

Pia Schmidt &amp; Julian Küsel

## **Adaptive E-Learning-Umgebung zum Thema Löslichkeit und Stofftrennung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule**

### **Abstract**

Digitale Medien eröffnen neue Chancen für die Lernprozesse im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule. Deshalb wurde eine adaptive E-Learning-Umgebung entwickelt, implementiert und in einem Mixed-Method-Design evaluiert. Die Präkonzepte der 48 Lernenden wurden quantitativ erfasst. Mittels des Trackings der Lernwege konnte eine qualitative Lernweganalyse durchgeführt werden. Die Ergebnisse bestätigen die Wirksamkeit der E-Learning-Umgebung und zeigen, dass Lernende auch im Verlauf ihres adaptiven Lernweges ein heterogenes Verhalten aufweisen.

Digital media open up new opportunities for learning processes in elementary school science classes. Therefore, an adaptive e-learning environment was developed, implemented and evaluated in a mixed-method design: the study quantitatively recorded the preconceptions of 48 learners and qualitatively conducted learning path analyses by tracking user paths. The results confirm the effectiveness of the e-learning environment and reveal that learners exhibit heterogeneous behaviour in the course of their adaptive learning path.

### **Schlagwörter:**

E-Learning-Umgebung, Adaptivität, Präkonzepte, digitale Medien im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

E-learning environment, adaptivity, preconceptions, digital media in elementary science education

### **I. Einleitung**

Durch die Herausforderung, schulische Lehr-Lernprozesse in Zeiten der COVID-19-Pandemie zu reorganisieren, ist das Lernen mit digitalen Medien verstärkt in den Fokus der Gesellschaft gerückt. Dieses eröffnet neue Chancen für die Individualisierung von Lernprozessen auch im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule. Differenzierte Lernangebote, die mit angemessenen Unterstützungsformen selbstverantwortliche Lernprozesse ermöglichen, werden benötigt (vgl. Kultusministerkonferenz, 2015). Besonders hohe Erwartungen werden an adaptive E-Learning-Umgebungen gestellt, die in hohem Maße lernförderliche, individualisierte Lernwege und eine individuelle Unterstützung für eine große Anzahl von Lernenden ermöglichen sollen (vgl. Meier, 2020: S. 6). Die 2018 veröffentlichte JIM-Studie zeigt, dass das Lernen mit digitalen Medien bereits bei



den 6- bis 13-Jährigen einen immer größer werdenden Stellenwert einnimmt, so benutzt jeder Fünfte der Befragten mindestens einmal pro Woche zuhause eine E-Learning-Umgebung (vgl. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018: S. 50). Angesichts der zunehmenden Beliebtheit von digitalen Medien und der hohen Erwartungen, die an adaptive E-Learning-Umgebungen insbesondere in Bezug auf den Umgang mit der Heterogenität der Lernenden herangetragen werden, wird in diesem Artikel der Frage nach deren Wirksamkeit, im Besonderen auf die Präkonzepte der Lernenden in konkreten Lehr-Lern-Kontexten nachgegangen.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Präkonzepte

Der Begriff Präkonzept hat seine Wurzeln in der konstruktivistischen Didaktik und Lehr-Lernforschung und wird vor allem in der Naturwissenschaftsdidaktik verwendet (vgl. Barke, 2006; vgl. Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018; vgl. Schrenk, Gropengießer, Groß, Hammann, Weitzel & Zabel, 2019). Unter Präkonzepten werden vorunterrichtliche Schülervorstellungen zu Phänomenen, Begriffen und Prozessen der Welt verstanden (vgl. Möller, 2019: S. 62 f.). Diese stimmen häufig nicht mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen überein, weshalb dafür oftmals auch Begriffe wie Fehlkonzepte oder ‚*misconceptions*‘ verwendet werden. Allerdings seien laut Möller (2018: S. 37) solch stark wertende Begrifflichkeiten pädagogisch unangemessen und sollten daher vermieden werden. Präkonzepte entsprechen zwar oftmals nicht den heute gültigen wissenschaftlichen Aspekten und erscheinen somit aus fachlicher Sicht oft widersprüchlich, basieren aber meist auf logischen Schlüssen der Lernenden, da sie sich auf der Grundlage ihrer bisherigen Erfahrungswelt als tragfähig erwiesen haben (vgl. Barke, 2006: S. 21 f.). Außerdem können sie sich in ihrer Anschlussfähigkeit an fachliche Vorstellungen unterscheiden. Präkonzepte, die als wenig anschlussfähig gelten, haben oftmals einen eingeschränkten Aufbau korrekter naturwissenschaftlicher Konzepte zur Folge und können Ursache von Lernschwierigkeiten sein (vgl. Wodzinski, 2006: S. 5). Aus konstruktivistischer Perspektive setzt der Erwerb von Wissen daher einen „aktiven, konstruktiven Denkprozess seitens der Lernenden voraus“ (Möller, 2019: S. 59), in dem die Präkonzepte den Ausgangspunkt des Lernens darstellen und Neues mit diesen verknüpft wird.

Die Orientierung an Präkonzepten nimmt somit nicht nur für das Lernen, sondern auch für das Lehren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht eine bedeutende Rolle ein. Sowohl bei der Planung und Gestaltung von Unterricht als auch bei der individuellen Unterstützung der Lernenden durch die Lehrperson müssen die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden berücksichtigt werden (vgl. Heran-Dörr, 2011: S. 22). Somit sind bei der Entwicklung von Unterricht die Präkonzepte der Lernenden von ebenso hoher Bedeutung wie die naturwissenschaftlichen Sachstrukturen. Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird dieser Sachverhalt veranschaulicht (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997: S. 4). Darin wird postuliert, neben der fachlichen Perspek-

tive auch die Präkonzepte der Lernenden zu erfassen, um dann beide aufeinander zu beziehen und daraus den Unterrichtsgegenstand zu entwickeln. Auch Pech und Kaiser (2004: S. 25) heben die große Bedeutung der Präkonzepte für den Unterricht hervor, indem sie die Präkonzepte als Ausgangspunkt des Unterrichts und deren Berücksichtigung und Erhebung als wesentliche Aufgabe von Unterricht sehen.

Grundlegend für den Umgang mit Präkonzepten ist, dass im Unterricht Gelegenheiten geschaffen werden, in denen sich einerseits Lernende selbst ihrer Präkonzepte bewusst werden können und andererseits diese Präkonzepte auch sichtbar werden (vgl. Schönknecht & Maier, 2012: S. 12). Da die Lernenden die ihnen innewohnenden Präkonzepte oftmals nicht explizit benennen können und sich somit die vorunterrichtlichen Vorstellungen zu einem Sachverhalt selbst nicht unmittelbar erheben lassen, benötigt es geeignete Erhebungsverfahren und diagnostische Hilfsmittel, um Einblick in das Denken der Kinder zu erhalten (vgl. Hartinger & Murmann, 2018: S. 52 f.). Die Möglichkeiten, etwas über die vorunterrichtlichen Vorstellungen zu erfahren, sind vielfältig. Multiple-Choice-Formate zeichnen sich dabei durch eine relativ schnelle, teilweise computergestützt durchführbare und objektive Auswertung der Präkonzepte aus und sind daher oftmals Teil der Präkonzeptforschung. Die diagnostische Kompetenz der Lehrperson besteht nicht nur darin, ein geeignetes Diagnoseinstrument zur Erhebung der Daten auszuwählen, sondern auch darin, aus den erhobenen Daten anschließend herauszulesen, was die Lernenden mit ihren Äußerungen tatsächlich gemeint haben, um davon auf die Präkonzepte zu schließen (vgl. Hartinger & Murmann, 2018: S. 56). Die Kenntnis über typische vorunterrichtliche Vorstellungen stellt eine wichtige Facette des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht dar (vgl. Lange-Schubert & Hartinger, 2017: S. 30).

## 2.2 E-Learning-Umgebungen

Der Begriff E-Learning-Umgebung wird in der Literatur in unterschiedlichen Sinnzusammenhängen und Bedeutungen genutzt und soll deshalb an dieser Stelle hinsichtlich der weiteren Verwendung in diesem Artikel präzisiert werden: E-Learning-Umgebungen werden extra für Lehr- und Lernzwecke erstellt, und mit deren Hilfe können sich Lernende eigenständig in Interaktion mit diesen, mit einem bestimmten Stoffgebiet am Computer vertraut machen (vgl. Kerres, 2018: S. 7). In der Literatur existiert eine Vielzahl von Klassifikationsschemata für E-Learning-Umgebungen, wobei die einzelnen Formate nicht einheitlich benannt werden. In Anlehnung an Weddehage (2011: S. 2) ergeben sich drei Hauptformen, wobei die Übergänge in der Praxis fließend sind.

- ‚Offene Lernumgebungen‘ basieren auf einem konstruktivistisch geprägten Lernverständnis und sehen das Lernen als explorativen und entdeckenden Prozess an. Sie geben lediglich einen Rahmen ohne definierte Bearbeitungsreihenfolge vor, innerhalb dessen sich die Lernenden selbstständig mit Informationen auseinandersetzen können (vgl. Tulodziecki, Hagemann, Herzig, Leufen & Mütze, 1996: S. 47).

- ‚Übungsprogramme‘ dienen der Festigung von bereits vorhandenem Wissen durch Wiederholung und Vertiefung und basieren auf den Erkenntnissen des Behaviorismus (vgl. Weddehage, 2011: S. 2 f.).
- ‚Tutorielle Systeme‘ als dritte Hauptform dienen der Vermittlung von neuem Wissen und bieten zudem ein erweitertes Spektrum an Interaktivität und Adaptivität für die Lernenden. Lernen wird hier als interaktiver Prozess verstanden, wobei die Lernumgebung die Rolle eines Tutors einnimmt, der den Lernenden beim Wissenserwerb begleitet und unterstützt (vgl. ebd.). Neben der Wissensvermittlung stellen tutorielle Systeme auch umfangreiche Aufgaben zur Bearbeitung bereit und geben sowohl Hilfestellungen als auch elaborierte Rückmeldungen zu Lernfortschritten. Zudem eröffnen sie häufig eine Variation des Lernweges in Abhängigkeit von den Antworten der Lernenden und binden die Lernenden bei der Lernwegauswahl mit ein, sodass ihnen ein selbstgesteuertes Lernen ermöglicht wird (vgl. Hoelscher, 1994: S. 77). Tutorielle Systeme, bei denen sich der Lernweg an die individuellen Lernfortschritte der Lernenden anpasst, werden als ‚adaptive tutorielle Systeme‘ bezeichnet.

### 2.3 Adaptivität

Adaptivität ist neben Interaktivität und Multimedialität eine der wichtigsten Eigenschaften einer E-Learning-Umgebung und stellt zudem einen wesentlichen Faktor für eine individuelle und umfassende Unterstützung der Lernenden dar (vgl. Behnke, 1995: S. 168). Der Begriff des adaptiven Unterrichtens bzw. Lernens findet sich vor allem in der psychologisch orientierten Literatur. ‚Adaptivität‘ wird hier als die Passung des Lernangebots an die individuellen Voraussetzungen der Lernenden verstanden und kann als Sammelbezeichnung für den Umgang mit interindividuellen Differenzen der Lernenden verwendet werden (vgl. Hasselhorn & Gold, 2009: S. 253). Bereits Ende der 1980er Jahre wurde erkannt, dass Adaptivität ein wichtiges Kriterium für eine erfolgreiche Wissensvermittlung darstellt, und so stellten unter anderem Mandl und Hron (1986: S. 360) als eine der Ersten die Forderung nach Adaptivität auch in E-Learning-Umgebungen auf. Die Adaptivität einer E-Learning-Umgebung kann hinsichtlich verschiedener Dimensionen betrachtet werden: (i) Der Gegenstand der Anpassung, (ii) die Einflussfaktoren, nach denen sich das Durchführen der Anpassung richtet, sowie (iii) der Zeitpunkt der Anpassung (vgl. Harrer & Martens, 2004: S. 165).

(i) Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, in einer E-Learning-Umgebung Anpassungen am Gegenstand vorzunehmen. In Anlehnung an Leutner (2009: S. 120 ff.) lassen sich bei der Anpassung der Lerninhalte deren Präsentationsform, die Sequenzierung, die Schwierigkeit, die Lernzeit und die Variation des Feedbacks bzw. der Hilfestellungen unterscheiden. Die Anpassung der Lerninhalte kann zum Beispiel darin liegen, dass die Lernenden jeweils eigenständige, auf sie zugeschnittene Lerninhalte präsentiert bekommen bzw. die Wahl zwischen unterschiedlichen Kursinhalten selbst vornehmen können (vgl. Niegemann, 2001: S. 123).

(ii) In der Dimension der Einflussfaktoren kann zwischen personenbezogenen und sachbezogenen Einflussgrößen unterschieden werden. Während die personenbezogenen in der Regel eine Anpassung an den Lernenden ermöglichen, ist die sachbezogene Anpassung an die Verfügbarkeit von Ressourcen gebunden und hängt nicht direkt vom Lernenden ab (vgl. Harrer & Martens, 2004: S. 165). Zu den häufig modellierten Merkmalen gehören das Vorwissen, der Lernstil, die Interessen, die Motivation und der aktuelle Wissensstand des Lernenden (vgl. Rey, 2009: S. 180).

(iii) Bezüglich des Zeitpunkts bzw. der Taktung einer Anpassung in E-Learning-Umgebungen kann zwischen Mikro- und Makroadaption unterschieden werden, wobei jeweils unterschiedliche Frequenzen gemeint sind (vgl. Lehmann, 2010: S. 20). Oftmals wird hierbei auch von Adaptionsrate gesprochen, worunter die Häufigkeit, wie oft eine Anpassung an das Verhalten der Lernenden erfolgt, verstanden wird (vgl. Leutner, 2009: S. 118).

Behnke (1995: S. 168) unterscheidet in E-Learning-Umgebungen eine passive und eine aktive Komponente der Adaptivität. Geschieht die Anpassung des Systems automatisch und ohne explizites Einwirken der Lernenden, ist bei ihm von ‚aktiver Adaptivität‘ die Rede. Im Gegensatz dazu stellt bei einer ‚passiven Adaptivität‘ der Lernende den Ausgangspunkt von Veränderungsprozessen dar, indem er selbstbestimmt und aktiv individuelle Anpassungen gemäß seines Bedarfs am System vornimmt (vgl. ebd.). Es lässt sich festhalten, dass innerhalb einer E-Learning-Umgebung alle drei Dimensionen sowohl selbst- als auch fremdgesteuert beeinflusst werden können.

Mit Blick auf den aktuellen Forschungsstand zu adaptiven E-Learning-Umgebungen fällt auf, dass sich bisherige Studien überwiegend mit deren Einsatz an Hochschulen oder in der betrieblichen Weiterbildung befassen, und nicht mit deren Einsatz in der Schule (vgl. Karbautzki & Breiter, 2011: S. 221). Studien belegen, dass adaptive E-Learning-Umgebungen einen lernförderlichen Effekt auf die Lernleistung und die Lerneffizienz der Lernenden haben können (vgl. Hillmayr, Reinhold, Ziernwald & Reiss, 2017; vgl. Kalyuga, 2006; vgl. Kalyuga & Sweller, 2005; vgl. Ma, Adesope, Nesbit & Liu, 2014). Ma et al. (2014: S. 912) konnte im Rahmen ihrer Metaanalyse zeigen, dass Lernende in adaptiven E-Learning-Umgebungen im Vergleich zu vielen anderen Unterrichtsmodi höhere Leistungsergebnisse erzielen. Darüber hinaus zeigen Studien, dass adaptive E-Learning-Umgebungen nicht nur die Lernqualität erhöhen, sondern auch die Lernzeit verkürzen können (vgl. Çakir, 2019: S. 46). Mit adaptiven E-Learning-Umgebungen lässt sich nach Ma et al. (2014: S. 912) die zunehmende Heterogenität der Lernenden besser bewältigen als im klassischen Präsenzunterricht in großen Gruppen, da gezielter an die Kompetenzen und an das Vorwissen der Lernenden angepasst werden kann. So kann man mit individuell abgestimmten, differenzierten Bildungsangeboten sowohl lernschwächeren als auch lernstärkeren Lernenden gleichzeitig gerecht werden und eröffnet die Möglichkeit des Lernens auf individuellen Lernwegen. Durch den Einsatz von adaptiven E-Learning-Umgebungen können darüber hinaus individuelle Verständnisprobleme gezielt angesteuert und behoben werden (vgl. Hillmayr et al., 2017: S. 21). Insbesondere Lernende mit geringem oder mittlerem Vorwissen profitieren von adaptiven E-Learning-Umgebungen (vgl.

Gerard, Matuk, McElhaney & Linn, 2015: S. 50). Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle auch, dass das Bearbeiten einer adaptiven E-Learning-Umgebung das eigenverantwortliche und selbstregulierte Lernen schulen kann (vgl. Kravčik, Ullrich & Igel, 2019: S. 55). Studien zeigen zudem, dass durch adaptive E-Learning-Umgebungen die Lernmotivation gefördert werden kann. Bereits die bloße Existenz eines solchen Lernangebots wird oftmals als „motivierende Ergänzung zu klassischen Lehrmaterialien wahrgenommen“ (vgl. Bauer, Schuldt, Krömker, Bau & Webers, 2019: S. 172).

### 3. Pilotstudie

Wie bereits beschrieben, ist zwar generell eine ausgeprägte Befundlage zu Adaptivität in E-Learning-Umgebungen vorhanden. Allerdings ist die Wirksamkeit von adaptiven E-Learning-Umgebungen speziell auf die Präkonzepte im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule bisher weitgehend unerforscht. Ausgehend von Herzigs (2014: S. 22) Standpunkt, dass hinsichtlich der Wirksamkeitsforschung von digitalen Medien der Fokus auf ganz konkrete medienunterstützte Lernszenarien gelegt werden soll, wurde zunächst im Rahmen der hier vorgestellten Studie die Entwicklung einer konkreten adaptiven E-Learning-Umgebung zum Thema ‚Löslichkeit und Stofftrennung‘ angestrebt.

Im Rahmen dieser Studie werden zudem die Veränderungen der Schülervorstellungen nach dem Einsatz dieser adaptiven E-Learning-Umgebung analysiert, um aus den daraus resultierenden Ergebnissen die Wirksamkeit der adaptiven E-Learning-Umgebung auf die Präkonzepte einer Lerngruppe im Primarbereich abzuleiten. Außerdem werden die konkreten individuellen Lernwege der Lernenden analysiert und ausgewertet. So ergeben sich zwei leitende Forschungsfragen:

- (I) Wie wirksam ist die adaptive E-Learning-Umgebung auf die Präkonzepte der Lernenden der Grundschule zum Thema Löslichkeit und Stofftrennung?
- (II) Wie gestalten Lernende der Grundschule mit unterschiedlichen Präkonzepten innerhalb der adaptiven E-Learning-Umgebung ihren Lernweg - insbesondere in Bezug auf die adaptiven Elemente ‚Schwierigkeitsgradwahl‘ und ‚Nutzung von Unterstützungsmöglichkeiten‘?

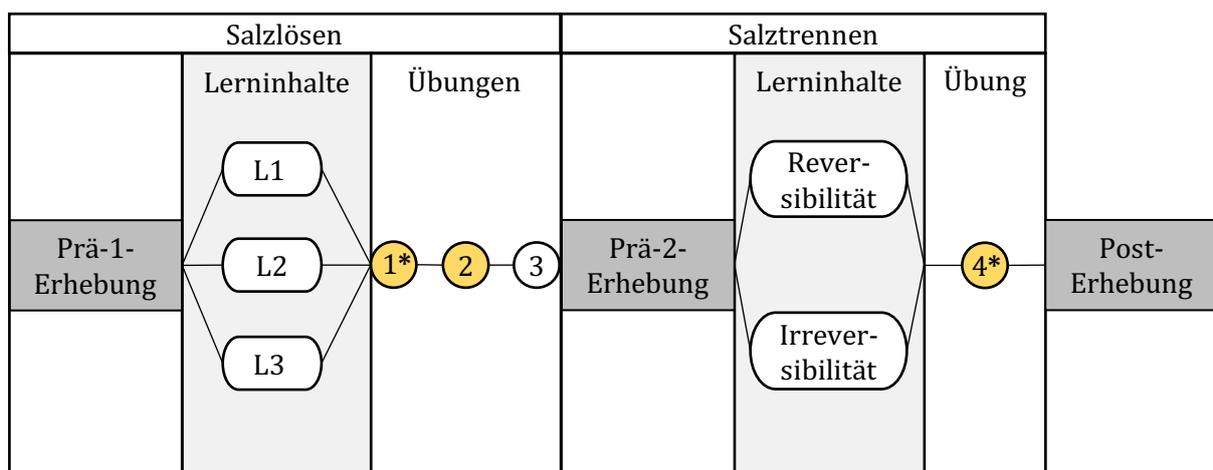
#### 3.1 Entwicklung der E-Learning-Umgebung ‚Wo ist das Salz?‘

Die von den Autoren selbst erstellte adaptive E-Learning-Umgebung beschäftigt sich mit der Fragestellung ‚Wo ist das Salz?‘ im Themenbereich Löslichkeit und Stofftrennung und richtet sich insbesondere an Lernende der dritten und vierten Klasse im Sachunterricht. Die didaktisch-methodische Konzeption der entwickelten adaptiven E-Learning-Umgebung erfolgt in Anlehnung an das DO-ID Modell (*Decision Oriented Instructional Design Model*) nach Niegemann (2020: S. 111 f.). Der systematische Designprozess erstreckt sich dabei von den Format-Festlegungen und der Inhaltsstrukturierung über das Interaktionsdesign, das Multimedia- und Layout-Design bis hin zum übergreifenden Motivationsdes-

ign der adaptiven E-Learning-Umgebung. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte adaptive E-Learning-Umgebung entspricht dem Umfang einer Unterrichtsstunde und lässt sich in ihren Grundzügen den tutoriellen Systemen (siehe 2.2) zuordnen.

Gemäß des dieser adaptiven E-Learning-Umgebung zugrundeliegenden konstruktivistischen Grundverständnisses bilden die jeweiligen Präkonzepte der Lernenden den Ausgangspunkt. Von diesen ausgehend, bestimmen sie adaptiv den weiteren Lernweg und ermöglichen so ein auf den Lernenden abgestimmtes Lernen (siehe Abb. 1). Orientiert an den aktuellen Erkenntnissen der Präkonzeptforschung zum Thema ‚Löslichkeit und Stofftrennung‘ wurden Multiple-Choice-Fragen entwickelt, die den Lernenden in Form eines interaktiven Videos präsentiert werden.

Die Interpretation der Antwortkombinationen der Lernenden im Fragebogen zur Erfassung der Präkonzepte bezüglich der Erhaltung des Salzes im Wasser (Prä-1-Erhebung) und die anschließende Zuteilung auf drei verschiedene Lerninhalte (L1-L3) geschieht ebenfalls auf Grundlage der theoretischen Auseinandersetzung (vgl. Spägele, 2008: S. 132). Während Lernende, deren Prä-1-Erhebung darauf hindeutet, dass sie von der Nicht-Erhaltung des Salzes im Wasser ausgehen, die Lerninhalte L1 erhalten, werden denjenigen Lernenden, die vom Verbleib ausgehen, entweder der Lerninhalt L2 oder L3 zugeteilt. Entscheidend dafür ist, ob sie bereits die Gültigkeit des Massenerhaltungssatzes beim Lösungsvorgang verstehen (L3) oder nicht (L2). Im weiteren Verlauf der E-Learning-Umgebung werden die Präkonzepte hinsichtlich der Reversibilität des Lösungsvorganges erfasst (Prä-2-Erhebung). Daraufhin gelangen die Lernenden entweder zum Lerninhalt ‚Reversibilität‘ oder ‚Irreversibilität‘. Diese Lerninhalte legen je nach den vorher erfassten Präkonzepten unterschiedliche Schwerpunkte, um passend für die jeweiligen Lernenden zu sein.



- L1 = Lerninhalt der Präkonzept-Gruppe *Salz ist verschwunden*
- L2 = Lerninhalt der Präkonzept-Gruppe *Salz ist noch da & wiegt gleich/weniger*
- L3 = Lerninhalt der Präkonzept-Gruppe *Salz ist noch da & wiegt mehr*
- = Übungen mit Unterstützungsmöglichkeiten
- \* = Übungen mit Schwierigkeitsgradwahl

Abb. 1: Aufbau der adaptiven E-Learning-Umgebung

Dabei liefert eine problemorientierte, realitätsnahe Geschichte mit der gleichaltrigen Figur Max als pädagogischen Agenten und als Identifikationsperson für die Lernenden den Rahmen. Es geht um die Zubereitung des Lieblingsessens vieler Kinder: Spaghetti mit Tomatensoße. Max hilft seinem Vater beim Kochen und fragt sich, was mit dem Salz passiert, wenn man es in das Nudelwasser gibt und ob man es anschließend wieder aus dem Wasser zurückgewinnen kann. Die Geschichte, die durch ihre Realitäts- und Alltagsnähe ein konstruktivistisches Ziel verfolgt, wird im Rahmen der Präkonzepterhebung aufgespannt und zieht sich anschließend wie ein roter Faden durch die gesamte adaptive E-Learning-Umgebung.

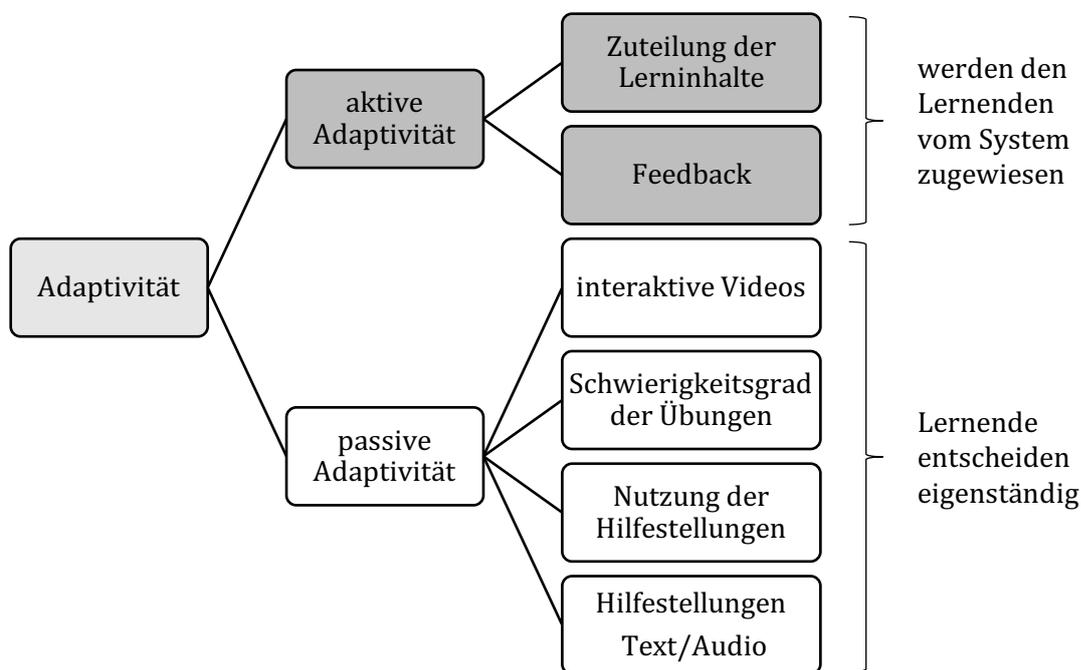


Abb. 2: Übersicht über das Adaptionsdesign der E-Learning-Umgebung

Das Interaktions- und Adaptionsdesign der E-Learning-Umgebung zielt darauf ab, die Prozesse des Wissensaufbaus zu unterstützen und individuell auf die Lernenden abzustimmen (siehe Abb. 2). Im Sinne der aktiven Adaptivität nach Behnke (1995) wird den Lernenden je nach Präkonzepte-Kombination ein darauf abgestimmter Lerninhalt in Form eines interaktiven Erklärvideos präsentiert. Innerhalb dieser interaktiven Videosequenzen werden den Lernenden eigenständige Handlungsentscheidungen ermöglicht, sodass die Lernenden ihren Lernprozess aktiv mitgestalten können. So haben die Lernenden beispielsweise die Möglichkeit, sich den Lösungsvorgang auf Teilchenebene anhand eines zusätzlichen Modells erneut erklären zu lassen. Weitere Elemente im Sinne der passiven Adaptivität nach Behnke (1995) wurden im Rahmen der Übungsteile der adaptiven E-Learning-Umgebung umgesetzt. Bei der Bearbeitung einiger Übungen haben die Ler-

nenden die Wahl zwischen unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus, und bei Bedarf können sie zusätzliche Hilfestellungen in Anspruch nehmen. Die bereitgestellten Unterstützungsmöglichkeiten können dabei je nach individueller Präferenz der Lernenden entweder als Audio oder als Text genutzt werden. Mit Hilfe dieser Unterstützungsangebote ist darüber hinaus gewährleistet, dass die Arbeit mit der adaptiven E-Learning-Umgebung nicht zu Überforderung und Frustration führt, sondern Erfolgserlebnisse ermöglicht. Außerdem weist die Umgebung Interaktionsketten zwischen den Lernenden und der Leitfigur Max auf, die der Interaktion zwischen einer realen Lehrperson und einem Lernenden relativ nahe kommen soll. So erhalten die Lernenden von Max adaptive Rückmeldungen zu ihrem Lernprozess. Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die adaptive Lernumgebung in Bezug auf die Adaptionrate als mikroadaptive E-Learning-Umgebung konzipiert ist. Im Rahmen eines Interaktionsprozesses zwischen den Lernenden und dem System erfolgen die Anpassungen an die Lernenden kontinuierlich, allerdings entgegen der Definition für mikroadaptive E-Learning-Umgebungen vorwiegend auf passiver Adaptivität beruhend. So wird ausgehend von der zugrundeliegenden konstruktivistischen Sicht auf Lernen den Lernenden ausreichend Handlungsspielraum geboten.

Die adaptive E-Learning-Umgebung wurde auf einer Website im Internet integriert, die die Lernenden über einen zur Verfügung gestellten Link aufrufen konnten. Da sich die Umgebung durch ein responsives Webdesign auszeichnet, kann diese von Smartphones, Tablets und Desktop-Geräten unabhängig vom Betriebssystem verwendet werden.

### 3.2 Methode und Stichprobe

Mit Blick auf die dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfragen basiert das Forschungsdesign auf einem Mixed-Methods-Ansatz (vgl. Döring & Bortz, 2016: S. 27). Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage ist die Studie in einem Ein-Gruppen-Prä-Post-Design konzipiert. Da nach der Nutzung der E-Learning-Umgebung nicht mehr von Präkonzepten gesprochen werden kann, wird der Begriff der ‚Schülvorstellung‘ für die Post-Erhebung genutzt. Sowohl die Prä-Erhebung der Präkonzepte als auch die Post-Erhebung der Schülvorstellungen erfolgten mittels eines selbst-entwickelten, quantitativen Online-Fragebogens als Teil der E-Learning-Umgebung (siehe Abb. 1), um die interne Validität nicht durch Einflüsse außerhalb der Intervention zu gefährden (vgl. Shadish, Cook & Campbell, 2002: S. 109 f.). Mögliche Unterschiede werden mit einem T-Test für gepaarte Stichproben analysiert. Die vier erfassten Präkonzepte bzw. Schülvorstellungen in Anlehnung an Spägle (2008) nach einem Lösevorgang von Salz in Wasser sind:

- (i) Existenz des gelösten Salzes (*Salz ist noch da – Salz ist verschwunden*)
- (ii) Verortung des gelösten Salzes (*homogen verteilt – am Boden*)
- (iii) Massenerhaltungssatz (*mehr – gleich viel – weniger*)
- (iv) Reversibilität (*reversibel – irreversibel*)

Hinsichtlich der zweiten Forschungsfrage wurden die Lernwege der Lernenden von der E-Learning-Umgebung getrackt. Durch diese nicht-reaktive Erhebungsmethode wird das Verhalten der Lernenden innerhalb der Umgebung automatisch aufgezeichnet, ohne die

Lernprozesse der Lernenden merklich zu beeinflussen. Anschließend wurden diese Daten im Rahmen einer qualitativen Lernweganalyse ausgewertet. Die Lernwege werden dabei primär unter dem Aspekt des individuellen Vorgehens beim Bearbeiten von Problemstellungen analysiert. Dabei stehen mit Blick auf die zweite Forschungsfrage insbesondere die Handlungsentscheidungen der Lernenden hinsichtlich der Schwierigkeitsgradwahl und der Nutzung von Unterstützungsmöglichkeiten im Fokus.

Die adaptive E-Learning-Umgebung wurde vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie auf freiwilliger Basis im Rahmen des Homeschoolings in sechs dritten Klassen der Grundschule eingesetzt. Sie wurde als reine Selbstlernumgebung und als freiwilliges Zusatzangebot in den Homeschooling-Lernplan, der in allen teilnehmenden Klassen während der Schulschließungen lediglich aus Mathematik und Deutsch bestand, eingebettet. Die Probandengruppe besteht aus 48 Kindern. Von den einzelnen Lehrpersonen ist bekannt, dass die Lernenden in keiner der sechs Klassen zuvor im Unterricht selbstständig mit elektronischen Geräten wie Tablets oder Computern gearbeitet haben. Insofern ist davon auszugehen, dass die meisten Kinder der Probandengruppe über geringe bis keine E-Learning-Erfahrungen verfügten und die Bearbeitung der adaptiven E-Learning-Umgebung eine neue Lernsituation für sie darstellte. Durch die Homeschooling-Situation lässt sich die Probandengruppe darüber hinaus nicht näher beschreiben.

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 (I) Wirkung auf die Präkonzepte der Lernenden

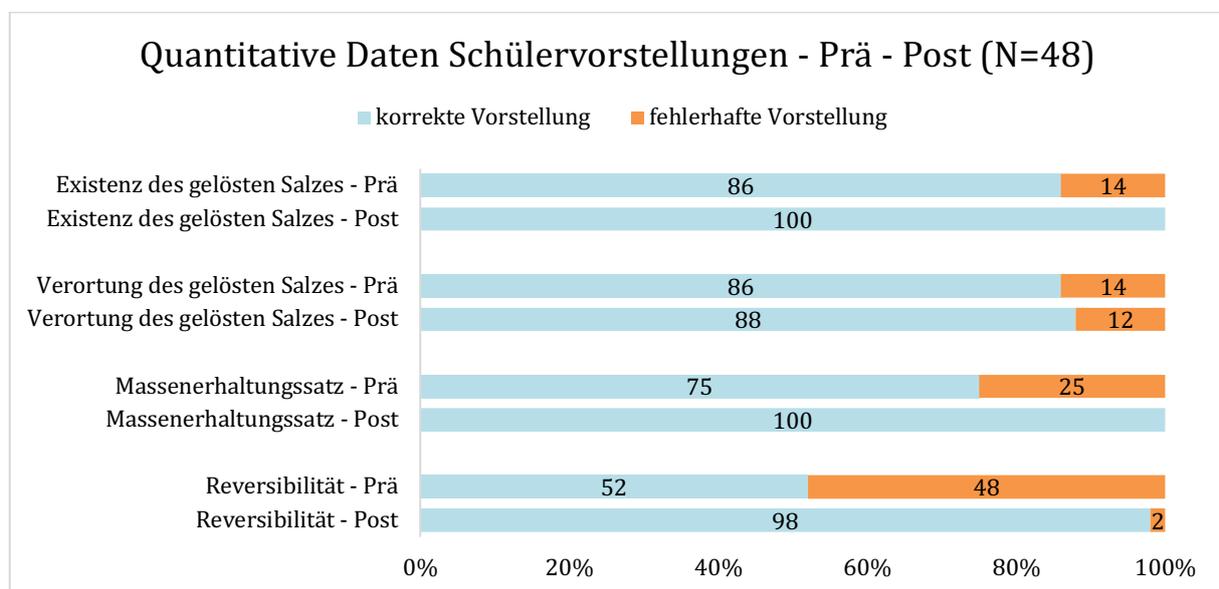


Abb. 3: Quantitative Daten der Erhebung der Schülervorstellungen – Prä-Post

Bezüglich des ersten erfassten Präkonzepts hinsichtlich der Existenz des gelösten Salzes (i) zeigt sich, dass bei der Prä-Erhebung 14 % der Kinder vom Verschwinden des Salzes

ausgehen. Bei der Post-Erhebung der Schülervorstellungen hingegen sind alle Kinder (100 %) vom Vorhandensein des Salzes nach dem Lösungsvorgang im Wasser überzeugt. Diese positive Veränderung ist signifikant ( $\Delta M_{Prä-Post} = 0.14$ ;  $p = .012$ ;  $d = 0.35$ ; siehe Abb. 3).

Hinsichtlich der Verortung des gelösten Salzes (ii) lässt sich im Gegensatz zum ersten erfassten Präkonzept nur eine sehr kleine Veränderung erkennen ( $\Delta M_{Prä-Post} = 0.054$ ;  $p > .05$ ). Während bei der Prä-Erhebung bereits 86 % der Kinder das Salz homogen im Wasser verorten, sind es bei der Post-Erhebung lediglich 2 % mehr. Um diesem Ergebnis auf den Grund zu gehen, wurde ein schülerspezifischer Prä-Post-Vergleich angestellt. Auffällig ist hierbei, dass vier der fünf Kinder, die das Salz bei der Prä-Erhebung noch fälschlicherweise am Boden verortet haben, bei der Post-Erhebung von einer homogenen Verteilung des gelösten Salzes im Wasser ausgehen. Lediglich ein Kind bleibt bei seiner fehlerhaften Vorstellung und verortet das Salz auch bei der Post-Erhebung ausschließlich am Boden des Wasserglases. Bemerkenswert ist zudem, dass vier der fünf Kinder, die das Salz bei der Post-Erhebung am Boden verorten, dieses bei der Prä-Erhebung noch als homogen verteilt im Glas erkannt haben. Allerdings haben alle diese fünf Kinder die Übung 2, deren Fokus auf diesem Aspekt liegt, auf Anhieb richtig gelöst.

Bei der Abfrage des Gewichts der Wasser-Salz-Lösung (iii) wird die Vermutung überprüft, dass die Lernenden nach Bearbeitung der adaptiven E-Learning-Umgebung in der Lage sind, die Gültigkeit des Massenerhaltungssatzes beim Lösungsvorgang zu erkennen. Hier zeigt sich eine deutliche Veränderung. Während bei der Prä-Erhebung lediglich 75 % der Kinder in der Lage sind, die Gültigkeit des Massenerhaltungssatzes beim Lösungsvorgang zu erkennen, sind es bei der Post-Erhebung erneut 100 %. Diese Veränderung ist signifikant ( $\Delta M_{Prä-Post} = 0.25$ ;  $p = .002$ ;  $d = 0.44$ ).

Eine deutliche positive Veränderung der Schülervorstellungen kann bei der Reversibilität des Lösungsvorganges (iv) erkannt werden. Vor Bearbeitung der adaptiven E-Learning-Umgebung vermuten lediglich 52 % der Kinder eine Reversibilität des Lösungsvorganges. Bei der abschließenden Post-Erhebung sind es dagegen 98 %. Im Prä-Post-Vergleich ist auch diese Veränderung signifikant ( $\Delta M_{Prä-Post} = 0.48$ ;  $p < .001$ ;  $d = 0.51$ ). Aus diesen positiven Veränderungen lässt sich schließen, dass sich der Einsatz der adaptiven E-Learning-Umgebung positiv auf die Präkonzepte der Lernenden ausgewirkt hat. Aufgrund dieser Ergebnisse kann von einer insgesamt guten Wirksamkeit der adaptiven E-Learning-Umgebung in diesem konkreten Lehr-Lernsetting ausgegangen werden.

### 3.3.2 (II) Lernwege in Bezug auf adaptive Elemente

Wie bereits in Kapitel 3.1 näher beschrieben, wurde den Probanden, ausgehend von ihren jeweiligen Einschätzungen innerhalb der Prä-1-Erhebung, einer der drei Lerninhalte zum Thema Salzlösen (L1, L2, L3) zugeordnet. Ausgehend von dieser Zuteilung wurden die Lernenden für die Lernweganalyse in drei Präkonzept-Gruppen (G1, G2, G3) unterteilt:

- G1 Die Kinder, denen die Lerninhalte L1 zugeordnet wurden, weil diese von der Nicht-Erhaltung des Salzes im Wasser ausgehen, bilden die Gruppe 1 (6, 13 % der Stichprobe).

- G2 Die Gruppe 2 (9, 20 % der Stichprobe) umfasst die Probanden, denen die Lerninhalte L2 zugeordnet wurden, weil sie im Gegensatz zu den Kindern der G3 noch nicht in der Lage sind, die Gültigkeit des Massenerhaltungssatzes beim Lösungsvorgang zu erkennen.
- G3 Lernende, die sowohl vom Verbleib des Salzes im Wasser ausgehen als auch die Gültigkeit des Massenerhaltungssatzes beim Lösungsvorgang verstehen, befassen sich mit den Lerninhalten L3 und bilden die Gruppe 3 (30, 67 % der Stichprobe).

Die Ergebnisse der Lernweganalyse zeigen, dass die Lernenden dieser Studie ihren Lernweg innerhalb der adaptiven E-Learning-Umgebung insgesamt sehr heterogen gestalten. Die Heterogenität schlägt sich nicht nur gruppenübergreifend nieder, sondern auch innerhalb der einzelnen Präkonzept-Gruppen. Auch Lernende mit ähnlichen Lernausgangslagen hinsichtlich ihrer Präkonzepte weisen im weiteren Verlauf ihres Lernweges ein sehr heterogenes Verhalten bezüglich ihrer Handlungsentscheidungen bei der Schwierigkeitsgradwahl und der Nutzung von Unterstützungsmöglichkeiten auf. Dieses Ergebnis war nicht zu erwarten, weil in der Literatur davon ausgegangen wird, dass Lernende mit ähnlichen Präkonzepten sich hinsichtlich ihres Lernverhaltens nicht sonderlich unterscheiden. In G1 geht das heterogene Lernverhalten besonders deutlich aus der Nutzung von Unterstützungsangeboten hervor. Während die eine Hälfte der Kinder das zusätzliche Video-Angebot oder die Übungs-Tipps annimmt, lehnt die andere Hälfte diese konsequent ab. Das heterogene Lernverhalten in G2 zeigt sich hingegen insbesondere hinsichtlich des adaptiven Elements der Schwierigkeitsgradwahl. So gibt es hier einerseits Kinder, die konsequent die leichten Übungen wählen, und andererseits gibt es Lernende, die sich konsequent für die schwierigen Übungen entscheiden. Gemein haben diese beiden Lernmuster, dass alle Übungen der E-Learning-Umgebung auf Anhieb richtig gelöst wurden. Die Heterogenität der einzelnen Lernwege, die der G3 zuzuordnen sind, zeigt sich wie auch schon bei G2 anhand der Schwierigkeitsgradwahl besonders deutlich. So lässt sich bei den Übungen keine klare Tendenz zu einem der Schwierigkeitsgrade erkennen. Nachdem zunächst die gruppeninternen Auffälligkeiten dargestellt wurden, werden im Folgenden die gruppenübergreifenden Erkenntnisse thematisiert.

Hinsichtlich des adaptiven Elements der Schwierigkeitsgradwahl ist besonders auffällig, dass ein höherer Anteil der Lernenden, die ausgehend von ihren Einschätzungen bei der Prä-1-Erhebung eine vermeintlich bessere Lernausgangslage aufweisen (G3), den Schwierigkeitsgrad ‚leicht‘ wählt als Lernende mit schlechterer Lernausgangslage (G1 und G2). Außerdem zeigen die Lernenden mit vermeintlich besserer Lernausgangslage hinsichtlich der Annahme des Unterstützungsangebotes zum besseren Verständnis des Teilchenmodells ein ähnliches Verhalten. Auch hier sind es mehrheitlich die Lernenden der G3, die das Unterstützungsangebot freiwillig nutzen. Trotz vermeintlich besserer Lernausgangslage haben offenbar auch diese Lernenden das Bedürfnis nach zusätzlicher Unterstützung.

Generell ist hinsichtlich der Nutzung anderer Unterstützungsangebote ein heterogenes Lernverhalten der Kinder innerhalb der adaptiven E-Learning-Umgebung zu erkennen. So gibt es beispielsweise innerhalb einer Präkonzept-Gruppe sowohl Lernende, die

Unterstützungsangebote konsequent ablehnen als auch Lernende, die diese konsequent nutzen. Lediglich in der Art der Nutzung der Unterstützungsangebote scheinen sich die Lernenden gruppenübergreifend annähernd homogen zu verhalten. So wird die Audio-Hilfestellung in dieser Lernumgebung mehrheitlich der textuellen vorgezogen.

#### 4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zum einen die Wirksamkeit von adaptiven E-Learning-Umgebungen auf die Präkonzepte der Lernenden der Grundschule festzustellen. Zum anderen sollte die Pilotstudie einen Einblick in deren Lernverhalten in Bezug auf die Adaptivität geben. Es konnte mittels Prä-Post-Vergleich eine positive Veränderung bezüglich der erhobenen Präkonzepte nach der Intervention und somit die Wirksamkeit in diesem konkreten Lehr-Lernszenario festgestellt werden.

Eine interessante Ausnahme geht aus den Ergebnissen hinsichtlich der Verortung des gelösten Salzes (ii) hervor: Bei einzelnen Lernenden ist nach der Intervention ein Wechsel von wissenschaftlich tragfähigen Präkonzepten hin zu fehlerhaften Konzepten zu verzeichnen. Dies zeigt, dass es sich auch bei wissenschaftlich tragfähigen Präkonzepten zu neuen Lerninhalten durchaus um instabile Konstrukte handeln könnte. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, dass die neu geschaffene Fehlvorstellung durch die Intervention hervorgerufen wurde – vermutlich bedingt durch die hohe Komplexität des zu vermittelnden Lerninhalts. Deshalb wird eine weitere kontinuierliche Diagnostik der Präkonzepte empfohlen.

Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigen, dass ausgehend von einer ähnlichen Lernausgangslage hinsichtlich der Präkonzepte nicht unbedingt auf den weiteren Lernweg der Lernenden geschlossen werden kann. Dies gilt auch für leistungsstarke Lernende, so dass z. B. Hilfestellungen im Unterricht nicht ausschließlich für leistungsschwächere Lernende angeboten und entwickelt werden sollten. Die Entscheidungen für den Grad der Schwierigkeit und das Nutzen von Hilfen wird von unterschiedlichen inneren und äußeren Faktoren beeinflusst, die in dieser Studie jedoch nicht untersucht wurden. Da die Lernenden anonym bleiben, ist eine Interpretation von Gründen spekulativ. Denkbar wäre der Einfluss des (naturwissenschaftlichen) Selbstkonzepts, die Fähigkeit die eigene Leistung einzuschätzen, Neigungen zu bestimmten Medien oder eine generelle Lernmotivation der Lernenden. Auch äußere Umstände, wie die Freiwilligkeit der Nutzung der Umgebung und das Lernen mit dem Tablet werden einen Einfluss auf die Nutzung haben. Weitergehend wird vermutet, dass die Komplexität der Lernvoraussetzung eines Lernenden nicht vollständig durch drei Präkonzept-Fragen erfasst werden kann. Diese Faktoren sollten in weiterführenden, aufbauenden Studien thematisiert werden.

Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen die Notwendigkeit einer prozessorientierten Diagnostik auch in adaptiven E-Learning-Umgebungen. Diese sollten demnach als Kreislauf, bestehend aus fortwährender Diagnose und darauf adaptiv angepassten Lernwegen, konzipiert werden. Daher sollte davon abgesehen werden, Lernenden mit einer anfangs eher ungünstigen Lernausgangslage konsequent nur leichte Aufgaben und sehr

viel Unterstützung und Lernenden mit einer anfangs vermeintlich günstigen Lernausgangslage ausschließlich schwere Aufgaben mit wenig Unterstützung anzubieten. Es gilt demnach, ein Schubladendenken seitens der Lehrpersonen zu überwinden, um den Lernenden in adaptiven E-Learning-Umgebungen einerseits ein Lernen auf individuellen Wegen und andererseits Entscheidungsfreiräume zu ermöglichen. Diese Erkenntnisse lassen sich auch auf den Umgang mit der Heterogenität der Lernenden im Unterricht übertragen.

Ausgehend von den Erkenntnissen, die diese Arbeit hervorgebracht hat, lassen sich die eingangs beschriebenen hohen Erwartungen, die mit adaptiven E-Learning-Umgebungen in Bezug auf den Umgang mit Heterogenität verbunden werden, in diesem konkreten Lehr-Lernszenario bestätigen. Die im Rahmen dieser Arbeit erstellte adaptive E-Learning-Umgebung ermöglicht den Lernenden ein Lernen auf individuellen Lernwegen, und diese werden von den Lernenden auch nachweislich begangen.

Die Studie lässt vermuten, dass adaptive E-Learning-Umgebungen dabei helfen können, die Herausforderungen, die mit der Heterogenität der Lernenden einhergehen, besser zu bewältigen und dadurch Möglichkeiten bieten, den pädagogischen Handlungsspielraum zu erweitern. Insofern bleibt zu hoffen, dass das Potenzial adaptiver E-Learning-Umgebungen im Zuge der zunehmenden Digitalisierung der Schulen genutzt wird und adaptive E-Learning-Umgebungen vermehrt als Methode zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte in den herkömmlichen Unterricht integriert werden. Um praxistaugliche und zugleich theoretisch fundierte Konzepte zu entwickeln, sind weitere Forschungen auf diesem Gebiet, die explizit auf das Lernen mit adaptiven E-Learning-Umgebungen in der Grundschule fokussieren, wünschenswert.

Die E-Learning-Umgebung ist unter <https://www.nw-homeschooling-bw.de/Wo-IstDasSalz/> für Schüler\*innen nutzbar.

## Literatur

- Barke, Hans-Dieter (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer.
- Bauer, Mathias; Schuldt, Jacqueline; Krömker, Heidi; Bau, Beatrix & Webers, Marie Jeanne (2019). Förderung der Lernmotivation durch adaptives E-Learning: Komparative Evaluation von Techniken zur adaptiven Nutzerführung. In Pinkwart, Niels & Konert, Johannes (Hg.), *DeLFI 2019*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V., S. 163-174. [https://doi.org/10.18420/delfi2019\\_255](https://doi.org/10.18420/delfi2019_255)
- Behnke, Christian (1995). *Computergestützte Lern- und Arbeitsumgebung. Ein bildungstechnologischer Ansatz und seine pädagogische Begründung*. Frankfurt (Main): Peter Lang.
- Çakir, Recep (2019). Effect of Web-Based Intelligence Tutoring System on Students' Achievement and Motivation. *Malaysian Online Journal of Educational Technology* 7(4), S. 45-59.
- Döring, Nicola & Bortz, Jürgen (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler* (5. Aufl.). Heidelberg: Springer.

- Gerard, Libby; Matuk, Camillia; McElhaney, Kevin & Linn, Marcia C. (2015). Automated, adaptive guidance for K-12 education. In *Educational Research Review* 15, S. 41-58. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.04.001>
- Harrer, Andreas & Martens, Alke (2004). Adaptivität in eLearning-Standards - ein vernachlässigtes Thema? In Engels, Gregor & Seehusen, Silke (Hg.), *DeLFI 2004: Die 2. e-Learning Fachtagung Informatik, Tagung der Fachgruppe e-Learning der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 163-174.
- Hartinger, Andreas & Murmann, Lydia (2018). Schülervorstellungen erschließen – Methoden, Analyse, Diagnose. In Adamina, Marco; Kübler, Markus; Kalcsics, Katharina; Bietenhard, Sophia & Engeli, Eva (Hg.), „*Wie ich mir das denke und vorstelle...*“ *Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 51-62.
- Hasselhorn Marcus & Gold, Andreas (2009). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren* (2. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Heran-Dörr, Eva (2011). *Von Schülervorstellungen zu anschlussfähigem Wissen im Sachunterricht*. SINUS-Transfer Grundschule Naturwissenschaften. <[http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material\\_aus\\_SGS/Handreichung\\_Heran-Doerr.pdf](http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_SGS/Handreichung_Heran-Doerr.pdf)> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Herzig, Bardo (2014). *Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht?* Gütersloh: Bertelsmann Stiftung. <[https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie\\_IB\\_Wirksamkeit\\_digitale\\_Medien\\_im\\_Unterricht\\_2014.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie_IB_Wirksamkeit_digitale_Medien_im_Unterricht_2014.pdf)> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Hillmayr, Delia; Reinhold, Frank; Ziernwald, Lisa & Reiss, Kristina (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Münster: Waxmann. <<https://www.waxmann.com/?eID=texte&pdf=3766Volltext.pdf&typ=zusatztext>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Hoelscher, Gerald R. (1994). *Kind und Computer. Spielen und Lernen am PC*. Berlin: Springer.
- Kalyuga, Slava (2006). Assessment of learners' organised knowledge structures in adaptive learning environments. In *Applied Cognitive Psychology* 20, S. 333-342. <https://doi.org/10.1002/acp.1249>
- Kalyuga, Slava & Sweller, John (2005). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptive E-learning. In *Educational Technology Research and Development* 53, S. 83-93. <https://doi.org/10.1007/BF02504800>
- Karbautzki, Louisa & Breiter, Andreas (2011). Organisationslücken bei der Implementierung von E-Learning in Schulen. In Rohland, Holger; Kienle, Andrea & Friedrich, Stefan (Hg.), *DeLFI 2011*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V., S. 221-230. <<https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/4754>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)

- Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald & Komorek, Michael (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdiaktische Forschung und Entwicklung. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3(3), S. 3-18.
- Kerres, Michael (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote* (5. Aufl.). Berlin: Walter de Gruyter.
- Kravčík, Milos; Ullrich, Carsten & Igel, Christoph (2019). Künstliche Intelligenz in Bildungs- und Arbeitsräumen. Internet der Dinge, Big Data, Personalisierung und adaptives Lernen. In Hirsch-Kreinsen, Hartmut & Karačić, Anemari (Hg.), *Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt*. Bielefeld: Transcript, S. 47-68.
- Kultusministerkonferenz (2015). *Empfehlungen zur Arbeit in der Grundschule*. <[https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2015/Empfehlung\\_350\\_KMK\\_Arbeit\\_Grundschule\\_01.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2015/Empfehlung_350_KMK_Arbeit_Grundschule_01.pdf)> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Lange-Schubert, Kim & Hartinger, Andreas (2017). Lehrerkompetenzen im Sachunterricht. In Hartinger, Andreas & Lange-Schubert, Kim (Hg.), *Sachunterricht – Didaktik für die Grundschule* (4. überarbeitete Aufl.). Berlin: Cornelsen, S. 26-37.
- Lehmann, Robert (2010). *Lernstile als Grundlage adaptiver Lernsysteme in der Software-schulung* (Medien in der Wissenschaft, Bd. 54). Münster: Waxmann.
- Leutner, Detlev (2009). Adaptivität und Adaptierbarkeit beim Online-Lernen. In Issing, Ludwig J. & Klimsa, Paul (Hg.), *Online-Lernen: Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. München: Oldenbourg, S. 115-123.
- Ma, Wenting; Adesope, Olusola O.; Nesbit, John C. & Liu, Qing (2014). Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis. In *Journal of Educational Psychology* 106(4), S. 901-918. <https://doi.org/10.1037/a0037123>
- Mandl, Heinz & Hron, Aemilian (1986). Wissenserwerb mit Intelligenten Tutoriellen Systemen. In *Unterrichtswissenschaft* 14(4), S. 358-371.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018). KIM-Studie 2018. Kindheit, Internet, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland. <<https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2018/KIM>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Meier, Christoph (2020). Adaptive Lernumgebungen. Heterogenität und das Bedürfnis nach Personalisierung. In *eLearning Journal: Trend Report 2020/2021* 3, S. 44-47. <[https://www.scil.ch/wp-content/uploads/2020/08/Meier-2020-Adaptive-Lernumgebungen\\_eLJ2020-03.pdf](https://www.scil.ch/wp-content/uploads/2020/08/Meier-2020-Adaptive-Lernumgebungen_eLJ2020-03.pdf)> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Möller, Kornelia (2018). Die Bedeutung von Schülervorstellungen für das Lernen im Sachunterricht. In Adamina, Marco; Kübler, Markus; Kalcsics, Katharina; Bietenhard, Sophia & Engeli, Eva (Hg.), „*Wie ich mir das denke und vorstelle...*“ *Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 35-50.

- Möller, Kornelia (2019). Lernen von Naturwissenschaften heißt: Vorstellungen verändern. In Labudde, Peter & Metzger, Susanne (Hg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaften. 1.–9. Schuljahr* (3., erweiterte und aktualisierte Aufl.). Bern: Haupt, S. 59-74.
- Niegemann, Helmut M. (2001). *Neue Lernmedien – konzipieren, entwickeln, einsetzen*. Göttingen: Hans Huber.
- (2020). Instructional Design. In Niegemann, Helmut & Weinberger, Armin (Hg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen*. Berlin: Springer, S. 95-151.
- Pech, Detlef & Kaiser, Astrid (2004). Lernen lernen? Grundlagen für den Sachunterricht. In Kaiser, Astrid & Pech, Detlef (Hg.), *Lernvoraussetzungen und Lernen im Sachunterricht. Basiswissen Sachunterricht* (Bd. 4). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 3-28.
- Rey, Günter Daniel (2009). *E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. Bern: Hans Huber.
- Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin & Duit, Reinders (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin: Springer.
- Schönknecht, Gudrun & Maier, Petra (2012). *Diagnose und Förderung im Sachunterricht. SINUS-Transfer Grundschule Naturwissenschaften*. <[http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material\\_aus\\_SGS/Handreichung\\_Schoenknecht\\_Maier.pdf](http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_SGS/Handreichung_Schoenknecht_Maier.pdf)> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Schrenk, Marcus; Gropengießer, Harald; Groß, Jorge; Hammann, Marcus; Weitzel, Holger & Zabel, Jörg (2019). Schülervorstellungen im Biologieunterricht. In Groß, Jorge; Hammann, Marcus; Schmiemann, Phillip & Zabel, Jörg (Hg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*. Heidelberg: Springer Spektrum, S. 3-20.
- Shadish, William R.; Cook, Thomas D. & Campbell, Donald T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized casual inference*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Spägele, Eckart (2008). *Naturwissenschaftliches Vorverständnis von Schulanfängern*. Dissertation, Pädagogische Hochschule Weingarten. <<https://hsbwgt.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/34/file/DissertationSpaegele.pdf>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Tulodziecki, Gerhard; Hagemann, Wilhelm; Herzig, Bardo; Leufen, Stefan & Mütze, Christa (1996). *Neue Medien in den Schulen. Projekte - Konzepte - Kompetenzen. Eine Bestandsaufnahme*. Gütersloh: Verlag Bertelsmann Stiftung.
- Weddehage, Karen (2011). *Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Lernsoftware im Sachunterricht*. <<https://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebene1/superworte/medien/weddeh.pdf>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)
- Wodzinski, Rita (2006). *Lernschwierigkeiten erkennen – verständnisvolles Lernen fördern* (überarbeitete Fassung). SINUS-Transfer Grundschule Naturwissenschaften. <<https://www.schulportal-thueringen.de/get-data/ad4e7141-fee2-40a8-a4bb-dc8ca321965e/N4.pdf>> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)

## Über die Autor\*innen

**Pia Schmidt** ist seit Februar 2021 Lehramtsanwärterin für das Grundschullehramt an der Panoramaschule in Plochingen. Sie studierte an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg die Fächer Chemie und Mathematik für das Lehramt an Grundschulen.

Korrespondenzadresse: [schmidt@panoramaschule-plochingen.de](mailto:schmidt@panoramaschule-plochingen.de)

**Julian Küsel** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. An der Universität Bremen studierte er Chemie und Geschichte für das Lehramt in SI/SII. Nebenberuflich arbeitet er seit 8 Jahren in der digitalen (Lehr-)Medienproduktion. In seiner Dissertation entwickelt und beforcht er die digitale Hochschullehre in der Lehramtsausbildung der Chemie und des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts.

Korrespondenzadresse: [julian.kuesel@ph-ludwigsburg.de](mailto:julian.kuesel@ph-ludwigsburg.de)