

## Weiterentwicklung eines Testinstruments zum einfachen Stromkreis

**Louisa Morris\*, Lana Ivanjek\*, Jan-Philipp Burde<sup>x</sup>, Liza Dopatka<sup>o</sup>, Claudia Haagen-Schützenhöfer<sup>+</sup>, Thomas Schubatzky<sup>+</sup>, Verena Spatz<sup>o</sup>, Thomas Wilhelm<sup>x</sup>, Martin Hopf\***

\* Universität Wien, Didaktik der Physik, Porzellangasse 4, 1090 Wien

<sup>x</sup> Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt,

<sup>o</sup> Institut für Physik, Physikdidaktik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt,

<sup>+</sup>Institut für Physik, Physikdidaktik, Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz

lana.ivanjek@univie.ac.at, burde@physik.uni-frankfurt.de, Liza.Dopatka@physik.tu-darmstadt.de, claudia.haagen@uni-graz.at, thomas.schubatzky@uni-graz.at, Verena.Spatz@physik.tu-darmstadt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, martin.hopf@univie.ac.at

### Kurzfassung

Nach dem Unterricht haben viele Schüler/innen Schwierigkeiten mit dem Verständnis der Elektrizitätslehre. Auch wenn es einige Testinstrumente zu diesem Thema gibt, wird in diesen die Spannung wenig behandelt. Daher wurde der Test von Urban-Woldron und Hopf (2012) um Items zur Spannung ergänzt sowie insgesamt optimiert. Mithilfe eines Leitfadenskatalogs wurden neun Schüler/innen aus Wien im Alter von 14 bis 15 Jahren zu einfachen Stromkreisen mit dem Schwerpunkt Spannung befragt. Aus den Antworten der Schüler/innen kristallisierten sich verschiedene Vorstellungen heraus, die zusammengefasst wurden und als Basis für die Entwicklung von zweistufigen Testitems dienten. Die erste Stufe bezieht sich auf die Konzepte der Schüler/innen und die zweite Stufe fragt nach den Erklärungen. Der daraus entstandene Multiple-Choice Test wurde mehreren Klassen in Österreich und Deutschland vorgelegt und ausgewertet. Die Ergebnisse wurden einer Rasch-Analyse unterzogen, um lineare Werte der Item-Schwierigkeiten zu erhalten. Das neu entwickelte Testinstrument wird aktuell für die Überprüfung der Wirksamkeit mehrerer Unterrichtskonzepte zur Elektrizitätslehre verwendet.

### 1. Einleitung

Die Elektrizitätslehre, vor allem der Begriff der Spannung, stellt eine große Herausforderung für viele Schüler/innen dar. Gleichzeitig ist der einfache Stromkreis ein üblicher Teil des Curriculums in der Sekundarstufe I. Zahlreiche fachdidaktische Forschungen zeigen, dass Schüler/innen und Studierende viele Schwierigkeiten beim Verständnis der Elektrizitätslehre haben. So zeigten z.B. McDermott und Shaffer (1992), dass nur 15% der Studierenden der Einführungsvorlesungen die Helligkeiten von Glühlampen in einfachen Stromkreisen vorhersagen können.

Basierend auf früherer Forschung (McDermott & Shaffer, 1992; Rhöneck, 2011; Urban-Woldron & Hopf, 2012) können wir die Schülervorstellungen zum einfachen Stromkreis folgendermaßen zusammenfassen: Stromverbrauchsvorstellung, fehlende Differenzierung von Spannung und Strom, Batterie als konstante Stromquelle, lokales Denken und sequentielle Argumentation, Schwierigkeiten mit dem Widerstandsbegriff, Probleme mit der topologischen Struktur, Abhängigkeit der Stromstärke von der Entfernung zur Batterie und die Vorstellung, dass sich die Spannungen der Batterie unabhängig von der Schaltungsart summieren.

Das Ziel dieser Studie ist es daher, mithilfe von Interviews mit Schüler/innen neue Items für einen Two-Tier-Test zum einfachen Stromkreis und insbesondere zur Spannung zu entwickeln. Two-Tier-Tests bestehen aus zweistufigen Testitems. Sie haben alle Vorteile eines Multiple-Choice Tests, aber sie geben zusätzlich auch Einblicke in die Denkwege der Schüler/innen. Sie sind einfach zum Auswerten und ermöglichen so den Lehrenden einen schnellen Einblick in die Schwierigkeiten der Lernenden.

Bereits bekannte und erprobte Testinstrumente zum einfachen Stromkreis (Binder, 2011; Engelhardt & Beichner, 2004; Halloun, 2007; Urban-Woldron & Hopf, 2012) wurden bei der Erstellung eines Leitfadenskatalogs für die Interviewphase berücksichtigt und benutzt. Von besonderer Wichtigkeit sind dabei der DIRECT (Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test), ein von Engelhardt und Beichner (2004) entwickeltes Testinstrument zu Gleichstromkreisen, und der Test von Urban-Woldron und Hopf (2012), der gängige Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre gut abbilden kann.

## 2. Theoretischer Hintergrund

Die meisten Lernenden besitzen bereits vor dem Physikunterricht ausgeprägte Vorstellungen und Denkweisen zu physikalischen Phänomenen. Diese mitgebrachten Vorstellungen stehen jedoch häufig im Widerspruch zu den tatsächlichen physikalischen Konzepten, was zu Lernschwierigkeiten führen kann (Duit, 2004). Neben Vorstellungen, die aus dem Alltag generiert werden, gibt es aber auch Behauptungen, die sozusagen in der jeweiligen Situation (zum Beispiel im Unterricht selbst) von Schüler/innen erfunden werden (Duit, 2011). Niedderer und Schecker bezeichnen diese Fälle als „deep structures“ und „current constructions“ (1992). „Current constructions“ werden als Aktionen, Aussagen und Erwartungen in der konkreten gegebenen Situation beschrieben, die meistens in der jeweiligen Situation entstehen, indem auf andere stabile, kognitive Elemente zurückgegriffen wird. Mit „deep structures“ werden hingegen die tiefsitzenden, stabilen Strukturen selbst bezeichnet. Auch „current constructions“ sind veränderlich. Sie können zu „deep structures“ werden. Dieser Fall tritt zum Beispiel ein, wenn sich ein Konzept in mehreren Situationen bewährt (Niedderer & Schecker, 1992). Im Hinblick auf die Interviews und erste Testergebnisse dieser Forschung, gehen wir eher von ‚current constructions‘ als von ‚deep structures‘ aus. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Schüler/innen aus der jeweiligen Situation heraus ad hoc Begründungen generierten.

## 3. Forschungsdesign

### 3.1. Interviews

In einer ersten Phase wurden neun halbstrukturierte Interviews mit Schülern/innen zum einfachen Stromkreis durchgeführt, mit besonderem Schwerpunkt auf der Spannung. Dafür wurde ein Leitfadenskatalog erstellt, der aus einer Einstiegsfrage und zwölf Hauptfragen (mit ein bis drei Unterfragen) zusammengesetzt ist.

Alle Interviews gliederten sich nach dem in Abbildung 1 dargestellten Schema. Den Schüler/innen wurde erklärt, dass ihre Antworten keinerlei Auswirkungen auf ihre Noten haben und vertraulich behandelt werden. Außerdem wurde ihnen mitgeteilt, dass die Lösungen für die Fragen erst am Ende des Interviews mitgeteilt werden könnten. Als nächstes wurden den Schüler/innen alle Schaltsymbole, die für das Interview notwendig waren, gezeigt, um sicherzustellen, dass sie allen bekannt waren. Das Interview wurde daraufhin mit der Einstiegsfrage eingeleitet, bei der eine Glühlampe mithilfe von einem Drahtstück und einer Batterie zum Leuchten gebracht werden musste. Im Anschluss daran wurden die Hauptfragen gestellt. Dabei wurden die Schüler/innen stets nach ihren Begründungen gefragt. Das Ende des Interviews wurde den Interviewpartnern/innen klar signalisiert.



Abb.1: Interviewschema

Für die Interviews wurden neun Schüler/innen im Alter von 14 bis 15 Jahren befragt (sechs weiblich und drei männlich). Sie besuchten jeweils eine von zwei Schulen, wobei die erste Schule (Schule 1) ein Realgymnasium und die zweite Schule (Schule 2) ein Bundesoberstufengymnasium ist. Je drei Schüler/innen besuchten dieselbe Klasse und wurden von demselben Physiklehrer in Elektrizitätslehre unterrichtet. Die Interviews dauerten zwischen 17 und 48 Minuten und wurden an vier Terminen im Herbst 2017 durchgeführt.

Die Interviews wurden transkribiert, analysiert, in kurze Aussagen zusammengefasst und kodiert, damit die Antworten aus den Interviews als Distraktoren für die neuen Testitems dienen können.

### 3.2. Zweistufiges Testinstrument

Um die Verständnisschwierigkeiten von Schüler/innen in einer großen Stichprobe erfassen zu können, wurde ein zweistufiges Testinstrument konzipiert. Die erste Stufe bezieht sich auf die Konzepte der Schüler/innen und die zweite Stufe fragt nach den Erklärungen. Die Begründungen auf der zweiten Stufe wurden aus den Ergebnissen der Interviews abgeleitet oder basieren auf schon bekannten Schülervorstellungen. Das so entwickelte neue Instrument besteht aus 32 zweistufigen Testitems, die in zwei Testhefte aufgeteilt und über zehn gemeinsame Items verankert wurden.

Item 2		Betrachte den Stromkreis.	
a)		Welche Spannung liegt zwischen den Punkten 1 und 2 an?	
A	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt keine Spannung an.	
B	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung von 6V an.	
C	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung zwischen 5,1 V und 5,9 V an.	
D	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung von 5 V an.	
b)		Warum? Wähle jene Aussage aus, die am besten zu deiner Begründung passt.	
A	<input type="checkbox"/>	Die Spannung nimmt mit zunehmendem Abstand zur Batterie ab.	
B	<input type="checkbox"/>	Der Innenwiderstand der Batterie ist nicht zu vernachlässigen.	
C	<input type="checkbox"/>	In einem offenen Stromkreis kann keine Spannung anliegen.	
D	<input type="checkbox"/>	Die Punkte 1 und 2 sind direkt mit den Polen der Batterie verbunden.	
E	<input type="checkbox"/>	In einem offenen Stromkreis ohne Widerstand kann keine Spannung anliegen.	

Abb.2: Beispiel eines Testitems

Ein Beispiel eines Testitems zur Spannung ist in Abbildung 2 dargestellt. Dieses Testitem illustriert gut, wie die Items im Test konstruiert wurden. Zu jeder Antwort der ersten Stufe passt mindestens eine Begründung auf der zweiten Stufe. Falls zum Beispiel

die Schüler/innen bei dieser Frage denken, dass zwischen den Punkten 1 und 2 keine Spannung anliegt, weil in einem offenen Stromkreis keine Spannung anliegen kann, können sie Kombination AC oder AE auswählen, je nachdem, ob sie denken, dass dabei auch ein Widerstand eine Rolle spielen könnte. Die Schülervorstellung, dass die Spannung mit zunehmendem Abstand von der Batterie abnimmt, zeigt sich in den Kombinationen CA und DA.

Die Daten wurden mithilfe des WINSTEPS-Programms (J. Michael Linacre, 1994; J. M. Linacre & Wright, 1993) einer Rasch Analyse unterzogen, um lineare Werte der Item-Schwierigkeiten zu erhalten. Bei der Analyse wurden beide Stufen (a & b) der Testitems zunächst als eine Frage betrachtet und nur als korrekt (1 Punkt) bewertet, wenn beide Stufen richtig beantwortet wurden. Wenn eine oder beide Stufen falsch waren, wurde die Antwort als nicht korrekt (0 Punkte) bewertet. Eine zweite Analyse wurde durchgeführt, bei der jede Stufe als separate Frage betrachtet wurde, um mehr Information über jede einzelne Teilfrage zu bekommen.

An der Austestung der neuen Testitems nahmen 228 Schüler/innen aus der achten bzw. neunten Schulstufe in Wien, Frankfurt und Graz teil. Alle Schüler/innen waren in der siebten bzw. achten Schulstufe bereits in Elektrizitätslehre unterrichtet worden.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Ergebnisse aus der Interviewstudie

Die Interviews zeigten, dass die befragten Schüler/innen deutliche Probleme mit dem Verständnis der Elektrizitätslehre auch noch nach dem Unterricht hatten. Es kristallisierten sich insbesondere fünf wiederkehrende Vorstellungen heraus. Diese sind: Spannung hängt von der Entfernung zur Batterie ab, Spannung wird verbraucht, fehlende Differenzierung von Spannung und Strom, Spannung ist gleichmäßig im Stromkreis verteilt und Verwechslung von Serien- und Parallelschaltung.

Vier von neun Schüler/innen sagten bei den Interviews, dass je weiter die Glühlampe von der Batterie entfernt ist, desto weniger Spannung liegt zwischen ihren Anschlüssen an. Folgende Interviewsequenz zeigt wie die Schüler/innen das begründen: „Ähm, also ich glaube am Lämpchen 1 ist mehr Spannung als am Lämpchen 2, weil da muss der Strom ja auch einen längeren Weg, sozusagen, zur Lampe gehen.“

Eine weitere wiederkehrende Vorstellung aus den Interviews ist die Idee, dass die Spannung durch die Glühlampen verbraucht wird. Deswegen sagten die Schüler/innen, dass die Spannung vor der Glühlampe größer ist als nachher.

Fehlende Differenzierung zwischen Spannung und Strom wurde schon in der Literatur dokumentiert (Duit & Rhöneck, 1998) und während der Interviews weiter bestätigt. Schüler/innen verwechselten die Begriffe Spannung und Strom und sie verwendeten Formulierungen wie „Spannung durchfließt“ und „die

Spannung wird weniger, weil der Strom einen längeren Weg hat“.

Zwei Schüler/innen gingen von der richtigen Vorstellung aus, dass die Batterie eine konstante Spannungsquelle ist, aber behaupteten dann weiter, dass die Spannung an allen Punkten im Stromkreis gleich groß sei und dass an allen Glühlampen die Spannung der Batterie anliege, unabhängig von der Schaltungsart.

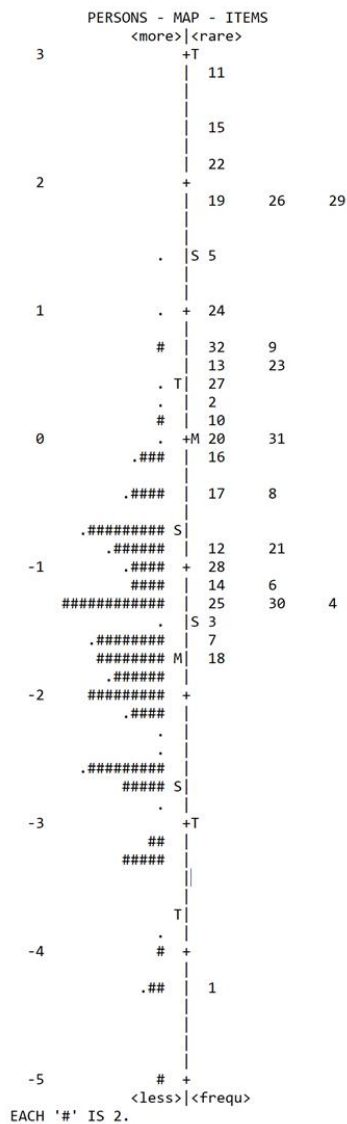
Dazu zeigten die Interviewergebnisse, dass viele Schüler/innen kein richtiges Konzept von Serien- und Parallelschaltungen haben. Beide Schaltungsarten wurden während der Interviews verwechselt. Die befragten Schüler/innen nutzen drei falsche Kriterien, um zu entscheiden, ob es sich um eine Parallel- oder Serienschaltung handelt: „bei einer Serienschaltung müssen die Glühlampen gegenüber voneinander liegen“, „bei einer Serienschaltung müssen zwei Glühlampen entlang eines Drahtes direkt nebeneinander liegen“ und „bei Parallelschaltungen müssen sie direkt gegenüber voneinander liegen“.

### 4.2. Testergebnisse

In den Abbildungen 3a und 3b sind die Item-Person Maps für die Populationen abgebildet. Abbildung 3a zeigt die Verteilung der Stichprobe, wenn beide Stufen der Aufgaben zusammen als ein Item betrachtet werden. Abbildung 3b zeigt die gleiche Population, wenn jede Stufe der Aufgaben als separates Item betrachtet wurde. Die linke Seite der Abbildung zeigt die Verteilung der Schüler/innen nach Personenfähigkeit, wobei die fähigeren Schüler/innen sich im oberen Teil der Verteilung befinden und die weniger fähigen im unteren Teil. Auf der rechten Seite der Verteilung befinden sich die Testitems geordnet nach dem Schwierigkeitsgrad: schwierigere Items befinden sich ganz oben, ganz einfache unten. Man merkt sofort, dass der Test zu schwer für diese Population ist. Das kann mehrere Gründe haben: Neben den bekannten Schwierigkeiten der Schüler/innen mit der Elektrizitätslehre mussten wir auch eine niedrige Motivation während der Austestung wie auch viele Misfitting-Personen bei der Analyse feststellen. Noch dazu wurde der Test erst ein Jahr nach dem Elektrizitätslehreunterricht durchgeführt.

Die Item-Reliabilität für die gemeinsame Analyse der beiden Stufen liegt bei 0,95 und die Personen-Reliabilität liegt bei 0,60. Bei der getrennten Analyse der Stufen beträgt die Item-Reliabilität 0,96 und die Person-Reliabilität 0,66. Während die Item-Reliabilität in beiden Analysen angemessen ist, zeigt die niedrigere Person-Reliabilität, dass es notwendig wäre, den Test weiterzuentwickeln. Unsere Analyse zeigte auch einige Misfitting Items.

Das sind vor allem die Items im oberen Teil der Verteilung, die zu schwierig für diese Population waren. Es ist auch zu bemerken, dass es ein Loch an der Stelle der Itemverteilung gibt, wo weniger fähige Schüler/innen sind. Das bedeutet, dass noch einige einfachere Items im Test fehlen.

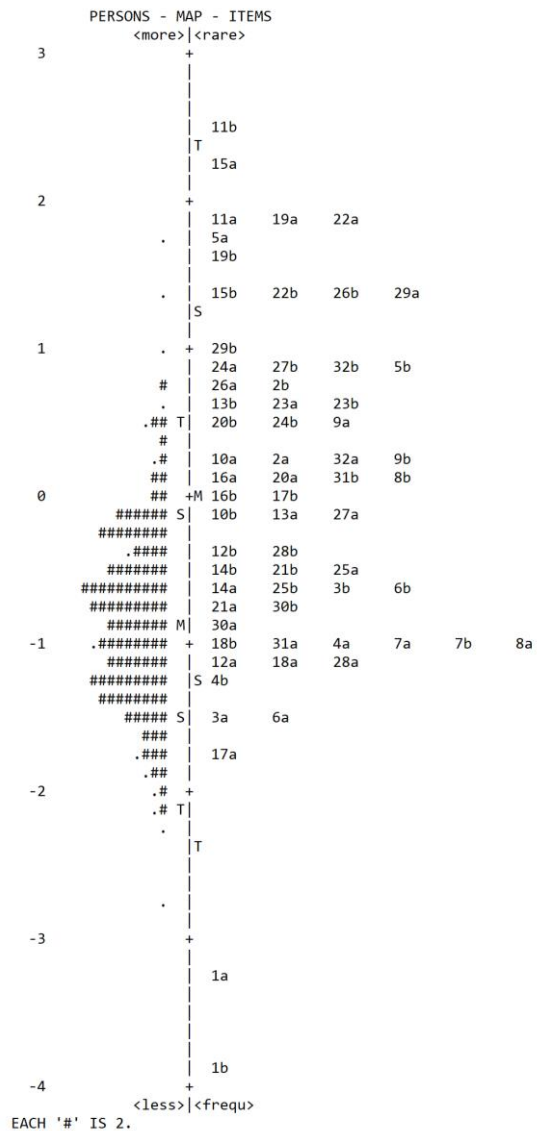


**Abb.3a** Item-Person Map aus der Raschanalyse bei gemeinsamer Auswertung

Bei der Verteilung der Fragen ist sichtbar, dass die Spannungitems für die Schüler/innen besonders schwierig waren, während die Fragen, die auf offene oder geschlossene Stromkreise abzielen, leichter waren und besser beantwortet wurden. Die Items, die abfragen, ob die Stromstärke bei Serienschaltungen konstant sind, zeigen eine mittlere Schwierigkeit.

Am Beispiel von Item 2 aus dem Test (Abbildung 2) kann man sehen, wie die Schüler/innen auf die Fragen antworteten. Dieses Item befindet sich in beiden Testheften und wurde von allen 228 Proband/innen beantwortet. Die Schüler/innen sollten hierbei angeben, welche Spannung zwischen den Punkten 1 und 2 anliegt. Die richtige Antwortkombination ‚BD‘, dass zwischen den Punkten 1 und 2 eine Spannung von 6 V anliegt, da die Punkte 1 und 2 direkt mit den Polen

der Batterie verbunden sind, wurde von rund 15 % der Schüler/innen gewählt.



**Abb.3b** Item-Person Map aus der Raschanalyse bei getrennter Auswertung

Die häufigste falsche Antwortkombination war AC (zwischen den Punkten 1 und 2 kann keine Spannung anliegen, da der Stromkreis offen ist), die rund 53 % der Schüler/innen ankreuzten. Die zweithäufigste falsche Antwortkombination war AE (zwischen den Punkten 1 und 2 kann keine Spannung anliegen, da es sich um einen offenen Stromkreis ohne Widerstand handelt), die rund 11 % der Schüler/innen angaben. Diese beiden Antwortkombinationen deuten wieder auf eine Verwechslung zwischen Strom und Spannung hin. Außerdem wurden noch die Antwortkombinationen CA (3 %) und DA (< 1 %) von den Schüler/innen gewählt.

Rund 17 % der Proband/innen entschieden sich für unlogische Kombinationen, die einen Widerspruch in sich enthalten. Dafür könnte fehlende Motivation ein

Grund sein und solche Antworten tragen leider auch zu Misfits und niedrigeren Personen-Reliabilitäten bei.

### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl die Interviews als auch die Testergebnisse zeigen, dass Schüler/innen viele Schwierigkeiten mit der Elektrizitätslehre haben, besonders mit dem Begriff der Spannung. Es wurde bestätigt, dass die Schüler/innen nach dem Elektrizitätslehreunterricht kein Konzept der Spannung haben und Gelerntes nicht auf den einfachen Stromkreis anwenden können. Die Schwierigkeiten, die in den Interviews gefunden wurden, zeigten sich auch im Test.

Deswegen sind gut erforschte und erprobte Unterrichtskonzepte zu diesem Thema notwendig. Innerhalb der EPO-EKO Studie werden dafür zwei unterschiedliche Konzepte erprobt und evaluiert: das Frankfurter Elektronengasmodell (Burde & Wilhelm, 2016) und ein kontextorientiertes Unterrichtskonzept zur E-Lehre. Anhand von ersten Testergebnissen wird auch die erste Version des Tests überarbeitet. Dabei ist geplant, einige Fragen zu vereinfachen.

### 6. Literatur

- Binder, R. (2011). Weiterentwicklung zweistufiger Fragebögen als Test- und Kontrollinstrument zur Evaluierung von Schülervorstellungen zum elektrischen Widerstand (Diplomarbeit). Universität Wien.
- Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2016). Das Elektronengasmodell im Anfangsunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 65, Nr. 8, S. 18 – 24
- Duit, R. (2004). Schülervorstellungen und Lernen von Physik. PIKO-BRIEF NR. 1. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko> (Stand Mai 2018)
- Duit, R. (2011). Alltagsvorstellungen berücksichtigen. In R. Müller, R. Wodzinski & M. Hopf (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Duit, R., & Rhöneck, C. v. (1998). Learning and understanding key concepts of electricity. In A. Tiberghien (Hrsg.), *An I.C.P.E. Book. Connecting research in physics education with teacher education*. S.I.: International Commission on Physics Education.
- 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>
- Halloun, I. (2007). Evaluation of the Impact of the New Physics Curriculum on the Conceptual Profiles of Secondary Students. Beirut, Lebanon: Phoenix series / Lebanese University.
- Linacre, J. M., & Wright, B. D. (1993). *A user's guide to BIGSTEPS: Rasch-model computer program*. Chicago: MESA Press.

- Linacre, J. M. (1994). *Many-facet Rasch measurement* (2. ed.). Chicago: MESA Press.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994–1002.
- Niedderer, H., & Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In R. Duit, F. M. Goldberg, & H. Niedderer (Hrsg.), *IPN: Vol. 131. Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies; proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991* (pp. 74–98). Kiel: IPN
- Rhöneck, C. v. (2011). Vorstellungen vom elektrischen Strom und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In R. Müller, R. Wodzinski & M. Hopf (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *ZfDN*, 18, 201–227.