



# Wie fördert man wissenschaftliches Denken im Unterricht?

Wissenschaftliches Denken<sup>1</sup> zu fördern ist eine zentrale Aufgabe für den schulischen MINT-Unterricht. SchülerInnen entwickeln diese Kompetenz nicht von selbst, sondern nur durch gezielte Anleitung und Übung. Eine der wichtigsten Methoden wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ist die sogenannte Variablenkontrollstrategie (VKS). Ob und wie das Verständnis dieser Strategie im Unterricht gefördert werden kann, haben zahlreiche Studien untersucht. Die Metaanalyse »Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis« von Schwichow, Crocker, Zimmerman, Höffler und Härtig (2016) analysiert die Befunde aus 72 Studien und trägt wichtige Erkenntnisse über effektive Fördermaßnahmen der Variablenkontrollstrategie im Unterricht zusammen.

**EINLEITUNG.** Wissenschaftliches Denken ist eine Kernkompetenz für die MINT-Fächer und ein zentraler Bestandteil aktueller Bildungsstandards. Die Fähigkeit, wissenschaftlich denken zu können, unterstützt SchülerInnen dabei, ein breites Spektrum von Problemen sowohl in wissenschaftlichen als auch in alltäglichen Kontexten zu bearbeiten und zu lösen. Ein fundamentales Anliegen wissenschaftlichen Denkens ist es, gültige Erklärungen – beispielsweise in Form von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen – für verschiedenste Phänomene zu finden sowie stichhaltig begründen und belegen zu können. Dafür müssen geeignete Bedingungen erkannt oder gezielt hergestellt werden, die möglichst eindeutige Schlussfolgerungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zulassen. Das heißt, dass in einem Experiment oder einer Serie von Experimenten möglichst alle potenziellen Erklärungen nacheinander ausgeschlossen werden, bis nur noch nachweislich kausale Erklärungen für ein Phänomen in Frage kommen (siehe Beispiel). Dieses experimentelle Vorgehen ist als Strategie der Variablenkontrolle oder Variablenkontrollstrategie (VKS) bekannt.

Die Variablenkontrollstrategie spielt eine zentrale Rolle in Forschung und Wissenschaft und steht im Zusammenhang mit der stärkeren Betonung von wissenschaftlichem Denken und Arbeiten in Bildungsstandards und Lehrplänen als Unterrichtsziel im Fokus. Dabei geht es nicht nur darum, dass SchülerInnen

## METAANALYSE IM ÜBERBLICK

<b>Fokus der Studie</b>	Effektive Förderung der Variablenkontrollstrategie als zentraler Komponente wissenschaftlichen Denkens
<b>Untersuchte Zielgruppe</b>	Überwiegend zehn bis 15-jährige SchülerInnen
<b>Durchschnittliche Effektstärke</b>	Mittelgroßer Effekt auf die Förderung der Variablenkontrollstrategie ( $g = 0.61$ )
<b>Weitere Befunde</b>	Einsatz von Demonstration (mittelgroßer Effekt: $g = 0.69$ ) und Kognitivem Konflikt (großer Effekt: $g = 0.80$ ) besonders effektiv

<sup>1</sup> Definitionen der unterstrichenen Fachbegriffe finden Sie per Mausklick in unserem [Online-Glossar](#).

kausale Nachweise mithilfe von Experimenten selbst erzeugen können, sondern auch, dass sie durch das Verständnis zugrundeliegender wissenschaftlicher Strategien lernen, angebotene Erklärungen auf wissenschaftliche Weise zu hinterfragen und zu argumentieren. Die Frage, ob und wie die Variablenkontrollstrategie effektiv gefördert werden kann, ist seit Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Studien. Die vorliegende Metaanalyse fasst diesen Forschungsstand zusammen und liefert wichtige Anhaltspunkte, wie Unterricht in diesem Zusammenhang optimal gestaltet werden kann.

### DIE VARIABLENKONTROLLSTRATEGIE: BEISPIEL

Um herauszufinden, welche Rolle die Bewässerung für das Wachstum von Pflanzen spielt, werden in entsprechenden Experimenten identische Bedingungen für zwei Pflanzen geschaffen: Gleiche Pflanzen, gleiches Licht, gleiche Erde, gleicher Dünger etc. Nur die zugegebene Wassermenge variiert. Das heißt, alle möglichen und bekannten Variablen bis auf die Wassermenge werden kontrolliert. Wächst nun die eine Pflanze mehr oder weniger als die andere, ist dies eindeutig mit der unterschiedlichen Wasserzugabe zu erklären. Dadurch lässt sich die Annahme, dass die Bewässerung einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum hat, experimentell untermauern.

**WORUM GEHT ES IN DIESER STUDIE?** Zur Förderung der Variablenkontrollstrategie erschien bereits 1988 eine erste Metaanalyse (Ross, 1988). In der Zwischenzeit ist eine Vielzahl neuer Studien erschienen, auf die Schwichow und KollegInnen nun zugreifen können. Die Menge an verfügbaren Studien und die weiterentwickelten metaanalytischen Verfahren erlauben es ihnen, detailliert zu ergründen, unter welchen Bedingungen wissenschaftliches Denken bzw. die Variablenkontrollstrategie besonders effektiv gefördert werden kann. Dazu erfassen und untersuchen sie eine Vielzahl von Einflussfaktoren, sogenannten Moderatoren: Ein erster Fragenblock beschäftigt sich mit bestimmten Eigenschaften der SchülerInnen – z. B. Alter –, ein zweiter mit Gestaltungsmerkmalen des Unterrichts (siehe *Tabelle 1*) und ein dritter untersucht, wie die Art der Testung das Ergebnis beeinflusst<sup>2</sup>.

Für ihre Analysen können Schwichow und KollegInnen auf insgesamt 226 Effektstärken aus 72 Einzelstudien mit experimentellem oder quasi-experimentellem Design zurückgreifen. Sie wurden im Zeitraum von 1972 bis 2012 veröffentlicht. Acht der Studien wurden in Deutschland durchgeführt, der Rest überwiegend in den USA oder weiteren europäischen, asiatischen und amerikanischen Ländern. Insgesamt nahmen an den Studien 5.355 SchülerInnen teil.

**WAS FAND DIESE STUDIE HERAUS?** Wissenschaftliches Denken kann durch Unterricht gefördert werden: Schwichow und KollegInnen replizieren den Befund von Ross (1988) und ermitteln einen mittleren Effekt von  $g = 0.61$  (mittelgroßer Effekt). Aus den Moderatoranalysen zu den Gestaltungsmerkmalen des Unterrichts ergeben sich einige interessante Erkenntnisse (vgl. auch *Tabelle 1*):

**Unterrichtsfokus.** Die Analyse zeigt, dass es für den Lernerfolg keinen entscheidenden Unterschied macht, ob sich der Unterricht ausschließlich auf die Vermittlung der Variablenkontrollstrategie kon-

---

<sup>2</sup> Im folgenden Abschnitt werden die zentralen Befunde zur ersten und zweiten Forschungsfrage dargestellt. Informationen zur dritten stärker methodisch orientierten Fragestellung finden Sie in der Bewertung der Metaanalyse (siehe »Wie bewertet das *Clearing House Unterricht* diese Studie«).

zentriert oder die Lehrkraft gleichzeitig auch noch andere Ziele verfolgt, wie die Vermittlung von Faktenwissen.

**Art der Vermittlung.** Hier gibt es eine lange Diskussion, ob die Vermittlung eines expliziten Merksatzes zur Variablenkontrollstrategie (langfristig) zu besseren Lernerfolgen führt, als wenn Schülerinnen und Schüler die VKS beim Experimentieren selbst »entdecken«. So ein Merksatz könnte beispielsweise lauten: »Variiere immer nur eine Variable zu einem Zeitpunkt.« Aus der entsprechenden Moderatoranalyse lässt sich keine klare Präferenz ableiten: Es gibt also auch gute Möglichkeiten, Variablenkontrollstrategie zu unterrichten, ohne einen expliziten Merksatz zu formulieren.

Tabelle 1. *Untersuchte Gestaltungsmerkmale des Unterrichts.*

MODERATOR	VARIANTEN	EFFEKT-STÄRKE (g)
<b>Unterrichtsfokus</b>	Beherrschen der Variablenkontrollstrategie ist alleiniges Unterrichtsziel	0.63
	Zusätzliche Unterrichtsziele neben der Variablenkontrollstrategie (z.B. Faktenwissen) werden berücksichtigt	0.58
<b>Art der Vermittlung</b>	Unterricht gibt SchülerInnen einen expliziten Merksatz zur Variablenkontrollstrategie an die Hand, mit dessen Hilfe typische Aufgaben gelöst werden können	0.58
	Unterricht enthält keinen expliziten Merksatz	0.65
<b>Übungsgelegenheiten</b>	Unterricht bietet Gelegenheit(en), Experimente real oder durch Computersimulation selbst durchzuführen	0.59
	SchülerInnen haben keine Gelegenheit, selbst aktiv zu experimentieren	0.74
<b>Einsatz von Feedback</b>	SchülerInnen erhalten Feedback auf von ihnen durchgeführte Experimente (schriftlich oder mündlich)	0.66
	Kein Feedback	0.58
<b>Einsatz von Demonstration(en)</b>	Demonstration eines exemplarischen Experiments (real oder in Computersimulation)	0.69
	Keine Demonstration	0.48
<b>Einsatz von <u>Kognitiven Konflikten</u></b>	SchülerInnen werden mit nicht erwartungskonformen Erfahrungen konfrontiert; dabei sollen kognitive Konflikte erzeugt werden	0.80
	Kein Erzeugen von kognitiven Konflikten	0.53
<b>Unterrichtskontext</b>	Unterricht in Räumlichkeiten der Schule zu Themen wie Federspannung oder Vermehrung von Bakterien	0.56
	Unterricht außerhalb der Schule zu Themen wie Hüpfbällen oder Raketendesign	0.72

**Übungsgelegenheiten.** Der bisherige Stand der Forschung legt die Vermutung nahe, dass Übungsgelegenheiten, bei denen die SchülerInnen selbst aktiv experimentieren können, positive Effekte auf die Aneignung der Variablenkontrollstrategie haben. Die Moderatoranalyse jedoch zeigt, dass es keine bedeutende Rolle spielt, ob es derartige Gelegenheiten gibt. Die AutorInnen erklären diesen Befund damit,

dass Variablenkontrollstrategie in erster Linie eine kognitive Strategie ist: Die Beschäftigung mit der konkreten Durchführung von Experimenten – real oder in Computersimulationen – lenkt möglicherweise eher von den wesentlichen Merkmalen der Gestaltung des Experiments und der experimentellen Strategie ab, oder erbringt zumindest keinen Mehrwert. Das könnte auch erklären, warum es keine Rolle spielt, ob SchülerInnen *Feedback* (schriftlich oder mündlich) auf die *Durchführung* ihrer Experimente bekommen<sup>3</sup>.

**Demonstrationen.** Demonstrationen von korrekt durchgeführten Experimenten bieten hingegen den Vorteil, dass SchülerInnen sich – im Gegensatz zum eigenständigen Durchführen von Experimenten, bei denen sie sich um viele technische und handwerkliche Aspekte kümmern müssen – komplett auf das Verständnis der zentralen (Design-)Merkmale des Experiments und der experimentellen Strategie konzentrieren können. Die Moderatoranalyse zeigt, dass dieses Element tatsächlich einen entscheidenden Unterschied macht.

**Kognitiver Konflikt.** Insbesondere in Kombination mit Demonstrationen wirkt sich das Erzeugen von kognitiven Konflikten positiv auf den Lernerfolg aus. Ein kognitiver Konflikt findet dann statt, wenn das Ergebnis eines Experiments nicht mit den Erwartungen der SchülerInnen übereinstimmt. Er lässt sich zum Beispiel dadurch erzeugen, dass Forschende demonstriert werden, die sich nicht an die Variablenkontrollstrategie halten und in ihren Experimenten uneindeutige und/oder erwartungswidrige Ergebnisse erhalten. Entsprechend umgesetzt können kognitive Konflikte die Effektivität des Lernens steigern: Der kognitive Konflikt muss dabei von der Lehrkraft verdeutlicht werden, indem sie die Erwartungen der SchülerInnen vor der Demonstration zunächst abfragt. Wenn die SchülerInnen anschließend angeleitet werden, sich mit Erklärungen für das unerwartete Ergebnis und den eigenen – unter Umständen fehlerhaften – Überzeugungen auseinanderzusetzen, wird dadurch ein weitergehendes Verständnis von Zusammenhängen möglich. (Siehe auch *Studienbeispiel & Fazit für die Unterrichtspraxis*.)

**Unterrichtskontext.** Eine bislang nicht explizit überprüfte Annahme ist, dass SchülerInnen sich für außerschulische *Kontexte* stärker begeistern können und die Variablenkontrollstrategie in solchen Kontexten entsprechend besser lernen. Die Analyse zum Unterrichtskontext konnte diese Vermutung jedoch nicht bestätigen: SchülerInnen lernen die Variablenkontrollstrategie in schulischen wie auch außerschulischen Kontexten ähnlich erfolgreich.

**WIE BEWERTET DAS CLEARING HOUSE UNTERRICHT DIESE STUDIE?** Die *Clearing House Unterricht Research Group* bewertet die Metaanalyse anhand der folgenden fünf Fragen und orientiert sich dabei an den Abelson-Kriterien (1995):

**Wie substantiell sind die Effekte?** Die durchschnittliche Effektstärke liegt nach der üblichen Einteilung nach Cohen (1988) im mittleren Bereich ( $g = 0.61$ ). Dieser Effekt zeigt sich als sehr stabil gegenüber Variablen, die in anderen Metaanalysen häufig einflussreich sind (z.B. Alter oder methodische Faktoren) und wurde auf der Basis valider Primärstudiendesigns gewonnen. Teilweise wurden die SchülerInnen in den Kontrollgruppen zum selben Thema, aber ohne Fokus auf die Variablenkontrollstrategie unterrichtet. Damit handelt es sich um äußerst faire und strenge Vergleichsbedingungen. Es zeigt sich ferner, dass

---

<sup>3</sup> Ergänzender Befund: In einer experimentellen Studie untersuchten die AutorInnen die Wirkung von aktiv durchgeführten Experimenten beim Erlernen der VKS im Vergleich zu Arbeitsblättern. Die Ergebnisse zeigen, dass sich aktiv durchgeführte Experimente positiv auf die Durchführung von realen Experimenten auswirken während sich Arbeitsblätter positiv auf das Bewerten schriftlich dargestellter Experimente auswirken. Dieser Effekt trat nur auf, wenn die Inhalte der Übungs- und Testmaterialien gleich waren. Bei Transferaufgaben mit anderen Inhalten unterschieden sich die SchülerInnen beider Gruppen nicht (Schwchow et al., 2016).

durch den Einsatz von kognitivem Konflikt der Effekt sogar zu einem großen Effekt ( $g = 0.80$ ) ausgebaut werden kann. Dieser große Effekt bedeutet, dass knapp 80 % der SchülerInnen in der Experimentalgruppe höhere Leistungen beim wissenschaftlichen Denken aufweisen als der Durchschnitt der Kontrollgruppe.

**Wie differenziert sind die Ergebnisse dargestellt?** Die Differenziertheit der berichteten Effekte wird anhand der Bereiche Schulfächer, Jahrgangsstufen und des Erfolgskriteriums eingeschätzt. Spezifische Schulfächer wurden in dieser Metaanalyse nicht untersucht, da wissenschaftliches Denken über die Fächergrenzen hinweg betrachtet wird. Die Ergebnisse werden für verschiedene Altersgruppen differenziert berichtet; allerdings zeigen sich hier keine Unterschiede. Als Erfolgskriterium wurden ausschließlich Leistungen beim wissenschaftlichen Denken mit Fokus auf die Variablenkontrolle untersucht.

**Wie verallgemeinerbar sind die Befunde?** In der Metaanalyse wurden zahlreiche Moderatoren überprüft; bei vielen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten (Unterrichts-)Varianten. Insofern ist der berichtete durchschnittliche Effekt des Unterrichtens der Variablenkontrollstrategie für einige Moderatoren verallgemeinerbar. Dazu gehören das Alter der SchülerInnen, die Durchführung der Studie im Schulunterricht (vs. im Labor), die Art der Publikation sowie eine Vielzahl von Parametern der Testung (z. B. Anzahl der veränderbaren Variablen, Hervorhebung der einflussreichsten Variablen, Urheber der Tests, Zeitspanne zwischen Unterricht und Testung). Erwähnenswert ist darüber hinaus, dass es keine Rolle zu spielen scheint, ob die Leistungstests mit anderen Inhalten durchgeführt werden als im Unterricht. Wenn SchülerInnen die Variablenkontrollstrategie in einer spezifischen Unterrichtssituation erlernen, können sie ihr Wissen auch auf vergleichbare Experimente mit anderen Inhalten übertragen.

Das Testformat, also die technische Umsetzung der Testung, erweist sich als signifikante Einflussgröße. Die Gültigkeit des Gesamteffekts ist in dieser Hinsicht nicht uneingeschränkt verallgemeinerbar.

**Was macht die Metaanalyse wissenschaftlich relevant?** Die Metaanalyse ist aus zwei Gründen als sehr bedeutsam einzustufen: Erstens repliziert und erweitert sie den bisherigen Stand der Forschung und trägt damit zur Aktualisierung der Befundlage bei. Zweitens erreicht sie durch die Fokussierung auf die Variablenkontrollstrategie eine eindrucksvolle Spezifität und Konkretheit. Die Art und Weise, wie die detaillierten Moderatoranalysen zur Aufklärung der aufgefundenen Unterschiede in den berichteten Effekten durchgeführt werden, hat exemplarischen Charakter. Durch die theoretisch sowie empirisch gut begründete Wahl der Moderatoren trägt die Metaanalyse substantziell dazu bei, die Theorie zur Instruktion der Variablenkontrollstrategie weiterzuentwickeln.

**Wie methodisch verlässlich sind die Befunde?** Die Transparenz und Begründung des methodischen Vorgehens entspricht vorbildlich den Kriterien gängiger Anforderungskataloge (z.B. APA Metaanalysis Reporting Standards). Die Schritte bei der Suche, Auswahl und Analyse erfüllen alle Ansprüche. Weitere Informationen zur Beurteilung des methodischen Vorgehens sind im Begleitmaterial verfügbar.

**FAZIT FÜR DIE UNTERRICHTSPRAXIS.** Die Befunde von Schwichow und KollegInnen haben eine hohe Relevanz für den Unterrichtsalltag: In allen eingehenden Befunden wurden schulrelevante Inhalte vermittelt, alle beschriebenen Maßnahmen für eine höhere Effektivität des Unterrichts sind ohne großen Aufwand umsetzbar. Die Metaanalyse beinhaltet auch einige Studien mit zahlreichen Effektstärken aus Deutschland. Insgesamt erweisen sich die berichteten Effekte als sehr stabil. Die Fokussierung der Metaanalyse auf die Variablenkontrollstrategie ermöglicht das Herausarbeiten von Details. Auf dieser Grundlage können konkrete Hinweise für mögliche Entscheidungsoptionen bei der Planung und Gestaltung von Unterricht abgeleitet werden.

An erster Stelle zeigt die Metaanalyse, dass viele hypothetisch einflussreiche Parameter beim Unterrichten der Variablenkontrollstrategie keine so bedeutsame Rolle spielen wie angenommen. Die AutorInnen identifizieren jedoch zwei entscheidende Stellschrauben für das effektive Unterrichten von wissenschaftlichem Denken:

- Demonstrationen sollten unbedingt zum Unterrichtsstandard gehören.
- Kognitive Konflikte können die Effektivität des Unterrichts deutlich steigern.

Insbesondere in der Kombination dieser beiden Maßnahmen sehen die AutorInnen ein großes Potenzial – z.B. indem SchülerInnen dazu angeleitet werden, sich mit den in der Demonstration fehlerhaft gestalteten Experimenten auseinanderzusetzen. Wenn SchülerInnen sich auf die Anlage von Experimenten und damit auf die experimentelle Strategie konzentrieren können, ohne von technischen Details der Durchführung abgelenkt zu werden, scheint darin ein Schlüssel zur effektiven Aneignung der Variablenkontrollstrategie und damit einer Kernkomponente des wissenschaftlichen Denkens zu liegen.

### STUDIENBEISPIEL

In ihrer experimentellen Feldstudie ermitteln Strand-Cary und Klahr (2008) einen besonders großen Effekt von Demonstrationen in Kombination mit dabei erzeugten kognitiven Konflikten auf das wissenschaftliche Denken. Die 72 neun- bis zwölfjährigen SchülerInnen experimentierten in zwei verschiedenen Gruppen (Experimental- vs. Kontrollgruppe) mit jeweils zwei Holzrampen und Bällen. Dabei sollten sie herausfinden, ob eine bestimmte Eigenschaft der Rampe (Variablen: Steilheit, Länge, Oberfläche der Rampe) beeinflusst, wie weit der Ball rollt – also ob es einen kausalen Zusammenhang gibt.

In der Kontrollgruppe konnten die SchülerInnen selbstständig Experimente mit den Rampen durchführen. In der Experimentalgruppe wurden die SchülerInnen explizit angeleitet, mit der Variablenkontrollstrategie zu arbeiten: Sie führten zunächst ein eigenes Experiment durch, dann wurde ihnen eine im Sinne der Variablenkontrollstrategie fehlerhafte und eine korrekte Version des Experiments vorgeführt (*Demonstration*), wobei die SchülerInnen klären sollten, warum im fehlerhaften Experiment ihre Erwartungen nicht erfüllt wurden (*kognitiver Konflikt*). In der Experimentalgruppe lernten wesentlich mehr SchülerInnen die Variablenkontrollstrategie zu beherrschen als in der Kontrollgruppe (Unterschied  $d = 2.0$ ).

## REFERENZEN.

Abelson, R. P. (1995). *Statistics as principled argument*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Auflage). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Ross, J. A. (1988). Controlling variables: a meta-analysis of training studies. *Review of Educational Research*, 58(4), 405–437. doi: 10.3102/00346543058004405.

Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63. doi: 10.1016/j.dr.2015.12.001.

Schwichow, M., Zimmerman, C., Croker, S., & Härtig, H. (2016). What students learn from hands-on activities. *Journal of research in science teaching*, 53(7), 980-1002. doi: 10.1002/tea.21320

Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23(4), 488–511. doi: 10.1016/j.cogdev.2008.09.005.

## LINKS.

Zur Metaanalyse von [Schwichow et al., 2016](#).

Zum Studienbeispiel von [Strand-Cary et al., 2008](#).

Weitere Forschungsergebnisse, Unterrichtsmaterial und Testinstrumente:  
[Scientific-reasoning.com](#) (Website von Martin Schwichow)

## ZITIEREN ALS.

Hetmanek, A., Knogler, M., & CHU Research Group (2018). Wie fördert man wissenschaftliches Denken im Unterricht? [www.clearinghouse-unterricht.de](#), *Kurzreview 16*.



Dieses Kurzreview ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitung 4.0 International Lizenz](#). Verwendung und Verbreitung unter Namensnennung erlaubt, keine Veränderungen gestattet.