

## Arbeitsblattvorlagen als Mittel zur differenzierten Förderung der Variablenkontrollstrategie

Tobias Winkens\*, Heidrun Heinke\*

\* I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen University  
Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen  
winkens@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

### Kurzfassung

Die richtige Wahl der auftretenden Variablen beim Experimentieren ist für Schüler:innen keineswegs eine Selbstverständlichkeit. Beobachtungen zeigen vielfach unsystematische oder teilsystematische Vorgehensweisen. Einen Ansatzpunkt, um Schüler:innen individuelle Lerngelegenheiten zum Erlernen und Festigen der wichtigen Variablenkontrollstrategie (VKS) zu unterbreiten, bieten die unterschiedlichen Kompetenzfacetten und Teilfähigkeiten der VKS aufgrund der ihnen zugeordneten verschiedenen Schwierigkeitsniveaus. Damit bietet die Vermittlung der VKS einen guten Anlass zur Umsetzung einer binnendifferenzierten Förderung der Schüler:innen bezüglich ihrer experimentellen Kompetenzen. Vor diesem Hintergrund sind teilfähigkeitsspezifische Vorlagen für Arbeitsblätter entwickelt worden. Mit den Vorlagen können Lehrkräfte eigene experimentelle Settings zur Förderung der VKS einsetzen, indem sie selbstgewählte Experimente und die dort auftretenden Variablen in die Arbeitsblattvorlagen anstelle von Platzhaltern implementieren. Gleichzeitig können damit unter Nutzung von einheitlichen experimentellen Materialien Aufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden kreiert werden. Neben der konzeptuellen Vorstellung der Vorlagen soll der Beitrag einen Einblick in eine erste Evaluation der Materialien mit Lehramtsstudierenden geben. Der Fokus der Evaluation, bei der die Proband:innen vorgegebene Experimente in die Vorlagen implementieren, liegt vor allem auf der Usability der entwickelten Arbeitsblattvorlagen.

### 1. Hintergrund

Eine zunehmende Heterogenität in den Lerngruppen wird verstärkt in allen Schulformen beobachtet. Auch deshalb kommt den Lernenden mit ihren individuellen Bedürfnissen bei der Planung und dem Ablauf von Lehr-Lern-Prozessen eine wachsende Bedeutung zu. Dementsprechend stehen die Naturwissenschaften und der Physikunterricht im Speziellen vor der Herausforderung auch bei der Förderung experimenteller Kompetenzen individuelle Lernwege zu ermöglichen. Im Vorfeld der hier vorgestellten Studie wurden Lehrkräfte (N=45) mit dem Unterrichtsfach Physik befragt, um zu erkunden, wie Unterrichtsmaterialien zur Förderung experimenteller Kompetenzen für den alltäglichen Unterrichtseinsatz gestaltet sein können. Dabei ergab sich, dass eine explizite Förderung experimenteller Kompetenzen – bereits auch ohne Differenzierung – häufig nicht erfolgt, was unter anderem damit begründet wird, dass die zur Verfügung stehende Zeit bereits für die Vermittlung der fachlich-konzeptuellen Inhalte nicht immer ausreichend sei. Materialien zur expliziten Förderung experimenteller Kompetenzen seien daher nur dann für die Praxis interessant, wenn sie zu den ohnehin behandelten Inhalten passen. Diese beiden Erkenntnisse aus der Praxis dienen als Impulse zur Entwicklungs-idee, Arbeitsblattvorlagen zu konzipieren, welche spezifisch die verschiedenen Teilfähigkeiten der für die Planung

von Experimenten besonders wichtigen experimentellen Kompetenz der Variablenkontrollstrategie adressieren (vgl. Schwichow et al., 2016; Chen & Klahr, 1999; Schwichow & Nehring, 2018, Winkens & Heinke, 2023).

Die Bereitstellung solcher Arbeitsblattvorlagen verfolgt damit zwei konkrete Ziele:

- Einerseits sollen die Arbeitsblattvorlagen die Lehrkräfte unterstützen und sie in die Lage versetzen, spezifische Inhalte ihres Unterrichts mit der expliziten Förderung experimenteller Kompetenzen zu verknüpfen und auf diese Weise die Kompetenzförderung im Vergleich zur Vermittlung reiner Fachinhalte stärker in den Fokus zu rücken.
- Andererseits soll Schüler:innen die Möglichkeit gegeben werden, mit dem gleichen experimentellen Material binnendifferenzierte Aufgabenstellungen auf unterschiedlichem, an ihre Fähigkeiten angepasstem individuellen Niveau zu bearbeiten.

Im Folgenden werden das Konzept und die Entwicklung teilfähigkeitsspezifischer Arbeitsblattvorlagen als Möglichkeit zur binnendifferenzierenden Förderung experimenteller Kompetenzen in der Mittelstufe vorgestellt. Außerdem werden die Ergebnisse einer ersten Evaluierung der experimentenspezifischen Anpassung der Arbeitsblattvorlagen durch Lehramtsstudierende im Hinblick auf die Usability präsentiert und diskutiert.

## 2. Variablenkontrollstrategie differenziert fördern

### 2.1. Modellierung der VKS

Die Legitimation für den Ansatz, mittels teilfähigkeitsspezifischer Arbeitsblattvorlagen die Kompetenz der Variablenkontrollstrategie differenziert zu fördern, basiert auf theoretischen und empirischen Erkenntnissen zur VKS. Die Modellierung der VKS in Form von vier Teilfähigkeiten zeigt unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte auf. Konkret werden die folgenden Teilfähigkeiten der VKS unterschieden (vgl. Schwichow et al., 2016; Chen & Klahr, 1999; Schwichow & Nehring, 2018):

- die Fähigkeit zur gezielten Identifizierung kontrollierter Experimente aus einer Auswahl an kontrollierten und konfundierten Experimenten (ID),
- die Fähigkeit zur Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN)
- die Fähigkeit zur Planung kontrollierter Experimente (PL)
- die Fähigkeit zum Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN).

Verschiedene Studien (vgl. Brandenburger et al., 2022; Peteranderl & Edelsbrunner, 2020; Goertz, 2022; Schwichow et al., 2016; Brandenburger & Mikelskis-Seifert, 2019) zeigen in einem Vergleich dabei unterschiedliche Schwierigkeitsgrade im Hinblick auf die unterschiedlichen Teilfähigkeiten (vgl. Winkens & Heinke, 2023). Als einfachere Teilfähigkeiten lassen sich die Fähigkeiten zur Interpretation (IN) und Identifikation (ID) kontrollierter Experimente auf einem ähnlichen Niveau einordnen. Die beiden übrigen Teilfähigkeiten sind als schwieriger zu bewerten, wobei die Fähigkeit zum Verständnis der Problematik konfundierter Experimente (UN) im Vergleich zur Planung kontrollierter Experimente (PL) nochmal schwieriger erscheint. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit die VKS auf verschiedenen Verständnis-Niveaus fördern zu können.

### 2.2. Entwicklung teilfähigkeitsspezifischer Arbeitsblattvorlagen zur VKS

Aufbauend auf diesem Kenntnisstand kann der Grundgedanke hinter dem Konzept der Arbeitsblattvorlagen erläutert werden. Nutzt man die Möglichkeiten vorhandener Testinstrumente aus, z.B. des CVSI (Control-of-Variables Strategy Inventory) (vgl. Schwichow et al., 2016), können die Fähigkeiten von Lernenden den entsprechenden Kompetenzfacetten und -niveaus der VKS zugeordnet werden. Die teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen als Differenzierungsmaßnahme werden demnach als Antwort auf die Erkenntnisse eines geeigneten Diagnoseverfahrens eingesetzt und orientieren sich damit am Differenzierungsprinzip (vgl. Groß, 2013; Wodzinski, 2016; Wodzinski & Wodzinski, 2007).

### 2.2.1. Entwicklungsbasis

Die Entwicklung der Arbeitsblattvorlagen erfolgte auf Basis vorhandener Unterrichtsmaterialien zur VKS. Im Rahmen der Konzeption und Entwicklung der Plattform FLeXKom (Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen) sind fünf Lernzirkelstationen entwickelt worden, deren Schwerpunkt auf der Förderung der Variablenkontrollstrategie lag<sup>1</sup>. Die Evaluation eines Lernzirkels bestehend aus diesen fünf Stationen zeigte dabei einen deutlichen Lernzuwachs ( $N = 443$ ,  $r = 0,55$  &  $d = 1,17$ ) bei Schüler:innen der Jahrgangsstufen 7-9 (vgl. Goertz, 2022). Daher wurden diese Stationen als grundlegende Materialbasis für die Entwicklung der teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen ausgewählt.

**Tab. 1:** Übersicht über die genutzten Lernzirkelstationen zur VKS, die als Entwicklungsbasis für die teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen verwendet wurden.

Nr.	Themenbereich	Experiment	VKS-Teilfähigkeit
1	Mechanik	Schiefe Ebene	IN
2	Magnetismus	Elektromagnet	ID
3	Mechanik	Federpendel	PL
4	E-Lehre	Drahtwiderstand	UN
5	Mechanik	Fadenpendel	UN

Wie in Tabelle 1 zu erkennen, entstammen die Stationen den unterschiedlichen Themenfeldern Mechanik, Magnetismus sowie Elektrizitätslehre und behandeln klassische Schulexperimente, die sich auch als Schülerexperimente eignen. Bei genauerer Analyse der Stationen zeigt sich, dass die zwei Stationen zum Fadenpendel und Drahtwiderstand schwerpunktmäßig die VKS-Teilfähigkeit zum Verständnis konfundierter Experimente (UN) thematisieren, während die anderen drei Teilfähigkeiten der VKS jeweils einmal den Fokus einer Station bilden. Die genaue Zuordnung findet sich in Tabelle 1.

### 2.2.2. Materialentwicklung

Um die Idee von teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen zu realisieren, folgt das Vorhaben gemäß Abbildung 1 einem mehrschrittigen Ansatz.

Im ersten Schritt wurden die im Abschnitt 2.2.1 beschriebenen, vorhandenen Lernzirkelstationen analysiert. Ziel der Analyse war dabei zuzuordnen, welche VKS-Teilfähigkeit die jeweilige Station besonders fördert (s. Tabelle 1) sowie die einzelnen (Teil-)Aufgaben der zugehörigen Arbeitsblätter zu untersuchen. Der Hauptfokus der Aufgabenanalyse bestand darin, charakteristische Elemente für die Förderung der jeweiligen Teilfähigkeit herauszufiltern, um diese als Grundgerüst der zugehörigen Arbeitsblattvorlage zu verwenden.

<sup>1</sup> Auf der Plattform sind u.a. die hier genannten Stationen inkl. der zugehörigen Arbeitsblätter abrufbar. Die Plattform FLeXKom ist zu erreichen unter: <https://www.sciphylab.de/flexkom>



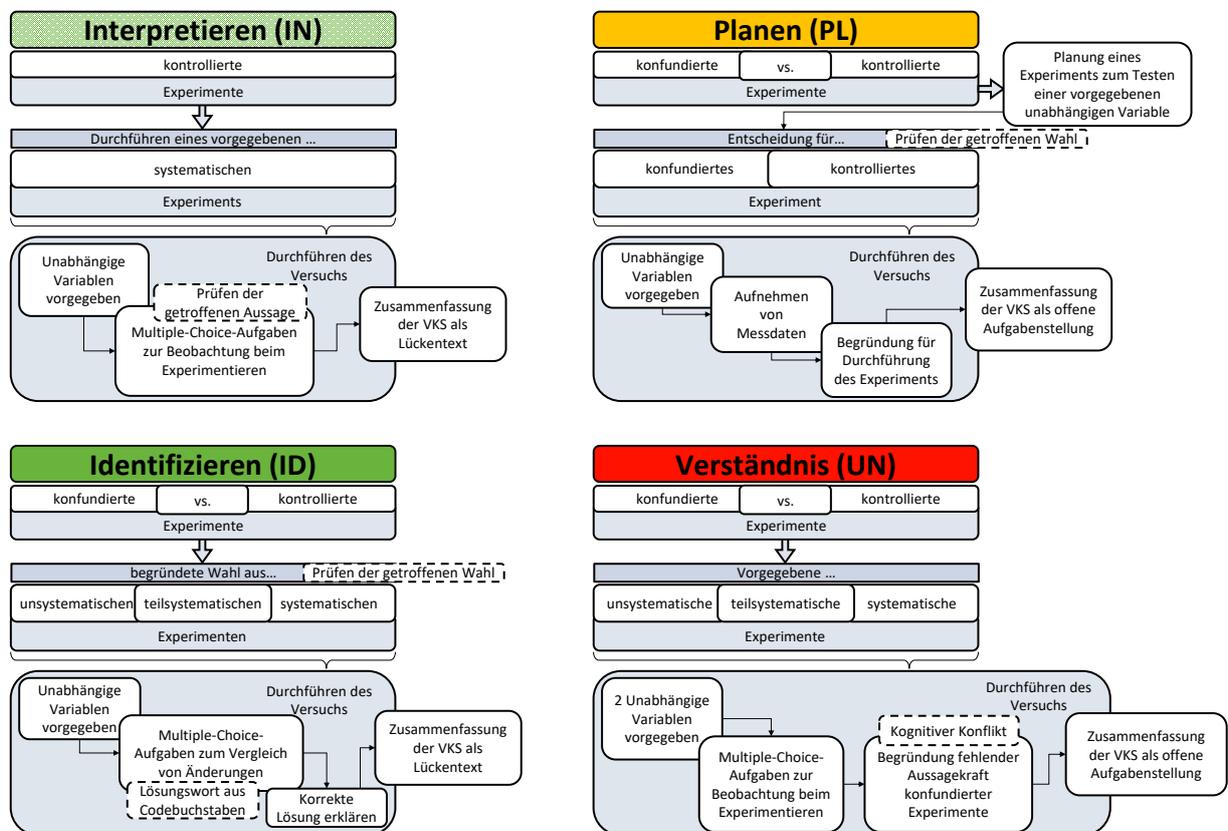
**Abb. 1:** Ansatz für eine differenzierte Förderung der Variablenkontrollstrategie durch die Entwicklung und Umsetzung von teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen. Aufbauend auf erprobten Materialien sind daraus verallgemeinerte Konzepte für alle vier VKS-Teilfähigkeiten entwickelt und in Form von universell einsetzbaren, teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen umgesetzt worden. Zur iterativen Weiterentwicklung werden diese mit Lehramtsstudierenden und Lehrkräften evaluiert, um sie perspektivisch in der Schulpraxis einsetzen und dort auch ihre Wirksamkeit testen zu können.

Die teilfähigkeitsspezifischen Charakteristika stellen die Grundlage für die im zweiten Schritt entwickelten Konzepte für teilfähigkeitsspezifische Aufgabenstellungen dar (vgl. Winkens et al., 2024). Wie in Abbildung 2 zu sehen, ist dabei zu jeder VKS-Teilfähigkeit ein Konzept für Aufgabenstellungen und deren Ablauf für die Förderung dieser Teilfähigkeit erstellt worden, wobei die farbliche Codierung die Schwierigkeit der Teilfähigkeit gemäß Abschnitt 2.1. von einfach (grün) nach schwer (rot) widerspiegelt.

Der Ablauf der Aufgabenstellungen in Abbildung 2 kann somit als Gerüst für Arbeitsblätter mit konkreten Arbeitsaufträgen im Rahmen von Schülerexperimenten dienen. Die vier Konzepte sind dabei vom Aufbau her synchron ausgearbeitet. Im jeweiligen oberen Teil

der vier dargestellten Konzepte sind die experimentellen Rahmenbedingungen der Arbeitsaufträge beschrieben. Dabei zeigt sich, dass beim Konzept zum Interpretieren (IN) nur kontrollierte Experimente den Lerngegenstand darstellen, während die anderen drei Teilfähigkeiten auch zusätzlich konfundierte Experimente behandeln.

Im jeweiligen mittleren und unteren Teil der vier dargestellten Konzepte sind die charakteristischen Elemente, die aus den bestehenden Stationen herausgearbeitet wurden, in verallgemeinerter Form abgebildet. Dies umfasst u.a., nach welchem Design die experimentell gestützte Vermittlung der jeweiligen VKS-Teilfähigkeit erfolgt. Elementar ist bei allen



**Abb. 2:** Übersicht über die vier VKS-teilfähigkeitsspezifischen Konzepte für die Arbeitsblattvorlagen. Die farbliche Codierung zeigt die Schwierigkeit der Teilfähigkeit von einfach (grün) zu schwer (rot).

vier Konzepten, dass diese ein aktives Experimentieren einfordern. Innerhalb der Bearbeitungsphase des Versuchs ist bei der Teilfähigkeit UN als Besonderheit herauszuheben, dass dort auf die Konfrontation mit einem kognitiven Konflikt bei Lernenden als Auslöser eines Lernprozesses abgezielt wird. Begründet wird dieser Ansatz damit, dass tendenziell leistungsstärkere Schüler:innen das Arbeitsblatt zu dieser Teilfähigkeit bearbeiten. Im Gegensatz zu den Leistungsschwächeren kann ein kognitiver Konflikt bei Lernenden mit einem höheren Vorwissen kurzzeitig eine angeregte Leistungsbereitschaft erzeugen (vgl. Sander & Heiß, 2012; Zohar & Aharon-Kravetsky, 2005).

Jedes der vier Konzepte für die zu entwickelnden Arbeitsblätter schließt mit einer Sicherung in Form einer Zusammenfassung. Diese Sicherung berücksichtigt dabei den unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeiten. Während bei den einfacheren Teilfähigkeiten zum Interpretieren (IN) und Identifizieren (ID) die Sicherung in Form eines Lückentexts sowohl aus sprachlicher als auch inhaltlich-fachlicher Perspektive mit einem höheren Unterstützungsgrad erfolgt, werden diese Unterstützungsmaßnahmen bei den schwierigeren Teilfähigkeiten PL und UN nicht bereitgestellt.

Im dritten Schritt in Abbildung 1 wurden die erarbeiteten Konzepte in teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen übersetzt. Die konzeptuellen Überlegungen wurden in ein einheitliches Arbeitsblattdesign transferiert und die Aufgabenstellungen so konkret wie möglich ausformuliert. Um einen experimentellen Kontext in die Vorlagen zu implementieren, wurden Platzhalter für die experimentenspezifischen Variablen und ihre Ausprägungen erstellt. Dabei ist die wichtigste Bedingung an die gewählten Experimente zur Implementierung, dass drei verschiedene unabhängige Variablen vorliegen müssen. Nur durch diese Einschränkung kann sichergestellt werden, dass alle vier VKS-Teilfähigkeiten mit dem gleichen Experiment durch die Arbeitsblattvorlagen adressiert werden können.

Gemäß Abbildung 1 folgt auf die Entwicklung der universellen Arbeitsblattvorlagen die Evaluation des Umgangs mit den erstellten Vorlagen durch verschiedene Proband:innen. Auf die Evaluation der Vorlagen mit Studierenden wird in Abschnitt 3 eingegangen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Evaluation werden die Arbeitsblattvorlagen in einem Iterationsprozess, orientiert am Design-Based Research-Ansatz (vgl. DBRC, 2023), überarbeitet und dann mit einer Kohorte von Lehrkräften erneut evaluiert. Dies ist die Basis, um die Vorlagen perspektivisch als letzten Schritt in der Praxis einsetzen und dort auch ihre Wirksamkeit testen zu können.

### 2.2.3. Implementation eines experimentellen Settings in die Vorlagen

Damit verschiedene Experimente variabel in die Vorlagen implementiert werden können, müssen die Lehrkräfte an verschiedenen Stellen notwendige Anpassungen durchführen. An dieser Stelle soll genauer beschrieben werden, welche Aufgaben die Lehrkräfte zur Implementation von experimentellen Settings absolvieren müssen. Die Implementation eines Experiments wird dabei durch eine Handreichung angeleitet und unterstützt, in der die notwendigen Schritte mit Hilfen und Beispielen erläutert sind. Alle Stellen und Wörter, an denen etwas bearbeitet werden muss, sind rot markiert. Darüber hinaus finden sich Stellen mit blauer Schrift, die Lösungstexte/-infos für die Lehrkraft markieren und für die weitere Bearbeitung des Arbeitsblattes durch die Schüler:innen nach der Implementation entfernt werden müssen.

Der wichtigste Aspekt bei der Bearbeitung der Arbeitsblattvorlagen ist der Ersatz der Platzhalter durch die passenden Variablen. Das umfasst die abhängige Variable als Messgröße sowie die bis zu drei unabhängigen Variablen mit ihren verschiedenen Ausprägungen<sup>2</sup>. Die Aufgabenstellungen sind im Großteil aller Fälle bereits vollständig ausformuliert. Durch das Einfügen der experimentenspezifischen Variablen und ihrer Ausprägungen kann es jedoch notwendig werden, grammatikalische Anpassungen vorzunehmen. Die weiteren Anpassungen umfassen weitere experimentenspezifische Besonderheiten wie die Ergänzung eines einführenden Satzes in den Kontext des Experiments respektive des Versuchs an sich. Bei Teilaufgaben, die das Experimentieren anleiten, müssen zudem bei Bedarf Beschreibungen zum Versuch hinzugefügt sowie Abbildungen des jeweiligen Experiments in die Arbeitsblätter integriert werden. Abschließend sollte ein aussagekräftiger Experiment- bzw. Stationstitel zum experimentellen Setting gewählt werden, der für alle vier teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen genutzt werden kann. Mit diesen fünf Aspekten können aus den Vorlagen vier Arbeitsblätter für Schüler:innen entwickelt werden, die unter Verwendung der gleichen experimentellen Hardware jeweils eine andere VKS-Teilfähigkeit fördern und damit einen anderen Schwierigkeitsanspruch haben. Darüber hinaus können weitere optionale Anpassungen durchgeführt werden, wie individuelle Codebuchstaben oder Lösungswörter oder Zusatzaufgaben zur weiteren zeitlichen Differenzierung innerhalb eines teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblatts.

### 3. Evaluation zur Adaption der Arbeitsblattvorlagen

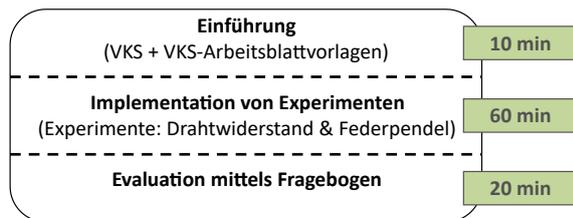
Um die entwickelten Vorlagen in einem ersten Iterationsschritt hinsichtlich ihrer Usability und des für

<sup>2</sup> Der Ersetzungsaufwand durch die Variablenanpassung kann mithilfe der „Suchen und Ersetzen von Text“-Funktion von MS Word verringert werden.

ihre Adaption notwendigen Arbeitsaufwands zu untersuchen, wurde eine erste Evaluation mit Physik-Lehramtsstudierenden im Masterstudiengang (N = 13, 1. Fachsemester) durchgeführt. Die Durchführung und die Ergebnisse der Evaluation werden im Folgenden vorgestellt.

### 3.1. Ablauf der Evaluation

Die Durchführung der Evaluation mit den Lehramtsstudierenden erfolgte im Rahmen eines Vorbereitungsseminars auf das Praxissemester und war gemäß Abbildung 3 strukturiert.



**Abb. 3:** Ablauf der Evaluation zur Untersuchung der Usability der teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen mit Lehramtsstudierenden im Masterstudiengang Physik.

Innerhalb der 90-minütigen Seminarsitzung haben die Studierenden eine kurze Einführung in die VKS sowie die Implementation von Experimenten in die Arbeitsblattvorlagen erhalten. Anschließend haben sie begonnen, in Einzelarbeit die Arbeitsblattvorlage zu einer VKS-Teilfähigkeit für ein vorgegebenes Experiment (Drahtwiderstand oder Federpendel) anzupassen. Dazu wurde den Studierenden eine Teilfähigkeitsvorlage sowie eines der beiden Experimente zugewiesen und die entsprechenden Vorlagen in Form einer Word-Datei zur Verfügung gestellt. Jede Kombination aus Experiment und teilfähigkeitsspezifischer Vorlage wurde dabei 1-3 Mal bearbeitet, wie in Tabelle 2 dargestellt ist. Gekennzeichnet durch die Zahl in der Klammer, haben drei Proband:innen nach der Bearbeitung einer ersten teilfähigkeitsspezifischen Vorlage auch die Vorlage zu einer zweiten Teilfähigkeit zum gleichen Experiment bearbeitet.

**Tab. 2:** Übersicht über die den Proband:innen zugewiesenen und bearbeiteten Kombinationen aus der Teilfähigkeit der Arbeitsblattvorlage und dem zu implementierenden Experiment. Die Zahl in der Klammer gibt an, dass Proband:innen das gleiche Experiment zusätzlich in eine Vorlage zu einer zweiten Teilfähigkeit implementiert haben.

Experiment	Teilfähigkeit der Vorlage			
	IN	ID	PL	UN
Drahtwiderstand	2	2(1)	1	1
Federpendel	2(2)	3	1(1)	1

Die Bearbeitung der Vorlagen erfolgte mit den eigenen Laptops oder Tablets der Proband:innen. Zur Feststellung der Bearbeitungsdauer wurden Smartphones genutzt. Im Abschluss an die Implementationsphase wurde, mittels eines Fragebogens mit 9 geschlossenen Items sowie 4 offenen Fragen zu Stärken

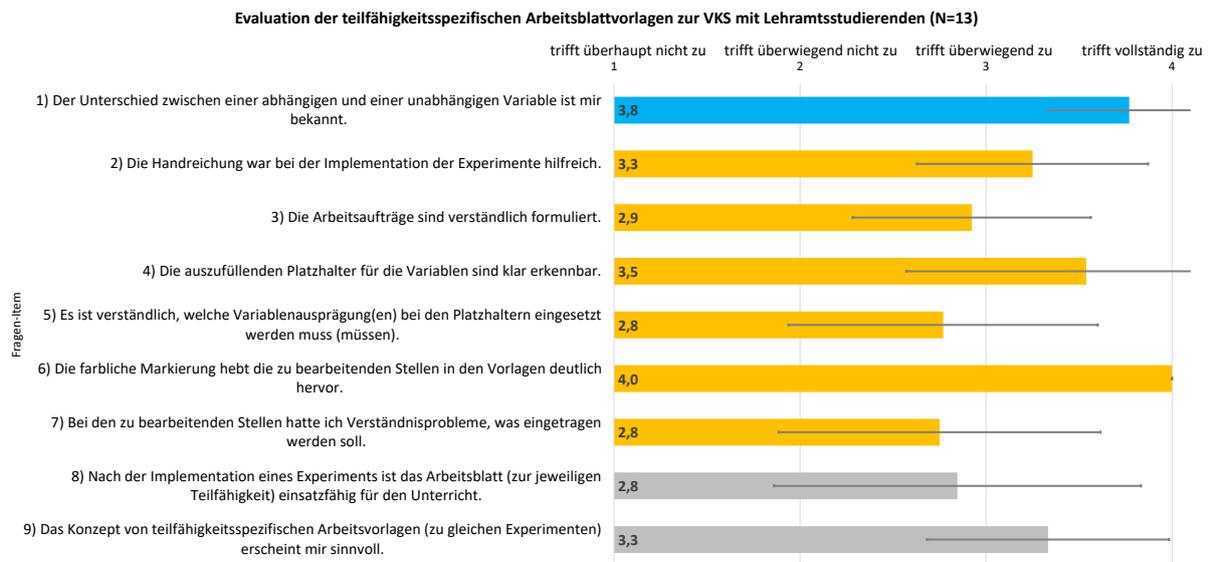
und Schwächen der Vorlagen, Feedback zu den Arbeitsblattvorlagen und zur Wahrnehmung der Studierenden bei der Implementation der Experimente in ebendiese erhoben. Die Studierenden sollten dabei auf einer vierstufigen Likert-Skala Aussagen bewerten, die in Abbildung 4 aufgeführt sind.

### 3.2. Ergebnisse der ersten Evaluation

Nachfolgend werden zunächst die Ergebnisse der Auswertung der geschlossenen Fragebogen-Items diskutiert, bevor abschließend das offene Feedback vorgestellt wird.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Auswertung der geschlossenen Items abgebildet, wobei inhaltlich verwandte Items gleichfarbig dargestellt sind. Das blau markierte Item 1 erfragt mit der Fähigkeit zur Unterscheidung zwischen einer abhängigen und unabhängigen Variablen die Grundvoraussetzung für eine inhaltlich sinnvolle Bearbeitung der Arbeitsaufträge und ist gemäß der Antworten der Proband:innen offenbar gegeben. Die in orange dargestellten Items 2-7 geben Rückschluss über Meinungen zur Usability der Vorlagen. Diese sind im Mittel überwiegend positiv, zeigen jedoch eine deutliche Streuung der Meinungen. Dies zeigt, dass einzelne Proband:innen bei der Bearbeitung der Vorlagen Schwierigkeiten hatten. Zu konstatieren ist dies vor allem bei dem Item 5 zum Ersetzen der Platzhalter und bei dem Item 7 zu grundsätzlichen Verständnisschwierigkeiten bei den zu bearbeitenden Stellen. Auch wenn die Unterstützung durch die Handreichung als positiv wahrgenommen wurde (Item 2), müssen die beschriebenen Aspekte als Anregungen verstanden werden, um die Handreichung explizit an diesen Stellen zu präzisieren und durch Anwendungsbeispiele zu optimieren. Als positiv hervorzuheben sind dabei die Aspekte, dass die farbliche Markierung der zu bearbeitenden Stellen in den Vorlagen (Item 6) sowie die Platzhalter für die Variablen zur Ersetzung (Item 4) sehr deutlich zu erkennen sind. Als generelle Bewertung und Einschätzung des Konzepts können die grau eingefärbten Items 8 und 9 interpretiert werden. Offenbar erscheint das Konzept der Arbeitsblattvorlagen den Proband:innen mehrheitlich als sinnvoll und in vielen Fällen wurden die erstellten Arbeitsblätter als einsatzfähig für den Unterricht bewertet. Dies stützt die Entscheidung, die Materialien zur Umsetzung dieses Konzepts weiterzuentwickeln.

Für die erste Adaption einer Arbeitsblattvorlage durch die Proband:innen wurde eine durchschnittliche Bearbeitungsdauer von  $(39 \pm 10)$  Minuten in der Auswertung ermittelt, wobei aufgrund technischer Probleme nur 10 der 13 Proband:innen bei dieser Auswertung berücksichtigt wurden. Drei Studierende haben zusätzlich zur zunächst vorgegebenen Teilfähigkeit eine zweite teilfähigkeitsspezifische Vorlage für das gleiche experimentelle Setting modifiziert. Auffällig war dabei, dass die Bearbeitungsdauer in den drei Fällen (14:20 Minuten, 9:40 Minuten bei



**Abb. 4:** Ergebnisse der Evaluation der VKS-teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen. Die Evaluation wurde mit Lehramtsstudierenden des Masterstudiengangs Physik (N = 13) in einem Vorbereitungsseminar zum Praxissemester durchgeführt.

noch fehlenden einzufügenden Skizzen und 7:50 Minuten bei einer in etwa bis zur Hälfte bearbeiteten Vorlage) deutlich unter der Dauer der ersten Bearbeitung lag. Dies deutet an, dass der Zeitaufwand bei der Bearbeitung weiterer Arbeitsblattvorlagen (mindestens zum selben Experiment) abnimmt. Gründe dafür sind möglicherweise, dass viele Elemente (bspw. Bilder und Skizzen, Stationstitel etc.) vollständig oder zu Teilen übernommen werden können. Zur Überprüfung dieser Vermutung müsste die Erprobung mit einer größeren Stichprobe und verlängerter Bearbeitungszeit der Vorlagen wiederholt werden.

Das zusätzliche offene Feedback, das im Fragebogen schriftlich eingeholt wurde, ermöglicht einen tieferen Einblick in die Bewertung der Proband:innen und kann auch weitere Verbesserungspotentiale aufzeigen. Nach Sichtung der Rückmeldungen zu den 4 offenen Fragen erschien eine individuelle Auswertung der einzelnen Fragen nicht sinnvoll. Da jeweils zwei Fragen auf positive Aspekte der Vorlagen abzielten und die anderen beiden auf negative Aspekte, wurden die Antworten der Proband:innen entsprechend den beiden Kategorien zugeordnet. Nachfolgend werden nur Aussagen mit Mehrfachnennungen diskutiert.

Der Zeitaufwand bei der Implementation eines Experiments in die erste teilfähigkeitsspezifische Vorlage wurde von den Studierenden als hoch eingeschätzt. Zur Relativierung haben die Studierenden jedoch angemerkt, dass sie ein wenig gebraucht haben, um sich an das Konzept der Arbeitsblattvorlagen zu gewöhnen. Danach fiel es ihnen nach eigener Aussage merklich einfacher und sie äußerten die Vermutung, dass die Dauer ab der Vorlage zu einer zweiten Teilfähigkeit zum gleichen Experiment abnimmt. Das stützt die oben formulierte Hypothese, die sich aus der Dauer der Bearbeitung einer zweiten Vorlage durch drei Studierende ergab.

Zur Anpassung der Platzhalter gab es dagegen gemischtes Feedback. Einerseits wurde die überschaubare Anzahl an Variablenanpassungen sowie die einfache Art der Änderung, u.a. durch die zeitsparende „Suchen und Ersetzen“-Funktion, positiv hervorgehoben. Andererseits wurde zurückgemeldet, dass die Formulierung der Platzhalter nochmal modifiziert werden sollte, um die Ersetzungsmöglichkeiten weiter zu erhöhen und damit den Zeitaufwand reduzieren zu können.

Bei der Bearbeitung mit Tablets musste festgestellt werden, dass durch einige Implementationsschritte, wie das Einfügen von Bildern bzw. Skizzen, zusätzliche Formatierungsanpassungen notwendig wurden.

Besonders positiv sind die klare Struktur und Übersichtlichkeit der Vorlagen sowie das prinzipiell fertige Arbeitsblatt-Design hervorgehoben worden. Zudem wurden Aspekte in den Vorlagen selber, wie die Angabe von erwarteten Lösungen bei den Teilaufgaben oder didaktische Kommentare, sowie die Handreichung als Orientierung in der Arbeitsphase als sinnvolle und hilfreiche Unterstützung wahrgenommen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Auswertung der geschlossenen Items. Es wurden sich für die Handreichung jedoch mehr konkrete Beispiele für die Implementation der einzelnen Teilaufgaben gewünscht oder alternativ die Idee formuliert, ein Einführungsvideo zur Handreichung zu ergänzen.

Als Schlussfolgerung aus der Evaluation sind einige Aspekte an den Materialien verbessert worden, sodass die überarbeiteten Versionen in einer zweiten Evaluationsschleife mit Lehrkräften eingesetzt werden können. Die Handreichung wurde um Beispiele für die Implementation erweitert sowie die Anleitung zum Vorgehen ausführlicher gestaltet. In den Arbeitsblattvorlagen selber wurden ergänzend zur Anleitung

in der Handreichung an einzelnen Teilaufgaben Kommentare zur Unterstützung ergänzt. Darüber hinaus wurden die Bezeichnungen der Platzhalter umgestaltet, um den Ersetzungsaufwand zu reduzieren.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Als Reaktion auf eine zunehmende Heterogenität in den Lerngruppen und auf beobachtete Defizite in der expliziten Förderung experimenteller Kompetenzen in der unterrichtlichen Praxis sind am Beispiel der Variablenkontrollstrategie Arbeitsblattvorlagen konzipiert und ihre Entwicklung vorgestellt worden. Auf Basis erprobter und wirksamer Materialien zur VKS sind für vier bekannte VKS-Teilfähigkeiten Arbeitsblattvorlagen für experimentelle Arbeitsaufträge entstanden, mit denen Schüler:innen aufgrund des unterschiedlichen Schwierigkeitsgrads der Teilfähigkeiten unter Nutzung des gleichen experimentellen Materials binnendifferenziert experimentieren können. Um die entwickelten Materialien auf ihre Usability aus Sicht von Lehrenden zu untersuchen, wurde mit Physik-Lehramtsstudierenden im Masterstudiengang (N = 13) eine erste Erprobung der Nutzung der teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen durchgeführt, bei der sie eine Vorlage für ein vorgegebenes Experiment modifiziert haben. Dabei wurde ein relativ hoher zeitlicher Aufwand bei der Adaption der ersten Teilfähigkeiten-Vorlage beobachtet, der sich jedoch bei der Bearbeitung weiterer Vorlagen deutlich reduziert. Die Idee des Konzepts sowie die allgemeine Struktur der Vorlagen wurden ähnlich positiv bewertet wie Unterstützungsmaßnahmen bei der Implementation der Experimente, z.B. in Form einer Handreichung. Im Ergebnis der Erprobung wurde die Handreichung um konkrete Beispiele erweitert und in den Arbeitsblattvorlagen wurden didaktische Kommentare als Hilfen implementiert. Die überarbeiteten Materialien werden im nächsten Schritt mit einer Kohorte von Lehrkräften erneut evaluiert, um deren Expertise aus der Unterrichtspraxis in die Gestaltung der Materialien zu integrieren. Die daraus generierten Versionen der vier teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen sollen einerseits bei der Untersuchung der Wirksamkeit dieses binnendifferenzierten Ansatzes zur Förderung experimenteller Kompetenzen genutzt werden und andererseits in einen Materialpool zur Unterstützung des binnendifferenzierten Experimentierens in der Schulpraxis einfließen.

#### 5. Literatur

Brandenburger, M.; Mikelskis-Seifert, S. (2019). Facetten experimenteller Kompetenz in den Naturwissenschaften. In: Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. Hrsg. von Christian Maurer, S. 77–80.

- Brandenburger, M.; Salim, C. A.; Schwichow, M.; Wilbers, J.; Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 28 (5), S. 1-20.
- Chen, Z.; Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. In: Child Development, 70(5), S. 1098–1120.
- DBRC; The Design-Based Research Collective (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. In: Educational Researcher, 32(1), S. 5–8.
- Goertz, S. (2022). Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis – Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie. Berlin: Logos Verlag.
- Groß, K. (2013). Experimente alternativ dokumentieren. Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung. Berlin: Logos Verlag.
- Peteranderl, S.; Edelsbrunner, P. A. (2020). The Predictive Value of Children's Understanding of Indeterminacy and Confounding for Later Mastery of the Control-of-Variables Strategy. In: Front. Psychol., 11, S. 1-16.
- Sander, E.; Heiß, A. (2012). Kognitiver Konflikt und Lernleistung. Untersuchungen zur Effektivität einer konfliktinduzierenden Lernsoftware. In: Psychologie in Erziehung und Unterricht, 59, S. 201-214.
- Schwichow, M.; Christoph, S.; Boone, W. J.; Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. In: International Journal of Science Education, 38(2), S. 216–237.
- Schwichow, M.; Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24, S. 217–233.
- Winkens, T.; Atahan, S.; Heinke, H. (2024). Variablenkontrollstrategie: Individuelle Förderung hoch 2. In: Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023. Hrsg. von Helena van Vorst. Duisburg-Essen.
- Winkens, T.; Heinke, H. (2023). Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. In: PhyDid B –Didaktik der Physik– Beiträge zur DPG-Frühjahrestagung in Hannover, S. 177–183.

- Wodzinski R. (2016). Heterogenität im Physikunterricht. Fachdidaktische Herausforderungen. In: PLUS LUCIS, 2, S. 2-5.
- Wodzinski, C. T.; Wodzinski R. (2007). Ansätze für Differenzierung im Physikunterricht. Diagnose von Differenzen und mögliche Konsequenzen für den Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 18, S. 5-10.
- Zohar, A.; Aharon-Kravetsky, S. (2005). Exploring the effects of cognitive conflict and direct teaching for students of different academic levels. In: Journal of Research in Science Teaching, 42(7), S. 829-855.