

Binnendifferenziertes Experimentieren zur Förderung der Variablenkontrollstrategie im Unterricht

Tobias Winkens, Nicolas Hartrumpf, Heidrun Heinke

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

Kurzfassung

Der Beitrag fokussiert auf das Experimentieren unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) mit einem expliziten binnendifferenzierten Förderansatz. Als unterrichtstauglicher Ansatz berücksichtigt er das Vorwissen der Lernenden als Ausgangslage und baut darauf Lerngelegenheiten auf. Die theoretische Basis bilden die vier aus der Literatur bekannten VKS-Teilfähigkeiten zur Interpretation (IN), Identifikation (ID) und Planung (PL) kontrollierter Experimente sowie das Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN). Mithilfe teilfähigkeitsspezifischer Arbeitsblattvorlagen werden Experimente zur VKS implementiert, sodass zu jedem Experiment vier Arbeitsblattversionen mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad erzeugt werden können. Damit wurden zwei Lernzirkel mit fünf gleichen experimentellen Aufbauten, aber verschiedenen Anleitungen zusammengestellt. Ein Lernzirkel adressiert vorwiegend die einfachen Teilfähigkeiten (2xIN, 2xID, 1xPL) und ein anderer ausschließlich die schweren Teilfähigkeiten (3xPL, 2xUN). In einer ersten Studie (N = 87) in drei gymnasialen 7. Klassen wurden die Schüler:innen gemäß ihrer Pre-Test-Ergebnisse in leistungshomogene Kleingruppen von 2-3 Schüler:innen eingeteilt und durchliefen in diesen eine Intervention aus einer Einführung, der Lernzirkeldurchführung sowie einer Sicherungsphase und absolvierten zum Abschluss den Post-Test. Die Ergebnisse dieser Erhebung werden in diesem Beitrag vorgestellt.

1. Motivation

Im Zuge einer wachsenden Heterogenität schulischer Lerngruppen wird es eine zunehmend wichtige Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts und damit auch des Physikunterrichts, das individuelle Vorwissen der Schüler:innen beim Kompetenzerwerb zu berücksichtigen. Das gilt insbesondere auch für die explizite Förderung experimenteller Kompetenzen. Am Beispiel der Variablenkontrollstrategie (VKS) soll daher ein binnendifferenzierender Ansatz zur Förderung der VKS im (Physik-)Unterricht vorgestellt und ein Einblick in eine erste Erhebung zur Wirksamkeit dieses Ansatzes gegeben werden. Die VKS lässt sich dabei mit der Identifikation kontrollierter Experimente (ID), der Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN) sowie der Planung kontrollierter Experimente (PL) und dem Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN¹) in vier Teilfähigkeiten (TF) einteilen (vgl. Chen & Klahr, 1999; Schwichow et al., 2016; Schwichow & Nehring, 2018). Die Teilfähigkeiten sind dabei als unterschiedlich schwierig zu bewerten, mit ID und IN als leichteste und UN als schwierigste Teilfähigkeit. Eine Übersicht zur

Schwierigkeit findet sich als Fazit aus einigen Studien in Winkens und Heinke (2023a).

Fördermöglichkeiten zur VKS sind bereits vielfach erprobt (u.a. vgl. Bohrmann, 2017; Brandenburger & Mikelskis-Seifert, 2019; Brandenburger et al., 2022; Peteranderl & Edelsbrunner, 2020; Goertz, 2022; Schwichow et al., 2015a; Schwichow et al., 2015b; Schwichow et al., 2016a; Schwichow et al., 2016b; Zohar & David, 2008). In diesen Quellen wurde teilweise bereits über unterschiedliche Wirkungen der Interventionen bei leistungsschwächeren und -stärkeren Schüler:innen berichtet, jedoch wurden die Interventionsmaßnahmen nicht auf Basis des Vorwissens angeboten. Durch die theoretische Unterteilung in vier Teilfähigkeiten mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden bietet die VKS einen idealen Ansatzpunkt, ein binnendifferenziertes Experimentieren zur Förderung experimenteller Kompetenzen zu untersuchen. Dies erscheint auch deshalb interessant, weil zurzeit noch unklar ist, für welche Schüler:innen-Teilgruppen Differenzierungsmaßnahmen besonders hilfreich sind (u.a. vgl. Wodzinski, 2016; Güth, 2023; Peteranderl et al., 2023).

¹ Abgeleitet vom engl. understanding (vgl. Schwichow & Nehring, 2018).

2. Teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen zur VKS

Für das Verständnis der hier vorgestellten Erhebung sind zwei Vorarbeiten essentiell, die nachfolgend kurz beschrieben werden sollen. Dies betrifft neben einer für diese Erhebung grundlegenden Studie von Goertz (2022) (s. Abschnitt 3.2), deren Ergebnisse für einen Vergleich herangezogen werden, vor allem die Entwicklung teilfähigkeitsspezifischer Arbeitsblattvorlagen zur VKS, die im Folgenden umrissen werden soll.

Auf Basis der VKS-Teilfähigkeiten sind vier teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen entwickelt worden, wobei für jede Teilfähigkeit eine Vorlage existiert (vgl. Winkens & Heinke, 2024; Winkens et al., 2024). Als Grundlage für die Entwicklung der Vorlagen dienten fünf erprobte und wirksame Lernzirkelmodule zur Förderung der VKS der Plattform FLeXKom² (Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen), deren Schwerpunkte jeweils auf einer der verschiedenen Teilfähigkeiten lag (vgl. Goertz, 2022). Diese sind in der untersten Zeile von Tabelle 1 dargestellt. Die Arbeitsblattvorlagen greifen charakteristische Elemente zur Förderung der jeweiligen Teilfähigkeit auf. Über Variablenplatzhalter können die experimentsspezifischen Variablen angepasst und auf diese Weise in die Vorlagen implementiert werden. Für die hier vorgestellte Studie sind die Vorlagen unerlässlich, um die vorhandenen Module mitsamt ihrer Experimente an die Vermittlung anderer Teilfähigkeiten anzupassen und damit die Intervention in der Studie dem Bedarf entsprechend auszugestalten (Genauerer siehe Tabelle 1 und Abschnitt 3.4). Insgesamt ermöglichen die Arbeitsblattvorlagen, dass die Schüler:innen an den gleichen experimentellen Aufbauten mit verschiedenen Anleitungen arbeiten, die unterschiedliche Teilfähigkeiten der VKS und damit verschiedene Kompetenzniveaus adressieren.

3. Erste Erhebung zum binnendifferenzierenden Förderansatz zur VKS

3.1. Studiendesign

Das Studiendesign wurde in Anlehnung an eine vorangegangene Studie gewählt (vgl. Goertz, 2022, S.202-205 & S.293f.), auch weil das die Vergleichbarkeit der neu aufgenommenen Daten mit den Ergebnissen der früheren Studie sichert. Dieses basiert gemäß Abbildung 1 auf einem Pre-Post-Test-Design mit einer dazwischen stattfindenden Intervention. Für die Intervention werden die Proband:innen auf Basis ihrer Pre-Test-Ergebnisse in leistungshomogene Kleingruppen eingeteilt und zudem zwei verschiedenen Lernzirkeln zugeordnet, wobei der Typ A-Lernzirkel als einfacher und der Typ B-Lernzirkel als schwerer anzusehen sind. Die genaue Gestaltung der Lernzirkel wird in Abschnitt 3.4 beschrieben.

Als Testinstrument zur Erfassung der VKS-Fähigkeiten dient das von Goertz (2022) verwendete Testinstrument zur VKS als Basis. Dieses beinhaltet 11 Items des Control-of-Variables Strategy Inventory (CVSI) (vgl. Schwichow et al., 2016), davon je drei zu den Teilfähigkeiten IN, ID und UN sowie zwei zur Teilfähigkeit PL (vgl. Goertz, 2022, S.223). In der hier eingesetzten Version wurde die Anzahl der Antwortoptionen für die ID-Items von vier auf sechs erhöht (vgl. Winkens & Heinke, 2023b). Außerdem wurden zwei schwerere UN-Items zusätzlich ergänzt, um potentiellen Deckeneffekten bei den leistungsstarken Proband:innen vorzubeugen (vgl. Goertz, 2022, S.348). Das verwendete VKS-Testinstrument besteht folglich aus 13 Items (3xIN, 3x ID, 2xPL, 5xUN).

Zusätzlich zu den VKS-Items wurden weitere Ko-Variablen (u.a. Noten und Selbstkonzept) erhoben. Diese werden aber hier nicht weiter betrachtet.

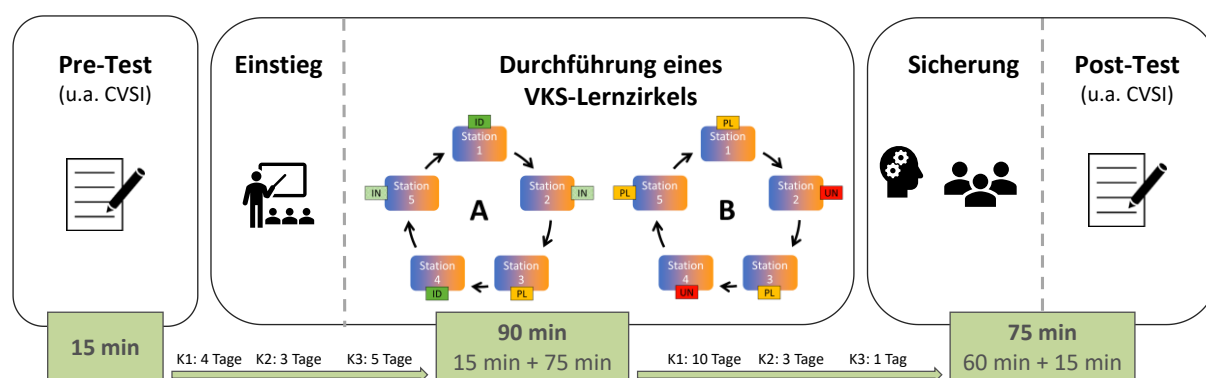


Abb. 1: Ablauf des Studiendesigns bestehend aus Pre-Test, Intervention und Post-Test über drei Tage verteilt. Der zeitliche Abstand zwischen den Tagen ist für die drei Klassen (K1-K3) dargestellt. Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Goertz, 2022, S.293.

² Die Plattform FLeXKom ist über die Website des Lernlabors SCIphyLAB der RWTH Aachen University erreichbar unter: <https://sciphylab.de/flexkom/> (Stand: 15.5.2025)

Tab. 1: Übersicht über die verwendeten Lernzirkelstationen mit den aufgeführten Experimenten. Für die beiden Lernzirkelversionen Typ A und Typ B wurden bis auf Station 3 jeweils Arbeitsblattvarianten für eine andere Teilfähigkeit verwendet. Die Farbcodierung weist auf die Schwierigkeit der Teilfähigkeiten von grün (einfacher als PL) bis rot (schwerer als PL) hin. Zum Vergleich ist der VKS-Lernzirkel bei Goertz (2022) gezeigt. Quelle: Eigene Darstellung.

Lernzirkel	Station 1: Elektromagnet	Station 2: Fadenpendel	Station 3: Federpendel	Station 4: Drahtwiderstand	Station 5: schiefe Ebene
Typ A	ID	IN	PL	ID	IN
Typ B	PL	UN	PL	UN	PL
Goertz (2022)	ID	UN	PL	UN	IN

3.2. Ergebnisse einer früheren Studie

Im Rahmen seines Promotionsvorhabens hat Goertz unter anderem einen Lernzirkel zur Förderung der VKS in der Mittelstufe entwickelt und evaluiert (N = 443) (Goertz, 2022). Dieser Lernzirkel bestand aus fünf Stationen, die jeweils unterschiedliche Teilfähigkeiten (2xUN, 1xPL, 1xIN, 1xID) als Schwerpunkt fokussiert haben, wie in Tabelle 1 zu sehen ist (vgl. Goertz, 2022, S.184). Die Proband:innen haben den Lernzirkel in einem Studiensetting ähnlich zu Abbildung 1 durchgeführt. Dabei waren sie in zufällig zusammengesetzte und damit leistungsheterogene Kleingruppen von 2-3 Schüler:innen aufgeteilt.

Der hier untersuchte differenzierende Ansatz nimmt leistungshomogene Kleingruppen in den Blick. Da die Ergebnisse von Goertz (2022) im Hinblick auf das VKS-Instrument unter anderem getrennt für leistungsschwache und leistungsstarke Schüler:innen ausgewertet wurden, eignen sich diese als Vergleichsdaten für die Schüler:innen in den hier untersuchten leistungshomogenen Gruppen. Die Kategorisierung erfolgte bei Goertz, indem Schüler:innen, die zu dem unteren Drittel der Stichprobe gemäß der Pre-Test-Ergebnisse³ gehörten, der leistungsschwachen Teilgruppe zugeordnet wurden. Die leistungsstarke Teilgruppe ergibt sich analog aus den Schüler:innen aus dem oberen Drittel der Pre-Test-Ergebnisse.

Tab. 2: Effektstärken für den Wissenszuwachs bzgl. der VKS-Skalen nach Durchlaufen eines VKS-Lernzirkels in der Studie von Goertz (2022), aufgeteilt für leistungsschwache und leistungsstarke Schüler:innen (Details siehe Text). Quelle: Eigene Darstellung nach Goertz, 2022, S.326.

Relevante Pre-Post-Ergebnisse von Goertz (2022)		
Skala	leistungsschwache Schüler:innen	leistungsstarke Schüler:innen
ID_IN	d = 1,53	d = 0,57* *Deckeneffekte
PL_UN	d = 1,59	d = 1,39
VKS_ges	d = 1,72	d = 1,29

³ Maßgeblich für die Einteilung waren nicht nur die Ergebnisse der VKS-Items, sondern ein Gesamtscore, der zusätzlich auch die

In Tabelle 2 sind die Effektstärken des VKS-Tests im Pre-Post-Vergleich abgebildet (Zeile VKS_ges). Zusätzlich wurden die VKS-Items auf Basis einer Faktorenanalyse in eine leichtere (ID_IN) und schwere Teilskala (PL_UN) aufgeteilt (vgl. Goertz, 2022, S.265f.). Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusätzlich aufgeführt. Im nicht binnendifferenzierten Setting von Goertz zeigen sich dabei große Lerneffekte für beide Teilgruppen. Der beobachtete Unterschied in den Effektstärken für die Skala ID_IN zugunsten der Gruppe der leistungsschwächeren Schüler:innen kann aufgrund dominanter Deckeneffekte bei den leistungsstärkeren Schüler:innen nicht sinnvoll interpretiert werden (vgl. Goertz, 2022, S.331).

3.3. Rahmenbedingungen der aktuellen Studie

Die Stichprobe umfasste N = 87 Proband:innen aus drei 7. Klassen (K1-K3) eines Gymnasiums mit einem Durchschnittsalter von 12,9 Jahren. Stattgefunden hat die Erhebung am Schuljahresende im Rahmen des regulären Physik- bzw. Mathematikunterrichts. Die Erhebung wurde zur Umsetzung des beschriebenen Studiendesigns (vgl. Abbildung 1) an drei verschiedenen Schultagen durchgeführt. Am ersten Tag fand der Pre-Test im Umfang von ca. 15 Minuten am Ende einer Stunde statt. Die Durchführung der beiden Lernzirkelversionen, denen die Schüler:innen auf Basis ihrer Pre-Test-Ergebnisse zugeordnet wurden, erfolgte mit einem vorangeschalteten Einstieg innerhalb einer 90-minütigen Doppelstunde. Die Sicherungsphase erfolgte an einem dritten Tag vor dem abschließenden Post-Test, wofür insgesamt der Großteil einer weiteren Doppelstunde verwendet wurde.

Durch die Durchführung im Schulalltag an drei verschiedenen Tagen war die Studie mit einer relativ hohen Drop-Out-Quote über die verschiedenen Studientage hinweg verbunden. Konkret haben 27 Schüler:innen nicht an allen Tagen an den verschiedenen Bestandteilen der Studie teilgenommen. Für die Betrachtung der Ergebnisse in Abschnitt 4 werden nur N = 60 Proband:innen berücksichtigt, die zu allen drei Zeitpunkten teilgenommen haben.

3.4. Gestaltung der Intervention

Die Intervention zur Förderung der Variablenkontrollstrategie (VKS) zwischen dem Pre- und Post-Test

Ergebnisse des MeK-LSA-Tests (vgl. Theyßen et al., 2016) berücksichtigt hat (vgl. Goertz, 2022, S.323f.).

besteht aus drei Teilen – einem Einstieg, einer Lernzirkeldurchführung und einer Sicherungsphase. Wie im Abschnitt 3.1 erwähnt, baut das Studiensetting auf den Vorarbeiten von Goertz (2022) auf, weshalb die Einstiegs- bzw. Motivationsphase sowie die abschließende Sicherungsphase an der Stelle nicht weiter beschrieben werden und auf die dortigen Ausführungen verwiesen wird (vgl. Goertz, 2022, S.205-207). Bei der Lernzirkeldurchführung werden zwei Lernzirkeltypen mit fünf Stationen verwendet. Besonderheit war, dass in beiden Lernzirkeltypen die gleichen experimentellen Aufbauten verwendet wurden, aber Anleitungen in Form unterschiedlicher Arbeitsblätter bereitgestellt wurden. Dazu wurde auf die in Abschnitt 2 beschriebenen teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen zur VKS zurückgegriffen. Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, adressiert der Typ A-Lernzirkel vorwiegend die einfachen Teilfähigkeiten (2xIN, 2xID, 1xPL) und der Typ B ausschließlich die schweren Teilfähigkeiten (3xPL, 2xUN). Die Bearbeitungszeit beträgt 15 Minuten pro Station, die eigenständig von den Proband:innen bearbeitet werden können (vgl. Goertz, 2022, S.206).

3.5. Forschungsfrage

Im Hinblick auf den hier beschriebenen Ansatz zu einer differenzierten Förderung der VKS ergibt sich u.a. die folgende Forschungsfrage (FF).

- FF: Wie ändert sich das VKS-Verständnis nach dem Bearbeiten eines auf Basis der Pre-Test-Ergebnisse zugeordneten Lernzirkeltyps?

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse der vorangegangenen Studie von Goertz (2022) zur Förderung der VKS in einem ähnlichen Setting lassen sich unter Berücksichtigung des neuen Differenzierungsansatzes folgende Hypothesen zur FF ableiten.

- H.1: Das Verständnis der VKS verbessert sich allgemein signifikant.
- H.2: Das Verständnis der jeweils im Lernzirkel behandelten Teilfähigkeiten der VKS erhöht sich besonders stark.

4. Erste Ergebnisse

In der hier vorgestellten Studie ist der binnendifferenzierende Ansatz zur Förderung der VKS erstmals unter realen schulischen Bedingungen getestet und untersucht worden. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse und Erkenntnisse daraus vorgestellt und diskutiert.

4.1. Lernzirkelzuteilung nach Pre-Testung

Wesentlicher Bestandteil des Studiendesigns ist, dass die Proband:innen vor der Intervention auf Basis ihrer Pre-Test-Ergebnisse einem der beiden Lernzirkeltypen zugeteilt wurden. Dadurch sollen die Proband:innen auf ihr individuelles Kompetenzniveau ausgerichtet Lerngelegenheiten erhalten.

In Tabelle 3 ist die Einteilung der drei Testklassen (K1-K3) in Gruppen zu sehen, die mit dem leichteren

Typ A- und dem schweren Typ B-Lernzirkel gearbeitet haben. Die Einteilung erfolgte nach Auswertung der Pre-Test-Ergebnisse im Allgemeinen nach der Zuteilungsregel, dass Proband:innen bei richtiger Beantwortung von mindestens fünf der sechs leichten Items des VKS-Tests (je 3xID und 3xIN) dem Typ B-Lernzirkel zugeordnet wurden, sonst dem Typ A.

Tab. 3: Übersicht über die nach dem Pre-Test erfolgte Einteilung der Klassen K1 bis K3 in Gruppen, die mit dem Typ A- und Typ B-Lernzirkel gearbeitet haben, sowie die in der Auswertung berücksichtigten Datensätze. Quelle: Eigene Darstellung.

	Typ A	Typ B
K1	11	9
K2	14	15
K3	19	6
Σ_{Pre}	44	30
Anwesenheit beim Pre- & Post-Test und Lernzirkel		
$\Sigma_{Pre+LZ+Post}$	35	25

Wie in Tabelle 3 zu sehen ist, waren in den Klassen K1 und K3 überwiegend Proband:innen, die dem einfacheren Lernzirkeltyp zugeordnet wurden. Dagegen gab es in K2 eine gleichmäßige Aufteilung. Im Anschluss an die Zuteilung wurden die Proband:innen klassenintern in einer Rangliste gemäß ihrer richtigen Antworten im Pre-Test geordnet und in Zweier- bzw. Dreiergruppen eingeteilt, in denen die Lernzirkel gemeinsam durchlaufen wurden.

4.2. Diskussion der Gütekriterien

Da das Testinstrument für die Studie leicht modifiziert wurde (siehe Abschnitt 3.1), wurden die Gütekriterien überprüft, die nachfolgend kurz präsentiert werden.

In Tabelle 4 sind die minimalen Trennschärfen für die jeweiligen Items der vier VKS-Teilfähigkeiten dargestellt. Bis auf die Werte für IN und UN im Prä-Test liegen alle Werte in einem als gut zu betrachtenden Bereich von über 0,5 (vgl. Döring, 2023, S.472). Es wurden keine Items aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Die limitierte Trennschärfe muss aber bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Tab. 4: Minimale Trennschärfen zu den Items der jeweiligen Teilfähigkeiten zur VKS für das für die Studie modifizierte Testinstrument. Quelle: Eigene Darstellung.

Items	Minimale Trennschärfen	
	Pre-Test	Post-Test
IN	0,42	0,54
ID	0,57	0,59
PL	0,57	0,65
UN	0,19	0,52

Für die Reliabilitätsbetrachtung wurde Cronbachs Alpha als Referenzgröße bestimmt. Da in der weiteren Analyse die leichteren Teilfähigkeiten (ID und IN) sowie die schwereren Fähigkeiten (PL und UN) zu zwei Teilskalen für den Vergleich mit einer früheren Studie zusammengefasst werden (vgl. Goertz, 2022, S.265f., siehe auch Tabelle 2), sind in Tabelle 5 die Werte für die beiden Teilskalen sowie die gesamte VKS-Skala dargestellt.

Tab. 5: Reliabilitäten der beiden VKS-Teilskalen sowie der gesamten VKS-Skala. Quelle: Eigene Darstellung.

Skala	α_{Cronbach}	
	Pre-Test	Post-Test
ID_IN	0,64	0,78
PL_UN	0,58	0,82
VKS-Gesamt	0,74	0,87

Die Reliabilitäts-Werte in Tabelle 5 zeigen durchweg akzeptable Werte sowohl für die beiden Teilskalen ID_IN und PL_UN als auch für die gesamte VKS-Skala (vgl. Schecker, 2014, S.1; vgl. Tiber, 2017, S.1278).

Das letzte Gütekriterium der Objektivität wird als gegeben vorausgesetzt, da sowohl die Aufnahme der Daten als auch die Codierung digital und personenunabhängig erfolgte.

4.3. Ergebnisse der VKS-Tests

Die Ergebnisse der Studie stützen sich in erster Linie auf die Auswertung des eingesetzten VKS-Testinstruments, um erste Erkenntnisse zur Wirkung der beiden Lernzirkeltypen zu erhalten und diese mit bekannten Daten (s. Abschnitt 3.2) zu vergleichen.

In Abbildung 2 findet sich der Vergleich der Pre-Post-Testergebnisse für die gesamte VKS-Skala (alle 13 Items), aufgeschlüsselt für die Proband:innen, welche die beiden Lernzirkel vom Typ A und Typ B bearbeitet haben.

Zu konstatieren sind die grundsätzlich unterschiedlichen Vorwissensstände, mit denen den Schüler:innen

der Teilgruppen Typ A und Typ B in die Intervention gestartet sind. Dies ist dem Studiendesign geschuldet, da den Lernzirkel Typ A die Schüler:innen mit den schwächeren Pre-Test-Ergebnissen und den Typ B nur die leistungsstärkeren Schüler:innen bearbeitet haben, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben wurde.

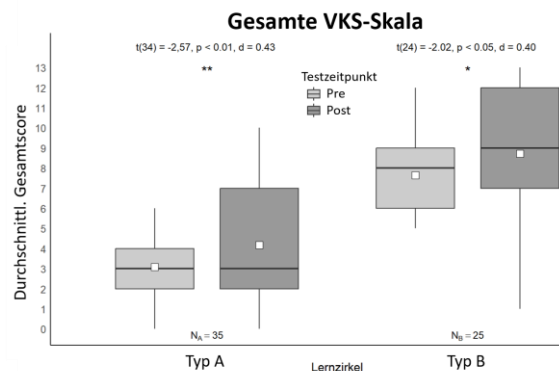


Abb. 2: Pre-Post-Ergebnisse zur gesamten VKS-Skala für Proband:innen, welche die Lernzirkel vom Typ A und Typ B bearbeitet haben. Quelle: Eigene Darstellung.

Für beide Lernzirkel-Typen zeigen sich signifikante Verbesserungen für die gesamte Skala im Pre-Post-Vergleich, die aber in beiden Fällen eine niedrige Effektstärke aufweisen ($d_A = 0,43$ und $d_B = 0,40$). Auffällig ist ebenfalls für beide Lernzirkeltypen, dass die Varianz im Post-Test deutlich höher ist als zum ersten Testzeitpunkt. Dies weist auf unterschiedliche individuelle Wirkungen der Intervention hin.

Abbildung 3 enthält die Pre-Post-Testergebnisse für die beiden Subskalen ID_IN und PL_UN. Hier zeigen sich weitere Gruppenunterschiede.

Für die Skala leichter Items ID_IN (linke Seite in Abbildung 3) sind bei dem Typ A-Lernzirkel kleine signifikante Effekte ($d_{A, ID_IN} = 0,40$) zu verzeichnen. Die große Varianz für die Daten aus dem Post-Test stützt die bereits thematisierte Vermutung einer individuell gerichteten Wirkung. Beim Typ B-Lernzirkel können dagegen hier keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden. Dies liegt an den Decken-

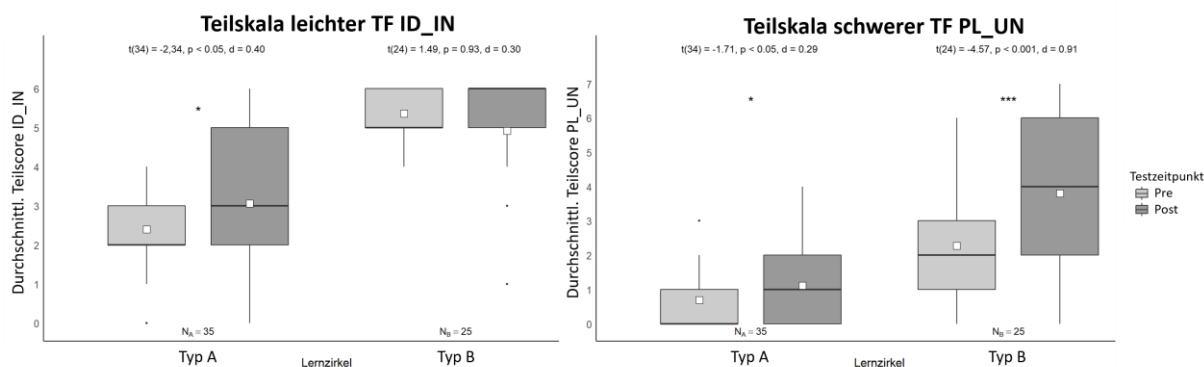


Abb. 3: Pre-Post-Ergebnisse, aufgeteilt in die beiden Teilskalen zu den einfacheren Teilfähigkeiten (TF) ID und IN (bestehend aus 6 Items) und zu den schwereren Teilfähigkeiten PL und UN (bestehend aus 7 Items), für Proband:innen, welche die Lernzirkel vom Typ A und Typ B bearbeitet haben (Details siehe Text). Quelle: Eigene Darstellung.

effekten, die bei den leichten Items für die leistungsstärkeren Schüler:innen aufgrund des Studiendesigns im Pre- und im Post-Test zu erwarten waren.

Die Ergebnisse der Subskala PL_UN mit den schweren Item-Typen sind in Abbildung 3 auf der rechten Seite dargestellt. Für die Gruppe, die den Typ-A Lernzirkel mit einer Station zur Teilfähigkeit Planung (PL) absolviert hat, kann ein kleiner signifikanter Effekt ($d_{A, PL_UN} = 0,29$) ermittelt werden. Für den Typ B-Lernzirkel, bei dem an allen Stationen die schweren Teilfähigkeiten im Fokus standen, kann ein signifikanter Unterschied mit einer großen Effektstärke ($d_{B, PL_UN} = 0,91$) im Pre-Post-Vergleich beobachtet werden. Auch hier ist beim Post-Test eine hohe Varianz in den Boxplots zu erkennen. Eine vergleichende Darstellung der Effektstärken findet sich in Tabelle 6.

Tab. 6: Effektstärken für den Wissenszuwachs bzgl. der VKS-Skalen nach Durchlaufen der Lernzirkel, aufgeteilt nach den Typ A- und Typ B-Lernzirkeln. Bis auf den kursiv markierten Werte weisen alle Werte signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten auf. Quelle: Eigene Darstellung.

Pre-Post-Ergebnisse der vorgestellten Studie		
Skala	Typ A	Typ B
ID_IN	$d = 0,40$	$d = 0,30^*$ <i>*Deckeneffekte</i>
PL_UN	$d = 0,29$	$d = 0,91$
VKS_ges	$d = 0,43$	$d = 0,40$

4.4. Diskussion der Forschungsfrage und weiterer Ergebnisse

Bezüglich der in Abschnitt 3.5 vorgestellten Forschungsfrage, wie sich das VKS-Verständnis nach dem Bearbeiten eines auf Basis der Pre-Test-Ergebnisse zugeordneten Lernzirkeltyps ändert, deuten sich in Abhängigkeit vom Vorwissen der Proband:innen unterschiedlich stark ausgeprägte Entwicklungen des VKS-Verständnisses an. Bei allen folgenden Überlegungen muss die vergleichsweise geringe Stichprobe als ein aussagebegrenzender Aspekt berücksichtigt werden.

Mit den signifikanten Verbesserungen bei beiden Lernzirkeltypen A und B über die gesamte VKS-Skala kann die Hypothese H.1 tendenziell gestützt werden. Die Daten decken sich qualitativ mit den Beobachtungen von Goertz (2022). Allerdings liegen die Effekte in der hier vorgestellten Erhebung nicht wie bei Goertz im Bereich großer Effektstärken, sondern es werden nur kleine Effekte gefunden. Bei den leistungsstarken Proband:innen in Typ B tragen die erwartbaren und unausweichlichen Deckeneffekte bei den leichteren Items (zu ID und IN) zu einer Unterschätzung des Effekts auf der gesamten VKS-Skala bei. Deshalb sollte für die Bewertung der Entwicklung des VKS-Verständnisses dieser Proband:innen-

Gruppe primär die Teilskala zu den schwereren PL- und UN-Items herangezogen werden.

Die zweite Hypothese H.2 bezog sich auf die Entwicklung der VKS-Teilfähigkeiten in Abhängigkeit von den im jeweiligen Lernzirkeltyp fokussierten Teilfähigkeiten. Beim Lernzirkeltyp A sind das die einfachen Teilfähigkeiten ID und IN (bei Typ A insg.: 2xID, 2xIN, 1xPL) und beim Lernzirkeltyp B (2xPL, 3xUN) die schwereren Teilfähigkeiten zur Planung (PL) und zum Verständnis (UN). Die Ergebnisse deuten dabei eine Diskrepanz zwischen den Ergebnissen für die beiden Lernzirkeltypen an. Die Schüler:innen mit niedrigerem Vorwissen aus der Gruppe Typ A zeigen für die Subskala ID_IN zu den leichten Teilfähigkeiten nur Entwicklungen mit kleiner Effektstärke. Für Schüler:innen aus der Gruppe Typ B und damit mit hohem Vorwissen werden hingegen große Effekte bei den schwereren Teilfähigkeiten (Skala PL_UN) festgestellt. Somit kann die Hypothese H.2 mit den hier vorliegenden Daten nur für die Schüler:innen mit hohem Vorwissen gestützt werden.

Während die Ergebnisse der Typ B-Gruppe erwartungskonform ausfallen, erscheinen die Ergebnisse der Typ A-Gruppe zunächst nicht intuitiv, da eine auf das individuelle Fähigkeitsniveau angepasste Aufgabenumgebung geboten wurde, von der ein starker Lerneffekt erhofft wurde. Jedoch führt das gewählte Setting auch zu Konsequenzen, welche die vergleichsweise geringe Entwicklung im Wissenszuwachs bei den leichten ID- und IN-Items für die Gruppe Typ A erklären könnten. So können die Gruppenzusammensetzungen der Zweier- und Dreiergruppen, in denen die Schüler:innen den Lernzirkel bearbeitet haben, einen wesentlichen Einfluss genommen haben. In der Untersuchung von Goertz (2022) sind durch die zufällige Gruppenzusammenstellung leistungsheterogene Kleingruppen entstanden, während im hier vorgestellten Setting durch die Einteilung nach dem Pre-Test in leistungshomogenen Gruppen gearbeitet wurde. Durch die anderen Gruppenkonstellationen können beispielsweise etwaige Peer-Tutoring-Effekte innerhalb der Gruppen ausbleiben und damit die Ergebnisse beeinflussen. Ein weiterer Aspekt, der durch die Studienleitung beobachtet wurde, aber nicht durch Testinstrumente erfasst wurde, ist eine augenscheinlich geringere Lesekompetenz der Typ-A Gruppe, welche hier die eigenständige Bearbeitung der Arbeitsblätter erschwert haben könnte.

Die beobachteten Ergebnisse werfen deshalb die Frage auf, inwiefern binnendifferenzierte Aufgabenstellungen, die mit der Bearbeitung in leistungshomogenen Kleingruppen verbunden sind, leistungsschwächere Schüler:innen wirklich fördern oder ob dieser Ansatz diese Schüler:innen sogar eher benachteiligt, weil er Leistungsunterschiede in heterogenen Gruppen verstärken kann. Allgemein deuten die hohen Varianzen, die in Abbildung 3 zu sehen sind, auf individuell unterschiedliche Wirkungen der VKS-Förderung hin, und zwar bei beiden Lernzirkeltypen.

Abschließend sollen mögliche Gründe für die im Vergleich zu den Ergebnissen von Goertz (2022) grundsätzlich niedrigeren Effektstärken diskutiert werden. Ein möglicher Grund sind die Veränderungen am Testinstrument, bei dem die Anzahl der Items von 11 auf 13 erhöht und dabei um zwei schwere UN-Items aufgestockt wurde. Für alle Schüler:innen, aber insbesondere für die leistungsschwächeren Proband:innen, die den Typ-A Lernzirkel absolviert haben, könnte das zu einem Absinken der Effektstärke auf der Subskala PL_UN und damit auf der gesamten VKS-Skala führen. Auch die vorgenommene leichte Veränderung der ID-Items könnte deren Lösungswahrscheinlichkeiten gesenkt haben, was bisher aber nicht detailliert untersucht wurde.

Möglicherweise verhinderte positive Effekte von peer-to-peer Erläuterungen, die in leistungsheterogenen Kleingruppen beim Experimentieren an Lernzirkel-Stationen erwartet werden dürfen, waren schon weiter oben diskutiert worden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein binnendifferenzierender Ansatz für eine individuellere Förderung der Variablenkontrollstrategie (VKS) entwickelt, der in einer Pre-Post-Untersuchung mit einer Lernzirkelintervention erstmals mit $N = 87$ Schüler:innen aus drei gymnasialen Klassen der 7. Jahrgangsstufe erprobt wurde. Die Schüler:innen wurden auf Basis ihrer Pre-Test-Ergebnisse in Kleingruppen von 2-3 Schüler:innen zwei Lernzirkeln zugeordnet: einem Lernzirkel Typ A, dessen Fokus auf den leichten VKS-Teilfähigkeiten zum Interpretieren der Ergebnisse kontrollierter Experimente (IN) und zur Identifikation kontrollierter Experimente (ID) lag, oder einem Lernzirkel Typ B mit Fokus auf den schweren Teilfähigkeiten zur Planung kontrollierter Experimente (UN) und zum Verständnis der mangelnden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN). Dabei haben die Schüler:innen in beiden Lernzirkeln an denselben experimentellen Aufbauten gearbeitet. Durch teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen konnten die Anleitungen jedoch je nach gewünschtem Fokus auf die Schulung verschiedener VKS-Teilfähigkeiten ausgelegt werden. Die Forschungsfrage, wie sich das VKS-Verständnis nach dem Bearbeiten eines auf Basis der Pre-Test-Ergebnisse zugeordneten Lernzirkeltyps ändert, konnte auf Basis der erhobenen Daten in zwei Schritten beantwortet werden.

Für beide Lernzirkeltypen konnten signifikante Verbesserungen mit jeweils kleinen Effekten hinsichtlich des VKS-Verständnisses ($d_A = 0,43$ und $d_B = 0,40$) verzeichnet werden. Eine besonders starke, signifikante Verbesserung bezogen auf die im Fokus des jeweiligen Lernzirkeltyps stehenden Teilfähigkeiten konnte nur bei den leistungsstärkeren Schüler:innen beobachtet werden, die den Typ B-Lernzirkel ($d_{B, PL_UN} = 0,91$) mit Schwerpunkt auf den Teilfähigkeiten PL und UN bearbeitet haben. Bei den leistungsschwächeren Schüler:innen zeigten sich bei den

im Lernzirkel vom Typ A speziell geförderten Teilfähigkeiten PL und UN nur kleine signifikante Verbesserungen ($d_{A, ID_IN} = 0,40$).

Im Lichte der ersten Ergebnisse der hier präsentierten Studie ist zu klären, inwieweit vor allem die leistungsstarken Schüler:innen von einem differenzierten Experimentieren profitieren und ob der Ansatz angesichts der unterschiedlichen Leistungsentwicklungen möglicherweise die Leistungsheterogenität weiter verstärkt und damit leistungsschwächere Schüler:innen benachteiligt.

Eine zukünftige Untersuchung mit einer größeren und klassenstufenübergreifenden Stichprobe wird zielführend sein, um die Fragestellung nach der Wirksamkeit des binnendifferenzierenden Ansatzes zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beantworten zu können.

6. Literatur

- Bohrmann, M. (2017). Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Berlin: Logos Verlag.
- 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.
- Döring, N. (2023). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. 6. Berlin, Heidelberg: Springer.
- 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.
- Güth, F. (2023). Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variierten Kontextaufgaben im Fach Chemie. 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.
- Peteranderl, S.; Edelsbrunner, P. A.; Deiglmayr, A.; Schumacher, R.; Stern, E. (2023). What Skills Related to the Control of Variables Strategy

- Need to Be Taught, and Who Gains Most? Differential Effects of a Training Intervention. In: *Journal of Educational Psychology*, 115 (6), S.813–835.
- Schecker, H. (2014). Online Zusatzmaterial: Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs alpha. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (3. Aufl.). Springer Spektrum.
- Schwichow, M.; Christoph, S.; Härtig, H. (2015a). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (6), S.346–350.
- Schwichow, M.; Croker, S.; Zimmerman, C.; Höffler, T.; Härtig, H. (2015b). Teaching the Control-of-Variables Strategy: A Meta-Analysis. In: *Developmental Review*, 39, S.37–63.
- Schwichow, M.; Christoph, S.; Boone, W. J.; Härtig, H. (2016a). 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.; Zimmerman, C.; Croker, S.; Härtig, H. (2016b). What students learn from hands-On activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 53 (7), S.980–1002.
- 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.
- Taber, K. S. (2017). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. In: *Research in Science Education*, 48, S.1273–1296.
- Theyßen, H.; Schecker, H.; Neumann, K.; Eickhorst, B.; Dickmann, M. (2016). Messung experimenteller Kompetenz – ein computergestützter Experimentiertest. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDiD)*, 15 (1), S.26–48.
- 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. S.362–365.
- Winkens, T.; Heinke, H. (2023a). Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. In: *PhyDid B –Didaktik der Physik– Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover*, S.177–183.
- Winkens, T.; Heinke, H. (2023b). Fortentwicklung eines Testinstruments zur Variablenkontrollstrategie. In: *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022. Hrsg. von Helena van Vorst. Duisburg-Essen, S.754–757.
- Winkens, T.; Heinke, H. (2024). „Arbeitsblattvorlagen als Mittel zur differenzierten Förderung der Variablenkontrollstrategie“. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Greifswald*. S.131–138.
- Wodzinski, R. (2016). Heterogenität im Physikunterricht - Fachdidaktische Herausforderungen. In: *Plus Lucis*, 2, S.2–5.
- Zohar, A; David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. In: *Metacognition and Learning*, 3 (1), S.59–82.