

Messig, Denis

Herausforderung Heterogenität : Lehr-Lernprozessen mit künstlicher Intelligenz begegnen? :
Ergebnisse und Anregungen für eine individualisierte Lehre im naturwissenschaftlichen Unterricht

In:

Zmiskol, Tabea; Elting, Christian; Keimerl, Verena F.; u. a. (Hrsg.), Professionalisierung für den
inklusiven Umgang mit Heterogenität – Befunde, Konzepte und Anregungen aus der
Lehrkräftebildung, Bamberg: University of Bamberg Press, S. 261-280. 2025. DOI:
10.20378/irb-110920

Beitrag im Sammelwerk - Verlagsversion

DOI des Beitrags: 10.20378/irb-112529

Datum der Veröffentlichung: 13.01.2026

Rechtehinweis:

Dieses Werk ist durch das Urheberrecht und/oder die Angabe einer Lizenz geschützt. Es steht Ihnen
frei, dieses Werk auf jede Art und Weise zu nutzen, die durch die für Sie geltende Gesetzgebung zum
Urheberrecht und/oder durch die Lizenz erlaubt ist. Für andere Verwendungszwecke müssen Sie die
Erlaubnis der Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber einholen.

Für dieses Dokument gilt die **Creative-Commons-Lizenz CC BY**.




Die Lizenzinformationen sind online verfügbar:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Herausforderung Heterogenität: Lehr-Lernprozessen mit künstlicher Intelligenz begegnen? Ergebnisse und Anregungen für eine individualisierte Lehre im naturwissenschaftlichen Unterricht

The challenge of heterogeneity: meeting teaching-learning processes with artificial intelligence? Results and suggestions for individualized teaching in science lessons

Denis Messig  0000-0001-6508-7504

Zusammenfassung

Den Vorstellungen von Lernenden kommt bei der Optimierung von Lehr-Lernprozessen eine fundamentale Bedeutung zu; andererseits nimmt das Maß an kognitiver Heterogenität beständig zu. Daher liegt in der Diagnose und folglich in der Berücksichtigung dieser individuellen Vorstellungen ein Schlüsselmoment für die didaktische Strukturierung von Lernangeboten. Der Beitrag stellt die Ergebnisse einer qualitativen Studie vor, die mithilfe der Peer-Interaction-Methode die individuellen Vorstellungen als Grundlage für Aushandlungsprozesse berücksichtigt. Die Interpretation durch Qualitative Inhaltsanalyse zeigt, dass in leistungsheterogenen Gruppen beide Lernpartner fachlich voneinander profitieren. Jedoch geschieht dies nicht immer aufgrund logischer Argumentation. Die Studie legt ebenfalls nahe, dass eine individualisierte Lehre mit der verwendeten Methode in der Form nicht realisierbar ist. Mögliche Chancen und Limitationen künstliche Intelligenz hierbei zur Unterstützung einzubeziehen werden aufgezeigt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Schülervorstellungen; KI; heterogene Lerngruppen; Individualisierter Unterricht

Abstract

The prior knowledge of learners is of fundamental importance to trigger learning processes; on the other hand, the degree of cognitive heterogeneity is constantly increasing. Therefore, the diagnosis and consequently the implementation of prior knowledge (also student conceptions, pre-

concepts) is a key challenge for the development of learning environments. This article presents the results of a study that uses the peer interaction method to take individual prior knowledge into account as a basis for negotiation processes. Qualitative content analysis shows that in heterogeneous groups both learners benefit from each other in terms of subject knowledge. However, this is not always due to logical reasoning. The outcome also suggests that individualized teaching is not feasible with this method in this way. Possible opportunities and limitations of using artificial intelligence to support means of differentiation are highlighted and discussed.

Key words: student conceptions; AI; heterogeneous groups; cooperative learning

1. Einleitung und Problemaufriss: Problemfeld Heterogenität in der Lehre

Der Umgang mit unterschiedlichen Vorstellungen (auch Präkonzepte, Vorwissen) ist beileibe kein neues Feld in der Bildungsforschung. Bereits 1976 argumentierten Klafki und Stöcker in der *Zeitschrift für Pädagogik*, dass in der Schule heterogene Lerngruppen existieren und deshalb eine Differenzierung in der Binnenstruktur des Unterrichts erfolgen sollte (Klafki & Stöcker, 1976, S. 497). Der Blick in das aktuelle Publikationsfeld zum Thema Vorstellungen bei Lernenden (Schrenk, Gropengießer, Groß, Hammann, Weitzel & Zabel, 2019) zeigt, dass die Berücksichtigung des Vorwissens für die Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen in der Forschung bisher weitestgehend unbeachtet geblieben ist (Aamotsbakken, Matthes & Schütze, 2017). Spätestens durch die Veröffentlichung der PISA-Studien ist jedoch bekannt, dass es in Deutschland nicht genügend gelingt, Lernende entsprechend ihrer individuellen Voraussetzungen zu fördern (Prenzel et al., 2004). Die aktuellen sozialen Herausforderungen wie Pandemien, Digitalisierungsprozesse und Migrationsbewegungen verlangen um so mehr, einer steigenden Heterogenität mit angemessenen Differenzierungsmaßnahmen zu begegnen. Sowohl Universitäten als auch Schulen stehen dabei im Spannungsfeld zwischen der Universalität der Ausbildung einerseits und der zunehmenden Heterogenität bei Lernenden andererseits. Allgemein wird Leistungshomogenität – wenn auch unerreichbar – von Lehrkräften oft als eine erstrebenswerte

Voraussetzung für effektive Lehre angesehen. Das Problem dabei ist, dass eine genuine Heterogenität oft als Hürde und folglich als unüberwindbare Herausforderung aus Sicht von Lehrenden empfunden wird (Budde, 2012; Kummer Wyss & Buholzer, 2010).

Für Forschung und Lehre stellt sich die Herausforderung, aus der zunehmenden (kognitiven) Heterogenität einen Nutzen für Lehr-Lernprozesse zu ziehen. In der Praxis bedeutet das, dass Lehrende zunächst die Kenntnis über die individuellen kognitiven Vorstellungen der Lernenden erlangen müssen. „Vorstellungen“ werden hier als mentale Modelle gesehen, die als präinstruktionales Wissen Lernpotentiale im konstruktivistischen Sinn darstellen. Gerade in den Fachdidaktiken der Naturwissenschaften werden diese Alltags- oder Schülervorstellungen (auch Präkonzepte oder Fehlvorstellungen) als Ausgangspunkt für Lehr-Lernprozesse intensiv befohrt und als Grundlage für ein „aktives Umlernen“ gesehen (Kattmann, 2007). Die sich daraus ergebende kognitive Heterogenität einer Lerngruppe spiegelt sich somit in den unterschiedlichen Vorstellungen der Lernindividuen wider. Erhebt man diese individuellen Vorstellungen zu Beginn einer Lerneinheit, können aus diesem Wissen Lernumgebungen entwickelt werden, die personenbezogene Vorstellungen aufgreifen, thematisieren und reflektieren. Angesichts großer Lerngruppen und einem steigenden Maß an Heterogenität ist dies jedoch selbst für hoch professionalisierte Lehrkräfte schwer zu bewältigen.

Es gibt unterschiedliche Ansätze, wie eine Individualisierung praktisch umsetzbar ist (Klieme & Warwas, 2011). Methoden wie Offener Unterricht oder Individueller Unterricht mit seinen Varianten der Makro- und Mikroadaptation sind jedoch keine wirklich neuen Unterrichtsfacetten (Dumont, 2019) und weisen darüber hinaus geringe Effektstärken auf (Hattie, 2013). Die Ursachen dafür sind vielfältig und reichen von defizitären Lehrer-Schüler-Interaktionen während Erarbeitungsphasen bis hin zur Überforderung von Lehrkräften bei der Diagnose von Schülervorstellungen (Lipowsky & Lotz, 2015). Eine Lösung des Problems könnte in der Nutzung intelligenter Systeme liegen: Kann eine KI helfen, heterogene Leistungsniveaus zu diagnostizieren, um Lehrkräfte zu entlasten und somit Lehr-Lernprozesse zu individualisieren? Der Beitrag versucht eine Antwort auf diese Frage zu geben. Zunächst wird eine Unterrichtsme-

thode vorgestellt, die eine Identifikation von Schülervorstellungen ermöglicht. Darauf aufbauend werden diese individuellen Vorstellungen als Lernpotentiale in den Mittelpunkt von Lehr-Lernprozessen gerückt.

2. Theorie und Empirie: Wie groß ist kognitive Heterogenität in Lerngruppen wirklich?

Die Implementierung kognitiver Heterogenität, auch Schüler-, Alltagsvorstellungen oder Präkonzepte, stellt einen essentiellen Schwerpunkt im modernen Unterricht dar. Auch in den Didaktiken der Naturwissenschaften sind sie ein zentraler Kern der Forschung und Lehre (Driver, 1989; Duit & Treagust, 2003). Infolgedessen haben in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche fachdidaktische Untersuchungen das Ziel verfolgt, diese typischen Vorstellungen zu identifizieren und entsprechende Lernmaterialien zu konzipieren. Dieser Forschungsansatz wird üblicherweise disziplinspezifisch umgesetzt. Die resultierenden Erkenntnisse werden in Form von Handbüchern für die jeweiligen Fächer veröffentlicht, wie beispielsweise für die Fächer Physik (Schecker, Wilhelm, Hopf, Duit & Fischler, 2018), Chemie (Barke, 2006) und Biologie (Hammann & Asshoff, 2014; Kattmann, 2015). Darin sollen Lehrende angeleitet werden, typische Vorstellungen von Lernenden zu identifizieren, um sie bei der Vorbereitung und Durchführung von Unterricht zu berücksichtigen.

Nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion, welches in den naturwissenschaftlichen Fächern als Forschungs- und Unterrichtsrahmen breite Anwendung findet, besteht das Hauptziel einer schülerzentrierten didaktischen Strukturierung darin, individuelle Vorstellungen zu aktivieren, zu "rekonstruieren" und zu erweitern (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komoren & Parchmann, 2012; Kattmann, 2007). Kommt doch dem moderaten Konstruktivismus in Hinblick auf Lehr- und Lernprozesse sowie der Gestaltung von Lernumgebungen eine besondere Bedeutung zu (Duit, 1995): In der Neurobiologie wird das Gehirn als „ein selbstreferenzielles, autopoietisches und operational geschlossenes Organ“ (Siebert, 2014, S. 53) betrachtet. Eine direkte Wahrnehmung der Außenwelt ist demnach nicht möglich, sondern verläuft über die Transduktion, weshalb zwischen der externen Umgebung und der eigens aktiv-konstruierten „Wahrnehmungswelt“ (Roth, 2005) unterschieden werden muss (Riemeier, 2007). Wenn bei Lernprozessen also vom Konzeptwechsel die

Rede ist, dann geht es u. a. um die Veränderung von neuronalen Verknüpfungen bzw. Netzwerken im Sinne eines „neurobiologisch-psychologisch inspirierten Konstruktivismus“ (Roth 2005). Für das Verständnis von Unterricht, die Rolle der Lehrperson und der Lernenden sowie die Gestaltung von Lernumgebungen ergeben sich daraus wesentliche Konsequenzen, die im Hinblick auf kognitive Heterogenität berücksichtigt werden sollten.

Lernen findet demnach auf konstruktive und aktive Weise statt, bei dem an die lebensweltlichen Erfahrungen und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler angeknüpft werden muss (Duit, 1995). Je nachdem über welche kognitiven Konzepte die Lernenden bereits verfügen, variieren auch die Lernvorgänge, weshalb das Lernen individuell verläuft und „selbstdeterminiert“ (Riemeier, 2007, S. 71) stattfindet. Aus dem sozialen Konstruktivismus geht zudem hervor, dass auch mittels sozial-interaktiver Aushandlungsprozesse gelernt wird (Möller, 2001). Aus diesen Bedingungen ergibt sich daher auch der Umstand, dass Lernen in „physikalischen und sozialen Kontexten“ (Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 873) situiert ist. Lernumgebungen müssen deshalb so gestaltet werden, dass sie kognitive und emotionale Vorgänge zeitgleich anregen und so effektives Lernen ermöglichen (Siebert, 2014) Die Lehrperson wird damit zum „Mitgestalter von Lernumgebungen und Unterstützer von Lernprozessen“ (Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 883), während sich die Lernenden aktiv am Wissenserwerb beteiligen müssen und selbstgesteuert lernen.

Bezieht man diese lernpsychologischen Grundlagen auf den Bereich der Vorstellungsforschung, so stellt sich die Frage, ob es tatsächlich die in der Literatur beschriebenen „typischen“ Schülervorstellungen gibt. Ist es nicht eher der Fall, dass jeder Lernende seine eigenen individuellen Vorstellungen entwickelt und damit Individueller Unterricht nahezu unmöglich wird? Theoretische Überlegungen und empirische Befunde widerlegen diese Annahme. Obwohl Lernen individuell ist, entwickeln Lernende sehr ähnliche Konzepte und somit vergleichbare Vorstellungen. Eine Erklärung dafür liefern die kognitionslinguistischen Ansätze der *Conceptual-Metaphor-Theory* (Lakoff & Johnson, 1980) und der *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens* (TeV; Gropengießer, 2007) als Adaption für die Naturwissenschaftsdidaktiken: Beide Ansätze gehen davon aus, dass re-

kurrierende physische und soziale Erfahrungen mit unserer Umwelt im menschlichen Gehirn feste neuronale Netzwerke etablieren. Diese werden je nach Komplexitätsebene in Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und (Denk-)Theorien kategorisiert (Gropengießer, 2007). Das bedeutet, dass unterschiedliche Personen mithilfe ihrer individuellen Sinnesorgane ähnliche, wenn nicht sogar gleiche Erfahrungen mit ihrer Umwelt sammeln. Dadurch entwickeln sie unabhängig voneinander ähnliche Wissensstrukturen. In der Kognitionslinguistik wird hier von verkörperten Vorstellungen gesprochen, da sie auf direkten, also konkreten Erfahrungen basieren. So wissen wir aufgrund unserer sensomotorischen Erfahrungen, was oben und unten, hinten und vorn, aber auch, was ein Behälter- oder ein Start-Weg-Ziel-Schema ist. Der Mensch ist darüber hinaus in der Lage, mithilfe einer Übertragung dieser Schemata (Metaphorisierung) abstrakte Vorstellungen wie Liebe, Geld, Quantenphysik oder auch Fotosynthese zu konzeptualisieren (Dodge & Lakoff, 2005; Gallese & Lakoff, 2005; Messig, 2020). Erst auf der Grundlage dieser Metaphorisierung, also der Übertragung von einem direkt erfahrbaren Ursprungsbereich auf einen Zielbereich, werden abstrakte Vorstellungen für uns denk- und begreifbar. Bildgebende Verfahren konnten diese neutralen Prozesse im Gehirn eindrucksvoll sichtbar machen (Rohrer, 2005). Da unterschiedliche Menschen ähnliche Erfahrungen in und mit ihrer Umwelt sammeln, führen diese neuronalen Mechanismen zu einer begrenzten Anzahl ähnlicher Vorstellungen in den verschiedenen Wissensbereichen. Die Ergebnisse im Bereich der Vorstellungsforschung untermauern diese Annahme, da mittels Qualitativer Inhaltsanalyse nicht zwangsläufig mehr Schülervorstellungen identifiziert werden können (Gropengießer, 2008).

3. Lehrmethode: Die PIM als adaptive Lernhilfe

Dozierende und Lehrkräfte stehen - auch trotz einer relativ geringen Anzahl an typischen Vorstellungen zu den unterschiedlichsten Themenbereichen - gleichermaßen vor der Herausforderung, aus dieser Heterogenität einen praktischen Nutzen zu ziehen. Der Beitrag soll anhand der Peer-Interaction-Methode verdeutlichen, wie im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie in der biologiedidaktischen Lehre die Diagnose von Vorstellungen helfen kann, individuelle Lernprozesse in einem kooperativen

Setting zu initiieren und damit aus kognitiver Heterogenität einen Mehrwert zu generieren.

Die *Peer-Interaction-Methode* (PIM; Heeg, Hundertmark & Schanze, 2020) als mehrteilige Lehrmethode richtet sich in ihrer Kernidee nach einem Think-Pair-Share-Ansatz. Sie zielt darauf ab, individuelle Vorstellungen bei Lernenden als Grundlage für Lernprozesse in kooperativen Settings zu nutzen. In Seminaren der Lehramtsausbildung in der Didaktik der Naturwissenschaften an der Universität Bamberg wird diese Methode regelmäßig eingesetzt, um Studierenden nach dem Prinzip des Didaktischen Doppeldeckers die Bedeutung von Vorwissen für Ko-Konstruktionsprozesse erfahrbar zu machen (Wahl, 2002). Prinzipiell kann die Methode auf vielfältige Inhalte von Prozessen auf der Mikroebene (z. B. Osmose und Diffusion) über Humanphysiologie (Herz-Kreislaufsystem) bis hin zur mikroskopischen Ebene (z. B. Ökologie und Evolution) eingesetzt werden. In diesem Beitrag soll exemplarisch die Implementierung und Durchführung der Peer-Interaction-Methode anhand der Pflanzenernährung und des Pflanzenwachstums vorgestellt werden, da umfassende Forschungsergebnisse dazu vorliegen (z. B. Messig, 2020; Messig & Groß, 2018; Michelsen, Groß, Paul & Messig, 2022). Es handelt sich dabei nicht um ein Lehrkonzept, welche die Struktur eines ganzen Seminars beeinflusst, sondern vielmehr um eine Lehrmethode, die in verschiedenen Kontexten und Lehrveranstaltungen zum Tragen kommen kann. Damit ist diese Vorgehensweise nicht ausschließlich fachspezifisch einsetzbar, sondern kann auf vielfältige Inhalte anderer Disziplinen, universitär oder schulisch, problemlos angewendet werden. Darüber hinaus bietet die Peer-Interaction-Methode Möglichkeiten, *intelligente Tutorsysteme* (ITS) zu nutzen, um Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen zu diagnostizieren. Darauf aufbauend können ITS individuelle Lernangebote ableiten, die jedem Lernenden gerecht werden. Das Potential von ITS wird am Ende des Beitrags diskutiert.

Die Grundstruktur der Methode besteht aus drei Phasen: In einem ersten Schritt werden die präinstruktionalen Vorstellungen von Lernenden erhoben und auf ihre Fachlichkeit diagnostiziert (Think). Dies geht in Form von ausgedruckten Arbeitsanweisungen und Aufgabenblättern. Im Rah-

men eines Forschungsprojekts wurde dafür ein *Moodle*- bzw. *Mebis*-Plug-In programmiert, welche die PIM als Methode auch im digitalen Lernraum verfügbar macht.

In einem zweiten Schritt werden diese Erkenntnisse über die Vorstellungen der Lernenden zur Bildung heterogener Lerngruppen genutzt. Das daraus abgeleitete Lernpotenzial liegt im Aushandlungsprozess (Pair), um eine gemeinsam getragene Lösung für ein spezifisches Aufgabenformat zu erreichen. Dieser Aushandlungsprozess wird abschließend in der Gruppe oder im Plenum reflektiert (Share).

In diesem Beitrag wird die Durchführung und Evaluation des Lehrkonzepts anhand des Gegenstandsbereichs der Pflanzenernährung und Photosynthese vorgestellt. Das Thema selbst spiegelt eines der zentralen Konzepte in der biologiedidaktischen Ausbildung wider und wird wiederkehrend in Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen an Universitäten in der Lehramtsausbildung thematisiert. Auch in schulischen Curricula ist das Thema jahrgangsübergreifend verortet. Das liegt vor allem daran, dass im Verständnis, wie Pflanzen Biomasse durch die Assimilation von Kohlenstoffdioxid akkumulieren, eine Voraussetzung für systemisches Denken über grundlegende Themen wie Biodiversität, Klimawandel und Nachhaltigkeit zu sehen ist. Des Weiteren sind typische Vorstellungen zu diesem Thema bereits umfangreich untersucht worden (z. B. Cañal, 1999; Messig & Groß, 2018; Michelsen et al., 2022; vgl. Tabelle 1), die in Lehr-Lernprozessen inhaltlich und auf Metaebene aufgegriffen und reflektiert werden können.

Tabelle 1. Denkfiguren und Beispielkonzepte zu den Themen Pflanzenernährung und Fotosynthese.

Denkfigur	Beispielkonzepte
Ernährung durch Stoffaufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Mineralstoffe sind Nährstoffe • Aufnahme von „Nährstoffen“ vom Boden • Wachstum durch die Substanz Licht
Ernährung durch Herstellung organischer Verbindungen	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzen bestehen aus Nährstoffen • Pflanzen stellen Kohlenhydrate her
Atmung und Gasaustausch	<ul style="list-style-type: none"> • Umwandlung von CO₂ zu O₂ • Pflanzen liefern Menschen Sauerstoff

Die PIM wurde im Rahmen einer ersten qualitativen Studie ($N = 16$, Studierende für das Lehramt Mittelschule) auf seine Wirksamkeit im Rahmen eines Ökologieseminars überprüft (Michelsen et al., 2022). Zentral war diesbezüglich folgende Fragestellung: Welche Vorstellungsänderungen können durch den Einsatz der Peer-Interaction-Methode (PIM) beim Thema Pflanzenernährung in heterogenen Gruppen ausgehend von den identifizierten Denkfiguren und Konzepten nachgewiesen werden?

Das eingesetzte Aufgabenformat wurde bereits in vorangegangenen Studien (z. B. Messig, 2020) erprobt und für diese Untersuchung übernommen. Die Teilnehmer:innen durchliefen in einem 90-minütigen Treatment folgende Phasen der Peer-Interaction-Methode:

3.1 Identifikation von Denkfiguren und Konzepten zur Pflanzenernährung

Die Aufgabenstellung lautete, den Wachstumsprozess vom Samen zu einem tonnenschweren Baum innerhalb von 10 Minuten zu visualisieren. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sollten mittels eigener Beschriftungen das Pflanzenwachstum zunächst für sich schriftlich beschreiben

und erklären. Mittels eines vorgegeben Farbcodes konnten die Teilnehmer:innen ihre Aussagen auf ihre subjektive Gültigkeit bewerten (z. B. „grün“ für sehr sicher). Die entstandenen Lernprodukte wurden von Dozierenden auf Vorstellungen (Denkfiguren und Konzepte) analysiert. Die Ergebnisse wurden protokolliert und für die Einteilung leistungsheterogener Lerngruppen verwendet.

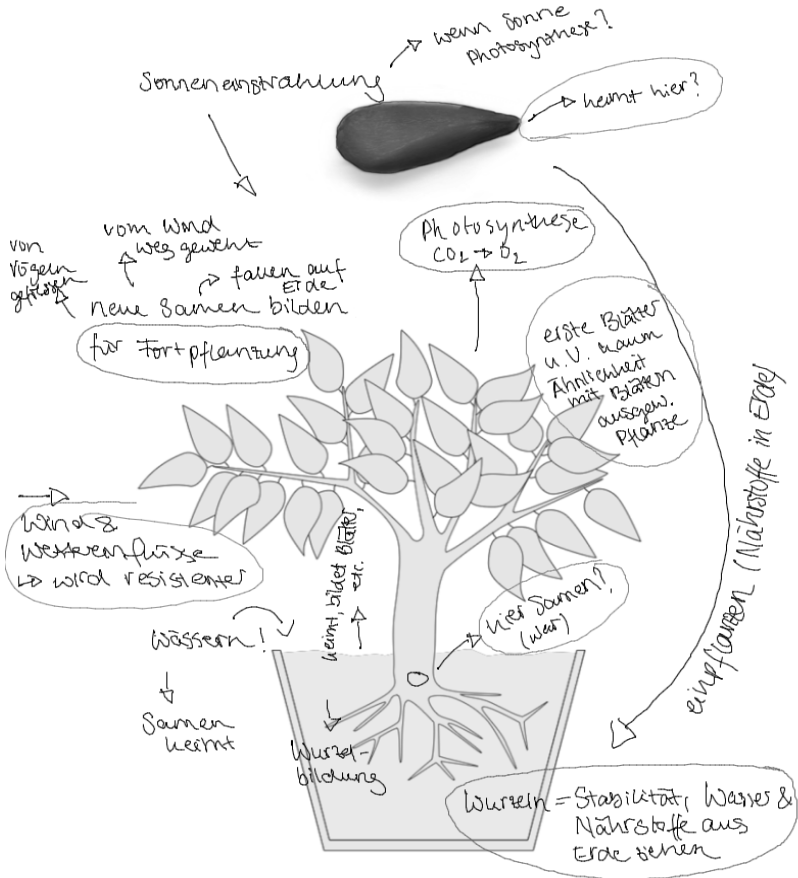


Abbildung 1. Beispiel für ein Lernprodukt nach dem Aushandlungsprozess in heterogenen Gruppen. Die Studierenden sollten sich auf eine gemeinsame Erklärung für das Pflanzenwachstum einigen.

3.2 Binnendifferenzierung

Die Erkenntnisse über die individuellen Vorstellungen der Seminarteilnehmer:innen führten zur Bildung leistungsheterogener Zweiergruppen innerhalb der gesamten Lerngruppe. Als Kriterien für die Gruppenbildung wurden die in den Lernprodukten identifizierten Denkfiguren und Konzepte durch Vergleich herangezogen. Der Hypothese folgend wurde darauf geachtet, dass Studierende mit einem stark unterschiedlichen fachlichen Niveau einer Gruppe zugeordnet wurden. Diese heterogenen Lerngruppen traten anschließend in einen Aushandlungsprozess, um eine gemeinsam getragene Lösung für die gleiche Aufgabe zu formulieren (Phase 2, Abbildung 1).

3.3 Reflexion und Lernprozessanalyse

Um den Einfluss kognitiver Heterogenität auf Lernprozesse in kooperativen Settings zu untersuchen, wurden die Lernenden im Rahmen von leitfadengestützten Einzelinterviews aufgefordert, die gemeinsam entwickelte Lösung zu erläutern und den Aushandlungsprozess retrospektiv zu reflektieren (Phase 3). Die Teilnehmer:innen beschrieben zunächst beide Zeichnungen und reflektieren mittels Lautem Denkens Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Skizzen. Im Interview wurden ebenfalls nach grundlegenden Begriffen wie Nährstoff, Mineralstoff oder Stoffumwandlung sowie explizit nach typischen Alltagsvorstellungen und Fehlkonzepten gefragt. Die Einzelinterviews wurden videografiert und mittels Qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring, 2000) sowie Metaphernanalyse (Johnson, 2005) auf der Grundlage eines in früheren Studien entwickelten Kategoriensystems (Messig, 2020) in einem induktiv-deduktiven Verfahren interpretiert. Um mögliche Lernfortschritte zu rekonstruieren, wurden die identifizierten Vorstellungen in Hinblick auf ihre Fachlichkeit und Vollständigkeit analysiert.

4. Evaluation der Lehrmethode PIM

Das methodische Vorgehen der PIM erlaubt es, Lernprozesse auf Konzept- und Denkfigurebene zu rekonstruieren. Die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse spiegeln die Entwicklung einer Gruppe durch die PIM wider. Das gewählte Beispiel ist repräsentativ für alle anderen Gruppen der Studie. Die Auswertung der Lernprodukte und der retrospektiven In-

terviews zeigt, dass bei allen Teilnehmenden im Laufe der PIM eine Zunahme an Konzepten mit einem höheren Maß an Fachlichkeit nachweisbar war. Des Weiteren konnten für beide Probanden einer Gruppe völlig neue Konzepte und Denkfiguren im Verlauf der Intervention identifiziert werden. Die Analyse zeigte außerdem, dass während des Aushandlungsprozesses (Phase 2) neue Äußerungen vom entsprechenden Gruppenpartner übernommen wurden - und zwar unabhängig vom fachlichen Niveau. Die anschließenden Interviews bestätigen diese Beobachtung. Sie ergaben ebenfalls, dass die intendierte Heterogenität von den Studierenden selbst nicht bewusst wahrgenommen wurde. Interessanterweise gaben viele Teilnehmerinnen und Teilnehmer an, neue Vorstellungen scheinbar grundlos und unabhängig von der inhaltlichen Plausibilität und Verständlichkeit übernommen zu haben - also nicht aufgrund eines kognitiven Konflikts oder einer inneren Logik. Stattdessen wurden als Gründe überwiegend das selbstbewusste Auftreten des Gruppenpartners oder der Wunsch, eine Auseinandersetzung während der Zusammenarbeit zu vermeiden, genannt. Eine leistungsheterogene Gruppenzusammenstellung scheint somit individuelle Lehr-Lernprozesse zu fördern. Jedoch lassen die Ergebnisse dieser Studie mit einer sehr begrenzten Zahl an Teilnehmenden vermuten, dass sozial-emotionale Faktoren eine weit- aus größere Rolle spielen als bisher angenommen.

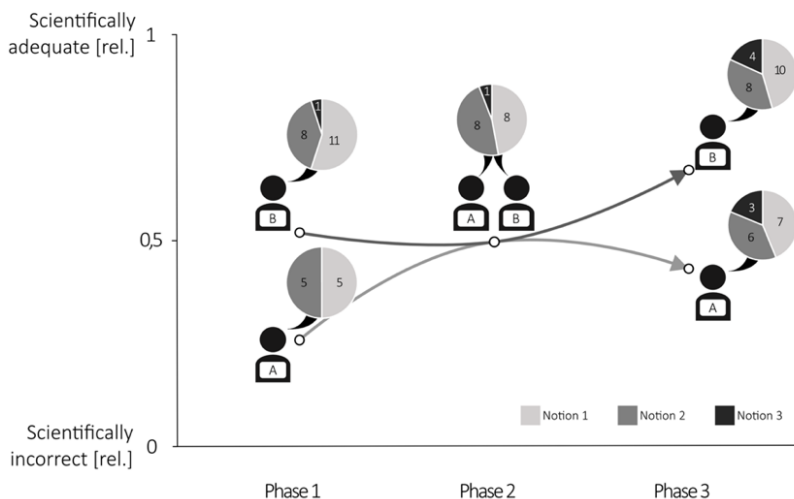


Abbildung 2. Die Übereinstimmung der wissenschaftlichen Vorstellungen mit den von den Teilnehmenden geäußerten Vorstellungen. Die Kreisdiagramme zeigen die absoluten Nennungen der identifizierten Konzepte der drei Denkfiguren (Notions) innerhalb einer Lerngruppe. Die Ordinatenachse spiegelt das fachliche Niveau der Aussagen der Proband:innen wider (nach Michelsen et al., 2022).

Konsequenterweise müssen weitere (quantitative) Studien daher sich nicht nur größerer Stichproben bedienen, um valide Aussagen zur Wirksamkeit der PIM abzuleiten, sondern auch emotionale und soziale Parameter von Lernenden berücksichtigen. Daher kann die Forschungsfrage nur eingeschränkt beantwortet werden.

Überträgt man die Herausforderung, sowohl kognitive als auch sozial-emotionale Aspekte für Lehr-Lernprozesse zu berücksichtigen, auf die universitäre oder schulische Praxis, wird schnell klar, dass dies allein durch eine einzige Lehrkraft nicht zu bewältigen ist. Können hier intelligente Anwendungen helfen, Diagnose und Gruppeneinteilung zu übernehmen? Im Folgenden wird die Frage in Bezug auf die PIM zum Thema Pflanzenernährung diskutiert. Die Überlegungen stammen aus einem Projekt zur Implementierung von KI-Anwendungen bei Lehr-Lernprozessen, das an der Otto-Friedrich-Universität durchgeführt werden soll.

5. Intelligente Tutorsysteme zur Diagnose kognitiver und sozial-emotionaler Parameter? — Chancen, Herausforderungen und Limitationen

Das Potential intelligente Hilfsmittel in der Schulpraxis zu etablieren ist nicht nur in der fachdidaktischen Forschung, sondern auch in der internationalen Bildungspolitik erkannt worden. So heißt es z. B. auf der Homepage des BMBWF in Österreich zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz, dass „Lehrer:innen bei der Erstellung differenzierter Unterrichtsmaterialien ebenso unterstützt werden können wie bei der automatisierten Ideensammlung bis hin zur Planung ganzer Unterrichtssequenzen“ (BMBWF, 2023, S. 12).

Allgemein erlaubt der Einsatz von Methoden der *Künstlichen Intelligenz (KI)*, insbesondere *Intelligenter Tutorsysteme (ITS)*, die Diagnose von spezifischen Vorstellungen sowie die Adaptation von Lernpfaden und Feedback-Strategien an individuelle Bedürfnisse von Lernenden (Mousavinasab, Zarifsanaiey, Niakan Kalhori, Rakhshan, Keikha & Ghazi Saeedi, 2021). Hier existieren bereits verschiedene Ansätze und Systeme zur Vermittlung von deklarativem Wissen – etwa über die Geographie Südamerikas (das erste ITS von Carbonell, 1977) – sowie von prozeduralem Wissen – etwa für die schriftliche Subtraktion (Neuhold, 2013; Zeller & Schmid, 2016).

Allgemein basiert ein klassisches ITS auf einem Domänenmodell, in dem das spezifische Wissen eines Bereichs abgebildet ist, einem Lernendenmodell, in dem aufgabenbezogene Diagnosen von Lernenden gespeichert werden, sowie einem Tutormodell, in dem die Aufgabenauswahl sowie geeignete Rückmeldungen generiert werden (Nwana, 1990). Dabei kommen sowohl wissensbasierte Ansätze als auch maschinelles Lernen zum Einsatz. Für die Durchführung von Lernumgebungen, die ein hohes Maß an Individualisierung als Schwerpunkt haben, ist der Einsatz von KI-basierenden Anwendungen von Vorteil, da ein exakter und zeitnaher Abgleich der fachlichen Antwort mit der von Lernenden gegebenen Lösung ermöglicht wird. Das wiederum ermöglicht die Identifikation von Wissenslücken und die Diagnose fachlich nicht adäquater Vorstellungen. Für prozedurale Fertigkeiten werden die Produktionsregeln des Domänenmodells durch eine Bibliothek fehlerhafter Regeln (Fehlerbibliothek) er-

weitert (Burton, 1982). Kann die von Lernenden gegebene Lösung nur unter Einbezug von fehlerhaften Regeln generiert werden, so liefert dies Informationen über vermutlich bestehende Lernhürden oder Verständnisprobleme.

Bislang werden ITS überwiegend genutzt, um zusätzlich zum Unterricht im Klassenverband individualisiertes Lernen zu ermöglichen. Das ITS unterstützt dabei die Lehrkraft bei der Binnendifferenzierung, indem es Informationen über fehlerhafte Antworten und Lösungsansätze – z. B. in Form heterogener Gruppenbildung – bereitstellt.

Die Potentiale eines ITS können, in Hinblick auf das Maß an Heterogenität, auch für den Lernbereich der Pflanzenernährung genutzt werden und folgenden Mehrwert generieren:

i) Ein ITS übernimmt anhand der erstellten Lernprodukte in der ersten Phase der PIM (Think) die Identifikation und Analyse von Vorstellungen zum Thema Pflanzenernährung. Das würde unmittelbar zu einer präzisen und individuellen Erfassung von Konzepten und Denkfiguren führen. Die Herausforderung dabei besteht in der Konzeption eines geeigneten Aufgabenformats. Zu offene Aufgabenstellungen könnten von einer KI nicht interpretiert werden, ohne vorher eine Unmenge an Daten zur Verfügung zu stellen. Geschlossene Formate, wie Multiple-Choice-Items, neigen in explorativen Settings dazu, Lernende durch die konkreten Fragestellungen stark in ihrem Antwortverhalten zu beeinflussen. Entsprechende Lösungsansätze zur Gestaltung solcher Aufgabenformate gibt es jedoch, wie erste Studien zeigen (z. B. Küchemann, Dengel & Kuhn, 2021).

ii) In der ersten Phase könnten neben den kognitiven Aspekten auch sozio-emotionale Charakteristika der Lernenden erhoben werden. Ein intelligenter Matching-Algorithmus nach dem Muster einer XAI (Explainable Artificial Intelligence; Gunning, Stefik, Choi, Miller, Stumpf & Yang, 2019) könnte nach vorgegebenen Kriterien leistungs-, aber auch sozio-emotional heterogene Gruppen bilden. Das würde bedeuten, dass auch in großen Lerngruppen Heterogenität erfasst und für die gezielte Optimierung von Lernprozessen genutzt werden kann.

iii) Infolgedessen könnten in der zweiten Phase der PIM (Pair) heterogene Paare das gemeinsame Lernprodukt aushandeln. Hierbei sind zwei Szenarien denkbar: Zum einen wäre in einer kollaborativen Lerngruppe eine Erarbeitung in Form einer Mensch-Mensch-Interaktion in adaptiven Settings möglich (Corno, 2008). Zum anderen könnte man aufgrund der diagnostizierten Kriterien, sowohl kognitiv als auch sozio-emotional, ein ITS als Lernpartner für einen Lernenden zur Seite stellen. Diese Schülerinnen und Schüler würden dann mit einem intelligenten Tutorssystem in einen Aushandlungsprozess gehen, um eine gemeinsame Lösung zu erarbeiten. Beide Ansätze erlauben es, neben den kognitiven auch emotionale Zustände während eines komplexen Lernvorgangs zu untersuchen und Rückschlüsse auf ihre Wirksamkeit zu ziehen (Harly, Bouchet, Hussain, Azevedo & Calvo, 2015).

Fest steht, dass Unterricht und Lehre die unterschiedlichen Voraussetzungen von Lernenden in den Mittelpunkt von Lehr-Lernprozessen stellen sollen. Die Peer-Interaction-Methode ist ein mögliches Lehrkonzept, diesem Anspruch gerecht zu werden. Der Beitrag zeigt erste Ergebnisse, wie Konzeptwechsel durch die Bildung leistungsheterogener Gruppen zur Erarbeitung des Themas Pflanzenernährung ausgelöst werden können. Des Weiteren können Digitalisierung und künstliche Intelligenz helfen, sowohl diagnostisch als auch im Vermittlungsprozess selbst, die Herausforderung Heterogenität für Lehrende und Lehrkräfte realisierbarer zu gestalten. In diesem Kontext wäre es zielführend, künstliche Intelligenz unterstützend bei der Bewältigung von Heterogenität in Unterricht und Lehre (in den Naturwissenschaften) in Zukunft zu nutzen. Allerdings ist die Datenlage zur Wirkung intelligenter Systeme bei Lehr-Lernprozessen bisher sehr uneinheitlich und bedarf demnach weiterer Forschung (Steenbergen-Hu & Cooper, 2013). Ein Rückfall zum programmierten Unterricht, der sich an behavioristischen Paradigmen orientiert, muss in jedem Fall vermieden werden (Albers, Magenheimer & Meister, 2011).

Literaturverzeichnis

Aamotsbakken, B., Matthes, E. & Schütze, S. (2017). *Heterogenität und Bildungsmedien: Heterogeneity and Educational Media*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Albers, C., Magenheim, J. & Meister, D. M. (2011). Der Einsatz digitaler Medien als Herausforderung von Schule-eine Annäherung. In C. Albers, H. Magenheim & D. M. Meister (Hrsg.), *Schule in der digitalen Welt: Medienpädagogische Ansätze und Schulforschungsperspektiven* (S. 7–16). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92850-0_1
- Barke, H. D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Wiesbaden: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0>
- Budde, J. (2012). Problematisierende Perspektiven auf Heterogenität als ambivalentes Thema der Schul- und Unterrichtsforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 58(4), 522–540.
- BMWF. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2023). *Handreichung: Auseinandersetzung mit Künstlicher Intelligenz im Bildungssystem*. Verfügbar unter: <https://www.bmbwf.gv.at/ki>
- Burton, R. R. (1982). Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In D. Sleeman & J. S. Brown (Hrsg.), *Intelligent tutoring systems* (S. 157–183). Boston, NY: Academic Press.
- Cañal, P. (1999). Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: an inevitable misconception?. *International Journal of Science Education*, 21(4), 363–371.
- Corno, L. Y. N. (2008). On teaching adaptively. *Educational Psychologist*, 43(3), 161–173.
- Dodge, E. & Lakoff, G. (2005). Image schemas: From linguistic analysis to neural grounding. In B. Hampe (Hrsg.), *From perception to meaning: Image schemas in cognitive linguistics* (S. 57–91). Berlin: De Gruyter.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education*, 11(5), 481–490.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905–923.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International journal of science education*, 25(6), 671–688.
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction – A framework for improving teaching and learning science. In D. Jorge & J. Dillon (Hrsg.), *Science education research and practice in Europe* (S. 13–37). Leiden, Bosten: Brill.
- Dumont, H. (2019). Neuer Schlauch für alten Wein? Eine konzeptuelle Betrachtung von individueller Förderung im Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 22(2), 249–277.
- Gallese, V. & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455–479.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867–888.

- Gropengießer, H. (2007).** Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedidaktischen Forschung: ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 105–116). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gropengießer, H. (2008).** Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172–189). Beltz Weinheim.
- Gunning, D., Stefik, M., Choi, J., Miller, T., Stumpf, S. & Yang, G.-Z. (2019).** XAI-Explainable artificial intelligence. *Science Robotics*, 4(37), eaay7120. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aay7120>
- Hammann, M. & Asshoff, R. (2023).** *Schülervorstellungen im Biologieunterricht: Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- Hattie, J. N. (2013).** *Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von »Visible Learning«*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Harley, J. M., Bouchet, F., Hussain, M. S., Azevedo, R. & Calvo, R. (2015).** A multi-componential analysis of emotions during complex learning with an intelligent multi-agent system. *Computers in Human Behavior*, 48, 615–625. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.013>
- Heeg, J., Hundertmark, S. & Schanze, S. (2020).** The interplay between individual reflection and collaborative learning—seven essential features for designing fruitful classroom practices that develop students’ individual conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(3), 765–788.
- Kattmann, U. (2007).** Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedidaktischen Forschung: ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93–104). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kattmann, U. (2015).** *Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Köln: Aulis.
- Klafki, W. & Stöcker, H. (1976).** Innere Differenzierung des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 22(4), 497–523.
- Klieme, E. & Warwas, J. (2011).** Konzepte der individuellen Förderung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 57(6), 805–818.
- Küchemann, S., Dengel, A. & Kuhn, J. (2021).** Künstliche Intelligenz im Lehr-Lernprozess von MINT-Fächern: Vom adaptiven Lernmaterial zur Implementation in die Lehrkräftebildung. *Bildung und Erziehung*, 74(3), 313–330.
- Kummer Wyss, A. & Buholzer, A. (2010).** *Alle gleich-alle unterschiedlich! Zum Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht*. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980).** *Metaphors We Live By*. University of Chicago, IL.
- Lipowsky, F. & Lotz, M. (2015).** Ist Individualisierung der Königsweg zum erfolgreichen Lernen? Eine Auseinandersetzung mit Theorien, Konzepten und empirischen Befunden. In G. Mehlhorn, K. Schöppe & F. Schulz (Hrsg.), *Begabungen entwickeln und Kreativität fördern* (S. 155–219). München: kopaed.

- Mayring, P. (2000).** Qualitative Content Analysis. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2), Art. 20. <https://doi.org/10.17169/fqs-1.2.1089>
- Messig, D. & Groß, J. (2018).** Understanding Plant Nutrition – The Genesis of Students' Conceptions and the Implications for Teaching Photosynthesis. *Education Sciences*, 8(3), 132.
- Messig, D. (2020).** *Fotosynthese verstehen – Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtsstruktur unter Anwendung der Metapherntheorie*. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Michelsen, M., Groß, J., Paul, J. & Messig, D. (2022).** Elaboration of Practical Diagnostic Competence in Context of Students' Conceptions on Plant Nutrition. *Science Education International*, 33(2), 213–223.
- Möller, K. (2001).** Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In H. G. Roßbach, K. Nölle & K. Czerwenka (Hrsg.), *Forschungen zu Lehr- und Lernkonzepten für die Grundschule. Jahrbuch Grundschulforschung*, (Band 4, S. 16–31). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Mousavinasab, E., Zarifasanaiey, N., R. Niakan Kalthori, S., Rakhshan, M., Keikha, L. & Ghazi Saeedi, M. (2021).** Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. *Interactive Learning Environments*, 29(1), 142–163.
- Neuhold, B. (2013).** *Learning Analytics-Mathematik Lernen neu gedacht*. BoD - Books on Demand.
- Nwana, H. S. (1990).** Intelligent tutoring systems: An overview. *Artificial Intelligence Review*, 4, 251–277.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D. et al. (2004).** *PISA-Konsortium Deutschland. PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Riemeier, T. (2007).** Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung: ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 69–79). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rohrer, T. (2005).** Image schemata in the brain. In B. Hampe (Hrsg.), *From perception to meaning: Image schemas in cognitive linguistics* (S. 165–196). Berlin: De Gruyter.
- Roth, G. (2005).** Gehirn, Gründe und Ursachen. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 53(5), 691–706.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. & Fischler, H. (2018).** *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schrenk, M., Gropengießer, H., Groß, J., Hammann, M., Weitzel, H. & Zabel, J. (2019).** Schülervorstellungen im Biologieunterricht. In M. Schrenk, H. Gropengießer, J. Groß, M. Hammann, H. Weitzel & J. Zabel, *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 3–20). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Siebert, H. (2014).** *Didaktisches Handeln in der Erwachsenenbildung: Didaktik aus konstruktivistischer Sicht*. Augsburg: Ziel.

- Steenbergen-Hu, S. & Cooper, H. (2013).** A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on K–12 students' mathematical learning. *Journal of educational psychology*, 105(4), 970.
- Wahl, D. (2002).** Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln?. *Zeitschrift für Pädagogik*, 48(2), 227–241.
- Zeller, C. & Schmid, U. (2016).** *Automatic generation of analogous problems to help resolving misconceptions in an intelligent tutor system for written subtraction*. Bamberg: opus. Oral presentation at 24th International Conference on Case Based Reasoning, Atlanta, GA. Nov. 2016.

Über den Beitragsautor

Messig, Denis, Dr., Gymnasiallehrer für Englisch, Biologie und Natur & Technik; Lehr- und Forschungsschwerpunkte während der Vertretung der Professur für Didaktik der Naturwissenschaften an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg (bis 08/2024): Förderung von Lehr-Lernprozessen im Bereich Pflanzenernährung, konzeptuelle Metaphertheorie, Evaluation von Lehr-Lern-Arrangements; ORCID: 0000-0001-6508-7504.