen, wie beispielsweise das Fachwissen zur Thematik erhoben wurde, fand beim zweiten Termin die eigentliche Untersuchung statt, bei der eine klassenweise Einteilung in vier Gruppen stattfand. Neben der Blockrandomisierung mit denen die klassenspezifischen Variablen kontrolliert wurden, wurden auch die personenbezogenen Variablen kontrolliert, sodass keine statistischen Unterschiede zwischen den vier Gruppen in zentralen Variablen festgestellt werden konnten. Die vier Gruppen erhielten verschiedene Instruktionstexte, auf die die sich anschließenden Aufgaben bezugnahmen. Es handelte sich um einen verkürzten Zeitungsartikel über einen Schwimmwettkampf in Rio de Janeiro 2016. Die vier Versionen unterschieden sich in ihrem Lesbarkeitsindex und ihrer Authentizität entsprechend Tab.1. Die sich anschließenden Aufgaben orientieren sich an Wiesner et al. [49] und sind in der authentischen Version im Anhang zu finden.

LIX hoch	Gruppe 2 (39 SuS)	Gruppe 4 (39 SuS)
LIX niedrig	Gruppe 1 (38 SuS)	Gruppe 3 (44 SuS)
	traditionell	authentisch

Tab.1 2x2 Design der Studie

Die Verwendung von verschiedenen Instruktionstexten diente weiteren Untersuchungsschwerpunkten, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Da nach den bisherigen Ausführungen eine physikalische Repräsentation unabhängig vom Instruktionstext

text einen positiven Einfluss auf die kognitive Belastung und Leistung haben sollte, schränkt dies die Untersuchung nicht weiter ein. In Folgestudien ließe sich an dieser Stelle untersuchen, ob komplexere Texte bei Probanden gleichen spezifischen Fachwissens eher zur Produktion einer Repräsentation führen.

Im Folgenden wird die Operationalisierung aller für die Studie wichtigen Konstrukte dargelegt.

3.1. Material und Messinstrumente

Kognitive Belastung: Während die Theorie sehr breit akzeptiert ist, hat sich kein Standardmaß zur Messung der kognitiven Belastung etabliert. Nach Schnotz & Kürschner [28] gibt es mit subjektiven Bewertungen, physiologischen und leistungs-basierten Messungen im Wesentlichen drei Methoden, wovon besonders erstere intensive Verwendung finden vgl. [20]. Auch bei diesen introspektiven Messungen wird verschieden vorgegangen. So unterscheiden sich Studien hier häufig in der verwandten Anzahl an Items und darin, auf welche Art der kognitiven Belastung sie abzielen. Exemplarisch werden in [17] sieben Items, in [15] elf Items, in [46] zwei Items isoliert und in [47] nur ein Item betrachtet. Eine differenzierte Messung der Belastungsarten schlagen bspw. Leppink et al. [20] vor. Da die kognitive Belastung in der vorliegenden Studie nach der Bearbeitung jeder Aufgabe erhoben werden sollte, wurde eine zeitökonomische Messung einerseits notwendig. Andererseits zielten wir auf eine breitere und zuverlässigere Messung als dies mit einem Item möglich wäre, sodass insgesamt drei Items [12, 22, 48] mit siebenstufiger Skalierung zur Anwendung kamen. Untersuchungen u.a. von Lepink et al. [20] und in [8] deuten vorsichtig darauf hin, dass die Items das Konstrukt breit abzubilden scheinen und dennoch eine Dimension darstellen. Sie wurden daher als Indikator für die kognitive Gesamtbelastung verwendet.

Physikalische Repräsentation: Zur Operationalisierung der Qualität der physikalischen Repräsentation wurde ein Manual verwendet. Dieses ist angelehnt an [17] und orientiert sich an den Ausführungen zu Kapitel 1.3. Genauer wurde die Situations- und Zielanalyse bewertet, indem es Punkte auf die korrekte Nennung der benötigten Formelzeichen, Zahlenwerte und physikalische Einheiten sowie auf die Kennzeichnung des physikalisch korrekten Zielzustandes vergeben wurden. Dabei wurde den Lernenden der mithilfe der vorgefertigten Begriffe *Gegeben:* und *Gesucht:* ein Anreiz gegeben, ihre interne Repräsentation des Problems zu explizieren. Es erfolgte jedoch keine explizite Aufforderung dazu.

Leistung: Die Leistung im Problemlöseprozess wurde anhand eines zu diesem Zwecke entwickelten Manuals erstellt. Erste bisherige, unveröffentlichte

Untersuchungen deuten auf eine hinreichende Objektivität des Manuals hin. Wichtig hierbei ist, dass die Items zur Messung der Qualität der Repräsentation nicht für die Messung der Leistung herangezogen wurden, wie es in Klassenarbeiten häufig vorkommen würde. Ein Zusammenhang erscheint daher nicht selbstverständlich.

4. Ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse präsentiert und auf die Hypothesen eingegangen. Es sei jedoch erwähnt, dass die Stichprobengröße sich infolge der Nichtteilnahme einiger Probanden an hier relevanten zweiten Termin auf 160 reduzierte und sich lediglich für die Aufdeckung möglicher mittlerer Mediatoreffekte eignet [37]. Zur Beantwortung der Hypothesen betrachten wir Abb.2 und Tab.2. Für die Analysen wurde das Macro *Process* [10] verwendet.

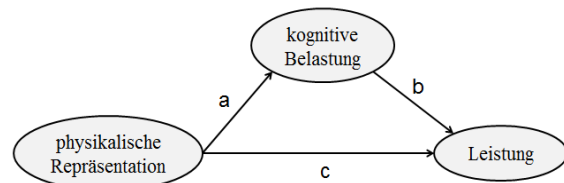


Abb.2 Pfadmodell der Mediatoranalyse

Aufgabe Pfad	Aufgabe 1a/b/c	Aufgabe 2	Aufgabe 3
a	-0,29**/ -0,28**/ -0,35**	n.s.	n.s.
b	-0,41**/ -0,33**/ -0,30**	n.s.	-0,29**
c	0,37**/ 0,44**/ 0,43**	0,58**	0,52**
Varianz- aufklärung Leistung	44 %/ 48 %/ 46 %	39 %	38 %

Tab.2 standardisierte Regressionsgewichte nach Aufgabe vgl. Abb.2. n.s.: nicht signifikant; * p < 0,05; ** p < 0,01.

In Tab.2 finden sich jeweils die standardisierten Regressionskoeffizienten des jeweiligen Pfades. Beispielsweise bedeutet dies, dass für die kognitive Belastung zweier Lernenden, die sich in ihrer physikalischen Repräsentation um eine Standardabweichung

chung unterscheiden, ein Unterschied von 0,35 Standardabweichungen bei Aufgabe 1c prognostiziert wird.

Hypothese 1 und 2 lassen sich hier dann als bestätigt ansehen, wenn es einen signifikanten Pfad gibt, da in diesem Falle die Vorzeichen in der hypothetisierten Richtung sind. Hierbei muss beachtet werden, dass bei dieser Analyse der Fokus auf Hypothese 3 lag und diese mithilfe des Pfadmodells untersucht werden kann. Schlüsse mithilfe dieses Pfadmodells auf die ersten beiden Hypothesen sind hier daher insofern verzerrt, als dass die entsprechenden Regressionskoeffizienten bei separater Schätzung der Pfade nicht denen in Abb.2 entsprechen würden. So wäre der Regressionskoeffizient des separaten Pfades von Physikalische Repräsentation auf Leistung größer als jener von Pfad c.

Hypothese 3 lässt sich nur bei Aufgabe 1 bestätigen. Hier konnte sowohl ein indirekter (Mediation über die kognitive Belastung) als auch ein direkter Effekt auf die Leistung festgestellt werden vgl. [10].

5. Zusammenfassung und Ausblick

In der Studie wurde im Rahmen eines Kausalmodells untersucht, inwieweit eine adäquate physikalische Repräsentation sich über eine Senkung der kognitiven Belastung auf die Leistung auswirkt. Dies konnte bei einem Teil der Aufgaben bestätigt werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die vorliegenden Analysen lediglich Kausalanalysen auf Grundlage der Varianzen der betrachteten Variablen sind. Ein Nachweis von tatsächlichen Kausalitäten ist somit nicht möglich. Die Daten würden einer solchen zumindest bei Aufgabe 1 jedoch nicht widersprechen.

Die vorliegenden Befunde können unter Annahme einer validen Messung (Hinweise darauf: z.B. [20]) teilweise Hinweise zu der Frage liefern, warum beziehungsweise wie die Qualität einer Repräsentation beim Lösen helfen kann. Dennoch sind bei der Bewertung der Ergebnisse einige Einschränkungen zu berücksichtigen. Eine Limitation ergibt sich durch die Operationalisierung der Qualität der Repräsentation. Hier werden nur dann Punkte vergeben, wenn eine Verschriftlichung stattfand, was dazu führt, dass sehr kompetente Lösende, die die Verschriftlichung der Repräsentation für unnötig hielten, hier keine Punkte erhalten, obwohl sie wohl über eine gute interne Repräsentation verfügen. Dies schränkt die Validität der verwendeten Messung ein. Zudem wird darauf aufmerksam gemacht, dass die vorliegenden Aussagen bei einer anderen möglichen Operationalisierung anders ausfallen können. Diese könnte aber auch einen geringeren Grad an Objektivität aufweisen, als das hier verwendete Maß.

Abschließend lässt sich feststellen, dass alle Aufgabenteile bei denen eine Bestätigung des Modells möglich war zu Beginn der Untersuchung lagen. Denkbar wäre daher, dass die wiederkehrenden identischen Items bei den Aufgaben dazu führten, dass eine gewissenhafte Bearbeitung besonders zu Beginn, also beim erstmaligen Kontakt mit den Items stattfand. Für zukünftige Studien könnte auch eine differenzierte Messung der verschiedenen Belastungsarten weiterhelfen, die arbeitenden Wirkungszusammenhänge genauer aufzuklären.

6. Literatur

- [1] Chi, M.T.H.; Feltovich P.J. & Glaser R. (1981): Categorization and representation of physics problems by experts and novices. In: *Cognitive Science* 5, p. 121-152.
- [2] Chi, M.T.H.; Glaser, R. & Rees, E. (1982): Expertise in problem solving. In: R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, (Vol. 1). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [3] Franz, T.; Steib, C.; Frie, T.; Strahl, Alexander (2015): Arbeitsgedächtnis und experimentelle Physikaufgaben. Vorstellung einer Masterarbeit. DPG Frühjahrstagung in Wuppertal. *PhyDid.B DD06.01*.
- [4] Friedrich, M. C.G. (2017): Textverständlichkeit und ihre Messung. Waxmann: Münster.
- [5] Funke, J. (2003): Problemlösendes Denken. Kohlhammer Standards Psychologie: Stuttgart.
- [6] Heller, J.I. & Reif, F. (1984): Prescribing Effective Human Problem-Solving Processes: Problem Description in Physics. *Cognition and Instruction*, 1984, I(2) 177-216.
- [7] Hsu, L.; Brewster, E.; Foster, T.M.; Harper, K.H. (2003): Resource Letter RPS-1: Research in Problem Solving. *American Association of Physics Teachers*.
- [8] Jaeger, D.; Itsios, C.; Franz, T. & Müller, R. (2017): Cognitive Load und Aufgabenmerkmale - Verwendung von Zusatzfragen bei authentischen Problemen -. DPG Frühjahrstagung in Dresden. *PhyDid. B, DD 13.1*. Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/792>
- [9] Jaeger, D.; Franz, T. & Müller, R. (2017): Cognitive Load und authentische Probleme. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Jahrestagung in Regensburg 2017* (Bd. 38, S. 687-690). Regensburg: Universität Regensburg. Verfügbar unter: http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GD_CP_Band38.pdf
- [10] Hayes A.F. (2013): *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis. A Regression –Based Approach*. The Guilford Press.

- [11] Ibrahim, B. & Rebello, N.S. (2013): Role of mental representations in problem solving: Students' approaches to nondirected tasks. In: *Physical Review Special Topics. Physics Education Research*. 9.
- [12] Kalyuga, S.; Chandler, P.; Sweller, J. (1999): Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction. *Applied Cognitive Psychology*, (13), 351-371.
- [13] Kintsch, W. (1988): The Role of Knowledge in Discourse Comprehension: A Construction-Integration Model. *American Psychological Association. Psychological Review*. Vol. 95, No. 2, 163-182.
- [14] Krippendorff, K. (2004): *Content analysis: An introduction to its methodology*. Thousand Oaks, California: Sage.
- [15] Kuensting, J. (2007): *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren*. Dissertation Universität Duisburg-Essen. Fachbereich Bildungswissenschaften.
- [16] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. & Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht. Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *PdN-PhiS* 5/59.
- [17] Kuhn, J. (2010): *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktionen- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabekultur im Physikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- [18] Larkin, J. (1981): *The Role of Problem Representation in Physics*. Mental Models Conference, University of California, San Diego, October, 1980.
- [19] Larkin, J.H. & Simon, H.A. (1987): Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science* 11, 65-99.
- [20] Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C.P.M., Van Gog, T. & Van Merriënboer, J.J.G. (2013): Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behav. Res. Psychonomic Society, Inc.* 2013.
- [21] Reinhold, P., Lind G. & Friege G. (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *ZfDN*, Jg.5, Heft 1, S. 41-62.
- [22] Paas, F. (1992): Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, Vol. 84, No. 4, 429-434.
- [23] Paas, F., Van Merriënboer, J. & Adam, J. (1994): Measurement of Cognitive Load in Instructional Research. *Perceptual and Motor Skills*. 79, 419-430.
- [24] Rabe, T. & Mikelskis, H.F. (2007): Kohärenzbildungshilfen und Selbsterklärungen: Fördern sie das Physiklernen?. *ZfDN*; Jg. 13.
- [25] Robertson. S.I. (2001): *Problem solving*. Psychology Press.
- [26] Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., Etkina, E. (2005): Free-Body Diagrams: Necessary or Sufficient?
- [27] Sabella, M. & Redish, E.F. (2007): Knowledge activation and organization in physics problem-solving. *American Journal of Physics*.
- [28] Schnotz, W. & Kürschner, C. (2007): A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19 (4), 469-508.
- [29] Singh, C. (2016): *Problem Solving and Learning*. Physics Education.
- [30] Simon, H.A. (1977): *Models of Discovery and other Topics in the Methods of Science*. Dordrecht: Reidel.
- [31] Solaz-Portolés J.J., Lopez, V.S. (2007): Representations in problem solving in science: Directions for Practice. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, Vol. 8.Issue 2. Article 4. p.1.
- [32] Sweller, J. (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312.
- [33] Sweller, J., Van Merriënboer, J., Paas, F. (1998): Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (4), 251-296.
- [34] Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63 (2), 81.
- [35] Nesbit, J.C., Hadwin, A.F. (2006): *Handbook of Educational Psychology. Methodological Issues in Educational Psychology*. Routledge.
- [36] Polya, G. (1949): *Schule des Denkens*. Berlin.
- [37] Baltes-Götz, B. (2015): *Mediator- und Moderatoranalyse per multiple Regression mit SPSS*. Zentrum für Informations-, Medien- und Kommunikationstechnologie (ZIMK).
- [38] Reif, F. (1995): *Understanding Basic Mechanics*. Wiley, New York.
- [39] Anderson, J. R. (1983): *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [40] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011): *Cognitive Load Theory*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- [41] Brandenburger, M.; Mikelskis-Seifert, S.; Labudde, P. (2014): *Problemlösen in der Mechanik: Eine Untersuchung mit Studierenden*. DPG Frühjahrstagung in Frankfurt.
- [42] Smith, M. U. (1991): A View from Biology. In: M. U. Smith (Hg.): *Toward a unified theory of problem solving. Views from the content domains*. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates, S. 1-19.
- [43] Newell, A.; Simon, H. A. (1972): *Human problem solving*. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.

- [44] Simon, D.P., & Simon, H.A. (1978): Individual differences in solving physics problems. In: R.S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- [45] Eylon, B.S. & Reif, F. (1984): Effects of knowledge organization on task performance. In: *Cognition and Instruction*. Vol. 1, p. 5-44.
- [46] Koenen, J. (2014). Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen. In: Niedderer, H.; Fischler, H.; Sumfleth, E. (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Band 171. Berlin: Logos.
- [47] Jaeger, D.; Müller, R. & Franz, T. (2016). Aufgabenschwierigkeit und Cognitive Load. In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Jahrestagung in Zürich 2016 (Bd. 37, S. 91-94). Regensburg: Universität Regensburg. Verfügbar unter: http://gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP_Band37.pdf
- [48] Ayres, P. (2006): Using subjective measures to detect variations of intrinsic load within problems. In: *Learning and Instruction*, 16, p. 389-400.
- [49] Wiesner, H.; Schecker, H. & Hopf, M. (2011): *Physikdidaktik kompakt*. Aulis Verlag.

Anhang

Aufgabe 1:

Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit von

- Phelps, le Clos und Cseh
- Schooling
- McKee

in m/s.

Aufgabe 2:

Berechne den zeitlichen Vorsprung Schoolings vor Phelps, le Clos und Cseh beim Anschlag.

Aufgabe 3:

Erstaunlich ist, dass Larsson 1972 nur 3 mm Vorsprung vor McKee beim Anschlag hatte.

Berechne den Streckenvorsprung Schoolings vor Phelps, le Clos und Cseh beim Anschlag in Meter. Was fällt Dir auf?