

Kognitive Lernunterstützungen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess

- Projektskizze -

Marit Kastaun & Monique Meier

m.kastaun@uni-kassel.de, monique.meier@uni-kassel.de

Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel

Zusammenfassung

Forschend einem biologischen Phänomen auf den Grund zu gehen, bedingt einen Lernprozess, in dem Lernende auf ihr bestehendes Wissen zurückgreifen und neue Informationen verarbeiten müssen, um diese mit neuen Erkenntnissen in einen sinnvollen Zusammenhang bringen zu können. Nicht selten stellt sie diese Komplexität beim Forschenden Lernen jedoch vor hohe Belastungen, die die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ausreizt. Die in diesem Beitrag vorgestellte Studie verfolgt daher das Ziel, diese Überforderungen durch Einsatz von methodischen Lernunterstützungen zu minimieren. Anknüpfend an kognitionspsychologische Erkenntnisse werden in zwei aufeinanderfolgenden Teilstudien im Pre-Post-Design Lerneffekte, bezogen auf das naturwissenschaftliche Fach- und Methodenwissen, durch den Einsatz von Lernunterstützungen in einer Experimentaleinheit untersucht. Unter der Berücksichtigung von kognitiven Lernermerkmalen hinsichtlich der räumlichen, visuellen und verbalen Verarbeitung sollen zunächst in einer Teilstudie I Nutzerprofile erstellt werden, aus denen die Zusammenhänge von den genutzten Repräsentationsformen in Lernunterstützungen (bspw. Text-Bild Kombinationen oder Video-Audio Formate) und den individuellen Lernermerkmalen hervorgehen. In Teilstudie II werden anhand dieser gewonnenen Zuordnungen die Lernunterstützungen spezifisch für den Lernenden im Erkenntnisprozess zur Verfügung gestellt und hinsichtlich möglicher Lerneffekte in einem zweifaktoriellen Design experimentell untersucht. Neben theoretischen Einblicken in die Verarbeitung von unterschiedlichen Repräsentationen eröffnen die projektgestützten Erkenntnisse neue Möglichkeiten zur Gestaltung und Individualisierung naturwissenschaftlicher Lehr- und Lernprozesse.

Abstract

Exploring biological phenomena necessitates a learning process in which learners draw upon their existing knowledge and need to process new information in order to connect it with new insights in a meaningful context. However, the complexity of inquiry learning often poses a severe challenge for learners because it overburdens their limited working memory capacity. The study focuses on reducing overburdening through the use of methodological scaffolds. Connecting to cognitive-psychological findings, learning effects, related to scientific knowledge and methods, are examined through the use of scaffolds in an experimental unit in two consecutive sub-studies employing a pre-post design. First, in Sub-study 1, user profiles are generated based on cognitive learning characteristics concerning spatial, visual and verbal processing. Afterwards they are used to develop associations between the representation formats used for the scaffolds and individual learning characteristics. Furthermore, Sub-study 2 makes the learning supports available to learners as part of their cognitive process. Potential learning effects are experimentally investigated in a two-factor design. In addition to an improved theoretical understanding of the processing of various representation formats, these project's insights open up new possibilities for the design and individualization of teaching and learning processes within science.

1 Einleitung

Aufgrund der Komplexität und notwendigen Anwendung von methodischen und fachlichen Wissens-elementen stellt die Untersuchung eines naturwissenschaftlichen Phänomens - über das Aufstellen einer Frage, die Generierung von Hypothesen und der Planung, Durchführung sowie Interpretation eines bspw. Experimentes - sowohl Lehrkräfte, Lehramtsstudierende als auch Schülerinnen und Schüler vor große Herausforderungen. Grundlegende Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung zur eigenständigen Planung und Durchführung naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden sollten bereits in der Sekundarstufe I entwickelt und gefördert werden (KMK, 2004). Oft hindert jedoch bereits die (ergebnis-)offene und selbstregulierte Arbeitsweise entlang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges die Lernenden an einer aktiven Wissenskonstruktion, die meist in eine Überforderung und somit zu einer Minimierung der Behaltensleistung führen kann (KIRSCHNER et al., 2006; HMELO-SILVER et al., 2007; SWELLER et al., 2007). Um dem entgegenzuwirken, wurden bereits verschiedene Ansätze an didaktischen Maßnahmen empirisch untersucht. Als eine Möglichkeit zeigen Lernunterstützungen in unterschiedlichen Formaten meist positive Effekte in Bezug auf die Förderung von naturwissenschaftlichem Fach- und Methodenwissen innerhalb des Erkenntnisprozesses (u.a. BRUCKERMANN et al., 2014; ARNOLD, 2015), besonders dann, wenn deren inhaltliche Ausgestaltung an bestehende Lernermerkmale, wie das Vorwissen, angepasst werden, um einen Lernprozess in Gang zu setzen, der möglichst spezifisch an das Individuum und seine

Vorraussetzungen anknüpft (SCHMIDT-WEIGNAD et al., 2008; KRAMMER, 2009; PFISTER, 2015). Durch die Einbindung kognitionspsychologischer Erkenntnisse können weitere Merkmale hinsichtlich der kognitiven Verarbeitung ermittelt und festgestellt werden, die bspw. auf eine individuelle Präferenz hinsichtlich der visuellen und verbalen Verarbeitung von Informationen schließen lassen (KOC-JANUCHTA et al., 2017; BLAJENKOVA et al., 2009).

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, diese (neuen) Erkenntnisse sowohl auf fachdidaktischer als auch kognitionspsychologischer Ebene in den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess zu integrieren, um mögliche individuelle Hindernisse während des naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses zu minimieren und somit den Denk- und Lernprozess der Schülerinnen und Schüler zu optimieren.

2 Theorie

2.1 Forschendes Lernen im Kontext naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung

Der naturwissenschaftliche (experimentelle) Erkenntnisweg beruht auf dem Konstrukt des *scientific inquiry* und stellt für den kompetenzorientierten Biologieunterricht ein zentrales Element dar. Das daran angelegte Lehr-Lernkonzept Forschendes Lernen zur Förderung wissenschaftsmethodischen Kompetenzen „durchläuft idealtypisch den gesamten Lern- und Forschungsprozess“ (HUBER, 2014), indem, ausgehend von einer Beobachtung eines naturwissenschaftlichen Phänomens, vom Lernenden Fragen formuliert und Hypothesen generiert werden, die in einem geplanten und durchgeführten Experiment hinsichtlich ihrer Falsifikation und Verifikation überprüft werden. Die erhaltenen Daten werden ausgewertet und interpretiert, um fachbiologisches Konzeptwissen zu generieren (HAMANN, 2004; MAYER & ZIEMEK, 2006). Neben dem schrittweisen Vorgehen induziert das Forschende Lernen vor allem einen selbstbestimmten und oftmals arbeitsteiligen Lernprozess (HUBER, 2014), dem nach Mayer und Ziemek (2006) vier Prinzipien unterliegen – Lernen in Kontexten, Problemorientiertes Lernen, eigenständiges und offenes Lernen, kooperatives Lernen. Diese Prinzipien und das Vorgehen in der Struktur des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges sind von einem Prozess der aktiven Wissenskonstruktion aus der Verknüpfung und Anwendung von sowohl fachlichem als auch methodischem (Vor-)Wissen (MAYER, 2007) abhängig. Obwohl dem Forschenden Lernen in seiner Anlage als komplexer, kognitiver Problemlöseprozess großes Potential zum Erlernen naturwissenschaftlicher Fach- und Methodeninhalte zugesprochen wird, ist die Wirksamkeit in der Forschung umstritten (KIRSCHNER et al., 2006; FURTAK et al., 2012). Einerseits

können innerhalb der einzelnen Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges die methodischen Anforderungen, wie bspw. das Aufstellen einer naturwissenschaftlichen Fragestellung oder die Umsetzung einer Variablenkontrollstrategie, zu schülerspezifischen Schwierigkeiten führen, die die Effektivität hinsichtlich der Kompetenzentwicklung im Bereich der Erkenntnisgewinnung einschränken können (GRUBE, 2011; MEIER, 2016). Andererseits kann aber bereits der konstruktivistische Ansatz des Forschenden Lernens die kognitive Belastung der Lernenden stark erhöhen, sodass diese in einer Überforderung des Arbeitsgedächtnisses mündet und somit die langfristige Behaltensleistung neu erworbener Wissens Elemente einschränkt (KIRSCHNER et al., 2006). Der Einsatz instruktionaler Lernunterstützungen, wie Lösungsbeispiele oder gestufte Lernhilfen, und die Anwendung kognitionspsychologischer Prinzipien können nachweislich die hohen Belastungen der Lernenden entlang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses minimieren.

2.2 Multimediale Lernunterstützungen in offenen Experimentierprozessen

Um den auftretenden Belastungen beim Forschenden Lernen entgegen zu wirken, werden unterschiedliche Formate an Lernunterstützungen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess eingesetzt und auf ihre Effektivität untersucht. Unter anderem konnte festgestellt werden, dass kurze, direkte Instruktionen (z.B. Prompts) die konstruktivistische Vorgehensweise des forschenden Problemlöseprozesses nicht behindern, sondern, je nach Ausgestaltung sowie Einsatz, die individuellen Belastungen minimieren können und somit systematisch in den Erkenntnisprozess integriert werden sollten (u.a. KIRSCHNER et al., 2006; SWELLER et al., 2007). Basierend auf diesen Befunden werden zur Lernoptimierung über die Reduktion des kognitiven Aufwands beim *inquiry learning* verschiedene Forschungsansätze auf methodischer Ebene verfolgt. In ihrer Relevanz hervorgehoben werden können die Konzeption und Implementierung von Unterstützungsangeboten, die Prozesse zur Enkodierung anregen und erleichtern sollen (u. a. WICHMANN & LEUTNER, 2009; ARNOLD et al., 2014). Dazu zählen unter anderem *scaffolds* (PUNTAMBEKAR & HUBSCHER, 2005), gestufte Lernhilfen (ARNOLD et al., 2016) oder auch *prompts* und unterschiedliche Formen von *feedback* (u.a. SHUTE, 2008), die im Vergleich zu *worked examples* meist auf die Voraussetzungen oder das direkte Handeln der Schülerinnen und Schüler ausgerichtet sind (MONTAGUE, 2011; PFISTER, 2016). Das empirische Bild zur Effektivität von (kognitiven) Lernunterstützungen kann als vielgestaltig beschrieben werden (SCHMIDT-WEIGNAD et al., 2008; SWELLER, 2007). Bei adäquater Nutzung unterschiedlichster Formate in forschend angelegten Lernumgebungen ist ein Lernerfolg sowohl auf fachlicher als auch methodischer Ebene belegbar (u.a. CLAREBOUT & ELEN, 2009; ERICHSEN &

MAYER, 2015), wobei mehrfach darauf hingewiesen wird, dass vor allem die Gestaltung und das inhaltliche Niveau auf den Lernenden ausgerichtet sein sollte (MAYER & MORENO, 2003; SCHNOTZ & RASCH, 2005). So können bspw. sehr detaillierte *worked examples* den Lerngewinn bei Schülerinnen und Schülern mit einem hohen Vorwissen minimieren, da ihre eigene individuelle Wissenskonstruktion durch die inhaltlichen Vorgaben behindert wird, wohingegen Lernende mit einer geringen Ausprägung an Vorwissen besonders von diesen Unterstützungsangeboten profitieren können (*expertise reversal effect*: KALYUGA et al., 2001). Damit die instruktionalen Lernunterstützungen nicht zu einer höheren Belastung innerhalb des Lernprozesses führen, sondern die Implementierung neuer Wissensfragmente begünstigen, sollte in der Gestaltung und Entwicklung von Lernmaterialien auf kognitionspsychologische Theorien und Prinzipien zur menschlichen Gedächtnis- und Arbeitsspeicherleistung zurückgegriffen werden.

2.3 Kognitionspsychologische Grundlagen zum Lernen

Die Cognitive Load Theory (CLT) (SWELLER, 2005) und die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) (MAYER, 2014) fokussieren die multimediale Informationsverarbeitung sowie die Optimierung von kognitiven Gedächtnisleistungen durch die Identifikation und Minimierung von Belastungen oder der effektiven Ausschöpfung hirnspezifischer Modalitäten. Aus beiden Modellen lassen sich kognitionspsychologische Prinzipien ableiten, die nachweislich zu einer Belastungsminimierung im Bearbeiten von instruktionalen Lernmaterialien führen.

Der CLT liegt die Annahme zugrunde, dass Individuen lernen, indem sie neue Informationseinheiten mit transferiertem Wissen aus dem Langzeitgedächtnis im Arbeitsgedächtnis kombinieren, um so neue Schemata zur langfristigen Speicherung zu konstruieren oder alte zu erweitern oder umzustrukturieren (SWELLER & CHANDLER, 1991). Das Arbeitsgedächtnis ist jedoch in seinen Verarbeitungskapazitäten begrenzt und kann durch eine Überbelastung durch zu viele Informationseinheiten in seiner Arbeitsleistung gestört werden. Nach der CLT können drei unterschiedliche Quellen kognitiver Belastung identifiziert werden – der *Intrinsic Cognitive Load*, der sich aus der Aufgabenschwierigkeit und -komplexität zusammensetzt, der *Extraneous Cognitive Load*, welcher von der Gestaltung der Lernmaterialien abhängig ist und der *Germane Cognitive Load*, der die kognitive Belastung für den reinen Wissenserwerb, d.h. die freien kognitiven Ressourcen des Individuums, angibt (SWELLER, 2005). Da die drei kognitiven Belastungsquellen additiv angenommen werden, sollten die Belastungen, welche vom Lernmaterial ausgehen (*Intrinsic Cognitive Load* und *Extraneous Cognitive Load*) möglichst durch die Beachtung unterschiedlicher Prinzipien (bspw. *Split Attention Effect*: SWELLER, 1999) minimiert werden, um

so dem Lerner zu ermöglichen, seinen Fokus auf die zentralen Lerninhalte zu legen.

Das instruktionspsychologische Modell CTML nach Mayer (2014) eröffnet neben der CLT einen weiteren Einblick in mögliche Diskrepanzen zwischen dem angestrebten und dem tatsächlichen Lernerfolg im Umgang mit instruktionalen Lernmaterialien. Nach den Kernaspekten dieses Modells werden stets Repräsentationen je nach Codierung dual im Gedächtnis selektiert, organisiert und später in das Langzeitgedächtnis integriert. Basierend auf den lerntheoretischen Annahmen nach Sweller & Chandler (1991) erklärt Mayer (1999) den Wissenserwerb so, dass die Konstruktion eines kohärenten mentalen Modells des Lerngegenstandes nötig sei, um langfristig Wissen zu inkludieren. Durch die getrennte, duale Codierung sowohl im sensorischen als auch im Arbeitsgedächtnis können multimediale Instruktionen (bspw. Bild-Audio Kombinationen) demnach lerneffektiver verarbeitet werden als monomediale (MAYER, 2001; MORENO, 2005). Über mehrere Studien wurden zum einen diese Verarbeitungsprozesse gezeigt, zum anderen aber auch Gelingensbedingungen und gestalterische Konsequenzen für multimediale Lernmaterialien definiert (bspw. *Multimedia Prinzip, Kohärenzprinzip*: MAYER, 2001).

Basierend auf der CLT und CTML konnte festgestellt werden, dass individuelle Priorisierungen hinsichtlich der kognitiven Verarbeitung existent sind. Ob ein Lerner aus bunten und lebhaften Illustrationen (Objektvisualisierer), abstrakten Schemata (räumlicher Visualisierer) oder rein textlichen Inhalten, sowohl verbal als auch visuell (Verbalisierer), mehr Informationen verarbeiten und langfristig integrieren kann, ist unter anderem von der Ausprägung seiner unterschiedlichen Verarbeitungskanäle abhängig (KOC-JANUCHTA et al., 2017). Diese individuellen Tendenzen können zum jeweiligen Fachkontext variieren (BLAJENKOVA et al., 2009) und sind auch von der Ausprägung der räumlichen Fähigkeiten abhängig. Eine Metaanalyse von 27 Experimenten zeigt, dass die visuelle Verarbeitung mit der räumlichen Fähigkeit korreliert ($r = .34$, CIs 95 [0.28;0.39]). So profitieren Lernende mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen sowohl von statischen als auch dynamischen Bildern, da sie gut strukturierte, visuelle Bilder kognitiv erzeugen und verarbeiten können (HÖFFLER, 2010). Lernende mit einer geringen Ausprägung verarbeiten hingegen dynamische Illustrationen besser, haben aber im Vergleich meist einen geringeren Lernzuwachs (HÖFFLER & LEUTNER, 2011).

Die instruktionale Anpassung an die kognitiven Verarbeitungsstrategien wurden jedoch bei Schülerinnen und Schülern innerhalb komplexer Lernumgebungen bislang wenig untersucht. Die Wirkung von adaptierten Lernunterstützungen hinsichtlich der visuellen, verbalen und räumlichen Verarbeitung soll im

vorliegenden Projekt mittels unterschiedlicher Repräsentationsformen, basierend auf den Prinzipien der CLT und CTML, realisiert werden.

3 Zielsetzung und Fragestellungen

Ziel der vorliegenden Studie ist es, durch eine Analyse individueller Informationsverarbeitungsmuster die experimentellen Lernprozesse, welche eine hohe kognitive Belastung seitens der Schülerinnen und Schüler darstellen, mittels einer adaptierten Gestaltung und Ausführung zu optimieren. Unter Hinzunahme des methodischen Konzeptes der *Aptitude Treatment Interaction* (CHRONBACH & SNOW, 1983; SNOW, 1991) - eine methodische Maßnahme, welche die optimale Anpassung der Instruktionsform (*treatment*) an die Fähigkeiten der Lernenden (*aptitude*) für eine effektive Instruktionsstrategie fordert - ist anzunehmen, dass die Berücksichtigung der individuellen Tendenzen bezüglich der visuellen, räumlichen und verbalen Verarbeitung eine Minimierung der Belastung und eine Steigerung des Lerngewinnes nach sich ziehen könnte. In zwei Teilstudien liegt daher der Fokus auf der Untersuchung der Zusammenhänge und der Effektivität von Lernunterstützungen in biologischen, experimentellen Lernsettings, die durch unterschiedliche Repräsentationsformen individuell auf die kognitiven Fähigkeiten hinsichtlich der visuellen, räumlichen und verbalen Verarbeitung von Lernenden angepasst werden. Entsprechend dazu wird folgenden Forschungsfragen deskriptiv (F1 & F2) und experimentell (F3) nachgegangen:

- (1) Welche Repräsentationsformen in Lernunterstützungen bevorzugen bestimmte Lerner im Bereich Methodenwissen beim Experimentieren?
- (2) Inwieweit korrespondieren die individuell ausgewählten Lernunterstützungen (*treatments*) mit den Lernermerkmalen (*aptitudes*)?
- (3) Welchen Einfluss haben individuelle, lerneradaptierte Lernunterstützungen auf den Kompetenzerwerb im Methodenwissen beim Experimentieren?

4 Design & Methodik

4.1 Studienablauf und Stichprobe

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wird eine Studie durchgeführt, die sich aus zwei aufeinander aufbauenden Teilstudien zusammensetzt. Die Teilstudie I soll mögliche Zusammenhänge zwischen den genutzten Repräsentationsformen in Lernunterstützungen in Bezug auf die individuellen, kognitiven Lernermerkmale zur visuellen, räumlichen und verbalen Verarbeitung untersuchen. Ausgehend von dieser Studie soll ein Nutzerprofil, bestehend aus

den erfassbaren Lernermerkmalen und den genutzten Repräsentationsformen, erstellt werden. Dieses stellt die Grundlage für die experimentelle Teilstudie II dar. Ziel der Teilstudie II, in der die Lernenden individuell abgestimmte Lernunterstützungen im Experimentierprozess erhalten, ist es, durch die Zuweisung mögliche Effekte zum Lernen von fachlichem und methodischem Wissen im Kontext der Erkenntnisgewinnung zu untersuchen.

Beide Teilstudien werden mit Schülerinnen und Schülern der 8., 9. und 10. Jahrgangsstufe von allgemeinbildenden sowie der 11. Klasse (e-Phase) von Oberstufen-Schulen durchgeführt. Auf der Basis einer Poweranalyse (ERDFELDER et al., 2004) wird für die experimentelle Teilstudie II eine Stichprobe von $N = 368$ a priori angesetzt (Vergleich von vier Gruppen zu zwei Messzeitpunkten, α -Fehler = .05, Power = .80, Effektstärke $f = .15$). Um die Lernunterstützungen hinsichtlich ihrer Ausgestaltung zu optimieren, die Testinstrumente, die aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen stammen, auf die fokussierten Jahrgangsstufen abzustimmen und mögliche Fehler in der technischen Umsetzung zu minimieren, wird vor Studienbeginn eine Pilotierungsstudie mit fünf Klassen der 8. und 9. Jahrgangsstufe durchgeführt.

4.2 Forschungsdesign und -methoden

Die Teilstudien sind in zwei unterschiedliche Phasen gegliedert und im Pre-Post Design mit drei Messzeitpunkten angelegt (siehe Abbildung 1).

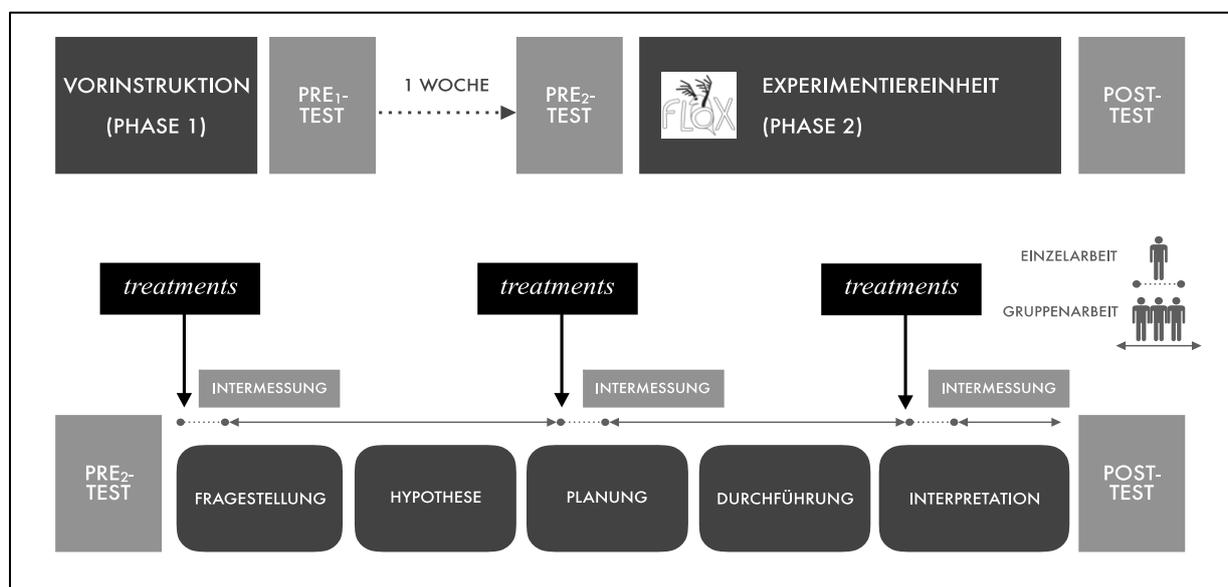


Abbildung 1: Design der Teilstudie I und II.

Es handelt sich gleichermaßen um Interventionsstudien, die im Feld, d.h. im Rahmen einer curricular eingebundenen Lehr-Lerneinheit in der Experimentier-Werkstatt Biologie (FLOX), ein Lehr-Lernlabor an der Universität Kassel, möglichst praxis- und schulnah durchgeführt werden. In der methodischen Anlage der Studie werden zur Datenerhebung und -auswertung quantitative Verfahren mit deskriptiver und explorativer Ausrichtung eingesetzt.

Vorinstruktion (Phase 1)

In der ersten Phase, eine Woche vor der Implementation der Experimentiereinheit, werden die individuellen Lernermerkmale der einzelnen Schülerinnen und Schüler, wie kognitive Fähigkeiten zur verbalen und visuellen Verarbeitung (in Anlehnung an *children`s object-spatial imagery and verbal questionnaire*: BLAJENKOVA et al., 2009; *verbalizer-visualizer questionnaire* u.a. KOC-JANUCHTA, 2016; *individual differences questionnaire*: PAIVIO & HARSHMAN, 1983; KOC-JANUCHTA, 2016; *Kognitiver Fähigkeitstest, jahrgangorientiert*: HELLER, et al., 2000) mittels unterschiedlichen Fragebögen (PRE₁) erhoben. Zudem erfolgt über die Dauer einer Schulstunde eine technische Einführung (Vorinstruktion) zum Umgang mit dem digitalen Lernmedium DiVoX (MEIER & KASTAUN, 2017), um mögliche technische Schwierigkeiten im Umgang mit der App während des Experimentierprozesses zu minimieren. Durch den Einsatz von DiVoX ist es möglich, den Lernenden (neue) Kombinationen an Text-, statischen und dynamischen Bild- und Audiokombinationen zur Verfügung zu stellen. DiVoX – Diagnostizieren im offen Experimentieren, ist eine App für das Tablet, die die Lernenden entlang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses mittels unterschiedlicher Instruktionsformen (*components*), wie bspw. Arbeitsaufträge, leitet. Die einzelnen Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges können individuell mittels der *components*, bspw. Text-, Foto- oder Videobausteine, für das jeweilige Experiment bzw. für den jeweiligen Nutzer der App ausgestaltet werden. Innerhalb der einzelnen Phasen können die Lernunterstützungen (*treatments*), (1) Bild und Text, (2) Text im Bild, (3) Bild und Audio, (4) Audio im Bild, (5) Animation und Text, (6) Video und Audio direkt in den Arbeitsprozess der Schülerinnen und Schüler integriert werden. Diese werden dem Lerner bei der Benutzung separat auf einer Oberfläche präsentiert (siehe Abschnitt 4.3).

Experimentiereinheit (Phase 2) – Intervention mit Lernunterstützungen

In der zweiten Phase erfolgt, nach der Erfassung des methodischen (in Anlehnung an u.a. ARNOLD, 2015; MAYER et al., 2008) und fachlichen Wissens in Bezug auf das jeweilige Experiment (PRE₂) als abhängige Variable, die eigentliche Intervention, eingebettet in eine Experimentiereinheit der Experimentier-Werkstatt Biologie (FLOX). Im Rahmen der angesetzten Stichprobe werden zwei biologische Phänomene zufällig auf die Schulklassen aufgeteilt und von den Lernenden experimentell-forschend untersucht, um mögliche Effekte, bezogen auf die fachliche Schwerpunktsetzung, in der Wirkung der Lernunterstützungen mit einzubeziehen (siehe Abschnitt 2.3). Nach den Prinzipien des Forschenden Lernens untersuchen die Schülerinnen und

Schüler in Arbeitsgruppen, bestehend aus je drei Gruppenmitgliedern, selbstständig entweder die lichtabhängige Bewegungsreaktion von Wasserflöhen (MEIER & WULFF, 2012) oder den Einfluss der Temperatur auf die Aktivität der Hefe (MEIER et al., 2017). Innerhalb des jeweiligen Experimentierprozesses werden den Schülerinnen und Schülern die Lernunterstützungen zum methodischen Wissen zu drei Zeitpunkten (Fragestellung, Planung - Variablenkontrollstrategie, Interpretations - Fehleranalyse) in Einzelarbeit zur Verfügung gestellt.

In Teilstudie I können die Lernenden zwei von sechs unterschiedlichen Lernunterstützungen (*treatments*) optional wählen, wohingegen in Teilstudie II nur ein *treatment* in jeder Phase obligatorisch oder optional von den jeweiligen Testgruppen genutzt werden muss / kann (siehe Tabelle 1). Die Lernunterstützungen werden dabei hinsichtlich ihrer Repräsentationsform, wie z. B. Bild und Text oder Video und Audio, als unabhängige Variable im Lernprozess *between - subject* über die Schülergruppen innerhalb der jeweiligen Schulklassen manipuliert. Die Schülerinnen und Schüler werden randomisiert den jeweiligen Treatmentgruppen zugeordnet, um personenbezogene Störvariablen auszuschließen (DÖRING & BORTZ, 2015).

Tabelle 1: Treatmentgruppen (TG) in Teilstudie II.

Methodische Lernunterstützungen <i>zur wissenschaftlichen Fragestellung, Variablenkontrollstrategie, Fehleranalyse</i>	Anpassung an die individuelle visuelle, räumliche und verbale Verarbeitung	ohne Anpassung an die individuelle visuelle, räumliche und verbale Verarbeitung
obligatorische Nutzung	TG 1	TG 3
optionale Nutzung	TG 2	TG 4 (KG)

Nach jeder (Teil-)Intervention mit den Lernunterstützungen erfolgt eine kurze Intermessung, in der die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden, eine Selbsteinschätzung zur Nutzung der Lernunterstützungen abzugeben. (Itembeispiel: „*Begründe deine Auswahl. Warum hast du dich für diese Lernunterstützung entschieden?*“) Darüber hinaus wird mittels einer Kurzsкала der *Cognitive Load* in den Ausprägungen des *Intrinsic Cognitive Load*, *Extraneous Cognitive Load*, und *Germane Cognitive Load* ermittelt (u.a. KÜNSTIG, 2007), um die kognitive Belastung direkt nach der Intervention zu messen und die Lernunterstützungen hinsichtlich ihrer Ausgestaltung zu evaluieren. Um den Einfluss der unterschiedlichen Nutzung von kognitiven Lernunterstützungen über die Experimentiereinheiten im Methoden- und Fachwissen der Lernenden zu erfassen, wird im direkten Anschluss an die Experimentiereinheit der POST-Test, der dem PRE₂-Test entspricht, durchgeführt. Um mögliche Positions- und Übungseffekte, die durch das kurze

zeitliche Intervall zwischen beiden Testzeitpunkten entstehen können, zu minimieren, werden im POST-Test die Items randomisiert, neue hinzugefügt und falsche Antwortmöglichkeiten umformuliert (SEDLMEIER & RENKEWITZ, 2013).

4.3 Konzept zur Gestaltung der Lernunterstützungen

Die Lernunterstützungen basieren auf den Theorien und Prinzipien der CLT und CTML (siehe Abschnitt 2.3). Generell können sie jeweils hinsichtlich ihrer Verarbeitung unterschieden werden - drei Lernunterstützungen beanspruchen einen Sinneskanal, wohingegen die anderen drei dual codiert werden (siehe Tabelle 2). Durch die grundlegende Beachtung des *Multimedia Prinzips* (MAYER, 2001), welches besagt, dass die Kombination von textlichen und bildlichen Präsentationen den Lernerfolg erhöhen kann, sind alle Lernunterstützungen aus sprachlichen / textlichen und statisch / dynamisch bildlichen Informationseinheiten kombiniert.

Tabelle 2: Gestaltung der Lernunterstützungen.

Nutzung eines Sinneskanals zur Verarbeitung	Nutzung von zwei Sinneskanälen zur Verarbeitung
(1) Bild und Text	(2) Bild und Audio
(3) Text im Bild	(4) Audio im Bild
(5) Animation und Text	(6) Video und Audio

(1) Bild und Text

Nach dem du deine gesammelten Daten ausgewertet hast, sollst du deine Ergebnisse interpretieren. Doch zunächst ist es wichtig, dass du eine Fehleranalyse durchführst. Dazu denkst du zurück an deine aufgestellte Hypothese und die Planung deines Experimentes und vergleichst dies mit deinen gemessenen Daten. Die Ergebnisse stützen deine Hypothese oder weichen ein wenig von ihr ab? Dann überprüfe nochmal wie aussagekräftig deine Ergebnisse sind. Unterschiedliche kleine Fehler können sich in die Durchführung eingeschlichen haben oder du hast bei der Planung etwas nicht mitbedacht. Vielleicht ist dir ein systematischer Fehler unterlaufen, d.h. du hast wiederholt immer den gleichen Ablauf nicht genau genug ausgeführt. Es kann aber auch sein, dass dir bei deinen vielen Messwiederholungen ein zufälliger Fehler passiert ist, d.h. du hast vielleicht nicht richtig abgelesen oder dir ist etwas unerwartetes passiert. Oder aus der Hektik heraus ist dir ein Flüchtigkeitsfehler unterlaufen, d.h. du hast einmal etwas nicht exakt wie geplant durchgeführt. Überlege nun, welche Fehler einen Einfluss auf dein Experiment bzw. deine Ergebnisse gehabt haben können und beurteile dein experimentelles Vorgehen. Interpretiere dann im Anschluss die Ergebnisse mit deinem Fachwissen.

(5) Animation und Text

Überlege nun, welche Fehler einen Einfluss auf dein Experiment bzw. deine Ergebnisse gehabt haben können.

(6) Video und Audio

Abbildung 2: Exemplarische Darstellung der Lernunterstützungen in der Phase der Fehleranalyse

Innerhalb der Lernunterstützungen wird eine mittlere Redundanz zwischen den einzelnen Repräsentationsformen eingehalten, um die mentale Konstruktion und Zusammenführung beider Wissensinhalte zu erleichtern (KÜRSCHNER &

SCHNOTZ, 2007). In der grafischen Ausgestaltung werden in der komplexesten Darstellung reale, bewegte Objekte mit Animationen kombiniert, wohingegen beim Bild die Einzelszenen in einem zusammenhängenden Konstrukt dargestellt werden, wodurch eine Vergleichbarkeit in der inhaltlichen Ausgestaltung gewährleistet werden kann. Ebenso werden die Audiospuren als Texte erneut eingesetzt. Die Bearbeitungsdauer wird bei allen Lernunterstützungen möglichst konstant gehalten und durch technische Maßnahmen begrenzt, zum einen in der Bearbeitungsdauer, zum anderen aber auch in der Auswahlmöglichkeit.

4.4 Auswertungsverfahren

Die zu den jeweiligen Messzeitpunkten gesammelten quantitativen Daten (siehe Abschnitt 4.2) werden mittels klassischer Testtheorie und der Software R ausgewertet. Ein angenommener Lernerfolg hinsichtlich des fachlichen und methodischen Wissens über die Nutzung von angepassten Lernunterstützungen wird mittels Korrelations- und Varianzanalysen zwischen den Experimentalgruppen geprüft. Darüber hinaus erfolgt eine deskriptive Analyse der genutzten Lernunterstützungen u.a. auf Basis von logfile-Daten, welche mit *google analytics* generiert werden, um u.a. ausgewählte Lernermerkmale in Bezug auf die präferierte Repräsentationsform zu erfassen und Nutzungsmuster zu beschreiben.

5 Ausblick

Im Anschluss an die Pilotierung (Ende 2018) und Durchführung der Teilstudien (Frühjahr 2019) soll mithilfe der neu gewonnenen Erkenntnisse eine zweite experimentelle Studie anknüpfen. Dabei werden die Lernunterstützungen sowohl an die Lernermerkmale hinsichtlich der visuellen und verbalen Verarbeitung individuell angepasst als auch hinsichtlich des schülerspezifischen Vorwissens variiert, um auch diesbezüglich mögliche Effekte, bezogen auf das Fach- und Methodenwissen, zu untersuchen. Zur Erweiterung der Repräsentationsformate sollen nach einer Pilotierung und Aktualisierung der Nutzerprofile Simulationen als eine sehr abstrakte Form zur Wissensgenerierung mit in das Forschungsvorhaben eingebettet werden. Durch die gewonnenen Daten kann das Projekt zur Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts beitragen, indem Lernmaterialien zukünftig noch individueller auf die Bedürfnisse der Lerner gestalterisch abgestimmt werden.

Zitierte Literatur

- ARNOLD, J. (2015): *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen. Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe.* Logos, Berlin.
- ARNOLD, J., K. KREMER & J. MAYER (2014): Understanding students' experiments – what kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education.* 36, 2719-2749.

- ARNOLD, J., K. KREMER & J. MAYER (2016): Concept Cartoons als diskursiv-reflexive Szenarien zur Aktivierung des Methodenwissens beim Forschenden Lernen. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie*. 20(1), 33-43.
- ARNOLD, J., K. KREMER & J. MAYER (2017): Scaffolding beim Forschenden Lernen - Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 23, 21-37.
- BLAJENKOVA, O. & M. KOZHEVNIKOV (2009): The new object-spatial-verbal cognitive style model: theory and measurement. *Applied Cognitive Psychology*. 23, 638-663.
- BRUCKERMANN, T., E. ASCHERMANN, A. BRESGES & K. SCHLÜTER (2014): Experimentierkompetenz fördern- mit Handlungsregulation und Tablets. In SCHUHEN, M. & FROITZHEIM, M. (Hrsg.) *Das Elektronische Schulbuch. Fachdidaktische Anforderungen und Ideen treffen auf Lösungsvorschläge der Informatik*. Münster: LIT Verlag, 43-51.
- CLAREBOUT, G. & J. ELEN, (2009): Benefits of inserting support devices in electronic learning environments. *Computers in Human Behavior*. 25(4), 804-810.
- CRONBACH, L. & R. SNOW (1981): *Aptitudes and instructional methods: a handbook for research on interactions*. Irvington Publishers, New York.
- DÖRING, N., S. PÖSCHL & J. BORTZ (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer, Berlin.
- ERDFELDER, E., A. BUCHNER, F. FAUL & M. BRANDT (2004): GPOWER: *Teststärkeanalysen leicht gemacht*. In ERDFELDER, E. & FUNKE, J. (Hrsg.) *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie*. Vandenhoeck & Ruprecht, 148-166.
- ERICHSEN, A. & J. MAYER, (2015): Feedbacktests beim Forschenden Lernen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 1-14.
- FURTAK, E., T. SEIDEL, H. IVERSON & D. BRIGGS (2012): Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*. 82(3), 300-329.
- GRUBE, C. (2011): *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung – Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Universität Kassel.
- HAMMANN, M. (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*. 57(4), 196–203.
- HELLER, K. A., & PERLETH, C. (2000): *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. - 12. Klassen*, Göttingen: Beltz.
- HMELO-SILVER, C.E., R.G. DUNCAN & C.A. CHINN (2007): Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark: *Educational Psychologist*. 42(2), 99-107.
- HÖFFLER, T. N. (2010): Spatial Ability: Its Influence on Learning with Visualizations - a Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*. 22(3), 245-269.
- HÖFFLER, T. N. & D. LEUTNER (2011): The role of spatial ability in learning from instructional animations - Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in Human Behavior*. 27(1), 209-216.
- HUBER, L. (2014): *Forschungsbasiertes, Forschungsorientiertes, Forschendes Lernen: Alles dasselbe? Ein Plädoyer für eine Verständigung über Begriffe und Unterscheidungen im Feld forschungsnahen Lehrens und Lernens*. *Das Hochschulwesen. Forum für Hochschulforschung, -praxis und Politik*. 62(1+2), 22-29.
- KALYUGA, S., P. CHANDLER, J. TUOVINEN & J. SWELLER (2001): When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*. 93(3), 579-588.
- KIRSCHNER, P.A., J. SWELLER & R.E. CLARK (2006): Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*. 41(2), 75-86.
- KMK / SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. (2005): *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz - Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. Beschluss vom 16.12.2004. Luchterhand, München, Neuwied.
- KOĆ-JANUCHTA M., T.N. HÖFFLER, G.B. THOMA, H. PRECHTL & D. LEUTNER (2017): Visualizers versus verbalizers: Effects of cognitive style on learning with texts and pictures - An eye-tracking study. *Computers in Human Behavior*. 68, 170-179.
- KRAMMER, K. (2009): *Individuelle Lernunterstützungen in Schülerarbeitsphasen. Eine videobasierte Analyse des Unterstützungsverhaltens von Lehrpersonen im Mathematikunterricht*. Waxmann, Münster.
- KÜNSTING, J. (2007): *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren (Dissertation, unveröffentlicht)*: Universität Duisburg-Essen, Duisburg/Essen.

- KÜRSCHNER, C. & W. SCHNOTZ, (2007): Konstruktion mentaler Repräsentationen bei der Verarbeitung von Text und Bildern. *Unterrichtswissenschaft*. 35(1), 48-67.
- MAYER, J. (2007): *Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen*. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hrsg.) *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, 177-184.
- MAYER, J. & H.-P. ZIEMEK (2006): Offenes Experimentieren - Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*. 30(317), 4-12.
- MAYER, J., C. GRUBE & A. MÖLLER (2008): *Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung*. In U. HARMS & A. SANDMANN (Hrsg.) *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*. Studienverlag, 63-79.
- MAYER, R. E. & R. MORENO (2003): Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*. 38(1), 43-52.
- MAYER, R.E. (1999): *The promise of educational psychology*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- MAYER, R.E. (2001): *Multimedia learning*. University Press: Cambridge.
- MAYER, R.E. (2014): *The Cambridge handbook of multimedia learning*. University Press: Cambridge.
- MEIER, M. (2016): *Entwicklung und Prüfung eines Instrumentes zur Diagnose der Experimentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern*. Logos, Berlin.
- MEIER, M. & C. WULFF (2012): Auge in Auge mit dem Wasserfloh. Neugier wecken – Selbstständigkeit stärken – Experimentieren lernen. *Biologie in unserer Zeit*. 42(1), 49-55.
- MEIER, M. & KASTAUN, M. (2017): *Digital-gestützte Lernumgebungen zum Experimentieren anhand einer »Experimentier-App«*. In J. MEBINGER-KOPPELT, S. SCHANZE & J. GROß (Hrsg.) *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Joachim Herz Stiftung Verlag, 132-146.
- MEIER, M., M. HOCH & F. PAPSCH, (2017): Hefe in den Blick genommen – Experimentierwege individuell beschreiten. *Unterrichtsreihe für das Sammelwerk RAABits Biologie Realschule*. RAABE Verlag, Heidelberg.
- MONTAGUE, M. (2011): *Effective Instruction in Mathematics for Students with Learning Difficulties*. In C. WYATT-SMITH, J. ELKINS & S. GUNN (Hrsg.) *Multiple Perspectives on Difficulties in Learning Literacy and Numeracy*. Springer, 295-313.
- MORENO, R. (2005): *Instructional technology: Promise and pitfalls*. In L. PYTLIK-ZILLIG, M. BODVARSSON & R. BRUNING (Hrsg.) *Technology-based education: Bringing researchers and practitioners together*. Information Age Publishing, 1-19.
- PFISTER, M. (2015): *Adaptive Lernunterstützungen im integrativen Mathematikunterricht: eine Videostudie*. University of Zurich, Zürich.
- PRECKEL, F. (2013): Assessing need for cognition in early adolescence: Validation of a German Adaption of the Cacioppo/Petty scale. *European Journal Of Psychological Assessment*. 30, 65-72.
- PUNTAMBEKAR, S. & R. HUBSCHER (2005): Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*. 40(2), 1-12.
- SCHMIDT-WEIGAND, F., G. FRANKE-BRAUN & M. HÄNZE (2008): Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? Eine Studie zur kooperativen Bearbeitung von Aufgaben in den Naturwissenschaften. *Unterrichtswissenschaft*. 36(4), 365-384.
- SCHNOTZ, W. & T. RASCH (2005): Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: Why reduction of cognitive load can have negative results on learning. *Educational Technology Research and Development*. 53(3), 47-58.
- SEDLMEIER, P. & F. RENKEWITZ, (2013): *Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson, München.
- SHUTE, V.J. (2008): Focus on formative Feedback. *Review of Educational Research*. 78(1), 153-189.
- SNOW, R. E. (1991): Aptitude-treatment interaction as a framework for research on individual differences in psychotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*. 59(2), 205-216.
- SWELLER, J. (1999): *Instructional design in technical areas*. ACER Press, Camberwell.
- SWELLER, J. (2005): *Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning*. In R.E. MAYER (Hrsg.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press, 19-30.
- SWELLER, J. & CHANDLER, P. (1991): Evidence for cognitive load theory. *Cognition and Instruction*. 8(4), 351-362.
- SWELLER, J., P.A. KIRSCHNER & R.E. CLARK (2007): Why minimally guided teaching techniques do not work: a reply to commentaries. *Educational Psychologist*. 42(2), 115-121.
- Wichmann, A. & D. Leutner (2009): Inquiry Learning: Multilevel Support with Respect to Inquiry, Explanations and Regulation During an Inquiry Cycle. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*. 23(2), 117-127.