

## **AufGezeichnet gelernt**

- Lernen mit Zeichnungen im Kontext physikalischer Inhalte -

**Peter Michael Westhoff, Susanne Heinicke**

Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster  
peterm.westhoff@uni-muenster.de, susanne.heinicke@uni-muenster.de

### **Kurzfassung**

Im Forschungsprojekt wird die Effektivität von vier verschiedenen zeichnerischen Methoden (Betrachten, Abzeichnen, Ergänzen und Freizeichnen) auf das Leseverstehen und die Konzeptbildung von Lernenden im naturwissenschaftlichen Unterricht beforscht und in Verbindung mit personenbezogenen Merkmalen gesetzt. Bei der im Folgenden beschriebenen ersten Auswertung zeigen sich Tendenzen, dass die Methode des „Ergänzens“ von Zeichnungen die besten Ergebnisse in Bezug auf die Nennung richtiger Konzeptbausteine und das geringste Auftreten von Fehlvorstellungen erzielt. Das „Freizeichnen“ zeigt ebenfalls im Bezug auf den Lernerfolg vielversprechende Ergebnisse. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass zeichnerische Methoden, insbesondere das Ergänzen und Freizeichnen, das Lernen und Verstehen von naturwissenschaftlichen Konzepten fördern können. Die Analyse weiterer Daten ist zur weiteren Klärung notwendig. Im Folgenden soll vor allem die Analysemethode in den Blick genommen werden.

### **1. Einleitung**

Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden Inhalte häufig durch eine Kombination aus Texten und verschiedenen nicht-(fließ-)textlichen Darstellungsformen vermittelt.

Visualisierungen unterstützen das Lernen und Erinnern fachlicher Inhalte, indem sie Lernende dazu anregen, Informationen aktiv zu verarbeiten (Fiorella & Zhang, 2018). Die eigenständige Anfertigung von Zeichnungen stellt dabei eine besonders anspruchsvolle Form der kognitiven Aktivierung dar, da Lernende Informationen auswählen, strukturieren und in eine bildliche Darstellung überführen müssen. Studien zeigen, dass das Zeichnen beim Lernen insbesondere das metakognitive Monitoring, also die Überwachung des eigenen Lernfortschritts, fördert. Allerdings ist ein unmittelbarer Zugewinn an Lernerfolg nicht immer garantiert und hängt stark vom Kontext, den jeweiligen Kompetenzen und Vorwissen ab. So kann das Zeichnen zu fachlich unzureichenden Darstellungen führen oder mehr Zeit in Anspruch nehmen als das reine Betrachten von Visualisierungen (Kollmer et al., 2020).

Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie die Effektivität von vier verschiedenen zeichnerischen Methoden – dem Betrachten, Abzeichnen, Ergänzen und Freizeichnen – auf den Lernerfolg und insbesondere auf die Konzeptbildung von Lernenden. Um die Wirksamkeit dieser Methoden differenziert zu erfassen, werden verschiedene Auswertungsansätze kombiniert. Zunächst erfolgt eine Bewertung des Konzeptverständnisses, indem analysiert wird, inwieweit die Lernenden zentrale fachliche

Zusammenhänge korrekt und vollständig in ihren Antworten darstellen. Darüber hinaus werden die Lernendenantworten auf Fehlvorstellungen untersucht, um zu identifizieren, welche Missverständnisse oder alternativen Konzepte im Lernprozess auftreten und wie diese durch die jeweilige Methode beeinflusst werden. Ergänzend dazu wird eine relative Bewertung der Korrektheit vorgenommen, bei der die Lernendenantworten hinsichtlich ihrer fachlichen Genauigkeit und Angemessenheit eingeordnet werden. Diese mehrdimensionale Auswertung ermöglicht es, nicht nur den Grad des erworbenen Verständnisses, sondern auch die Qualität und Tiefe der Konzeptbildung sowie die Persistenz oder Überwindung von Fehlvorstellungen differenziert zu erfassen.

### **2. Theoretische Grundlagen**

Im Rahmen der Betrachtung von Methoden im Zusammenhang mit Zeichnungen lässt sich die Literatur in drei Bereiche untergliedern: Rezeption, Produktion und geführte Produktion. Dabei unterscheiden sich diese im Umfang der eigenständigen Bildgenerierung.

#### **2.1. Rezeption**

Mit Blick auf die Rezeption von Visualisierungen im Lernprozess beschreiben die Theorien von Mayer (2009 und 2014), Clark und Paivio (1991) sowie Schnotz (2002 und 2014) verschiedene Erkenntnisse. Die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) von Mayer besagt, dass Lernende Informationen aus multimedialen Lernmaterialien über zwei separate Kanäle aufnehmen und verarbeiten: Bilder über den visuellen Kanal und

auditive Eindrücke über den sprachlichen Kanal. Dieser Ansatz wird durch die Dual-Coding-Theorie (DCT) von Paivio (1991) unterstützt. Diese besagt, dass Informationen im menschlichen Gehirn auf zwei verschiedenen Wegen verarbeitet werden: dem verbalen und dem nonverbalen. Die Kombination von Texten und Visualisierungen führt laut Mayer (2014) zu einer besseren Verarbeitung und Speicherung von Informationen, da beide Wege parallel arbeiten und sich gegenseitig ergänzen.

Das „Integrated Model of Text and Picture Comprehension“ von Schnotz (2014) baut auf diesen Theorien auf und beschreibt, wie Menschen Informationen aus Texten und Bildern aufnehmen, verarbeiten und zu einem kohärenten Verständnis zusammenführen. Es basiert auf der Annahme, dass Texte und Bilder unterschiedliche Repräsentationsformate nutzen. Die Integration von Text und Bild erfordert, dass Lernende beide Formate aktiv verarbeiten und deren Inhalte aufeinander beziehen. Durch die Kombination von Texten und Visualisierungen können Lernende ein umfassenderes Verständnis des Lernstoffs erlangen (Zhang & Fiorella, 2018), wie es auch die CTML von Mayer vorschlägt. Die DCT von Clark & Paivio stützt diese Annahme, indem sie zeigt, dass die Verarbeitung von Visualisierungen direkt in den nonverbalen Weg eingebracht und dort verarbeitet wird, während die Verarbeitung von Texten den verbalen Weg nutzt. Die kontinuierliche Integration von Text und Bild hat einen positiven Einfluss auf die Fähigkeit von Lernenden, Informationen zu verarbeiten und zu speichern (vgl. Schnotz, 2014).

## 2.2. Produktion

In der Weiterführung und mit dem Ziel, die Lernenden zu aktivieren, ist die selbstständige Produktion von Zeichnungen genauer in den Blick zu nehmen. Dabei kommt häufig die selbstregulierende, generative Lernstrategie des „Sinnstiftenden Zeichnens“ zum Einsatz (Leutner & Opfermann, 2013). Die positiven Auswirkungen dieses selbstentwickelnden Prozesses einer Zeichnung zu zentralen Inhalten eines Textes sowie die tiefere und reflektierte Konstruktion mentaler Modelle werden auch in den Theorien von van Meter und Firetto (2013) beschrieben.

Die theoretische Basis dafür bildet die „Generative Theory of Drawing Construction“ von van Meter und Garner (2005). Nach dieser Theorie lässt sich die Wirksamkeit des Lernens mit selbst erzeugten Bildern darauf zurückführen, dass dadurch kognitive und metakognitive Verarbeitungsprozesse besonders angeregt werden. Im Einklang mit multimedialen Lerntheorien gehen van Meter und Garner (2005) davon aus, dass beim Umsetzen eines im Text beschriebenen Sachverhalts in eine eigene Zeichnung die drei kognitiven Prozesse Selektion, Organisation und Integration aktiv durchlaufen werden. Insbesondere das Integrieren von Text- und

Bildinformationen wird beim eigenständigen Zeichnen gefördert, da Lernende explizite Verbindungen zwischen Text und den zu zeichnenden Bildelementen herstellen müssen (van Meter & Garner, 2005).

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass das Lernen mit selbst erstellten Bildern metakognitive Prozesse verstärkt. Insbesondere die Überwachung des eigenen Lernprozesses wird gefördert, da Lernende beim Zeichnen unmittelbar Rückmeldung darüber erhalten, ob sie ihre innere Vorstellung tatsächlich in eine äußere Darstellung umsetzen können. Diese metakognitive Überwachung kann das Erkennen von Verständnisproblemen erleichtern, was wiederum zur Aktivierung kognitiver Strategien, wie dem erneuten Lesen bestimmter Textpassagen, führen kann. Hinweise auf diese Prozesse liefert eine Studie von van Meter (2001). In dieser Studie wurden Lernende dazu angeleitet, ein Bild zu einem Text zu zeichnen. Die Lernenden nutzten deutlich häufiger Selbstüberwachungs- und Überarbeitungsstrategien als Lernende, die mit einer vorgegebenen Text-Bild-Kombination arbeiteten. Auch Leopold und Leutner (2002) stellten fest, dass Elftklässler, die beim Lernen aus einem Sachtext eigene Bilder anfertigten, häufiger metakognitive Strategien einsetzten.

Aus Sicht der Modelle zum selbstregulierten Lernen spielen neben kognitiven und metakognitiven auch motivationale Faktoren eine Rolle (vgl. Zimmerman & Schunk, 2001). So können positive Anreize, die mit der Tätigkeit des Zeichnens verbunden sind, die lernförderliche Wirkung selbst erzeugter Bilder zusätzlich verstärken (vgl. Rheinberg, 2000).

Die positiven Effekte des Lernens mit selbst erzeugten Bildern konnten in mehreren Studien empirisch nachgewiesen werden (Lesgold, DeGood & Levin, 1977; Lesgold, Levin, Shimron & Guttman, 1975; van Meter, 2001; van Meter & Garner, 2005). Es existieren allerdings auch Untersuchungen, die keine positiven Effekte auf das Textverständnis zeigen (Leutner, Leopold & Sumfleth, 2009; van Meter & Garner, 2005).

## 2.3. Geführte Produktion

Die Forschung zum Lernen mit selbst generierten Bildern zeigt eine differenzierte Befundlage: Während das eigenständige Zeichnen von Bildern das Textverständnis und den Lernerfolg potenziell fördern kann, sind die tatsächlichen Effekte stark von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Zentrale Bedeutung kommt dabei der Qualität der Zeichnungen zu (Leopold, 2009; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006). Gleichzeitig kann eine erhöhte extrinsische kognitive Belastung, etwa durch das gleichzeitige Lesen und Zeichnen, den Lernerfolg beeinträchtigen (Sweller, 1999, 2005; Leutner et al., 2009). Studien zeigen, dass das bloße Anweisen zum Zeichnen ohne weitere Unterstützung oftmals nicht lernförderlich ist, während gezielte instruktionale Hilfestellungen – wie das Ergänzen vorgegebener

Bildelemente oder der Vergleich mit Expertenzeichnungen – das Textverständnis signifikant verbessern können (Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter et al., 2006).

Diese Befunde unterstreichen, dass der Lernprozess individuell verläuft und von Faktoren wie Vorwissen, kognitiver Kapazität und Motivation beeinflusst wird (Mayer, 2002). Mayer betont, dass Lernen ein aktiver, selbstgesteuerter Prozess ist, bei dem Lernende Informationen auswählen, organisieren und mit vorhandenem Wissen verknüpfen. Aufgrund der begrenzten Verarbeitungskapazität jedes Einzelnen ist die Gefahr einer kognitiven Überlastung besonders bei komplexen Aufgaben wie dem gleichzeitigen Lesen und Zeichnen groß. Daher ist die gezielte instruktionale Unterstützung, beispielsweise durch das Ergänzen unvollständiger Grafiken, eine vielversprechende Methode, um den Lernprozess zu erleichtern und das Leseverstehen zu fördern (Ainsworth & Scheiter, 2021; Fiorella & Zhang, 2018; Schmeck et al., 2014; Kollmer et al., 2020).

Für die Unterrichtspraxis ergibt sich daraus die Empfehlung, generierende Methoden wie das Zeichnen nicht isoliert, sondern in Kombination mit gezielten Unterstützungsmaßnahmen einzusetzen, um individuelle Unterschiede zu berücksichtigen und den Lernerfolg nachhaltig zu steigern.

### 3. Forschungsfragen

Anknüpfend an den aktuellen Forschungsstand werden die Zusammenhänge zwischen der Lernförderlichkeit von Methoden im Umgang mit Zeichnungen und mit besonderem Blick auf die Heterogenität der Lernenden betrachtet. Das ganze Projekt ist aufgeteilt in mehrere Teilstudien. Die erste Teilstudie nimmt personenbezogene Merkmale hinsichtlich u.a. der Kreativität und Motivation zum Zeichnen oder dem Fachinteresse in den Blick.

In dieser zweiten, im Folgenden beschriebenen Teilstudie liegt der Fokus auf dem Lernen und befasst sich mit der Beantwortung zweier Fragen.

1. Lernförderlichkeit Zeichenaktivität – Wie unterscheidet sich das Lernen mit und ohne Zeichenaktivität bei der Erschließung naturwissenschaftlicher Texte?

Das Lernen wird dabei an vier abhängigen Variablen „Wissenstand“, „Motivation“, „kognitive Anstrengung“ und „subjektives Lernempfinden“ gemessen. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Digitalisierung und damit die Möglichkeit, Abbildungen wie das Tafelbild schnell und einfach abzufotografieren, ist es hilfreich zu wissen, ob sich bezüglich des Leseverstehens der zeitliche Aufwand lohnt, dass die Lernenden ihre eigenen Abbildungen zeichnen.

2. Lernförderlichkeit – Bildgenerierung – Wie unterscheidet sich das Lernen mit unterschiedlichem Umfang der zeichnerischen

Bildgenerierung bei der Erschließung naturwissenschaftlicher Texte?

So werden die generierenden Methoden Abzeichnen, Ergänzen und Freizeichnen untereinander verglichen, die sich im Grad der Entwicklung bzw. Zusammenstellung der Grafiken unterscheiden.

Ein letzter Studienteil befasst sich anschließend mit der Kombination beider Teilstudien und beleuchtet mögliche Zusammenhänge zwischen den personenbezogenen Merkmalen und der Lernförderlichkeit der Methoden.

### 4. Studiendesign:

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welchen Einfluss verschiedene Methoden der aktiven Textverarbeitung auf den Wissenszuwachs, die Motivation und die kognitive Belastung von Lernenden (Gymnasium und Gesamtschule) haben. Ziel der Untersuchung war es, zu erfassen, wie sich die Methode der Bearbeitung eines Textes auf den individuellen Lernprozess auswirken.

Dazu erhielten die Teilnehmenden jeweils einen von zwei Sachtexten, die altersgerecht aufbereitet waren und naturwissenschaftliche Themen behandelten. Der erste Text mit dem Titel „Ente auf Eis – Wärmeschutz der Ente“ thematisiert die Prinzipien der Wärmeisolation einer Ente im Winter, während der zweite Text „Leuchten am Himmel – Die Polarlichter“ physikalische Grundlagen atmosphärischer Erscheinungen erklärt. Die Texte sind strukturell gleich aufgebaut aus einer Einleitung und drei weiteren Textabschnitten, inhaltlich baute der Text über Polarlichter jedoch stärker aufeinander auf.

Alle Lernenden arbeitete ausschließlich mit einem der beiden Texte. Die Zuweisung der Bearbeitungsmethode erfolgte jeweils pro Klasse und wurde jeweils vorgegeben. Die Methoden umfassten das reine Betrachten der Bilder im Text, das Abzeichnen der Abbildungen, das Ergänzen von vorgegebenen Zeichnungen sowie das Freizeichnen von Inhalten ohne Vorlage. Dadurch sollte erfasst werden, ob und wie sich unterschiedliche Grade der aktiven Auseinandersetzung mit visuellen Inhalten auf den Lernprozess auswirken.

Für die Bearbeitung der Aufgabe stand maximal eine Schulstunde mit 45 Minuten zur Verfügung. Im Anschluss an die Bearbeitungsphase wurde ein Wissenstest durchgeführt, der aus drei offenen Fragen sowie zwölf geschlossenen Verifizierungsaufgaben bestand. Dieser Test wurde auch vor Beginn der Lernphase (Pre-Test) sowie ca. 3 Wochen nach der Intervention (Follow-Up) eingesetzt, um kurzfristige und langfristige Lernwirkungen zu erfassen. Zusätzlich wurden im direkten Anschluss an die Bearbeitung (Post-Test) Fragen zur Lernmotivation und zur subjektiv wahrgenommenen kognitiven Belastung gestellt, um emotionale und kognitive Begleitfaktoren des Lernprozesses zu erfassen.

Das Studiendesign folgt somit einem klassischen Pre-Post-Follow-Up-Ansatz mit einer zwischen den Gruppen variierten Kombination aus Textinhalt und Bearbeitungsmethode. Durch diesen Aufbau sollte ermittelt werden, inwiefern unterschiedliche Zugänge zur Verarbeitung von Lernmaterial – insbesondere im Hinblick auf Visualisierungsstrategien – den Lernerfolg und die damit verbundenen motivationalen und kognitiven Prozesse beeinflussen. Die Ergebnisse der Studie versprechen Aufschluss darüber, welche Formen der aktiven Bildverarbeitung im schulischen Kontext besonders förderlich für den Wissenserwerb sind und wie Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen von spezifischen didaktischen Maßnahmen profitieren können.

### 5. Studienbeschreibung

Die Datenerhebung für die Studie fand zwischen November 2024 und Februar 2025 statt. Insgesamt nahmen 333 Lernende der 8. und 9. Klassenstufe an der gesamten Studie teil. Die Stichprobe setzte sich zu 49 % aus weiblichen und zu 51 % aus männlichen Teilnehmenden zusammen. Der Großteil der Lernenden besuchte ein Gymnasium (83 %), 17 % eine Gesamtschule.

Die Gruppengröße pro Kombination aus Text und Methode lag bei etwa 40 Lernende ( $\pm 5$ ). Dieses Design ermöglichte einen Vergleich der Wirksamkeit verschiedener visueller Bearbeitungsformen im schulischen Kontext.

### 6. Auswertung der offenen Fragen

Die Auswertung des Wissenstests befindet sich derzeit in der Analysephase. Eine erste Betrachtung der geschlossenen Items in einer Pilotstudie zeigt lediglich eine leichte Tendenz, jedoch keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Bearbeitungsgruppen vom Pre- zum Posttest. Auch andere Studien haben darauf hingewiesen, dass geschlossene Fragen hier nicht genügend aussagekräftig zu sein scheinen (Kollmer et al., 2020). Daher sind in der vorliegenden Studie auch offene Items eingebunden, die genauer das konzeptionelle Verständnis der Inhalte auflösen können.

Vor diesem Hintergrund richtet sich der Fokus nun auf die offenen Antworten. Diese bieten die Möglichkeit, qualitative Unterschiede im Verständnis sowie in der Tiefe der inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Lernstoff genauer zu beleuchten.

Die Auswertung der Lernergebnisse erfolgt in drei Schritten (unten genauer beschrieben).

1. Zunächst wird eine absolute Bewertung vorgenommen, indem die Antworten der Lernenden entsprechend der im Text enthaltenen Konzepte paraphrasiert und die Anzahl der enthaltenen Konzeptbausteine entsprechend eines

selbstentwickelten Kodier-/Bewertungsleitfadens gezählt werden (siehe 6.1).

2. Im zweiten Schritt werden die auftretenden Fehlvorstellungen mithilfe einer induktiven Kodierung systematisch erfasst und kategorisiert (siehe 6.2).
3. Abschließend erfolgt eine relative Bewertung der Korrektheit auf einer fünfstufigen Likert-Skala, die – im Gegensatz zur eher objektiven, absoluten Bewertung – einen interpretativen Charakter hat und der Einschätzung durch Lehrkräfte nahekommt (siehe 6.3).

#### 6.1. Analyse des Konzeptgedankens

Zur Erfassung des inhaltlichen Verständnisses der Lernenden wurden drei offene Fragen zum Textinhalt gestellt. Diese offenen Aufgaben ermöglichen es den Lernenden, sich differenziert zu verschiedenen Aspekten des Textes zu äußern. Die Auswertung der Antworten erfolgt im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse, bei der die Lernendenäußerungen zunächst paraphrasiert und anschließend kodierend in Bezug auf fachliche Konzepte ausgewertet werden.

Die Analyse orientiert sich an einem konzeptgeleiteten Kodierleitfaden, der auf Grundlage der gegebenen Texte erstellt wurde und in drei Stufen gegliedert ist: Begriffe, Grundwissen (Allgemeinwissen) und Konzepte (für das Verständnis des Sachverhalts wichtig).

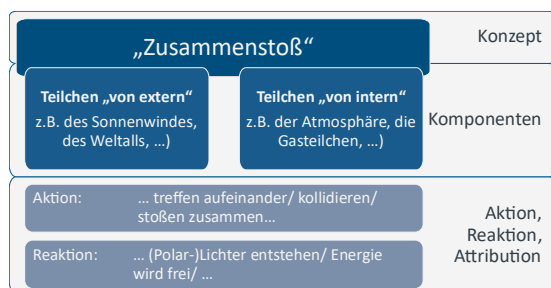
Besonderes Augenmerk liegt gerade beim Text über Polarlichter auf den fachlichen Konzepten, die zentral im Text vermittelt werden, inhaltlich aufeinander aufbauen bzw. ineinandergreifen und so durch die visuelle, mehrdimensionale Herangehensweise besonders bearbeitet und gefördert werden können. Diese Konzepte lassen sich inhaltlich abgrenzen und bilden die Grundlage für die konzeptbezogene Auswertung. In dem Text über Polarlichter wurden 5 Konzepte identifiziert: „Zusammenstoß der Teilchen“, „Schutz / Ablenkung der Teilchen“, „Schwachstelle im Schutzschild“, „Farben der Polarlichter“ und „Intensität der Polarlichter“.

Ein Konzept wird definiert als ein Begriff oder ein System von Komponenten, das dazu dient, ein Phänomen zu beschreiben. Es setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, die in Beziehung zueinander stehen, miteinander in Aktion treten und bestimmte Merkmale tragen. Am Beispiel des Konzepts „Zusammenstoß“ lässt sich dies verdeutlichen (vgl. Abbildung unten):

Das Konzept „Zusammenstoß“ besteht aus zwei Komponenten, den „Teilchen von extern“ und den „Teilchen von intern“. Diese treten miteinander in Aktion (z.B. „Sie treffen aufeinander“), was wiederum eine oder mehrere Reaktionen nach sich zieht (z.B. „Es leuchtet“, „Energie wird frei“). Zusätzlich können Konzepten verschiedene Attributionen wie eine Lokalisation oder

Proportionen zugeordnet werden ( z.B. „an den Polen“, „Je mehr..., desto...“.

Die Lernendenantworten zeigen, dass die Lernenden bei der Beschreibung eines Konzeptes unterschiedliche Begriffe oder Beschreibungen verwenden. Inhaltlich werden die Prozesse jedoch sinngemäß beschrieben. So wird beispielsweise die Reaktion des Zusammenstoßes der Teilchen mal als „(Polar-) Lichter“ und ein anderes Mal als „freiwerdende Energie, die wir als Licht sehen können“ beschrieben. Dies verdeutlicht, zum einen, dass eine Bewertung nach der Nennung von Begriffen nur einen Teil der Antwortleistung berücksichtigen würde und zum anderen es sich bei Konzepten häufig und daher auch im Besonderen bei dem Text zur Entstehung von Polarlichtern um ineinandergreifende Prozesse handelt. Synonyme oder alternative Beschreibungen können so als Komponenten desselben Konzeptes kodiert werden. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Vielfalt der Ausdrucksweisen der Lernenden systematisch zu erfassen und die Entwicklung ihrer Konzeptvorstellungen differenziert abzubilden.



**Abb. 1:** Beispiel Konzept "Zusammenstoß" (eigene Darstellung)

## 6.2. Analyse der Fehlkonzepte

Fehlvorstellungen, die in den Antworten der Lernenden auftreten, werden im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring induktiv codiert. Dabei werden die Kategorien nicht vorab festgelegt, sondern direkt aus dem Material entwickelt, um einen systematischen Überblick über die Vielfalt der Fehlkonzepte zu gewinnen (Mayring, 2022).

Ein Beispiel hierfür ist die Lernendenantwort: „Die Erdatmosphäre verhindert, dass geladene Teilchen oder Sonnenwinde zur Erde durchdringen.“ Im Konzept „Schutz/Ablenkung“ ist die Komponente „Erdatmosphäre“ jedoch falsch, da tatsächlich das Magnetfeld diese Schutzfunktion übernimmt. Solche falschen Zuordnungen werden als Fehlvorstellungen identifiziert und als eigene induktiv gebildete Kategorie erfasst, wodurch die Analyse flexibel auf die tatsächlichen Antworten der Lernenden eingehen kann (Mayring, 2022). So wird die falsche Nennung aufgenommen, aber dennoch kann der richtige Anteil des konzeptionellen Prinzips auf diese Weise kodiert werden.

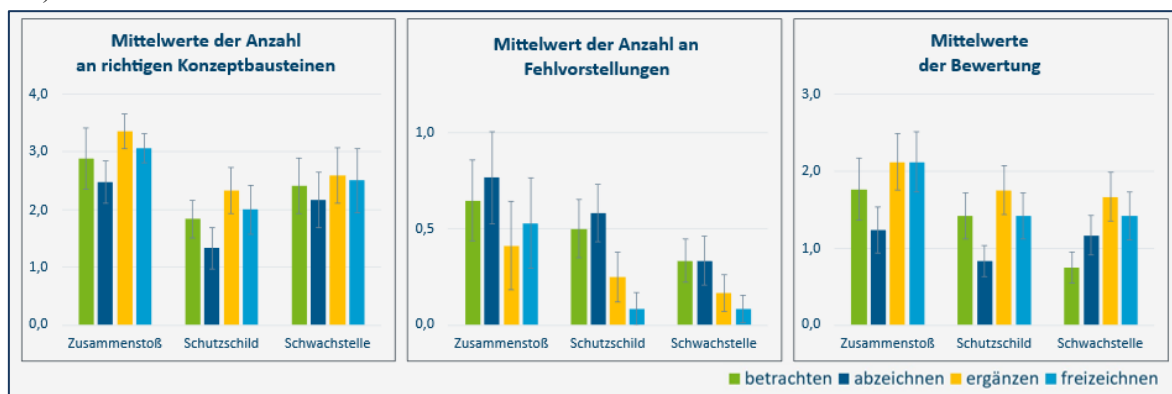
## 6.3. Relative Bewertung

Die relative Bewertung der Lernendenantworten erfolgt anhand einer fünfstufigen Likert-Skala, die den Umfang und die inhaltliche Tiefe der Antworten zu den Fragen nach der Rolle der Erdatmosphäre, der Rolle der Sonne sowie der Lokalisation und Begründung der Polarlichter differenziert abbildet.

Die Skala reicht von 0 Punkten für eine falsche Antwort über 1 Punkt für eine unvollständige Antwort oder einen gravierenden Fehler, 2 Punkte für eine unvollständige, aber richtige Antwort oder eine vollständige Antwort mit konzeptionellem Fehler, bis hin zu 3 Punkten für eine vollständige Antwort und 4 Punkten für eine vollständige Antwort mit zusätzlicher, vertiefender Information.

Für das Konzept der Erdatmosphäre entspricht eine vollständige Antwort (3 Punkte) beispielsweise der Aussage: „Die Erdatmosphäre besteht aus (Teil 1) (Gas-) Teilchen. Wenn die Gasteilchen mit den Teilchen der Sonne (Teil 2) zusammenstoßen (Teil 3), [leuchtet es/ Energie wird frei/ entstehen Polarlichter (Zusatzpunkt dann 4 Punkte)].“

Werden nur einzelne Teilkonzepte genannt, erfolgt eine niedrigere Bewertung. Zusätzliche Aspekte (in eckigen Klammern), wie die Erklärung der unterschiedlichen Farben der Polarlichter in Bezug auf die jeweiligen Gasteilchen oder die Verbindung der freiwerdenden Energie mit dem Licht, werden mit der höchsten Punktzahl (4 Punkte) gewürdigt. So



**Abb. 2:** Ergebnisse der ersten Teilauswertung getrennt nach Mittelwerten für die Anzahl der richtigen Konzeptbausteine (links), Mittelwerte der Anzahl an Fehlvorstellungen (mitte) und Mittelwerte der relativen Bewertung (rechts)

ermöglicht dieses Bewertungssystem eine differenzierte und nachvollziehbare Einschätzung der Antworten hinsichtlich ihrer inhaltlichen Vollständigkeit und konzeptuellen Tiefe.

## 7. Ergebnisse

Im Rahmen einer ersten Kohorte wurde eine erste Auswertung der Lernendenantworten vorgenommen. Für jede Bewertungsmethode wurden jeweils zwölf Antworten analysiert und anhand der zuvor definierten Auswertungsschritte bewertet. Im Fokus der Auswertung standen die Mittelwerte der drei Bewertungsschritte, um eine Einschätzung der Antwortqualität zu ermöglichen. Die Berechnung der Mittelwerte erfolgte getrennt für jeden Lernenden, wodurch erste Hinweise auf die Verteilung und Streuung der Antwortqualitäten innerhalb der untersuchten Kohorte gewonnen werden konnten.

Die Auswertung der Diagramme (vgl. Abb. 2) zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Methoden hinsichtlich der Nennung richtiger Konzeptbausteine beim Konzept der Schwachstelle. Hierbei schneidet das Abzeichnen am schlechtesten ab, während das Ergänzen die besten Ergebnisse erzielt. Dieses Muster bestätigt sich auch bei den Konzepten „Schutzschild“ und „Schwachstelle“, wo ebenfalls beim Ergänzen die meisten Konzeptbausteine in den Antworten genannt werden.

Bezüglich der Anzahl an Fehlvorstellungen ergibt sich beim Konzept der Schwachstelle, dass die meisten Fehlvorstellungen beim Abzeichnen auftreten, während das Ergänzen zu den wenigsten Fehlvorstellungen führt. Bei den Konzepten „Schutzschild“ und „Schwachstelle“ wiederum zeigt sich, dass beim Freizeichnen am wenigsten Fehlvorstellungen auftreten.

Die Mittelwerte der relativen Bewertung der Korrektheit spiegeln diese Tendenzen wider: Die Methoden Ergänzen und Freizeichnen erzielen die höchsten Mittelwerte, während das Abzeichnen auch hier am schlechtesten abschneidet.

Es ist jedoch zu beachten, dass diese Ergebnisse bislang auf einer Teilmenge von jeweils nur zwölf Lernenden-Antworten pro Methode basieren. Daher handelt es sich um erste Tendenzen, die Unterschiede sind statistisch noch nicht signifikant und müssen mit der Auswertung weiterer Antworten überprüft werden.

## 8. Fazit und Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse stellen einen Zwischenstand im laufenden Auswertungsprozess dar. Erste Tendenzen hinsichtlich der Unterschiede zwischen den untersuchten Methoden sind bereits erkennbar, doch ist für belastbare Aussagen die Auswertung weiterer Datensätze notwendig, um die bisherigen Befunde zu verdichten.

Im nächsten Schritt werden alle verfügbaren Datensätze ausgewertet, einschließlich der

Ergebnisse aus Pre-, Post- und Follow Up-Tests, um die Entwicklung und Nachhaltigkeit der Lernmethoden über drei Messzeitpunkte hinweg systematisch zu vergleichen. Darüber hinaus sollen die Daten zu Cognitive Load, zur Selbstwerteinschätzung des Lernerfolgs und zur Time on Task mit den Ergebnissen zum Lernerfolg in Verbindung gesetzt werden. Ergänzend werden potenzielle Korrelationen zu weiteren, parallel erhobenen personenbezogenen Variablen wie Interesse und Kreativität analysiert. Ziel ist es, ein umfassenderes Verständnis der Wirkmechanismen der verschiedenen Lernmethoden und ihrer individuellen Einflussfaktoren zu gewinnen.

## 9. Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.
- Ainsworth, S., Prain, V. & Tytler, R. (2011). Science education. Drawing to learn in science. *Science* (New York, N.Y.), 333(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ainsworth, S. E. & Scheiter, K. (2021). Learning by Drawing Visual Representations: Potential, Purposes, and Practical Implications. *Current Directions in Psychological Science*, 30(1), 61–67. <https://doi.org/10.1177/0963721420979582>
- Boldini, A., Russo, R., Punia, S. & Avons, S. E. (2007). Reversing the picture superiority effect: a speed-accuracy trade-off study of recognition memory. *Memory & Cognition*, 35(1), 113–123. <https://doi.org/10.3758/BF03195948>
- Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149–210. <https://doi.org/10.1007/BF01320076>
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J [J.] (2001). Learning by imagining. *Journal of experimental psychology. Applied*, 7(1), 68–82. <https://doi.org/10.1037/1076-898x.7.1.68>
- Fernandes, M. A., Wammes, J. D. & Meade, M. E. (2018). The Surprisingly Powerful Influence of Drawing on Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), 302–308. <https://doi.org/10.1177/0963721418755385>
- Fiorella, L. & Zhang, Q. (2018). Drawing Boundary Conditions for Learning by Drawing. *Educational Psychology Review*, 30(3), 1115–1137. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8>
- Kollmer, J., Schleinschock, G., Scheiter, K. & Eitel, A. (2020). Is drawing after learning effective for metacognitive monitoring only? *Learning and Instruction*, 66, 101296.
- Leopold, C. (2009). Lernstrategien und Textverstehen: Spontaner Einsatz und Förderung von Lernstrategien. Münster: Waxmann.

- Leutner, D., Leopold, C., & Schmeck, A. (2009). Learning by Drawing: Evidence for Generative Learning in the Classroom. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 121–129.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, 22(1), 16–26.
- Lesgold, A. M., De Good, H., & Levin, J. R. (1977). Pictures and Young children's Prose Learning: A Supplementary Report. *Journal of Reading Behavior*, 9(4), 353–360. <https://doi.org/10.1080/10862967709547240>
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J., & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*, 67(5), 636–642. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.67.5.636>
- Leopold, C., & Leutner, D. (2002). Selbstreguliertes Lernen beim Wissenserwerb aus Texten: Förderung durch Strategietraining. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 16(3/4), 163–172.
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 284–289.
- Leutner, D., & Opfermann, M. (2013). Drawing to learn: Ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand. *Unterrichtswissenschaft*, 41(2), 91–104.
- Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S. & Wu, H. (2017). The Effect of Learner-Generated Drawing and Imagination in Comprehending a Science Text. *The Journal of Experimental Education*, 85(1), 142–154. <https://doi.org/10.1080/00220973.2016.1143796>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139164603>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (13. Aufl.). Beltz.
- Paivio, A. (1990). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press Incorporated. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195066661.001.0001>
- Rheinberg, F. (2000). *Motivation*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Schmeck, A., Opfermann, M., van Gog, T., Paas, F., & Leutner, D. (2014). Measuring cognitive load with subjective rating scales during problem solving: Differences between immediate and delayed ratings. *Instructional Science*, 43, 93–114. <https://doi.org/10.1007/s11251-014-9328-3>
- Schmeck, A., Mayer, R. E., Opfermann, M., Pfeiffer, V. & Leutner, D. (2014). Drawing pictures during learning from scientific text: testing the generative drawing effect and the prognostic drawing effect. *Contemporary Educational Psychology*, 39(4), 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.07.003>
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101–120. <https://doi.org/10.1023/A:1013136727916>
- Schnotz, W. (2014). Integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed., pp. 72–103). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.006>
- Schwamborn, A., Thillmann, H., Leopold, C., & Leutner, D. (2010). Der Einsatz von vorgegebenen und selbstgenerierten Bildern als Textverstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext. *Unterrichtswissenschaft*, 38(2), 111–132. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000018>
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 129–140. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.129>
- van Meter, P., & Garner, J. K. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285–325. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-8136-3>
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31(2), 142–166. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.04.001>
- van Meter, P. & Firetto, C. M. (Hrsg.). (2013). *Cognitive model of drawing construction: Learning through the construction of drawings*. IAP Information Age Publishing. <https://psycnet.apa.org/record/2014-01969-010>
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (2001). *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.