

Diagnose von Kompetenzfacetten zur 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 Förderung experimenteller Fähigkeiten und Kompetenzen ist wesentlich für das Erlernen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung bei Schüler:innen. Im experimentellen Prozess ist dabei die Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) zur Feststellung von Zusammenhängen wie Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen verschiedenen Größen nicht nur in der Physik, sondern vielmehr in allen Naturwissenschaften essentiell notwendig. Zur Erfassung der Kompetenzen im Bereich der VKS wird in der Literatur ein Modell mit vier VKS-Teilfähigkeiten und ein entsprechendes Diagnoseinstrument vorgeschlagen. Dessen Weiterentwicklung kann zur Operationalisierung der VKS und daraus folgend für die Differenzierung unterschiedlich gestufter Fähigkeitsniveaus innerhalb der VKS-Teilfähigkeiten genutzt werden und damit die Basis eines Kompetenzmodells zur VKS bilden. Die Differenzierung unterschiedlicher Antworten von Proband:innen im Testinstrument in Fähigkeitsniveaus ermöglicht die Anwendung adaptiver Teststrategien und weiter individualisierter Diagnostik-, Feedback- und damit Lern-Möglichkeiten für ein vertieftes Verständnis der VKS.

1. Motivation

Die Förderung experimenteller Kompetenzen stellt insbesondere wegen der herausragenden Bedeutung des Experiments eines der wichtigsten Bildungsziele des Physikunterrichts dar (vgl. KMK, 2004; vgl. Theyßen et al., 2016). Schüler:innen sollen ein grundlegendes Verständnis über die experimentelle Methode sowie wissenschaftliche Arbeitsweisen als Bestandteil einer Scientific Literacy aufbauen können (vgl. Baur, 2018; vgl. Nerdel, 2017, S. 14–15). Als Teil dieser stellt die Kompetenz der Variablenkontrollstrategie (VKS) im Bereich der Erkenntnisgewinnung eine elementare Vorgehensweise dar, um z.B. kausale Zusammenhänge als ein Ziel von naturwissenschaftlichen Experimenten untersuchen zu können (vgl. Schulz und Wirtz, 2012). Solch ein Experimentieren mit Beachtung der Variablenkontrolle ist im Zuge der G9-Umstellung als expliziter Bestandteil mit in die Kernlehrpläne in Nordrhein-Westfalen aufgenommen worden (vgl. MSW, 2022; vgl. MSW, 2019a).

Eine gezielte Diagnose der VKS ist essentiell für die individuelle Förderung der Schüler:innen in diesem Bereich. Der vorliegende Beitrag soll mit einer Analyse möglicher Kompetenzfacetten innerhalb der VKS eine Grundlage für ein darauf aufbauendes Erhebungsverfahren zur Erfassung der VKS-bezogenen Kompetenzen schaffen, welches in Grundzügen vorgestellt werden soll.

2. Kompetenzmodellierung der VKS

Da im alltäglichen Gebrauch der Begriff Kompetenz „fast inflationär“ (Bernholt, 2010, S. 33) verwendet

wird, soll zu Beginn dieses Artikels eine kurze begriffliche Einordnung erfolgen.

Eine vielfach genutzte Sichtweise basiert auf dem Verständnis des Psychologen Weinert. Kompetenzen sind nach ihm „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2014, S. 28-29). Im schulischen Bereich unterscheidet er dabei zwischen fachlichen und fachübergreifenden Kompetenzen sowie Handlungskompetenzen, die über die beiden Kategorien hinaus auch motivationale und soziale Aspekte beinhalten (vgl. ebd., S. 28). Die KMK, die sich in ihrem Kompetenz-Verständnis an Weinert anlehnt, differenziert in den Bildungsstandards für das Fach Physik zwischen der Inhalts- und der Handlungsdimension, wobei letztere in die drei Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung unterteilt wird (vgl. KMK, 2004).

Eine Betrachtung der unterschiedlichen Kernlehrpläne in den naturwissenschaftlichen Fächern wie Physik, Chemie und Biologie für das Land NRW zeigt, dass die VKS vor allem im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung einzuordnen ist (vgl. MSW, 2019a; vgl. MSW, 2019b; vgl. MSW, 2019c). Dadurch begründet sich auch die Einordnung der VKS als eine fachübergreifende Kompetenz gemäß der Unterteilung von Weinert.

Tab.1: Darstellung des Kompetenzstufenmodells nach Hammann (2004) zur Suche im Experimentier-Suchraum. Demnach kann das Fähigkeitsniveau bzgl. der VKS in unterschiedliche Stufen eingeteilt und es können beispielhafte Experimentierstrategien – für Settings mit drei unabhängigen Variablen – innerhalb dieser eingeordnet werden. Abkürzungen: V – Variable, TV – Testvariable, CA – change all und HOTAT – hold one thing at time.

Niveaustufe	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Kurzbeschreibung	Unsystematischer Umgang mit Variablen	Teilweise systematischer Umgang	Systematischer Umgang
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> • CA-Strategie • Alle Variablen konstant 	<ul style="list-style-type: none"> •HOTAT-Strategie •TV+V variiert •TV+V konstant 	<ul style="list-style-type: none"> • VKS

Auf Basis des von Klahr und Dunbar (1988) entwickelten SDDS-Modells (Scientific Discovery as Dual Search), welches den Problemlöseprozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in Aktivitäten im Hypothesensuchraum (space of hypothesis) und im Experimentier-Suchraum (space of experiments) unterteilt, schlägt Hammann (2004) eine mögliche Variante zur Kompetenzmodellierung der VKS in Form eines Kompetenzentwicklungsmodells vor.

Die Variablenkontrolle findet sich dabei im Experimentier-Suchraum wieder (vgl. Hammann, 2004, vgl. Klahr und Dunbar; 1988, vgl. Hammann et al., 2007). Wie in Tab. 1 zu erkennen ist, ordnet Hammann dem Grad der Systematik beim Experimentieren unterschiedliche Kompetenzstufen zu. Im Wesentlichen unterscheidet er zwischen drei¹ verschiedenen Kompetenzstufen.

Die erste Stufe beschreibt einen vollständig unsystematischen Umgang mit den Variablen beim Experimentieren. Dieser zeigt sich in Experimentiersituationen, in denen gemäß der change-all Strategie alle Variablen – sowohl die Testvariable als auch alle weiteren unabhängigen Variablen – verändert werden (vgl. Tschirgi, 1980; vgl. Hammann, 2004; vgl. Ehmer, 2008, S. 26-27). Alternativ halten Experimentierende alle Variablen zwischen zwei Ansätzen konstant.

Die zweite Stufe umfasst Strategien, die ebenfalls nicht korrekt im Sinne der VKS sind, jedoch bereits Aspekte eines systematischen Handelns aufweisen (vgl. Hammann, 2004). In experimentellen Settings mit einer zu untersuchenden Testvariablen und zwei weiteren unabhängigen Variablen erfüllen drei verschiedene Vorgehensweisen diesen Grad der Teilsystematik. Bei der HOTAT-Strategie (hold one thing at time) wird zwischen Kontroll- und Experimentalansatz nur die Testvariable konstant gehalten und alle anderen Variablen werden verändert (vgl. Tschirgi, 1980). Eine der beiden anderen Varianten bezieht sich auf die Variation der Testvariablen (in Tab.1 mit TV abgekürzt) und einer der beiden anderen Variablen (in Tab.1 mit V abgekürzt) bei gleichzeitigem

Konstanthalten der übrigen Variable. Hierzu konträr ist die Strategie, bei der die Testvariable mit einer weiteren Variable konstant gehalten und nur die übrige Variable geändert wird, was ein prinzipielles logisches Verständnis des Prinzips der Variablenkontrolle andeutet (vgl. Schwichow et al., 2022). Während bei der HOTAT-Strategie die Testvariable erkannt wird, deuten die anderen beiden Varianten darauf hin, dass die Lernenden beim Anwenden dieser Strategien die Testvariable nicht erkennen. Trotz dessen weisen die drei genannten Strategien im Gegensatz zur Stufe 1 einen Grad an Systematik auf und können daher als Zwischenstufe im Lernprozess der VKS interpretiert werden.

Die dritte Stufe beschreibt den systematischen Umgang mit Variablen (vgl. Hammann, 2004). Dabei wird nur die zu untersuchende Testvariable verändert und die übrigen Variablen werden konstant gehalten, was der Variablenkontrollstrategie entspricht.

Die beschriebenen Aspekte können genutzt werden, um in der nachfolgenden Analyse Kompetenzfacetten innerhalb der VKS herauszuarbeiten und zu begründen.

3. Analyse der Kompetenzfacetten innerhalb der VKS

Aufbauend auf der beschriebenen theoretischen Kompetenzmodellierung werden in diesem Abschnitt die unterschiedlichen Facetten der VKS als experimentelle Kompetenz genauer betrachtet. Grundlegend dafür ist die modellhafte Unterteilung der VKS in verschiedene Teilfähigkeiten. Dabei ist insbesondere die Unterscheidung zwischen kontrollierten und konfundierten Experimenten von Belang, wobei sich bei einem konfundierten Experiment zwei Experimentalansätze in mehr als einer potenziell unabhängigen Variable unterscheiden. Bei solchen Experimenten ist der potenzielle Einfluss der Variablen somit vermischt, weshalb der Einfluss durch eine der veränderten Variablen nicht geschlussfolgert werden kann (vgl. Schulz et al., 2012). Auf Basis von Chen und Klahr (1999) differenzieren Schwichow et al. zwischen vier verschiedenen Teilfähigkeiten (vgl.

¹ Beim systematischen Umgang mit Variablen differenziert Hammann formal zwischen Stufe 3 (in bekannten Domänen) und Stufe 4 (in unbekannt Domänen) (vgl. Hammann, 2004, S. 201-202). Gemäß anderweitigen Untersuchungen, nach denen der Kontext

keinen Einfluss auf die Schwierigkeit der VKS haben sollte (vgl. Schwichow et al., 2016), zeigt sich hier ein möglicher Forschungsansatz. Daher wurde die domänenspezifische Differenzierung nicht explizit mit aufgegriffen.

Schwichow und Nehring, 2018; vgl. Schwichow et al., 2016):

- gezielte Identifikation kontrollierter Experimente aus einer Auswahl an kontrollierten und konfundierten Experimenten (ID)
- Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN)
- Planung kontrollierter Experimente (PL)
- Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN)

Auf Grundlage dieser Formulierung kann die Variablenkontrolle als Konstrukt genauer untersucht und operationalisiert werden, um im Weiteren unterschiedliche Fähigkeitsniveaus ermitteln und begründen zu können.

3.1. Schwierigkeitsgrad der VKS-Teilfähigkeiten

Elementar für eine erste Einordnung ist die Betrachtung des Schwierigkeitsgrads der jeweiligen Teilfähigkeiten. Dabei wird der Schwierigkeitsgrad durch die Lösungswahrscheinlichkeiten entsprechender Test-Items beschrieben. Im Rahmen verschiedener Studien sind Testinstrumente auf Basis der vier oben genannten Teilfähigkeiten eingesetzt worden. Die Rangfolge der Lösungswahrscheinlichkeiten für Testitems zu den verschiedenen Teilfähigkeiten bzw. qualitative Aussagen darüber sind in Abb. 1 schematisch dargestellt.

Während Peteranderl und Edelsbrunner (2020) sich auf Items aus dem von Peteranderl (2019) entwickelten Instrument beziehen, basieren die Ergebnisse der übrigen vier Studien auf dem CVSI (engl.: control-of-variables strategy inventory) von Schwichow et al. (2016). Der Vollständigkeit halber muss an dieser

Stelle auch erwähnt werden, dass die Items durch jeweilige Adaptionen in den unterschiedlichen Studien nicht alle gleich sind. Ein direkter Vergleich zwischen den Studien – insbesondere der quantitativen Werte – ist daher nur begrenzt möglich. Vielmehr folgt die Analyse einem qualitativen Ansatz.

Wie in Abb. 1 zu sehen, wurden nicht alle Teilfähigkeiten in jeder Studie abgeprüft. Daher sind nicht alle Teilfähigkeiten bei jeder Studie aufgeführt. Die Untersuchung von Brandenburger et al. bei Grundschüler:innen ergibt, dass die Teilfähigkeit zur Identifizierung (ID) signifikant einfacher ist als die Teilfähigkeit Interpretation (IN). Weiter haben die Autoren dort festgestellt, dass der Schwierigkeitsgrad der Items zur Teilfähigkeit IN höher ist, wenn zusätzlich eine Begründung eingefordert wird (vgl. Brandenburger et al., 2022). Für Schüler:innen der Jahrgangsstufen fünf und sechs haben Peteranderl und Edelsbrunner – bei Nutzung eines anderes Testinstruments – abweichend davon beschrieben, dass die Teilfähigkeit IN einfacher als ID ist. Die Teilfähigkeit zur Planung (PL) ist schwerer als die beiden genannten Teilfähigkeiten, jedoch etwas einfacher als die Teilfähigkeit zum Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN) (vgl. Peteranderl und Edelsbrunner, 2020). Während die zwei genannten Studien widersprüchliche Angaben zu Schwierigkeitsunterschieden zwischen IN und ID machen, konnten Schwichow et al. bei Schüler:innen im Bereich der Mittelstufe keinen signifikanten Unterschied zwischen IN und ID feststellen. Im Vergleich zur Teilfähigkeit UN sind diese jedoch signifikant einfacher (vgl. Schwichow et al., 2016; vgl.

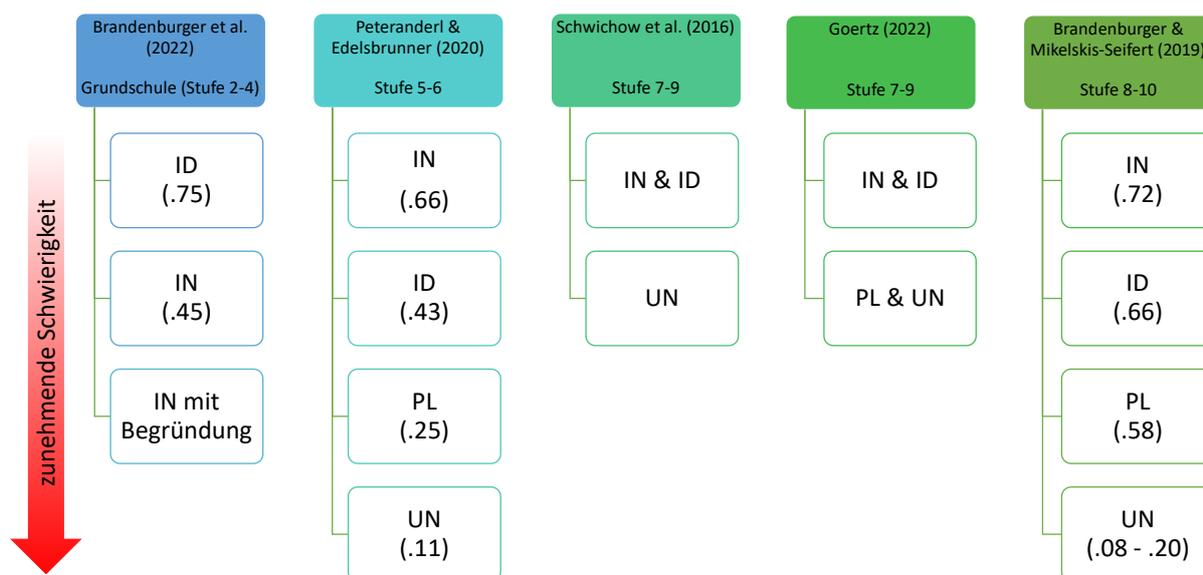


Abb.1: Die Lösungswahrscheinlichkeiten der vier VKS-Teilfähigkeiten basierend auf verschiedenen Studienergebnissen in verschiedenen Jahrgangsstufen. Horizontal sind verschiedene Studien aufgeführt. Der Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeiten ist gemäß den Ergebnissen der Studien vertikal dargestellt. In den Klammern sind die in der jeweiligen Untersuchung ermittelten Lösungswahrscheinlichkeiten aufgeführt, wenn sie dort explizit genannt worden sind. Nicht in jeder Studie sind numerische Angaben zum Schwierigkeitsgrad jeder einzelnen Teilfähigkeit gemacht worden.

Schwichow, 2015, S. 69). Eine ähnliche Tendenz beschreibt Goertz in seinen Ausführungen, in denen er die Teilfähigkeiten IN und ID zu einer gemeinsamen Skala zusammenfasst und die Teilfähigkeiten PL und UN einer Skala mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad zuordnet (vgl. Goertz, 2022, S. 264-266). Die Ergebnisse von Brandenburger und Mikelskis-Seifert in den Jahrgangsstufen acht bis zehn ähneln qualitativ den Beobachtungen von Peteranderl und Edelsbrunner. Die Teilfähigkeit IN wird leichter als ID und diese leichter als PL beschrieben. Die Unterschiede sind jeweils signifikant. Die Items zur Teilfähigkeit UN wiesen im Vergleich dazu nur sehr geringe Lösungswahrscheinlichkeiten auf (vgl. Brandenburger und Mikelskis-Seifert, 2019).

In den Untersuchungen von Brandenburger und Mikelskis-Seifert sowie von Brandenburger et al. wird in Bezug auf den Schwierigkeitsgrad der VKS zudem explizit darauf hingewiesen, dass die Fachdomäne keinen Einfluss auf die Schwierigkeit von entsprechenden Items hat und daher die VKS eine experimentelle Fähigkeit ist, die domänenübergreifend verwendet werden kann (vgl. Brandenburger et al., 2022; vgl. Brandenburger und Mikelskis-Seifert, 2019). Dies begründet auch, warum in Tab. 1 in Abschnitt 2 nicht die vierte Stufe im Modell von Hammann (2004) für die Anwendung der VKS in unbekanntem Domänen mit übernommen wurde.

Insgesamt kann an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass hinsichtlich des Schwierigkeitsgrads keine eindeutige Aussage über eine Reihung der Teilfähigkeiten zur Interpretation (IN) und zur Identifikation (ID) getroffen werden kann. Für die weiteren beiden Teilfähigkeiten zur Planung (PL) und zum Verständnis konfundierter Experimente (UN) lässt sich schlussfolgern, dass beide schwieriger sind. Darüber hinaus deutet die Tendenz in den Ergebnissen auf einen höheren Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeit UN im Vergleich zu PL hin.

tion (ID) getroffen werden kann. Für die weiteren beiden Teilfähigkeiten zur Planung (PL) und zum Verständnis konfundierter Experimente (UN) lässt sich schlussfolgern, dass beide schwieriger sind. Darüber hinaus deutet die Tendenz in den Ergebnissen auf einen höheren Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeit UN im Vergleich zu PL hin.

3.2. Operationalisierung der VKS-Teilfähigkeiten

Als Basis für eine gezielte Diagnose der VKS-bezogenen Kompetenzen von Schüler:innen sollen die Teilfähigkeiten an dieser Stelle weiter operationalisiert werden.

Die Klassifikation setzt sich aus zwei wesentlichen Komponenten zusammen. Dies sind einerseits die im vorherigen Abschnitt analysierten Schwierigkeitsgrade der vier VKS-Teilfähigkeiten und andererseits das gestufte Kompetenzentwicklungsmodell nach Hammann (2004), wie in Tab. 1 dargestellt. Werden diese beiden Aspekte miteinander verknüpft, können Kompetenzfacetten der VKS angeordnet und ihnen verschiedene Stufen des Kompetenzentwicklungsmodells zugeordnet werden, wie in Abb. 2 dargestellt ist.

Es sollen zunächst die spaltenweise dargestellten drei verschiedenen Niveaustufen betrachtet werden. Diesen Stufen werden gemäß Tab. 1 unterschiedliche Vorgehensweisen der Experimentierenden zugeordnet: ein unsystematisches auf Stufe 1, ein teilsystematisches auf Stufe 2 und ein systematisches Vorgehen auf der höchsten Stufe 3. Pro VKS-Teilfähigkeit, die in Abb. 2 zeilenweise angeordnet sind, kann daraus

		zunehmendes VKS-Verständnis		
		<u>Stufe 1</u>	<u>Stufe 2</u>	<u>Stufe 3</u>
		Unsystematischer Umgang mit Variablen	Teilweise systematischer Umgang mit Variablen	Systematischer Umgang mit Variablen (Beherrschen der VKS)
zunehmendes VKS-Verständnis	Identifizierung kontrollierter Experimente (ID)	X	X	X
	Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN)	-	X	X
	Planung kontrollierter Experimente (PL)	X	X	X
	Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN)	X	X	X

Abb.2: Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. Die Fähigkeitsskalen (je Teilfähigkeit) sind zwei- (für die Teilfähigkeit IN) bis dreistufig (Teilfähigkeiten ID, PL und UN). Mit zunehmender Niveaustufe und zunehmendem Schwierigkeitsgrad der VKS-Teilfähigkeit nimmt das VKS-Verständnis zu.

wiederum eine mehrstufige Fähigkeitsskala konstruiert werden. Die Skala zur Interpretation kontrollierter Experimente ist dabei zweistufig, da die Niveaustufe 1 (unsystematischer Umgang) nicht auftreten kann. Dies ist durch die Voraussetzung bedingt, dass die vorliegenden Experimentiersettings kontrolliert sind und sich demnach nur in einer Variablen unterscheiden. Dadurch können sowohl das Konstanthalten als auch die gleichzeitige Variation aller Variablen nicht als zugrundeliegende Strategien auftreten. Die übrigen Skalen ID, PL und UN sind hingegen alle dreistufig, da bei all diesen Skalen auch ein unsystematischer Umgang mit Variablen auftreten kann.

Nach Abb. 1 weisen die Teilfähigkeiten IN und ID einen ähnlichen Schwierigkeitsgrad auf. Die Beherrschung von zunehmend schwierigen Teilfähigkeiten der VKS kann auch als zunehmendes VKS-Verständnis interpretiert werden (siehe vertikaler Pfeil in Abb. 2). Die Farbgebung der einzelnen Zeilen deutet an, dass IN und ID in Bezug auf das Maß des VKS-Verständnisses als äquivalent zu betrachten sind. Gleichzeitig erhöht sich das VKS-Verständnis auch über die drei Stufen (und damit die Spalten) hinweg, wie der horizontale Pfeil in Abb. 2 verdeutlicht. Damit ergibt sich ein Modell, nach dem das VKS-Verständnis auf Seiten der Lernenden sowohl über die Beherrschung verschiedener Teilfähigkeiten als auch über höhere Skalenstufen bei der Systematik im Vorgehen zur Bearbeitung der Anforderungen zunimmt.

Die Operationalisierung der Teilfähigkeiten der VKS ermöglicht eine Zuordnung von Kompetenzfacetten in unterschiedliche gestufte Fähigkeitsniveaus. Unterschiedliche kognitive Strategien, die Lernende bei (Test-)Aufgaben oder in Experimentiersituationen anwenden, wie zum Teil in Abschnitt 2 beschrieben, können dadurch modellhaft eingeordnet werden. Diese Modellierung bildet eine mögliche Basis für die Analyse von Testergebnissen und eine darauf aufbauende Zuordnung weiterer Lernangebote. Genauer zu untersuchen ist noch, welche Aussagen über das Maß des VKS-Verständnisses bei Lernenden getroffen werden können, wenn unterschiedliche Niveaustufen auf verschiedenen Fähigkeitsskalen beobachtet werden, wie z.B. Stufe 3 bei der Skala ID und Stufe 1 oder 2 bei PL.

4. Ansatz zur Umsetzung eines adaptiven VKS-Testdesigns

Aufbauend auf dem in Abschnitt 3 angesprochenen CVSI von Schwichow et al. (2016) soll die Entwicklung adaptiver Teststrategien individualisierte Diagnostik-, Feedback- und Lernangebote ermöglichen. Ansätze zur inhaltlichen Weiterentwicklung des Item-Designs können in Winkens und Heinke (2023) nachvollzogen werden. An dieser Stelle soll insbesondere auf die Rahmenbedingung zur Weiterentwicklung des Testdesigns eingegangen werden.

Der wesentliche Kerngedanke eines adaptiven Designs fußt darauf, dass alle Proband:innen mit Items

derselben Teilfähigkeit starten. Im Anschluss daran soll eine interaktive Anpassung der weiteren Testitems an die im Verlauf des Tests abgeleiteten Fähigkeiten der Proband:innen erfolgen. Die Anpassung erfolgt dabei in Anlehnung an die in Abb. 2 dargestellten Kompetenzfacetten. Startend mit Items zu den einfacheren Teilfähigkeiten IN und ID folgen diesen in Abhängigkeit von den Antworten der Proband:innen Items der nächsthöheren Fähigkeitsskala oder ein nächstes Item zur aktuell adressierten Teilfähigkeit (zunächst ID & IN) zur weiteren Eruiierung innerhalb der aktuellen Skala. Damit keine Zufallstreffer zu Skalenwechseln führen, sollten pro Skala mindestens zwei aufeinanderfolgende Items korrekt gelöst werden müssen. Unter der Rahmenbedingung einer vergleichbaren Anzahl der insgesamt bearbeiteten Items für alle Proband:innen bearbeiten somit die Proband:innen im Regelfall unterschiedlich viele Items pro Skala. Die Umsetzung erfolgt also in einer gestaffelten Item-Reihenfolge in Abhängigkeit vom Fähigkeitsniveau der Proband:innen. Proband:innen mit einem geringen Konzeptverständnis der VKS werden demnach mehr Items aus dem Fundus der leichteren Teilfähigkeiten IN und ID bearbeiten. Leistungsstärkere Proband:innen dagegen werden überwiegend Planungs- (PL) und Verständnis-Items (UN) bearbeiten.

Die Anwendung des in Abb. 2 dargestellten Modells in einem adaptiven Testinstrument ist nur eine der interessanten Einsatzmöglichkeiten. Aufbauend auf einem solchen Testinstrument kann den SuS auch ein konkretes, individuelles Feedback zu ihrem VKS-Verständnis gegeben werden, z.B. in der Form: „Die Teilfähigkeit(en) X (und Y) beherrscht du schon sehr gut. Im Bereich Z gehst du noch unsystematisch bzw. nur teilweise systematisch vor“. Darüber hinaus können Lernmaterialien zur VKS differenziert aufbereitet werden. Bei Verwendung des gleichen experimentellen Settings bzw. des gleichen physikalischen Inhalts können unterschiedliche Versionen von strukturell angepassten Arbeitsblättern und deren passgenaue Zuordnung zu SuS auf verschiedenen Kompetenzniveaus zur Förderung der jeweiligen VKS-Teilfähigkeit entwickelt und nicht nur in verschiedenen Jahrgangsstufen, sondern auch als binnendifferenzierende Maßnahme in einer Lerngruppe eingesetzt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Variablenkontrollstrategie als experimentelle Kompetenz ein expliziter Bestandteil der neueren Lehrplangeneration ist. Um entsprechende (differenzierte) Lerngelegenheiten entwickeln zu können, ist eine gezielte und differenzierte Diagnose der Beherrschung der VKS durch SuS notwendig. Basierend auf einem gestuften experimentellen Kompetenzentwicklungsmodell zur VKS sowie einer Analyse der Schwierigkeitsgrade von vier verschiedenen VKS-Teilfähigkeiten

können einzelne Kompetenzfacetten zur VKS detaillierter herausgearbeitet werden. Je Teilfähigkeit lässt sich auf diese Weise eine zwei- bzw. dreistufige Fähigkeitsskala konstruieren, in die das Verhalten von Lernenden beim Experimentieren bzw. die Antworten VKS-spezifischer Aufgaben und Test-Items von Proband:innen eingeordnet werden können. Aufbauend darauf kann ein adaptives Testinstrument entwickelt werden. Durch eine gestaffelte Abfolge von zu bearbeitenden Test-Items zu verschiedenen Teilfähigkeiten und Skalenniveaus kann der Test interaktiv an das Fähigkeitsniveau der Proband:innen angepasst werden. Über Aussagen zum vorliegenden VKS-Verständnis hinaus bietet ein solches Verfahren das Potential auch typische Verhaltensweisen beim Experimentieren zu diagnostizieren, den Proband:innen direktes Feedback zurückzumelden sowie individuelle und differenzierte Lernangebote bereitzustellen.

Voraussetzung für die Umsetzung eines solchen Entwicklungsszenarios ist, dass ein adaptives Testinstrument eine valide Diagnose der verschiedenen Kompetenzfacetten der Variablenkontrollstrategie ermöglicht. In diesem Zusammenhang kann auch geklärt werden, inwieweit die verschiedenen Teilfähigkeiten in ihren inhaltlichen Anforderungen strikt trennbar sind oder aufeinander aufbauen. Ein Verständnis dieses Punktes kann die effiziente Entwicklung von differenzierten Feedbackroutinen und Lerngelegenheiten wesentlich unterstützen.

6. Literatur

- Baur, Armin (2018): Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, S. 115–129.
- Bernholt, Sascha (2010): Kompetenzmodellierung in der Chemie – Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität. Berlin: Logos Verlag.
- Brandenburger, Martina; Mikelskis-Seifert, Silke (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, Martina; Salim, Cem Aydin; Schwichow, Martin; Wilbers, Jens; Mikelskis-Seifert, Silke (2022): Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28 (5), S. 1–20.
- Chen, Zhe; Klahr, David (1999): All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. In: *Child Development* 70(5), S. 1098–1120.
- Ehmer, Maike (Mai 2008): Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen. Diss. Kiel: Christian-Albrecht-Universität.
- Goertz, Simon (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.
- Hammann, Marcus (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(4), S. 196–203.
- Hammann, Marcus; Phan, Thi Thanh Ho; Bayrhuber Horst (2007): Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen?. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10 (Sonderheft 8), S. 33–49.
- Klahr, David; Dubar, Kevin (1988): Dual Space Search During Scientific Reasoning. In: *Cognitive Science* 12, S. 1–48.
- KMK; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg. (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (Stand: 2/2022)
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2022): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019a): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019b): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Biologie. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019c): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Chemie. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und

- Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Nerdel, Claudia (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik – Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule. Berlin: Springer-Verlag.
- Peteranderl, Sonja (2019): Experimentation Skills of Primary School Children. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000370663>
- Peteranderl, Sonja; Edelsbrunner, Peter 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.
- Schulz, Andreas; Wirtz, Markus (2012): Analyse kausaler Zusammenhänge als Ziel des Experimentierens. In: *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten*. Hrsg. von Werner Rieß, Markus A. Wirtz, Bärbel Barzel und Andreas Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 39–56.
- Schulz, Andreas; Wirtz, Markus; Starauschek, Erich (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In: *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten*. Hrsg. von Werner Rieß, Markus A. Wirtz, Bärbel Barzel und Andreas Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 15–38.
- Schwichow, Martin (Oktober 2015): Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. Diss. Kiel: Christian-Albrecht-Universität.
- Schwichow, Martin; Christoph, Simon; Boone, William J.; Härtig, Hendrik (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, Martin; Nehring, Andreas (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.
- Schwichow, Martin; Brandenburger, Martina; Wilbers, Jens (2022): Analysis of experimental design errors in elementary school: how do students identify, interpret, and justify controlled and confounded experiments?. In: *International Journal of Science Education*, 44(1), S. 91-114. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2015544>
- Theyßen, Heike; Schecker, Horst; Neumann, Knut; Eickhorst, Bodo; Dickmann, Martin (2016): Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentiertest. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (Phy-Did-A)*, 15(1), S. 26–48.
- Tschirgi, Judith E. (1980): Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. In: *Child Development*, 51(1), S. 1–10.
- Weinert, Franz E. (2014): Leistungsmessungen in Schulen. 3., aktualisierte Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Winkens, Tobias; Heinke, Heidrun (2023): Fortentwicklung eines Testinstruments zur Variablenkontrollstrategie. In: Helena van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*.