

Experimentbasiertes Lernen in der Schulbildung. Wie sich der naturwissenschaftliche Unterricht effizient gestalten lässt

Diana Dikke, imc information multimedia communication AG

Wie lässt sich der naturwissenschaftliche Unterricht effizient gestalten? Wie kann man einem Schulkind die wissenschaftlichen Denk- und Vorgehensweise vermitteln? Wie wird es ermöglicht, dass jedes Schulkind naturwissenschaftliche Experimente selbst durchführen kann? Die Anwendung von Online-Laboren und unterstützenden Lernanwendungen liefern die Antworten auf diese Fragen.

Während viele Bereiche des Alltagslebens, inklusive öffentliche Dienste, den Arbeitsplatz, und die private Kommunikation, bereits der Digitalisierung unterzogen worden sind, bleibt die Schulbildung kaum von den Innovationen betroffen. Die Gründe dafür sind vielfältig: von der mangelnden technischen Ausstattung der Schulen, bis zu den fehlenden pädagogischen Konzepten, die die Einbindung von den digitalen Lernumgebungen und Medien in den Schulunterricht fördern konnten. Vor allem im naturwissenschaftlichen Unterricht gibt es Lücken, die es zu schließen gilt. Unter der Berücksichtigung der Anforderungen des Arbeitsmarktes an die heutigen und zukünftigen Fachkräfte, wird es besonders wichtig bereits in der Schule eine solide Grundlage für die naturwissenschaftliche Ausbildung zu legen. In diesem Zusammenhang stellt sich eine Reihe von Fragen der pädagogischen Art: Wie begeistert man SchülerInnen für die Naturwissenschaften? Wie lässt sich der Unterricht gestalten, sodass der Fokus auf die Kompetenzentwicklung und die Praxiserfahrung gelegt wird? Wie kann die Nutzung von den neuartigen Lerntechnologien in den Unterricht sinnvoll eingebunden werden? Welche Lernanwendungen und Medienformate sind am besten geeignet um den Lerninhalt zu vermitteln? In den folgenden Abschnitten wird es auf diese Fragen eingegangen, indem die Konzepte des experimentbasierten Lernens („*Inquiry learning*“) und des umgedrehten Unterrichts („*Flipped classroom*“) vorgestellt und erläutert werden. Des Weiteren, werden einige der europäischen und deutschen Initiativen vorgestellt, die der Verbreitung des technologiegestützten Lernens in den Schulen beisteuern.

Experimentbasiertes Lernen

Das experimentbasierte Lernen („*Inquiry learning*“) ist als ein Lernansatz definiert, der einen Prozess der Erforschung der natürlichen oder materiellen Welt beinhaltet, und der die SchülerInnen dazu verleitet Fragen zu stellen, Entdeckungen zu machen und diese Entdeckungen auf der Suche nach neuen Erkenntnissen zu testen [1]. In einem Lernprozess verfolgen die SchülerInnen einen wissenschaftlichen Ansatz: beginnend mit der Formulierung von den Forschungsfragen und Hypothesen, über die Durchführung eines Experimentes, bis zur Zusammenfassung der Ergebnisse. Diese Vorgehensweise hilft den SchülerInnen dabei ein tiefes, konzeptuelles Wissen über die naturwissenschaftlichen Phänomene zu erlangen [2] und die für das wissenschaftliche Arbeiten relevanten Kompetenzen, wie Planen und Schlussfolgern, zu entwickeln. Allerdings hat sich gezeigt, dass die SchülerInnen öfters Schwierigkeiten haben, die einzelnen Lernschritte selbständig durchzuführen, und dass das Experimentieren ohne Anleitung ineffizient ist [3]. Das bedeutet, dass die SchülerInnen eine strukturierte Vorlage brauchen, die sie durch die Schritte des Lernprozesses führt und zu jedem Schritt Unterstützung bietet [2].

Virtuelle Lernumgebungen, die die Online-Labore und Lernanwendungen für das experimentbasierte Lernen beinhalten, liefern eine solche Vorlage. Insbesondere die speziellen Lernanwendungen, die durch die Lehrperson vor dem Unterricht an das Thema und die Bedürfnisse der Schüler angepasst werden können, sind dafür geeignet die SchülerInnen anzuleiten. Zum Beispiel, existieren Lernanwendungen die die SchülerInnen darin unterstützen die Forschungsfragen und Hypothesen zu formulieren, die Experimente zu planen, die durch ein Experiment gewonnenen Daten zu analysieren, und die Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Lehrperson kann dabei eine „Verblässung-“ („Fading-“) Strategie anwenden: das bedeutet, dass für die ersten Unterrichtsstunden die Lernanwendungen durch die Lehrperson fast komplett befüllt werden, sodass die SchülerInnen nur einige wenige Eingaben zu ergänzen haben. In den Folgestunden, mit der steigenden Erfahrung der Schülerinnen, werden die Lernanwendungen immer weniger befüllt, sodass die Schülerinnen immer mehr Eingaben machen müssen und das Niveau der Selbstständigkeit im Lernprozess steigt [2]. Solche Lernanwendungen sorgen dafür, dass die Schülerinnen den Forschungsprozess verstehen und nach gewisser Zeit auch selbständig durchführen können. Des Weiteren, helfen solche Anwendungen den SchülerInnen typische

Fehler zu vermeiden und ihre Aufmerksamkeit auf den wichtigsten Informationen bzw. Handlungen zu fokussieren.

| | | Vary | Keep constant | Measure |
|------------|----------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Properties | Mass object | Mass object | Density fluid | Floatability |
| | Volume object | 300.00 g | 2.10 g/cm ³ | |
| | Density fluid | 200.00 cm ³ | | |
| Measures | Floatability | | | |
| | Density object | | | |

Abbildung 1: Experimentbasierte Lernanwendungen: „Hypothesis Scratchpad“ (oben, [4]) und „Experiment Design Tool“ (unten, [5]) Ferngesteuerte und virtuelle Labore

Eine Schlüsselrolle in einem experimentbasierten Lernprozess spielen die Online-Labore. Online-Labore bieten naturwissenschaftliche Experimente an, die durch die SchülerInnen mithilfe eines Computers durchgeführt werden können. Es wird zwischen ferngesteuerten und virtuellen Online-Laboren unterschieden.

Ein ferngesteuertes Labor ist ein echtes Labor, das sich in einer Forschungseinrichtung befindet und mithilfe einer web-basierten Benutzeroberfläche gesteuert werden kann. Ein beeindruckendes Beispiel für ein solches Labor ist das

Faulkes Teleskop. Es gibt zwei echte Teleskope: ein Teleskop befindet sich in Australien und ein andres auf Hawaii. Eine Lehrperson kann ein Zeitfenster von 20 Minuten für eine Unterrichtsstunde reservieren und zusammen mit SchülerInnen eines der beiden Teleskope steuern. Dabei kann man Koordinaten von einem Raumobjekt, wie zum Beispiel einer Galaxie, angeben, sodass das Teleskop Bilder von dem ausgewählten Objekt aufnimmt. Diese Bilder sind später in einem Archiv verfügbar, können heruntergeladen und mit speziellen Anwendungen analysiert werden.

The image shows three panels of the Faulkes Telescope Online-Lab interface:

- (1) Slot booking:** A calendar for February 2015 with a grid of slots. A slot on February 18th is highlighted in yellow. Text indicates "4 slots on 18 February 2015" and lists observing times: "Siding Spring: 11:00 - 11:30 | 2-meter" and "Siding Spring: 12:45 - 13:00 | 2-meter".
- (2) Add a target:** A form to select a target. The "Add a target" section has fields for "Target name" (e.g., "M82" or "Eagle Nebula"), "Right Ascension" (191.3946083), and "Declination" (27.060725). The "Or select a target" section shows a list of galaxies, with "NGC 4673" selected. A description for NGC 4673 is visible: "This is an elliptical galaxy in the M96 group of galaxies. At its centre is believed to be a super-massive black hole with a mass of about 200 million suns! A 30s colour exposure is recommended for this faint galaxy."
- (3) Observation details:** A progress bar showing "ON SKY NGC1514" with stages: Pending, Observing, Processing, Complete. Below is a card for "Asteroid moons" with an image of an asteroid and text: "Planets aren't the only objects with moons; the asteroid 243 Ida has a moon called Dactyl." A "Network Overview" panel on the right shows a star map for Haleakalā with coordinates: "Tue, 09 Dec 2014 10:46:41 GMT" and "20.7°N, 156.26°W".

Abbildung 2: Die Benutzeroberfläche des Faulkes Teleskop Online-Labors: (1) Reservierung eines Zeitfensters, (2) Auswahl des Beobachtungsobjektes, (3) Beobachtung [6]

Ein virtuelles Labor ist eine Computersimulation eines naturwissenschaftlichen Experimentes. Ein anschauliches Beispiel für ein virtuelles Labor liefert das von der Universität Twente (Niederlande) entwickelte Online-Labor „Splash: Virtual Buoyancy Laboratory“. Dieses Online-Labor bietet eine Reihe von Simulationen zum Thema Archimedisches Gesetz und Auftrieb. Die SchülerInnen können sich entscheiden welche Parameter sie variieren oder auch konstant halten möchten (wie z.B. die Masse und das Volumen des Objektes, sowie die Dichte des Objektes und der Flüssigkeit). Sie können auch die Werte dieser Parameter einstellen und verschiedene Experimente simulieren: das Verhalten der verschiedenen Objekte im

Wasser oder in anderen Flüssigkeiten, den Austrieb des Wassers durch die sinkenden Objekte, die Wirkung von den physikalischen Kräften auf die sinkenden Objekte, usw.

Object properties

Mass: 100.00 g
 Volume: 50.00 cm³
 Density: 2.00 g/cm³
 Fluid: 1.00 g/cm³ Water

Lab

Beakers A-F are shown. Beaker E is highlighted.

Results

| | m | V | ρ | Fluid | Outcome |
|---|-----|-----|--------|-------|---------|
| A | 250 | 250 | 1.00 | 1.00 | ★ 🗑️ |
| B | 150 | 150 | 1.00 | 1.03 | ★ 🗑️ |
| C | 50 | 50 | 1.00 | 1.26 | ★ 🗑️ |
| D | 50 | 100 | 0.50 | 1.00 | ★ 🗑️ |
| E | 100 | 50 | 2.00 | 1.00 | 🔻 🗑️ |
| F | 400 | 300 | 1.33 | 1.00 | 🔻 🗑️ |

Abbildung 3: Die Benutzeroberfläche des virtuellen Online-Labors „Splash: Virtual Buoyancy Laboratory“. Experimenteinstellung „Relative Dichte“ („Relative Density“) [7]

Zahlreiche Studien untersuchten die Auswirkung des Einsatzes von den Online-Laboren im Unterricht auf den Lernfortschritt im Vergleich zu den echten Laboren. Die Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass es keinen Unterschied im Wissensstand der SchülerInnen gab, die die Experimente mithilfe der Online-Labore oder in einem echten Labor durchgeführt haben (die beiden Gruppen der SchülerInnen zeigten in einem abschließenden Test gleich gute Ergebnisse) [8]. Dies bedeutet, dass die Online-Labore die Wissensaneignung durch die SchülerInnen gleich gut wie die echten Labore unterstützen können. Gleichzeitig haben die Online-Labore einige Vorteile im Vergleich zu den echten Laboren. Zum Beispiel ermöglichen sie es den SchülerInnen nicht beobachtbare Phänomene zu erforschen bzw. beobachtbare und nicht beobachtbare Phänomene zu verknüpfen [8]. Außerdem, ermöglichen es die Online-Labore die Experimente durchzuführen, die in einem Schullabor nicht durchgeführt werden könnten (wenn die notwendige Laborausstattung nicht

vorhanden, oder wenn ein Experiment in einem Labor überhaupt nicht durchführbar ist, wie zum Beispiel eine Simulation der Kollision zweier Galaxien). Schließlich, bieten die Online-Labore eine kostengünstige Alternative zu den echten Laboren an. [8]

Digitale Lernumgebungen für MINT-Unterricht

Damit das Lernen mit den Online-Laboren effizient gestaltet wird, müssen sie in eine digitale Lernumgebung integriert werden, die die SchülerInnen durch den experimentbasierten Lernprozess leitet und in jedem Schritt dieses Prozesses Unterstützung bietet. Eine solche Lernumgebung kann nach dem sogenannten experimentbasierten Lernzyklus („*Inquiry Learning Cycle*“) strukturiert werden, der aus fünf Hauptphasen besteht. In der Orientierungsphase des Lernzyklus, wird den SchülerInnen eine Einführung in das zu untersuchende Thema gegeben. In der Konzeptionsphase, werden die Forschungsfragen und Hypothesen formuliert und das Experiment wird geplant. In der Untersuchungsphase, findet das eigentliche Experiment sowie die Datenanalyse und -interpretation statt. In der darauffolgenden Phase, werden die Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst und die Schlussfolgerungen gezogen. In der letzten Phase, findet eine Diskussion statt sowie die Reflektion an dem eigenen Lernprozess und -fortschritt. [9]

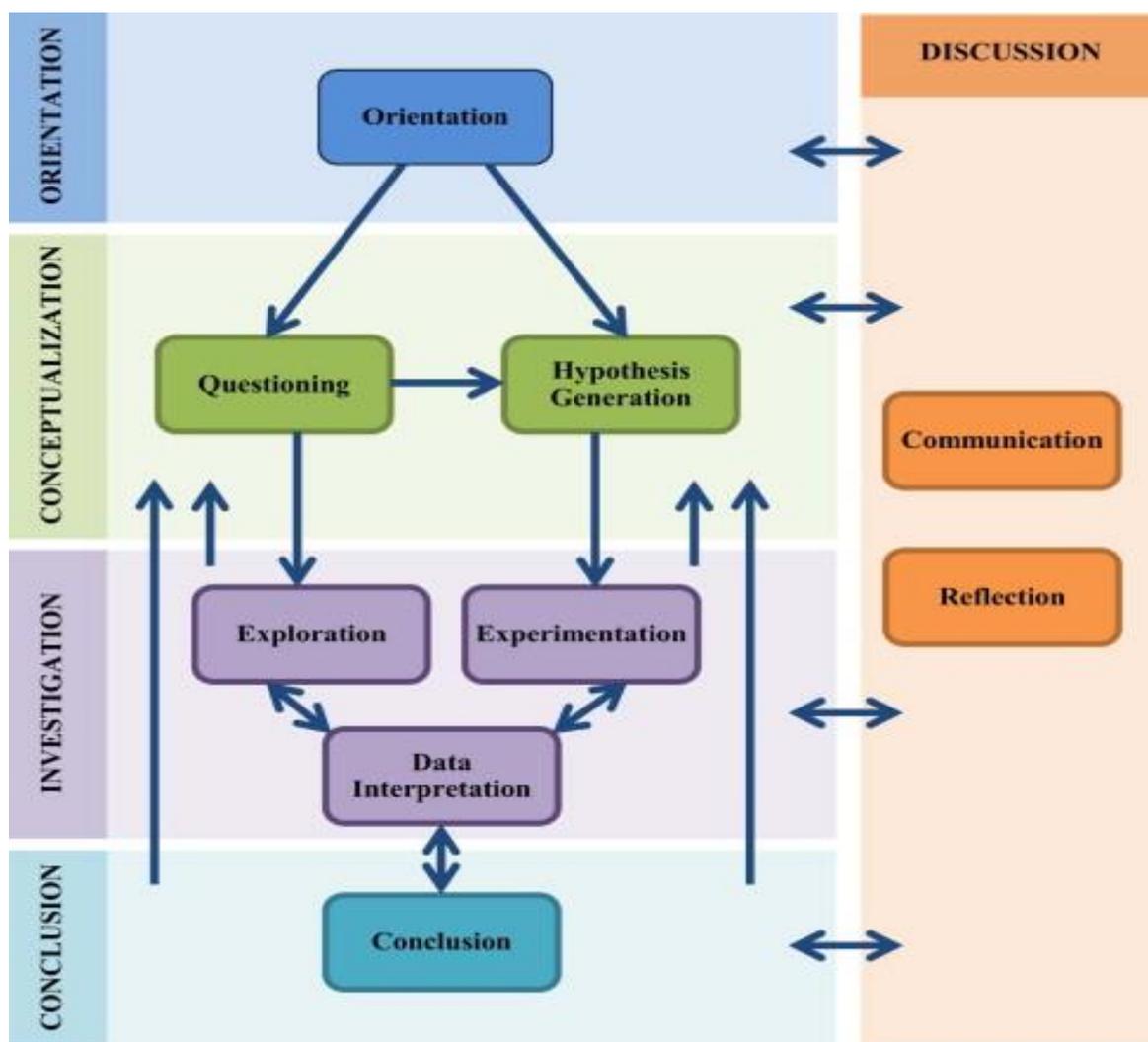


Abbildung 4: Experimentbasiertes Lernzyklus („Inquiry Learning Cycle“; Quelle: Pedaste et. al.: Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle, [9])

Eine nach dem experimentbasierten Lernzyklus strukturierte digitale Lernumgebung (ein sogenanntes „Inquiry Learning Space“) kann Online-Labore und Lernanwendungen beinhalten, sowie verschiedene multimediale Lerninhalte, wie Lernvideos, Abbildungen, Texte, und Testfragen. Eine solche Lernumgebung kann durch eine Lehrperson mithilfe einer Autorenplattform erstellt werden. Dabei ist es der Lehrperson überlassen, welche Lerninhalte und -anwendungen in die digitale Lernumgebung einfließen werden. So wird es sichergestellt, dass eine Lernumgebung an das Thema der Unterrichtsstunde, sowie an das Vorwissen und die Fähigkeiten der SchülerInnen angepasst wird. Ein Beispiel für eine digitale experimentbasierte Lernumgebung ist in der Abbildung 5 dargestellt.

Sinking and floating diana

Orientation **Conceptualisation** Investigation Conclusion Discussion

Dear student. Welcome to the Orientation phase. In today's lesson you will learn about buoyancy. To study this topic you will work through several inquiry phases (orientation, conceptualization, investigation, conclusion and discussion) and acquire important skills for conducting scientific inquiry. In addition, you will have the opportunity to perform experiments with the virtual lab Splash, and gather evidence just like a professional scientist would do in practice.

Thinking about sinking and floating: Density



Sinking and floating diana

Orientation **Conceptualisation** Investigation Conclusion Discussion

Welcome to the Conceptualization phase. In this phase you will formulate research questions and hypotheses that will be tested with the Splash lab.

Experiment Design

You can enter your results per experimental trial. Once you finalized a trial by entering the result you obtained, it will automatically be saved in a table where you can view all your conducted experimental trials and sort them ascending or descending per variable.

| Properties | | Vary | Keep constant | Measure |
|---------------|---|-------------|------------------------|------------------------|
| Mass object | N | Mass object | Density fluid | Floatability |
| Volume object | 1 | 300.00 g | 200.00 cm ³ | 2.10 g/cm ³ |
| Density fluid | + | | | |

Measures

Floatability

Density object

Your next step is to formulate one or more hypothesis. Hypotheses give predictions of the effects of certain variables. Scientists use all the knowledge and information they have collected about their research topic to make an educated guess about the outcome of the experiments. Take a look at your research question. Can you make an educated guess about the answer of your question(s), based on the knowledge you have collected in the previous phase? This educated guess will be your hypothesis. Sometimes you might be able to formulate more than one hypothesis per question.

Sinking and floating diana

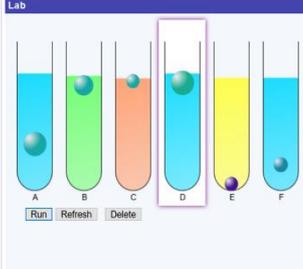
Orientation **Conceptualisation** **Investigation** Conclusion Discussion

Density Floating and sinking **Relative density** Archimedes Forces

Object properties

Mass: 50.00 g
Volume: 50.00 cm³
Density: 1.00 g/cm³ Amber
Fluid: 0.92 g/cm³ Olive oil

Lab



Results

| | m | V | ρ | Fluid |
|---|-----|-----|------|-------|
| A | 250 | 250 | 1.00 | 1.00 |
| B | 150 | 150 | 1.00 | 1.03 |
| C | 50 | 50 | 1.00 | 1.26 |
| D | 233 | 258 | 0.90 | 1.00 |
| E | 100 | 50 | 2.00 | 0.92 |
| F | 60 | 59 | 1.02 | 1.00 |

Sinking and floating diana

Orientation **Conceptualisation** Investigation **Conclusion** Discussion

Welcome to the Conclusion phase. You have made investigations using the Splash lab and expanded your knowledge about buoyancy. Based on the evidence you collected, you are ready to state your final conclusions.

Report

- Introduction
- Materials
- Procedure
- Results & Conclusion**

In the conclusion you list your results, compare them with your research question and/or your hypotheses and write your conclusion.

Start with your results. You can include graphs, tables or observations here if they are available. Next you describe if your hypotheses were correct or not, and how your results proof this. Which results are the most important in proving your hypotheses? You can take a look at the conclusion tool to help you.

Compare your data and observation with your hypothesis. Did your confidence in your hypotheses change based on your data and observations? How much confidence do you have now that your hypothesis is correct? Adapt the confidence circle to reflect the confidence you have now.

Can you argue why your confidence has changed? Write down your arguments in text box below the confidence circle.

Sinking and floating diana

Orientation **Conceptualisation** Investigation Conclusion **Discussion**

Welcome to the Discussion phase. You have now completed your investigate. The next step is to reflect on your activities. Reflection is a very important strategy to improve your learning and derive meaningful lessons about your learning experience.

Question 1

Have you changed your confidence level for your hypotheses?

--> If yes, what were the data or observations that made you change your mind?

--> If not, was this because you were right? Did you have enough data and observations to reach your conclusion?

Type here

Question 2

You went through several phases during your investigation, starting with orientation and ending here in the discussion phase. Did you go back and forward between phases?

--> If yes why did you? Was this by accident or did you have a plan? Would you follow the same route next time?

--> If no, did you ever consider changing the order?

Type here

Abbildung 5: Eine digitale experimentbasierte Lernumgebung ("Inquiry Learning Space") mit fünf Phasen: Orientierung, Konzeption, Untersuchung, Zusammenfassung, Diskussion

Gestaltung eines experimentbasierten Unterrichts

Der Einsatz von digitalen Lernumgebungen und Medien in einem Schulunterricht kann eine Lehrperson vor einer Reihe von Herausforderungen stellen. Zum einen, muss der Unterricht so geplant werden, dass die Zeit sowohl für die Vermittlung der Theorie als auch für die praktischen Übungen ausreichend ist. Des Weiteren, muss eine experimentbasierte Unterrichtsstunde in einem Computerraum stattfinden, der eventuell im Voraus reserviert werden muss. Aber am wichtigsten ist es, den Einsatz von digitalen Lernumgebungen und Medien in das didaktische Konzept der Unterrichtsstunde so zu integrieren, dass der positive pädagogische Effekt entsteht. Dafür muss das Unterrichtskonzept oft komplett umgedacht bzw. neu definiert werden. Es kann auch sinnvoll sein, den experimentbasierten Ansatz mit anderen innovativen pädagogischen Ansätzen zu kombinieren, wie zum Beispiel das projekt- oder design-basiertes Lernen oder mit dem Ansatz des „Umgedrehten Unterrichts“ („*Flipped Classroom*“).

Der „Umgedrehte Unterricht“ wird so gestaltet, dass die Theorie für eine kommende Unterrichtsstunde von den SchülerInnen selbst zu Hause bearbeitet wird, wobei auch digitale Medien, wie zum Beispiel digitale Lehrbücher, Lernvideos oder digital bereitgestellte Übungen zum Einsatz kommen können. Im Klassenzimmer werden dann die Schüsselaspekte des Themas diskutiert und die Fragen geklärt. Auch für die praktischen Übungen und Gruppenarbeit bleibt ausreichend Zeit. Hier kommen die digitalen experimentbasierten Lernumgebungen zum Einsatz, mit denen, je nach didaktischem Szenario, individuell oder in Gruppen gearbeitet werden kann. Da die Bearbeitung der Lerninhalte in einem Klassenzimmer stattfindet, hat die Lehrperson jederzeit die Möglichkeit, die Schüler anzuleiten und zu unterstützen. Am Ende der Unterrichtsstunde können die SchülerInnen ihre Ergebnisse der Klasse vorstellen und mit den Mitschülern diskutieren. [10]

Verbreitung des experimentbasierten Lernens

Auf der europäischen Ebene gibt es zahlreiche Initiativen und Projekte, die der Verbreitung des experimentbasierten Lernens und dem Einsatz von innovativen Technologien in den Schulen beisteuern. Zum Beispiel, das erfolgreiche Projekt Go-Lab [11] und das Nachfolgeprojekt Next-Lab [12] stellen Online-Labore, experimentbasierte Lernanwendungen, sowie eine Autorenumgebung für Lehrer zur Verfügung und bieten Lehrerweiterbildung im Bereich des experimentbasierten

Lernens an. Das Projekt Future Classroom Lab [13] hat zum Ziel aufzuzeigen, wie ein Klassenzimmer der Zukunft ausgestattet werden kann, beginnend mit der Raumverteilung für analoges und digitales Lernen, Plätzen für Gruppenarbeit, beweglichen Sitzplätzen usw. [10] Das Design eines solchen Klassenzimmers soll eine aktive Involvierung der SchülerInnen in die Lernaktivitäten sowie ihre Eigeninitiative und Kreativität im Lernprozess fördern. Die Projekte Scientix [14] und Amgen Teach [15] bilden ein europaweites Lehrernetzwerk und bieten Weiterbildungen für die Lehrer an, in denen die SchullehrerInnen über die innovativen Lehr-Lern-Konzepte sowie die Lerntechnologien für den naturwissenschaftlichen Unterricht informiert und in deren Anwendung geschult werden. Außerdem bieten diese Projekte den LehrerInnen die Möglichkeit, sich über ihre Erfahrungen mit den neuen Technologien auszutauschen und sich gegenseitig zu unterstützen. Ein weiteres Projekt, STEM Alliance [16], stellt eine Brücke zwischen den Bildungsministerien, Industrie und anderen Interessengruppen her mit dem Ziel, Naturwissenschaften und Karrieremöglichkeiten im MINT-Bereich jungen Leuten näher zu bringen.

In Deutschland sind solche Initiativen erst am Starten und konzentrieren sich eher allgemein auf der Digitalisierung von Schulen. Diese Initiativen werden von Branchenverbänden wie dem Bitkom (Smart School Initiative, [17]) oder seitens der Bildungsministerien (z.B. Schul-Cloud Projekt, [18]) getrieben bzw. gefördert. In einem nächsten Schritt sollen didaktische Konzepte entwickelt werden, die die Einführung von digitalen Lernumgebungen und Medien ermöglichen.

Quellenverzeichnis

- [1] An Introduction to Inquiry. In: Foundations: A monograph for professionals in science, mathematics, and technology education. Inquiry: Thoughts, Views, and Strategies for the K-5 Classroom. National Science Foundation (NSF, Arlington, USA), 2000, Vol. 2, 1–5 (<https://www.nsf.gov/pubs/2000/nsf99148/pdf/nsf99148.pdf>)
- [2] de Jong, T.: Technological advances in inquiry learning. In: Science, 2006, Vol. 312, 532-533 (<https://doi.org/10.1126/science.1127750>)
- [3] Klahr, D. & Nigam, M.: The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction: Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. In: Psychological Science, 2004, Vol.15, Issue 10, 661 (<https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x>)
- [4] Hypothesis Scratchpad (Universität Twente): <http://www.golabz.eu/app/hypothesis-scratchpad>
- [5] Experiment Design Tool Universität Twente): <http://www.golabz.eu/app/experiment-design-tool>
- [6] Faulkes Telescope Project: <http://www.faulkes-telescope.com>
- [7] Splash: Virtual Buoyancy Laboratory (Universität Twente): <http://www.golabz.eu/lab/splash-virtual-buoyancy-laboratory>
- [8] de Jong, T., Linn, M.C. & Zacharia, Z.C.: Physical and virtual laboratories in science and engineering education. In: Science, 2013, Vol. 340, 305-308 (<https://doi.org/10.1126/science.1230579>)
- [9] Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman L. A., de Jong, T., Van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., Tsourlidaki, E.: Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. In: Educational Research Review, 2015, Vol. 14, 47-61 (<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>)
- [10] Materna, S.: Wie sich der Weg zur Digital School klug gestalten lässt: Interview mit Diana Dikke. In: CheckPoint-eLearning, September 2017: <https://www.checkpoint-elearning.com/schule/wie-sich-der-weg-zur-digital-school-klug-gestalten-laesst>
- [11] Go-Lab Project: www.go-lab-project.eu

[12] Next-Lab Project: www.golabz.eu

[13] Future Classroom Lab Project: <http://fcl.eun.org>

[14] Scientix Project: <http://www.scientix.eu>

[15] Amgen Teach Project: <http://www.amgenteach.eu>

[16] STEM Alliance Project: <http://www.stemalliance.eu>

[17] Smart School Initiative: <https://www.bitkom.org/-Smart-School>

[18] Schul-Cloud Projekt: <https://schulcloud.org>

Die in diesem Artikel vorgestellten Konzepte und Softwarelösungen sind im Rahmen der durch die Europäische Kommission geförderten Projekte Go-Lab (Grant Agreement Nr. 317601) und Next-Lab (Grant Agreement Nr. 731685) entwickelt worden. Dieser Artikel spiegelt die Meinung der Autorin wider; die Europäische Kommission ist für die Verwendung der im Artikel enthaltenen Informationen nicht verantwortlich. Der Artikel beinhaltet Abbildungen der Go-Lab Ecosystem und der Lernanwendungen, die durch die Universität Twente (Niederlande), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Schweiz), IMC AG (Deutschland), und Faulkes Telescope Project (Vereinigtes Königreich) entwickelt worden sind.