

Zum Einfluss der Nutzung von Modellanalogien auf das Konzeptwissen -Bericht zum Leistungsstand gymnasialer Mittelstufenschüler*innen in der Elektrizitätslehre-

Florian Frank, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
florian.frank@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Zur Vermittlung der grundlegenden Konzepte der Elektrizität werden häufig Modelle zum elektrischen Stromkreis verwendet. Diese Modelle basieren meist auf Analogien zu den Schüler*innen bekannten Objekten oder Konzepten, wie einer Fahrradkette oder dem Luftdruck. Durch die Nutzung der Modellvorstellungen wird versucht, zwischen den bekannten Objekten (z.B. den Gliedern einer Fahrradkette) und den Fachinhalten (z.B. den sich in einem Stromkreis bewegendem Elektronen) Verknüpfungen herzustellen. Diese Verknüpfungen sollen den Schüler*innen dabei helfen, ein Grundverständnis von den Konzepten der Elektrizität zu entwickeln. In den Schuljahren 2022/23 und 2023/24 wurden an bayerischen Gymnasien Daten zur Nutzung von Modellvorstellungen im Elektrizitätslehre-Unterricht und zum Konzeptwissen von Mittelstufen-Schüler*innen erhoben. In allen befragten Klassen wurde mindestens eine analogiebasierte Modellvorstellung zur Vermittlung genutzt, hauptsächlich das Fahrradkettenmodell oder eine Druck- oder Höhendifferenzbasierte Modellvorstellung. Im Konzeptwissen zur Elektrizität zeigen sich Unterschiede zwischen vertieft unterrichteten und nicht vertieft unterrichteten Schüler*innen. Zusätzlich ergibt sich für nicht vertieft unterrichtete Schüler*innen ein positiver Einfluss auf das Konzeptwissen, wenn zur Vermittlung verschiedene Modellvorstellungen unterschiedlicher Analogiebasen genutzt werden.

1. Einleitung

Die Vermittlung der Elektrizität innerhalb des Physikunterrichts kann als höchst komplex bezeichnet werden. Auf Seite der Schüler*innen zeichnet sich das in aktuellen Forschungsergebnissen zum Konzeptwissen der Elektrizität im Aufkommen fehlerhafter Vorstellungen ab: So kann beispielsweise nach Ende des einführenden Unterrichts in die Thematik (in welchem die Konzepte der Stromstärke, der Spannung und des elektrischen Widerstands sowie Gesetze für Schaltkreise mit Reihen- und Parallelschaltungen gelehrt werden) noch bei mehr als der Hälfte der Schüler*innen nachgewiesen werden, dass sie die Spannung als Eigenschaft des Stroms missverstehen (Burde, 2018). Insgesamt differenzieren in der Altersstufe ungefähr zwei von drei Schüler*innen fehlerhaft zwischen den Konzepten der Stromstärke und Spannung (Ivanjek et al., 2021). Leider verbessert sich das Aufkommen fehlerhafter Vorstellungen im Laufe der Schulzeit nicht gänzlich. Selbst bei Studienanfänger*innen sind diese weiterhin nachweisbar (Burde et al., 2022; Fromme, 2018; Rahmawati et al., 2023). Ähnliche Befunde zeigen sich auch in älteren Veröffentlichungen zur Thematik (zusammengefasst z.B. von Fromme, 2018).

Von Seiten der Physikdidaktik und der Lehrpersonen wurden daher über die Jahrzehnte hinweg eine Vielzahl von Unterrichtskonzeptionen entwickelt, die die Vermittlung der E-Lehre als Ziel haben (Wilhelm et al., 2021; Burde, 2018). Viele dieser Konzeptionen

eint die Verwendung von Modellvorstellungen auf Analogiebasis. Mit der Nutzung dieser wird versucht, die den Schüler*innen neuen und aus der eigenen Erfahrungswelt nicht bekannten Konzepte der Elektrizität (z.B. die Spannung) auf bekannte Konzepte (z.B. einen Höhenunterschied) zurückzuführen. Die Verwendung von solchen analogiebasierten Modellvorstellungen kann zu einem tieferen Konzeptverständnis beitragen (Duit et al., 2001), wobei der tatsächliche Einfluss abhängig ist von der verwendeten Modellvorstellung und der Implementation derselben in der Unterrichtskonzeption.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Verwendung digitaler Technologien zur Unterstützung der Vermittlung der E-Lehre (Frank et al., 2023) wurden unter anderem Daten zur Nutzung von analogiebasierten Modellvorstellungen im Physikunterricht von bayerischen Gymnasialklassen der 8. Jahrgangsstufe und Ausprägung des Konzeptwissens der Schüler*innen nach dem Unterrichtsgang zur Elektrizität gesammelt. Anhand dieser Daten wurde ermittelt, welche Modellvorstellungen in der Unterrichtspraxis genutzt werden und welchen Einfluss die Nutzung der unterschiedlichen Modellvorstellungen auf das Konzeptwissen der Schüler*innen hatte.

2. Modellvorstellungen zur Elektrizität

2.1. Klassifikation der Modellvorstellungen

Die für die Vermittlung entwickelten Modelle können nach ihrer Analogiebasis kategorisiert werden. Einem

Vorschlag von Burde und Wilhelm (2017) folgend wird hier eine Differenzierung ausgewählter Modellvorstellungen nach der zur Erklärung der Spannung verwendeten Analogie vorgestellt.

Ein möglicher Ansatz ist die Versinnbildlichung der Spannung als Höhenunterschied. Ebenso wie eine Spannung in einem geschlossenen Stromkreis für eine Ladungsbewegung nötig ist, ist ein Höhenunterschied für die Bewegung von Materie nötig. Mögliche Analogiegegenstände bzw. -konzepte sind hier die Murbelbahn, Rutschen oder Skipisten, häufig wird auch ein Wasserfall-System bzw. ein offener Wasserkreislauf zur Vermittlung genutzt (Mogstad & Bungum, 2020). Im offenen Wasserkreislauf wird beispielsweise durch eine Pumpe Wasser aus einem niedrigen Reservoir in ein hohes Reservoir gepumpt, von dort fließt es über ein System von Rohren (als Analogie zu den in Stromkreis verwendeten Kabeln) ins niedrigere Reservoir zurück.

Davon zu differenzieren ist der geschlossene (oder ebene) Wasserkreislauf. Obwohl viele der Analogiegegenstände ähnlich sind (Wasserrohre als Kabel, Ventile als Schalter, u.ä.), unterscheiden sich die Modellvorstellungen in der Art der Spannungsvermittlung. Im geschlossenen Wasserkreislauf sorgt eine Pumpe für einen Druckunterschied in den angrenzenden Rohren, welcher durch einen Wasserstrom vom Überdruck- zum Unterdruckbereich ausgeglichen wird. Eine Versinnbildlichung der Spannung als Druckdifferenz ist auch Basis des Elektronengasmodells. Hier sorgt ebenso eine Pumpe für einen Druckunterschied in den angrenzenden Bereichen, der primäre Unterschied zwischen beiden Modellen liegt im gepumpten Medium, dem Elektronengas (Burde, 2018).

Die elektrische Spannung als Antriebskraft ist die Basis des Fahrradkettenmodells (Kahnt, 2022). Dieses betont durch die starren Kettenglieder der Kette als Analogie zu einem starren Elektronenring in den Leitern den Kreislaufcharakter des Stromkreises.

Eine vielleicht kindernähere Art, die Vorgänge in einfachen Stromkreisen zu erklären, ist das Energiehutmodell (Schmid & Kraus, 2017). In diesem bewegen sich kleine Männchen mit Hut von einer Quelle aus zu einem Energieverbraucher, wo sie ihren Energiehut absetzen und wieder zur Quelle zurücklaufen, um sich erneut einen solchen aufzusetzen. Die Spannung wird hier als transportierte Energie pro Ladung interpretiert, also z.B. als die Größe des Hutes.

2.2. Einsatz von Modellvorstellungen an bayerischen Gymnasien

Im Zeitraum von Dezember 2022 bis Februar 2024 wurden Physik-Lehrpersonen aus 19 Gymnasialklassen der 8. Jahrgangsstufe zu den von ihnen im Unterricht verwendeten Modellvorstellungen befragt. Alle Lehrpersonen gaben an, für die Vermittlung Modellvorstellungen zu benutzen, die auf Analogien basieren. Kategorisiert nach der Analogiebasis wurde in 13 Klassen im Unterricht eine Druckdifferenzanalogie,

in 11 Klassen eine Höhendifferenzanalogie und in 9 Klassen eine Antriebskraftanalogie genutzt (siehe für eine Feindifferenzierung auch Tab. 1). Nur in einer Klasse wurde für die Vermittlung auf das Energiehutmodell zurückgegriffen, während eine andere Lehrperson einen Vermittlungsansatz wählte, der als „Tischtennisbälle in Schülerhänden“ bezeichnet wurde. Auf Nachfrage wurde spezifiziert, dass dafür die Schüler*innen einen Kreis bilden, in dem die Bälle von einer Person zur nächsten gereicht werden. Durch die Eigenerfahrung soll dadurch der System- und Kreislaufcharakter stärker verinnerlicht werden.

Tab. 1: Modellnutzung in den befragten Klassen (differenziert nach Analogiebasis und Analogieobjekt)

		<i>In ... von 19 Klassen</i>	
Druckdifferenz	Geschl. Wasserkreislauf	7	13
	Elektronengas	6	
Höhen- differenz	Murbelbahn	7	11
	Rutschen	5	
	Offener Wasserkreislauf	4	
	Skipisten	1	
Antriebs- kraft	Achterbahn	1	9
	Fahrradkette	9	
	Erbsen in Schlauch	1	
Energie- transport	Energiehut	1	1
Selbst- erfahrung	TT-Bälle in Schülerhänden	1	1

Die befragten Lehrpersonen gaben zudem an, dass in 6 der 19 Klassen in der Vermittlung der Elektrizität auf die Verwendung einer einzelnen Modellvorstellung zurückgegriffen wurde, in den anderen 13 Klassen wurden mindestens zwei, in einzelnen Fällen bis zu vier verschiedene Modellvorstellungen genutzt (siehe für eine Feindifferenzierung auch Tab. 2). Interessant ist hier zudem, dass in insgesamt 10 Klassen Modellvorstellungen mit unterschiedlichen Analogiebasen (also z.B. das Elektronengasmodell, ein Druckdifferenzmodell, und das Fahrradkettenmodell, ein Antriebskraftmodell) für die Vermittlung genutzt wurden.

Tab. 2: Zahl der genutzten Modelle und Differenzierung nach Analogiebasis

		<i>In ... von 19 Klassen</i>
Anzahl der genutzten Modelle	Ein Modell	6
	Zwei Modelle	6
	Drei Modelle	3
	Vier Modelle	4
Modelle aus vers. Analogiebasen	bekannt	10
	nicht bekannt	9

3. Konzeptwissen

3.1. Erhebungsinstrument

Zusätzlich zur Erhebung der für die Vermittlung genutzten Modellvorstellungen wurde das Konzeptwissen der Schulklassen gemessen. Da im Rahmen des Forschungsprojekts einige der Schulklassen vor Ende des regulären Schulunterrichts zur Elektrizität den Konzeptwissenstest ausgefüllt haben, wird hier nur über eine Teilstichprobe der 19 Klassen berichtet. Zum Zeitpunkt der Erhebung hatten 14 Klassen den regulären Unterricht beendet, insgesamt liegen damit den folgenden Analysen Daten von $N = 291$ Schüler*innen zugrunde.

Die Daten zum Konzeptwissen wurde innerhalb einer regulären Schulstunde papierbasiert erhoben, mittels des 2T-SEC-Tests (Ivanjek et al., 2021). Die insgesamt 25 Items des 2T-SEC-Tests lassen sich dabei fünf zentralen Themen der Elektrizitätslehre zuordnen: den offenen und geschlossenen Stromkreisen, der Stromstärke, der Spannung, dem elektrischen Widerstand, und den Parallel- und Reihenschaltungen. Alle Items sind nach demselben Prinzip aufgebaut: Nach einem kurzen Einleitungstext werden einer oder mehrere Schaltkreise dargestellt, zu denen eine Frage beantwortet werden muss (z.B. „Welche Spannung liegt zwischen den Punkten 1 und 2 sowie 2 und 3 an?“). Aus drei bis sieben Antwortmöglichkeiten muss für die erste Stufe der Beantwortung die richtige ausgesucht werden. Im Anschluss wird mit „Warum?“ explizit nach einer Begründung der Antwort der ersten Stufe gefragt. Erneut kann aus drei bis sechs Antwortmöglichkeiten gewählt werden. Ein Item zählt nur dann als korrekt gelöst, wenn sowohl die erste als auch die zweite Stufe richtig beantwortet wurde.

Im Fragebogen, der im Rahmen des Forschungsprojekts zur Erhebung verwendet wurde, wurden 23 der 25 originalen Items verwendet. Zwei Items wurden aus Passungsgründen (die Inhalte der Items werden im bayerischen Lehrplan nicht vermittelt) entfernt.

3.2. Datenaufbereitung

Die Daten wurde nach der probabilistischen Testtheorie (siehe z.B. Neumann, 2014) für die Auswertung aufbereitet. Im Rahmen dieser Aufbereitung wird jeder Beantwortung (also jeder Person) ein Fähigkeitswert zugeordnet und jedem Item eine Schwierigkeit. Ist der Fähigkeitswert einer Person gleich der Schwierigkeit eines Items, so besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50%, dass die Person ein Item dieser Schwierigkeit korrekt beantwortet. Ist der Fähigkeitswert geringer, so verringert sich die Wahrscheinlichkeit der korrekten Beantwortung, ist der Fähigkeitswert höher, steigt sie. Zusammenfassen kann man die Ergebnisse der Datenaufbereitung in einer Wright-Map (siehe Abb. 1). Auf der linken Seite derselben ist ein Histogramm der Personenfähigkeiten dargestellt, auf der rechten Seite die Einzelitems mit ihren jeweiligen Schwierigkeiten. Beide werden in derselben, am rechten Rand aufgetragenen Skalierung präsentiert.

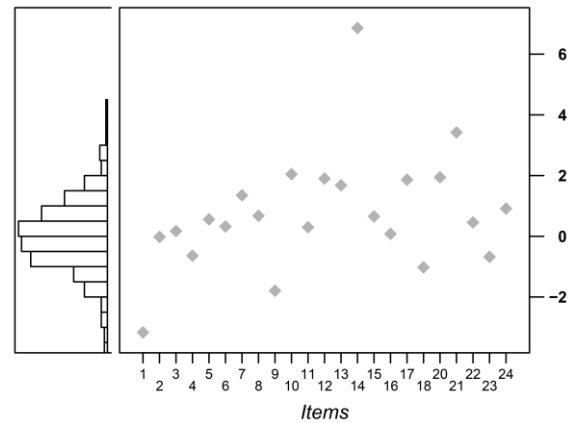


Abb. 1: Wright-Map der Personenfähigkeiten (links) und Itemschwierigkeiten (rechts) aus dem Konzeptwissenstest

Der Großteil der Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten liegt im Bereich zwischen -2 und 2 , der Test eignet sich damit grundlegend gut für eine Differenzierung der Schüler*innen-Stichprobe nach ihren Personenfähigkeiten. Zusätzlich kann man erkennen, dass einzelne Items deutlich zu leicht (im Falle von Item 1) oder zu schwer (im Falle von Items 14 und 21) für die untersuchte Zielgruppe sind. Das spiegelt auch der Prozentsatz der korrekten Beantwortungen: Item 1 wurde von 93,5 % der Schüler*innen richtig bearbeitet, Item 14 von 6,3 % und Item 21 von 9,6 %.

3.3. Analyse der Itemschwierigkeit

Die Zuordnung der Items zu den Themengebieten erlaubt eine Aussage über die durchschnittliche Schwierigkeit der Themengebiete und damit darüber, welche Konzepte für die Schüler*innen einfacher zu verstehen sind und welche schwieriger (siehe Abb. 2).

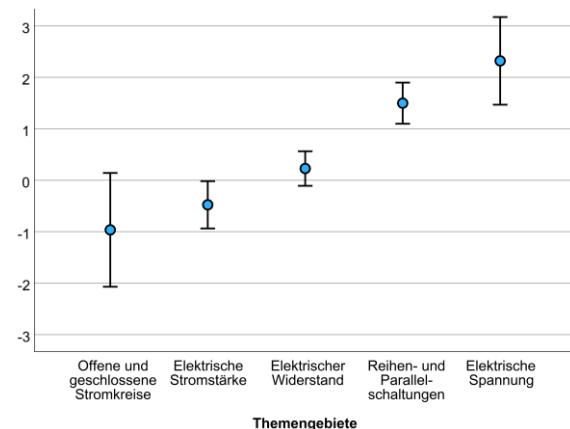


Abb. 2: Durchschnittliche Itemschwierigkeiten

Aufgaben aus dem Themenbereich „Offene und geschlossene Stromkreise“ (Items 1, 2 & 11) werden von den Schüler*innen im Schnitt am besten bearbeitet, wobei hier auch das sehr einfache Item 1 stark zum niedrigen Durchschnitt der Itemschwierigkeit beiträgt.

Fragestellungen zur elektrischen Stromstärke (Items 9, 15, 18, 22 & 23) und zum elektrischen Widerstand (Items 4, 5, 16 & 24) bilden den unteren bis mittleren

Schwierigkeitsbereich, wobei die der elektrischen Stromstärke zugeordneten Items 9, 18 & 23 nach Item 1 die leichtesten Items sind.

Aufgaben, die sich um Identifizierung von Reihen- und Parallelschaltungen drehen (Items 6, 10, 13 & 20), stellen die Schüler*innen vor größere Herausforderungen. Erstmals hat hier das leichteste Item des Themengebiete (Item 6) eine positive Schwierigkeit, wurde also von weniger als der Hälfte der Schüler*innen korrekt bearbeitet. Bei allen Aufgaben des Themengebiete zeigt sich außerdem ein Muster im Antwortverhalten: Konsistent wird bei den zweistufigen Items die erste Stufe besser bearbeitet als die zweite. Der durchschnittliche Prozentsatz korrekter Antworten der ersten Stufe liegt bei 56,25 %, während die zweite Stufe nur in durchschnittlich 27,6 % der Fälle korrekt gelöst wird. Damit erkennen die Schüler*innen häufig korrekt, um was für eine Art von Schaltung es sich handelt, können aber für ihre korrekte Entscheidung nicht die passende Begründung identifizieren. Woher dieses Phänomen kommt, kann mit den vorliegenden Daten nicht genauer untersucht werden. Eine mögliche Interpretation wäre, dass im Unterricht eine Begründung der Identifizierung selten verlangt wird und daher diese Argumentationsfähigkeit nicht trainiert wird.

Der Aufgabenbereich zur elektrischen Spannung (Items 3, 7, 8, 12, 14, 17 & 21) ist der für die Schüler*innen komplexeste. Durch die beiden sehr schweren Items 14 und 21 ist der Mittelwert der Itemschwierigkeiten dieses Aufgabenbereichs größer als 2 und damit eigentlich für die Stichprobe insgesamt nicht angemessen. Für die Interpretation muss angemerkt werden, dass im bayerischen Lehrplan für Gymnasien im Unterrichtsfach Physik nach dem Prinzip des Spiralcurriculums vorgegangen wird: Die elektrische Spannung wird in der 8. Jahrgangsstufe erstmalig eingeführt und dabei zunächst im Rahmen eines „Modell des elektrischen Stromkreises [...] als Antrieb für den elektrischen Strom“ verstanden (ISB, 2024). Erst in der darauffolgenden 9. Jahrgangsstufe wird eine „Präzisierung der Spannung als Potentialdifferenz“ vollzogen (ISB, 2024). Dass die Schüler*innen der 8. Jahrgangsstufe die Aufgaben zu Spannung daher schlechter bearbeiten als die Aufgaben zu den Inhalten der Elektrizitätslehre, die bereits in der 8. Jahrgangsstufe vollumfänglich unterrichtet werden, ist damit wenig verwunderlich. Trotzdem ist hinsichtlich anderer Forschungsergebnisse zur Komplexität der elektrischen Spannung (siehe z.B. Burde, 2018; Ivanjek et al., 2021) fraglich, inwieweit sich die Bearbeitung der Aufgaben dieses Themenblocks nach dem Unterricht zur Elektrizitätslehre der 9. Jahrgangsstufe verbessert.

3.4. Analyse der Konzeptwissensunterschiede nach Zweigzugehörigkeit

Im bayerischen Gymnasialschulsystem ist in der 7. Jahrgangsstufe die Wahl einer Ausbildungsrichtung vorgesehen, dafür entscheiden die Schüler*innen,

welche Schulfächer sie in den kommenden Jahrgangsstufen vertieft besuchen wollen. Gewählt werden kann zwischen insgesamt sechs sogenannten Zweigen, davon wird in nur einem Zweig, dem naturwissenschaftlich-technologischen (NTG), das Fach Physik vertieft unterrichtet. Ein vertiefter Unterricht resultiert in einem erhöhten Stundenkontingent, also mehr Unterrichtszeit, die sowohl für die Vertiefung der Inhalte des Kerncurriculums als auch für die Erarbeitung von darüber hinausgehenden Inhalten verwendet werden kann. Eine Analyse von Merzyn (2010) ergab für die Kurswahl in der Oberstufe (bei der die Schüler*innen eine ähnliche Wahl für bzw. gegen naturwissenschaftliche Fächer treffen können), dass sich vor allem die Schüler*innen mit großem Fachinteresse, hohem Leistungsniveau und hoher fachlicher Selbsteinschätzung in den Naturwissenschaften für diese Kurse entscheiden. Für die Wahl des Zweiges an bayerischen Gymnasien berichten Lutz et al. (2023) von einem signifikant höheren Interesse an Physik bei Schüler*innen, die den NTG-Zweig wählen, im Vergleich zu denen, die sich gegen den NTG-Zweig entscheiden.

Für die im Rahmen des Forschungsprojekts befragten Klassen wurde erhoben, ob diese vertieft unterrichtet werden (im NTG-Zweig) oder nicht (in Nicht-NTG-Zweigen). Mittels eines t-Test für unabhängige Stichproben wurde der Einfluss des Zweigs auf das Konzeptwissen der Schüler*innen untersucht. Dieser ergab einen signifikanten Unterschied im Konzeptwissen der Schüler*innen des NTG-Zweigs ($M = 0.209$, $SE = 0.114$) und der Schüler*innen der Nicht-NTG-Zweige ($M = -0.119$; $SD = 0.080$); $t(289) = 2.434$, $p = 0.016$, $d = 0.288$ (siehe Abb. 3).

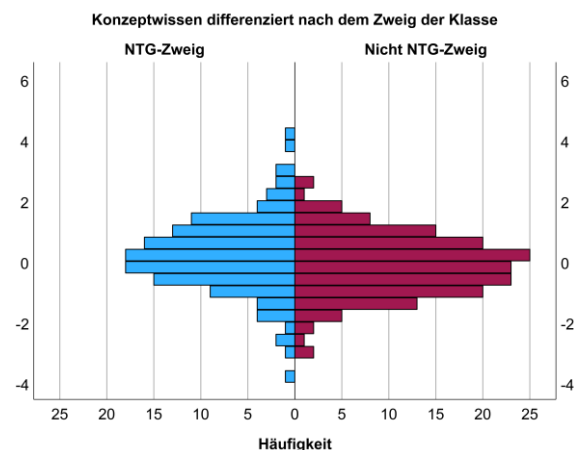


Abb. 3: Vergleich der Konzeptwissensverteilung in den Zweigen

Die zusätzlichen Unterrichtsstunden und die tiefere Beschäftigung mit den Inhalten der Elektrizitätslehre im Rahmen des NTG-Zweigs sind vermutlich ein maßgeblicher Faktor für diesen signifikanten Unterschied, aber auch die Interessens- und daraus resultierenden Motivationsunterschiede tragen wahrscheinlich zu diesem bei. In den weiteren Analysen werden die Schüler*innen des NTG-

Zweigs und die Schüler*innen der Nicht-NTG-Zweige getrennt betrachtet.

4. Ergebnisse zur Interaktion von zur Vermittlung genutzten Modellen und Konzeptwissen

Im Rahmen der Datenauswertung sollte geprüft werden, inwiefern die Art der Nutzung von auf Analogien basierenden Modellvorstellungen im Unterricht einen Einfluss auf das ausgebildete Konzeptwissen der Schüler*innen hat. Eine Auswertung nach Analogiebasis oder Feinanalogie ist ob der geringen Anzahl von Klassen pro Gruppe nicht sinnvoll. Überprüft wurde stattdessen, ob die Anzahl der in der Vermittlung genutzten Modelle oder die Nutzung von Modellen unterschiedlicher Analogiebasen einen Einfluss auf das Konzeptwissen haben.

Für die Untersuchung des Einflusses der Anzahl der für die Vermittlung genutzten Modelle wurden die Schüler*innen nach Zweig und Anzahl der ihnen bekannten Modellvorstellungen aufgeteilt. Für die Anzahl der Modellvorstellungen wurden zwei Gruppen gebildet: Gruppe 1 wurde die Elektrizitätslehre mit exakt einer Modellvorstellung vermittelt, während Gruppe 2 zwei oder mehr Modellvorstellungen im Unterricht präsentiert bekam. Mittels t-Tests für unabhängige Stichproben wurde der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit auf das Konzeptwissen der Schüler*innen untersucht. Für die im NTG-Zweig unterrichteten Schüler*innen ergab sich kein signifikanter Unterschied im Konzeptwissen bei der Nutzung eines Modells ($M = 0.317$, $SE = 0.196$) und bei der Nutzung von mehr als einem Modell ($M = 0.147$; $SD = 0.139$); $t(124) = 0.718$, $p = 0.474$, $d = 0.133$. Für die nicht im NTG-Zweig unterrichteten Schüler*innen ergab sich ein signifikanter Unterschied im Konzeptwissen bei der Nutzung eines Modells ($M = -0.351$, $SE = 0.133$) und bei der Nutzung von mehr als einem Modell ($M = 0.028$; $SD = 0.097$); $t(163) = 2.344$, $p = 0.020$, $d = 0.375$.

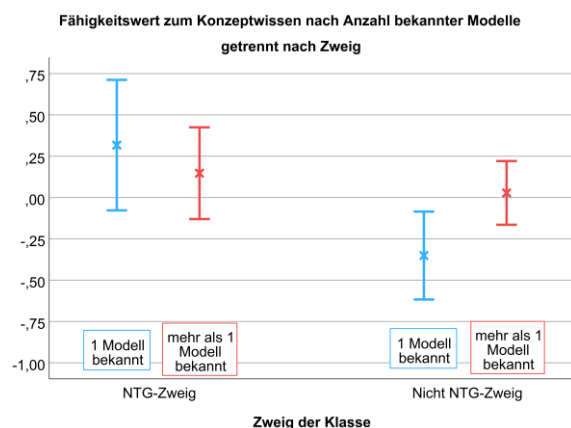


Abb. 4: Durchschnittliches Konzeptwissen nach Zweigzugehörigkeit und Anzahl der bekannten Modelle

Für die Untersuchung, ob die Kenntnis von Modellvorstellungen unterschiedlicher Analogiebasen einen Einfluss auf das Konzeptwissen hat, wurde ähnlich vorgegangen. Die Schüler*innen wurden nach Zweig

und Bekanntheit unterschiedlicher Analogiebasen aufgeteilt. Es wurde mittels t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht, ob die Schüler*innen, denen Modelle unterschiedlicher Analogiebasen bekannt sind, sich von denen, die nur Modelle einer Analogiebasis kennen, unterscheiden.

Für die im NTG-Zweig unterrichteten Schüler*innen ergab sich kein signifikanter Unterschied im Konzeptwissen durch die Kenntnis unterschiedlicher Analogiebasen ($M = 0.147$, $SE = 0.139$) bzw. Unkenntnis unterschiedlicher Analogiebasen ($M = 0.317$; $SD = 0.196$); $t(124) = 0.718$, $p = 0.474$, $d = 0.133$. Für die nicht im NTG-Zweig unterrichteten Schüler*innen ergab sich ein signifikanter Unterschied im Konzeptwissen durch die Kenntnis unterschiedlicher Analogiebasen ($M = 0.041$, $SE = 0.109$) bzw. Unkenntnis unterschiedlicher Analogiebasen ($M = -0.302$; $SD = 0.115$); $t(163) = 2.173$, $p = 0.031$, $d = 0.339$.

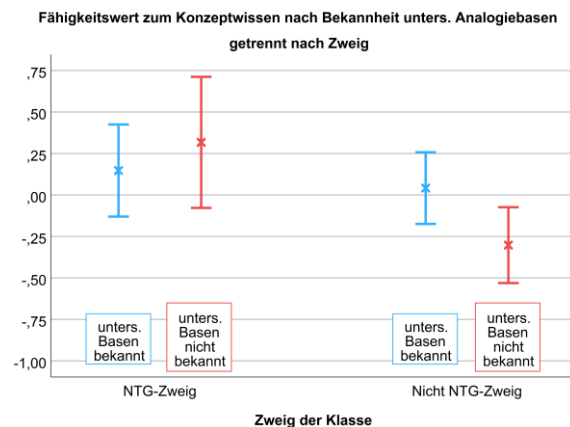


Abb. 5: Durchschnittliches Konzeptwissen nach Zweigzugehörigkeit und Bekanntheit unters. Analogiebasen

Damit zeigte sich insgesamt für Schüler*innen des NTG-Zweigs, dass weder die Anzahl der bekannten Modellvorstellungen noch die Kenntnis von Modellen unterschiedlicher Analogiebasen einen Einfluss auf das Konzeptwissen haben, während Schüler*innen der Nicht-NTG-Zweige in Bezug auf ihr Konzeptwissen sowohl davon profitieren, mehrere Modellvorstellungen kennenzulernen als auch davon, Modellvorstellungen aus unterschiedlichen Analogiebasen zu kennen.

Ziel des Elektrizitätslehreunterrichts ist die Vermittlung derselben und die Ausbildung eines adäquaten Konzeptwissens. Die verschiedenen Modellvorstellungen stellen in diesem Kontext damit unterschiedliche Zugänge zum selben Thema dar. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass es für die (vermutlich interessierteren, leistungsfähigeren und naturwissenschaftlich begabteren) Schüler*innen des NTG-Zweigs ausreicht, einen einzelnen solchen Zugang präsentiert zu bekommen. Möglicherweise sind bei diesen Schüler*innen entweder das naturwissenschaftliche Grundverständnis oder die Motivation, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen, hoch genug, sodass bei jeder beliebigen Art der Vermittlung ein ähnlich

hohes Konzeptwissen ausgebildet werden kann. Im Gegensatz dazu profitieren die (vermutlich weniger interessierten, leistungsfähigen und naturwissenschaftlich begabten) Schüler*innen der Nicht-NTG-Zweige davon, im Unterricht mehrere Zugänge zur Elektrizitätslehre kennenzulernen, die sich auch in der Grundlage der Vermittlung (der Analogiebasis) unterscheiden. Die Schüler*innen haben dann die Möglichkeit, den Zugang, der für sie am besten verständlich ist, zu nutzen und sich darüber ihr Konzeptwissen auszubilden. Wird nur eine Modellvorstellung im Unterricht genutzt, finden manche Schüler*innen über diese (eventuell aufgrund des vergleichsweise niedrigeren naturwissenschaftlichen Grundverständnisses) keinen Zugang zum Thema und erarbeiten sich den Zugang (eventuell aufgrund einer niedrigeren Motivation) auch nicht auf anderen Wegen.

5. Zusammenfassung

Der vorgestellte Einblick in die Unterrichtspraxis an bayerischen Gymnasien ergab für die frühe Elektrizitätslehre, dass alle befragten Lehrpersonen in ihrem Unterricht für die Vermittlung der Elektrizität auf analogiebasierte Modellvorstellungen zurückgreifen. Es gibt hier anscheinend einen forschungs- und praxisweiten Konsens über die Sinnhaftigkeit der Vermittlung mittels Modellvorstellungen, allerdings nicht über die dafür zu nutzende Modellvorstellung bzw. nutzenden Modellvorstellungen. Es zeigte sich hier in der Praxis eine breite Methodenvielfalt, in 19 befragten Klassen wurden insgesamt 11 verschiedene Modellvorstellungen von 5 unterschiedlichen Analogiebasen genutzt. Ebenso variierte die Anzahl der im Unterricht genutzten Modellvorstellungen stark, während in manchen Klassen fokussiert auf Basis einer Modellvorstellung unterrichtet wurde, wurden in anderen Klassen bis zu vier verschiedene Modellvorstellungen im Unterricht besprochen. Eine Auswertung des in den teilnehmenden Klassen erhobenen Konzeptwissens zur Elektrizität ergab, dass für vertieft unterrichtete Schüler*innen dabei kein Einfluss der Vermittlungsmethodik auf die Ausbildung des Konzeptwissens besteht. Für weniger physik-affine Schüler*innen, die sich für einen nicht vertieften Unterricht entschieden hatten, zeigte sich im Gegensatz dazu ein Vorteil der Vermittlung mit mehreren, in ihrer Analogiebasis variierenden Modellvorstellungen. Diese Gruppe profitiert anscheinend davon, mehrere Zugänge zur Elektrizität aufgezeigt zu bekommen und ist nicht, wie vielleicht zunächst vermutet, von der Vielzahl verschiedener Modellvorstellungen überfordert.

6. Literatur

Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Logos Verlag Berlin.

Burde, J.-P., Ivanjek, L., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L.,

Spatz, V., & Hopf, M. (2022). Schülervorstellungen in Schule und Studium – ein Vergleich. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen—Beiträge zur Jahrestagung der GDGP* (Bd. 42).

Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2017). Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 157.

Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M., & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies—Between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11(4–5), 283–303. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959475200000347>

Frank, F., Stolzenberger, C., & Trefzger, T. (2023). Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B - Didaktik der Physik—Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Fromme, B. (2018). Fehlvorstellungen von Studienanfängern – Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B - Didaktik der Physik—Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

ISB (Hrsg.). (2024). *LehrplanPLUS - Gymnasium—Physik—Fachlehrpläne*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/gymnasium/fach/physik/inhalt/fachlehrplaene>

Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V., & Wilhelm, T. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020123. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020123>

Kahnt, M. (2022). Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. *plus Lucis*, 2.

Lutz, W., Elsholz, M., Haase, S., Burde, J.-P., Wilhelm, T., & Trefzger, T. (2023). Flipped Classroom im Physikunterricht der Sekundarstufe I – Auswirkungen auf die Veränderung des individuellen Interesses im Bereich der E-Lehre. In J. Roth, M. Baum, K. Eilerts, G. Hornung, & T. Trefzger (Hrsg.), *Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 2* (S. 35–49). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66133-8_3

Merzyn, G. (2010). Kurswahlen in der gymnasialen Oberstufe. *Leistungskurs Physik, Chemie, Mathematik. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. DPG-Frühjahrstagung, Hannover*.

- Mogstad, E., & Bungum, B. (2020). Ski lifts, bowling balls, pipe system or waterfall? Lower secondary students' understanding of analogies for electric circuits. *Nordic Studies in Science Education*, 16(1), 37–51.
<https://doi.org/10.5617/nordina.6882>
- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 355–369). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_28
- Rahmawati, R., Widiasih, W., Marisda, D. H., & Riskawati, R. (2023). Using Four-Tier Test to Identify Prospective Elementary Teacher Students' Misconception on Electricity Topic. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 7793–7802.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.3272>
- Schmid, L., & Kraus, E. M. (2017). Vier konkurrierende Stromkreismodelle. Ein Gruppenpuzzle. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 157.
- Wilhelm, T., Schecker, H., & Hopf, M. (Hrsg.). (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63053-2>

Förderung

Die Julius-Maximilians-Universität Würzburg und das Projekt „Connected Teacher Education“ wurde im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.