

Entwicklung von Lernzirkelstationen zur Variablenkontrollstrategie mit geringem Materialaufwand

Stephanie Gehnen, Tobias Winkens, Heidrun Heinke

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

Kurzfassung

Eine zentrale Fähigkeit beim Experimentieren ist die Variablenkontrollstrategie (VKS), die die vier Teilfähigkeiten zur Interpretation, Identifikation und Planung kontrollierter Experimente sowie das Verständnis über die fehlende Aussagekraft konfundierter Experimente umfasst. Auf Basis der Plattform FLexKom (vgl. Goertz, 2022) wurden Lernzirkelstationen mit einem geringen Materialaufwand entwickelt, welche Haushaltsgegenstände als Experimentiermaterialien nutzen. So soll ein einfacherer Zugang zu Experimenten zur Förderung der VKS geschaffen werden. Es wurden drei Stationen für Schüler*innen der Mittelstufe konzipiert, die verschiedene Gebiete der Mechanik behandeln. Eine Station untersucht die Flugweite von Papierfliegern anhand des Abwurfwinkels und der Papierstärke. In der zweiten Station wird die Aufprallhöhe eines Tennisballs nach dem ersten Aufprall unter Berücksichtigung des Innendrucks sowie der Fallhöhe des Balls erkundet. Diese Station lässt sich in zwei Varianten (analoge Zeitmessung und vereinfachte Videoanalyse) durchführen. Als dritte Station wird die Falldauer von selbstgebaute Fallschirmen in Abhängigkeit des Materials und der Größe des Fallschirms betrachtet. Für jede Station sind vier verschiedene Arbeitsblätter zur Förderung von je einer der vier VKS-Teilfähigkeiten entwickelt worden. In diesem Beitrag wird ein Einblick in die Lernzirkelstationen gegeben und eine erste Erprobung der Handhabung der Experimente im Zuge eines Ferienprogramms mit N=19 Schüler*innen vorgestellt.

1. Motivation

Ein zentrales Ziel des Physikunterrichts ist das Erwerben der Kompetenz, Experimente selbstständig zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Bei der Planung und Durchführung von Experimenten findet die Variablenkontrollstrategie (VKS) Anwendung, mit der systematisch der Einfluss einzelner Variablen auf die gesuchte Größe bestimmt werden kann. Bei der VKS wird bei verschiedenen Variablen eines Experiments gezielt eine einzelne Variable verändert, während alle anderen Variablen konstant bleiben (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1098). Um verschiedene experimentelle Kompetenzen zu fördern, sind im Rahmen der Plattform FLexKom¹ (Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen) am I. Physikalisches Institut der RWTH Aachen University verschiedene Lernzirkelstationen zu diversen physikalischen Themengebieten entwickelt worden. Auch zur VKS gibt es Lernzirkelstationen, die allerdings Materialien benötigen, über welche nicht zwingend jede Schule im ausreichenden Umfang verfügt. Dies stellt eine deutliche Hürde für die Implementation der Lehr-Lern-Materialien in der Schulpraxis dar.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Förderung der VKS ist es, neue Lernzirkelstationen zu konzipieren, die mit einem geringeren Materialaufwand auskommen. Dazu sollen Materialnutzungskriterien von Lehrkräften beachtet werden. Zudem sollen die neuen Lernzirkelstationen sowohl fachlich als auch methodisch für Schüler*innen der Mittelstufe geeignet sein, um einen flexiblen Einsatz im Rahmen eines Lernzirkels nach dem FLexKom-Konzept zu ermöglichen. Die VKS unterteilt sich in die vier Teilfähigkeiten Identifikation und Planung kontrollierter Experimente, die Interpretation der Ergebnisse solcher Experimente sowie das Erlangen von Verständnis über die fehlende Aussagekraft konfundierter Experimente (vgl. Schwichow, 2015, S. 53). Alle vier Teilfähigkeiten können und sollen mithilfe von verschiedenen Arbeitsblättern differenziert gefördert werden (vgl. Winkens et al., 2024).

In dem vorliegenden Beitrag werden nach einer kurzen theoretischen Einführung drei Lernzirkelstationen zur Förderung der VKS im Themengebiet der

¹ Abrufbar unter: <https://sciphylab.de/flexkom/> (Stand 27.04.2025)

Mechanik vorgestellt. Anschließend folgt eine Beschreibung einer ersten Erprobung in einem regionalen Ferienprogramm.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Variablenkontrollstrategie

Die VKS ist eine Teilkompetenz beim Experimentieren. Bei einem kontrollierten Experiment unterscheiden sich die einzelnen Telexperimente nur in der Ausprägung einer einzelnen Variablen, während alle anderen Variablen konstant gehalten werden (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1098). Dies muss bei der Planung von Experimenten berücksichtigt werden. Auch das Differenzieren zwischen konfundierten und kontrollierten Experimenten ist ein fundamentaler Teil der VKS (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1098). „Das Kontrollieren potenziell konfundierter Variablen [...] gewährleistet eine eindeutige Identifizierung kausaler Zusammenhänge und begründet die höhere Aussagekraft [...] von Experimenten im Vergleich zu reinen Beobachtungen“ (Schwchow, 2015, S. 3), weswegen das Erlernen der VKS relevant für die Entwicklung von wissenschaftlichen Argumentationsfähigkeiten im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ist (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1098).

Die VKS lässt sich in die vier Teilfähigkeiten Identifikation von kontrollierten Experimenten aus einer Auswahl von kontrollierten und konfundierten Experimenten (ID), Interpretation der Ergebnisse kontrollierter Experimente (IN), Planung von kontrollierten Experimenten (PL) und Verständnis über die Unbestimmtheit von konfundierten Experimenten (UN) aufteilen (vgl. Schwchow, 2015, S. 53). Testitems zu den verschiedenen Teilfähigkeiten haben je nach Teilfähigkeit eine unterschiedliche Lösungswahrscheinlichkeit.



Abb. 1: Übersicht über die einzelnen Teilfähigkeiten zur VKS mitsamt ihren Abkürzungen. Die Farben weisen auf das Schwierigkeitsniveau hin. Die grünen Items werden als vergleichsweise einfach angesehen und das rote Item als vergleichsweise schwierig. Eigene Darstellung in Anlehnung an Schwchow, 2015, S. 53 und Winkens und Heinke, 2023, S. 180.

In einer Zusammenstellung verschiedener Studien kommen Winkens und Heinke (2023) zu dem Ergebnis, dass Items zu den Teilfähigkeiten ID und IN die höchste Lösungswahrscheinlichkeit besitzen, danach folgen die Items zu der Teilfähigkeit PL und die geringste Lösungswahrscheinlichkeit liegt bei den Items zur Teilfähigkeit UN (vgl. Winkens & Heinke, 2023, S. 180). Dies ist in Abbildung 1 visualisiert.

2.2. Die Plattform FLexKom

Zur Unterstützung der Förderung experimenteller Kompetenzen gemäß der nationalen Bildungsstandards (vgl. KMK, 2024, S. 8) kann die Plattform FLexKom verwendet werden. Diese bietet „diverse Module zu experimentellen Kompetenzen“ (Goertz, 2022, S. 101) an, welche eigenständig von den Schüler*innen bearbeitet werden können. Die Module lassen sich flexibel zu Lernzirkeln zusammenstellen, wobei eine Bearbeitungszeit pro Lernzirkelstation von 8 oder 15 Minuten vorgesehen ist (vgl. Goertz, 2022, S. 110). Die entsprechende Website bietet den Lehrkräften zur Gestaltung der individuellen Lernzirkel verschiedene Filtermöglichkeiten zu den Kompetenzen und Themen sowie Materialien und Vorlagen zum Download an.

Speziell zur Förderung der VKS gibt es auf der Website aktuell sechs Module. Die Module sind dabei den Inhaltsfeldern Mechanik, Magnetismus und Elektrizitätslehre zugeordnet. Dabei gibt es in jedem Modul neben einer abhängigen Variable auch zwei bis drei unabhängige Variablen. Bei allen sechs Modulen werden typische Sammlungsmaterialien wie Stativstangen, eine schiefe Ebene oder auch Kabel und Drähte verwendet. Bei einzelnen Stationen wird ein 3D-Drucker in der Vorbereitung benötigt.

Eine weitere Unterstützung zur Förderung der VKS bieten teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen (vgl. Winkens et al., 2024, S. 362). Diese sollen künftig ebenfalls über die Plattform FLexKom abgerufen werden können. Die vier Arbeitsblattvorlagen bieten die Chance, ein Experiment zur VKS direkt differenziert nach den Teilfähigkeiten zu gestalten und beim Einsatz das Vorwissen der Schüler*innen zu berücksichtigen. Dazu gibt es in den Arbeitsblättern Platzhalter, die individuell von Lehrkräften an diverse Experimente zur VKS angepasst werden können. Die Vorlagen sind universell für Experimente aus verschiedenen Inhaltsfeldern einsetzbar, sofern als einzige Bedingung drei verschiedene, unabhängige Variablen auftreten (vgl. Winkens et al., 2024, S. 363). Bei dem Einsatz der Vorlagen im Unterricht wird ein aktives Experimentieren der Schüler*innen gefordert, wodurch experimentelle Kompetenzen gezielt gestärkt werden (vgl. Winkens & Heinke, 2024, S. 133f.).

2.3. Materialreduktion und Materialnutzung

Unter der Materialreduktion wird in diesem Beitrag zum einen verstanden, dass im Sinne einer didakti-

schen Reduktion nur die wesentlichen Experimentiermaterialien verwendet werden und es keine zu abstrakten und komplexen Informationen und Gegenstände gibt (vgl. Steller et al., 2019, S. 11f.). Ergänzend wird die Reduktion im umgangssprachlichen Sinne als qualitative Verminderung betrachtet (vgl. Steller et al., 2019, S. 12). Diese Bedeutung findet sich in den entwickelten Experimenten darin wieder, dass die Kosten der Materialien gering sein sollen und der zeitliche und logistische Aufwand für die Vorbereitung und Erstellung der Experimentiermaterialien ebenfalls minimiert werden soll.

Neben der Reduktion der Materialien sollen auch Materialnutzungskriterien von Lehrkräften berücksichtigt werden. Nach Breuer lassen sich diese in formale Kriterien und inhaltliche Kriterien unterscheiden (vgl. Breuer, 2021, S. 155). In Tabelle 1 ist eine Übersicht der Kriterien zu finden, die bei der Entwicklung der Lernzirkelstationen dieses Beitrags berücksichtigt wurden.

Tab. 1: Für die Lernzirkelstationen ausgewählte Materialnutzungskriterien von Lehrkräften nach Breuer, 2021, S. 155-161.

Formale Kriterien	Inhaltliche Kriterien
Passung zur Schulausstattung	Alltagsbezug
Niedriger Preis	Lehrplanpassung
Hohe Verfügbarkeit	Differenzierung
Arbeitserleichterung	Breites Aufgabenangebot
Editierbarkeit	Angemessenes Anforderungsniveau

3. Beschreibung der entwickelten Lernzirkelstationen

Die drei folgenden Lernzirkelstationen sind thematisch der Mechanik zuzuordnen und richten sich inhaltlich am Physikunterricht der Mittelstufe an Gymnasien in NRW aus (vgl. MSW, 2019, S. 32). Konkret lassen sich die Stationen dem Inhaltsfeld Bewegung, Kraft und Energie des Kernlehrplans NRW zuordnen (vgl. MSW, 2019, S. 17). Zu jeder Lernzirkelstation gibt es zu allen vier Teilfähigkeiten der VKS teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblätter, die aus den in Abschnitt 2.2. genannten Arbeitsblattvorlagen entstanden sind.

3.1. Flugweite eines Papierfliegers

Bei dieser Lernzirkelstation sollen die Schüler*innen die Flugweite von Papierfliegern untersuchen. Aus dem Alltag wissen vermutlich die meisten Schüler*innen bereits, dass nicht jeder Papierflieger gleich weit fliegt. In dieser Station sollen verschiedene Einflussfaktoren systematisch untersucht werden. Bei einem gleichen Papierfliegermodell wird einerseits die Blattstärke modifiziert, und andererseits wird der Abwurfwinkel variiert. Um reproduzierbare Ergebnisse

zu erhalten, wird eine Papierfliegerabwurfmaschine verwendet, sodass die Schubkraft, die der Papierflieger beim Abwurf erhält, weitestgehend konstant bleibt. Es bietet sich eine feste Abwurframpe an, um den Winkel (ebenso wie die Starthöhe) konstant zu halten. Die abhängige Variable ist die Flugweite des Papierfliegers, und die beiden unabhängigen Variablen sind die Papierstärke und der Abwurfwinkel. Es muss ein windstiller Ort mit einer ausreichend großen Experimentierfläche gewählt werden, wozu sich beispielsweise ein Schulflur anbietet. Zudem ist ein Maßband erforderlich. Eine Skizze des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 2 zu sehen.

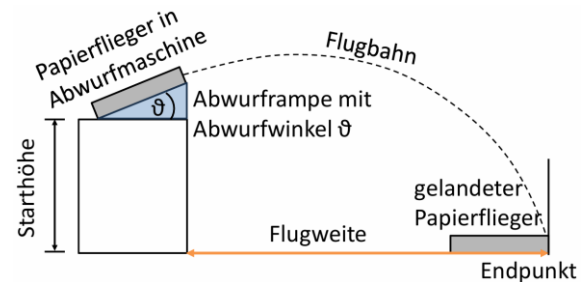


Abb. 2: Versuchsaufbau zur Lernzirkelstation zur Flugweite eines Papierfliegers. Eigene Darstellung.

Für die Durchführung werden zwei Papierflieger der gleichen Bauart benötigt. Die beiden Papierflieger unterscheiden sich in der Papierstärke (im Beispiel 80 g/m² vs. 160 g/m²), sodass bei einem gleichen Abwurfwinkel der Einfluss der Papierstärke herausgefunden werden kann. Wenn nur einer der Papierflieger verwendet wird, kann der Einfluss des Abwurfwinkels untersucht werden.

Eine erste Versuchsreihe von zehn Durchgängen je Konfiguration zeigt unterschiedliche Flugweiten für die verschiedenen experimentellen Parameter. Die Bestwerte der einzelnen Konfigurationen sind mitsamt der Gesamtunsicherheit bestehend aus der Standardunsicherheit und einer Ablesungsunsicherheit in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Bestwerte mitsamt der Gesamtunsicherheit für die verschiedenen Konfigurationen bei der Lernzirkelstation zum Papierflieger (N=10).

	$\theta = 30 \text{ Grad}$	$\theta = 50 \text{ Grad}$
Dünnes Papier	$(260 \pm 7) \text{ cm}$	$(26 \pm 5) \text{ cm}$
Dickes Papier	$(195 \pm 5) \text{ cm}$	$(12 \pm 4) \text{ cm}$

Die gemessenen Werte sind dabei vom Modell des Papierfliegers, der genauen Stärke des Papiers sowie der Schubkraft beim Abflug abhängig. Die Tabelle zeigt aber, dass Kombinationen von experimentellen Parametern gefunden werden können, die zu deutlichen Unterschieden in der abhängigen Variable führen.

3.2. Aufprallhöhe eines Tennisballs

In der Lernzirkelstation zur Untersuchung der Aufprallhöhe eines Tennisballs werden Tennisbälle mit

unterschiedlichem Innendruck verwendet, die bei verschiedenen Fallhöhen losgelassen werden. Die Tennisbälle mit verschiedenem Innendruck lassen sich beispielsweise in einem Sportgeschäft kaufen. Für diese Station werden zusätzlich zu regulären Tennisbällen druckreduzierte Tennisbälle verwendet. Bei der Lernzirkelstation soll die Aufprallhöhe untersucht werden. Das ist die Höhe, die ein Tennisball nach dem ersten Aufprall auf dem Boden im Scheitelpunkt seiner Bahn wieder erreicht. Die Aufprallhöhe ist dabei die abhängige Variable und der Innendruck sowie die Fallhöhe sind die unabhängigen Variablen. Als Zusatzaufgabe kann die Bodenart geändert werden, indem entweder ein anderer Boden verwendet wird oder Papier (mit variabler Anzahl der Lagen Papier) auf den gleichbleibenden Boden gelegt wird. Physikalisch ist als Konzept bei dieser Lernzirkelstation die Energieerhaltung interessant. In Abbildung 3 ist eine Skizze des Versuchs zu sehen.

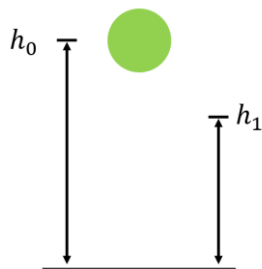


Abb. 3: Darstellung des Versuchs zur Aufprallhöhe eines Tennisballs. h_0 ist die Ausgangshöhe beim Fall, h_1 die maximal erreichte Höhe nach dem ersten Aufprall. Eigene Darstellung.

In der ersten Stationsvariante wird die Zeit zwischen dem ersten und dem zweiten Aufprall mithilfe der akustischen Stoppuhr (vgl. Staacks et al., 2017) in der App phyphox (vgl. Staacks et al., 2018) gemessen. Aus der gemessenen Zeit t kann mithilfe von

$$h_1 = \frac{1}{8} g t^2 \quad \{1\}$$

die Aufprallhöhe h_1 abgeschätzt werden. Um diese Variante umzusetzen, werden ein regulärer und ein druckreduzierter Tennisball, ein Maßband zur Ermittlung der Starthöhe sowie ein Endgerät mit der App phyphox benötigt. Mit den Messwerten bei zehn

Durchführungen lassen sich die vermuteten Abhängigkeiten und Unterschiede bestätigen, wie in Tabelle 3 zu erkennen ist. Die Messwerte wurden auf einem Linoleum-Boden aufgenommen. Abhängig von der Bodenart können die Werte stark von den hier angegebenen Werten abweichen.

In der zweiten Variante wird mithilfe eines videofähigen Endgeräts eine Videoaufnahme des Vorgangs angefertigt. Dazu werden die Tennisbälle direkt neben einem Maßstab fallengelassen. Das Video wird danach in Zeitlupe abgespielt, um die Aufprallhöhe abzulesen. Dabei müssen Parallaxeeffekte beim Ablesen durch geeignete Aufnahmebedingungen möglichst minimiert werden. Die Messwerte dieser Variante sind ebenfalls in Tabelle 3 aufgeführt. Die Messwerte wurden auf dem gleichen Linoleum-Boden wie bei der ersten Station aufgenommen.

Tabelle 3 erlaubt auch einen Vergleich der mit beiden Messverfahren erhobenen Daten und zeigt dabei zum Teil signifikante systematische Abweichungen. Werden in einer Lerngruppe beide Messverfahren eingesetzt, dann kann dies auch genutzt werden, um mit Schüler*innen Vor- und Nachteile beider Verfahren kritisch zu diskutieren. In jedem Fall wird dadurch klar, dass neben den Variablen der Starthöhe und der Merkmale der Bälle auch das Messverfahren selbst im Sinne der VKS möglichst konstant gehalten werden muss.

Trotz der beobachteten Unterschiede zwischen den Messwerten für die gleichen Konfigurationen, aber verschiedenen Messverfahren, lassen sich zwischen den verschiedenen gezeigten Variablenausprägungen Unterschiede erkennen. Auch dieses Experiment ist demnach zur Förderung der VKS im Schulunterricht geeignet.

3.3. Falldauer eines Fallschirms

Bei der dritten Lernzirkelstation werden kleine Fallschirme aus Küchenpapier und dünnen Plastiktüten in zwei verschiedenen Größen durch die Schüler*innen selbst gebastelt. Dazu wird eine rechteckige Fläche ausgeschnitten. An dieser werden an allen vier Ecken Fäden befestigt und diese Fäden zusammengeknötet. An die zusammengeknöteten Fäden werden Büroklammern als kleine Massestücke gehängt. Die Anzahl der Büroklammern muss bei allen Fallschirmen

Tab. 3: Messwerte für die verschiedenen Konfigurationen bei der Lernzirkelstation zur Aufprallhöhe eines Tennisballs – einmal in der Variante der Zeitmessung mithilfe von phyphox und einmal in der Variante der Videoanalyse (je N=10).

	Zeitmessung		Videoanalyse	
	$h_0 = 0,50 \text{ m}$	$h_0 = 1,50 \text{ m}$	$h_0 = 0,50 \text{ m}$	$h_0 = 1,50 \text{ m}$
Regulärer Tennisball	$(0,34 \pm 0,02) \text{ m}$	$(0,93 \pm 0,03) \text{ m}$	$(0,48 \pm 0,02) \text{ m}$	$(0,97 \pm 0,03) \text{ m}$
Druckreduzierter Tennisball	$(0,30 \pm 0,02) \text{ m}$	$(0,78 \pm 0,02) \text{ m}$	$(0,34 \pm 0,02) \text{ m}$	$(0,83 \pm 0,02) \text{ m}$

gleich gewählt werden, damit die Ergebnisse vergleichbar sind. Die Fallschirme werden aus einer festen Höhe fallengelassen und die Dauer des Falls wird gemessen. Physikalisch sind bei dieser Station das Konzept des Kräftegleichgewichts und der Auftrieb relevant. Die unabhängigen Variablen sind die Größe des Fallschirms sowie das Material. Weitere unabhängige Variablen der Starthöhe und Zusatzmasse werden nicht verändert. Die abhängige Variable ist die Falldauer. Bei der Durchführung in der Schule sollte erwähnt werden, dass mehrere Materialeigenschaften einen Einfluss auf die Falldauer haben, sodass aus dem Experiment nur Aussagen allgemein zum Material und nicht zu spezifischen Materialeigenschaften getroffen werden können. Als Erweiterung kann zudem überprüft werden, ob die Fallgeschwindigkeit konstant ist, um ein Kräftegleichgewicht nachzuweisen. Dazu können die Falldauern aus verschiedenen Fallhöhen verglichen werden.

In Tabelle 4 befinden sich Bestwerte aus einer Messung mit zehn Durchgängen mitsamt einer Gesamtunsicherheit (bestehend aus der Standardunsicherheit, der Reaktionszeit des Menschen sowie der systematischen Unsicherheit). Dort sind auch die Abmessungen und Flächen der verwendeten Fallschirme aufgeführt. Die Fallschirme wurden aus einer Höhe von 1,50 m fallengelassen.

Tab. 4: Messwerte für die verschiedenen Konfigurationen bei der Station zur Falldauer eines Fallschirms (N=10).

	Kleiner Fallschirm	Großer Fallschirm
	16 cm x 17,5 cm (A = 280 cm ²)	23 cm x 26 cm (A = 598 cm ²)
Küchenpapier	(1,39 ± 0,16) s	(2,03 ± 0,16) s
Plastiktüte	(1,83 ± 0,16) s	(2,42 ± 0,17) s

Auch bei dieser Lernzirkelstation sind Unterschiede zwischen den einzelnen Konfigurationen der Variablen im Sinne der VKS zu erkennen.

4. Erprobung der Experimente der Lernzirkelstationen

Die zuvor vorgestellten Lernzirkelstationen zur Förderung der VKS mit einem geringen Materialaufwand wurden im Rahmen eines regionalen Ferienangebots mit Schüler*innen erprobt. Dieses Ferienangebot hat zwei Wochen lang in den Sommerferien stattgefunden und Schüler*innen verschiedener Jahrgangsstufen an jedem der Tage verschiedene Angebote der Schülerlabore der RWTH Aachen University unterbreitet. An dem Tag der Erprobung der Experimente aus den Lernzirkelstationen haben 22 Schü-

ler*innen im Alter von 7 bis 11 Jahren an dem Ferienangebot teilgenommen. Davon haben 19 Schüler*innen mindestens eins der Experimente getestet.

4.1. Durchführung der Erprobung

Aufgrund des Alters der Schüler*innen wurden die Experimente größtenteils mit einer mündlichen Anleitung und ohne Berücksichtigung der Arbeitsblätter durchgeführt, da diese für Schüler*innen im Alter von 13 bis 15 Jahre ausgelegt sind. Die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Arbeitsblattvorlagen ist bereits in anderen Kontexten getestet worden, sodass das Testen der Experimente eine höhere Relevanz hatte. Bei dem Experiment zur Aufprallhöhe eines Tennisballs wurde nur die Variante der Zeitmessung mit den Schüler*innen getestet.

Da während der Erprobung der Experimente die Arbeitsblätter für die beiden einfacheren Teilfähigkeiten ID und IN auf den Tischen zur Verfügung bereitlagen, haben einige wenige Schüler*innen - mit der Unterstützung der Aufsichtspersonen - auch diese Arbeitsblätter bearbeitet. Dies war jedoch nicht der Schwerpunkt der Erprobung. Die Arbeitsblätter für die Teilfähigkeiten PL und UN wurden den relativ jungen Schüler*innen nicht zur Verfügung gestellt.

Im Anschluss an die jeweiligen Experimente wurden die Schüler*innen gebeten, auf freiwilliger Basis einen kurzen Feedbackbogen auszufüllen, der sowohl personenbezogene Items (3)² als auch Items zum Spaß beim Experimentieren (2), Feedback zu den konkreten Experimenten (5), eine Frage zu möglichen Stationsnamen (1) sowie ein Item zu sonstigem Feedback beinhaltet hat. Es haben nicht alle der Schüler*innen diesen Feedbackbogen ausgefüllt. In Tabelle 5 ist eine Übersicht der teilnehmenden Schüler*innen an den Experimenten zu sehen. Dabei wird die Anzahl der Teilnehmer*innen pro Experiment, die Anzahl der ausgefüllten Feedbackbögen sowie die Anzahl der bearbeiteten Arbeitsblätter angegeben.

Tab. 5: Übersicht über die Zahl der Teilnehmer*innen an der Erprobung der Experimente, die Anzahl der ausgefüllten Feedbackbögen sowie die Anzahl der bearbeiteten Arbeitsblätter für die drei Experimente.

Experiment	Teilnehmende	Feedbackbögen	Arbeitsblätter
Papierflieger	12	6	0
Tennisball	4	3	3
Fallschirm	6	4	1

Auf den Arbeitstischen für die Schüler*innen lagen die benötigten Materialien für die Stationen sowie

² Die Zahl in der Klammer bezeichnet die Anzahl der Items zu der jeweiligen Kategorie.

Bastelanleitungen für die Stationen zur Flugweite des Papierfliegers und zur Falldauer des Fallschirms. Die Arbeitsblätter und die Feedbackbögen lagen ebenfalls auf den Arbeitstischen. Die Schüler*innen sollten selbstständig die Papierflieger, eine Papierfliegerabwurfmaschine sowie die Fallschirme bauen. Dies kann im Schuleinsatz ähnlich gehandhabt oder auch vorab vorbereitet werden.

4.2. Beobachtungen der Erprobung

Die Schüler*innen hatten viel Spaß daran, die Papierflieger durch den Raum fliegen zu lassen. Die Mehrheit der Schüler*innen führte das Experiment allerdings ohne mechanische Hilfsmittel wie eine Abwurfmaschine durch. Nur vier der Schüler*innen haben eine solche Abwurfmaschine verwendet, was zu reproduzierbareren Bedingungen führte und ein sinnvolles Erlernen der VKS erst ermöglicht. Die Variation der Papierdicke zeigte bei den Schüler*innen erwartungsgemäß Effekte auf die Flugweite (siehe Tabelle 2). Kein*e Schüler*in hat von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, den Abwurfwinkel zu verändern. Die relativ jungen Schüler*innen hatten Probleme bei der korrekten Anwendung der VKS. Auch die Frage, ob man zeitgleich zwei Variablen verändern kann, um ein zuverlässiges Ergebnis zu bekommen, konnten die Schüler*innen nicht auf Anhieb korrekt beantworten. Dies verdeutlicht nochmal den Bedarf, die VKS als wichtige experimentelle Kompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht zu schulen.

Viele der Schüler*innen haben unter den Rahmenbedingungen des Ferienangebots kein Interesse daran gezeigt, eine Abwurfmaschine zu bauen oder zu verwenden. Die Schüler*innen, die diese jedoch verwendet haben, haben diese als positiv wahrgenommen. Das Falten der Papierflieger (sowohl nach der Anleitung als auch von eigenen Modellen) hat bei den älteren Schüler*innen, die näher am Alter der Zielgruppe der entwickelten Experimente waren, problemlos funktioniert. Bei jüngeren Schüler*innen zeigten sich leichte motorische Schwierigkeiten. Sollten die Experimente auch für jüngere Schüler*innen zum Einsatz kommen, muss im Schulunterricht genügend Zeit eingeplant werden, um sowohl die Papierflieger zu falten als auch eine Abwurfmaschine zu bauen. Das Falten kann auch im Vorhinein in der Vorbereitung durch die Lehrkraft geschehen.

Das Experiment zur Aufprallhöhe eines Tennisballs wurde von den Schüler*innen ohne größere Probleme erfolgreich bearbeitet. Dort gab es kaum Rückfragen der Schüler*innen und die bearbeiteten Arbeitsblätter waren korrekt ausgefüllt. Bevor die Schüler*innen selbstständig experimentieren konnten, mussten zunächst die Einstellungen der akustischen Stoppuhr in phyphox auf den Boden und die Lautstärke des Aufpralls angepasst werden. Dies sollte auch vor der Verwendung des Experiments im Schulunterricht durch die Lehrkraft getestet werden.

Beim dritten Experiment hat es den Schüler*innen gefallen, den Sinkvorgang der Fallschirme zu betrachten. Anders als es vorgesehen war, haben sie allerdings nicht die Zeit gemessen, sondern zwei Fallschirme, die sich in der Ausprägung einer Variablen unterscheiden haben, gleichzeitig fallen gelassen. Die intendierten physikalischen Zusammenhänge wurden von den Schüler*innen auf diese Weise qualitativ erkannt. Die Schüler*innen waren jedoch im Allgemeinen nicht ausreichend motiviert, alle vier Fallschirme selbst zu bauen und haben stattdessen meistens einen Fallschirm gebaut und für die anderen Konfigurationen vorgefertigte Fallschirme verwendet. Dieses Problem könnte sich im Unterricht durch die beim Experimentieren übliche Arbeit in Gruppen erübrigen. Das Knoten der Fäden beim Basteln eigener Fallschirme war für einige jüngere Schüler*innen motorisch eine Herausforderung, sodass gegebenenfalls in einigen Lerngruppen für den Schulunterricht entweder über alternative Befestigungsmöglichkeiten nachgedacht werden sollte oder die Lehrkraft die Fallschirme im Vorhinein selbst bauen sollte. Das Basteln eines Fallschirms hat ungefähr 10 min bei den Schüler*innen in Anspruch genommen, sodass dieses selbst nicht im Rahmen der Lernzirkelstation umsetzbar ist.

Insgesamt sind die Beobachtungen zu den einzelnen Stationen positiv und die Experimente haben größtenteils gut funktioniert. Für die Schulumsetzung sollte das Basteln der einzelnen Bestandteile für zwei der Experimente aus der Durchführung der Lernzirkel ausgelagert werden. Hier bieten sich verschiedene Lösungen an, wie die Bereitstellung des fertigen Materials durch die Lehrkraft oder auch die gemeinsame Erstellung der Materialien durch die Schüler*innen vor dem Einsatz des Lernzirkels.

4.3. Ergebnisse der Feedbackbögen

Bei den personenbezogenen Items wurde nach dem Alter, der Schulform und der Jahrgangsstufe nach den Sommerferien gefragt. Dabei waren die Schüler*innen zwischen 7 und 11 Jahre alt (N=19, Durchschnittsalter von 9,75 Jahren). Die Schüler*innen besuchten überwiegend ein Gymnasium, zwei Schüler*innen eine Grundschule und eine Person eine Gesamtschule. Die meisten Schüler*innen sind nach den Sommerferien in die 5. Klasse gekommen.

Die Schüler*innen hatten viel Spaß bei den Experimenten und würden die Experimente auch gerne in der Schule durchführen, wie die Ergebnisse der beiden Items zum Spaß beim Experimentieren in Abbildung 4 belegen.

Bei den experimentspezifischen Fragen wurde nach besonders positiven und nach negativen Erfahrungen beim Umgang mit dem Experiment gefragt. Die Schüler*innen sollten zudem angeben, ob sie immer wussten, was sie machen sollen. Es wurde nach konkreten Stellen gefragt, die unklar waren, und es wurden Verbesserungswünsche erfragt. Die Schüler*innen haben die Abwurfmaschine für den Papierflieger

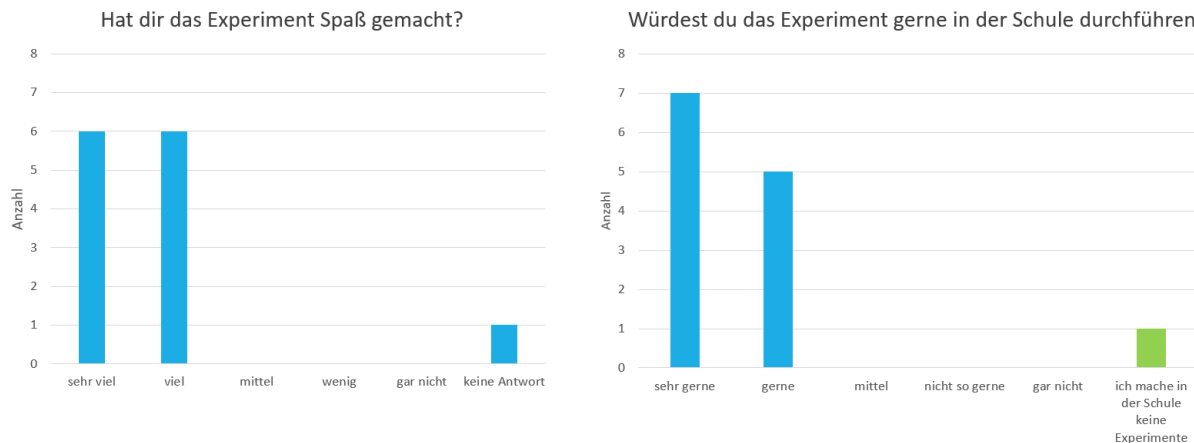


Abb. 4: Ergebnisse der Fragebogenitems zum Spaßfaktor. Die grün gekennzeichnete Antwort war in dem Fragebogen nicht vorgesehen, aber eine Person hat die Antwort gegeben, anstatt eine vorgegebene Antwort anzukreuzen.

als besonders positiv empfunden, ebenso hat ihnen das Basteln viel Spaß gemacht und das Beobachten der Fallschirme beim Fallen wurde ebenfalls bei den positiven Punkten erwähnt. Als negativer Punkt wurde genannt, dass die Papierflieger nicht bei allen Schüler*innen gut geflogen sind. Der hohe Zeitaufwand zum Basteln der Fallschirme wurde ebenfalls negativ angemerkt. Die Schüler*innen haben nur selten nicht gewusst, was sie in dem Experiment machen sollten. Einer Person war ein Bastelschritt unklar und einer anderen Person eine Formulierung auf dem Arbeitsblatt. Die entsprechenden Passagen wurden danach angepasst.

Die Schüler*innen haben zudem noch bewertet, welche Titel für Lernzirkelstationen für sie attraktiv sind. Bei dem Item zum sonstigen Feedback haben zwei Schüler*innen angegeben, dass es sehr viel Spaß gemacht hat.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Schüler*innen viel Spaß an den einzelnen Stationen hatten. Ihr Feedback hat zu einer Überarbeitung der Arbeitsblätter und Anleitungen geführt. Aufbauend auf den Erfahrungen kann man hoffen, dass auch Schüler*innen im Schulunterricht Spaß an den Lernzirkelstationen haben könnten. Über die Lernwirksamkeit kann derzeit keine Aussage getroffen werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden drei Lernzirkelstationen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie (VKS) bei Mittelstufenschüler*innen vorgestellt. Die Experimente der Lernzirkelstationen sollten dabei mit wenigen und kostengünstigen Materialien auskommen. Die drei Lernzirkelstationen sind dem Inhaltsfeld Mechanik zugeordnet. Sie wurden im Rahmen eines regionalen Ferienangebots getestet. Dabei haben die Experimente der Stationen ein positives Feedback von den Schüler*innen bekommen.

Für die Zukunft bieten sich mehrere Ansatzpunkte, um das Konzept von Lernzirkelstationen zur Förde-

rung der VKS mit geringem Materialaufwand weiterzuentwickeln. Zunächst sollten die vorgestellten Stationen im Schulunterricht in den angedachten Jahrgangsstufen eingesetzt und erprobt werden. Durch das Feedback der Schüler*innen und Lehrkräfte können die entwickelten Lernzirkelstationen weiter verbessert werden. Außerdem können weitere Stationen mit einem geringen Materialaufwand konzipiert werden. Dazu bieten sich auch andere Themengebiete der Physik wie die Optik oder Akustik an. Der Einsatz digitaler Simulationen kann ebenfalls das Lernzirkelangebot bereichern. Eine weitere Option besteht darin, nicht komplett auf Sammlungsmaterial zu verzichten, sondern zu überprüfen, ob es typische Sammlungsmaterialien in vielen Schulen gibt, so dass diese Materialien für entsprechende Lernzirkelstationen sicher eingeplant werden können.

Zusammenfassend stellt das Konzept der Lernzirkelstationen mit geringem Materialaufwand eine gute Möglichkeit dar, die experimentellen Kompetenzen und dabei insbesondere die VKS zu fördern. Es wird deutlich, dass auch für ein geringes Budget geeignete Experimente realisierbar sind. Dabei gibt es noch viel Potential für die Umsetzung weiterer Experimente in Lernzirkelstationen.

6. Literatur

- Breuer, J. (2021). Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik. Berlin: Logos Verlag.
- 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.
- 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.

- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- KMK; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg. (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA). Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i.d.F. vom 13.06.2024.
- Schwichow, M. (2015). Förderung der Variablenkontroll-Strategie im Physikunterricht. Diss. Kiel: Christian-Albrecht-Universität.
- Staacks, S.; Heinke, H.; Stampfer, C. (2017). Die akustische Stoppuhr in phyphox. In: MNU Journal 70 (5), S. 322-327.
- Staacks, S.; Hütz, S.; Heinke, H.; Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education 53.
- Streller, S.; Bolte, C.; Dietz, D.; Noto La Diega, R. (2019). Didaktische Reduktion und Elementarisierung. In: Chemiedidaktik an Fallbeispielen: Anregungen für die Unterrichtspraxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 11–16.
- 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 H. von Vorst, S. 362–365.
- Winkens, T.; Heinke, H. (2023). Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. In: PhyDid B- Didaktik der Physik- Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover, S. 177–183.
- 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.