

HILDEGARD URBAN-WOLDRON, MARTIN HOPF

## Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre

Development of a diagnostic instrument for testing student understanding of basic electricity concepts

### ZUSAMMENFASSUNG

Empirische Untersuchungen zu Schülervorstellungen zeigen, dass auch nach dem Unterricht auf verschiedenen Schulstufen Basiskonzepte zum elektrischen Strom nicht vorhanden sind. Aufbauend auf dem aktuellen Stand der fachdidaktischen Forschung zu Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre wird am AECC Physik der Universität Wien ein Testinstrument entwickelt, das eine rasche und effiziente Erfassung des Verständnisses der Schülerinnen und Schüler ermöglichen und Zusammenhänge zwischen verschiedenen unwissenschaftlichen Vorstellungen abbilden soll. In diesem Beitrag wird über erste Ergebnisse eines auf Basis schon bekannter Schülervorstellungen entwickelten Fragebogeninstrumentes mit zweistufigen Items zum Erfassen des detaillierten Verständnisses zu den Schülervorstellungen Stromverbrauch und Batterie als konstante Stromquelle berichtet. Die Testitems enthalten neben den Distraktoren für die Darstellung der einzelnen Lösungsmöglichkeiten auf einer zweiten Stufe weitere Distraktoren für mögliche Erklärungen. Ziel des übergeordneten Forschungsprogrammes ist, ein Fragebogeninstrument vorzulegen, das anstelle von Interviews auch für die formative und summative Evaluation von Elektrizitätslehre-Unterricht in der Schulpraxis eingesetzt werden kann, gleichzeitig aber psychometrisch so ausgereift ist, dass das Instrument auch für die empirische fachdidaktische Forschung verwendbar ist.

Schlüsselwörter: Schülervorstellungen, Elektrizitätslehre, Basiskonzepten, formative Evaluation, summative Evaluation

### ABSTRACT

Results from physics education research on student conceptions indicate that there is often little change in conceptual understanding before and after formal instruction. Based on findings from physics education research the authors aim to develop a valid and reliable diagnostic instrument, to quickly and efficiently detect students' alternative comprehension concerning basic concepts of electricity. Additionally, the research program focuses on figuring out specific relationships between different misconceptions and making the test instrument applicable both for physics education research and the teachers in the measure of students' qualitative classrooms. The paper reports on preliminary findings based on two-tier test items to measure student understanding of 'current consumption' and 'battery as a source of constant current'. On the one hand, the final

test instrument should aid teachers in formative and summative evaluation of their teaching. On the other hand, the instrument should be an applicable resource for physics education research as well. Some quantitative techniques such as confirmatory factor analysis and structuring equation modeling revealed that the test scores could be a valid and reliable understanding and the correlation according to different misconceptions.

Keywords: student conceptions, electricity, basic concepts, formative evaluation, summative evaluation

---

## 1 Theoretischer Hintergrund

Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zu Basiskonzepten des elektrischen Stromkreises wurden bisher in der fachdidaktischen Forschung in zahlreichen Kontexten und für verschiedene Altersstufen untersucht (Duit, 1993b). Bereits in den 1970-iger Jahren wurden empirische Befunde veröffentlicht, die zeigen, dass etwa 50 % der Testpersonen (Schüler/innen verschiedener Altersstufen) auch nach dem Physikunterricht nicht in der Lage waren, eine Glühlampe mit Hilfe einer Batterie und eines Drahtes zum Leuchten zu bringen (Evans, 1978; Tiberghien & Delacote, 1976), da sie beträchtliche Fehlvorstellungen zum elektrischen Stromkreis konzept aufwiesen. Fredette und Lochhead (1980) replizierten diese Studien mit College-Studierenden in Physik-Einführungskursen. In den nächsten 20 Jahren wurden von verschiedenen Autoren weitere Untersuchungen zu Schülervorstellungen beim elektrischen Stromkreis veröffentlicht (Osborne, 1983; Shipstone, 1984a; Shipstone, 1984b; McDermott & van Zee, 1984; Driver, Tiberghien, A. & Guesne, 1985;

Shipstone et al., 1988; Shipstone, 1988; Lewandowska, 1995; Borges & Gilbert, 1999).

### 1.1 Literaturbasierte Kategorisierung von Schülervorstellungen im einfachen Stromkreis

Durch die zahlreichen Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte wurden einerseits viele Vorstellungen und Konzepte entdeckt, andererseits konnten Kategorien gebildet werden, die gewisse Grundvorstellungen beschreiben, die in verschiedensten Untersuchungen immer wieder auftraten:

#### Elektrischer Strom als Substanz sowie Differenzierung von Spannung und Strom

Schülerinnen und Schüler stellen sich „Strom“ als eine Art Substanz vor, die in der Batterie ruht, d.h. dort gespeichert ist und dann im Stromkreis von der Batterie zum Lämpchen fließt. Zwischen Ladungsträgern und Ladungen wird oft nicht unterschieden (Joshua & Dupin, 1985).

Rhöneck (1986, 13) spricht von „*einem übermächtigen Strombegriff, der (...) nicht durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ersetzt wird*“, der Spannungsbegriff wird oft als „Attribut des dominierenden Strombegriffes“ verstanden (v. Rhöneck, 1988). Häufig wird argumentiert, die Spannung ist die „Kraft“ oder die „Stärke“ des Stromes (v. Rhöneck & Völker, 1984).

kann auch durch den häufig verwendeten Begriff „Stromquelle“ statt Spannungsquelle induziert sein. Schülerinnen und Schüler folgern aus dieser konstanten Stromzufuhr, dass viele Lampen in einem Stromkreis schwächer leuchten, weil sich die Lampen dann den Strom aufteilen müssen. Shipstone (1985) nennt dieses Modell des Aufteilens des Stroms in der Serienschaltung „Sharing model“.

## Stromverbrauchsvorstellung

Strom wird oft als eine Art Brennstoff gesehen. Analog zum Alltag der Schülerinnen und Schüler, in denen Verbrennungsmotoren ja schließlich auch Treibstoff zugeführt bekommen und diesen verbrauchen, besteht die Vorstellung, dass eine „Entwertung und Verminderung des Stroms durch ein Lämpchen oder einen Widerstand“ stattfindet (v. Rhöneck, 1986). Diese Brennstoff-Vorstellung kann mit der Alltags-Energievorstellung verknüpft sein, bei der nicht die Energie im physikalisch korrekten Sinn als erhalten betrachtet wird, sondern ebenso erzeugt und wieder verbraucht wird (Duit, 1993a, 1986). Niedderer und Goldberg (1995, 77) sprechen in diesem Zusammenhang vom „Alltags-Strom-Konzept“: „*Strom wird als eine Substanz gesehen, die ähnlich wie Treibstoff Energie enthält und nicht wie Wasser Energie transportiert*“.

## Batterie als konstante Stromquelle

Eine Batterie liefert immer den „gleichen Strom“. Diese Konstantstromvorstellung

## Vorstellungen zum elektrischen Widerstand

Im Zusammenhang mit dem Widerstand treten verschiedene Fehlvorstellungen auf: Bei der inversen Widerstandsvorstellung gehen Schülerinnen und Schüler davon aus, dass bei einer Vergrößerung des Widerstands auch ein größerer Strom fließt (v. Rhöneck, 1986). Die degenerierte Stromregel, d.h. dass sich die Veränderung eines Widerstands nicht auf die Stromstärke auswirkt, tritt in der Form „der Strom bleibt immer konstant“ bzw. abgeschwächt in der Form „der Batteriestrom bleibt immer konstant“ auf (v. Rhöneck & Grob, 1989, S. 18).

## Lokales Denken

Bei der lokalen Denkweise betrachten Schülerinnen und Schüler jeweils einzelne Punkte der Schaltung; der „Strom“ entscheidet an jeder Verzweigung neu, wie er sich weiter verhält. Die Ströme werden in den Verzweigungspunkten so aufgeteilt, als wüsste der Strom nicht, was anschließend im Stromkreis passiert (v. Rhöneck,

1986). Vorgänge werden so beschrieben, als würde die Batterie einen konstanten Strom liefern, dem im Laufe des Stromkreises ‚Erlebnisse‘ zustoßen (Closset, 1984). Die Argumentationen über die Art der „Aufteilung“ des Stroms an einem Verzweigungspunkt können sehr vielfältig sein. Heller und Finley (1992) geben z. B. acht verschiedene Modelle über das Verhalten des Stroms an Verzweigungen an. Oft scheitern Schüler/innen daran, dass ihnen nicht klar ist, wann es sinnvoll ist, lokal zu denken und wann global, d.h. den ganzen Stromkreis betreffend, zu analysieren ist (Cohen et al., 1983).

### Sequentielle Argumentation

Die sequentielle Argumentation ist so wie das lokale Denken in einer fehlenden systemischen Vorstellung des Stromkreises begründet. Es herrscht die Vorstellung, dem Strom würden erst entlang des Stromkreises ‚Erlebnisse‘ zustoßen (Closset, 1984). Es wird argumentiert, dass eine Änderung ‚vorne‘ im Stromkreis sich auf eine Änderung ‚hinten‘ im Stromkreis auswirkt, während eine Änderung ‚hinten‘ im Stromkreis sich nicht ‚vorne‘ bemerkbar machen sollte, weil da ‚der Strom schon vorbei ist‘ (Rhöneck, 1986). Heller und Finley (1992) beschreiben exemplarisch fünf verschiedene sequentielle Vorstellungen, die durch verschiedene Vorstellungen zur Stromrichtung beeinflusst werden. Closset (1984, 30) geht davon aus, dass sich die sequentielle Argumentation vor allem bei der Einführung des Strombegriffes festsetzt und daher im Unterricht ‚der

*globale Charakter der elektrischen Phänomene im Stromkreis betont werden“* sollte.

### Probleme mit der topologischen Struktur

Wie bei der sequentiellen und der lokalen Vorstellung dürfte auch bei geometrischen Problemen ein fehlendes Verständnis für das System dahinterliegen. Heller und Finley (1992) beschreiben in ihrer Untersuchung mit Physiklehrkräften ebenfalls Probleme bei der Analyse von Stromkreisen. Bei Schülern/innen wurden ähnliche Probleme mit Serien- und Parallelschaltungen festgestellt (Caillot, 1985). Parallelschaltungen werden nur erkannt, wenn sie im Schaltbild auch parallel gezeichnet sind (Cohen et al., 1983). Ein Kurzschluss wird oft nur als solcher erkannt, wenn die Verbindung zwischen Batterie und Lampe liegt. Ist die Lampe in dem der Batterie näher liegenden Ast und das kurzschließende Kabel weiter außen, so wird davon ausgegangen, dass die Lampe davon unbeeinflusst leuchtet (Fredette & Clement, 1981).

### 1.2 Vorhandene Testinstrumente zum Erfassen des Verständnisses in der Elektrizitätslehre

Zum Erfassen des Verständnisses in der E-Lehre wurden bisher verschiedene Instrumente eingesetzt die von einfachen Multiple-Choice-Aufgaben (Engelhardt & Beichner, 2004; v. Rhöneck, 1986), dem dreistufigen SECDT (Peşman and Eryilmaz, 2010) über offene Antwortformen

(University of York/EPSE Project) bis zu aufwändigen Lernprozessstudien reichen (Niedderer & Goldberg, 1995).

Der Rhöneck-Test stellt das wohl am meisten zitierte Instrument zur Erhebung von Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre dar und ist auch sehr gut für qualitative Forschung geeignet. Bisher sind aber dazu keine psychometrischen Daten veröffentlicht. Eigene Erfahrungen waren, dass schon das Gütekriterium der Reliabilität nicht erfüllt ist. Bei der Entwicklung des dreistufigen SECDT (Simple Electric Circuit Diagnostic Test) wurde besonderes Augenmerk auf die dritte Stufe gelegt, wo die Testpersonen ihre Einschätzungen angeben, wie sicher sie bei der Beantwortung der Aufgaben waren. Es wird argumentiert, dass durch das dreistufige Design des Tests der Anteil der falsch-positiven<sup>1</sup> und falsch-negativen<sup>2</sup> Antworten genau ermittelt werden kann, wodurch unter anderem auf die Inhaltsvalidität geschlossen werden kann. Aufgrund der niedrigen Reliabilität schlagen aber die Autoren selbst eine Weiterentwicklung des Instruments vor.

Der DIRECT (Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test) wurde entwickelt, um ein ausgereiftes, diagnostisches Instrument zur Erhebung von Konzepten in Gleichstromkreisen und gleichzeitig ein Diagnosewerkzeug zur Evaluation von Unterrichtskonzepten und -strategien für

Studierende an der Highschool und der Universität zu erhalten. (Engelhardt & Beichner, 2004). Da bei diesem nur einstufig konzipierten Test der Fokus auf der fachlich richtigen oder falschen Beantwortung der Aufgaben liegt, kann trotz guter Testgütekriterien nicht sichergestellt werden, dass Schülervorstellungen eindeutig identifiziert werden können. Die grenzwertige Reliabilität erklären die Autoren mit der geringen Trennschärfe und dem hohen Schwierigkeitsgrad der einzelnen Items.

Das *EPSE-Network (Evidence-based Practice in Science Education)* unter der Leitung von Robin Millar an der Universität von York entwickelte einen diagnostischen Test, der sich u.a. auch dem Themenkreis „elektrischer Stromkreis“ widmet (Millar & Hames, 2001; Millar & Hames, 2002). Der Test beinhaltet Multiple-Choice-Fragen mit zum Teil zwei- und drei-stufigem Design, jedoch vielen offenen Antwortformen. Auch für diesen Test sind keine Angaben zu Validität und Reliabilität bekannt. Aufbauend auf der Arbeit von Osborne (1983) untersuchten Shephardson und Moje (1994) in Interviewstudien die Lern- und Verstehensprozesse zum elektrischen Stromkreis von acht 10-jährigen Grundschulern/innen. Sie konnten mit dieser Methode, über das Erfassen der Kenntnisse der Schüler/innen hinaus, auch deren Verständnis zu Basis-konzepten in der Elektrizitätslehre abbilden.

Die Ausführungen zu vorhandenen Testinstrumenten zeigen, dass, obwohl zweistufige Items zur Erfassung von Schülervorstellungen nichts Neues sind

1 „Falsch-positiv“: richtige Beantwortung einer Frage, obwohl eine falsche Vorstellung / Begründung vertreten wird.

2 „Falsch-negativ“: falsche Beantwortung einer Frage, obwohl eine richtige Vorstellung / Begründung vertreten wird.

(Treagust, 1988; Williams, 2006), bisher kein Instrument zur Erhebung des Verständnisses der elementaren Elektrizitätslehre für die Schulstufe 7 vorliegt, das gleichzeitig auch psychometrische Kriterien erfüllt und für eine große Zahl von Testpersonen einsetzbar ist. Während sich direkte Interviews von Schülerinnen und Schülern sehr gut eignen, um ein tiefgehendes Bild der vorhandenen Vorstellungen zu bekommen und vielleicht sogar in der Literatur noch nicht beschriebene Konzepte zu finden, sind die daraus gewonnenen Erkenntnisse schwer zu verallgemeinern und die Auswertung ist sehr zeitintensiv. Um Vorstellungen von einer großen Anzahl an Schülerinnen und Schülern erfassen zu können, bilden Multiple-Choice-Aufgaben eine geeignete Alternative. Im vorliegenden Beitrag werden erste Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt zur Entwicklung eines solchen

Instruments mit zweistufigen Items vorgestellt, das durch eine Stufung der Items eine viel genauere Aufschlüsselung der bekannten Lernschwierigkeiten in der einfachen Elektrizitätslehre als bisher erlaubt.

### Forschungsfragen

Die vorliegende Studie ist eingebettet in ein größeres Forschungsprogramm zur Konstruktion psychometrisch verlässlicher Multiple Choice Instrumente, die eine Abbildung des detaillierten Schüler/innen -Verständnisses von Basiskonzepten zum elektrischen Stromkreis gewährleisten können. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird der Frage nachgegangen, ob sich mit Hilfe der verwendeten Items einerseits geeignete Skalen zur Abbildung bekannter Schülervorstellungen finden lassen und andererseits welche Zusam-

Tab. 1.: Allgemeine Informationen im Fragebogen


Bei diesem Test handelt es sich ausschließlich um ideale Batterien. Sie besitzen eine konstante Spannung und keinen Innenwiderstand.

Ebenso sind verbindende Leitungen widerstandslos.

Die Lampen in diesem Test besitzen nicht wie die meisten tatsächlichen Lampen einen vom Strom abhängigen Widerstand.

Falls nicht anders angegeben, sind alle Lampen, alle Batterien und alle Widerstände in einem Beispiel gleich.

Es werden die bekannten Symbole verwendet:

|   |                               |   |            |   |                  |
|---|-------------------------------|---|------------|---|------------------|
|  | Spannungsquelle<br>(Batterie) |  | Glühlampe  |  | Offener Schalter |
|  | Geschlossener Schalter        |  | Widerstand |   |                  |

menhänge es zwischen den verschiedenen Charakteristika der Vorstellungen zum elektrischen Strom gibt. Es werden daher in der vorliegenden Untersuchung folgende zwei Forschungsfragen adressiert:

1.) Lassen sich aus den mit Hilfe der zweistufigen Items berechneten Antwortkombinationen Skalen bilden, die direkt den spezifischen Schülervorstellungen zu Basiskonzepten in der Elektrizitäts-

lehre zugeordnet werden können und damit einen direkten Rückschluss auf die Häufigkeit unterschiedlicher Schülervorstellungen erlauben?

2.) Lassen sich Zusammenhänge zwischen den einzelnen Konstrukten zur Abbildung von Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre identifizieren?

Tab. 2.: Kategorisierung bekannter Schülervorstellungen

| Schüler-vorstellung                  | Abk. | Beschreibung   |
|--------------------------------------|------|--|
| Strom wird verbraucht                | SV   | Vorstellung, dass der Strom in der Batterie gespeichert ist, dann zur Lampe fließt und dort schließlich zumindest teilweise verbraucht wird.   |
| Batterie als konstante Stromquelle   | BS   | Die Batterie wird als Quelle für einen konstanten Strom gesehen. Bei der Entwicklung eines Verständnisses zum elektrischen Widerstand, sowie beim Erfassen eines Stromkreises als System kann sich diese Vorstellung hinderlich auswirken.                   |
| Inverse Widerstands-vorstellung      | IR   | Bei einer Vergrößerung des Widerstands in einer Schaltung erhöht sich auch die Stromstärke durch diesen Widerstand.  |
| Stromstärke ist unabhängig von R     | UR   | Die Veränderung eines Widerstands wirkt sich nicht auf die Stromstärke aus.  |
| Stromverbrauch ist proportional zu R | PR   | Typische Fehlvorstellung für Reihenschaltungen ist meist die mit der Stromverbrauchsvorstellung verknüpfte sequentielle Argumentation, dass die Stromstärke bei Vergrößerung des Widerstands kleiner wird, da ein größerer Widerstand mehr Strom verbraucht. |
| Lokales Denken                       | LD   | An einem Verzweigungspunkt wird eine Aufspaltung des Stromes in gleiche Teile erwartet. Damit wird die Stromstärke nicht als Folge der vorhandenen Widerstände und der anliegenden Spannungen gesehen.   |
| Sequentielle Argumentation           | SA   | Wird in einer Reihenschaltung ein Widerstand geändert, so wirkt sich das auf die Stromstärke „vor“ diesem Widerstand nicht aus, sondern nur auf die Stromstärke „nach“ dem Widerstand“.  |
| Erfassen von Parallelschaltungen     | PS   | Parallel geschaltete Widerstände müssen im Schaltbild auch tatsächlich parallel zueinander gezeichnet sein, damit sie als solche erkannt werden.   |

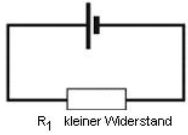
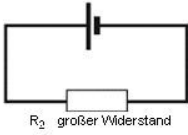
|               |  |  |
|---------------|--|--|
| <b>Item 3</b> | <b>Der Widerstand <math>R_1</math> im Stromkreis (Abb. rechts oben) ist klein. Er wird durch einen größeren Widerstand <math>R_2</math> ersetzt (Abb. rechts unten).</b> |  |
| <b>a)</b>     | <b>Was geschieht mit der Stromstärke im Stromkreis?</b>  |  |
|               | Sie wird größer.   |  |
| X             | Sie wird kleiner, aber nicht Null.   |  |
|               | Sie bleibt gleich.   |  |
|               | Es fließt kein Strom mehr.   |  |
| <b>b)</b>     | <b>Wie erklärst du deine Entscheidung?</b>   |  |
|               | Die Batterie ist nicht stark genug, um überhaupt Strom durch den größeren Widerstand zu treiben.   |  |
| X             | Die Batterie kann nicht einen so großen Strom wie vorher durch den größeren Widerstand treiben.  |  |
|               | Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.   |  |
|               | Es ist dieselbe Batterie; daher bleibt auch die Stromstärke gleich.  |  |

Abb. 1.: Testitem Nr. 3.

Tab. 3.: Abbildung von Schülervorstellungen durch Antwortkombinationen für Item 3

| Antwortkombination | Beschreibung  | Schülervorstellung |
|--------------------|---|--------------------|
| a1b3               | Lernende, die im Teil a) die Antwort 1 und im Teil b) die Antwort 3 auswählen, sind der Meinung, dass die Stromstärke größer wird, da ein größerer Widerstand mehr Strom braucht als ein kleinerer Widerstand. Sie haben also eine inverse Widerstandsvorstellung.  | IR                 |
| a3b4               | Lernende, die im Teil a) die Antwort 3 und im Teil b) die Antwort 4 auswählen, sind der Meinung, dass die Batterie immer gleich viel Strom liefert und die Stromstärke auch unbeeinflusst vom Widerstand immer gleich bleibt. Sie sehen eine Batterie als eine Quelle für einen konstanten Strom.   | BS                 |
| a2b3               | Lernende, die auf Stufe a) die Antwort 2 und auf Stufe b) die Antwort 3 auswählen, geben zwar die richtige Antwort in Bezug auf die Verringerung der Stromstärke, erklären ihre Antwort aber damit, dass ein größerer Widerstand mehr Strom verbraucht. Nach Hestenes & Halloun (1995) wird diese Antwort als falsch-positiv bezeichnet. Wird daher nur auf der ersten Stufe getestet, überschätzt man die Anzahl der richtigen Lösungen. | PR                 |



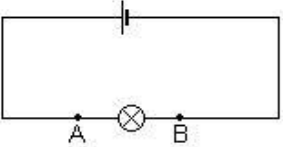
|         |  |  |
|---------|--|--|
| Item 22 | Die Glühbirne (vgl. Schaltung in der Abbildung rechts) leuchtet.     |  |
| a)      | Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten A und B aussagen? |  |
|         | Die Stromstärke ist bei A größer als bei B.                          |  |
|         | Die Stromstärke ist bei B größer als bei A.                          |  |
| X       | Die Stromstärke ist bei A und bei B gleich groß.                     |  |
| b)      | Wie erklärst du deine Entscheidung?                                  |  |
| X       | Es fließt im gesamten Stromkreis der gleiche Strom.                  |  |
|         | Ein Teil des Stroms wird von der Glühbirne verbraucht.               |  |
|         | Der gesamte Strom wird von der Glühbirne verbraucht.                 |  |

Abb. 2.: Testitem Nr. 22.

## 2 Beschreibung des Testinstruments

Das im Pilotversuch eingesetzte Testinstrument umfasste in der ersten Version 30 Items zu den Vorstellungen Stromverbrauch, konstanter Batteriestrom, lokale und sequentielle Vorstellung, systemischer Charakter eines Stromkreises und Erfassen von Parallelschaltungen in Schaltskizzen. Neben Fragen zu demographischen Daten (Geschlecht, Schulform, Schulstufe, Testdatum) enthielt der Fragenbogen im Vorspann folgende allgemeine Informationen (vgl. Tabelle 1).

11 der 30 eingesetzten Items waren zweistufig. Tabelle 2 gibt einen Überblick über acht aus der Literatur abgeleitete Schülervorstellungen (SV, BS, IR, UR, PR, LD, SA und PS), die schon oben beschrieben und in der Studie schließlich mit Hilfe von nur 23 Items, davon 9 zweistufigen Items, abgebildet wurden. Die Reduktion von 30 auf 23 Items kam dadurch zustande, dass

einerseits redundante Items und andererseits Items mit zu geringer Trennschärfe weggelassen wurden. Bei der Auswertung wird so vorgegangen, dass nicht nur festgestellt werden kann, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst wurde, sondern dass aus den Antwortkombinationen direkt auf spezifische Schülervorstellungen geschlossen werden kann. Dies erlaubt einen direkten Rückschluss auf das Vorliegen und die Häufigkeit unterschiedlicher Schülervorstellungen. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass sowohl für die fachdidaktische Forschung als auch für die Lehrpersonen in der Schulpraxis alternative Vorstellungen und Lernschwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern von besonderem Interesse sind.

In Abbildung 1 ist exemplarisch ein zweistufiges Testitem dargestellt. Im Teil a) geben die Testpersonen ihre Antworten, die sie dann im Teil b) begründen. Items dieser Art stellen eine Weiterentwicklung bisher vorliegender Testinstrumente, wie

| Item 11 | a) Wie hell werden die Glühlampen leuchten?   |
|---------|---|
|         | L1 leuchtet. Die anderen Glühlampen leuchten nicht.   |
| X       | Alle Glühlampen leuchten mit gleicher Helligkeit.   |
|         | L1 und L5 leuchten am stärksten; dann kommen L2 und L4. L3 leuchtet am schwächsten.             |
|         | L3 leuchtet am stärksten; dann kommen L2 und L4. L1 und L5 leuchten am schwächsten.             |
|         | L1 leuchtet am stärksten; dann nimmt die Helligkeit kontinuierlich entlang des Stromkreises ab. |
| b)      | Wie erklärst du deine Entscheidung?   |
|         | Die erste Glühlampe braucht den gesamten Strom; für die anderen ist nichts mehr übrig.          |
|         | Jede Glühlampe verbraucht einen Teil des Stroms, so dass für die nächste weniger übrig ist.     |
|         | Der elektrische Strom wird schwächer je weiter die Glühlampe von der Batterie entfernt ist.     |
| X       | Der elektrische Strom ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich.                              |
|         | Die Ströme von beiden Polen der Batterie treffen einander bei L3.                               |

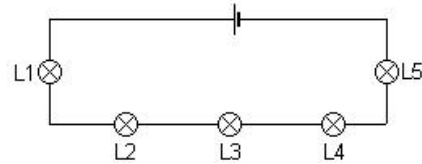


Abb. 3.: Testitem Nr. 11.

z. B. dem Rhöneck-Test (v. Rhöneck, 1986) und dem DIRECT (Engelhardt & Beichner, 2004) für die Elektrizitätslehre dar und erlauben die Abbildung verschiedener Schülervorstellungen. Mit dem Testitem Nr. 3 (vgl. Abbildung 1) lassen sich die in Tabelle 3 dargestellten Schülervorstellungen durch ausgewählte Antwortkombinationen abbilden.

Anhand zweier Items, dem Item 22 und dem Item 11, soll nun exemplarisch die Weiterentwicklung bereits vorhandener Items dargestellt werden. Das Testitem Nr. 22 (vgl. Abbildung 2) wurde in seinem ersten Teil dem DIRECT (Question 8) entnommen und in die deutsche Sprache übersetzt. Die Distraktoren für die Erklärungen wurden nachträglich hinzugefügt,

da im DIRECT keine Erklärungsdistraktoren vorgesehen sind. Bei der Formulierung der Alternativantworten wurde dem Umstand, dass Lernende häufig auch die Richtung des Elektronenstroms als Stromrichtung heranziehen, Rechnung getragen. Das Testitem Nr. 11 (vgl. Abbildung 3) stammt aus dem Rhöneck-Test (Aufgabe 4). In der ursprünglichen Version enthält das Item nur drei Distraktoren: (a) L5 leuchtet heller als L1, (b) L5 leuchtet so hell wie L1 und (c) L5 leuchtet schwächer als L1. Um alternative Vorstellungen abbilden zu können, wurden einerseits die Antwortmöglichkeiten erweitert und andererseits Alternativen für mögliche Erklärungen angeboten.

### 3 Methodische Vorgangsweise

„Multiple choice tests coupled with psychometric tools can become powerful windows into children's ideas in science“ (Sadler, 1998, p. 289). Auf dieses Ziel hin wurden, ausgehend von der Überlegung, qualitatives Wissen über Schülervorstellungen mit quantitativen, psychometrisch validierten Tests zu verbinden, und auf existierenden Testinstrumenten aufzubauen, 30 Items zur Abbildung der oben beschriebenen Schülervorstellungen entwickelt. Nach einer Expertenvalidierung und einer Präpilotierung der Testitems wurden Itemanalysen durchgeführt. Anschließend wurden mit Hilfe von ausgewählten Antwortkombinationen und Zusammenführung mehrerer noch einstufiger Items neue Variablen zur Abbildung von Schülervorstellungen definiert. Im nächsten Schritt wurden mit SPSS AMOS 17.0, einem Anwendungsprogramm zur Berechnung von konfirmatorischen Faktorenanalysen und Strukturgleichungsmodellen, ausgewählte theoretische Konstrukte und Modelle auf ihre Passung mit den vorliegenden empirisch erhobenen Daten untersucht.

#### 3.1 Expertenvalidierung und Pilotierung

Bevor der Test eingesetzt wurde, erfolgte eine Expertenvalidierung der verwendeten Items durch 8 Lehrerinnen und 6 Lehrer aus mittleren und höheren Schulen. Die Lehrerfahrung der Lehrpersonen erstreckte sich von 3 bis 34 Jahre (Mittelwert: 14,1 Jahre; Standardabweichung: 8,7

Jahre). Die Lehrpersonen kamen aus vier verschiedenen Schultypen: 2 Lehrer und 2 Lehrerinnen aus Haupt- und Mittelschulen (HS/KMS), 3 Lehrer und 4 Lehrerinnen aus Allgemeinbildenden Höheren Schulen (AHS), ein Lehrer aus einer Polytechnischen Schule (PTS) sowie 2 Lehrerinnen aus Berufsbildenden Höheren Schulen (BHS). Alle Expertinnen und Experten bewerteten dabei übereinstimmend die einzelnen Items als relevant, klar und verständlich und konnten sich auch vorstellen den Fragebogen in ihren Klassen direkt einzusetzen. Darüber hinaus wurde der Test mit zwei Klassen einer 12. Schulstufe (insgesamt 28 Schülerinnen und 15 Schüler) erprobt und in Hinblick auf Klarheit der Formulierungen und Verständlichkeit der Schaltskizzen und der Fragestellungen optimiert.

#### 3.2 Beschreibung der Stichprobe

Das Testinstrument wurde (online in elektronischer Form) von 225 Schülerinnen und 197 Schülern (Mittleres Alter: 15,1 Jahre, Standardabweichung: 1,9 Jahre) aus vier Schulformen auf fünf Schulstufen österreichischer Schulen vollständig bearbeitet. Es handelte sich um eine anfallende Stichprobe: Über einen großen Emailverteiler wurden Physik-Lehrpersonen gebeten, mit einer Klasse an dieser Testung teilzunehmen.

Die Aufteilung der 422 Testpersonen auf die einzelnen Schulstufen und Schulformen, die zum Zeitpunkt der Datenerfassung besucht wurden, ist in Tabelle 4 dargestellt. Alle Schülerinnen und Schü-

Tab. 4.: Beschreibung der Stichprobe

| Schulstufe / Schulform | HS / KMS | AHS | PTS | BHS | $\Sigma$ |
|------------------------|----------|-----|-----|-----|----------|
| 7                      | 33       | 18  |     |     | 51       |
| 8                      | 35       | 117 |     |     | 152      |
| 9                      |          | 13  | 25  |     | 38       |
| 10                     |          | 25  |     |     | 25       |
| 11 – 13                |          | 72  |     | 84  | 156      |
| $\Sigma$               | 68       | 245 | 25  | 84  | 422      |

ler im Alter von 13 bis 19 Jahren aus vier verschiedenen Schulformen (Hauptschule (HS) oder Kooperative Mittelschule (KMS), Allgemeinbildende höhere Schule (AHS), Polytechnische Schule (PTS) und Berufsbildende höhere Schule (BHS)) hatten zum Testzeitpunkt bereits Unterricht in Elektrizitätslehre erhalten. Die Auswahl der Schülerinnen und Schüler aus solch verschiedenen Schulstufen und Schulformen erfolgte vor dem Hintergrund,

mögliche schulstufen- bzw. schulform-spezifische Effekte zu finden. Die Bearbeitung des Fragebogens erfolgte in der Schule während der Unterrichtszeit, wobei die Lehrer/innen sicherstellen sollten, dass jeder Testperson ein eigener Computer zur Verfügung stand. Weitere Anweisungen für die Lehrer/innen zur Durchführung der Befragung wurden nicht erteilt. Wie weit die Lehrer/innen den Schülern/innen freistellten, das Testinstrument zu bearbeiten oder nicht, ist nicht bekannt.

### 3.3 Itemanalysen und Berechnungen neuer Variablen

Bei der Auswertung wurden im ersten Schritt deskriptive Statistiken und Reliabilitätsanalysen für die 30 dichotom kodierten Items (0 = falsch gelöst, 1 = richtig gelöst) mit SPSS 17.0 ermittelt: Itemschwierigkeiten, Itemstreuung und Trennschär-

Tab. 5.: Exemplarische Berechnung neuer Variablen

| Antwortkombination | Beschreibung der Vorstellung   | neue Variable |
|--------------------|--|---------------|
| a3b4               | Eine Testperson, die diese Antwortkombination auswählt, sieht die Batterie als eine Quelle für einen konstanten Strom.   | BS1 = 1       |
| a2b3               | Schülerinnen und Schüler mit dieser Antwortkombination, also einer falsch-positiv-Antwort meinen zwar, dass eine Vergrößerung des Widerstandes eine Verringerung der Stromstärke bewirkt, begründen ihre Antwort aber damit, dass ein größerer Widerstand mehr Strom braucht als ein kleinerer Widerstand. | PR3 = 1       |
| a1b3               | Eine inverse Widerstandsvorstellung, d.h. dass die Stromstärke für einen größeren Widerstand ansteigt, da ein größerer Widerstand mehr Strom braucht, wird erkannt, wenn Testpersonen die Antwortkombination a1b3 wählen.  | IR1 = 1       |

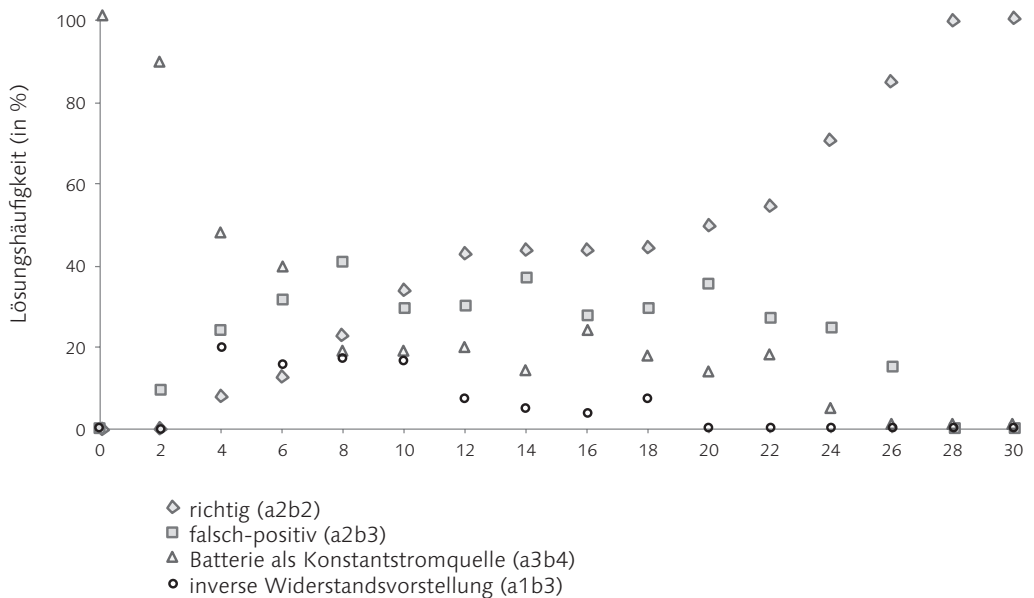


Abb. 4.: Auftreten von Schülervorstellungen bei Item 3.

fen. Dabei wurden die zweistufigen Items dann mit 1 kodiert, wenn die Antworten auf beiden Stufen korrekt waren. Das heißt, falsch-positiv und falsch-negativ Antworten, sowie falsche Antworten auf beiden Stufen wurden bei den neun zweistufigen Items jeweils mit 0 kodiert.

In einem nächsten Schritt wurden aus den Itemrohwerten neue Variablen, die bereits spezifische Schülervorstellungen repräsentieren sollten, ermittelt. Die Vorgangsweise der durchgeführten Analyseschritte in Bezug auf die Definition der neuen Variablen ist in Tabelle 5 für das Testitem Nr. 3 ausgeführt. So erhält die neue Variable BS1 den Wert 1, wenn die Antwortkombination a3b4 gewählt wird. Für jede andere Antwortkombination erhält die Variable BS1 den Wert Null.

### 3.4 Abbildung von Schülervorstellungen durch ausgewählte Antwortkombinationen

Im Folgenden wird anhand des Testitems Nr. 3 exemplarisch dargestellt, wie man aus den Gesamtdaten auf das Vorkommen und die Häufigkeit spezifischer Schülervorstellungen schließen kann. Aus dem Verlauf der Punkte in Abbildung 4 für die richtigen Lösungen ist zu erkennen, dass diese Lösungshäufigkeit für Personen mit einer insgesamt niedrigen Gesamtpunktezahl sehr klein im Vergleich zu jenen Personen mit einer hohen Gesamtpunktezahl ist.

In Abbildung 4 sind für die verwendete Stichprobe Lösungshäufigkeiten für vier verschiedene Antwortkombinationen dargestellt. Auf der x-Achse sind die erreichten Gesamtpunkte aufgetragen (Ma-

ximum = 30 Punkte). Auf der y-Achse sind Prozentpunkte dargestellt. Erfasst wurden nur die in Tabelle 6 angeführten Antwortkombinationen.

Von den Testpersonen aus der Stichprobe mit z. B. insgesamt 14 Gesamtpunkten und einer dieser vier in Tabelle 6 genannten Antwortkombinationen, wählten 43 % die richtige Antwort, 37 % die falsch-positiv-Antwort, 15 % meinten, dass die Batterie immer den gleichen Strom liefert und daher ein größerer Widerstand keinen Einfluss auf die Stromstärke hat, und 5 % waren der Meinung, dass die Stromstärke überhaupt ansteigt, da ein größerer Widerstand auch mehr Strom braucht als ein kleinerer Widerstand.

Die für Testitem Nr. 3 exemplarisch dargestellten Ausführungen zeigen, dass es viel interessanter ist, einen Blick auf die falschen Antworten zu werfen und damit Schülervorstellungen abzubilden, als nur festzustellen, ob Schüler/innen eine Aufgabe richtig lösen oder nicht. Nach unserer Einschätzung ermöglichen zweistufige Items eine derartige Herangehensweise.

### 3.5 Faktorenanalysen und Strukturgleichungsmodelle

Das Hauptaugenmerk in diesem Artikel liegt daher auch in Einklang mit der oben definierten Forschungsfrage auf den mit SPSS AMOS 17.0 durchgeführten konfirmatorischen Faktorenanalysen und damit auf der Untersuchung der Passung zwischen den erhobenen Daten und denen auf theoretischen Überlegungen basierenden Modellen. Es sollen damit sowohl so genannte „latente Variablen“ (= Schülervorstellungen) erfasst als auch die Indikatorvariablen (Items) „kausal“ auf diese zurückgeführt werden. Mit einem Modelltest wird dabei die Nullhypothese geprüft, ob die auf Basis fachdidaktischer Erkenntnisse spezifizierten Modelle den beobachteten Korrelationen und Kovarianzen in der Stichprobe entsprechen. Daher wurden schließlich konfirmatorische Faktorenanalysen durchgeführt, um die theoretisch konstruierten Modelle mit latenten, also nicht beobachteten, Variablen auf ihre Übereinstimmung mit den Daten zu untersuchen. In einem letzten Schritt sollten mit Hilfe eines Strukturgleichungs-

Tab. 6.: Antwortkombinationen und daraus abgeleitete Schülervorstellungen für Testitem Nr. 3

| Antwortkombination | Schülervorstellung  |
|--------------------|---|
| a2b2               | richtige Lösung   |
| a3b4               | Schülervorstellung: Batterie ist eine konstante Stromquelle   |
| a2b3               | Schülervorstellung: Stromstärke wird kleiner, da ein größerer Widerstand mehr Strom braucht als ein kleinerer Widerstand.                                 |
| a1b3               | Schülervorstellung: Stromstärke wird größer, da ein größerer Widerstand mehr Strom braucht als ein kleinerer Widerstand (=inverse Widerstandsvorstellung) |

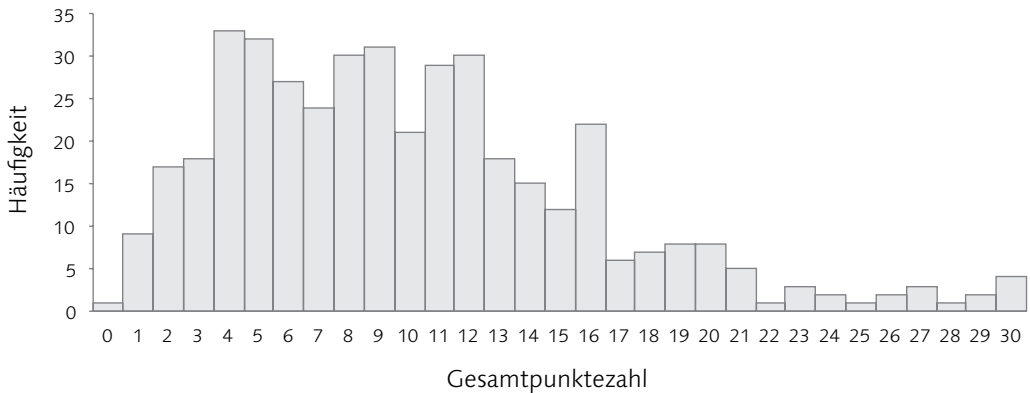


Abb. 5.: Histogramm für Gesamtpunktezahl.

modells Beziehungen zwischen den latenten Variablen überprüft werden.

### 3.6 Auswertungen und Ergebnisse

Zuerst wurden mit SPSS 17.0 deskriptive Analysen und Reliabilitätsuntersuchungen durchgeführt. Die Items wurden dichotom kodiert (0 = falsche Antwort, 1 = richtige Antwort), wobei wie schon oben dargestellt, die zweistufigen Items nur dann als richtig kodiert wurden, wenn sie auf beiden Stufen korrekt beantwortet wurden. Um einen ersten Überblick über alle im ursprünglichen Test verwendeten 30 Items zu erhalten, wurde die Itemschwierigkeit, die für dichotome Items dem Mittelwert entspricht, ermittelt. Diese liegt zwischen 0,11 für Testitem 27 und 0,57 für Testitem Nr. 18. Die Zahlenwerte drücken den relativen Anteil der Testpersonen aus, die das Item richtig beantwortet haben. Für den gesamten Test ergibt sich Cronbachs  $\alpha$  zu 0,84, was einer guten inneren Kon-

sistenz des Testinstruments entspricht. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen in Bezug auf Schulform oder Schulstufe gefunden werden, so dass als zulässig angenommen wird mit allen Schülern/innen in einer Gesamtstichprobe zu rechnen.

In Abbildung 5 ist die Verteilung der erreichten Punktezahl für den gesamten Test dargestellt. Es liegt eine unsymmetrische linkssteile Verteilung vor; die Schiefe beträgt 0,937. Der Median beträgt 9,000, der Mittelwert liegt bei 10,074 mit einer Standardabweichung von 6,031, was ebenfalls auf eine linkssteile Verteilung hinweist. Ein Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung zeigt, dass keine Normalverteilung vorliegt. Nur 4 Testpersonen erreichen die maximale Punktezahl von 30 Punkten. 222 Schülerinnen und Schüler bearbeiten weniger als 10 Aufgaben richtig; 176 Schülerinnen und Schüler erreichen zwischen 10 und 20 Punkten und nur 24 Schülerinnen und Schüler geben bei mehr als 20 Items die richtige Antwort.

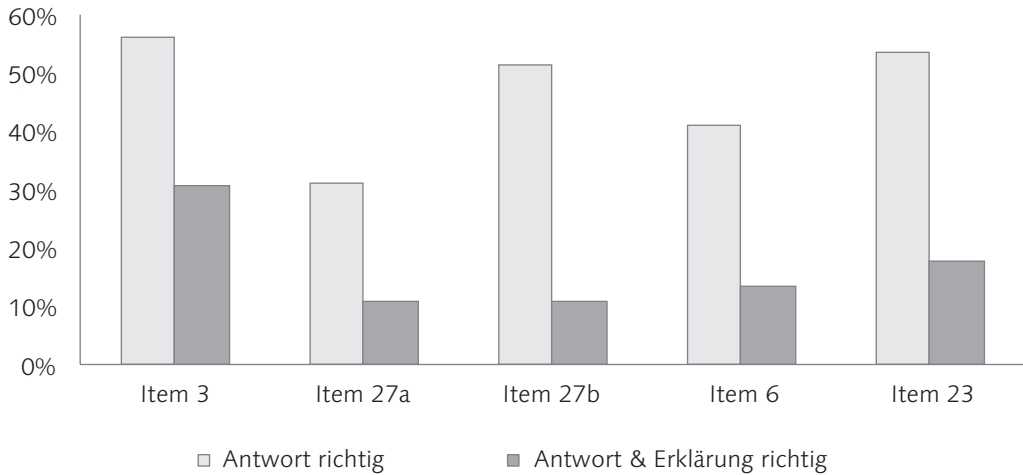


Abb. 6.: Richtige Antworten und Erklärungen für ausgewählte Items.

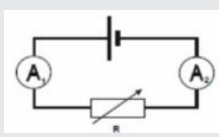
|                |  |           |  |
|----------------|--|-----------|--|
| <b>Item 27</b> | Der Stromkreis rechts besteht aus zwei Amperemetern und einem regelbaren Widerstand. Beide Amperemeter zeigen die Stromstärke an. <b>Nun wird der Widerstand R vergrößert.</b> |           |  |
| <b>a)</b>      | <b>Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A<sub>1</sub>?</b>   | <b>b)</b> | <b>Wie verändert sich die Anzeige von Amperemeter A<sub>2</sub>?</b>               |
|                | Sie wird größer.   |           | Sie wird größer.   |
|                | Sie bleibt gleich.   |           | Sie bleibt gleich.   |
| X              | Sie wird kleiner.  | X         | Sie wird kleiner.  |
| <b>c)</b>      | <b>Wie erklärst du deine Entscheidung?</b>   |           |  |
|                | Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.   |           |  |
|                | Es ist dieselbe Batterie; daher liefert sie denselben Strom.   |           |  |
| X              | Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke überall im Stromkreis.   |           |  |
|                | Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Sie beeinflusst daher den Strom vor dem Widerstand nicht.                   |           |  |
|                | Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Daher wird der Strom vor dem Widerstand größer.                             |           |  |

Abb. 7.: Testitem Nr. 27.



In Abbildung 6 sind die Prozentwerte der richtigen Lösungen (helle Säulen) und der richtigen Erklärungen (dunkle Säulen) angegeben. Es zeigt sich, dass z. B. 51 % der Testpersonen bei Item 27, dem Testitem mit der größten Itemschwierigkeit, auf der ersten Stufe die richtige Antwort wählen, dass aber insgesamt nur 11 % auch die richtige Erklärung angeben. Auch bei den Items 3, 6 und 23 kann man erkennen, dass aus der Angabe der richtigen Antwort noch nicht gefolgert werden kann, dass die Schülerinnen und Schüler auch die Konzepte hinter den Aussagen verstehen.

Hingegen meinen 243 Testpersonen, dass die Anzeige von Amperemeter  $A_1$  gleich bleibt (Antwort a2). Davon sind 111 Schü-

|             |   | Item 27 (a) |     |     |     |
|-------------|---|-------------|-----|-----|-----|
|             |   | 1           | 2   | 3   |     |
| Item 27 (b) | 1 | 14          | 21  | 17  | 52  |
|             | 2 | 16          | 111 | 27  | 154 |
|             | 3 | 18          | 111 | 87  | 216 |
|             |   | 48          | 243 | 131 | 422 |

### 3.7 Konstruktion neuer Variablen zur inhaltlichen Analyse der Items

Würde man z. B. Item 27 (vgl. Abbildung 7) nur in Bezug auf richtig oder falsch auswerten, erfährt man nur, dass 11 % der Probandinnen und Probanden die Aufgabe richtig lösen und erklären. Welche Vorstellungen aber Schülerinnen und Schüler beim Lösen der Aufgabe entwickeln, bleibt verborgen. Schülervorstellungen lassen sich aber, wie das im Folgenden für das Item 27 gezeigt wird, durch Kombinationen von Antworten abbilden.

Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, beantworten bei Item 27 zwar 131 Schülerinnen und Schüler die Aufgabe a) mit a3 und 216 die Aufgabe b) mit b3 richtig. Aber nur insgesamt 87 Schülerinnen und Schüler geben bei a) und b) die richtige Antwort mit a3b3 und nur 47 geben zur richtigen Antwort aus a) und b) auf Stufe c) mit a3b3c3 auch die richtige Erklärung.

|             |   | Item 27 (a) |     |     |     |
|-------------|---|-------------|-----|-----|-----|
|             |   | 1           | 2   | 3   |     |
| Item 27 (c) | 1 | 19          | 37  | 30  | 86  |
|             | 2 | 4           | 84  | 8   | 96  |
|             | 3 | 19          | 27  | 68  | 114 |
|             | 4 | 4           | 81  | 20  | 105 |
|             | 5 | 2           | 14  | 5   | 21  |
|             |   | 48          | 243 | 131 | 422 |

|             |   | Item 27 (b) |     |     |     |
|-------------|---|-------------|-----|-----|-----|
|             |   | 1           | 2   | 3   |     |
| Item 27 (c) | 1 | 28          | 15  | 43  | 86  |
|             | 2 | 6           | 83  | 7   | 96  |
|             | 3 | 12          | 28  | 74  | 114 |
|             | 4 | 4           | 24  | 77  | 105 |
|             | 5 | 2           | 4   | 15  | 21  |
|             |   | 52          | 154 | 216 | 422 |

Abb. 8.: Kreuztabellen zu Testitem Nr. 27. (Hinweis: Die richtigen Antworten sind grau unterlegt.)

Tab. 7.: Schülervorstellungen, die aus Testitem 27 abgeleitet werden können

| Antwortkombination | Schülervorstellung  |
|--------------------|---|
| a2b2c2             | Batterie als konstante Stromquelle  |
| a2b3c4             | Sequentielle Argumentation  |
| a3b3c1             | 30 bzw. 43 Schülerinnen und Schüler erklären die richtige Antwort damit, dass ein größerer Widerstand mehr Strom verbraucht als ein kleinerer Widerstand.   |
| a3b3c4             | 20 bzw. 77 Schülerinnen und Schüler erklären die richtige Antwort damit, dass eine Vergrößerung des Widerstands zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand führt und daher den Strom vor dem Widerstand nicht beeinflusst. |

ler/innen der Ansicht, dass auch die Anzeige des Amperemeters  $A_2$  gleich bleibt (Antwort b2). Von den 111 Schülern/innen, die meinen, dass sich die Anzeigen beider Amperemeter nicht ändern, erklären das mehr als 80 Schüler/innen damit, dass es sich um dieselbe Batterie handelt und diese ja denselben Strom liefert (Antwort a2b2c2). Ebenfalls 111 dieser 243 Schüler/innen geben an, dass nur die Anzeige des Amperemeters  $A_1$  gleich bleibt (Antwort a2), die Anzeige von Amperemeter  $A_2$  hingegen kleiner wird (Antwort b3). In Abbildung 8 werden noch weitere Fehlkonzepte sichtbar, die zusammen mit den eben beschriebenen in Tabelle 7 zusammengefasst dargestellt sind.

In einem nächsten Schritt wurden die ursprünglich 30 Items in Hinblick auf ihr Potenzial, die im theoretischen Hintergrund angeführten Schülervorstellungen darzustellen, untersucht. Basierend auf den durchgeführten Itemanalysen betreffend Itemschwierigkeit und Trennschärfe sowie der Verteilung der Lösungshäufigkeiten auf den Gesamtscore der Schüler/innen

(vgl. Abbildung 4) wurden schließlich 23 Items ausgewählt (vgl. Anhang) und damit vor dem Theoriedesign 30 Variablen, die acht verschiedenen Konstrukten zugeordnet wurden, berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

So wurden z. B. für die Berechnung der Variablen SV1 bis SV5 des Konstrukts „Strom wird verbraucht“ die fünf zweistufigen Items 11, 21, 4, 28, 22 verwendet. Zur Ermittlung der Variablen für die Vorstellungen LD, SA und PS wurden Antwortkombinationen teilweise auch aus mehreren Einzelitems herangezogen.

Die in Tabelle 8 angeführten Variablen wurden als dichotome Items ebenfalls mit SPSS 17.0 analysiert. Die Itemschwierigkeit liegt zwischen 0,16 und 0,60 und gibt an, welcher Anteil der Testpersonen die jeweils falsche Vorstellung hat. Nur die beiden Items PR2 und SV3 weisen eine Trennschärfe knapp unter 0,2 auf. Hingegen weisen alle Items zu den Konstrukten LD sowie SA mittlere Trennschärfen zwischen 0,35 und 0,5 auf. Eine Reliabilitätsanalyse ergibt für Cronbachs  $\alpha$  einen Wert von 0,81.

Tab. 8.: Übersicht über die verwendeten Variablen und die daraus abgeleiteten Konstrukte

| Schülervorstellung / Konstrukt                      | Beobachtete Variablen / Items zur Berechnung   |
|---|--|
| SV / Strom wird verbraucht                          | SV1 = 1 für a5b2 bei Item 11<br>SV2 = 1 für a1b2 bei Item 21<br>SV3 = 1 für a1b2 bei Item 4<br>SV4 = 1 für a3b2 bei Item 28<br>SV5 = 1 für a1b2 bei Item 22  |
| BS / Batterie als konstante Stromquelle             | BS1 = 1 für a3b4 bei Item 3<br>BS2 = 1 für a2b2c2 bei Item 27<br>BS3 = 1 für a2b2 bei Item 23<br>BS4 = 1 für a2b2 bei Item 6   |
| UR / Widerstand beeinflusst Stromstärke nicht       | UR1 = 1 für b2 bei Item 29 und b2 bei Item 25<br>UR2 = 1 für a2 bei Item 10 und a2 bei Item 15<br>UR3 = 1 für a2 bei Item 10 und b2 bei Item 25<br>UR4 = 1 für a2 bei Item 15 und b2 bei Item 29   |
| IR / Inverse Widerstandsvorstellung                 | IR1 = 1 für a1b3 bei Item 3<br>IR2 = 1 für a1b1 bei Item 23<br>IR3 = 1 für a1b4 bei Item 6   |
| PR / Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand | PR1 = 1 für a3b1 bei Item 23<br>PR2 = 1 für a3b4 bei Item 6<br>PR3 = 1 für a2b3 bei Item 3   |
| LD / Lokales statt systemisches Denken              | LD1 = 1 für $I_1 = 0,3A$ , $I_2 = 0,3A$ und $I_3 = 0,6A$ bei Item 16<br>LD2 = 1 für a2 bei Item 7<br>LD3 = 1 für a3 bei Item 24  |
| SA / Sequentielle Argumentation                     | SA1 = 1 für (a2 bei Item 10, b2 bei Item 29, a1 bei Item 15 und b3 bei Item 25) oder (a1 bei Item 10, b3 bei Item 29, a2 bei Item 15 und b2 bei Item 25)<br>SA2 = 1 für (a1 bei Item 2 und a2 bei Item 13) oder (a2 bei Item 2 und a1 bei Item 13)<br>SA3 = 1 für a2b3c4 bei Item 27<br>SA4 = für a1 oder a2 bei Item 26 |
| PS / Probleme mit Parallelschaltungen               | PS1 = 1 für a2 oder a3 oder a4 bei Item 9<br>PS2 = 1 für a2 bei Item 20<br>PS3 = 1 für a1 oder a2 oder a3 oder a5 bei Item 14<br>PS4 = 1 für a2 oder a3 oder a4 bei Item 30  |

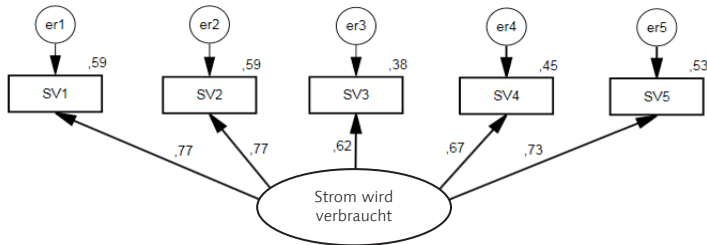


Abb. 9.: Messmodell für das Konstrukt SV.

### 3.8 Konfirmatorische Faktorenanalyse zur Spezifizierung von Messmodellen

In einem weiteren Schritt wurde nun überprüft, ob mit Hilfe konfirmatorischer Faktorenanalysen (Bühner, 2006) entsprechende Messmodelle für Schülervorstellungen spezifiziert werden können, wobei die Zuordnung der beobachteten Variablen zu den einzelnen Faktoren theoriegeleitet erfolgte. „*Confirmatory factor analysis is designed to assess how well a hypothesized factor structure „fits“ the observed data*“ (Russell, 2002, p. 1638). Hinsichtlich der Anzahl der den Variablen zugrundeliegenden Faktoren und der Beziehungen zwischen den manifesten Variablen und den Faktoren wurden, ausgehend von bekannten Schülervorstellungen und mit dem Ziel, Schülervorstellungen mit psychometrischen Testinstrumenten abzubilden, explizite Annahmen formuliert (vgl. Tabelle 8).

In Abbildung 9 ist ein einfaktorielles Modell mit einer latenten Variablen (Strom wird verbraucht) und fünf beobachteten Variablen SV1 bis SV5 spezifiziert, das

mit AMOS auf Eindimensionalität mit der Maximum-Likelihood-Methode getestet wird. Es ergibt sich ein  $\chi^2$ -Wert von 4,543. Dieser ist nicht signifikant ( $p = 0,337$ ). Damit wird die Nullhypothese angenommen: Das Modell passt auf die Daten. Die Faktorladungen, die bei den Pfeilen angegeben sind, bewegen sich zwischen 0,62 und 0,77 und geben Auskunft darüber, wie stark die Indikatorvariablen mit der latenten Variablen korrelieren. Die quadrierten Faktorladungen geben Auskunft darüber, welcher Varianzanteil der manifesten Variable durch die latente Variable erklärt werden kann. So erklärt das Konstrukt „Strom wird verbraucht“ 59 % der Varianzen der Variablen SV1 und SV2, d.h. 41 % der Varianzen dieser beiden Variablen sind auf Messfehler und eventuell nicht berücksichtigte Variableneffekte zurückzuführen.

In Abbildung 10 sind sieben weitere Messmodelle dargestellt, mit denen theoretische Konstrukte zu verschiedenen Schülervorstellungen konfirmatorisch mit der Maximum-Likelihood-Methode getestet wurden. Es wurden dabei die folgenden Cut-Off-Werte nach Bühner (2006) ver-

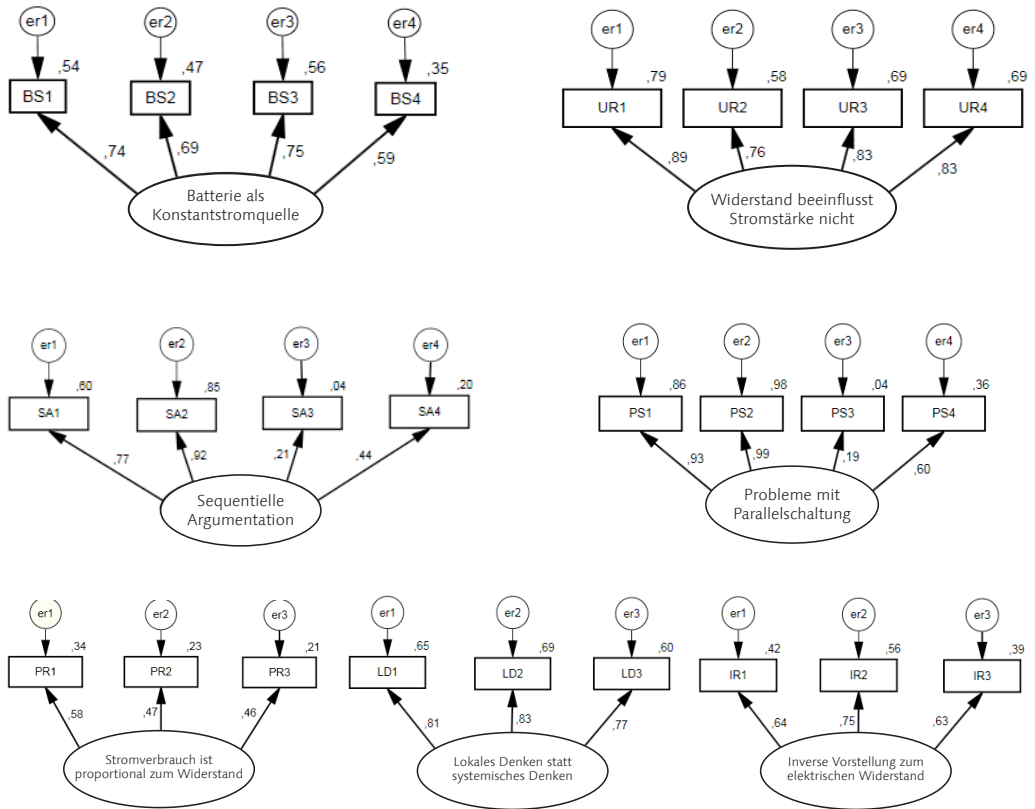


Abb. 10.: Messmodelle für die Konstrukte PS, UR, SA, PS, PR, LD und IR.

wendet:  $RMSEA \leq 0,06$  (für  $n > 250$ ),  $CFI \approx 0,95$  und  $CMIN/DF < 2,5$ . Die Darstellung der Parameter zur Überprüfung der Modellgüte in Tabelle 9 zeigt, dass alle acht konfirmatorischen Faktoranalysen einen sehr guten Modellfit aufweisen, d.h. dass die theoretischen Annahmen gut mit den Daten in der Stichprobe übereinstimmen. Damit ist bestätigt, dass sich spezifische Schülervorstellungen zu Basiskonzepten in der Elektrizitätslehre mit Hilfe der aus den Antwortkombinationen ausgewählter Items berechneten neuen Variablen durch die in den Abbildungen 9 und 10 dargestellten,

theoretisch fundierten latenten Konstrukte abbilden lassen (vgl. Forschungsfrage 1). Zur Untersuchung der zweiten Forschungsfrage wurde mit Hilfe eines Strukturmodells der Frage nachgegangen, ob und wie die einzelnen Aspekte der Schülervorstellungen zusammenhängen, d.h. ob es z. B. einen Zusammenhang zwischen den Vorstellungen „Strom wird verbraucht“ und „sequentieller Argumentation“ gibt. Es wurden dazu mit den in den Abbildungen 9 und 10 vorgestellten latenten Variablen mehrere Modelle gerechnet. Das Strukturmodell in Abbildung 11 bildet

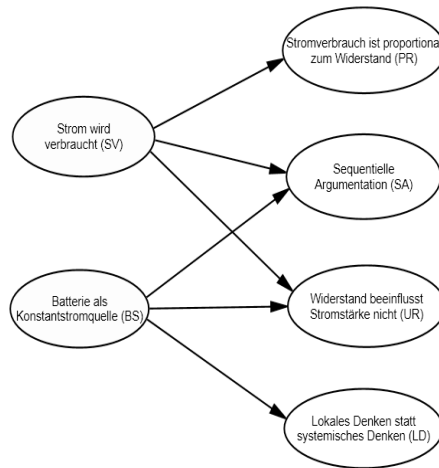


Abb. 11.: Strukturmodell mit den Konstrukten SV, BS, UR, SA, LD und PR.

Tab. 9.: Überprüfung der Modellgüte für die einzelnen Messmodelle

| Modell | CMIN  | DF | P     | CMIN/ DF | CFI   | RMSEA |
|--------|-------|----|-------|----------|-------|-------|
| SV     | 4,543 | 4  | 0,337 | 1,136    | 0,999 | 0,018 |
| BS     | 1,596 | 3  | 0,660 | 0,532    | 1,000 | 0,000 |
| UR     | 1,972 | 1  | 0,160 | 1,972    | 0,999 | 0,048 |
| IR     | 0,941 | 1  | 0,332 | 0,941    | 1,000 | 0,000 |
| PR     | 0,497 | 1  | 0,481 | 0,497    | 1,000 | 0,000 |
| LD     | 0,589 | 1  | 0,443 | 0,589    | 1,000 | 0,000 |
| SA     | 0,016 | 1  | 0,901 | 0,016    | 1,000 | 0,000 |
| PS     | 0,502 | 1  | 0,479 | 0,502    | 1,000 | 0,000 |

die theoretisch vermuteten Zusammenhänge zwischen den sechs verwendeten latenten Variablen ab. Die zugehörigen Messmodelle der latenten Variablen wurden oben spezifiziert und es wurde ihre Passung mit den Daten aus der vorliegenden Stichprobe überprüft. In Abbildung 11 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit die manifesten Variablen, mit deren Hilfe die angegebenen latenten Variablen

ermittelt wurden, nicht dargestellt. Sie enthalten empirische Indikatoren, die zur Operationalisierung der latenten Variablen dienen und spiegeln die Zusammenhänge dieser Größen mit den Indikatoren wieder. Die vier latenten endogenen Variablen des Modells in Abbildung 11 werden durch die im Modell unterstellten kausalen Beziehungen erklärt, wobei die beiden exogenen Variablen als erklärende Größen

dienen, die selbst aber durch das Kausalmodell nicht erklärt werden. Alle Pfadkoeffizienten sind auf dem Niveau  $p < 0,05$  signifikant, die Pfadkoeffizienten „Strom wird verbraucht“ / „Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand“, „Batterie als Konstantstromquelle“ / „Widerstand beeinflusst Stromstärke nicht“ sowie „Batterie als Konstantstromquelle“ / „Lokales Denken“ sind mit  $p < 0,001$  sogar hochsignifikant.

Das Modell wurde vor dem theoretischen Hintergrund entwickelt. Es wurde dabei von folgenden Annahmen ausgegangen: Die Stromverbrauchsvorstellung und die Vorstellung der Batterie als konstante Stromquelle sind zwei weitgehend voneinander unabhängige Konstrukte, die aber weitere Schülervorstellungen erklären können. So wurde angenommen, dass eine existierende Stromverbrauchsvorstellung zu falsch-positiven Aussagen bezüglich des elektrischen Widerstands führen kann. Diese Annahme wurde im Modell durch eine Verbindung zwischen den Konstrukten „Strom wird verbraucht“ und „Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand“ umgesetzt. Wenn Testpersonen eine Batterie als konstante Stromquelle sehen, könnten sich daraus Erklärungen für falsche Vorstellungen zum lokalen Denken und dem elektrischen Widerstand ergeben. Wenn eine Batterie ohnehin immer einen konstanten Strom liefert, erscheint es nicht notwendig, sich über das systemische Verhalten des Stromkreises bzw. des Einflusses eines Widerstandes Gedanken zu machen. Es wurden daher für diese beiden genannten Konstrukte ebenfalls positive Pfadkoeffizienten vermutet.

Hingegen wurde davon ausgegangen, dass Testpersonen mit der Vorstellung Batterie als Konstantstromquelle nicht sequentiell argumentieren werden. Testpersonen mit einer Stromverbrauchsvorstellung sind eher nicht der Meinung, dass ein Widerstand die Stromstärke nicht beeinflusst. Die Vorstellung, die Schüler/innen zum elektrischen Widerstand haben, könnte also mit hoher Wahrscheinlichkeit davon abhängen, ob sie eine Stromverbrauchsvorstellung haben oder eher der Ansicht sind, dass eine Batterie eine Quelle für einen konstanten Strom ist.

Die Modellstruktur passt sehr gut mit dem empirischen Datensatz zusammen:

$\chi^2 = 274,2$ ;  $DF = 246$ ;  $p = 0,105$ ,  $\chi^2/DF = 1,11$ ;  $CFI = 0,995$ ;  $RMSEA = 0,016$ .

#### 4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Folgerungen

Mit einem methodischen Ansatz, der vom Einsatz zweistufiger Items und multivariater Analysemethoden (konfirmatorischen Faktoranalysen und Strukturgleichungsmodellen) ausgeht, konnten erste Zusammenhänge zum konzeptionellen Verständnis ausgewählter Basiskonzepte, eingeschränkt auf die angeführten Schülervorstellungen abgebildet werden. Dabei konnten die in der Literatur beschriebenen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern gut repliziert werden. Dies trägt zu unserer Einschätzung bei, dass die verwendeten Skalen in guter Übereinstimmung zur bisherigen, umfangreichen Forschung zu Schülervorstellungen stehen. Darüber hinaus ergibt sich aber ein deut-

licher Mehrwert im Vergleich zu früheren Arbeiten: Die vorgestellten 23 Items, mit deren Hilfe 30 Variablen berechnet wurden, bilden ein psychometrisch verlässliches Testinstrument zur Überprüfung des Verständnisses von Probanden/innen zu Stromverbrauch, elektrischem Widerstand und Batterie als konstanter Stromquelle.<sup>3</sup> Das erlaubt einen fairen Vergleich verschiedener Zugänge zum Elektrizitätslehre-Unterricht, wo ja verschiedenste Ansätze miteinander konkurrieren. Aber auch für Lehrkräfte stellen die in den Abbildungen 9 und 10 vorgestellten Konstrukte, die mit Hilfe ausgewählter Items aus dem Testinstrument spezifiziert wurden, eine schnelle Möglichkeit dar, das Verständnis der Schüler/innen vor oder nach dem Unterricht zu überprüfen und damit vorhandene Schülervorstellungen aufzufinden beziehungsweise die Effizienz der eigenen Unterrichtsarbeit zu evaluieren.

Darüber hinaus erlauben die Items aber auch die Diagnose von dokumentierten (und im Verlauf der Untersuchung gut replizierten) Schülervorstellungen. Alle Items sind in Multiple-Choice gehalten, was eine Administrierung auch über das Internet ermöglicht sowie auch eine rasche Auswertung erlaubt. Es ist daher nach einer weiteren Verbesserung des Instruments auch die Bereitstellung eines Onlinetools für Lehrkräfte geplant.

Die Studie weist allerdings auch Limitationen auf: Bei der Analyse der Lösungshäufigkeit hat sich nämlich nicht

gezeigt, dass höhere Schulstufen, wie man es erwarten würde, tendenziell besser im Test abschneiden als niedrigere. Das könnte nach unserer Einschätzung einerseits mit der Testschwierigkeit zusammenhängen, die für die Gesamtstichprobe vielleicht zu hoch ist. Andererseits könnten auch die Administrierung des Instruments und die dadurch nicht weiter kontrollierbaren Testbedingungen für die fehlende Diskriminierung zwischen den verschiedenen Altersstufen verantwortlich sein. Schließlich könnte das Ergebnis auch ein Hinweis auf eine sehr niedrige Effektivität des Elektrizitätslehreunterrichts vor allem in der Sekundarstufe II sein.

Als nächster Schritt wird momentan mit Hilfe von Interviews an der Verbesserung der vorhandenen Items und Skalen gearbeitet. Vor allem geht es darum, noch weitere zweistufige Items zu entwickeln. Erste Resultate sind auch hier vielversprechend. Um dann in weiterer Folge bei den Antworten der Schülerinnen und Schüler möglichst nachvollziehbar zwischen „Nichtwissen“ und unwissenschaftlichen Vorstellungen unterscheiden bzw. um auch die Ratewahrscheinlichkeit besser eingrenzen zu können, ist daran gedacht, in einem nächsten Durchgang dreistufige Testitems zu verwenden (vgl. Pesman & Eryilmaz, 2010). Auf der dritten Stufe sollen die Testpersonen einschätzen, wie sicher sie sich bei der Beantwortung der Fragen waren. Nach einem Einsatz des verbesserten Testinstruments mit einer noch größeren Stichprobe, soll schließlich in der Folge eine Rasch-Skalierung durchgeführt werden, um auch Aufgabenschwierigkeit und Schülerfähigkeit in Beziehung setzen zu können.

3 Die weiteren in diesem Dokument nicht dargestellten Items können bei der Autorin angefordert werden.



## Literatur

- Borges, A. T. & Gilbert, J. K. (1999). Mental Models of Electricity. *International Journal of Science Education*, 21 (1), 95–117.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Pearson Studium.
- Caillot, M. (1985). Problem representations and problem-solving procedures in electricity. In: Duit, R. Jung, W. & v. Rhöneck, C. *Aspects of understanding electricity*, 139–151. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2010). Do Students Know What They Know and What They Don't Know? Using a Four-Tier Diagnostic Test to Assess the Nature of Students' Alternative Conceptions. *Research in Science Education* 40, 313–337.
- Closset, J. L. (1984). Woher stammen bestimmte „Fehler“ von Schülern und Studenten aus dem Bereich der Elektrizitätslehre? Kann man sie beheben? *Der Physikunterricht*, 21–31.
- Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, M. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics* 51, 407–412.
- Driver, R., Tiberghien, A. & Guesne, E. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Duit, R. (1986). Energievorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie* 34, 7–9.
- Duit, R. (1993a). Alltagsvorstellungen berücksichtigen! *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 42, 7–11.
- Duit, R. (1993b). Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 4, 16–23.
- Duit, R. & von Rhöneck, C. (1998) Learning and understanding key concepts of electricity. In: Tiberghien, A., Jossem, E. L. & Barajos, J. (Eds.) *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. International Commission on Physics Education. <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/BOOKS.html> (16.5.2012)
- Engelhardt, P.V. & Beichner, R.J. (2004): Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, Vol. 72, 1, 98–115.
- Evans, J. (1978). Teaching electricity with batteries and bulbs. *Physics Teacher*, 16, 15 (1978)
- Fredette, N. H. & Clement, J. (1981). Student misconceptions of an electric circuit: What do they mean? *Journal of College Science Teaching* 10, 280–285.
- Fredette, N. H. & Lochhead, J. (1980). Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher* 18, 194–198.
- Heller, P. M. & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching* 29, 259–275.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33, 502–506.
- Hu, L. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6 (1), 1–55.
- Johnsua, S. & Dupin, J. J. (1985). Schematic diagrams, representations and type of reasoning in basic electricity. In *Aspects of understanding electricity*, (Hrsg. R. Duit W. Jung and C. v. Rhöneck). 129–138. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Lewandowska, D. (1995). Lernschwierigkeiten bei der Aneignung des Begriffes "elektrischer Widerstand". *Physik in der Schule* 33(1995). S. 350–355.
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz.
- Mahapatra, M. (2006). *Exploring physics teachers' concepts of simple DC circuits*. Paper presented at GIREP conference, 2006, Modelling in Physics and Physics Education, 20–25 August 2006. Amstel Institute, University of Amsterdam, Netherlands.
- McDermott, L.C. & van Zee, E.H. (1984). Identifying and addressing student difficulties with electric circuits. Proceedings of the International Workshop: *Aspects of Understanding Electricity*, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, W. Germany, 39–48

- Millar, R. & Hames, V. (2001). *Using diagnostic assessment to improve students' learning in science: some preliminary findings from work to develop and test diagnostic tools.*
- Millar, R. M. & Hames, V. (2002). EPSE Project 1: Using diagnostic assessment to improve science teaching and learning. *School Science Review* 84, 21–24.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 1, 73–86.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education* 1, 73–82.
- Pesman, H. & Eryilmaz, A. (2010). Development of a Three-Tier Test to Assess Misconceptions About Simple Electric Circuits. *The Journal of Educational Research* 103, 3, 208–222.
- Russell, D. W. (2002). In Search of Underlying Dimensions: The Use (and Abuse) of Factor Analysis in Personality and Social Psychology Bulletin. *Personality and Social Psychology Bulletin* 28, 1629–1646.
- Sadler, Ph. M. (1998). Psychometric Models of Student Conception in Science: Reconciling Qualitative Studies and Distractor-Driven Assessment Instruments. *Journal of Research in Science Teaching* 35, 3, 265–296.
- Shepardson, D. P. & Moje, E. B. (1994). The nature of fourth graders' understandings of electric circuits. *Science Education* 78 (5), 489–514.
- Shipstone, D. M. (1984a). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *International Journal of Science Education* 6: 2, 185–198
- Shipstone, D. M. (1984b). On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. Proceedings of the International Workshop: *Aspects of Understanding Electricity*, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, W. Germany, 73–82.
- Shipstone, D. M. (1985). On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. In *Aspects of understanding electricity*, (Hrsg. R. Duit W. Jung and C. v. Rhöneck). 73–82. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Shipstone, D. M. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits: Some implications for instruction. *Physics Education*, 23(2): 92–96.
- Shipstone, D. M., von Rhöneck, C., Jung, W., Karrqvist, C., Dupin, 3.3., Joshua, S., & Licht, P. (1988). A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education* 10, 303–316.
- Stockmayer, S. M., Treagust, D. F. (1996). Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 18 (2), 163–178.
- Tiberghien, A., Delacote, G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples chez les enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, 34, 32–44.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 2, 159–169.
- von Rhöneck, C. v. (1988). Wege zum Spannungsbegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie* 36, 38–42.
- von Rhöneck, C. & Völker, B. (1984). Vorstellungen vom Stromkreis und ihr Einfluss auf den Lernprozess. *Der Physikunterricht* 17, 4–16.
- von Rhöneck, Ch. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis (und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand). *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie* 34 (1986) , 13, S. 10–14.
- von Rhöneck, Ch. , Grob, K. , Schnaitmann, G. W. & Völker, B. (1998). Learning in basic electricity: How do motivation, cognitive and classroom climate factors influence achievement in physics? *International Journal of Science Education*, 20: 5, 551–565.
- von Rhöneck, Ch. , Grob, K. (1989). Schülervorstellungen im Zusammenhang mit dem elektrischen Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie* 39 (1989), S. 16–20.
- Williams, J. (2006). Assertion-reason multiple-choice testing as a tool for deep learning: a qualitative analysis. *Assessment & Evaluation in Higher Education* 31, 3, 287–301.

#### **KONTAKT**

*Priv.-Doz. Dr. Hildegard Urban-Woldron*  
Universität Wien, AECC Physik  
Porzellangasse 4/2, 1090 Wien  
hildegard.urban-woldron@univie.ac.at

#### **AUTORENINFORMATION**

*Hildegard Urban-Woldron* ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik der Universität Wien.

*Martin Hopf* ist Leiter des Österreichischen Kompetenzzentrums für Didaktik der Physik der Universität Wien.