

Lernwirksamkeit von Analogiemodellen zum elektrischen Potenzial

Alina Hindriksen, Michael Kahnt, Roland Berger

Universität Osnabrück, Barbarastraße 7, 49076 Osnabrück
ahindriksen@uos.de

Kurzfassung

Zur Veranschaulichung der elektrischen Größen Strom, Potenzial und Spannung wird in der Literatur der Einsatz unterschiedlicher Analogiemodelle vorgeschlagen. Während einerseits die Verwendung verschiedener Analogiemodelle für jeweils einzelne Aspekte des elektrischen Stromkreises sinnvoll erscheint, könnte eine Stärke des Fahrradkettenmodells darin liegen, dass es auch durchgängig eingesetzt werden kann. Im Beitrag wird eine quantitative Studie vorgestellt, in der drei Unterrichtsvarianten gegenübergestellt und mit dem Fokus auf Potenzial und Spannung untersucht werden: Unterricht (a) mit Fahrradkettenmodell (b) mit Höhenmodell und (c) ohne Modell. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass die Bedingung „Höhenmodell“ im verzögerten Potenzialtest mit kleinem Effekt unterlegen und die Bedingung „Fahradkettenmodell“ im verzögerten Spannungstest mit kleinem Effekt den weiteren Bedingungen signifikant überlegen ist. Zudem findet im modellbasierten Unterricht ein Lernen über Analogiemodelle und damit ein Zuwachs in dem Modellverständnis der SchülerInnen statt.

1. Ausgangssituation

Die Ergebnisse empirischer Studien zum Elektrizitätslehreunterricht in der Sekundarstufe I zeigen, dass mit den Größen Strom, Spannung und Widerstand sowie deren wechselseitiger Beziehung hartnäckige Fehlvorstellungen konnotiert sind, die durch den Physikunterricht oftmals nur unzureichend behoben werden (Maichle, 1982; Shipstone, 1984; von Rhöneck, 1986; Urban-Woldron & Hopf, 2012; Schecker et al., 2018). Insbesondere wird nur sehr selten ein adäquates, vom Strombegriff unabhängiges Verständnis der elektrischen Spannung seitens der SchülerInnen entwickelt (Cohen et al., 1983; von Rhöneck, 1986). Damit einhergehend wird einerseits die elektrische Spannung häufig nicht als Ursache, sondern als Eigenschaft des elektrischen Stromes aufgefasst und andererseits der Differenzcharakter der Spannung, der zu einer vergleichsweise hohen Komplexität bei dem Verständnis der elektrischen Größe beiträgt, nicht erkannt (Burde, 2018). Schubatzky et al. (2022, S. 5) erachten die elektrische Spannung daher auch „als das schwierigste Konzept im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe [...], wenn nicht sogar des gesamten Physikunterrichts in der Sekundarstufe.“

In der Literatur werden neben den beschriebenen stabilen Fehlvorstellungen der SchülerInnen auch ungünstige Elementarisierungen sowie eine mangelnde Anschaulichkeit des Inhaltsbereichs zur Begründung der mit dem Spannungskonzept verbundenen Lernschwierigkeiten angeführt (Burde & Wilhelm, 2017; Burde et al., 2022; Schubatzky et al., 2022). So heben Herrmann und Schmälzle (1984) als problematisch hervor, dass bei dem „traditionellen“ Vorgehen zur

Einführung der elektrischen Spannung über eine anschauliche Antriebsvorstellung sowie die Definitionsgleichungen

$$U = \frac{E}{q} \text{ und } U = \frac{P}{I}$$

von den SchülerInnen erwartet wird, dass sie eine Vorstellung zum Spannungsbegriff entwickeln ohne die dahinterstehende Größe, das elektrische Potenzial, zu kennen und zu verstehen. Herrmann und Schmälzle sprechen sich daher für eine Berücksichtigung des elektrischen Potenzials zur Konzeptualisierung der Spannung als Potentialdifferenz im Elektrizitätslehreunterricht aus.

2. Potenzialansatz

Unterrichtsvorgehen, in denen die elektrische Spannung als Potentialdifferenz konzeptualisiert wird, werden als „Potenzialansatz“ bezeichnet. Herrmann und Schmälzle (1984, S. 476) sehen drei wesentliche Vorteile des Potenzialansatzes gegenüber traditionellen Einführungen der elektrischen Spannung im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I:

- „(1) Ein Potentialwert bezieht sich (im Gegensatz zu einem Spannungswert) auf einen einzigen Punkt im Raum; man darf daher mit dem Potential genauso umgehen wie mit anderen intensiven Größen.“
- (2) Die Verwendung des elektrischen Potentials ist äquivalent zur Anwendung der Maschenregel; zusammen mit der Knotenregel stehen damit den Schülern die beiden fundamentalen Gesetze stationärer Stromkreise zur Verfügung.
- (3) Durch farbiges Kennzeichnen von Stellen gleichen Potentials lassen sich Schaltskizzen sehr übersichtlich darstellen.“

Den Überlegungen von Herrmann und Schmäzle (1984) folgend wurde der Potenzialansatz in neuen Unterrichtskonzeptionen auf verschiedenste Weise berücksichtigt und untersucht (von Rhöneck, 1985; Steinberg & Wainwright, 1993; Schwedes & Dudeck, 1993; Gleixner, 1998; Koller et al., 2008; Schumacher & Wiesner, 1997; Burde, 2018; Kahnt, 2022). Im Einklang mit den Erwartungen zeigen die Ergebnisse, dass Potenzialansätze (teils auch im Vergleich mit „traditionellem“ Unterricht) lernwirksam den Aufbau eines adäquaten Spannungskonzeptes unterstützen (Gleixner, 1998; Koller et al., 2008; Burde, 2018). Da das Potenzial für die SchülerInnen eine abstrakte Größe darstellt, die keine tragfähigen Anknüpfungspunkte zum Begriffsverständnis aus dem Alltag aufweist, werden in den angeführten Unterrichtskonzepten oft Analogiemodelle zur Veranschaulichung der Größe sowie des Zusammenhangs von Potenzial und Spannung eingesetzt.

3. Lernen mit Analogiemodellen im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

Analogiemodelle sollen im Lehr-Lern-Prozess den SchülerInnen als „Brücken zum Verständnis“ dienen, indem durch die Veranschaulichung abstrakter Größen in einem vertrauteren Analogbereich der Zugang zu einem qualitativen Verständnis des Zielbereichs erleichtert wird (Duit & Glynn, 1995, S. 4). So hat sich unter anderem im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I, in dem Lernschwierigkeiten vor allem auch auf eine mangelnde Anschauung zurückgeführt werden, gezeigt, dass durch den systematischen Einsatz von Analogiemodellen das konzeptuelle Verständnis elektrischer Größen und Zusammenhänge unterstützen werden kann (Gleixner, 1998; Burde, 2018; Kahnt, 2022). Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass mit der Verwendung von Analogiemodellen aus lernökonomischer Perspektive aber stets auch ein Umweg einhergeht, der die Lernenden in die Irre leiten und den Lehr-Lern-Prozess behindern kann (Duit & Glynn, 1995; Kircher, 1989). Ein systematischer Einsatz von Analogiemodellen ist daher stets unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile abzuwägen und hinsichtlich der Lernwirksamkeit zu prüfen. Kircher et al. (2015, S. 804) heben darüber hinaus hervor, dass zum derzeitigen Stand *„die Frage der Lernökonomie durch Modelle (Medien) im Physikunterricht nicht pauschal zu beantworten [ist]; sie ist sowohl von den lerntheoretischen Grundlagen her als auch von der empirischen Feldforschung in den Schulen noch als offen zu betrachten.“*

Aufgrund der Komplexität der Elektrizitätslehre wurden verschiedene Analogiemodelle entwickelt, die jeweils unterschiedliche Aspekte besonders gut veranschaulichen und damit einhergehend spezifische Vor- und Nachteile sowie „Grenzen“ aufweisen. Während einige Analogiemodelle insbesondere für die Veranschaulichung eines bestimmten Aspekts gedacht sind, darunter z. B. das Stäbchenmodell von Gleixner (1998) zur Einführung von Potenzial und Spannung,

können andere Analogiemodelle prinzipiell auch „durchgängig“ zur Veranschaulichung herangezogen werden, darunter z. B. das Fahrradketten- oder Wassermotivmodell (Kahnt, 2022; Schwedes & Dudeck, 1993). So erläutert Kahnt (2022, S. 17): *„Die Ausführungen machen deutlich, dass es möglich ist, die Fahrradkette in der Elektrizitätslehre als durchgängige Vorstellungshilfe vom Anfangsunterricht bis weit in die Sekundarstufe I zu nutzen.“*

Konträr dazu sprechen sich Burde und Wilhelm (2017, S. 13) für den Einsatz mehrerer Analogiemodelle und der Nutzung derer spezifischer Vorteile aus: *„Auch bietet es sich an, für [...] jedes Einzelthema die hierfür jeweils beste Analogie heranzuziehen. Zur Veranschaulichung der Konstanz der Stromstärke sowie des Systemcharakters von Stromkreisen bietet sich beispielsweise das Fahrradkettenmodell an, während sich Potenzialansätze wie das Münchner Stäbchenmodell mit entsprechenden Farbkodierungen zur Darstellung des Potenzial- bzw. Spannungsbegriffs bewährt haben.“*

Der Einsatz verschiedener Analogiemodelle kann darüber hinaus zur Erweiterung des Modellverständnisses beitragen. Andererseits deutet aber u. a. die Studie von Kircher und Hauser (1995) darauf hin, dass Modellwechsel für SchülerInnen schwierig sind. Zudem scheinen insbesondere oberflächliche Übereinstimmungen den Zugang zu einer Analogie zu steuern (Gick & Holyoak, 1983; Tenney & Gentner, 1985), sodass das abstrakte Stäbchenmodell insbesondere jüngere SchülerInnen überfordern könnte.

4. Forschungsmotivation und Fragestellungen

Vor dem Hintergrund der von Kahnt (2022) geschilderten, vielversprechenden Eindrücke – auch hinsichtlich der Einführung von Potenzial und Spannung mit dem Fahrradkettenmodell – wird untersucht, ob sich die durchgängige Verwendung dieses Analogiemodells im Vergleich zu dem von Burde und Wilhelm (2017) vorgeschlagenen Ansatz multipler Analogien für die Veranschaulichung von Strom und Spannung hinsichtlich des Lernerfolgs, der Entwicklung des Modellverständnisses sowie motivationaler und kognitiver Faktoren gleichermaßen geeignet erweist. Zudem wird mittels einer zusätzlich konzipierten modellfreien Unterrichtsvariante geprüft, ob sich die den Analogiemodellen zugeschriebenen Vorteile im Vergleich mit einem Potenzialansatz, der einen „Umweg“ über einen Analogbereich meidet, zeigen. In Verbindung mit den drei Untersuchungsbedingungen werden u. a. die folgenden Forschungsfragen untersucht:

F1: Zeigen sich Unterschiede im Verständnis von Potenzial und Spannung?

F2: Gibt es Lernende, die besonders von der Verwendung eines spezifischen Analogiemodells profitieren?

F3: Unterscheiden sich die Gruppen nach dem Unterricht hinsichtlich des Modellverständnisses?

5. Anlage der Studie

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurde eine quasi-experimentelle Feldstudie mit drei Bedingungen durchgeführt: Unterricht zu Potenzial und Spannung (a) mit Fahrradkettenmodell (FKM), (b) mit Höhenmodell (HM) und (c) ohne Analogiemodell (oM). Die Intervention wird durch einen parallelisierten Vor- und Folgeunterricht gerahmt. Der Ablauf der Studie mitsamt der Erhebungszeitpunkte sowie ausgewählter Erhebungsinstrumente ist in Abb. 1 dargestellt.

5.1. Stichprobe

Die Studie wurde an acht niedersächsischen Gymnasien im Schuljahr 2021/22 durchgeführt. Die Teilnahme an der Studie erfolgte seitens der Lehrkräfte auf freiwilliger Basis. Die effektive Stichprobe (SchülerInnen, die an allen Erhebungen teilgenommen haben) umfasst $N=373$ SchülerInnen der Jahrgangsstufen 8 und 9, die in 21 Klassen von 15 Lehrkräften unterrichtet wurden. Die Lehrkräfte wurden den Bedingungen randomisiert zugeteilt unter der Restriktion, dass Lehrkräfte mit mehreren Lerngruppen jeweils verschiedene Bedingungen unterrichten.

5.2. Ablauf der Studie

Die Lerngruppen wurden im Rahmen des gesamten Elektrizitätslehreunterrichts von den Lehrkräften nach vorgegebenen Verlaufsplänen, Materialien und Experimenten unterrichtet, mit denen die Vorgaben des niedersächsischen Kerncurriculums vollumfassend erfüllt werden. Die Materialien sind abrufbar unter www.physikdidaktik.uos.de/elehre_studie2022.

Der in den drei Bedingungen parallelisiert durchgeführte Vorunterricht basiert auf dem Unterrichtsvorschlag von Kahnt (2022), in dem das Fahrradkettenmodell u. a. zur Verringerung von Stromverbrauchsvorstellungen, zur Etablierung eines Antrieb-Strom-Widerstandskonzeptes sowie zur Veranschaulichung des Zusammenhangs der Größen U , P und I eingesetzt wird. In einem zeitlichen Umfang von etwa 20 Unterrichtsstunden wurden dazu die Abschnitte 1 – 6 des Unterrichtskonzepts unterrichtet. Im Anschluss erfolgte eine Erhebung des konzeptbezogenen Vorwissens und Modellverständnisses der SchülerInnen.

Darauffolgend wurde im Umfang von 9 bis 11 Unterrichtsstunden je nach zugeteilter Bedingung der Unterricht zu Potenzial und Spannung mit bzw. ohne Analogiemodell durchgeführt, der sich inhaltlich in vier Abschnitte gliedern lässt: (1) Zunächst wird das elektrische Potenzial in allen drei Bedingungen als neue Größe modellfrei anhand eines Erklärfilms eingeführt und mit der elektrischen Spannung in Beziehung gesetzt. Je nach Bedingung erfolgt daraufhin eine Veranschaulichung von Potenzial und Spannung durch das jeweilige Analogiemodell. (2) In der darauffolgenden Stunde wird das Prinzip der Spannungsmessung geklärt. Ein wesentliches Unterrichtselement ist die Einführung von Potenzial- bzw. Farbmarkierungsregeln, mittels derer im weiteren Unterrichtsverlauf Schaltungen analysiert werden. Sowohl eine einfache Schaltung bestehend aus Batterie, Leitungen und Lampe sowie die erweiterte Schaltung mit offenem Schalter werden durch die Analogiemodelle veranschaulicht und daran Potenzialwerte vorhergesagt und experimentell geprüft. (3) Im dritten Abschnitt wird mittels des Vergleichs von Reihen- und Parallelschaltung das „Zwischenpotential“, das zwischen zwei in Reihe geschalteten Widerständen auftritt, eingeführt. Zur Ermittlung des Werts vom Zwischenpotential wird ein deduktives Vorgehen verfolgt, bei dem zunächst eine Reihenschaltung mit zwei verschiedenen Widerständen betrachtet und deren Potenzialverteilung entlang des Stromkreises mithilfe eines Instruktionstextes erarbeitet wird. Anschließend analysieren die SchülerInnen Reihenschaltungen und prüfen ihre Vorhersagen erneut experimentell. (4) Zuletzt wird die Parallelschaltung thematisiert, die zunächst mithilfe der Potenzialregeln hinsichtlich der Spannungswerte an den Widerständen untersucht wird. Daraus kann abschließend unter Rückgriff auf das Antrieb-Strom-Widerstandskonzept auch die Knotenregel begründet werden.

Zur Erfassung des Verständnisses von Potenzial und Spannung wird direkt und verzögert nach dem Unterricht ein gleicher Nachtest eingesetzt. Um sicherzustellen, dass Effekte verzögert nach dem Unterricht auf die Intervention zurückgeführt werden können, wurde der Folgeunterricht zur Elektrizitätslehre, der im Umfang von insgesamt vier Unterrichtsstunden

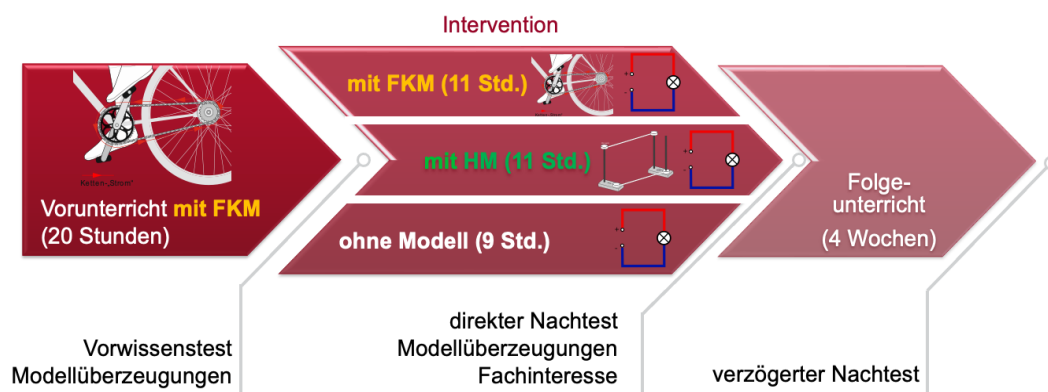


Abb. 1: Ablauf und Design der Studie mitsamt den Erhebungszeitpunkten sowie ausgewählten Erhebungsinstrumenten. Weitere erhobene Kontrollvariablen werden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgelassen.

die quantitative Widerstandsdefinition und deren Abgrenzung vom Ohm'schen Gesetz umfasst, ebenfalls parallelisiert durchgeführt.

Die weiteren Physikstunden vor dem verzögerten Nachtest wurden im schulspezifisch festgelegten nachfolgenden Themenbereich unterrichtet.

5.3. Erhebungsinstrumente

Zur Erfassung des konzeptbezogenen Vorwissens der SchülerInnen nach dem Vorunterricht wurde ein Vortest mit 16 Aufgaben entwickelt, der sich sowohl auf den Analog- wie auch den Zielbereich bezieht. In den Auswertungen der Forschungsfrage F1 wird die Vortestleistung als Kovariate herangezogen.

Direkt und verzögert nach der Intervention soll geprüft werden, inwieweit die SchülerInnen Potenzial- und Spannungswerte in verschiedenen Schaltungen korrekt vorhersagen und Aussagen zum elektrischen Strom treffen können. Dazu wurde ein Nachtest entwickelt, in dem u. a. für sieben verschiedene Schaltungen die Potenzial- und Spannungswerte angegeben werden sollen. Exemplarisch sind die Aufgabenteile 3a) und 3b) in Abb. 2 dargestellt.

Aufgabe 3
Zwei Lampen sind wie in der Schaltung rechts zu sehen an eine Energiequelle angeschlossen. Die Lampen sind baugleich. Es werden die Messpunkte 1 bis 4 betrachtet.

a) Das Potenzial am Minuspol hat den Wert 0 V. Gib jeweils den Potenzialwert für die folgenden Punkte an:

Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
___ V	___ V	___ V	___ V

b) Gib die Spannungswerte zwischen den folgenden Punkten an:

Punkte 1 und 2	Punkte 2 und 3	Punkte 3 und 4	Punkte 1 und 4
___ V	___ V	___ V	___ V

Abb. 2: Teilaufgaben 3a) und b) des Nachtests.

Zur Erfassung des Modellverständnisses der SchülerInnen wurde eine Skala mit N=16 Items entwickelt, die an dem Charakter von Analogiemodellen orientiert ist und vier Subskalen aufweist:

- Aussehen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Ein Modell kann auch nützlich sein, wenn es anders aussieht als der Stromkreis.“
- Multiple Analogiemodelle (n=4)
z.B.: „Oft lassen sich verschiedene Regeln in einem Stromkreis auch mit unterschiedlichen Modellen besonders gut darstellen.“
- Nutzen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Modelle können verwendet werden, um Vermutungen über Stromkreise aufzustellen.“
- Grenzen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Veranschaulicht ein Modell nicht alle Regeln eines Stromkreises, dann ist es unbrauchbar.“

5.4. Auswertung der Daten

Zur Auswertung der quantitativen Daten wurden mehrebenen-analytische Verfahren mit der Software

SPSS Statistics, Version 28, durchgeführt. Zur Einschätzung der Effektgröße wird das Cohen's d herangezogen.

6. Ergebnisse

6.1 Verständnis von Potenzial und Spannung

Zur Auswertung der Forschungsfrage F1 wurden geschachtelte Kovarianzanalysen mit dem Zufallsfaktor „Klasse“ und der Kovariate „Vorwissenstest“ für den direkten und verzögerten Nachtest durchgeführt.

Während sich unmittelbar nach dem Unterricht im paarweisen Vergleich mittels post-hoc-Test nach Bonferroni-Korrektur keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > .05$) zwischen den drei Gruppen zeigen, ist die Gruppe „Höhenmodell“ den weiteren Gruppen im verzögerten Potenzialtest mit kleinem Effekt signifikant unterlegen und die Gruppe „Fahrradkettenmodell“ im verzögerten Spannungstest mit kleinem Effekt gegenüber den weiteren Gruppen statistisch überlegen (Abb. 3 und Tab. 1).

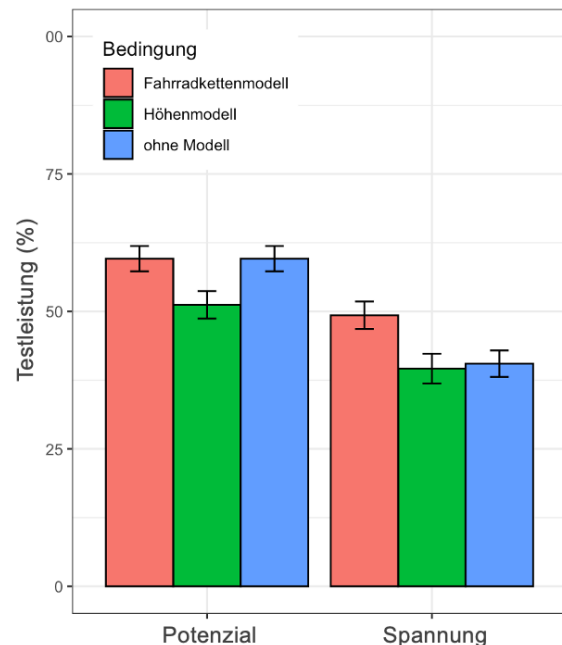


Abb. 3: Mittlere prozentuale Leistung (und Standardfehler) im Potenzial- bzw. Spannungstest in Abhängigkeit der Bedingung im verzögerten Nachtest.

Tab. 1: Effektgrößen signifikanter Ergebnisse im Post-Hoc-Test für den Erhebungszeitpunkt „verzögert nach Intervention“. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = .05$ festgelegt.

	FKM vs. HM	FKM vs. oM	HM vs. oM
Potenzial	d=0.33	n. s.	d=0.32
Spannung	d=0.33	d=0.30	n. s.

Dies deutet darauf hin, dass der Unterricht mit Fahrradkettenmodell gegenüber dem Unterricht mit Höhenmodell sowie ohne Modell hinsichtlich des Verständnisses des Spannungsbegriffs lernwirksamer ist. Unter Berücksichtigung des Nachteils vom Höhenmodell hinsichtlich des Potenzials und dem Vorteil des Fahrradkettenmodells hinsichtlich der Spannung,

liegt die Vermutung nahe, dass die Analogiemodelle das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Potenzial und Spannung gleichermaßen unterstützen könnten. Zur statistischen Prüfung dieser Vermutung wird die Differenz der Leistungen in den Subtests „Potenzial“ und „Spannung“ gebildet (Abb. 4). Eine höhere Differenz wird in diesem Zusammenhang so gedeutet, dass der Übergang von der Potenzial- zur Spannungsvorhersage seltener gelingt.

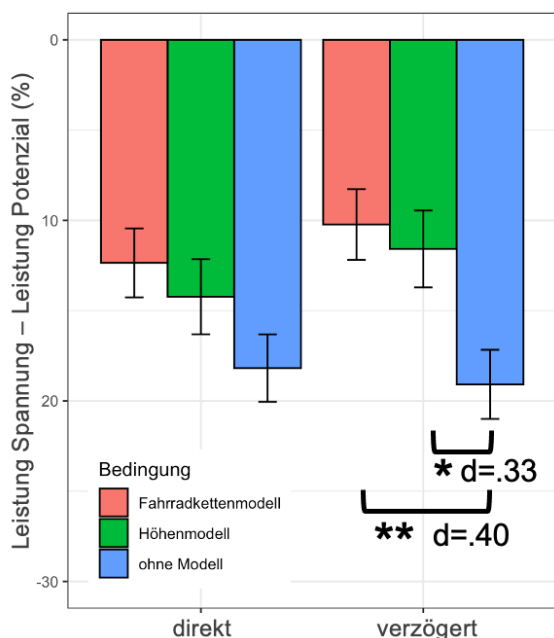


Abb. 4: Mittlere prozentuale Ausprägung der Differenzvariable „Spannung-Potenzial“ zur Prüfung des Verständnisses hinsichtlich des Zusammenhangs von Potenzial und Spannung in Abhängigkeit der Bedingung für den direkten und verzögerten Nachtest. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt des Bereichs von 0% bis 30%.

Hier zeigt sich im verzögerten Nachtest ein signifikanter Unterschied der modellfreien Bedingung gegenüber den weiteren Bedingungen. Daraus kann gefolgert werden, dass das Verständnis der Spannung als Potentialdifferenz durch die Analogiemodelle besser unterstützt wird. Dabei zeigt sich im paarweisen Vergleich jeweils ein kleiner signifikanter Effekt ($d=0.33$ bzw. $d=0.40$).

6.2 Einfluss des Fachinteresses auf die Lernwirksamkeit des Höhenmodells

Zur Untersuchung der Forschungsfrage F2 wurden die SchülerInnen zunächst hinsichtlich der als Moderatoren vermuteten Konstrukte (darunter das Fachinteresse) mittels Mediansplit geteilt und deren Leistungen im Nachtest einem deskriptiven Vergleich unterzogen. Dabei zeigt sich bei dem Vergleich der gering und hoch Interessierten ein differenzielles Bild (Abb. 5). So profitieren hoch Interessierte tendenziell von den Analogiemodellen, während gering Interessierte im Mittel tendenziell geringere Leistungen als im modellfreien Unterricht erzielen.

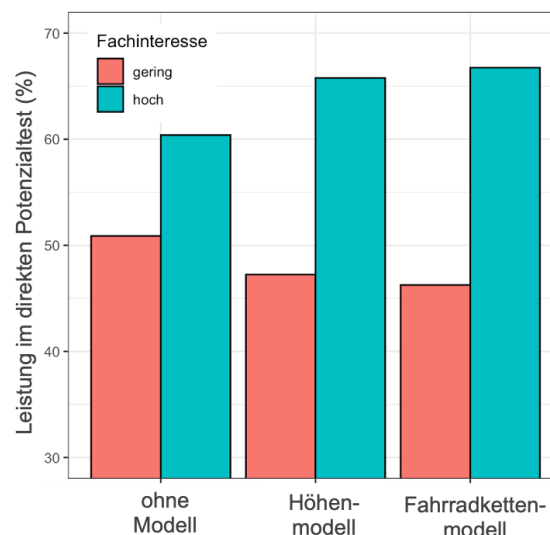


Abb. 5: Mittlere prozentuale Leistung im direkten Potenzialtest in Abhängigkeit der Bedingung sowie des dichotomisierten Fachinteresses der SchülerInnen. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt des Bereichs von 30% bis 70%.

Dies weist auf eine Interaktion zwischen der Bedingung und dem Fachinteresse hin, die mittels einer Mehrebenen-Regressionsanalyse auf statistische Signifikanz geprüft wird. Dabei zeigt sich eine marginal signifikante Interaktion zwischen den Gruppen „Höhenmodell“ und „ohne Modell“ mit kleinem Effekt ($p=.07$, $d=0.37$). Eine damit verbundene Deutung ist, dass die Schere zwischen hoch und gering Interessierten durch die Nutzung des Höhenmodells aufgeht.

6.3 Entwicklung des Modellverständnisses

Die Entwicklung des Modellverständnisses in Abhängigkeit der Bedingungen ist in Abb. 6 dargestellt.

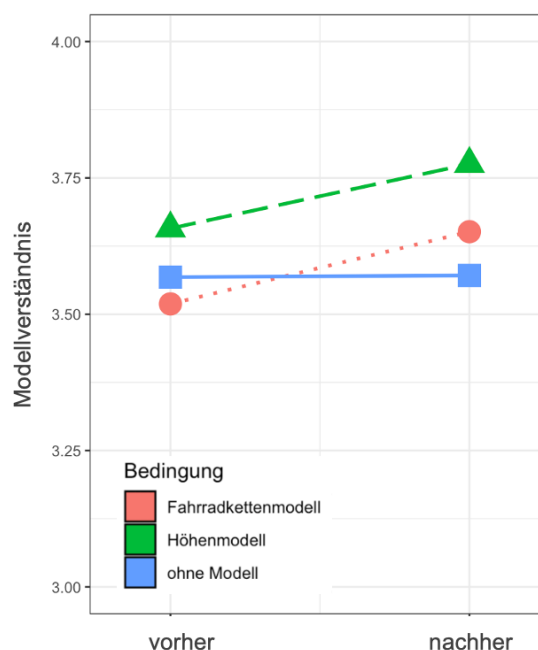


Abb. 6: Verlauf des Modellverständnisses zwischen den Erhebungszeitpunkten vor und direkt nach Intervention. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt der Skala von 3 bis 4. Die Ursprungsskala beginnt bei 1 und endet bei 5.

Demnach gibt es tendenziell einen geringen Zuwachs in den modellbasierten Gruppen, wohingegen in der modellfreien Gruppe erwartungskonform keine Änderung des Modellverständnisses zu beobachten ist. Im Rahmen der Kovarianzanalyse kann bestätigt werden, dass die Bedingungen „Fahrradkettenmodell“ und „Höhenmodell“ gegenüber der Bedingung „ohne Modell“ nach dem Unterricht unter Kontrolle der Modellüberzeugungen vor dem Unterricht mit kleinem Effekt ($d_{FKM,OM}=0.30$ bzw. $d_{HM,OM}=0.36$) signifikant überlegen sind. Zudem ist die Interaktion Bedingung*Zeit bei Festlegung der modellfrei unterrichteten SchülerInnen als Referenzgruppe im entsprechenden Mehrebenenmodell ebenfalls signifikant. Daraus kann hinsichtlich der Forschungsfrage F3 gedeutet werden, dass der modellbasierte Unterricht das Lernen über Analogiemodelle auch ohne expliziten Unterricht über Modelle unterstützt.

7. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass eine durchgängige Verwendung des Fahrradkettenmodells (Kahnt, 2022) weder hinsichtlich der Leistung, noch hinsichtlich des Modellverständnisses dem multiplen Analogieansatz (Burde & Wilhelm, 2017) unterlegen ist. Es zeigt sich darüber hinaus verzögert nach dem Unterricht ein Vorteil des Fahrradkettenmodells hinsichtlich der Spannung. Dass sich die erwarteten, spezifischen Vorteile des Höhenmodells in Bezug auf Potenzial und Spannung in den Ergebnissen der Studie nicht zeigen, lässt verschiedene Vermutungen zu: So könnten einerseits die mit dem Modellwechsel verbundenen Anforderungen für die SchülerInnen zu schwierig sein (Duit & Glynn, 1995), andererseits auch im Stäbchenmodell erforderliche Abstraktion insbesondere für jüngere SchülerInnen zu anspruchsvoll sein (Kircher, 1984). Unter der Annahme, dass ein elaborierteres Modellverständnis zu dem Verstehen und Erlernen von Physik beiträgt (Leisner-Bodenthin, 2006), stellt sich die Frage, inwieweit die Lernwirksamkeit der beiden Modellansätze durch einen expliziten Unterricht über die Natur und den Nutzen von Analogiemodellen gesteigert werden kann.

8. Literatur

- Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2017): Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 28 (157), S. 8-13.
- Burde, J.-P. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Band 259, Berlin: Logos Verlag.
<http://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Weatherby, T. S.; Schubatzky, T.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Hopf, M.; Ivanjek, L.; Dopatka, L.; Spatz, V. (2022): Mehr Spannung beim Thema Stromkreise! In: *plusLucis* 2 (2022), S. 22-26.
- Cohen, R.; Eylon, B.; Ganiel, M. (1983): Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. In: *American Journal of Physics* 51 (5), S. 407-412.
- Duit, R.; Glynn, S. (1995): Analogien - Brücken zum Verständnis. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 27 (6), S. 4-10.
- Gleixner, C. (1998): Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial. Dissertation. LMU München.
- Herrmann, F.; Schmälzle, P. (1984): Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 37 (8), S. 476-482.
- Kahnt, M. (2022): Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. In: *plusLucis* 2 (2022), S. 14-21.
- Kircher, E. (1984): Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. In: *Der Physikunterricht* 18 (2), S. 46-61.
- Kircher, E. (1989): Analogien im Physikunterricht. In W. Schneider (Hrsg.), *Wege in der Physikdidaktik*. Erlangen: Palm und Enke, S. 47-57.
- Kircher, E.; Hauser, W. (1995): Analogien zum Spannungsbegriff in der Hauptschule. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 27 (3), S. 18-22.
- Kircher, E. (2015): Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 3. Auflage, S. 783-808.
- Koller, D.; Waltner, C.; Wiesner, H. (2008): Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 57 (6), S. 6-18.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006): Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 12, S. 91-109.
- Maiche, U. (1982): Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 30 (11), S. 383-387.
- Rhöneck, Chr. v. (1985): The Introduction of Voltage as an Independent Variable – the Importance of Preconceptions, Cognitive Conflict and Operating Rules. In Duit, R.; Jung, W.; Rhöneck, Chr. v. (Hrsg.), *Aspects of Understanding Electricity. Proceedings of an International Workshop*. IPN, Kiel. S. 275-286.
- Rhöneck, Chr. v. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie* 34 (13), S. 10-14.
- Schubatzky, T.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Burde, J.-P.; Dopatka, L.; Hopf, M.; Ivanjek, L.; Spatz, V.; Wilhelm, T. (2022): Die Unterschiedlichkeit des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I. In: *plusLucis* 2 (2022), S. 4-7.

- Schumacher, M.; Wiesner, H. (1997). Erprobung des Potentialansatzes in der Elektrizitätslehre in Form einer Akzeptanzbefragungssequenz. In: Vorträge Physikertagung, DPG-Tagung 1996, S.573-578
- Schwedes, H.; Dudeck, W.-G. (1993): Lernen mit der Wasseranalogie. Eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 4 (16), S. 16-23.
- Shipstone, D. M. (1984): A study of children's understanding of electricity in simple D. C. Circuits. In: European Journal of Science Education 6 (2), S. 185-198.
- Steinberg, M. S.; Wainwright, C. L. (1993): Using Models to Teach Electricity - The CASTLE Project. In: The Physics Teacher 31 (6), S. 353-357.
- Urban-Woldron, H.; Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis der Elektrizitätslehre. In: Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften 18, S. 201-227.
- Wilhelm, T.; Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.) (2018), Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Verlag. S. 115-138.