

Lernförderlichkeit analogiebasierter Potenzialansätze im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

AG Didaktik der Physik | Universität Osnabrück
Alina Hindriksen

Inhalt des Vortrags

- Lernschwierigkeiten und Probleme im „traditionellen“ Unterricht
- Potenzialansatz
- Analogien im Physikunterricht
- Design der Studie
- Ablauf des Unterrichts
- Ergebnisse der Studie

Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf, z. B. ...

(Cohen et al., 1983; v. Rhöneck, 1986; Burde, 2018)

Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf, z. B. ...
 - ... „Geben-Nehmen“-Schema



Die Batterie „gibt“ und die
Lampe „nimmt“ Strom.

Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf, z. B. ...
 - ... „Geben-Nehmen“-Schema
 - ... Verbrauchsvorstellungen



Die Batterie „gibt“ und die Lampe „nimmt“ Strom.

In der Lampe wird Strom verbraucht.



Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf, z. B. ...
 - ... „Geben-Nehmen“-Schema
 - ... Verbrauchsvorstellungen
 - ... inverse Widerstandsvorstellungen



Ein größerer Widerstand
braucht mehr Strom.

In der Lampe wird
Strom verbraucht.



Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf, z. B. ...
 - ... „Geben-Nehmen“-Schema
 - ... Verbrauchsvorstellungen
 - ... inverse Widerstandsvorstellungen
 - ... lokale und sequenzielle Denkmuster (fehlendes Systemdenken)



Ein größerer Widerstand
braucht mehr Strom.

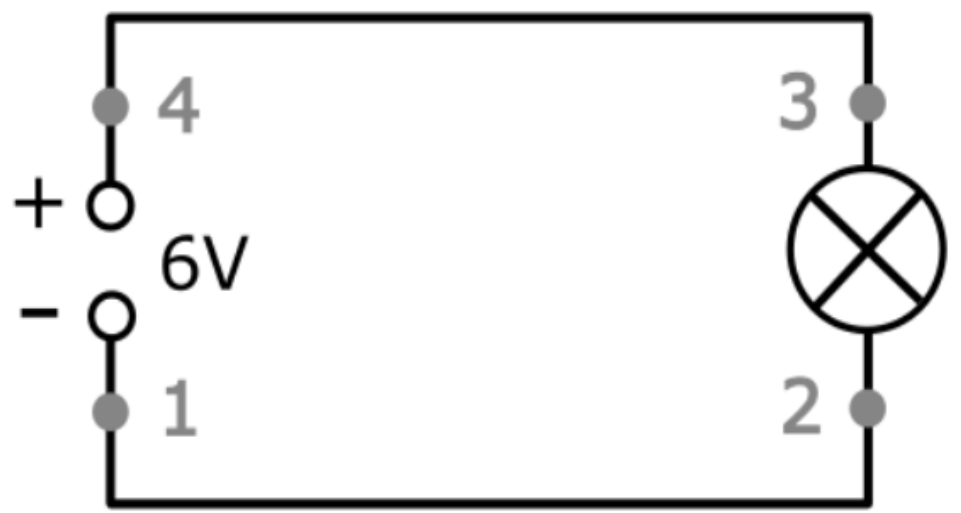
Strom teilt sich immer
gleichmäßig auf



Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf
- Mangelnde Differenzierung von Strom und Spannung
(Cohen et al., 1983; von Rhöneck, 1986; Burde, 2018)

Diagnoseaufgabe:



Gib an, wie groß die Spannung zwischen den Messpunkten ist:

- 1 und 2: **6 V** (0 V)
- 2 und 3: **6 V** (6 V)
- 3 und 4: **6 V** (0 V)

Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf
- Mangelnde Differenzierung von Strom und Spannung

Mögliche Ursachen für Lernschwierigkeiten

- Geringe Anschaulichkeit des Inhaltsbereichs (Burde & Wilhelm, 2017)
- Dominierender Strombegriff im Anfangsunterricht (von Rhöneck, 1986; Burde, 2018)
- Die Spannung bezieht sich auf zwei Punkte des Stromkreises; die dahinterstehende Größe, das Potenzial, bleibt den SuS i. d. R. verborgen (Herrmann & Schmälzle, 1984)

Empirische Ergebnisse aus dem „traditionellen“ Unterricht

- SuS weisen „verankerte“ Alltags- bzw. Fehlkonzepte auf
- Mangelnde Differenzierung von Strom und Spannung

Mögliche Ursachen für Lernschwierigkeiten

- Geringe Anschaulichkeit des Inhaltsbereichs (Burde & Wilhelm, 2017)
- Dominierender Strombegriff im Anfangsunterricht (von Rhöneck, 1986; Burde, 2018)
- Die Spannung bezieht sich auf zwei Punkte des Stromkreises; die dahinterstehende Größe, das Potenzial, bleibt den SuS i. d. R. verborgen (Herrmann & Schmälzle, 1984)

Drei Grundideen zur Begegnung der Lernschwierigkeiten

- Gleichzeitige Einführung von Antrieb, Strom und Widerstand (Duit, 2009)
- Konzeptualisierung der Spannung als Potenzialdifferenz (Herrmann & Schmälzle, 1984)
- Verwendung von geeigneten Analogiemodellen (Duit & Glynn, 1995; Burde & Wilhelm, 2017)

„Zu beachten ist, dass die drei Eckpfeiler der Elektrizitätslehre – **Stromstärke, Spannung und Widerstand – nur als „Trio“ zu erlernen** sind. Die Beziehungen zwischen den drei Begriffen sind wesentliche Bestandteile der Begriffe selbst. Die anschauliche Vorstellung – Stromfluss, Antrieb und Behinderung des Stromflusses – kann helfen, den Schülerinnen und Schülern die Zusammenhänge klar zu machen.“
(Duit, 2009)

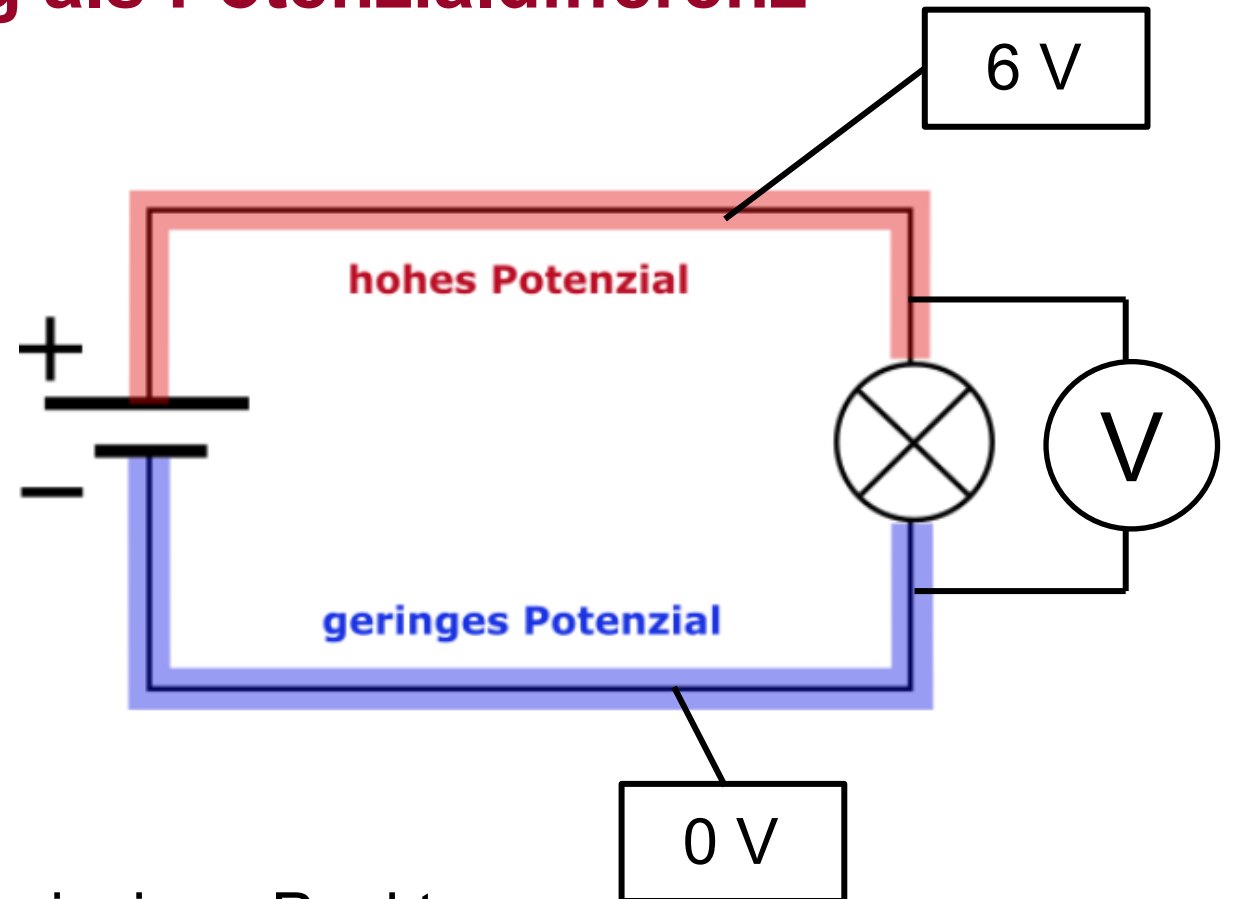
Konzeptualisierung der Spannung als Potenzialdifferenz

Ansatz:

Das Potenzial als zusätzliche Größe im E-Lehre-Unterricht

Vorteile (Herrmann & Schmälzle, 1984)

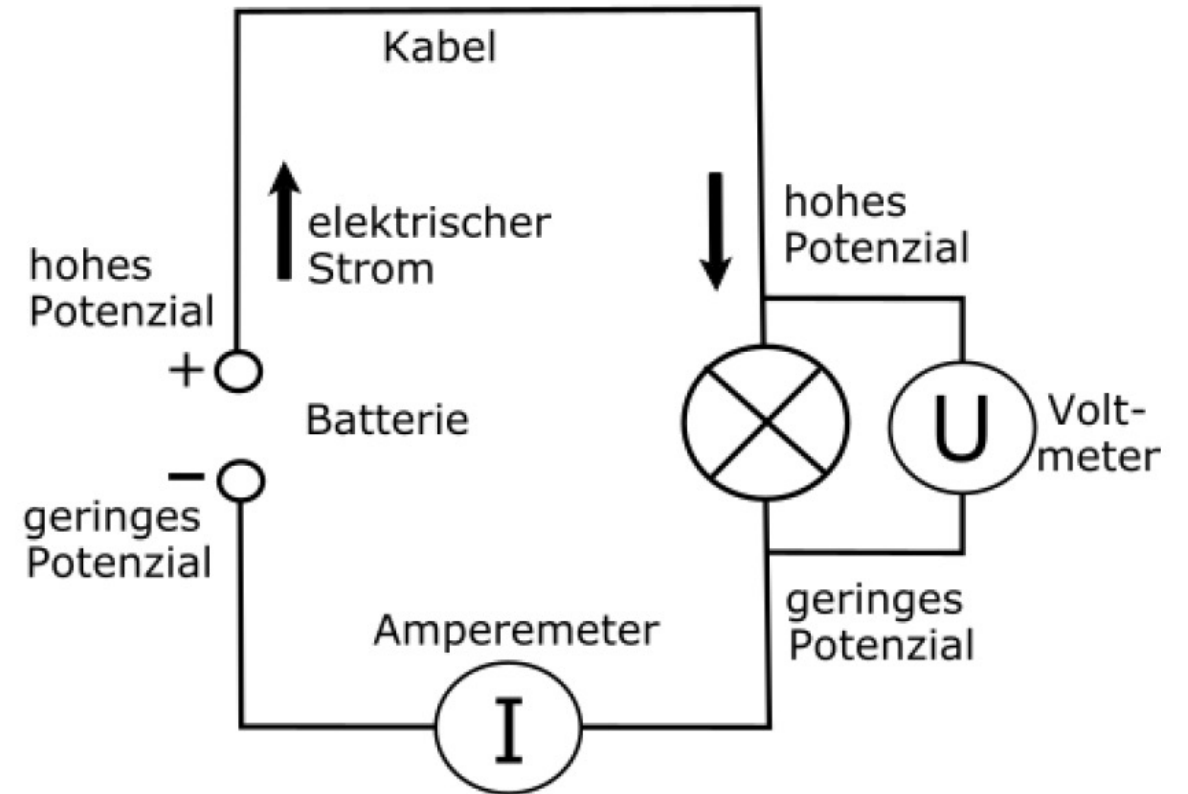
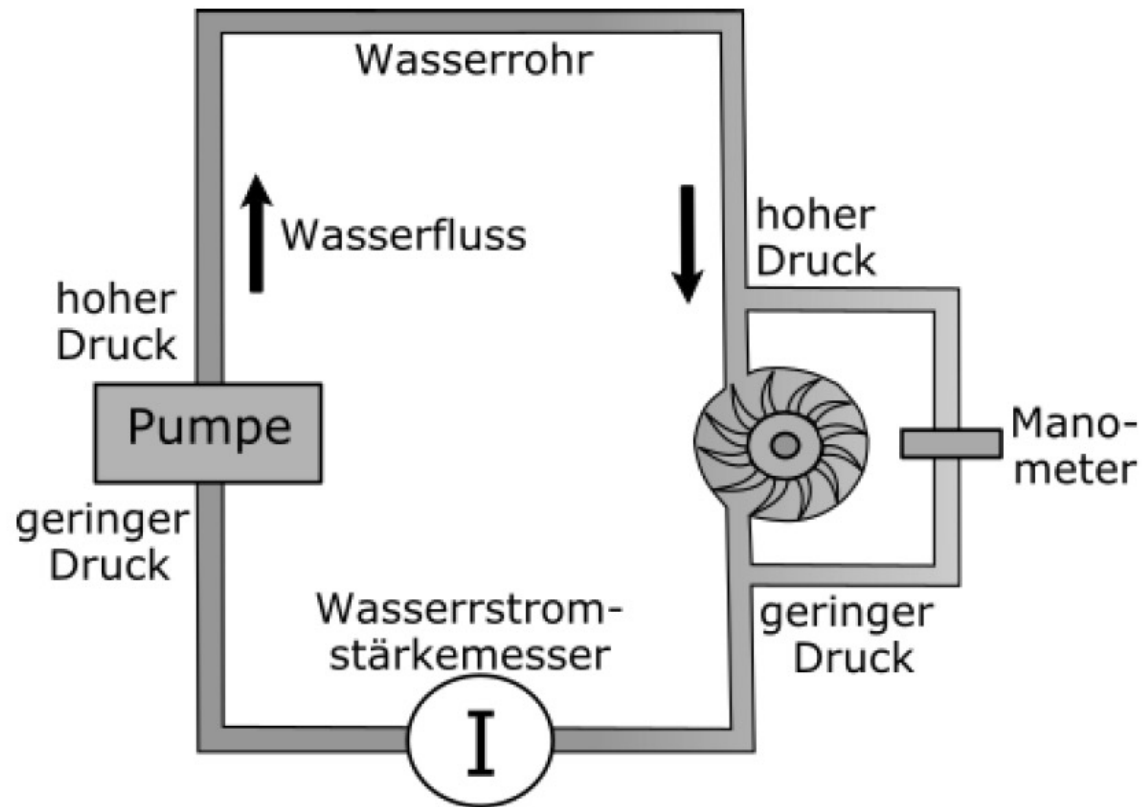
- Potenzialwerte beziehen sich auf einen einzigen Punkt
- Farbige Markierung ermöglicht übersichtliche Erfassung von Schaltungen



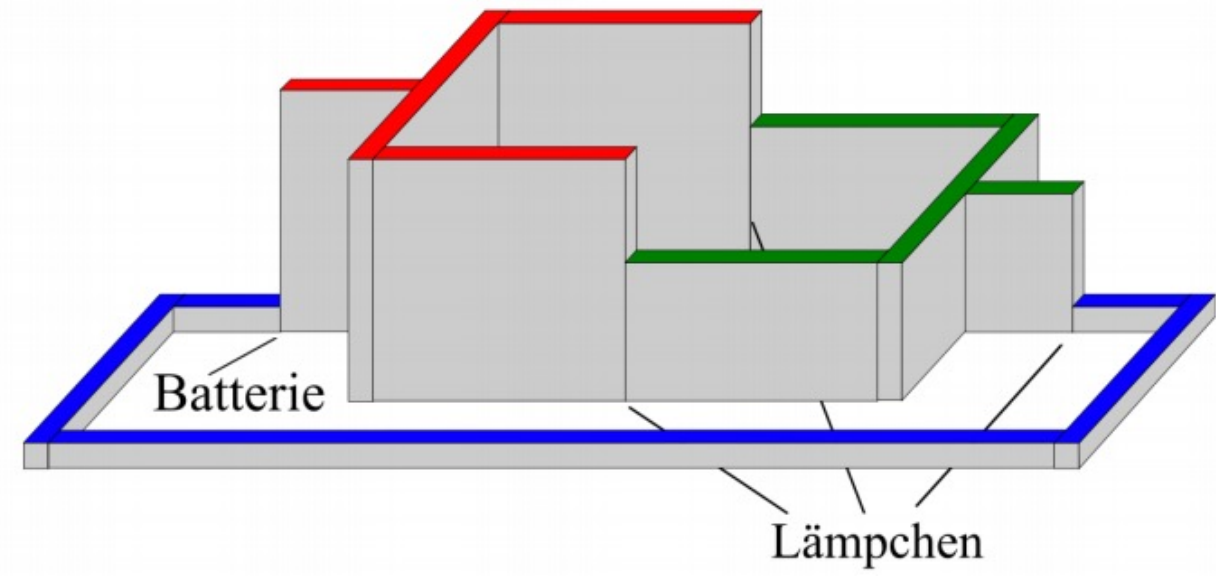
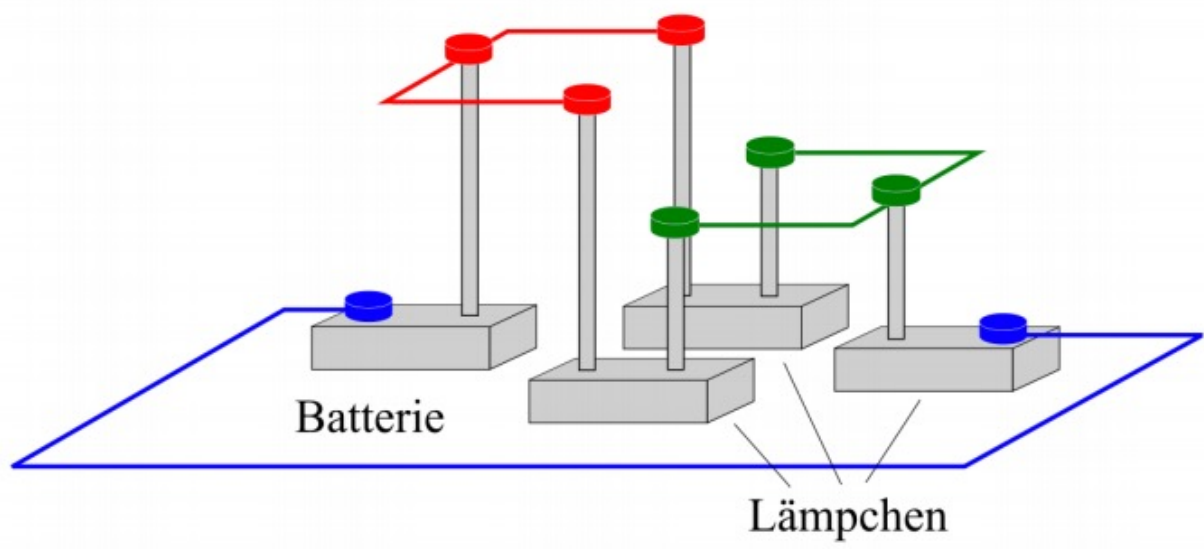
Verwendung von Analogiemodellen

- Analogien können als „Brücken zum Verständnis“ dienen (Duit & Glynn, 1995)
- Anforderungen an das analoge Lernen:
 - Der Zielbereich muss als hinreichend komplex wahrgenommen werden
 - Es sollten Oberflächen- und tiefenstrukturelle Übereinstimmungen existieren
 - Der Analogbereich muss vertraut, verständlich, einleuchtend und fruchtbar sein

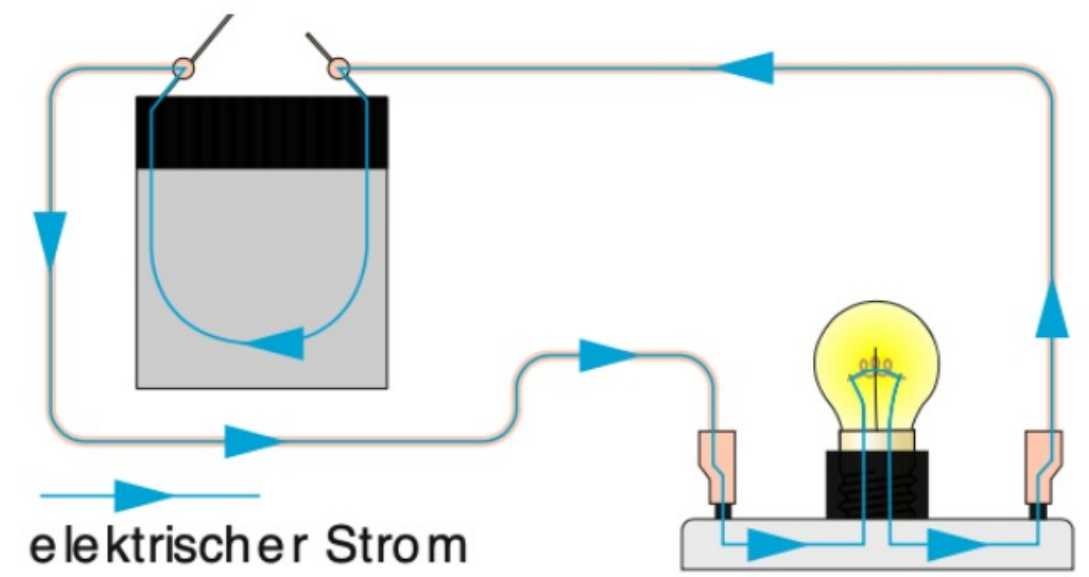
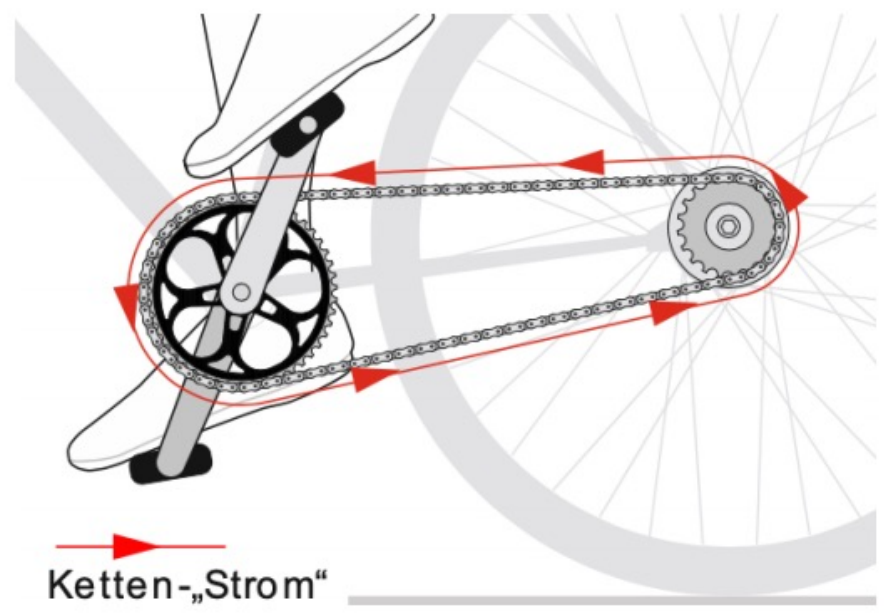
Beispiel 1: Das Wasserstromkreismodell



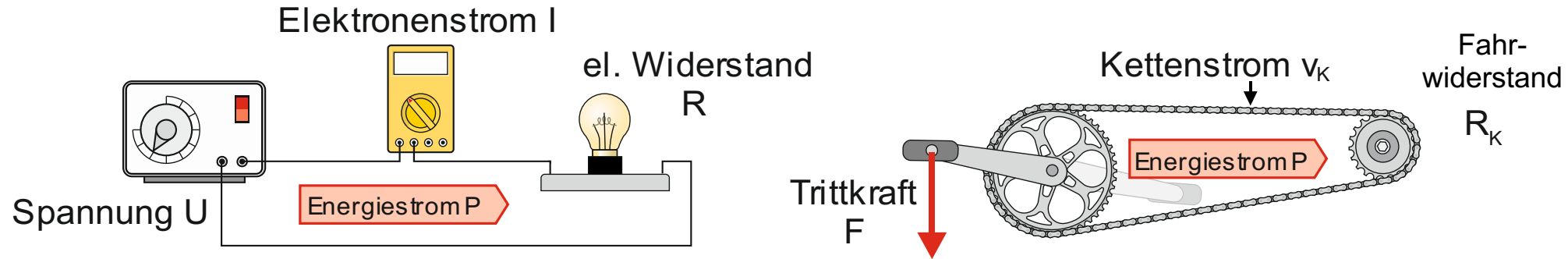
Beispiel 2: Das Stäbchen- bzw. Mauermodell



Fahrradkettenmodell

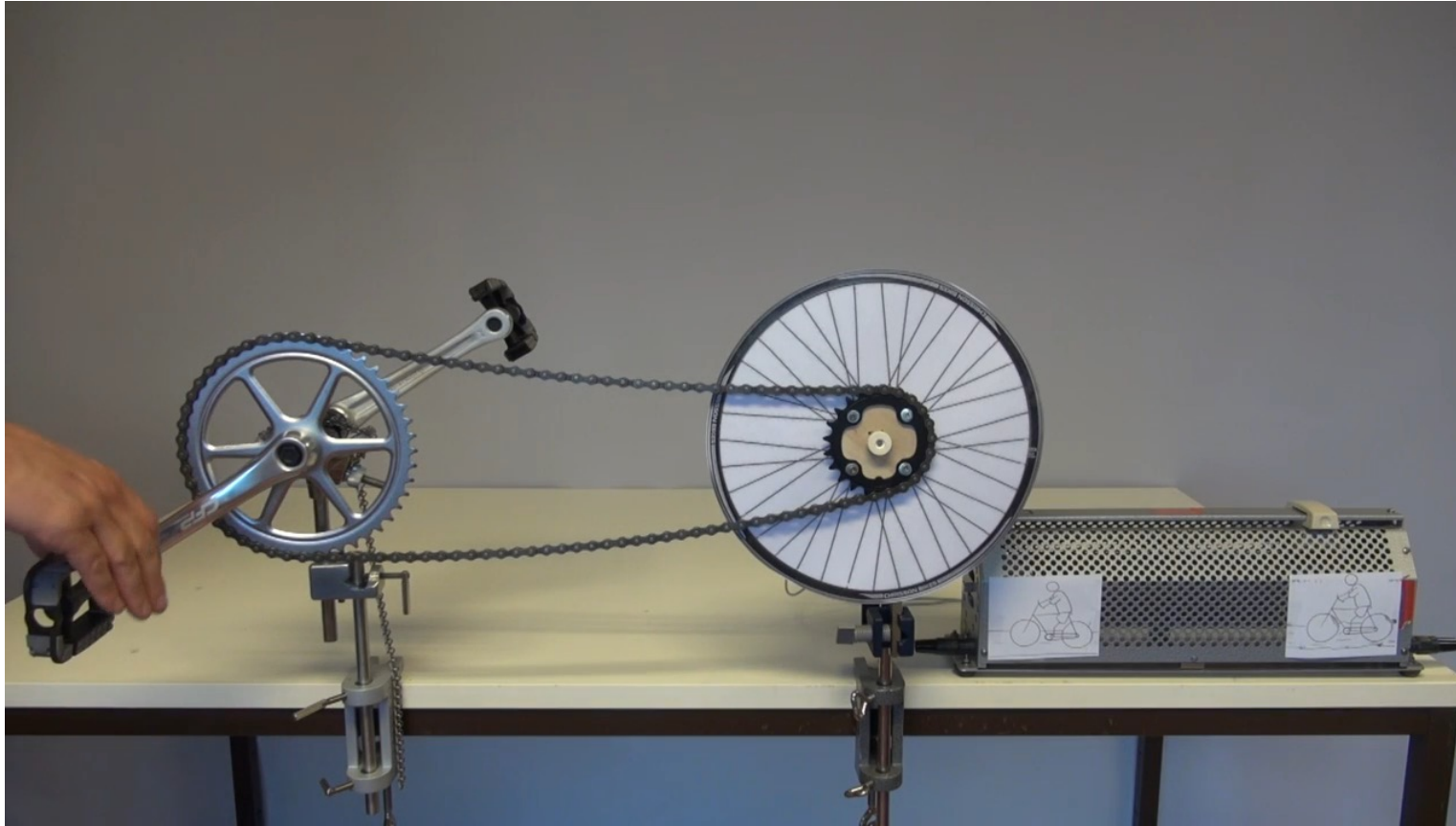


Gegenüberstellung der physikalischen Größen

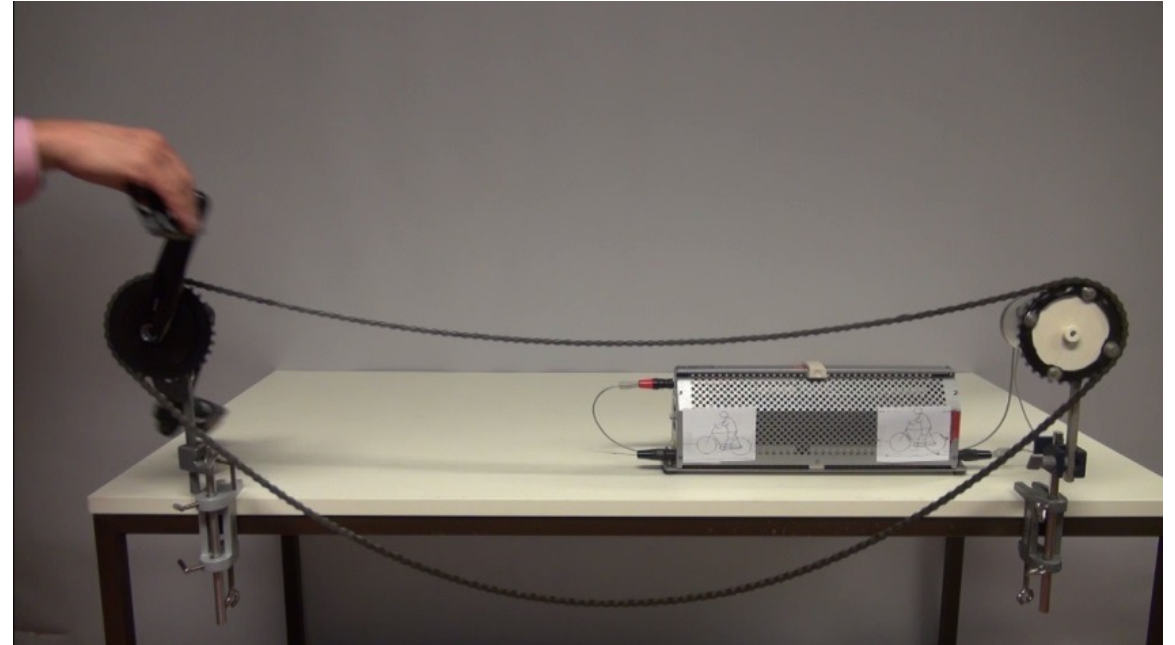
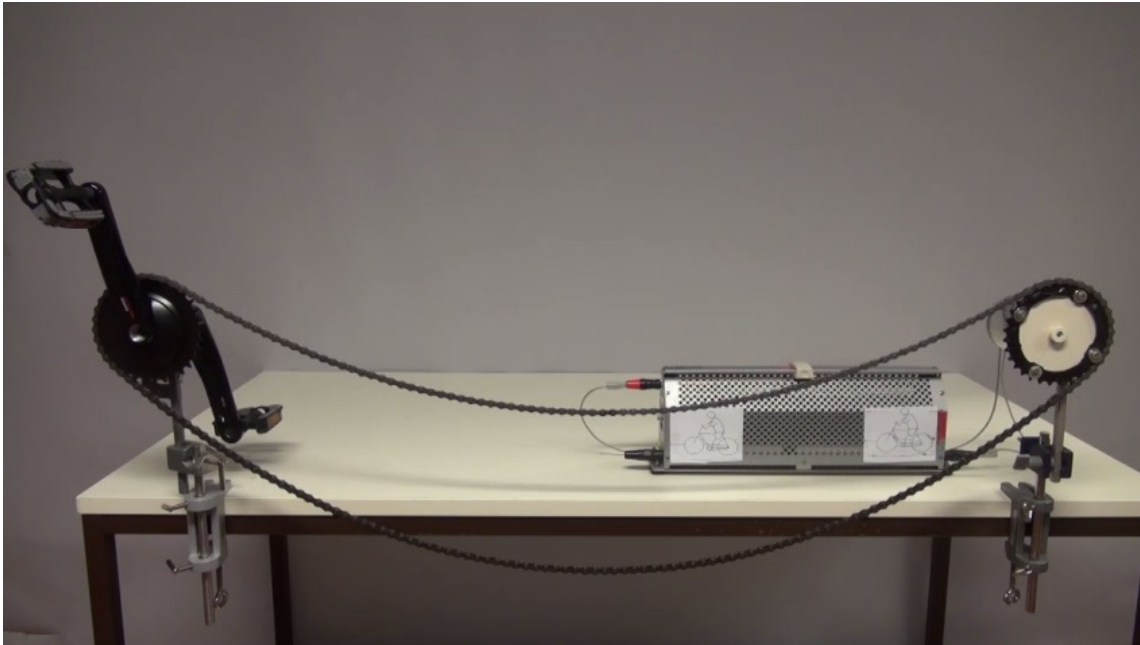


	Stromkreis	Fahrrad
Antrieb	Spannung U	Trittkraft F
Kreisstrom	Elektronenstrom I	Kettenstrom v_K
Widerstand	El. Widerstand R	Fahrwiderstand R_K
Energiestrom	$P = U \cdot I$	$P = k \cdot F \cdot v_K$

Fahrradkettenmodell mit einfachen Mitteln

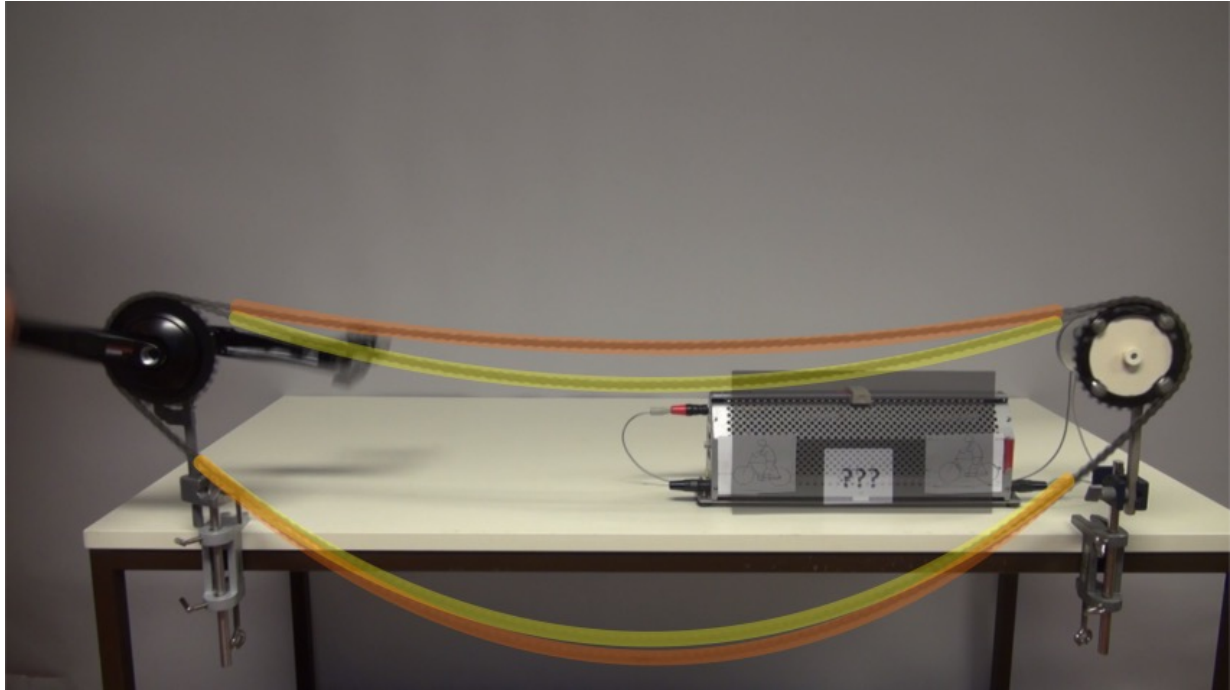


Analogie zur Spannung im Sinne der Potenzialdifferenz



- Gibt es **keinen Antrieb**, wird also keine Kraft auf die Pedale ausgeübt, so gibt es auch **keinen Unterschied zwischen Straffheit** in der Kette oben **und Lockerheit** unten.
- Gibt es einen Antrieb, so gibt es einen Unterschied.

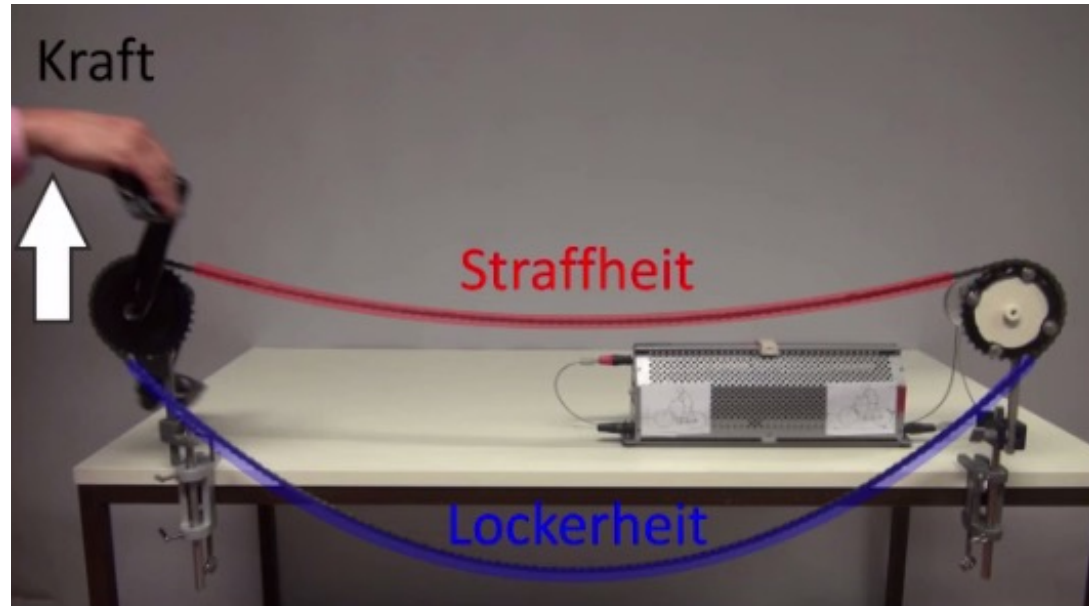
Analogie zur Spannung im Sinne der Potenzialdifferenz



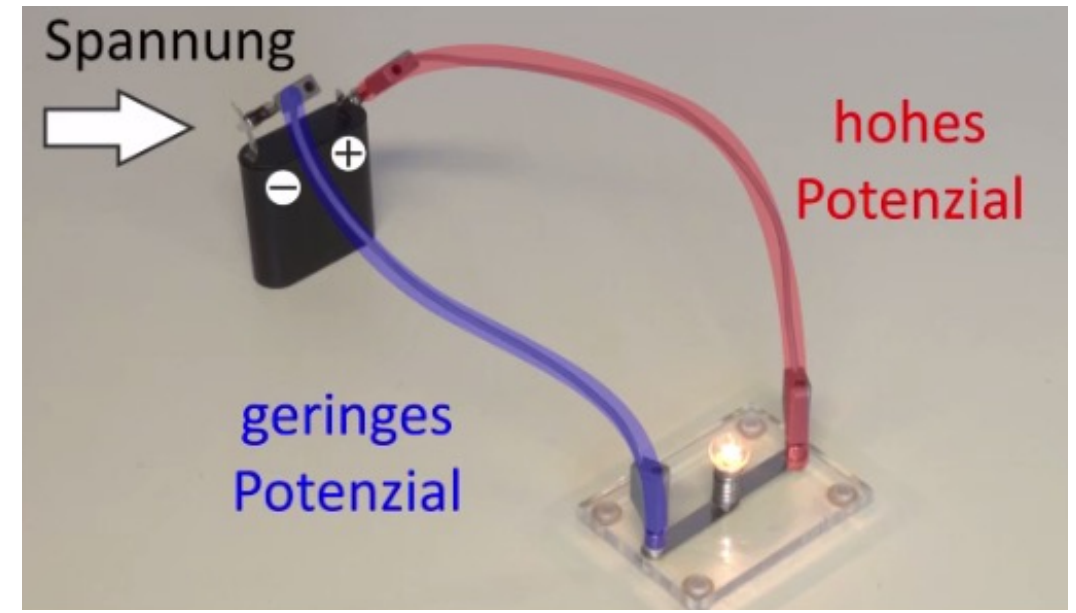
Zusammenfassung

Je **größer der Antrieb** ist, also je größer die Kraft ist, mit der in die Pedale getreten wird, desto **größer ist der Unterschied zwischen Straffheit oben und Lockerheit unten**.

Analogie zur Spannung im Sinne der Potenzialdifferenz



Unterschied zwischen Straffheit und Lockerheit:
Maß für den Antrieb der Kette
Und damit die **Kraft**.



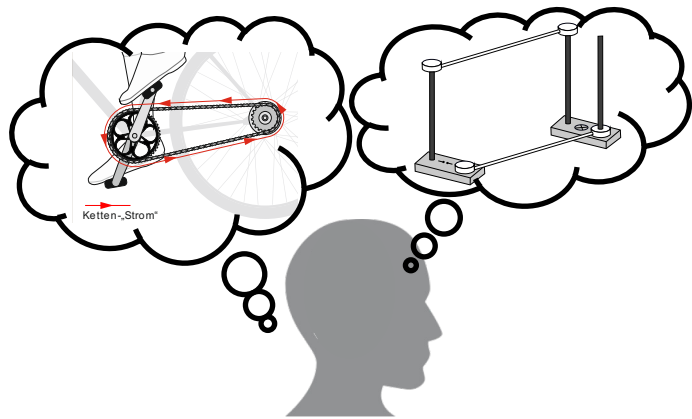
Unterschied zwischen hohem und geringem Potenzial:
Maß für den Antrieb der Elektronen
Und damit die **Spannung**.

Spannung = Potenzialunterschied



Forschungsmotivation

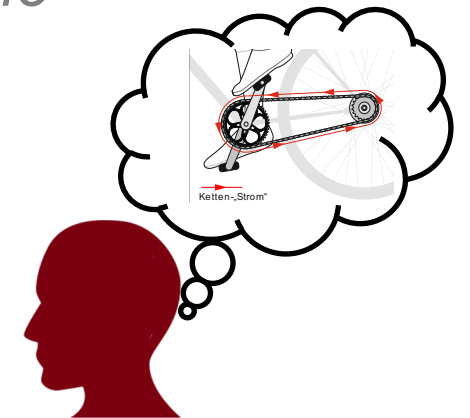
- Verschiedene Vorschläge für den analogiebasierten Unterricht:



Burde & Wilhelm (2017, S. 13):

„Auch bietet es sich an, für verschiedene Aspekte der Elektrizitätslehre verschiedene Analogien zu benutzen. [...]“

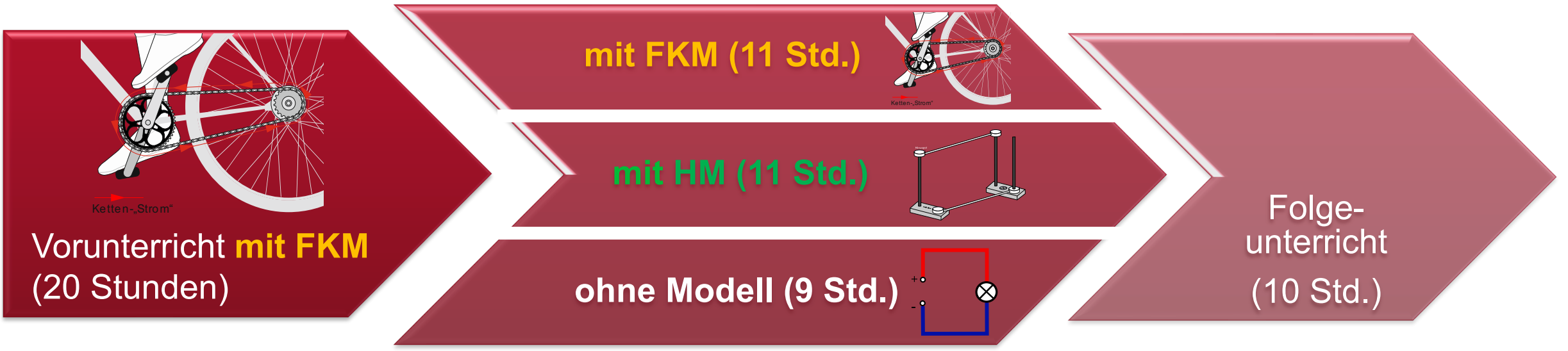
Kahnt (2022, S. 17): „Die Ausführungen machen deutlich, dass es möglich ist, die Fahrradkette in der Elektrizitätslehre als durchgängige Vorstellungshilfe [...] zu nutzen.“



Bislang ungeklärt: Kann die Fahrradkette ohne Nachteile als „durchgängiges“ Analogiemodell eingesetzt werden?

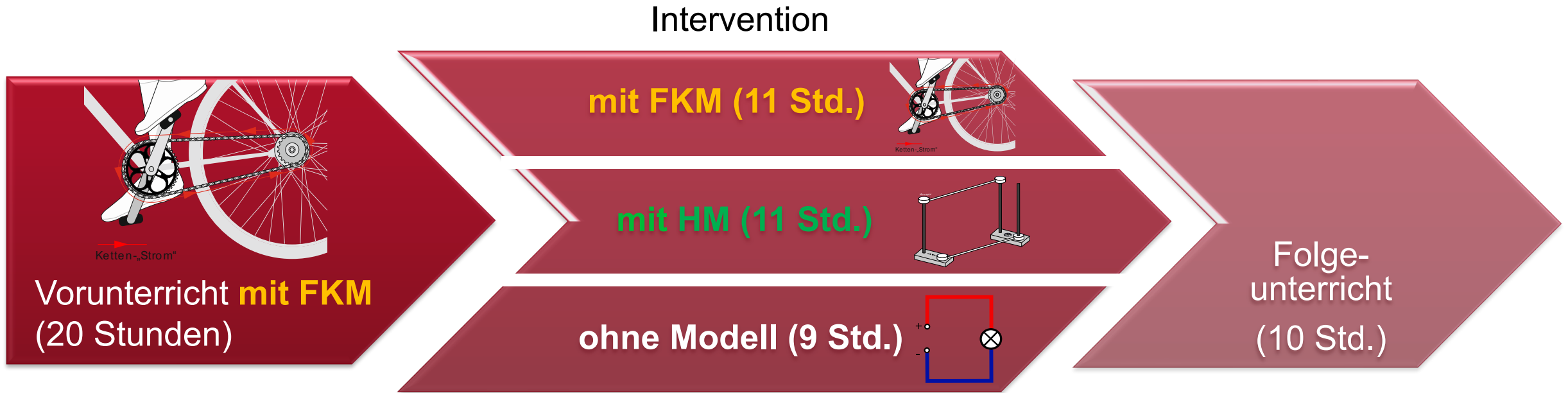
Studiendesign

Intervention



- Untersuchung im Schuljahr 2021/22
- Stichprobe: 21 Lerngruppen mit insgesamt 373 SchülerInnen

Studiendesign



Forschungsfragen

- Zeigen sich nach dem Unterricht Unterschiede im Verständnis von Potenzial und Spannung?
- Unterscheiden sich die Gruppen nach dem Unterricht hinsichtlich der Modellüberzeugungen?

Unterrichtsmaterial

- vollständig ausgearbeiteter Unterricht
- Arbeitsblätter, Videos, Stundenbeschreibungen
- Material und Infos zum Forschungsprojekt unter:
http://www.physikdidaktik.uos.de/lehre_fahrradkette
http://www.physikdidaktik.uos.de/lehre_studie2022

SCAN ME



Gliederung des verwendeten Unterrichtskonzepts

- UE1 Das Fahrrad als Vorstellungshilfe
- UE2 Energietransport durch Kreisläufe
- UE3 Antrieb, Strom, Widerstand
- UE4 Elektronenstrom quantitativ
- UE5 Spannung quantitativ, $U=P/I$
- UE6 Schaltskizzen
- UE7 Potenzial und Spannung
- UE8 Knotenregel
- UE9 Reihen- und Parallelschaltungen
- UE10 Widerstand quantitativ

Gliederung des verwendeten Unterrichtskonzepts

UE1 Das Fahrrad als Vorstellungshilfe

UE2 Energietransport durch Kreisläufe

UE3 Antrieb, Strom, Widerstand

UE4 Elektronenstrom quantitativ

UE5 Spannung quantitativ, $U=P/I$

UE6 Schaltskizzen

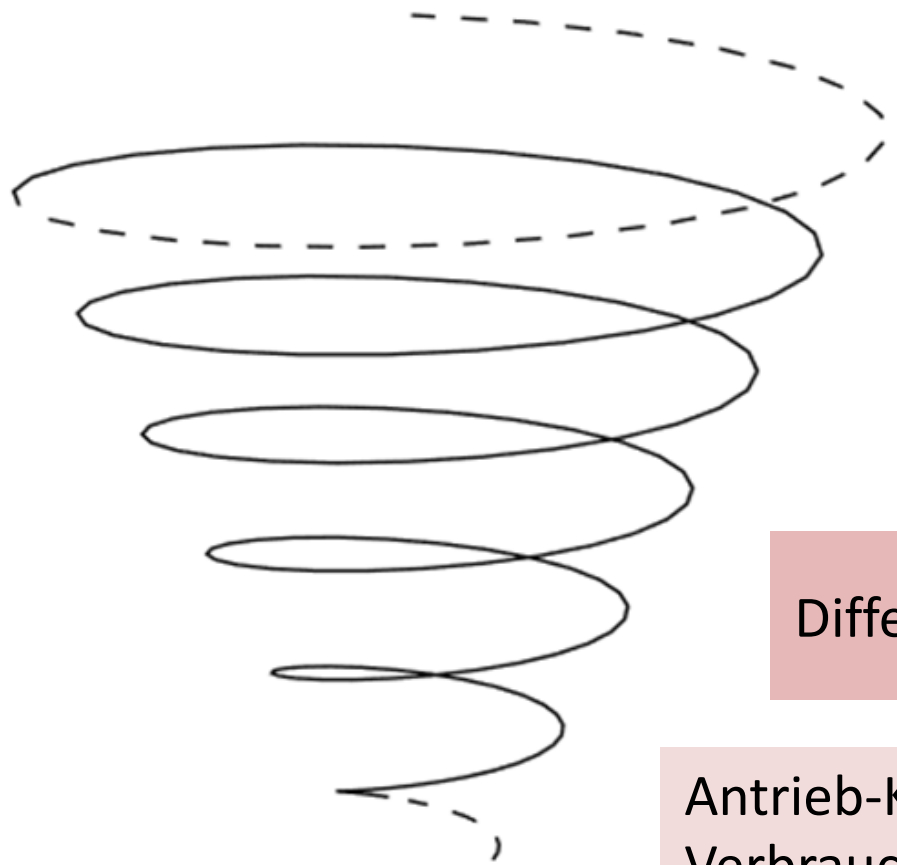
UE7 Potenzial und Spannung

UE8 Knotenregel

UE9 Reihen- und Parallelschaltungen

UE10 Widerstand quantitativ

Spiralcurricularer Aufbau



Potenzialansatz,
Reihen-, Parallelschaltung

Definition $U = P/I$
Zusammenhang mit Antriebsvorstellung

Differenzierung Energiestrom-Elektronenstrom

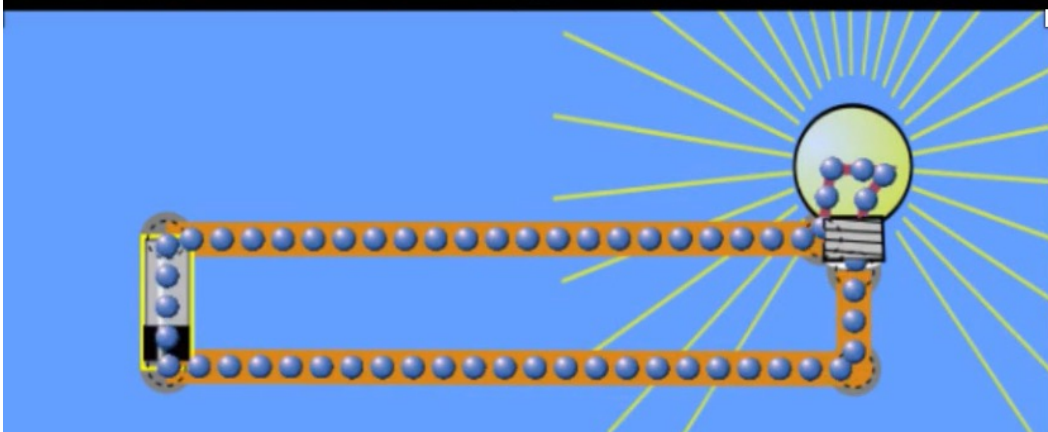
Antrieb-Kreisstrom-Widerstand-Konzept
Verbrauchsvorstellung, Systemcharakter

Gliederung des verwendeten Unterrichtskonzepts

- ➔ **UE1 Das Fahrrad als Vorstellungshilfe**
- UE2 Energietransport durch Kreisläufe
- UE3 Antrieb, Strom, Widerstand**
- UE4 Elektronenstrom quantitativ
- UE5 Spannung quantitativ, $U=P/I$
- UE6 Schaltskizzen
- UE7 Potenzial und Spannung**
- UE8 Knotenregel
- UE9 Reihen- und Parallelschaltungen
- UE10 Widerstand quantitativ

Ablauf des Vorunterrichts

UE1: Das Fahrrad als Vorstellungshilfe



Bei einem Stromkreis und auch beim Fahrrad gibt es etwas, das ...	Vorstellungshilfe Fahrrad	a) Stromkreis mit Lampe
... der Antrieb ist,	Pedale	Batterie
... rundherum im Kreis läuft,	Kettenglieder	Elektronen
angetrieben wird.	Hinterrad	Lampe

Ablauf des Vorunterrichts

UE1: Das Fahrrad als Vorstellungshilfe



Gliederung des verwendeten Unterrichtskonzepts

UE1 Das Fahrrad als Vorstellungshilfe

UE2 Energietransport durch Kreisläufe

UE3 Antrieb, Strom, Widerstand

UE4 Elektronenstrom quantitativ

UE5 Spannung quantitativ, $U=P/I$

UE6 Schaltskizzen

UE7 Potenzial und Spannung

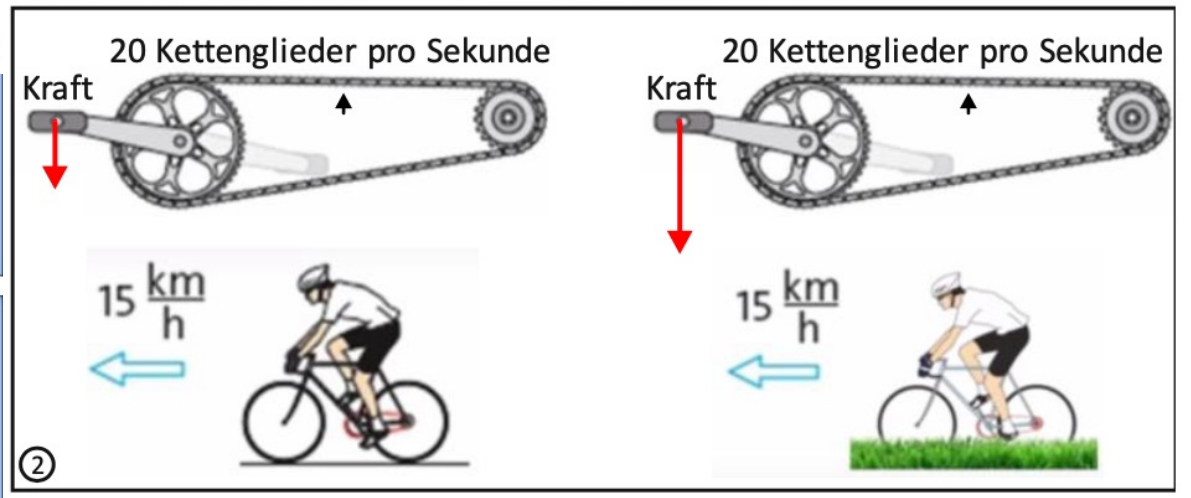
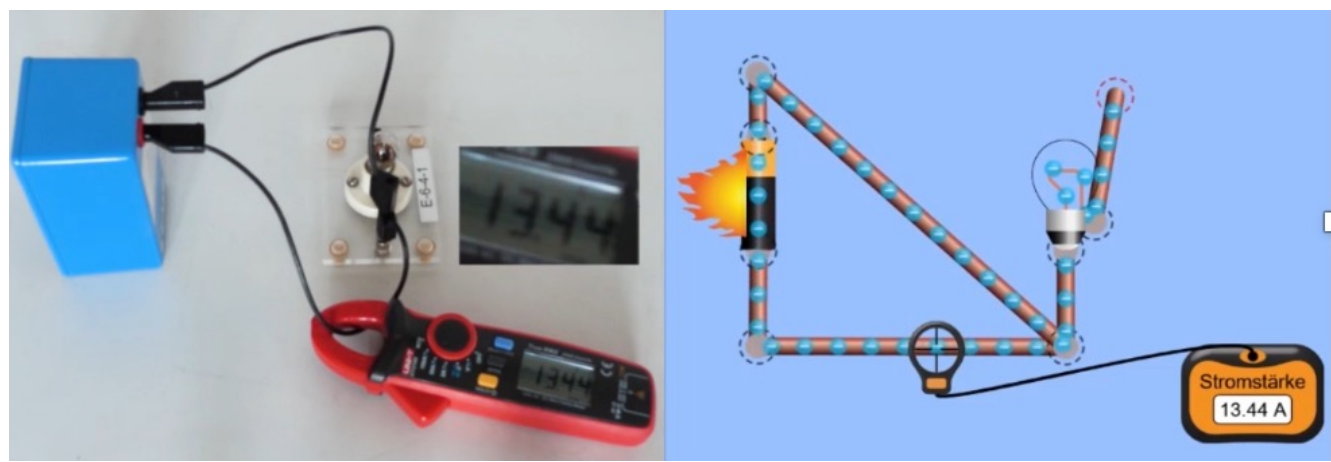
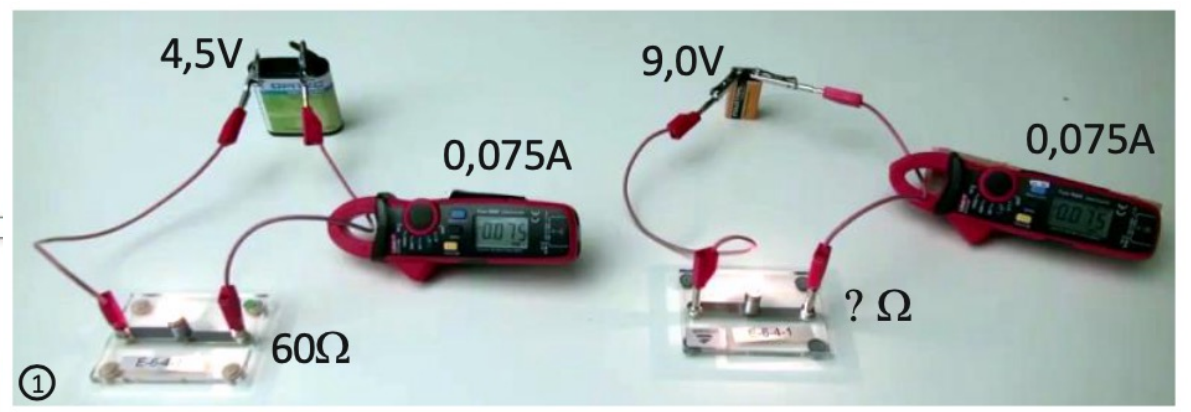
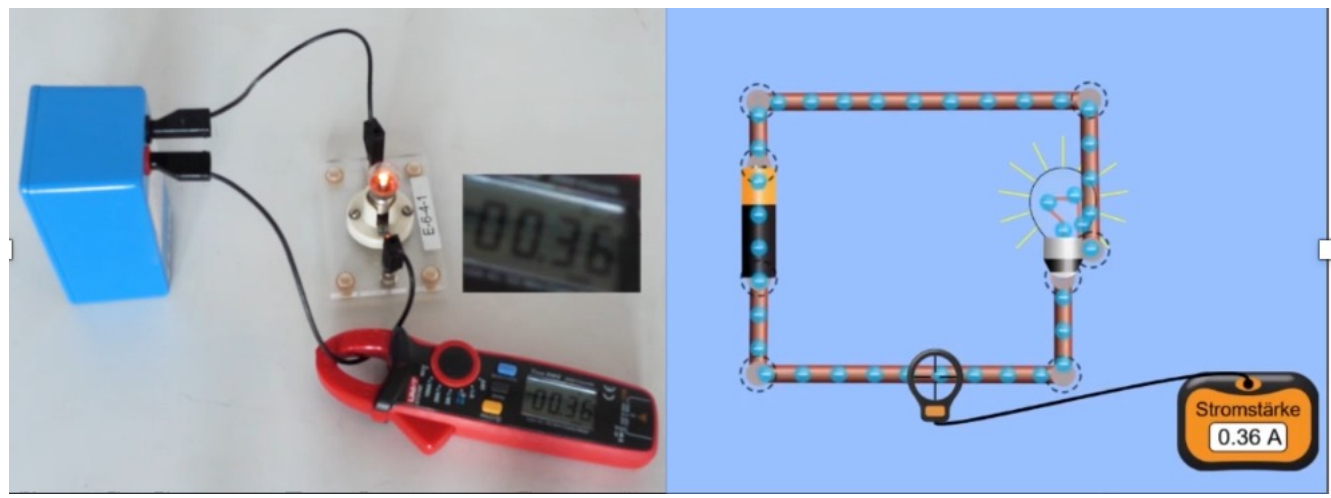
UE8 Knotenregel

UE9 Reihen- und Parallelschaltungen

UE10 Widerstand quantitativ

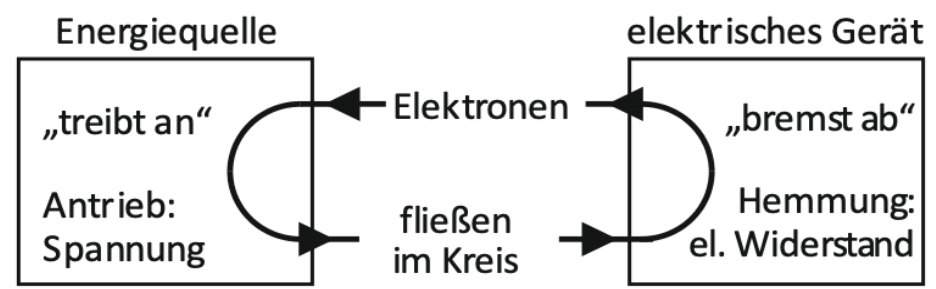
Ablauf des Vorunterrichts

UE3: Antrieb, Strom und Widerstand

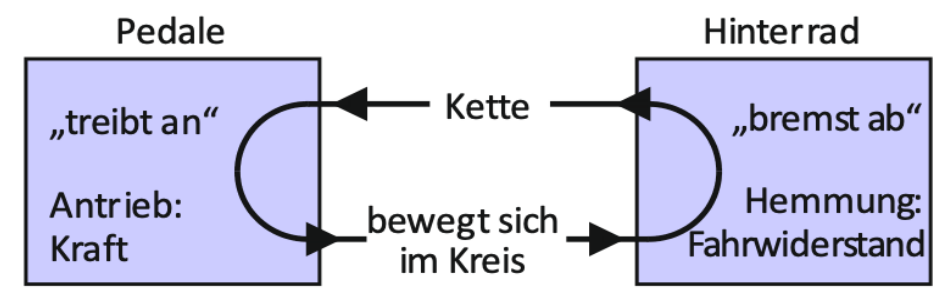


Ablauf des Vorunterrichts

UE3: Antrieb, Strom und Widerstand



Elektrischer Stromkreis



Vorstellungshilfe Fahrrad (Modell)

allgemeine Bedeutung	Elektrischer Stromkreis				Vorstellungshilfe Fahrrad
	physikalische Größe	Abk. der Größe	Einheit	Abk. der Einheit	
Antrieb	Spannung	U	Volt	V	Kraft auf die Pedale
Kreisstrom	Elektronenstrom	I	Ampère	A	Kettenbewegung im Kreis („Kettenstrom“)
Hemmung	elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω	Fahrwiderstand

Ablauf des Vorunterrichts

UE3: Antrieb, Strom und Widerstand

	Antrieb	Widerstand	Kreisstrom
1.	↑		=
2.	=	↑	
3.	=	↓	
4.		=	↑
5.	=		=
6.	↓	=	
7.		↓	=
8.	0	=	

Gliederung des verwendeten Unterrichtskonzepts

UE1 Das Fahrrad als Vorstellungshilfe

UE2 Energietransport durch Kreisläufe

UE3 Antrieb, Strom, Widerstand

UE4 Elektronenstrom quantitativ

UE5 Spannung quantitativ, $U=P/I$

UE6 Schaltskizzen

UE7 Potenzial und Spannung

UE8 Knotenregel

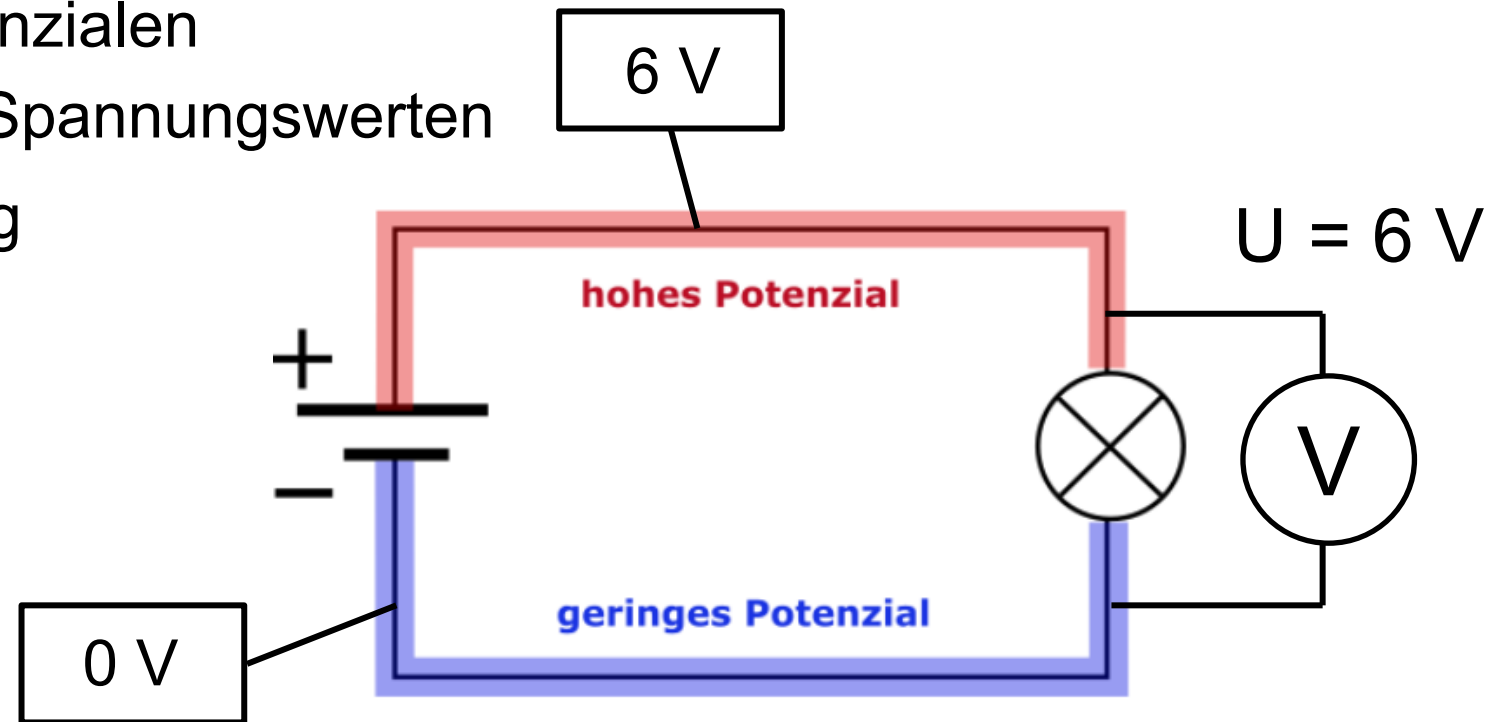
UE9 Reihen- und Parallelschaltungen

UE10 Widerstand quantitativ

Ablauf des „Potenzialunterrichts“

UE7.1: Einführung Potenzialbegriff

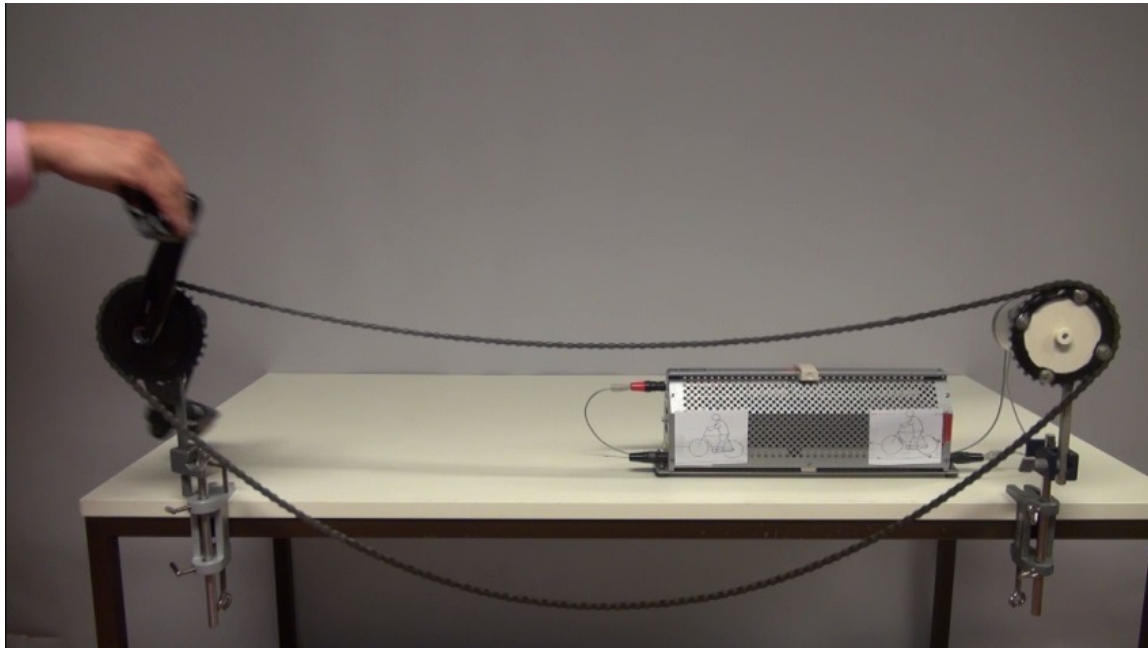
- Erklärfilm und Lückentext
- Farbliche Markierung von Potenzialen
- Ermittlung von Potenzial- und Spannungswerten
- Anschließend Modelleinführung



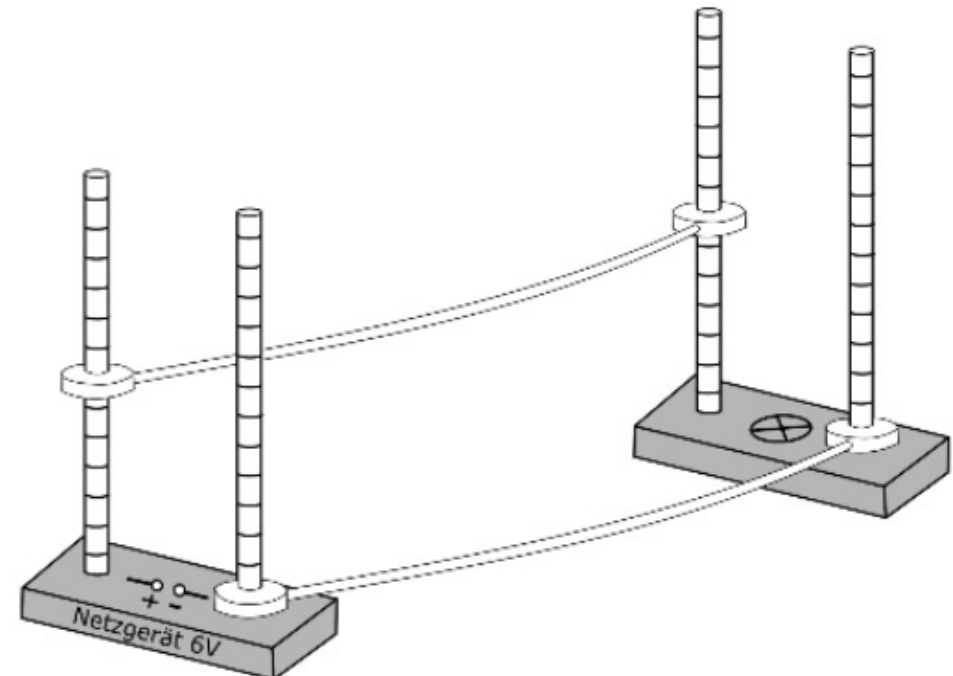
Ablauf des „Potenzialunterrichts“

UE7.1: Modelleinführung

Gruppe „Fahrradkettenmodell“



Gruppe „Höhenmodell“



Ablauf des „Potenzialunterrichts“

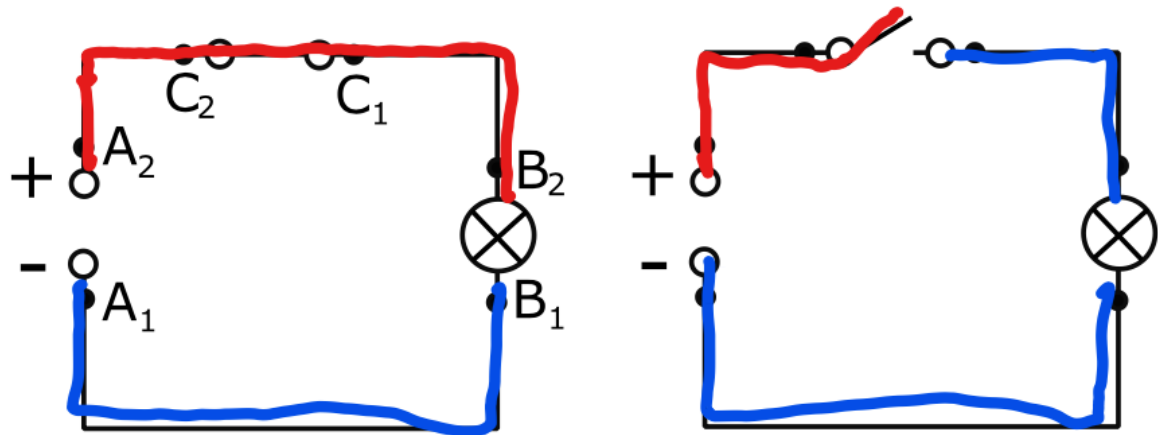
UE7.2: Einführung von Potenzialregeln

<p>Elektrisches Gerät, Strom fließt</p>	<p>Regel: Fließt Strom durch ein elektrisches Gerät, ändert sich das Potenzial.</p> <p>Begründung: Aufgrund des Widerstands des Geräts muss es einen Antrieb geben, damit ein Elektronenstrom durch das Gerät fließen kann. Daher muss sich das Potenzial vor und hinter dem Gerät ändern.</p>	
<p>Elektrisches Gerät, Strom fließt nicht</p>	<p>Regel: Fließt durch das elektrische Gerät kein Strom, ändert sich das Potenzial nicht.</p> <p>Begründung: Fließt kein Strom durch das Gerät, so kann es dort auch keinen Antrieb geben. Denn gäbe es ihn, so würde auch ein Elektronenstrom durch das Gerät getrieben werden. Der Antrieb ist ja der Grund für den Elektronenstrom.</p>	

Ablauf des „Potenzialunterrichts“

UE7.2: Potenzialanalysen von Schaltskizzen

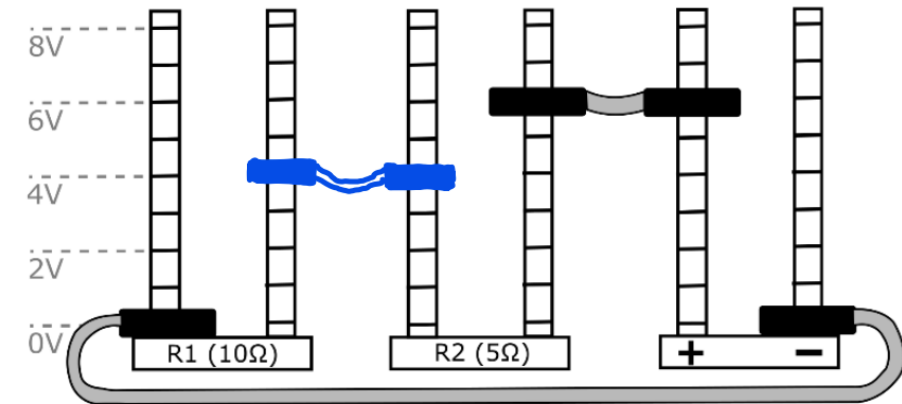
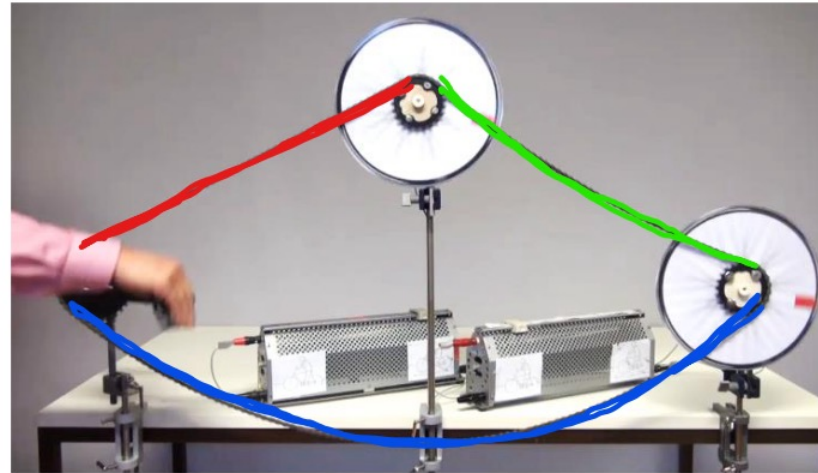
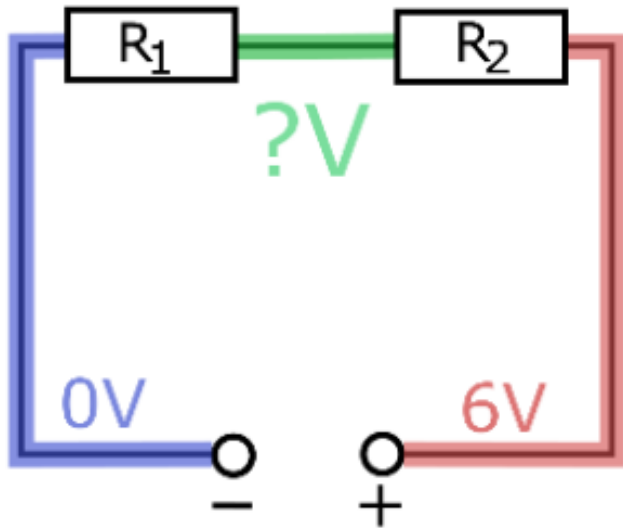
a) Schaltskizze:



Spannung zwischen ...	Schalter geschlossen	Schalter geöffnet
A ₁ und A ₂	6V	6V
B ₁ und B ₂	6V	0V
C ₁ und C ₂	0V	6V
Leuchtet die Lampe?	✓	✗

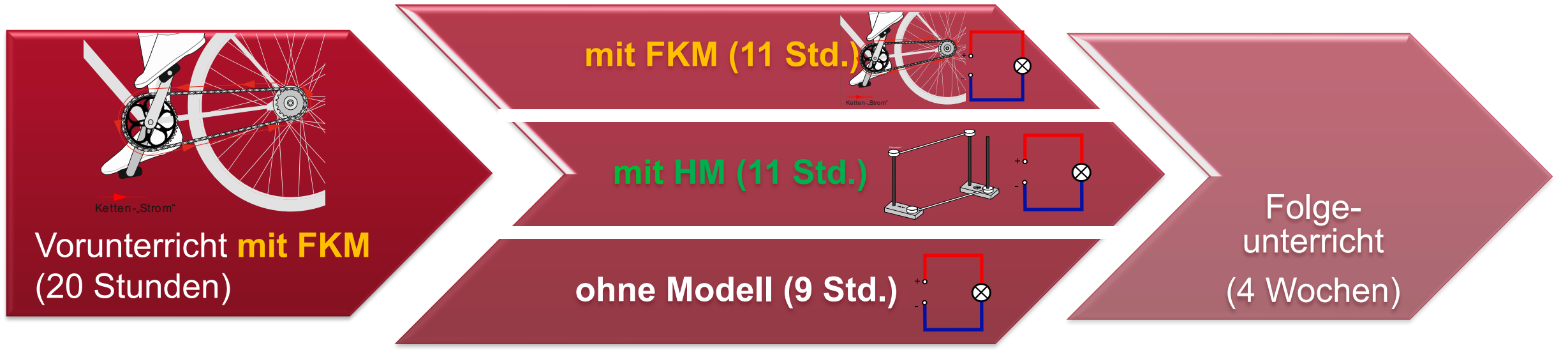
Ablauf des „Potenzialunterrichts“

UE7.3: Erarbeitung „Zwischenpotenzial“



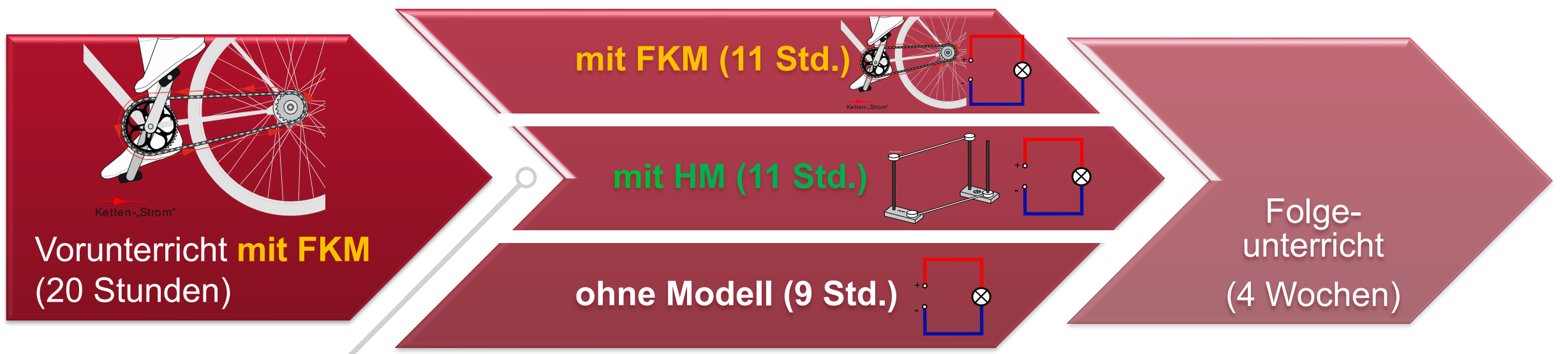
Erhebungen im Rahmen der Studie

Intervention



Erhebungen im Rahmen der Studie

Intervention



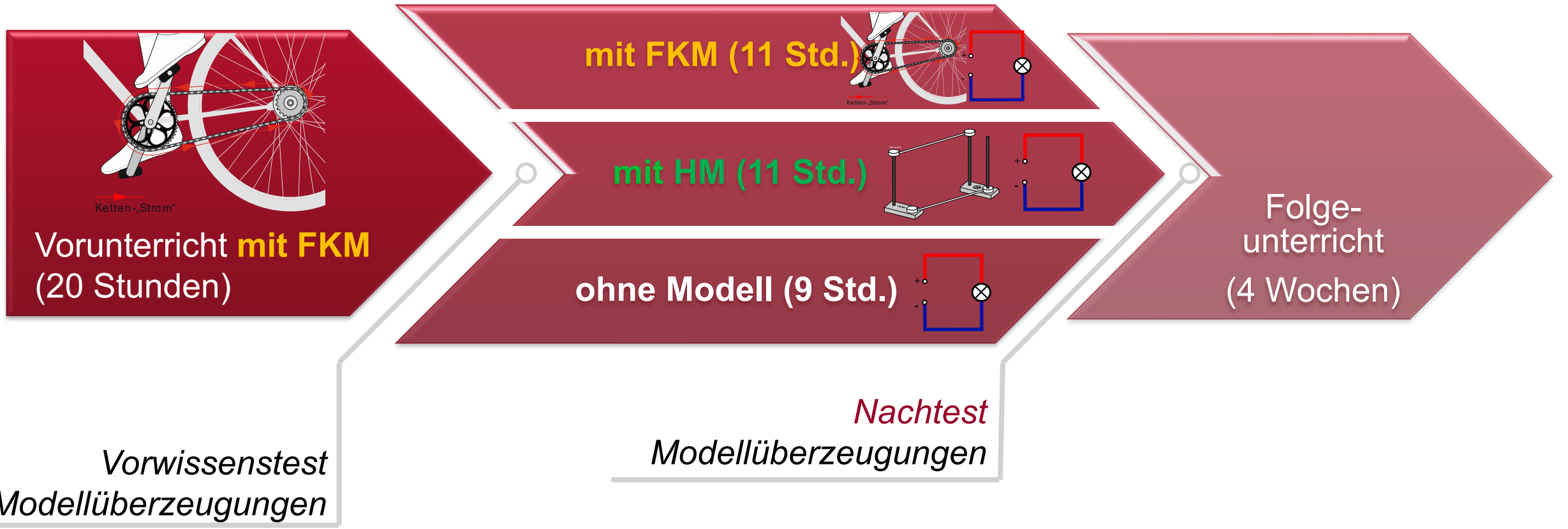
Vorwissenstest
Modellüberzeugungen

Beispiel-Items:

- „Ein Modell kann auch nützlich sein, wenn es anders aussieht als der Stromkreis.“
- „Oft lassen sich verschiedene Regeln in einem Stromkreis auch mit unterschiedlichen Modellen besonders gut darstellen.“
- „Wenn ein Modell zwar viele Regeln richtig, aber eine Regel falsch veranschaulicht, dann sollte es auf keinen Fall verwendet werden.“

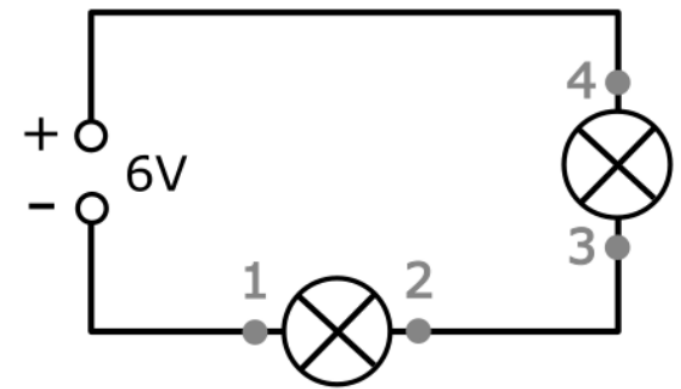
Erhebungen im Rahmen der Studie

Intervention



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:

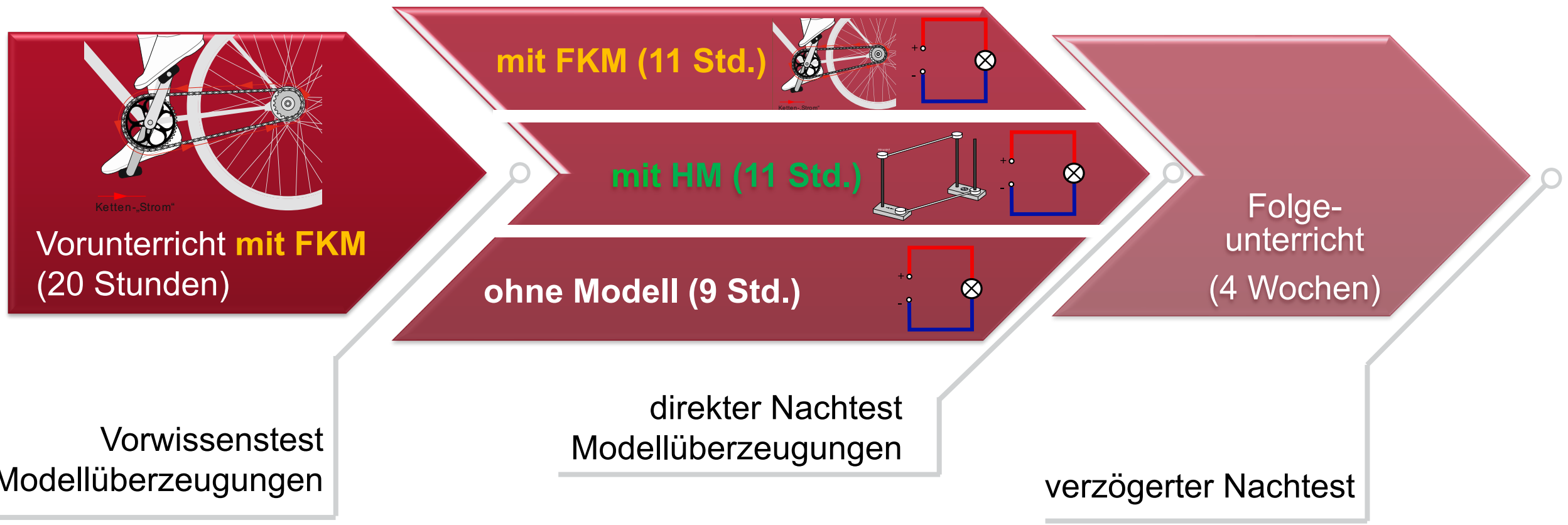
Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
_____ V	_____ V	_____ V	_____ V

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

Erhebungen im Rahmen der Studie

Intervention

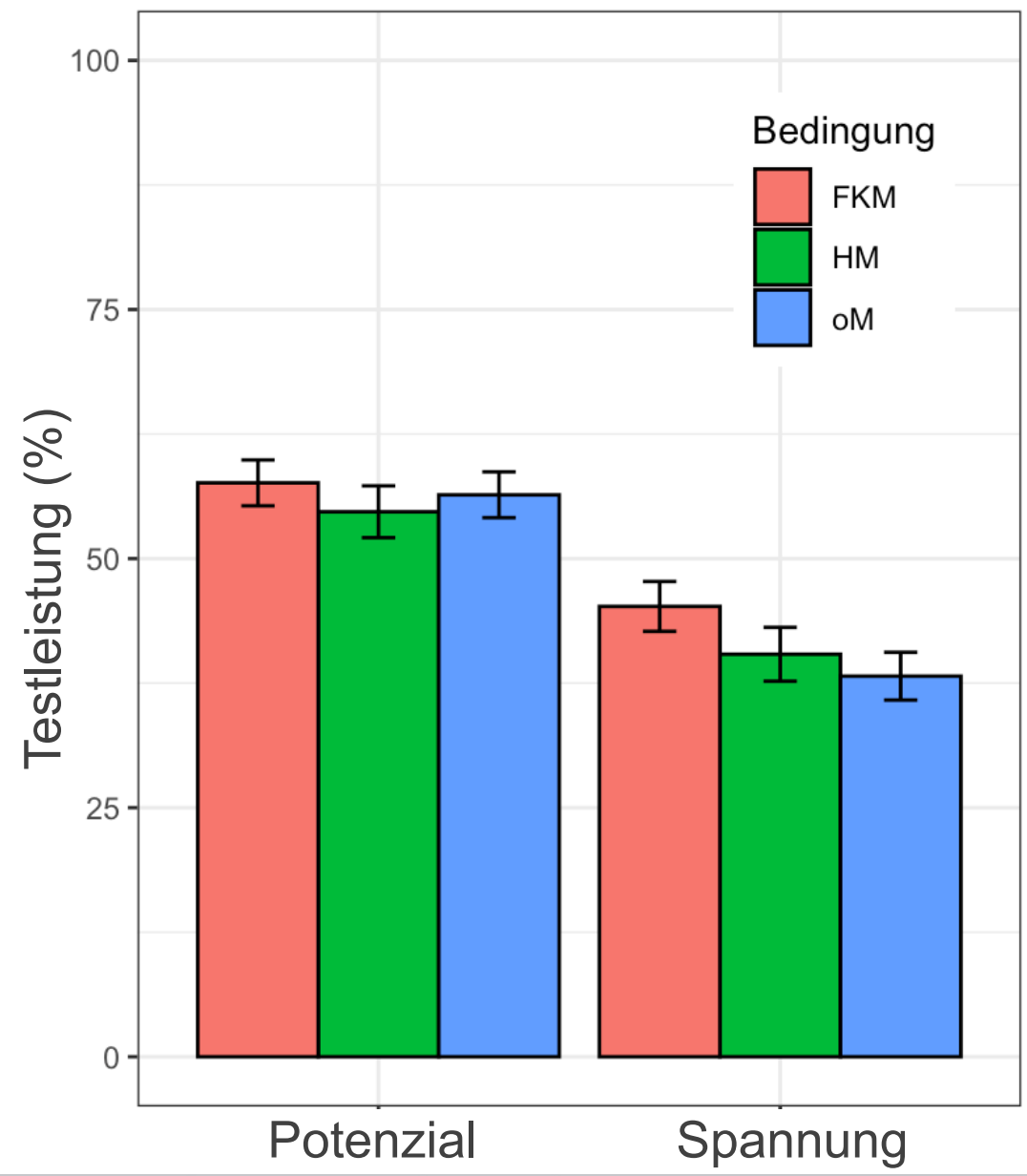


Ergebnisse der Studie

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

Ergebnisse zum **direkten** Nachtest:

Direkt nach dem Unterricht unterscheiden sich die Gruppen hinsichtlich des Potenzial- und Spannungskonzepts nicht.

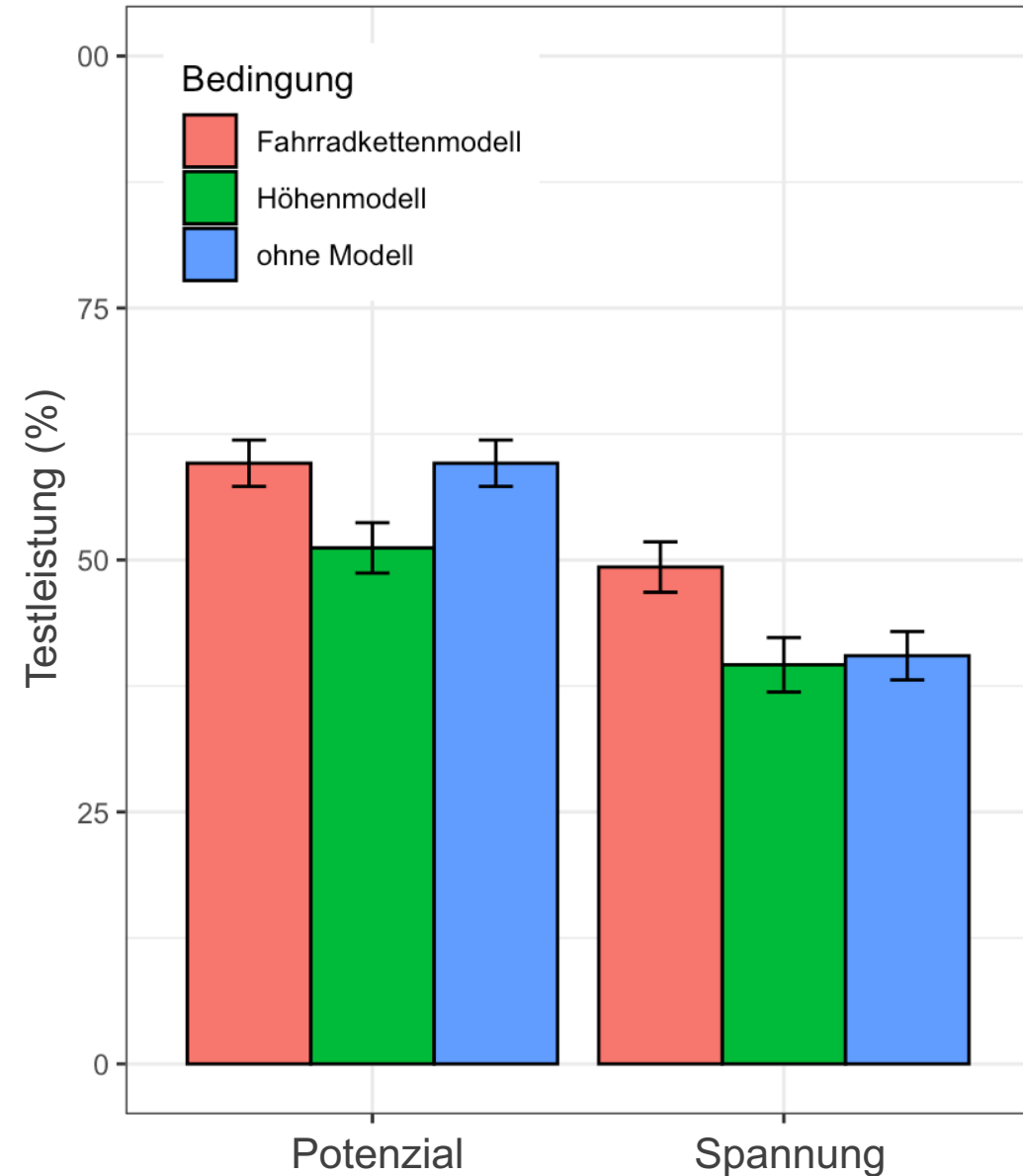


Ergebnisse der Studie

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

Ergebnisse zum **verzögerten** Nachtest:

Verzögert zeigt sich eine höhere Lernwirksamkeit des Fahrradkettenmodells bezogen auf das Spannungskonzept.

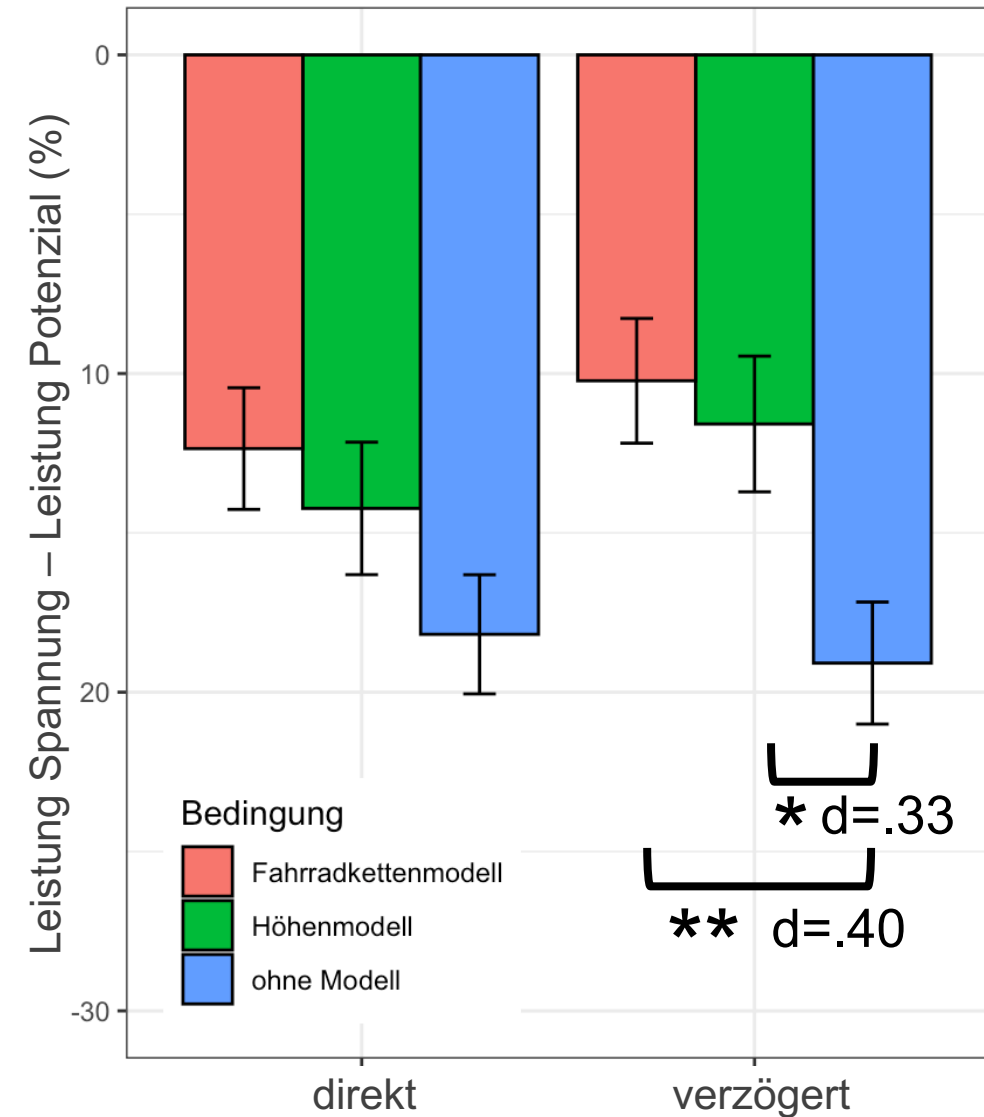


Ergebnisse der Studie

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

- Betrachtet wird nun die Differenz der Subtests
- Eine höhere Differenz wird so gedeutet, dass der Übergang von der Potenzial- zur Spannungsvorhersage seltener gelingt.

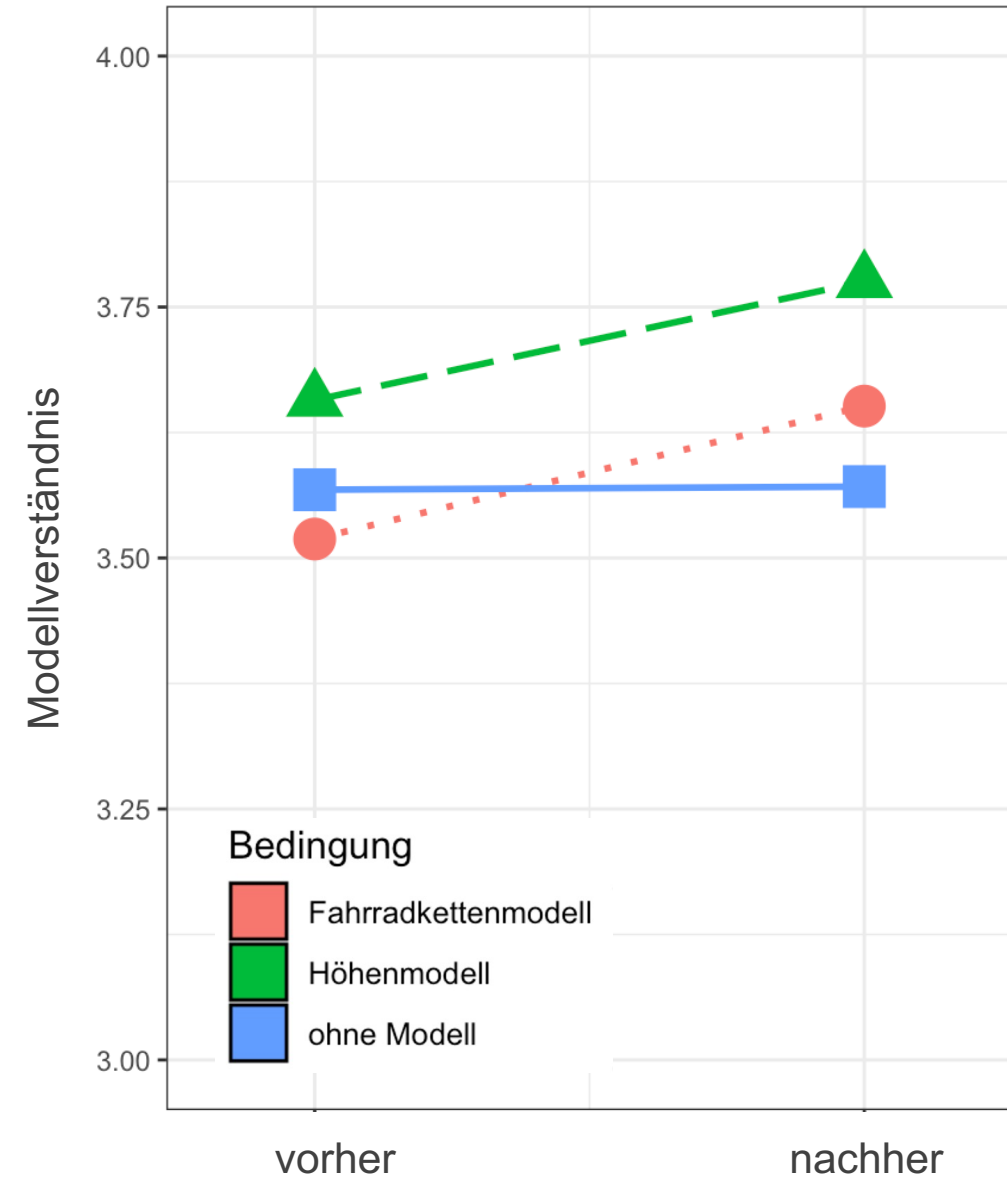
Das Verständnis der Spannung als Potenzialdifferenz wird durch die Analogiemodelle unterstützt.



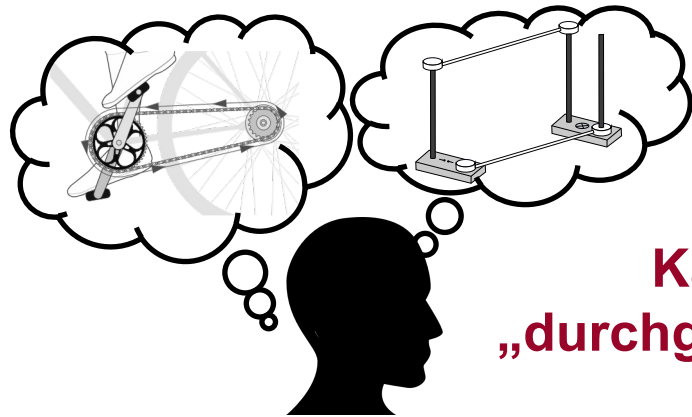
Ergebnisse der Studie

F2: Unterscheiden sich die Gruppen nach dem Unterricht hinsichtlich der Modellüberzeugungen?

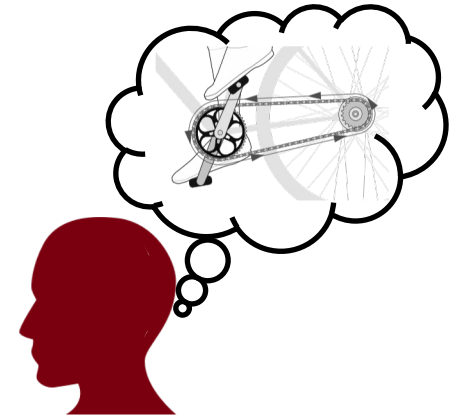
Die Verwendung der Analogiemodelle unterstützt das Lernen über Modelle.



Diskussion und Ausblick



Kann die Fahrradkette ohne Nachteile als „durchgängiges“ Analogiemodell eingesetzt werden?



- Hinsichtlich der Leistung und der Modellüberzeugungen kann das Fahrradkettenmodell bedenkenlos eingesetzt werden.
- Der erwartete Vorteil des Höhenmodells in Bezug auf Potenzial und Spannung zeigt sich nicht. Mögliche Ursachen:
 - Modellwechsel sind für SchülerInnen schwierig (Duit & Glynn, 1995).
 - Abstraktion ist insbesondere für jüngere SchülerInnen anspruchsvoll (Kircher, 1984).
- Future Research: Steigerung der Lernwirksamkeit durch Unterricht über Analogiemodelle?

Vielen Dank...

... an die beteiligten Lehrkräfte und deren Klassen:

Herr Dornbusch (Nordhorn), Herr Ehrenpreis (EMA), Herr Grave (GSG),
Herr Hentel (GSG), Frau Heitmann (Damme), Frau Hünert-Krause (EMA),
Herr Jeurink (Neuenhaus), Frau Koch (Nordhorn), Herr Koch (Ratsgymnasium),
Herr Köhler (Ratsgymnasium), Frau Lietz (Bentheim), Herr Nagel (Ratsgymnasium),
Herr Pleister (Damme), Herr Pues (EMA), Herr Stahl (Neuenhaus)

... an die Studierenden, die an dem Forschungsprojekt mitgewirkt haben:

Frau Bediroglu, Frau Janßen, Frau Menke-Zumbrägel, Herr Niemann, Frau Wolbert

...an meine Arbeitsgruppe:

Herr Berger, Herr Frenzel, Frau Gunkel, Herr Kahnt, Herr Schwarz, Herr Würz

Literatur

- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2017): Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. In: NiU Physik 28, Heft 157, Nr. 1/17, 2017, S. 8 - 13
- Burde, J.-P. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Berlin: Logos Verlag.
- 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. (2009): Elektrizitätslehre aus Schülersicht – Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Elektrizitätslehre. Sammelband Elektrizitätslehre. In: NiU - Physik, S. 4–9.
- 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.
- Grob, K.; Rhöneck, Chr. v.; Völker, B. & Wetter, K. (1988): Die Gravitationsanalogie zur Einführung des Spannungsbegriffs. In: NiU. Physik/Chemie 36 (31), S. 14–19.
- Herrmann, F. & Schmälzle, P. (1984): Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 37 (8), S. 476–482.
- Kircher, E. (1984): Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. In: Der Physikunterricht 18 (1984), Nr. 2, S. 46 – 61.
- Kircher, E. & Hauser, W. (1995): Analogien zum Spannungsbegriff in der Hauptschule. In: NiU Physik, Nr. 27, S. 18-22
- Koller, D.; Waltner, C. & Wiesner, H. (2008): Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. In: PdN – Physik in der Schule 57 (6), S. 6–18.
- Maichle, U. (1980): Verstehens- und Lernprozesse im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I aus kognitionspsychologischer Sicht. Der Physikunterricht 14, Heft 4, S. 5 – 15.
- Rhöneck, Chr. v. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: NiU. Physik 34 (13), S. 10–14.