

Facetten experimenteller Kompetenz in den Naturwissenschaften

Variablenkontrollstrategien Experimente planen, durchführen und auswerten sind typische Arbeitsweisen im naturwissenschaftlichen Unterricht der Biologie, Chemie und Physik (s.h. KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a, 2005b, 2005c). In allen drei Domänen ist hierbei ein Verständnis von und Wissen über kontrollierte Experimente von zentraler Bedeutung. Kontrollierte Experimente lassen eindeutige Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu und sind der Ausgangspunkt für die Prüfung von Hypothesen. Bei kontrollierten Experimenten wird bei der Erhebung der Variablen lediglich eine Variable verändert und alle weiteren Variablen konstant gehalten (vgl. Dewey & Suhr, 2002; Popper, 1966). So kann untersucht werden, ob die veränderte Variable einen Einfluss auf eine abhängige Variable hat. Dieses grundlegende Prinzip der experimentellen Erkenntnisgewinnung wird als Variablenkontrollstrategie (VKS) bezeichnet (vgl. Chen & Klahr, 1999). Variablenkontrollstrategien umfassen hierbei vier verschiedene Teilfähigkeiten (vgl. Chen & Klahr, 1999; Schwichow et al., 2016a). *Planung*: Zu einer vorgegebenen Frage kann ein kontrolliertes Experiment geplant werden. *Identifizierung*: Es kann entschieden werden, ob es sich bei einer Versuchsreihe um ein kontrolliertes Experiment handelt, oder nicht. *Interpretation*: Liegt ein kontrolliertes Experiment vor, können Schlüsse aus den Ergebnissen gezogen werden. *Verständnis*: Die fehlende Aussagekraft von konfundierten Experimenten (d.h. mehr als eine Variable wurden verändert) wird erkannt.

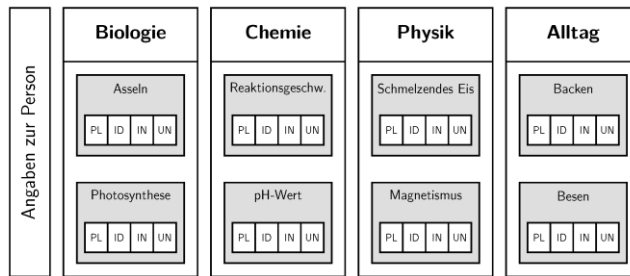
Forschungsstand Es bleibt jedoch festzuhalten, dass Schülerinnen und Schüler oft kein generelles Verständnis von VKS haben (vgl. Zimmerman & Croker, 2013). Viele bisherige Untersuchungen prüfen jedoch (implizit) nur eine Teilfähigkeit ab (vgl. Schwichow et al., 2016b). Bei Untersuchungen über alle Teilfähigkeiten zeigte sich, dass die Anwendung der Teilfähigkeiten für die Schülerinnen und Schüler unterschiedlich schwierig ist (vgl. Schwichow et al., 2016a). Darüber hinaus werden VKS als domänenübergreifende Fähigkeit gesehen (vgl. Zimmerman & Croker, 2013). Nichtsdestotrotz sind bisherige Untersuchungen oft domänenspezifisch (vgl. Schwichow et al., 2016b). Ausgehend von den Einschränkungen bisheriger Untersuchungen und den Eigenschaften von VKS wurde ein Testinstrument entwickelt, dessen Ziel es ist, alle Teilfähigkeiten von VKS in verschiedenen Domänen zu erheben, um so dazu beizutragen, die vorliegenden Forschungslücken zu füllen.

Forschungsfragen und Hypothesen Aus dem dargelegten theoretischen Hintergrund ergeben sich die folgenden Forschungsfragen und Hypothesen.

- *F1*: Welche *Dimensionalität* weisen Variablenkontrollstrategien auf?
Es ist zu prüfen, ob es sich bei VKS um ein eindimensionales oder mehrdimensionales Konstrukt handelt. Aus der Unterteilung der VKS in verschiedene Teilfähigkeiten kann vermutet werden, dass die Teilfähigkeiten verschiedene Dimensionen des Gesamtkonstrukts darstellen. Darüber hinaus ist es denkbar, dass VKS Teil der entsprechenden Domäne sind und somit die Domänen verschiedene Dimensionen darstellen.
- *F2*: Welche Aspekte sind für die *Schwierigkeit* von Items zur VKS ausschlaggebend?
Die oben beschriebenen Teilfähigkeiten erfordern unterschiedliche Tätigkeiten von Schülerinnen und Schülern, die durchaus als unterschiedlich schwierig eingeschätzt werden können. Zudem ist es denkbar, dass die Domäne die Schwierigkeit von Items beeinflusst.
- *F3*: Wie sind die Teilfähigkeiten von VKS in verschiedenen *Klassenstufen* ausgeprägt?

Variablenkontrolle ist eine Fähigkeit, die mit zunehmendem Lebensalter erfolgreicher angewendet wird (vgl. Zimmerman & Croker, 2013). Es soll untersucht werden, inwieweit eine Veränderung im Rahmen der Mittelstufe festgestellt werden kann.

Empirische Untersuchung Es wurde innerhalb einer Kooperation der Universität Trier (Biologie: J. Kranz, A. Möller, M. Willrich), der ETH Zürich (Alltag: P. Edelsbrunner, S. Peteranderl, L. Schalk) und der PH Freiburg (Physik: M. Schwichow; Chemie: M. Brandenburger) ein Testinstrument entwickelt, das alle Teilfähigkeiten von VKS in verschiedenen Domänen (Biologie, Chemie, Physik, Alltag) erhebt. In jeder Domäne wurden zwei Kontexte ausgewählt, zu denen je vier Items konstruiert wurden. Insgesamt besteht ein Testheft aus 32 Items (s.h. Abb. 1). Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen, wird die Reihenfolge der Domänen in insgesamt vier Testheften rotiert.



Ergänzt werden die Items durch Angaben zur Person (Noten, Kurzskala Selbstkonzept in den Domänen, eingeschätztes Wissen in den Domänen). Die Testzeit beträgt 90 Minuten. Es wurden insgesamt 274 Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8 bis 10 befragt.

Abb. 1 Design des Fragebogens

Vorbereitend für die Auswertung wurden die Items dichotom kodiert. Bei einer ersten deskriptiven Betrachtung der Lösungswahrscheinlichkeiten zeigte sich, dass die Verständnis-Items (UN) von den Schülerinnen und Schülern nur sehr schlecht gelöst wurden und Bodeneffekte aufweisen (Lösungswahrscheinlichkeit zwischen .08 und .20). Aus diesem Grund wurden die UN-Items nicht in die weiteren Auswertungen mit einbezogen. Aufgrund eines Druckfehlers musste aus der Physik ein Item zur Interpretation entfernt werden.

Ergebnisse Zur Prüfung der *Dimensionalität* von VKS wurden verschiedene Rasch Modellierung durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit ConQuest (MML, MonteCarlo mit 2000 Knoten, EAP/PV). Neben dem Grundmo-

	1-dim.	3-dim.	4-dim.
	Grundmodell	Teilfähigkeiten	Domäne
<i>N</i> = 274			
Abweichung	6271.38	6132.45	6202.36
Parameter (df)	24	29	33
AIC	6319	6190	6268
BIC	6406	6295	6387

Tabelle 1 Rasch Modellierung - Modellvergleich

del, das alle oben genannten Items enthält, wurde ein dreidimensionales Modell über die Teilfähigkeiten (Planung PL, Identifizierung ID, Interpretation IN) und ein vierdimensionales Modell über die Domänen (Biologie, Chemie, Physik, Alltag) berechnet. Um die Passung der Modelle zu vergleichen, wurden die Abweichungen der Modelle unter der Anzahl der Modellparameter (df) einander gegenübergestellt (s.h. Tabelle 1). Ein χ^2 -Test zeigt, dass das dreidimensionale Modell unter der Berücksichtigung der Anzahl der Modellparameter eine signifikant bessere Passung aufweist als das Grundmodell und das vierdimensionale Modell über die Domänen. Auch AIC und BIC sprechen für das dreidimensionale Modell. Zudem weist das dreidimensionale Modell einen besseren Item-Fit auf ($0.79 < wMNSQ < 1.20$). Die Trennschärfe der Items liegt zwischen .36 und .73. Die Dimensionen (PL, ID, IN) korrelieren miteinander (.76 - .93). Die EAP/PV Reliabilitäten sind zufriedenstellend (.78 - .87).

Zur Prüfung, was die Schwierigkeit der Items zu VKS beeinflusst, wurden Gruppenvergleiche der Lösungswahrscheinlichkeiten verschiedener Itemgruppen durchgeführt. Vergleich

man nach *Teilfähigkeit*, zeigen sich Unterschiede bei der mittleren Lösungswahrscheinlichkeit ($F(2, 819) = 14.55, p = .000, \eta^2 = 0.03$). Items zur Planung ($M_{PL} = .58, SD = .37$) sind schwerer als Items zum Identifizieren ($M_{ID} = .66, SD = .30$) und Interpretieren ($M_{IN} = .72, SD = .30$). Alle Unterschiede sind signifikant. Die unterschiedlichen Schwierigkeiten stehen im Einklang mit den verschiedenen Anforderungen der Teilfähigkeiten. Bei der Planung von kontrollierten Experimenten müssen die Schülerinnen und Schüler selbstständig ein kontrolliertes Experiment konstruieren, wohingegen bei der Identifizierung ein kontrolliertes Experiment ausgewählt werden muss und bei der Interpretation Schlüsse aus kontrollierten Experimenten gezogen werden müssen. Auch ein Vergleich nach *Domäne* zeigt Unterschiede bei den mittleren Lösungswahrscheinlichkeiten ($F(3, 1092) = 3.57, p = .014, \eta^2 = 0.01$). Neben der kleinen Effektstärke ist jedoch festzustellen, dass sich die Schwierigkeiten zwischen den naturwissenschaftlichen Domänen nicht signifikant unterscheiden ($M_{Bio} = .63, SD = .35; M_{Che} = .63, SD = .36; M_{Phy} = .62, SD = .30$). Die Items zur Domäne „Alltag“ sind etwas leichter ($M_{All} = .71, SD = .33$). Aus diesen Ergebnissen wird geschlossen, dass die geforderte Teilfähigkeit dafür verantwortlich ist, wie schwierig ein Item zu VKS für Schülerinnen und Schüler ist. Die Domäne spielt hierbei keine Rolle.

Im Rahmen der letzten Forschungsfrage wurde untersucht, inwieweit sich die Fähigkeit zur Variablenkontrolle innerhalb der Mittelstufe verändert. Da im Rahmen der Strukturuntersuchung zum Konstrukt VKS festgestellt wurde, dass die Teilfähigkeiten eigenständige Dimensionen bilden, wurden die durch die Rasch Modellierung ermittelten Personenwerte (Plausible Values, PV) der Schülerinnen und Schüler in den drei Dimensionen über die verschiedenen Klassenstufen miteinander verglichen. Für eine Vergleichbarkeit der Personenparameter über die Dimensionen hinweg wurden z-transformierte Werte verwendet. Es lassen sich in allen drei Dimensionen unterschiedliche Ausprägungen der Personenparameter feststellen ($F_{PL}(2, 268) = 12.367, p = .000, \eta^2 = 0.08; F_{ID}(2, 268) = 10.719, p = .000, \eta^2 = 0.07; F_{IN}(2, 268) = 10.968, p = .000, \eta^2 = 0.08$). Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8 schneiden in allen drei Teilfähigkeiten signifikant schlechter ab als Schülerinnen und Schüler aus Klasse 9 und 10 (s.h. Abb. 2). Zwischen letzteren lassen sich keine signifikanten Unterschiede finden. Die Ergebnisse deuten auf eine Entwicklung von VKS hin, die insbesondere zwischen der 8. und 9. Klassenstufe stattfindet.

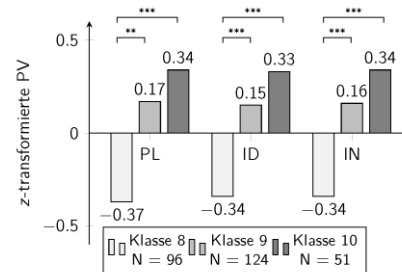


Abb. 2 Vergleich der Personenfähigkeit nach Teilfähigkeit und Klassenstufe

Abschluss Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Rahmen der vorgestellten Untersuchung Ergebnisse gewonnen werden konnten, die sich in das bisherige Wissen über VKS einfügen. Als besonders fruchtbar hat sich hierbei erwiesen, dass im Rahmen eines Testinstruments sowohl verschiedene Teilfähigkeiten, als auch verschiedene Domänen untersucht wurden, was übergreifende Vergleiche zuließ. Es konnte VKS als mehrdimensionales Konstrukt nach den Teilfähigkeiten modelliert werden, die unterschiedlich schwierig für die Schülerinnen und Schüler sind. Es zeigt sich eine Veränderung der Fähigkeit zur Variablenkontrolle bei allen Teilfähigkeiten im Rahmen der Mittelstufe.

Literatur

- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70(5):1098–1120.R., Gropengießer, H., & Stäudel, L. (2004). *Naturwissenschaftliches Arbeiten: Unterricht und Material 5-10*. Seelze-Velber: Friedrich-Verlag.
- Dewey, J. & Suhr, M. (2002). *Logik: Die Theorie der Forschung*. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005a). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss: (Beschluss vom 16. Dezember 2004). Wolters Kluwer, München.
- KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005b). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss: (Beschluss vom 16. Dezember 2004). Wolters Kluwer, München.
- KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005c). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss: (Beschluss vom 16. Dezember 2004). Wolters Kluwer, München.
- Popper, K. R. (1966). *Logik der Forschung*, Band 4 von Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften. Mohr, Tübingen, 2., erw. Auflage.
- 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. *International Journal of Science Education*, 38(2):216–237.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016b). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39:37–63.
- Zimmerman, C. & Croker, S. (2013). Learning science through inquiry. In Feist, G. & Gorman, M. (Hrsg.), *Handbook of the psychology of science*, S. 49–70. Springer, New York, NY.