

Lernen mit der "denkwerkstatt-physik"

Evelin Schröter*, Roger Erb⁺

*Pädagogische Hochschule, Abteilung Physik, Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd
⁺Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Straße 1, 60438 Frankfurt
Evelin.schroeter@ph-gmuend.de, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Dauer und Intensität der Auseinandersetzung mit einem Lerninhalt werden in nicht routinemäßig ablaufenden Situationen unter anderem stark vom Grad der Ausprägung der bereichsspezifischen Kompetenzerwartung beeinflusst. Schülerinnen und Schüler zeigen in Bezug zum Fach Physik häufig eine nur gering ausgeprägte Kompetenzerwartung, wie Befragungen im Rahmen internationaler Studien belegen. Um Physiklernen zu unterstützen ist deshalb bedeutsam, das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, Physikaufgaben lösen zu können, zu stärken. Heterogene Lernvoraussetzungen berücksichtigend ist es naheliegend, für den Physikunterricht Gelegenheiten zum individualisierten Lernen zu schaffen, die sich unkompliziert in den Unterricht integrieren lassen oder diesen ergänzen. Die webbasierte Lernumgebung "denkwerkstatt-physik" wurde unter Berücksichtigung lernpsychologischer und fachdidaktischer Gesichtspunkte an der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd mit dem Ziel konzipiert, die Entwicklung einer optimistischen fachspezifischen Kompetenzerwartung durch selbständiges Lösen physikalischer Aufgaben zu fördern, und wird unter Beteiligung von Lehramtsstudierenden der Goethe-Universität Frankfurt und der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd fortlaufend durch neue Aufgaben erweitert. Den Lernenden werden Anregungen für unterschiedliche Lernwege in Form von Tipps angeboten, die individuell ausgewählt und kombiniert werden können. Der Beitrag stellt das Konzept der Lernumgebung und ihre Einsatzmöglichkeiten vor. Eine Studie zur Wirksamkeit der Lernumgebung weist einen Einfluss auf die Entwicklung physikspezifischer Kompetenzerwartung der Lernenden nach.

1. Zum theoretischen Hintergrund des Projektes

Albert Bandura stellte im Rahmen der von ihm begründeten sozial-kognitiven Lerntheorie fest, dass Motivation, Gefühle und Handlungen von Menschen in stärkerem Maße daraus resultieren, woran sie glauben oder wovon sie überzeugt sind, und weniger daraus, was objektiv der Fall ist (vgl. [1], S.2). Wie Befragungen im Rahmen internationaler Studien belegen, berichten Schülerinnen und Schüler in Bezug zum Fach Physik aber häufig eine nur gering ausgeprägte Überzeugung, über ausreichende Kompetenzen zu verfügen, um physikalische Aufgabenstellungen lösen zu können [2]. So erwarten Schülerinnen und Schüler häufig auch nicht, in Physik erfolgreich sein zu können. Daraus erwuchs die Idee, eine Lernumgebung zu entwickeln, die neben dem Fachwissen der Lernenden auch deren physikspezifische Kompetenzerwartung stärkt.

Die Basis unserer weiteren Überlegungen bildete ein Rahmenmodell zur Lernmotivation nach Rheinberg und Fries (vgl. [3], S. 170), das in Abbildung 1 veranschaulicht wird. Zu Beginn eines Lernprozesses treffen die Merkmale der Lernsituation (u.a. objektive Aufgabenmerkmale und -anforderungen sowie soziale Merkmale der Lernumgebung) auf die individuellen Merkmale der Person (wie z.B. deren Kompetenzen sowie Lern- und Leistungsmotive). Die zur Lernsituation passenden Motive der Person müssen durch die Lernumgebung angeregt werden,

um eine Lernaktivität der Person hervorzurufen. Qualität und Quantität der Lernaktivitäten werden von der Qualität und Stärke der Lernmotivation beeinflusst. Fortwährend werden die individuellen Erwartungen mit dem aktuellen Lernergebnis verglichen. Der Prozess mündet in einer Selbsteinschätzung zum Lernresultat. Die Person prüft unter anderem, ob und in welchem Maß der Lernprozess zu einem individuellen Kompetenz- und Wissenszuwachs geführt hat. Dadurch werden (langfristig) die individuellen Personmerkmale (z.B. Motive) verändert, die dann wiederum als Bedingungsfaktoren den neuen Lernprozesses beeinflussen.

Den Motiven der Person kommt besondere Bedeutung im Lernprozess zu. Insbesondere ist die subjektive Wahrnehmung der individuellen Fähigkeiten im Vergleich zu den Anforderungen der bevorstehenden Aufgabe wesentlich, das heißt, was die Person sich in der aktuellen Situation zutraut. Der Grad der subjektiven Gewissheit, individuell neue oder schwierige Anforderungen auf Grund eigener Kompetenz erfolgreich bewältigen zu können, wird mit dem Begriff der Kompetenzerwartung beschrieben (vgl. [4]), der in der Literatur synonym zu dem von Bandura verwendeten Begriff "perceived self-efficacy" (ins Deutsche übersetzt als Selbstwirksamkeitserwartung) zu finden ist. Wesentlich ist dabei, dass die Aufgabe nicht routinemäßig zu lösen ist, sondern im Rahmen der erforderlichen Handlungs-

prozesse Anstrengung und Ausdauer von der Person aufgebracht werden müssen. Kompetenzerwartungen werden für unterschiedliche Bereiche und Situationen spezifisch abgebildet. Neben dem Allgemeingrad (generality) werden die Schwierigkeit der Anforderung (magnitude) und der Grad der Gewissheit der Person zur Beschreibung herangezogen. Die eigene Aktivität beeinflusst als direkte Erfahrung am stärksten die Ausprägung von Kompetenzerwartung. (vgl. [1]; [4])

Die Merkmale der Lernumgebung beeinflussen, wie im Rahmenmodell zur Lernmotivation verdeutlicht, ebenfalls die Handlung der Person im Lernprozess.

Sie wird als motivierend wahrgenommen, wenn sie das Bedürfnis nach dem Erleben der eigenen Kompetenz, das Bedürfnis nach selbstbestimmten Handeln und das Bedürfnis, sozial eingebunden zu sein, befriedigt (Selbstbestimmungstheorie der Motivation, vgl. [5] und [6]). Somit regt eine Lernsituation zu eigenständiger Aktivität an, wenn

- die Aufgabe individuell herausfordernd ist, aber gleichzeitig auch machbar erscheint,
- individuell verschiedene Lösungswege möglich sind und selbständig gewählt werden dürfen,
- (Teil-)Erfolge in relativ kurzen Zeitabschnitten erzielt werden können.

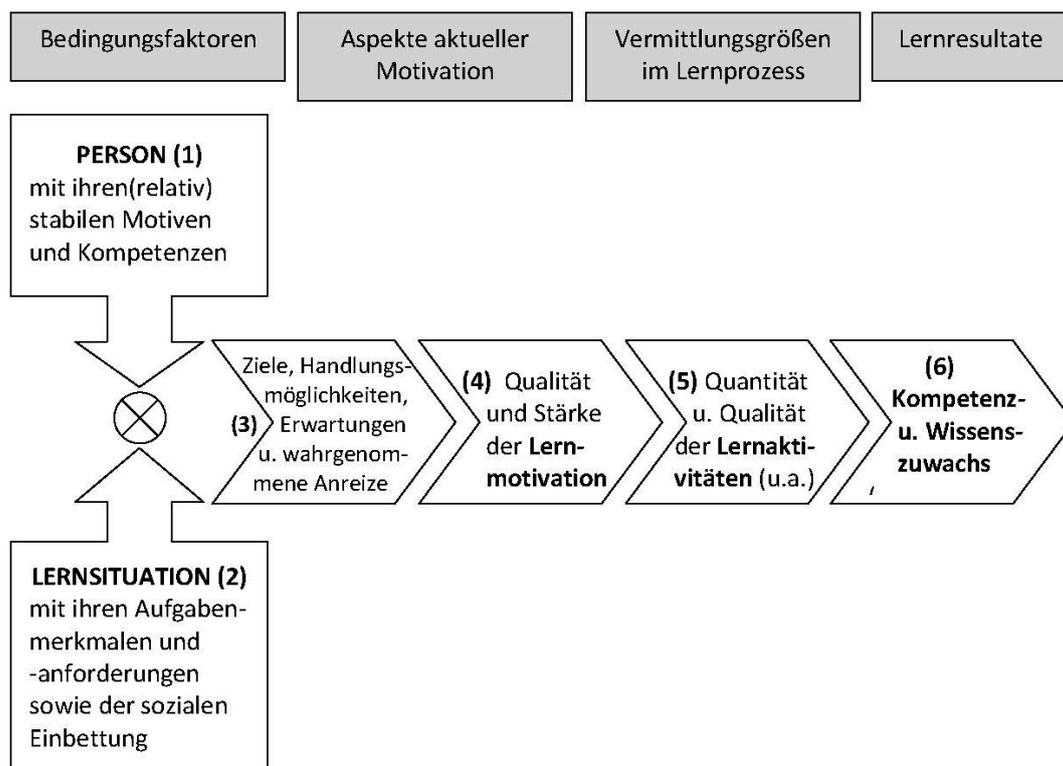


Abb.1: Rahmenmodell zur Lernmotivation nach Rheinberg & Fries ([3], S.170)

2. Die Lernumgebung „denkwerkstatt-physik“

Unsere Absicht war es, eine Lernumgebung zu konzipieren, die dem Grundsatz „Denken anstatt Rechnen“ [7] folgt sowie

- individualisiertes Lernen ermöglicht und die Entwicklung einer optimistischen physikbezogenen Kompetenzerwartung unterstützt,
- Vorwissen aktiviert und das Vernetzen von Wissen fördert,
- bei vorhandenen Fehlvorstellungen zum Konzeptwechsel anregt,
- ein Fundament für Problemlösekompetenz legt, um der oft geforderten so genannten „neuen Aufgabenkultur“ ([8]; [9]) gerecht zu werden.

Entstanden ist die webbasierte Lernumgebung „denkwerkstatt-physik“ deren Aufgabenpool in Zusammenarbeit mit Physik-Lehramtsstudierenden der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd und der Goethe-Universität Frankfurt laufend erweitert wird. Die nachfolgend beschriebene Lernumgebung ist über <http://www.denkwerkstatt-physik.de> frei verfügbar und bietet Aufgaben zu unterschiedlichen Bereichen an, die über eine thematische Zuordnung ausgewählt werden können.

Am Beginn des Lernprozesses steht eine pointierte Fragestellung, die am Ende beantwortet werden soll. Über die am rechten Seitenrand dargestellten Buttons können Impulse (Tipps) individuell ausgewählt werden, die zum Nachdenken anregen sollen. Sie folgen aufgabenübergreifend denselben Gestaltungsprinzipien. Der jeweils unterste Button bietet die Lösung der Aufgabe an, wobei aus vier Vorschlägen die richtige Antwort durch Anklicken ausgewählt werden muss (Single-Choice-Format). Die drei Distraktoren thematisieren erwartete, typische Fehlvorstellungen. Wenn die Aufgabe von den Lernenden korrekt gelöst ist, wird die Anzeige eines erklärenden Textes ermöglicht. In der Regel ist das beim sofortigen Lösungsversuch aber nicht der Fall.

Dann erfolgt eine Rückmeldung mit dem Hinweis, einen der angebotenen Tipps zu verwenden. Die Tipps sind durch Symbole gekennzeichnet, deren Bedeutung die Lernenden über den Reiter ‚Hilfe‘ abrufen können. Sie sollen als Lernimpuls verstanden werden und Unterstützung bieten, um vorhandenes Wissen schrittweise zu erinnern oder zu erweitern, miteinander zu verknüpfen und auf bisher unbekannte Situationen zu übertragen. Die in der ‚denkwerkstatt-physik‘ eingesetzten Tipps können heuristischen Prinzipien in Anlehnung an Bruder [10] sowie bekannten Lernstrategien nach Mandl & Friedrich [11] bzw. Weinstein & Mayer [12] zugeordnet werden (Tab. 1).

Lernimpuls ,denkwerkstatt-physik‘	Heuristische Hilfsmittel, Prinzipien u. Strategien	Primärer kognitiver Aspekt (kognitive Aktivierung)	Primäre Lernstrategie
Grafischer Zugang (G)	Grafische Darstellung, informative Figur, Tabelle; Transformationsprinzip	Reduzieren, Modellieren, Transformieren	Organisationsstrategie
„Lilly und Fred“ (LuF)	Invarianzprinzip; Extremalprinzip; Zerlegungsprinzip; (Rückführungsprinzip)	Aspektbeachtung; (Aspektwechsel)	Elaborationsstrategie
Transfertipp (T)	Analogieprinzip; Transferierungsprinzip; (Rückführungsprinzip)	Transferieren, horizontal vernetzen	Wissensnutzungsstrategie (Analogie) und Elaborationsstrategie
Experimenteller Zugang (E)	Systematisches Probieren	Explorieren und schluss- folgern; Aspektbeachtung	Wissensnutzungsstrategie und Elaborationsstrategie
Werkzeugkasten (W)	Wissensspeicher	Erinnern, situationsbezo- gen Anwenden	Ressourcenbezogene Strategie, extern
Ausführliche Lösung	Beispiellösung	Reflektieren, Verifizieren	Metakognitive Strategie

Tab.1: Zuordnung der ‚denkwerkstatt-Tipps‘ zu Vorgehensweisen des Problemlösens und Lernens

Zur Auswahl stehen ein experimenteller Zugang, ein Transfertipp, eine grafische Unterstützung, die Teilnahme an einem Dialog von ‚Lilly und Fred‘ und eine Darstellung von Zusatzwissen. Zusätzlich bietet der ‚Werkzeugkasten‘ die Möglichkeit, Schulwissen mit Hilfe einer einem Compendium ähnlichen, kompakten Darstellung wieder zu aktivieren. Die Tipps sind – bis auf das als interessante Ergänzung zu betrachtende Zusatzwissen – jeweils so gestaltet, dass sie im Sinne einer didaktischen Elementarisierung das Vorgehen der Lernenden strukturieren. Es ist nicht beabsichtigt, dass alle Tipps durchlaufen werden, sondern das vollständige Bearbeiten eines Tipps sollte bereits ausreichen, um den zur Lösungs-

idee führenden physikalischen Hintergrund zu erfassen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, mehrere Tipps unabhängig voneinander und in beliebiger Reihenfolge nacheinander zu wählen.

Beispielhaft soll das Konzept der ‚denkwerkstatt-physik‘ anhand der Aufgabe ‚Am Ende des Regenbogens‘, die im Rahmen unseres Projekts von Michael Szogs erstellt wurde, verdeutlicht werden.

Auf der Startseite der gewählten Aufgabe (Abb. 2) wird erörtert, dass bei Beobachtung eines Regenbogens der Eindruck erweckt wird, als könne man zu dem Punkt gelangen, an dem er die Erde zu berühren scheint. Dabei wird an eine Sage erinnert.

denkwerkstatt-physik

Mechanik Optik Elektrizität Wärme AWK Hilfe

Am Ende des Regenbogens

Während der Fahrt sieht Julia vor sich einen Regenbogen.
Es scheint so, als führe die Straße zum Fuß des Regenbogens. Julia erinnert sich an eine Erzählung ihres Opas, nach der ein Kobold Gold am Ende eines Regenbogens versteckt hat. Sie beschließt eine Reise zum Ende des Regenbogens, um nachzusehen, ob sie etwas finden kann.

Wird Julia das Ende des Regenbogens erreichen?



Hinter den Buttons auf der rechten Seite verbergen sich Tipps zur Lösung. Wähle einen davon aus! Du kannst auch mehrere Tipps nacheinander bearbeiten.

Lösungstipps

- Regenbogenfabrik**
Erzeuge deinen eigenen Regenbogen.
- Das Prisma**
Im Licht verbergen sich viele Farben.
- Verregnete Fahrradtour**
Lilly und Fred überlegen, wie Regenbögen entstehen.
- Geometrie des Regenbogens**
Wo erscheint ein Regenbogen?
- Das könnte weiterhelfen...**
Im Werkzeugkasten findest du wichtige physikalische Grundlagen und Wissenswertes.
- "Ich hab's!"...**
...und ich möchte die Frage beantworten.

Abb. 2: Startseite der Aufgabe ‚Ende des Regenbogens‘

Mit dem Button ‚Ich hab’s!‘ kann die Frage, ob das Ende des Regenbogens erreichbar ist, beantwortet werden. Angeboten werden vier Antworten, von denen eine richtig ist. Im vorliegenden Fall differenzieren die Antwortmöglichkeiten nicht nur nach ‚ja‘ und ‚nein‘, sondern die fehlerhaften Antworten thematisieren das Vorhandensein von Regentropfen, die Intensität der Sonneneinstrahlung oder die Größe des Regenbogens. Die richtige Antwort geht auf den Standort der beobachtenden Person in Bezug zum Regenbogen, den die Person wahrnimmt, ein. Nach einem ‚Klick‘ auf die richtige Antwort wird eine kurze Begründung angezeigt, die noch durch eine ausführliche Erklärung ergänzt werden kann. Dabei wird auch auf die Bogenform des Regenbogens eingegangen. Wählt man eine falsche Antwort aus, so folgt ein Hinweis auf die Lerntipps, die zum Auffinden der richtigen Lösung genutzt werden können. Gleichzeitig wird in diesem Fall der Lösungsbutton deaktiviert, bis einer der Tipps vollständig bearbeitet wurde. Dadurch soll ein Vorgehen nach dem Prinzip ‚trial-and-error‘ unterbunden werden.

Die zu dieser Aufgabe angebotenen Lösungstipps sind am rechten Rand mit dem typischen Button und einem Texthinweis dargestellt (Abb. 2).

Der Button ‚Experimentieren‘ verbunden mit dem Text „Regenbogenfabrik – Erzeuge deinen eigenen Regenbogen“ leitet zu einer experimentellen Erprobung der Bedingungen, die zu einem Regenbogen führen, weiter. Dabei wird der Lernende zuerst aufgefordert, selbst über ein geeignetes Vorgehen nachzudenken, bevor auf der zweiten Seite beispielhafte Hinweise folgen, welche Haushaltsmaterialien verwendet werden könnten (Abb. 3).

Vor der Versuchsdurchführung ist noch eine Frage zur Anordnung der einzelnen Elemente (Lichtquelle, Wassertropfen, beobachtende Person) zu beantworten (Abb. 4). Damit soll zum hypothesengeleiteten Experimentieren angeregt werden. Hierfür werden ebenfalls Auswahlantworten im Single-Choice-Format angeboten. Allerdings wird sowohl beim Anklicken der richtigen als auch bei einer falschen Antwort anschließend das geeignete Vorgehen erklärt.

Es folgen weitere Schritte mit Fragen, die beantwortet werden müssen, um die kognitive Aktivität der Lernenden immer wieder anzuregen. Am Ende des Tipps sollte man einer Lösungsidee zur Aufgabe sehr nahe sein, ohne dass die Lösung genannt wird.

denkwerkstatt-physik

Mechanik Optik

Am Ende des Regenbogens

Während der Fahrt sieht Julia vor sich einen Regenbogen.

Es scheint so, als führe die Straße zum Ende des Regenbogens. Julia erinnert sich an eine Geschichte ihres Opas, nach der ein Kobold Gold an der Spitze des Regenbogens versteckt hat. Sie beschließt, auf ihrer Reise zum Ende des Regenbogens, um zu sehen, ob sie etwas finden kann.

Wird Julia das Ende des Regenbogens finden?

Hinter den Buttons auf der rechten Seite verbergen sich Tipps zur Lösung. Wähle einen davon aus! Du kannst auch mehrere Tipps nacheinander bearbeiten.

und Wissenswertes.

"Ich hab'st!"...
...und ich möchte die Frage beantworten.

Regenbogenfabrik

Ein Regenbogen wird dann sichtbar, wenn gleichzeitig die Sonne scheint und ein Regenschauer in der Nähe ist. Um diese Bedingungen nachzustellen, benötigst du das folgende Material:

- **Sonnenschein**
(Wenn das Wetter nicht mitspielt, greife auf eine helle Lampe, wie einen Baustrahler, zurück. Passe unbedingt auf, dass diese nicht nass wird.)
- **einen feinen Regen**
(Erzeuge diesen mit einem Gartenschlauch, einem Sprinkler oder einer Sprühflasche.)
- **den passenden Platz**
(Gehe in einen Garten oder Hof, wo du experimentieren kannst.)

Am besten klappt der Versuch, wenn du dir von jemandem helfen lässt. Klicke auf weiter, wenn du das nötige Material bereitgestellt hast.

Abb.3: Experimenteller Tipp ‚Regenbogenfabrik‘, Seite 2

denkwerkstatt-physik

Mechanik Optik

Am Ende des Regenbogens

Während der Fahrt sieht Julia vor sich einen Regenbogen.

Es scheint so, als führe die Straße zum Ende des Regenbogens. Julia erinnert sich an eine Geschichte ihres Opas, nach der ein Kobold Gold an der Spitze des Regenbogens versteckt hat. Sie beschließt, auf ihrer Reise zum Ende des Regenbogens, um zu sehen, ob sie etwas finden kann.

Wird Julia das Ende des Regenbogens finden?

Hinter den Buttons auf der rechten Seite verbergen sich Tipps zur Lösung. Wähle einen davon aus! Du kannst auch mehrere Tipps nacheinander bearbeiten.

und Wissenswertes.

"Ich hab'st!"...
...und ich möchte die Frage beantworten.

Regenbogenfabrik

Wie musst du die Lichtquelle und Wassertröpfchen anordnen, damit ein Regenbogen sichtbar wird?

Überlege dir die Lösung, bevor du den Versuch durchführst.

a) Du musst ungefähr aus Richtung der Sonne auf den Regen blicken.

b) Du musst das Wasser so versprühen, dass du durch das Wasser auf die Lichtquelle blickst.

c) Du musst seitlich auf die Wassertropfen blicken.

Abb. 4: Fragestellung des experimentellen Tipps (Seite 3)

Mit Hilfe des Tipps „Das Prisma – Im Licht verbergen sich viele Farben“ erhält die bzw. der Lernende zuerst Anregungen zur Dispersion von weißem Licht am Glasprisma, die anschließend auf die Situation des Lichteinfalls bei Regentropfen übertragen werden. Auch hier gilt es wiederholt Zwischenfragen zu

beantworten. Grafiken, die teilweise animiert sind, veranschaulichen die Überlegungen.

Durch den Tipp zum grafischen Herangehen wird das Nachdenken über die Anordnung der Farben des Regenbogens angestoßen. Eine Zeichenvorlage, die

heruntergeladen und bearbeitet werden soll, lädt zur aktiven Mitarbeit ein. Außerdem regen auch bei diesem Tipp Zwischenfragen zum Mitdenken an und lenken den Lernenden zur Lösungsidee.

Der vierte Tipp „Verregnete Fahrradtour – Lilly und Fred überlegen, wie Regenbögen entstehen“ bezieht die Lernenden in einen Dialog zwischen zwei Jugendlichen ein, die über wesentliche Aspekte der Ausgangsfragestellung diskutieren. Das ‚Einschalten‘ in das Gespräch von Lilly und Fred geschieht über Fragen, die innerhalb des Dialogs aufgeworfen werden und von der bzw. dem Lernenden beantwortet werden müssen. Die sich unmittelbar an die Antwortauswahl anschließende Rückmeldung bestätigt oder erklärt die richtige Antwort zur Dialogfrage, stellt aber noch keine Lösung der Knobelaufgabe dar. Zu dieser wird erst nach mehreren aufeinander aufbauenden Elementarisierungsschritten übergeleitet und stets eine eigene Denkleistung eingefordert.

Im ‚Werkzeugkasten‘ können sich die Lernenden über Modelle zur Beschreibung von Licht, zu Bedingungen des Sehens sowie zur Gesetzmäßigkeiten der geometrischen Optik informieren.

3. Einsatzmöglichkeiten der Lernumgebung

Wir sehen Einsatzmöglichkeiten der ‚denkwerkstatt-physik‘ im Fachunterricht der Sekundarstufe I - unmittelbar im Unterricht oder als Hausaufgabe. Zur Nutzung der Lernumgebung sind Arbeitsplätze mit Computer oder Laptop, die über Internetanschluss und Webbrowser verfügen, erforderlich. Für die experimentell orientierten Tipps sollten die im Allgemeinen auch in einem Haushalt vorhandenen oder einfach zu beschaffenden Materialien bereitgestellt werden. Für einen Einsatz im Physikunterricht bieten sich Phasen individualisierten Lernens an, da das Konzept differierende Lernvoraussetzungen und -ziele berücksichtigt und zur Anwendung und Vertiefung der im Unterricht angeeigneten Inhalte geeignet ist. Zu empfehlen sind Einzel- oder Partnerarbeit, damit sich die Wirksamkeit der Lernumgebung zur Entwicklung physikbezogener Kompetenzerwartung voll entfalten kann (vgl. Abschnitt 4). Die Aufgaben können außerdem für bilinguale Lernsequenzen eingesetzt werden, da die Aufgaben sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache vorliegen.

Eine Bearbeitung von Aufgaben der ‚denkwerkstatt-physik‘ ist natürlich auch im Rahmen der schulischen Ganztagsbetreuung oder zu Hause individuell und unabhängig vom Schulunterricht möglich. Wir empfehlen, die Lernumgebung im Rahmen des Unterrichts vorzustellen und gemeinsam exemplarisch ausgewählte Aufgaben zu erproben. Hinweise zum Einsatz und zum Vorgehen erhalten Lehrerinnen und Lehrer auf der Startseite der ‚denkwerkstatt-physik‘ durch Anklicken des Buttons ‚LuL‘.

4. Einfluss der Lernumgebung auf die Entwicklung physikspezifischer Kompetenzerwartung

Um zu prüfen, ob die wie beschrieben konzipierte Lernumgebung ‚denkwerkstatt-physik‘ die Entwicklung der physikspezifischen Kompetenzerwartung beeinflusst, wurde eine Studie mit insgesamt 294 Probanden durchgeführt. Es waren Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7 bis 9 beteiligt, die den Schulformen Realschule (N = 172) und Gymnasium (N = 122) entstammen. Eine genaue Beschreibung der Studie kann bei Schröter [13] nachgelesen werden. Da eine der Fragestellungen darauf abzielte festzustellen, ob sich das Nutzen der heuristisch orientierten Tipps gegenüber der Verwendung von Materialien, die ausschließlich Fachwissen reaktivieren, vorteilhaft auf die Entwicklung physikspezifischer Kompetenzerwartung auswirkt, wurde eine Untersuchung mit Kontrollgruppendesign geplant. Dazu wurden zwei unterschiedliche Varianten der ‚denkwerkstatt-physik‘ geplant. Das allgemeine Aufgabendesign und der Aufgabenpool blieben als Konstanten erhalten. Variiert wurde ausschließlich das zur Lösungsfindung nutzbare Angebot an Hilfen. Während der Treatmentgruppe die vollständige Darstellung der Lernumgebung zur Verfügung stand, konnte die Kontrollgruppe ausschließlich auf die Inhalte des ‚Werkzeugkasten‘ zurückgreifen. Das individuelle Vorgehen beim Bearbeiten der Aufgaben wurde mit Hilfe von Logfiles aufgezeichnet. Dadurch konnte u.a. auch die Nutzungshäufigkeit der einzelnen Tipps und die Lösungshäufigkeit erfasst werden. Außerdem wurden im Pretest Personmerkmale wie Geschlecht, Lernmotive und Grundwissen erfasst. Die Entwicklung der Kompetenzerwartung wurde im zeitlichen Verlauf beobachtet (Pre- und Posttest). Die Daten wurden durch eine Selbsteinschätzung im Rahmen einer schriftlichen Befragung gewonnen. Ein Untersuchungszeitraum umfasste jeweils sechs Wochen. In der ersten Woche wurde die Lernumgebung von der Versuchsleiterin eingeführt und konnte anschließend in Partnerarbeit exemplarisch an zwei eigens zu diesem Zweck bereitgestellten Aufgaben erprobt werden. An den darauf folgenden wöchentlichen Terminen wurde in Halbklassen an Einzelplätzen jeweils selbständig gearbeitet. Jedem Beteiligten stand dafür ein Laptop mit einer offline-Version der ‚denkwerkstatt-physik‘ zur Verfügung, die der Gruppenzugehörigkeit entsprechend aufbereitet war.

Da ein Zusammenhang zwischen Grundwissen und der Ausprägung der fachspezifischen Kompetenzerwartung vermutet wurde, wurde der Einfluss von ‚Grundwissen‘ statistisch kontrolliert. Gleiches trifft auf den Einfluss der Geschlechtszugehörigkeit zu. Bei einem Teil der Studie (Untersuchung Realschule) konnte eine Randomisierung der Gruppen erfolgen, so dass Faktoren, die möglicherweise die untersuchten Zusammenhänge beeinflussen würden, eliminiert werden konnten. Ergänzend zu varianzanalytischen Betrachtungen wurden Pfadmodelle

berechnet, die den Einfluss der einzelnen Faktoren und die Komplexität des Zusammenwirkens gut beschreiben. Das Modell wurde auf Gruppenunterschiede (Treatment- vs. Kontrollgruppe) geprüft, um aus signifikanten Unterschieden einander entsprechender Pfadkoeffizienten einen Rückschluss auf die Wirksamkeit der Lernumgebung ziehen zu können. Eine Wirkung des Treatments auf die Entwicklung der physikbezogenen Kompetenzerwartung wurde nicht ausschließlich über einen direkten Zusammenhang, sondern auch vermittelt über aktuelle Motivation und Kompetenzerleben während der Bearbeitung der Aufgaben erwartet.

Wie in Tabelle 2 deutlich wird, zeigt sich ein negativer Zusammenhang zwischen der vor der Untersuchung erfassten Kompetenzerwartung (PKE MZP1) und der Stärke der Veränderung der Kompetenzerwartung zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt (Entw PKE) unter der Bedingung des Treatments. Die Untersuchung konnte somit nachweisen, dass eine positive Entwicklung insbesondere für Lernende mit anfangs eher geringem Vertrauen in die eigenen physikbezogenen Fähigkeiten durch Aufgabenlösen in einer Lernumgebung mit heuristisch orientierten Tipps (Treatment) angestoßen werden kann. Es besteht kein relevanter Zusammenhang damit, ob sie sich während der Aufgabenbearbeitung kompetent erlebten oder nicht. Bei Lernenden, die bereits ein größeres Vertrauen in ihre Fähigkeiten aufweisen, ist die Aktualisierung und Aufrechterhaltung ihrer individuellen Zuversicht vor und während des Aufgabenlösen dagegen wesentlich. Bei der Kontrollgruppe fiel die Stärke der genannten Zusammenhänge geringer aus. Außerdem rückt für die Kontrollgruppe das Erleben eigener Kompetenz mehr in den Fokus. Hier besteht ein

signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen Kompetenzerleben (KEL) und der Entwicklung der Kompetenzerwartung, der allerdings klein ausfällt. Die Interessiertheit am Lösen der Aufgaben spielte in beiden Gruppen eine eher untergeordnete Rolle hinsichtlich des Einflusses auf die Entwicklung von Kompetenzerwartung.

Nachgewiesen wurde neben dem negativen direkten außerdem ein positiver indirekter Effekt (d.h. ein sogenannter Supressoreffekt) auf die Entwicklung der Kompetenzerwartung, was dazu führt, dass eine varianzanalytische Prüfung des Zusammenhangs den Effekt unterschätzt.

Im explorativer Teil der Studie konnte ein interessanter, wenn auch kleiner Effekt bezüglich einer geschlechtsspezifischen Auswahl der Lernimpulse ausgemacht werden. Jungen der Realschule wählten signifikant häufiger als Mädchen die Tipps zum Explorieren / Experimentieren und den analogen Transfer zur Unterstützung aus. Mädchen entschieden sich dagegen öfter für den Tipp „Lilly und Fred“, der ein fragend-entwickelndes Gespräch nachempfunden. Vermutet wird, dass sich in diesem Verhalten u.a. das bei Mädchen und Jungen unterschiedlich ausgeprägte Vertrauen in die eigenen Kompetenzen im Fach Physik widerspiegelt. Dieser Befund sollte vor einer Verallgemeinerung jedoch noch einmal durch eine hypothesengeleitete Untersuchung überprüft werden. Ein Effekt derart, dass bestimmte Tipps der Lernumgebung einen besonderen Beitrag zur Entwicklung der Kompetenzerwartung leisten, konnte im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht festgestellt werden.

Standardized Total Effects für RS (randomisiert)

	Gruppe	PKE MZP1	Herausford (AM)	Erfolgszuv (AM)	KEL Me
Erfolgszuv (AM)	T	0,494			
	K	0,494			
KEL_Me	T	0,257***	0,179*	0,521***	
	K	0,145**	0,323**	0,294**	
Entw PKE	T	-0,518***	0,245**	0,548***	0,055
	K	-0,458***	-0,239*	0,323***	0,224**

Invarianzebene: Structural residuals

Two Tailed Significance (BC): * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Tab.2: Übersicht zu Totalen Effekten bei Treatment- und Kontrollgruppe

5. Zusammenfassung

Die ‚denkwerkstatt-physik‘ ist eine frei verfügbare, webbasierte Lernumgebung, die Aufgaben insbesondere zu solchen physikalischen Fragen bereitstellt, die Fehlkonzepte erwarten lassen. Durch sie kann das im Curriculum verankerte Schulwissen angewandt oder ergänzt werden. Den Lernenden werden zur kognitiven Aktivierung und als Unterstützung beim selbständigen Erarbeiten der richtigen Lösung unterschiedliche, frei wählbare Lernimpulse (Tipps) angeboten, die im gesamten Aufgabenkatalog gleich und an Symbolen wiedererkennbar sind. Die Tipps ermöglichen ein strukturiertes Vorgehen und folgen einer jeweils typischen Gestaltung in Anlehnung an heuristische Prinzipien. Die Lernumgebung eignet sich insbesondere für individuelles Lernen in Einzel- oder Partnerarbeitsphasen im Unterricht oder für die Beschäftigung mit Physik zu Hause.

Logfile-Aufzeichnungen des Vorgehens von Schülerinnen und Schülern beim Aufgabenbearbeiten zeigen, dass die in Form von Tipps angebotenen Denkansätze mit unterschiedlichen Zugängen zur Lösung individuell genutzt werden. Die Ergebnisse der Studie lassen den Schluss zu, dass es bei Aufgaben, die eine individuelle Herausforderung für die Lernenden darstellen, empfehlenswert ist, zur Unterstützung beim Entwickeln der Lösung Lernimpulse anzubieten, die sich an heuristischen Prinzipien orientieren und nicht ausschließlich Fachwissen reaktivieren. Dadurch wird vor allem bei Lernenden, die sich in Physik eher wenig zutrauen, eine positive Entwicklung der physikbezogenen Kompetenzerwartung gefördert. Wird außerdem die Erfolgszuversicht derjenigen Lernenden, die ihren Kompetenzen in Physik bereits vertrauen, aktiviert und bleibt diese während des Lernprozesses erhalten, wird dadurch ebenfalls eine positive Wirkung auf die Entwicklung der Kompetenzerwartung begünstigt. Dazu trägt unter anderem eine Aufgabenstellung bei, die untypische Fragen aufwirft und so zum selbständigen Nachdenken und Lernen motiviert, die Lernenden dabei aber nicht überfordert. Zum anderen können Rückmeldungen zum Lernfortschritt während der Aufgabenbearbeitung dieses Anliegen unterstützen.

Unser Fazit: Die ‚denkwerkstatt-physik‘ kann als ein hilfreiches Instrument zur Förderung einer positiven Entwicklung physikbezogener Kompetenzerwartung angesehen werden.

6. Literatur

- [1] Bandura, Albert (1995): Exercise of personal and collective efficacy in changing societies. In: *Self-Efficacy in Changing Societies*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1-45.
- [2] Schwantner, Ursula (2009): Die Motivation der Jugendlichen in Naturwissenschaft. In: PISA 2006. Österreichischer Expertenbericht zum Naturwissenschaftsschwerpunkt, Graz: Leykam, S.266-282
- [3] Rheinberg, Falko; Fries, Stefan (1998): Förderung der Lernmotivation: Ansatzpunkte, Strategien und Effekte. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, S.168-184.
- [4] Schwarzer, Ralf; Jerusalem, Matthias (2002): Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 44. Beiheft, S. 28 - 53.
- [5] Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 2, S. 223-238.
- [6] Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (2012): Self-Determination Theory. In: *Handbook of Theories of Social Psychology, Volume One*, London et al.: SAGE Publications, S. 416-437.
- [7] Schecker, Horst; Klieme, Eckhard (2001): Mehr Denken, weniger Rechnen. Konsequenzen aus der Internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht. In: *Physikalische Blätter* 7/8 (2001), Nr.57, S.113-117
- [8] Hopf, Martin; Schecker, Horst; Wiesner, Hartmut (Hg.). (2011): *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis-Verlag, 123-131.
- [9] Leisen, Josef (2001): Qualitätssteigerung des Physikunterrichts durch Weiterentwicklung der Aufgabenkultur. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54, S. 401-405.
- [10] Bruder, Regina (2003): Lernen, geeignete Fragen zu stellen. Heuristik im Mathematikunterricht. In: *Mathematik lehren*, 115, S. 4-8.
- [11] Mandl, Heinz; Friedrich, Helmut F. (Hg.). (2006): *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen, Bern, Wien, Toronto, Seattle, Oxford, Prag: Hogrefe.
- [12] Weinstein, C. E.; Mayer, R. E. (1986): The teaching of learning strategies. In: *Handbook of research of teaching* (3. Ausg.), New York, NY: Macmillan, S. 315-327.
- [13] Schröter, Evelin (2015): Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung. *Studien zum Physik-und Chemielernen*, Bd. 182, Berlin: Logos Verlag.
- [14] Webseite der beschriebenen Lernumgebung: <http://www.denkwerkstatt-physik.de> (Stand 05/2016)