

Einsatz interaktiver Lernzirkelstationen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie

Tobias Winkens*, Simon Goertz*, Heidrun Heinke*

*RWTH Aachen University

tobias.winkens@rwth-aachen.de, goertz@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Verwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) ist eine experimentelle Arbeitsweise, um kausale Zusammenhänge in der Wissenschaft systematisch zu untersuchen. Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I bereitet diese Methodik jedoch in vielerlei Hinsicht Probleme, da sie beim Experimentieren häufig eigene Strategien verwenden und dabei unsystematisch vorgehen. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, kann die Anwendung der Variablenkontrollstrategie mit den Lernenden experimentell geübt werden, indem konfundierte und variablenkontrollierte Settings behandelt werden. Ohne einen zusätzlichen externen Impuls werden allerdings bei den Lernenden häufig nicht die Denkprozesse angestoßen, um ein konfundiertes Experiment zu erkennen. In diesem Beitrag werden verschiedene Ansätze zur Förderung der Variablenkontrollstrategie in Form von Lernzirkelstationen vorgestellt, wobei neben klassischen experimentellen Stationen mit Arbeitsblatt auch interaktive, teilweise videobasierte Lernzirkelstationen mit direktem Feedback entwickelt wurden. Dabei wurden im Rahmen einer kleinen Stichprobe die unterschiedlichen medialen Formate mit Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe erprobt, um die Vor- und Nachteile bewerten zu können.

1. Motivation

Die Anwendung einer Strategie zum systematischen Variieren von Parametern bei der Planung und Durchführung von Experimenten, der sogenannten Variablenkontrollstrategie (VKS), bereitet vielen Schülerinnen und Schülern (SuS) Probleme. Doch als Teil der prozessbezogenen Kompetenzen bildet sie einen Baustein der naturwissenschaftlichen Grundbildung (vgl. Theyßen et al., 2016, S. 27). Zur Förderung der Variablenkontrollstrategie wurden daher drei Lernzirkelstationen entwickelt, die nachfolgend vorgestellt werden. Den Rahmen der Entwicklung bildet dabei die Plattform FLexKom¹, die sich das **F**ördern und **L**ernen **e**xperimenteller **K**ompetenzen als Ziel gesetzt hat (vgl. Goertz et al., 2019). Bei der Durchführung einer ersten Lernzirkelstation der Plattform FLexKom zur VKS haben sich in einer schulischen Erprobung Probleme beim Erkennen variablenkonfundierter Experimente ergeben, die die Entwicklung und den Einsatz verschiedener medialer Varianten der Lernzirkelstationen zusätzlich motivierte (vgl. Klein, 2018, S. 59). Dabei variiert einerseits die Repräsentationsform der Experimente zwischen realen Schülerexperimenten und der Darstellung im Videoformat. Andererseits kön-

nen in sog. videobasierten Stationen auch interaktive Teile in die Anleitungen eingebaut werden. Inwieweit der Einsatz digitaler Lernzirkelstationen die Vermittlung der VKS unterstützen kann, wurde im Rahmen einer ersten qualitativen Untersuchung überprüft.

2. Schülervorstellungen zur Variablenkontrollstrategie

Vor der Materialentwicklung stehen zunächst die Kenntnis und Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Vordergrund, da besonders im Physikunterricht Schülervorstellungen eine essenzielle Lernvoraussetzung bilden (vgl. Kircher, 2015 S. 58; vgl. Schecker, 2018, S. V-VI). Daher sollen einige Konzepte zunächst kurz skizziert werden.

Obwohl die Variablenkontrollstrategie im experimentellen Prozess der Erkenntnisgewinnung eine zentrale Stellung einnimmt, werden bei SuS Schwierigkeiten im Umgang mit dieser festgestellt (vgl. Ropohl und Scheuermann, 2018, S. 153). Eine grundlegende Problematik ist, dass SuS eine fehlerhafte Auffassung von der Zielsetzung von Experimenten haben (vgl. Schwichow, 2015, S. 5). Für sie werden Experimente genutzt, um ein Ergebnis oder einen Effekt zu erhalten, nicht jedoch um den Einfluss einer Variablen zu untersuchen (vgl. Hammann et al., 2006, S. 292; vgl. Schwichow, 2015, S. 5). Laut Ehmer liegt das möglicherweise daran, dass SuS in einem Experiment ihr schon vorhandenes

¹ Auf der Plattform sind die in diesem Artikel vorgestellten Stationen inkl. der verwendeten Arbeitsblätter unter dem Stationsnamen „Widerstand zwecklos“ abrufbar. Die Plattform FLexKom ist zu erreichen unter: <https://www.sciphylab.de/flexkom>

Wissen darstellen wollen und sich keinen Erkenntnisgewinn davon versprechen (vgl. Ehmer, 2008, S. 28). Auch in der experimentellen Phase lassen sich fehlerhafte Vorstellungen entdecken. Ein Kontrollansatz, der zwingend notwendig ist, um einen möglichen Variableneinfluss zu belegen, wird als nicht notwendig erachtet (vgl. Carey et al., 1989, S. 518; vgl. Ehmer, 2008, S. 26). Folglich verändern die SuS auch mehrere Variablen gleichzeitig und wollen damit einen Rückschluss über die Variablenwirkung ziehen (vgl. Hammann et al., 2006, S. 292–293). Allgemein gehen SuS unsystematisch mit den Variablen um. Ihnen ist dabei der Unterschied zwischen der Variablen, die es zu kontrollieren gilt, und der Variablen, die es zu testen gilt, nicht vollständig bewusst (vgl. Hammann et al., 2006, S. 293; vgl. Ehmer, 2008, S. 26). Nach Schwichow ist dies dadurch geprägt, dass SuS „unterschiedliche Variablenausprägungen nicht wahrnehmen“ (Schwichow, 2015, S. 5). Eine Variablenkonfundierung oder ein variablenkonfundiertes Experiment liegt infolgedessen dann vor, wenn mehr als nur eine Variable im Vergleich zum Kontrollansatz verändert wird (vgl. Schulz et al., 2012, S. 23).

3. Digitale Medien im Unterrichtseinsatz

Im Laufe der Digitalisierung werden immer mehr technische Geräte entwickelt und im Alltag genutzt. Auch in der Schule werden technische Hilfsmittel und Geräte vermehrt eingesetzt. In der Literatur werden diese oft als „Neue Medien“ bezeichnet. Nach Girwidz sollte jedoch der Ausdruck „digitale Medien“ präferiert werden (vgl. Girwidz, 2015c, S. 402). Im Unterrichtsalltag können digitale Medien diverse Funktionen übernehmen. Motivierung, Visualisierung, Feedback und individuelle Förderung sind nur einige Aspekte, worauf ein geschickter Medieneinsatz abzielen kann (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 115). Insbesondere kann den SuS mit diesen ermöglicht werden, in ihrem eigenen Lerntempo und interessengeleitet zu arbeiten (vgl. Tulodziecki und Herzig, 2004, S. 23). Damit dies auch in Videoformaten, wie den entwickelten Stationen, möglich ist, müssen die SuS bei der Betrachtung von Videos für sie anspruchsvolle Aufnahmesequenzen auch wiederholt anschauen können (vgl. Girwidz, 2015a, S. 224).

Im Zuge der Nutzung digitaler Medien wird häufig von Multimedialität gesprochen. Als eine Art Oberbegriff umfasst dieser auch die Aspekte Multimodalität und Interaktivität. Multimodal bedeutet, dass verschiedene Sinnesorgane angesprochen und genutzt werden (vgl. Girwidz, 2015b, S. 844; vgl. Wiesner et al., 2011, S. 121). So bestätigen Studien, dass die SuS Informationen besser verarbeiten können, wenn diese gleichzeitig in auditiver Form und visuell (in Form von Videos, Bildern o.ä.) präsentiert werden, als wenn diese nur visuell in Form eines Textes angeboten werden. Dies steigert das

Potential bezüglich des Wissenserwerbs und der Fähigkeiten zum Transfer bzw. Problemlösen (vgl. Tulodziecki und Herzig, 2004, S. 100; vgl. Girwidz, 2015b, S. 844). Zusätzlich können damit mehrere der von Vester genannten Lerntypen (auditiver, haptischer, kognitiver und visueller Lerntyp) angesprochen werden (vgl. Vester, 2012, S. 51). Darüber hinaus zeichnen sich Multimedia-Anwendungen durch interaktive Elemente aus. Diese „lassen den Nutzer individuell und aktiv an Wahrnehmungs-, Erlebnis- und Lernprozessen teilnehmen“ (Girwidz, 2015c, S. 405). Die Interaktivität ist ein wesentlicher Unterschied und auch Vorteil gegenüber den klassischen Medien (vgl. Girwidz, 2015b, S. 844). Unter anderem kann die Motivation so deutlich erhöht werden (vgl. Girwidz, 2015c, S. 405). Von „echter“ Interaktivität darf nach Issing und Strzebowski jedoch nur gesprochen werden, wenn das Lernangebot bestimmte Anforderungen erfüllt. Dazu zählt auch, dass mediale Anwendungen dynamisch und adaptiv auf die Aktivität der SuS eingehen und die SuS selber an der Steuerung des Lernprozesses teilhaben können (vgl. Issing und Strzebowski, 1997, zit. in Girwidz, 2015b, S. 846). Neben der Multimodalität soll gerade der Aspekt der Interaktivität mit den entwickelten videobasierten Stationen aufgegriffen werden. Die didaktische Forschung belegt jedoch bisher noch nicht eindeutig, dass der Einsatz digitaler Medien automatisch eine effektivere Wirkung hinsichtlich des Lernerfolgs besitzt. Untersuchungen zeigen teilweise einen Vorsprung des digitalen gegenüber dem klassischen Unterricht. Gerade bei interaktiven Videos sind die Ergebnisse in dieser Hinsicht jedoch nicht eindeutig (vgl. Tulodziecki und Herzig, 2004, S. 80–81). Daher sei vor dem Unterrichtseinsatz zu überprüfen, ob digitale Medien vorteilhaft sind oder die Lernziele auch mit klassischen Unterrichtsmaterialien zu erreichen sind (vgl. Kramer et al., 2019, S. 132).

4. Konzeption der Lernzirkelstationen

Wie eingangs erwähnt, bildet die Plattform FLexKom die konzeptionelle Grundlage der entwickelten Lernzirkelstationen. Mit einer Sammlung an Modulen zu verschiedenen experimentellen Kompetenzen lassen sich auf der Plattform individuell Lernzirkel zusammenstellen. Die eingesetzten Module entsprechen dann Lernzirkelstationen. Entsprechend des FLexKom-Modells wurde der Schwerpunkt der hier vorgestellten Stationen auf die Kompetenz Variablenkontrolle gelegt (vgl. Goertz et al., 2019).

Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts werden drei entwickelte Lernzirkelstationen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie vorgestellt. Entscheidend bei der Wahl der Experimente ist es, dass mehrere unabhängige Variablen verändert werden können und einen merklichen Effekt auf die abhängige Variable aufzeigen. Hier bilden Experimente zur Mes-

sung des Widerstandes unterschiedlicher Konstantan-Drähte die inhaltliche Basis dieser Stationen. Dabei kann der Einfluss der unabhängigen Variablen Drahtlänge, Drahtdurchmesser und Drahtmaterial auf die abhängige Variable des Widerstands untersucht werden. In allen Stationen werden die drei selben Telexperimente eingesetzt, jedoch mit unterschiedlicher medialer Implementation.

Dabei sieht die allgemeine Entwicklungsidee der drei Stationen so aus, dass die SuS nach Bearbeitung der Experimente widersprüchliche Schlussfolgerungen erzeugen, wenn sie beim Vergleich von kontrollierten Telexperimenten (Experiment 1 und 3) mit einem konfundierten Experiment (Experiment 2) die Variablenkonfundierung nicht erkennen.

Experiment Nr.	konstante Variable	veränderte Variable(n)
1	Durchmesser	Länge
2	-	Durchmesser, Länge
3	Länge	Durchmesser

Tab. 1: Übersicht über die Experimente der drei Stationen. Die Variable Drahtmaterial ist im Gegensatz zu den anderen Variablen konstant (Konstantan).

Konkret vergleichen die SuS, wie in der Übersicht in Tab. 1 dargestellt, in Experiment 1 die Widerstände zweier unterschiedlich langer, jedoch gleich dicker Drähte. Nach dem Experiment sollen die SuS zu einer Aussage über die Abhängigkeit des Widerstandes von der Drahtlänge Stellung beziehen; und zwar, dass dieser bei einer kürzeren Drahtlänge kleiner wird. Dazu können sie drei verschiedene Bewertungen der Aussage ankreuzen - *Ja, stimmt!*, *Nein, stimmt nicht!* und *Keine Aussage möglich*.

In Experiment 2 wird im nächsten Schritt der Widerstand des kurzen Drahts mit dem eines längeren und dickeren Draht verglichen. Die SuS sollen hier Stellung zur Aussage beziehen, dass der Widerstand bei einem größeren Drahtdurchmesser größer wird. Da hier zwei unabhängige Variablen verändert werden, liegt somit ein konfundiertes Experiment vor, mit dem sich keine entsprechende Aussage treffen lässt. Dabei sind die Drähte so gewählt, dass der Widerstand bei dem dickeren und längeren Draht größer ist als bei dem kürzeren, dünneren Draht. Die SuS werden dadurch gewissermaßen gelockt, als Bewertung der Aussage *Ja, stimmt!* anzukreuzen.

Im Experiment 3 hingegen sollen zwei gleich lange Drähte, die sich nur in der Variable Drahtdurchmesser unterscheiden, untersucht werden. Die Konfrontation mit derselben Aussage wie in Experiment 2 führt häufig zu widersprüchlichen Bewertungen der Aussage, da viele SuS bei Experiment 3 die Aussage ablehnen, was im Widerspruch zu ihrer Zustimmung zu der Aussage in Experiment 2 steht.

Im weiteren Verlauf der Station werden die SuS aufgefordert, ihre Bewertungen der Aussagen zu den Experimenten 2 und 3 auf einen Widerspruch zu überprüfen. Dies sollen die SuS im Anschluss diskutieren und feststellen, dass mit Experiment 2 ein konfundiertes Experiment vorliegt, welches keine eindeutigen Schlussfolgerungen zur Abhängigkeit des Widerstands von den Drahtparametern zulässt.

Diese Konzeption ist für alle drei Stationen einheitlich. Die Bearbeitung erfolgt in der Regel in Schülerteams mit je 2-3 SuS der Jahrgangsstufen 7 bis 9. Die methodische Ausgestaltung der drei Stationen wird in den folgenden Teilabschnitten erläutert und ist in Tab. 2 gegenübergestellt.

	Experimente	Anleitung
Hands-On-Station	realer Aufbau	Arbeitsblatt, nicht interaktiv
Video-Station	aufgenommene Videos	interaktiv & multimodal
Mix-Station	realer Aufbau	interaktiv & multimodal

Tab. 2: Übersicht über das grundlegende Design der Lernzirkelstationen.

4.1. Hands-On-Station

Das Design der Hands-On-Station entspricht dem Aufbau einer klassischen Lernzirkelstation. Die SuS bekommen ein Arbeitsblatt, welches sie bei der Bearbeitung der Station anleitet. Zu Beginn werden die drei auftretenden Variablen (Länge, Durchmesser und Material des Drahts) in einem kurzem Einführungstext beschrieben. Die in Tab. 1 dargestellten Telexperimente werden als reale Experimente von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt, d.h. Messwerte werden aufgenommen und auf dem Arbeitsblatt eingetragen.

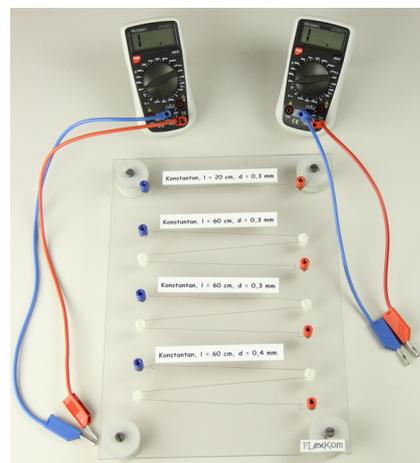


Abb. 1: Entwickeltes Steckbrett für die Schülerexperimente

Um die Messwertaufnahme zu vereinfachen und den Fokus gezielter auf die Kompetenz der Variablenkontrollstrategie legen zu können, ist für diese Stati-

on ein Steckbrett entwickelt worden, welches in Abb. 1 zu sehen ist. Mithilfe zweier Multimeter können so immer die Widerstände zweier Drähte gleichzeitig gemessen und somit direkt verglichen werden. Auf dem Steckbrett ist oberhalb der vier Drähte jeweils ein Etikett mit den genauen Eigenschaften (Länge, Durchmesser und Material) des Drahts befestigt. Dadurch haben die SuS direkt einen Überblick, welche Drähte zur Verfügung stehen. Zudem haben die SuS durch die Anordnung die Längenverhältnisse der Drähte vor Augen.

4.2. Video-Station

Die Video-Station ist dadurch gekennzeichnet, dass die SuS die gesamte Station an einem Tablet bearbeiten. Insbesondere werden die Experimente nicht von ihnen durchgeführt, sondern Videos der Experimente auf dem Tablet angeschaut. Ein Arbeitsblatt zur Station weist die Schülerinnen und Schüler lediglich darauf hin, dass sie das Tablet benutzen müssen. Zudem soll am Ende der Station auf dem Arbeitsblatt eine Begründung bzw. Erklärung notiert werden. Die benötigten Ton- und Videosequenzen wurden aufgenommen und anschließend mit entsprechender kostenloser Software aufbereitet. Die Videos der Experimente wurden unter Nutzung des Aufbaus aus Abb. 1 aufgenommen. Sowohl die Video-Station als auch die in Abschnitt 4.3 beschriebene Mix-Station sind schlussendlich mit dem Programm „QuizMaker“ der Firma iSpring erstellt worden. Mit diesem wurden die interaktiven Elemente in die Station eingebaut. Zu den einzelnen Videos lassen sich Fragen und Antwortmöglichkeiten hinzufügen und Verzweigungen zu den nächsten Videos in Abhängigkeit von der Antwort des Nutzers herstellen.

Äquivalent zur Hands-On-Station werden in einem

Einführungsvideo die Variablen Länge, Durchmesser und Material des Drahts aufgegriffen. So werden visuelle und auditive Reize simultan angesprochen. Folglich sind auch multimodale Aspekte in dieser Station zu finden. Abb. 2 zeigt das Layout der Folien, das immer gleich gestaltet ist. Im Videobereich können die SuS sich ein Video anschauen; bei Bedarf auch mehrfach. Im Fragebereich bekommen die SuS eine Frage gestellt, die es zu beantworten gilt. Die Antwortmöglichkeiten dafür sind unterhalb der Frage angegeben. Sie werden erst nach Ende eines Videodurchlaufs aktiviert, damit sichergestellt wird, dass die SuS nicht einfach raten und eine beliebige Möglichkeit anklicken. Im Anschluss an die Experimente sollen die SuS Stellung zu denselben Aussagen beziehen wie auf dem klassischen Arbeitsblatt der Hands-On-Station (s. Abschnitt 4.1). Insgesamt werden die gleichen drei Experimente behandelt wie bei der Hands-On-Station. Jedoch schauen sich die SuS die Experimente nur als Video an und führen sie nicht selber durch. In Abb. 2 ist dies exemplarisch für das Experiment 1 dargestellt. In Abhängigkeit von ihrem Antwortverhalten werden die SuS entsprechend auf weitere Videos weitergeleitet. Alle Möglichkeiten führen dazu, dass die SuS aufgefordert werden, eine Erklärung auf dem Arbeitsblatt zu notieren. Dazu steht auf diesem ein Antwortfeld zur Verfügung. Haben die SuS im Laufe der Station widersprüchliche Bewertungen der Aussagen angeklickt, werden sie durch ein Video explizit darauf aufmerksam gemacht, indem die Experimente zwei und drei miteinander verglichen werden. Wenn die SuS angeben, ihre Erklärung notiert zu haben, folgt ein Schlussvideo. In diesem werden die Erkenntnisse zur VKS, insbesondere worauf im Umgang mit Variablen geachtet werden muss, noch einmal zusammengefasst. Dadurch kann innerhalb der Station

The screenshot displays a digital interface for a video station. At the top, a light blue banner reads "Startet das Video und schaut aufmerksam zu." Below this is a video player showing a science experiment setup with two smartphones on a breadboard, connected to wires. A speech bubble from a cartoon character says, "Der Widerstand wird bei einer kürzeren Drahtlänge ! kleiner!". The video player has a progress bar at 00:13. Below the video is a question in the "Fragebereich": "Bewertet die Aussage von Ferdinand „Der Widerstand wird bei einer kürzeren Drahtlänge ! kleiner!“. Underneath are three radio button options in the "Antwortmöglichkeiten" section: "Ja, Ferdinands Aussage stimmt.", "Nein, Ferdinands Aussage stimmt nicht.", and "Man kann keine Aussage darüber aus dem Experiment ziehen." At the bottom right, there is a blue button labeled "EINGEBEN".

Abb. 2: Screenshot einer Folie der Video-Station, hier zum Experiment 1. Genutzt wird das Programm „QuizMaker“ der Firma iSpring.

für eine Art Sicherung gesorgt werden. Die SuS können dies nutzen, um ihre aufgeschriebene Erklärung zu überprüfen oder zu ergänzen.

4.3. Mix-Station

Die dritte entwickelte Station ist die Mix-Station. Sie stellt eine Mischform aus den beiden bereits beschriebenen VKS-Stationen dar. Hier wird die Interaktivität der Video-Station mit Anleitung per Tablet beibehalten, während die Videos der Experimente durch die Durchführung der realen Experimente aus der Hands-On-Station unter Nutzung des Steckbretts in Abb. 1 ersetzt wird. Folglich stimmt die Mix-Station im Ablauf und in den meisten Aspekten mit den Erläuterungen aus Abschnitt 4.2 zur Video-Station überein. In der interaktiven Anleitung werden die SuS aufgefordert, ihre Messwerte aus dem Realexperiment auf dem zugehörigen Arbeitsblatt zu notieren. Die Konfrontation mit den Aussagen über das Experiment findet auch hier – mit zur Video-Station identischer Anleitung - auf dem Tablet statt. Im Falle widersprüchlicher Bewertungen der Aussagen aus den Experimenten 2 und 3 werden die SuS wie bei der Video-Station auf den Widerspruch aufmerksam gemacht. Anschließend sollen sie ihre Erklärung in ein Antwortfeld auf dem Arbeitsblatt eintragen. Zum Schluss wird auch an dieser Station das Schlussvideo zur Überprüfung abgespielt. Im Gegensatz zur Video-Station, bei der visuelle und auditive Reize angesprochen werden, sind in dieser Station durch das Schülerexperiment auch zusätzlich haptische Sinne der SuS gefordert. Somit finden sich die Kennzeichen der Multimodalität in dieser Station stärker wieder.

5. Erste Untersuchung des Einsatzes der Lernzirkelstationen

5.1. Untersuchungsvorhaben

Die drei Stationen zur Variablenkontrollstrategie kamen in einer ersten Untersuchung mit insgesamt 22 SuS der Jahrgangsstufen acht und neun von zwei Aachener Gymnasien zum Einsatz. Alle Schüler waren mit dem fachlichen Inhalt der Stationen der Abhängigkeit des elektrischen Widerstands eines Drahts von verschiedenen Parametern bereits aus dem Physikunterricht vertraut. In der Untersuchung wurden Anhaltspunkte gesucht, ob SuS unter Einbeziehung digitaler Medien besser an das Verständnis der Variablenkontrollstrategie herangeführt werden als mit der klassischen Variante der Station mit Realexperiment und Arbeitsblatt. Die Aussagekraft der gesammelten Indizien ist durch den geringen Stichprobenumfang begrenzt.

Zur Umsetzung des Vorhabens wurde ein Untersuchungsschema gemäß Abb. 3 entwickelt. Die Untersuchung umfasst zunächst einen Test zur Variablenkontrolle. Dieser enthielt acht verschiedene Testitems aus Schwichows Variablenkontrolltest (vgl. Schwichow, 2015, S. 153–176). Mit dem Test wurde überprüft, ob einzelne SuS bereits über ein Vorwissen

bezüglich der VKS verfügen und ob diesbezüglich Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen auftreten.

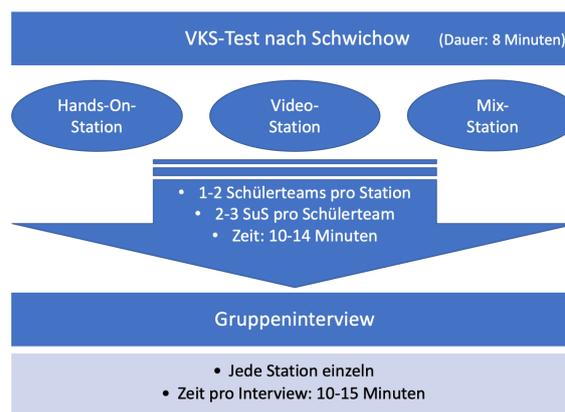


Abb. 3: Übersicht über den Ablauf der Untersuchung

Im Anschluss an den Test bearbeiteten die SuS die unterschiedlichen VKS-Stationen. Danach wurden jeweils mit den Teilnehmern der einzelnen Stationen kurze Gruppeninterviews (N=7) geführt, wobei eine Gruppe aus 1-2 Schülerteams besteht. In Teilen wurden die Interviews als Stimulated Recall Interview gestaltet.

Sowohl die Bearbeitung der Stationen als auch die Interviews wurden mit Smartpens aufgezeichnet. Die Auswertung der aufgenommenen Smartpen-Daten erfolgte mittels Teiltranskriptionen. Der Fokus wurde auf die Auswertung der Interviews gelegt, jedoch wurden auch die Daten untersucht, die während der Stationenarbeit der SuS aufgenommen wurden. Alle Aussagen der SuS, die im Zusammenhang mit dem Ziel der Untersuchung relevant erschienen, wurden transkribiert.

Station	Klasse 8	Klasse 9
Hands-On	Gruppe 1	Gruppe 2
Video	Gruppe 3 & 4	Gruppe 5
Mix	Gruppe 6	Gruppe 7

Tab. 3: Übersicht über die Zuordnung der Gruppen zu den verschiedenen Stationen. Jede Gruppe besteht aus 1-2 Schülerteams.

Im folgenden Abschnitt werden die unterschiedlichen Stationen mithilfe der Untersuchungsdaten verglichen. In Tab. 3 ist dazu dargestellt, wie die Gruppen der Stationen in der Diskussion bezeichnet sind. Die Auswertung des VKS-Tests ergab, dass sich bis auf Gruppe 5 alle Gruppen auf einem ähnlichen Niveau mit einer mittleren Lösungswahrscheinlichkeit befanden. Bei Gruppe 5 war die mittlere Lösungswahrscheinlichkeit hoch, weshalb die Gruppe gemäß VKS-Test ein größeres Vorwissen besitzt.

5.2. Vergleich der Stationen

Die folgenden Ausführungen zum Vergleich der unterschiedlichen Stationen basieren überwiegend

auf der Datenbasis der geführten Interviews. Hier soll hinsichtlich der präsentierten Ergebnisse nochmal auf die limitierte Aussagekraft der Untersuchung durch die kleine Stichprobe hingewiesen werden. Um einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchung zu geben, sind in Tab. 4 einige Aspekte zu den verschiedenen Stationen dargestellt. Eine detaillierte Diskussion und Begründung dieser Punkte erfolgen im Folgenden.

Stationen	Hands-On	Video	Mix
Lernziele aus Sicht der SuS	inhaltliche Aspekte	Gruppe 5 paraphrasiert VKS	inhaltliche Aspekte
Bewertung der Aussage zum konfundierten Experiment während der Station durch die einzelnen Schülerteams (B)	<i>Ja, stimmt!</i> (2x) <i>Nein, stimmt nicht!</i> (1x)	<i>Ja, stimmt!</i> (2x) <i>Keine Aussage möglich</i> (1x) <i>nicht nachvollziehbar</i> (1x)	<i>Ja, stimmt!</i> (1x) <i>Keine Aussage möglich</i> → <i>Ja, stimmt!</i> (1x) <i>nicht nachvollziehbar</i> (1x)
Unmittelbare Schülerreaktion auf konfundiertes Experiment (B)	-----	zwei Einflüsse erkannt	Verwunderung über gleichzeitige Veränderung
Experiment: Einfluss des Drahtmaterials	SuS schlagen variablenkontrolliertes Experiment vor		
Bezug auf VKS-Test	Vorher falsch gelöste Aufgabe ohne Erklärung verbessert		Gruppe 7 verbessert Aufgabe mit Erklärung
Beachtung im Umgang mit Variablen	-----	Implizite Erklärung	Richtige Erklärung
Feedback zu Stationen	Eigenes Experimentieren macht den SuS Spaß	SuS finden „nur“ Videos langweilig	SuS finden Feedback durch Videos hilfreich
Erkennen des Widerspruchs (B)	Wird kaum erkannt	Nicht eindeutig - SuS werden aber durch Video darauf hingewiesen	

Tab. 4: In dieser Tabelle sind einige Aspekte der einzelnen Stationen gegenübergestellt, die aus den Arbeitsblättern und Audio-Daten während der Bearbeitung (B) durch die Schülerteams (Anzahl in Klammern) und aus den transkribierten Interviews abgeleitet wurden.

Im Zuge der Interviews sind die SuS gefragt worden, was sie als Lernziel der Stationen empfunden haben. In Bezug darauf paraphrasierte nur die Gruppe 5 der Video-Station die Methode der Variablenkontrollstrategie in grober Form. Die restlichen Gruppen benannten die Abhängigkeitsverhältnisse des Widerstandes von den unabhängigen Variablen Drahtlänge und Drahtdurchmesser als Lernziel dieser Station. Die Fokussierung der SuS auf die inhaltliche Kom-

ponente ist in den Interviews, aber auch in Lösungen der SuS auf den Arbeitsblättern immer wieder aufgefallen. Nur in wenigen Schülerlösungen (Gruppe 5) wurde der Widerspruch zwischen den Bewertungen der Aussagen in den Experimenten 2 und 3 ansatzweise mit der Konfundierung des Experiments 2, also der gleichzeitigen Veränderung mehrerer Faktoren, begründet.

Eine Hauptintention der Untersuchung war herauszufinden, wie die SuS in den jeweiligen Stationen mit konfundierten Experimenten umgehen. Wichtige Beobachtungen zur Bearbeitung des Experiments 2 zeigt die Tab. 4. Auffällig ist dabei, dass fünf der sieben Gruppen während der Bearbeitung der Station der gegebenen [falschen] Aussage zum konfundierten Experiment zustimmten. Nur eine einzige Gruppe hat sich für die korrekte Option entschieden, dass keine Aussage aus dem Experiment 2 zu ziehen ist. Bei dieser Gruppe handelt es sich erneut um die Gruppe 5 der Video-Station, welche laut VKS-Test ein etwas größeres Vorwissen bzgl. der VKS hatte. Die Entscheidung dieser Gruppe, „Man kann das gar nicht aus dem Experiment ziehen, weil hier spielen ja zwei Faktoren eine entscheidende Rolle“ wirkt durch die allgemeine Formulierung insgesamt überzeugend. Auch bei Gruppe 6, welche die Mix-Station bearbeitet hat, lässt sich der Umgang mit den konfundierten Daten sehr gut anhand der Smartpen-Daten nachvollziehen. Die SuS dieser Gruppe legten sich zunächst bei der Bearbeitung der Station in der Diskussion der im Video genannten Schlussfolgerung „Der Widerstand wird bei einem größeren Drahtdurchmesser d größer“ auf *Keine Aussage möglich* fest, was durch das folgende Gespräch illustriert wird:

- S: „Ja ... aber ah“
- S: „Der Durchmesser bei dem Draht ist ja unterschiedlich“
- S: „Aber auch die Länge“ [...]
- S: „Die Frage ist ja, ob der Widerstand bei einem größeren Drahtdurchmesser d größer wird. Dann müssten wir ja eigentlich gleiche Länge haben und unterschiedliche d . Und das hatten wir ja nicht.“

Die Entscheidungsfindung wirkt klar und strukturiert. Umso verwunderlicher ist, dass die Gruppe anschließend ihre Bewertung der Aussage zu der von den meisten Gruppen favorisierten falschen Antwort *Ja, stimmt!* hin revidiert. Die Gruppe 2 der Hands-On-Station entschied sich als einzige Gruppe dazu, dass die Aussage nicht stimmt. Im Interview revidierte sie ihre Entscheidung mit der Begründung, dass sie „nicht wussten, „ob die Aussage bei der Dicke allgemein oder nur auf den Versuch gemeint war“ und entschieden sich dann ebenfalls für *Keine Aussage möglich*.

Eine Gruppe, die nach der Mix-Station noch die Hands-On-Station bearbeitet und deshalb einen direkten Vergleich ziehen konnte, merkte an, dass es

bei der Hands-On-Station schwieriger sei, den Widerspruch zu erkennen.

Die Auswertung der Smartpen-Daten hat auch gezeigt, dass einige Gruppen erkennen, dass mehrere Variablen im konfundierten Experiment verschieden sind, jedoch wird dies scheinbar nicht in die Entscheidung miteinbezogen. Eine Gruppe, die die Video-Station bearbeitet hat, beschrieb dies sogar im Interview: „Da gab es ja zwei Einflüsse. Einmal den Längeneinfluss und einmal den Durchmesserinfluss“. Jedoch scheinen die SuS Schwierigkeiten zu haben, daraus Rückschlüsse zu ziehen. Dazu passt auch die Aussage von SuS der Mix-Gruppe 7: „Das war das Experiment, warum ich mich gefragt habe, warum beides gleichzeitig verändert wird“. Auf die Frage, ob solch ein Experiment sinnvoll sei, wurde entgegnet, dass so nicht festgestellt werden kann, welcher von den beiden Faktoren das Ergebnis beeinflusst. Bei dieser Gruppe wurde im weiteren Interviewverlauf der Eindruck gewonnen, dass Ansätze eines Lernerfolgs zu beobachten waren. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass die beiden SuS im Gesprächsverlauf vorschlugen, dass mit dieser Herangehensweise auch der Einfluss des Drahtmaterials in einem weiteren Experiment überprüfbar sei. Denn dies ließe sich realisieren, indem die gleichen Bedingungen genommen werden: ein Draht mit gleicher Dicke und gleicher Länge aus Kupfer. Während diese Gruppe im Verlaufe des Interviews eigenständig die Idee äußerte, das Drahtmaterial zu untersuchen, wurde allen anderen Gruppen gegen Ende des Interviews die Frage vorgelegt, wie der Einfluss des Drahtmaterials überprüfbar wäre. Dabei haben alle Gruppen ein variablenkontrolliertes Experiment vorgeschlagen.

Eine Konfrontation mit den vor der Stationenarbeit ausgefüllten VKS-Tests wurde als zusätzlicher Stimulus in den Interviews genutzt. Mit dem Einsatz dieses Stimulus sollte herausgefunden werden, inwiefern die SuS nach Bearbeiten der Stationen die Aufgaben anders beantworten als zu Beginn. Grundsätzlich wurde beobachtet, dass fast alle SuS Probleme hatten, die Erkenntnisse aus der Station auf die inhaltlich anderen Aufgaben ähnlichen Typs aus dem VKS-Test zu transferieren. Zwar revidierten einige SuS ihre Antwort im Vergleich zum Vortest. Jedoch konnte lediglich die Gruppe 7 der Mix-Station im Interview die Testaufgaben zusätzlich richtig erklären. Im Laufe der Interviews wurde der Eindruck gewonnen, dass die Problematik konfundierter Experimente zumindest einigen SuS bewusst wurde. Dies wird daran festgemacht, wie SuS aus drei Gruppen (2x Mix-Station sowie Hands-On-Station Kl. 9) auf die Interview-Frage, worauf geachtet werden muss, wenn Abhängigkeiten von Variablen untersucht werden, geantwortet haben: Aussagen wie „Dass man darauf achten soll, ob [...] dieselben Voraussetzungen gegeben sind“ oder „Hauptsache ist, dass, wenn man Vergleiche macht zwischen zwei Experimenten, dass alle Faktoren

gleich sind bis auf eins“ zeigen, dass einigen SuS auffällt, dass durch die gleichzeitige Variation mehrerer Variablen keine Aussage über Abhängigkeiten getroffen werden kann.

Das direkte Feedback der SuS zu den drei entwickelten Stationen gibt einen weiteren Einblick in die Bewertung der drei Stationen. Gruppen der Video-Station haben bemängelt, dass die Schüleraktivierung ausbleibt, da dort nicht selber experimentiert wurde. Gelobt wurde hingegen die grundsätzliche Art der Anleitungen in Videoform. Die SuS fanden z.B., es „war cool, dass es so interaktiv war“ oder sahen in den Videos ein „bisschen mehr Spaß für junge Leute“. Der Nachteil der Video-Station wurde auch von den Gruppen der Hands-On-Station erwähnt. Eine „Erklärung am Anfang vielleicht per Video“ könnte aus Schülersicht die Station aufwerten, jedoch halten sie die klassische Variante wegen des Schülerexperiments für sie persönlich für die bessere. Der Vorteil der beiden Stationen mit videobasierter Anleitung ist gegenüber der klassischen Station zudem, dass sie die SuS bei Bedarf auf einen Widerspruch in ihren Aussagen zu den drei Experimenten aufmerksam machen. Ein solcher Hinweis scheint bei der Hands-On-Station mit klassischen Arbeitsblättern nur schwer zu realisieren.

Dies führt zu einem Aspekt, der von den beiden Mix-Gruppen explizit positiv hervorgehoben wurde: Die Feedback-Funktion der Stationen mit videobasierter und interaktiver Anleitung. So wisse man bei einer normalen Station nie genau, was da jetzt richtig sei. Hier hingegen „hat man direkt [...] Feedback bekommen“. Bei Gruppen der Video-Station ist dies nicht explizit hervorgehoben worden. Eine Vermutung dafür ist, dass das Feedback für die SuS der Video-Station nicht als besonders empfunden wird. Sie haben die gesamte Station über am Tablet gearbeitet und sich dadurch die ganze Zeit in der medial gleichen Lernumgebung befunden. Für die SuS der anderen Gruppen gab es zwischen den einzelnen Messungen Wechsel zwischen Arbeitsblatt und Experiment bzw. dem Tablet. Zudem konnten sie mithilfe der Videoanleitung die Schlussfolgerungen ihrer eigenen Messungen überprüfen. In der Video-Station sahen die SuS die Messungen lediglich auf dem Tablet. Auf die SuS der Video-Station wirkten so nur visuelle und auditive Reize ein. Bei der Mix-Station wurden zusätzlich noch haptische Reize eingesetzt. Die SuS beurteilten auch, dass allgemein die Mix-Station „durch digitale Medien viel interessanter“ gestaltet sei als die meisten der anderen Stationen.

Insgesamt scheinen sich in dieser Erprobung [leichte] Vorteile der interaktiven Stationen und insbesondere der Mix-Station zu ergeben. Dies erscheint schlüssig, da die Mix-Station die positiven Eigenschaften der Hands-On- und der Video-Station miteinander verbindet. Denn die SuS führen die Experimente selber durch und erhalten durch die interaktive Anleitung eine spezifische Rückmeldung zu

ihren Entscheidungen. Nachteil der Mix-Station ist, dass eine längere Bearbeitungsdauer als bei den anderen Stationen zu erwarten ist, wobei eine genauere Quantifizierung noch erfolgen muss. Weitere Untersuchungen sind nötig, um erste Indizien für Vorteile der interaktiven Stationen bezüglich einer sichereren Beurteilung konfundierter Experimente durch die Probanden zu belegen oder zu widerlegen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Förderung der Variablenkontrollstrategie sind insgesamt drei Lernzirkelstationen in verschiedenen medialen Varianten entwickelt worden, bei denen zwei variablenkontrollierte Experimente und ein variablenkonfundiertes Experiment verknüpft wurden. Bei zwei Stationen konnten zudem interaktive Elemente in die Anleitung implementiert werden. Erste Untersuchungen und das direkte Feedback der SuS zeigen Indizien, die dafürsprechen, dass der Einsatz videobasierter und interaktiver Lernformate die Förderung der Variablenkontrollstrategie unterstützen kann. Jedoch ist die Aussagekraft dieser Ergebnisse sowohl durch das Studiendesign als auch durch die geringe Probandenzahl bei der Untersuchung limitiert.

Um eine fundierte Einschätzung über die möglicherweise größeren (Lern-)Effekte beim Einsatz der Stationen mit interaktiven Anleitungen abgeben zu können, sollte an die hier vorgestellte Untersuchung angeknüpft werden. Dabei kann in einer weiterführenden Untersuchung zum einen der VKS-Test in einem Pre-Post-Design eingesetzt werden. Zum anderen kann die Nutzung eines Interratingverfahrens die Auswertung der Interviews objektivieren. Die Kombination dieser Aspekte mit einem größeren Stichprobenumfang wird die Aussagekraft der Untersuchung erhöhen.

7. Literaturverzeichnis

- Carey, S., R. Evans, M. Honda, E. Jay und C. Unger (1989). „An experiment is when you try it and see if it works’: A study of grade 7 students understanding of the construction of scientific knowledge“. In: *International Journal of Science Education* 11 (special issue), S. 514–529.
- Ehmer, M. (Mai 2008). Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen. https://macau.uni-kiel.de/receive/diss_mods_00003034 Abgerufen: 08.05.2020.
- Girwidz, R. (2015a). „Medien im Physikunterricht“. In: *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. Hrsg. von E. Kircher, R. Girwidz und P. Häußler. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Spektrum, S. 193–245.
- Girwidz, R. (2015b). „Multimedia unter lerntheoretischen Aspekten“. In: *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. Hrsg. von E. Kircher, R. Girwidz und P. Häußler. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Spektrum, S. 843–877.
- Girwidz, R. (2015c). „Neue Medien und Multimedia“. In: *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. Hrsg. von E. Kircher, R. Girwidz und P. Häußler. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Spektrum, S. 401–427.
- Goertz, S., Klein, P., Riese, J. und Heinke, H. (2019). Die Plattform „FLexKom“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Konzept und Einsatzbeispiele. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019*, Aachen.
- Hammann, M., T. T. H. Phan, M. Ehmer und H. Bayrhuber (2006). „Fehlerfrei Experimentieren.“ In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* 59.5, S. 292–299.
- Kircher, E. (2015). „Warum Physikunterricht?“. In: *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. Hrsg. von E. Kircher, R. Girwidz und P. Häußler. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Spektrum, S. 401–427.
- Klein, P. (2018). „Entwicklung eines Lernzirkels zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Sekundarstufe I - Eine erste Anwendung der neu konzipierten Plattform FLexKom“. Unveröffentlichte Masterarbeit. Aachen: I. Physikalisches Institut A der RWTH Aachen University.
- Schecker, H., T. Wilhelm, M. Hopf und R. Duit (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin: Springer Spektrum.
- Schulz, A., M. Wirtz und E. Starauschek (2012). „Das Experiment in den Naturwissenschaften“. In: *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten*. Hrsg. von W. Rieß, M. A. Wirtz, B. Barzel und A. Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 7–13.
- Schwichow, M. G. (Oktober 2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. <http://www.scientific-reasoning.com/>. Abgerufen: 04.04.2019.
- Theyßen, H., Schecker, H., Neumann, K., Eickhorst, B. und Dickmann, M. (2016). „Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentiertest“. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDiD)* 15.1, S. 26–48.
- Tulodziecki, G. und B. Herzig (2004). *Handbuch Medienpädagogik Band 2 - Mediendidaktik-Medien in Lehr- und Lernprozessen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Vester, F. (2012). *Denken, Lernen, Vergessen - was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn, und wann lässt es uns im Stich?* 24. Aufl. München: Dt. Taschenbuch-Verlag.
- Wiesner, H., H. Schecker und M. Hopf (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis-Verlag.