

Katharina Leibfarth¹
Peter Gerjets²
Ulrich Trautwein¹
Jan-Philipp Burde¹

¹Universität Tübingen
²IWM Tübingen

Vergleichende Akzeptanzbefragung zu Modellen einfacher Stromkreise

Motivation und theoretischer Hintergrund

Die einfachen Stromkreise sind ein abstraktes und unanschauliches Thema, bei welchem viele Lernende konzeptuelle Schwierigkeiten haben (Engelhardt & Beichner, 2004; Ivanjek et al., 2021). Da viele Größen einfacher Stromkreise und deren Zusammenhänge nicht direkt beobachtbar sind, liegt es nahe, diese anhand von Modellen und Analogien zu veranschaulichen. Im Gegensatz zum elektrischen Strom als Prozess ist zum Beispiel der Kreislauf einer Fahrradkette direkt beobachtbar. Neben dem in Abbildung 1 dargestellten Fahrradkettenmodell gibt es eine Vielfalt weiterer Stromkreismodelle, etwa Höhen-, Druck- oder Ladungsträgermodelle (Burde, 2018; Burde & Gottschlich, 2022; Burde & Wilhelm, 2017; Kahnt, 2022; Mogstad & Bungum, 2020; Müller & Mandler, 2022; Schwedes & Dudeck, 1993). Empirisch zeigt sich, dass die meisten Physiklehrkräfte Modelle zur Veranschaulichung von Stromkreisen einsetzen, wobei sich große Unterschiede unter anderem mit Blick auf die im Unterricht genutzten Modelle zeigen (Leibfarth et al., 2024; Schubatzky, 2020). Zwar wurden die Vor- und Nachteile verschiedener Modelle des elektrischen Stromkreises bereits in verschiedenen Beiträgen diskutiert (Burde & Gottschlich, 2022; Burde & Wilhelm, 2017; Härtel, 2012; Wodzinski, 2013), empirische Vergleiche hingegen gibt es bisher kaum (Hindriksen et al., 2023). Vor diesem Hintergrund wurden Akzeptanzbefragungen zu didaktisch vielversprechenden Modellen, wie unter anderem dem Elektronengas- und Wasserfallmodell, durchgeführt (Leibfarth et al., 2025), wobei sich dieser Beitrag auf das Fahrradkettenmodell fokussiert. Tabelle 1 stellt die analogen Komponenten von Fahrradkettenmodell und Stromkreis gegenüber (vgl. Kahnt, 2022). Eine zentrale Stärke des Fahrradkettenmodells wird in der Literatur in der Veranschaulichung des elektrischen Stroms gesehen: Es zeigt anschaulich, dass Strom nicht verbraucht wird und erleichtert das Verständnis für den Systemcharakter des Stromkreises (Burde et al., 2021; Kahnt, 2022; Kreienbühl et al., 2020). Die Veranschaulichung von Potential(-unterschieden) mithilfe des Fahrradkettenmodells wird hingegen oftmals kritisch gesehen (Burde & Wilhelm, 2017; Kreienbühl et al., 2020). Die von Kahnt (2022) vorgeschlagene Veranschaulichung von Potential und Spannung im Fahrradkettenmodell über die Straffheit(-sunterschiede) der Kette hat sich in einer empirischen Studie von Hindriksen et al. (2023) jedoch bewährt, um das Verständnis der Spannung als Potentialdifferenz zu unterstützen.

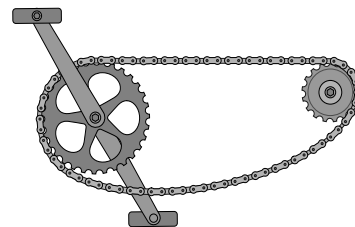


Abb. 1: Die Fahrradkette als Modell des einfachen Stromkreises

Forschungsfragen

Wie werden (I) das Fahrradkettenmodell bzw. (II) der elektrische Stromkreis nach einer Instruktion auf Basis des Fahrradkettenmodells von Lernenden akzeptiert, paraphrasiert und konzeptuell verstanden?

Methode

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurden halbstrukturierte Einzelinterviews als Akzeptanzbefragungen (Jung, 1992) mit Siebt- und Achtklässler:innen geführt. Die sieben hier analysierten Interviews zum Fahrradkettenmodell dauerten durchschnittlich 51 Minuten (SD = 10 Minuten) und lagen zwischen 40 und 65 Minuten. Die Methode der Akzeptanzbefragung kombiniert eine kurze Erklärung eines physikalischen Konzepts mit drei Interviewschritten: (1) die *Akzeptanz* der Erklärung durch die Lernenden, (2) die *Paraphrase* der Erklärung und (3) das Lösen von *Anwendungsaufgaben* anhand der Erklärung. Diese Abfolge wurde für mehrere Konzepte wiederholt, wobei zunächst die zentralen Konzepte im Modell, beispielsweise der Straffheitsunterschied der Fahrradkette, und anschließend die analogen Konzepte im Stromkreis, beispielsweise die Spannung als Potentialunterschied, adressiert wurden. Die Interviews wurden anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet (Kuckartz & Rädiker, 2023). An dieser Stelle werden primär die Lernendenantworten zu den Anwendungsaufgaben vorgestellt, die deduktiv entsprechend der Kategorien „korrekt gelöst“, „teilweise korrekt gelöst“ und „nicht korrekt gelöst“ codiert wurden. Ein Teil der Interviews wurde von einer unabhängigen Person zur Bestimmung der Intercoderübereinstimmung doppelt codiert, wobei sich mit $\kappa = .78$ (Brennan & Prediger, 1981) eine hohe Übereinstimmung gezeigt hat.

Tab. 1: Analoge Bauteile und Größen im Stromkreis und im Fahrradkettenmodell

Stromkreis	Fahrradkettenmodell
Elektrisches Potential	Straffheit der Kette
Potentialunterschied (= Spannung)	Straffheitsunterschied der Kette
Elektrischer Strom	Kettenstrom
Batterie	Kettenblatt mit Pedalen
Widerstand	Hinterrad
Kabel	Fahrradkette
Geöffneter Schalter	Geschlossene Klammer

Ergebnisse

Die Erklärungen im Fahrradkettenmodell und im einfachen Stromkreis werden jeweils von fast allen Lernenden akzeptiert. Ferner wurden mehr als die Hälfte der Erklärungen von den Lernenden „korrekt“ in eigenen Worten paraphrasiert (51 % im Modell, 54 % im Stromkreis). Die restlichen Erklärungen wurden größtenteils „teilweise korrekt“ paraphrasiert (43 % im Modell, 31 % im Stromkreis). Größere Unterschiede zeigen sich hingegen bei den Anwendungsaufgaben (siehe Abbildung 2): Während 83 % der Lernenden die Anwendungsaufgaben im Modell korrekt beantworten können, gelingt dies nur 57 % der Lernenden im Stromkreis, was darauf hindeutet, dass die Lernenden beim Fahrradkettenmodell Schwierigkeiten haben, ihr Verständnis vom Modellbereich in den Zielbereich zu transferieren.

Im *Fahrradkettenmodell* argumentieren die meisten Lernenden bei Fragen, die den Kettenstrom in Analogie zum elektrischen Strom betreffen, korrekt: Bei einer geschlossenen Fahrradkette (Aufgabe 4b) ist der Kettenstrom an unterschiedlichen Stellen des Kreislaufs „gleich groß, weil die Kette dreht sich ja gleich schnell überall“ (Schüler:in 6). Sie erkennen außerdem, dass es bei einer fixierten Fahrradkette (Aufgabe 3b), ähnlich wie in einem offenen Stromkreis, keinen Strom gibt, „weil, also die Kette wird ja oben angehalten und kann sich ja nicht weiterdrehen und deshalb haben wir ja auch keinen Kettenstrom mehr“ (Schüler:in 7). Die Aufgaben zum Straffheitsunterschied der Fahrradkette (Aufgabe 2b, 3a, 5a), das heißt, der zum Potentialunterschied analogen Größe, beantworten die Lernenden ebenfalls überwiegend korrekt. Sie erkennen den Straffheitsunterschied zwischen einem lockeren und einem strafferen Kettenabschnitt, der einem Potentialunterschied entspricht. In Reihenschaltungen, das heißt bei Systemen mit mindestens drei Kettenabschnitten mit unterschiedlicher Straffheit

Konzepte	Anwendungsaufgaben im Fahrradkettenmodell										Anwendungsaufgaben im Stromkreis									
	Straffheits- unterschied		offener Kettenkreislauf		geschlossener Kettenkreislauf		Parallel- schaltung		Reihen- schalt- ung		Potential- unterschied		offener Stromkreis		geschlossener Stromkreis		Parallel- schaltung		Reihen- schalt- ung	
	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a		2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	
Schüler:in 1	grün	grün	grün	gelb	grün	rot	grün	grün	gelb		grün	grün	grün	rot	grün	gelb	grün	rot	grün	
Schüler:in 2	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	gelb		grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	rot	grün	
Schüler:in 3	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb		grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	
Schüler:in 4	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot		grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	
Schüler:in 5	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb		grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	
Schüler:in 6	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb		grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	
Schüler:in 7	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb		grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	
	korrekt gelöst		teilweise korrekt gelöst																	

Abb. 2: Farbcodierte Auswertung der Antworten der Lernenden zu den Anwendungsaufgaben im Fahrradkettenmodell (links) sowie im einfachen Stromkreis (rechts)

(Aufgabe 6a), fällt es mehreren Lernenden schwer, diese unterschiedlichen Straffheiten und damit Straffheitsunterschiede zu erkennen.

Im **elektrischen Stromkreis**, der zeitlich nach der gesamten ersten Interviewhälfte zur Fahrradkette und unter Rückbezug zum Modell behandelt wurde, sind die Lernenden in der Lage, die Anwendungsaufgaben zur elektrischen Spannung als Potentialdifferenz größtenteils korrekt zu beantworten. Im Gegensatz zur elektrischen Spannung, die sowohl im Modell als auch im Stromkreis überwiegend verstanden wurde, unterscheiden sich der Modell- und Zielbereich hinsichtlich des Verständnisses des Kettenstroms bzw. des elektrischen Stroms: Einerseits argumentiert etwa die Hälfte der Lernenden anhand der Unterbrechung des Kreislaufs richtig, dass es in einem offenen Stromkreis keinen Strom gibt (Aufgabe 3b). Andererseits gibt etwa die Hälfte der Lernenden an, es gebe in einem offenen Stromkreis einen elektrischen Strom und argumentiert teils über die (eine) Verbindung zur Batterie, die für einen substanzartigen Strom ausreichend ist, teils über das Potential, was eine Vermischung der Größen Potential und Stromstärke nahelegt. Diese unzureichende Differenzierung bzw. Vermischung beider Größen zeigt sich ebenfalls in geschlossenen Stromkreisen: Mehrere Lernende geben an, der Strom sei „vor“ dem Lämpchen größer als „dahinter“ und beziehen sich dabei auf unterschiedliche Potentialwerte „vor“ und „hinter“ dem Lämpchen. Die klassische Stromverbrauchsvorstellung wird hingegen nur von einer Person vertreten.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung zum Fahrradkettenmodell zeigen, dass das Modell von den Lernenden akzeptiert und mit Blick auf den Kettenstrom sowie die Straffheitsunterschiede der Kette grundsätzlich verstanden wird. Die Auswertung zeigt jedoch auch, dass einige Lernende Schwierigkeiten haben, diese im Modellbereich verstandenen Konzepte auf den Zielbereich zu übertragen. Während der Transfer vom Straffheitsunterschied der Kette zum Potentialunterschied im Stromkreis größtenteils gelingt (vgl. Hindriksen et al., 2023), zeigen sich größere Schwierigkeiten mit Blick auf das Verständnis des elektrischen Stroms, vor allem aufgrund einer mangelnden konzeptionellen Abgrenzung zum elektrischen Potential. Anknüpfend an die qualitative Studie ist eine vergleichende quantitative Untersuchung geeigneter Stromkreismodelle geplant.

Literatur

Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient kappa: Some uses, misuses, and alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699. <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>

- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P. & Gottschlich, B. (2022). Höhenmodelle mit Stromanalogon—Lernhilfe oder Lernhindernis? *MNU-Journal*, 75(4), 332–338.
- Burde, J.-P., Weatherby, T. S. & Kronenberger, A. (2021). An analogical simulation for teaching electric circuits: A rationale for use in lower secondary school. *Physics Education*, 56, 055010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac03fe>
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2017). Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 28(157), 8–13.
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98–115. <https://doi.org/10.1119/1.1614813>
- Härtel, H. (2012). Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 61(5), 17–24.
- Hindriksen, A., Kahnt, M. & Berger, R. (2023). Lernwirksamkeit von Analogiemodellen zum elektrischen Potenzial. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1340>
- 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>
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, A technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (S. 278–295).
- Kahnt, M. (2022). Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. *plusLucis*, 2, 14–21.
- Kreienbühl, T., Wetzels, R., Burgess, N., Maria Schmid, A. & Brovelli, D. (2020). AR circuit constructor: combining electricity building blocks and Augmented Reality for Analogy-Driven Learning and Experimentation. *2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 13–18. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00019>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2023). *Qualitative content analysis: Methods, practice and software*. Sage Publications Limited.
- Leibfarth, K., Gottschlich, B. & Burde, J.-P. (2024). Modelle des einfachen Stromkreises in der Sekundarstufe I in Baden-Württemberg. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1449>
- Leibfarth, K., Trautwein, U., Gerjets, P. & Burde, J.-P. (2025). Interviewstudie zu Modellen einfacher Stromkreise: Ein qualitativer Vergleich von Elektronengas- und Wasserfallmodell. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- 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), Article 1. <https://doi.org/10.5617/nordina.6882>
- Müller, R. & Mandler, J. (2022). Stromkreise besser verstehen mit Potenzial und Bikepark-Analogie. *plusLucis*, 2, 8–13. https://pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2022-2_PL.pdf
- Schubatzky, T. (2020). *Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht: Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/5159>
- Schwedes, H. & Dudeck, W.-G. (1993). Lernen mit der Wasseranalogie: Eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 4(16), 16–23.
- Wodzinski, R. (2013). Lernhilfe oder Lernhindernis? Modelle von Leitungsvorgängen in Stromkreisen unter der Lupe. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 23(133), 12–16.