

Jürgen Roth

Vorgänge in Gleichstromkreisen verstehen lernen

Eine Herausforderung für Schüler und
die sie unterrichtenden Lehrer

Julius–Maximilians–Universität Würzburg
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl für Didaktik der Physik
Prof. Dr. Dieter Heuer

Zulassungsarbeit
für die erste Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien

Vorgänge in Gleichstromkreisen verstehen lernen

**Eine Herausforderung für Schüler und
die sie unterrichtenden Lehrer**

vorgelegt von
Jürgen Roth
WS 1993/94

*So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig,
man muß sie für fertig erklären,
wenn man nach Zeit und Umständen
das Möglichste getan hat.*

(J.W. Goethe, Italienische Reise, 16. 3. 1787)

Danksagung

An dieser Stelle möchte sich der Autor bei Herrn Prof. Dr. D. Heuer für die Betreuung während der Entstehung dieser Arbeit und seine zahlreichen Anregungen bedanken.

Danken möchte der Autor auch Herrn StR Reusch und Herrn StD Serger, die bereitwillig ihre Unterrichtszeit zur Verfügung gestellt haben. Nur dank ihres Einsatzes und ihrer freundlichen Unterstützung war der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Unterricht überhaupt möglich. Besonderer Dank gilt Herrn StR Reusch, dem der Autor wichtige Hinweise und Anregungen für das Unterrichtskonzept verdankt. Auch die Erstellung des Programms E–Kette–U in dieser Form wurde erst durch ein Gespräch mit ihm initiiert.

Hier soll auch den Lehrern gedankt werden, die sich freundlicherweise bereitklärt haben, den Testbogen in ihren Klassen bearbeiten zu lassen.

Nicht zuletzt dankt der Autor seinen Eltern und besonders auch Herrn Roland Ziegler für die akribische Durchsicht des Manuskripts.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1 Schülerschwierigkeiten in der Literatur	3
1.1 Fehlkonzepte und Lernschwierigkeiten im Stoffgebiet Gleichstromkreise	3
1.2 Unterrichtsansätze in der Literatur zur Behebung bestehender Lernschwierigkeiten im Stoffgebiet Gleichstromkreise	6
1.2.1 Umgang mit den Fehlkonzepten der Schüler im Unterricht	6
1.2.2 Analogien und Modellbildungshilfen	9
1.2.3 Unterrichtsmedium Computer	14
1.2.4 Schülerübungen	16
1.2.5 Zusammenfassung der Unterrichtsansätze	17
1.2.6 Sokoloffs MBL–Unterricht als konkretes Beispiel	17
2 Der Test	20
2.1 „Testentwicklung“	20
2.2 Beschreibung der Testpopulation	21
2.3 Testauswertung für die Kontrollpopulation	22
2.3.1 Testaufgabe 1	22
2.3.2 Testaufgabe 2	24
2.3.3 Testaufgabe 3	29
2.3.4 Testaufgabe 4	31
2.3.5 Testaufgabe 5	34
2.3.6 Testaufgabe 6	38
2.3.7 Testaufgabe 7	41
2.3.8 Testaufgabe 8	43
2.3.9 Testaufgabe 9	46
2.3.10 Testaufgabe 10	48
2.3.11 Testaufgaben 11 und 12	50
2.3.12 Testaufgaben 13 und 14	54
2.3.13 Faktoranalyse der Testergebnisse	58
2.3.14 Vergleich der Testergebnisse mit denen von Sokoloff	62
2.3.15 Zusammenfassung der Testergebnisse	64

3	Unterrichtsmaterial	68
3.1	Computerprogramm zur Echtzeiterzeugung von Pfeildiagrammen .	69
3.1.1	Das Programm „E-Kette-U“	70
3.1.2	Das Programm „E-Kette-Pot“	77
3.1.3	Realisierung des Stromkreises und sein Anschluß an den Computer	80
3.2	Das Programm „Stromkreis“ – Ein Meß- und Auswertungspro- gramm für Schülerversuche am elektrischen Stromkreis	84
3.2.1	Das Programm und seine Bedienung	84
3.2.2	Computer und Interface	92
3.2.3	Meßadapter und sonstige Materialien zum Aufbau der Stromkreise	93
4	Der Unterricht	99
4.1	Das Unterrichtsgespräch	100
4.1.1	Konzept und Vorgehensweise	100
4.1.2	Im Unterrichtsverlauf erkannte Probleme und Ansätze zu deren Behebung	104
4.2	Schülerversuche	106
4.2.1	Konzept und Vorgehensweise	106
4.2.2	Im Unterrichtsverlauf erkannte Probleme und Ansätze zu deren Behebung	116
5	Testergebnisse der Unterrichtsgruppen	120
5.1	Der Fragebogen	120
5.1.1	Interessenlage	121
5.1.2	Schulische Leistung	127
5.1.3	Unterrichtsgespräch anhand der Pfeildiagramme	130
5.1.4	Schülerexperimente mit dem Computer	138
5.2	Die Unterrichtsgruppen im Test	146
5.2.1	Vergleich der Testergebnisse von Unterrichtsgruppen und Kontrollklassen	146
5.2.2	Testaufgabe 1	148
5.2.3	Testaufgabe 2	150
5.2.4	Testaufgabe 3	152
5.2.5	Testaufgabe 4	154
5.2.6	Testaufgabe 5	157
5.2.7	Testaufgabe 6	160
5.2.8	Testaufgabe 7	163
5.2.9	Testaufgabe 8	165
5.2.10	Testaufgabe 9	167
5.2.11	Testaufgabe 10	167
5.2.12	Testaufgaben 11 und 12	170

5.2.13	Testaufgaben 13 und 14	173
5.2.14	Testergebnisse der Unterrichtsruppen im Vergleich	176
6	Zusammenfassung und Ausblick	180
	Anhang	184
A	Computerprogramme	184
A.1	Das Programm „E-Kette-Pot“	184
A.2	Das Programm „E-Kette-U“	195
A.3	Das Programm „Stromkreis“	202
B	Tastenfunktionen von „E-Kette-U“ bzw. „E-Kette-Pot“	203
C	Fragebögen	204
D	Schülerübungsarbeitsblätter	216
E	Materialliste	222
E.1	Materialliste für den Demonstrationsversuch zum Unterrichtsge- spräch	222
E.1.1	Computer und Interface	222
E.1.2	Stromkreis und Anschlußkabel	222
E.2	Materialliste für die Schülerversuche	223
E.2.1	Computer und Interface	223
E.2.2	Stromkreise und Meßadapter	223
E.2.3	Sonstiges Unterrichtsmaterial	224
	Literaturverzeichnis	225

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufgabe 1 des Testbogens	23
2.2	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 1	24
2.3	Aufgabe 2 des Testbogens	25
2.4	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 2	26
2.5	Aufgabe 3 des Testbogens	29
2.6	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 3	30
2.7	Aufgabe 4 des Testbogens	32
2.8	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 4	33
2.9	Aufgabe 5 des Testbogens	35
2.10	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 5	36
2.11	Aufgabe 6 des Testbogens	38
2.12	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 6	39
2.13	Aufgabe 7 des Testbogens	42
2.14	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 7	43
2.15	Aufgabe 8 des Testbogens	44
2.16	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 8	45
2.17	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 9	46
2.18	Aufgabe 9 des Testbogens	47
2.19	Aufgabe 10 des Testbogens	49
2.20	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 10	50
2.21	Aufgaben 11 und 12 des Testbogens	51
2.22	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 11	52
2.23	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgabe 12	53
2.24	Aufgabe 13 des Testbogens	55
2.25	Aufgabe 14 des Testbogens	56
2.26	Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgaben 13 und 14	57
2.27	Antwortverhalten der Kontrollpopulation im Überblick	63
2.28	Antwortverhalten der Kontrollpopulation bei Sokoloff	64
2.29	Antwortverhalten der Kontrollpopulationen im Vergleich	65
2.30	Antwortverhalten der Kontrollklassen im Überblick	66
3.1	Grafikbeispiele des den Programmen „E-Kette-U“ und „E-Kette-Pot“ zugrunde liegenden Programms	70

3.2	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“, nachdem Taste U gedrückt wurde	72
3.3	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“, nachdem Taste U gedrückt wurde (mit Nebenschluß)	73
3.4	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“, nachdem Taste G gedrückt wurde	74
3.5	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“, nachdem Taste I gedrückt wurde	75
3.6	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“, nachdem Taste B gedrückt und ein Widerstand entfernt wurde	76
3.7	Bildschirmausdruck von „E-Kette-U“ bzw. „E-Kette-Pot“, nachdem jeweils Taste B gedrückt wurde	78
3.8	Bildschirmausdruck von „E-Kette-Pot“, nachdem Taste B gedrückt und umgepolt wurde	79
3.9	Bildschirmausdruck von „E-Kette-Pot“, nachdem Taste B gedrückt und der Stromkreis unterbrochen wurde	80
3.10	Im Unterrichtsgespräch benutzter realer Stromkreis	81
3.11	(Interface-) Schaltplan zum Demonstrationsversuch	82
3.12	Gesamtaufbau des Demonstrationsversuchs für das Unterrichtsgespräch	83
3.13	Oberfläche des Führungsmenüs vor und nach dem „Verstecken“	85
3.14	Bildschirmausgabe Grafik-Menü	89
3.15	Erste typische von „Stromkreis“ erzeugte Grafik	90
3.16	Zweite typische von „Stromkreis“ erzeugte Grafik	91
3.17	Typischer Stromkreislaufbau im Rahmen der Schülerversuche	94
3.18	Aufbau eines Schülerversuchs	96
3.19	Mit „Stromkreis“ erzeugte Grafik von Widerstandskannlinien	97
3.20	Schülerversuchsmaterialien	98
4.1	Arbeitsanweisungen im Vorspann des Praktikumsprotokolls	107
4.2	Aufgabe 1 des Praktikumsprotokolls	109
4.3	Aufgabe 2 des Praktikumsprotokolls	111
4.4	Aufgabe 3 des Praktikumsprotokolls	112
4.5	Aufgabe 4 des Praktikumsprotokolls	113
4.6	Aufgabe 5 des Praktikumsprotokolls	115
5.1	Erster Teil des Fragebogens (Interesse)	122
5.2	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 1 des Fragebogens	123
5.3	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 2 und 5 des Fragebogens	124
5.4	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 3 und 4 des Fragebogens	125

5.5	Zweiter Teil des Fragebogens (Leistung)	127
5.6	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 6 und 7 des Fragebogens	128
5.7	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 8 und 9 des Fragebogens	129
5.8	Dritter Teil des Fragebogens (Unterrichtsgespräch)	131
5.9	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 10 des Fragebogens (1. Teil)	132
5.10	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 10 des Fragebogens (2. Teil)	133
5.11	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 11 des Fragebogens (1. Teil)	134
5.12	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 11 des Fragebogens (2. Teil)	136
5.13	Vierter Teil des Fragebogens (Schülerversuche)	139
5.14	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 13 des Fragebogens (1. Teil)	140
5.15	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Frage 13 des Fragebogens (2. Teil)	141
5.16	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 14 und 15 des Fragebogens	142
5.17	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Fragen 16 und 17 des Fragebogens	143
5.18	Vergleich der Testergebnisse der Unterrichtsgruppen mit denen der Kontrollklassen	147
5.19	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 1 des Tests	149
5.20	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 2 des Tests	151
5.21	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 3 des Tests	153
5.22	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 4 des Tests	155
5.23	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 5 des Tests	158
5.24	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 6 des Tests	161
5.25	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 7 des Tests	164
5.26	Schaltbild von Stromkreis (4)	165
5.27	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 8 des Tests	166
5.28	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 9 des Tests	168
5.29	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 10 des Tests	169
5.30	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 11 des Tests	171
5.31	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 12 des Tests	172
5.32	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 13 des Tests	174
5.33	Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen bei Aufgabe 14 des Tests	175
5.34	Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsgruppe bei Sokoloff	176

5.35	Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen dieser Arbeit	177
5.36	Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen in Vor- und Nachtest	178
6.1	Stromkreise (1) und (2)	181

Tabellenverzeichnis

1.1	Wasserstromkreis analogie	10
1.2	Gravitationsanalogie	11
1.3	Elektronengasdruck-Modell	11
1.4	Wärmeleitungsanalogie	12
1.5	Zuganalogie	13
2.1	Verteilung der Testschüler auf die Jahrgangsstufen	22
2.2	Faktoranalyse der Testergebnisse der Kontrollpopulation	59
2.3	Mögliche Zuordnung von Fehlkonzepten zu den Faktoren	61
B.1	Tastenfunktionen von „E-Kette-U“ bzw. „E-Kette-Pot“	203

Vorwort

Obwohl jeder Mensch täglich mit elektrischen Stromkreisen konfrontiert wird, sind die Vorstellungen von dem was eigentlich in ihnen vorgeht häufig von eklatanten Fehlkonzepten geprägt. Es scheint so zu sein, daß sich bestehende Fehlinterpretationen durch die Alltagssprache noch verfestigen. Mit diesem Problem müssen sich auch alle Lehrer am Anfang des Unterrichts der Elektrizitätslehre auseinandersetzen. Sie versuchen, die Schüler zu einem Konzeptwechsel anzuleiten. Leider scheint die Fähigkeit, qualitativ zu argumentieren, auch nach jahrelangem Physikunterricht nicht wesentlich zuzunehmen.

Diese Arbeit geht der Frage nach, wie die Fehlkonzepte, die auch nach dem Elektrizitätslehreunterricht der 10. Klasse Gymnasium noch bestehen, im einzelnen aussehen und inwieweit sie über die 11. Klasse bis in die Anfänge des Physikleistungskurses der 12. Jahrgangsstufe erhalten bleiben. Desweiteren wird der Frage nachgegangen, ob sich diese Problematik in den USA genauso darstellt wie in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden Erkenntnisse aus dem Arbeitskreis um Sokoloff und Thornton herangezogen¹, was in diesem Fall soweit geht, daß hier ein fast identischer Test zur Auswertung benutzt wird.

Weiterhin wird ein Unterrichtsansatz vorgestellt, der versucht, einigen der bekannten Verständnisschwierigkeiten konzeptbildend entgegenzutreten. Hierbei wird intensiv mit Computergrafiken gearbeitet. Dazu werden Messungen an realen Stromkreisen vorgenommen, mit Hilfe des Computers sehr schnell ausgewertet und in eine grafische Bildschirmausgabe umgesetzt. Auf diese Weise erfolgen Messung und Grafikausgabe praktisch gleichzeitig. Daran anschließend werden einzelne Unterrichtsversuche mit diesem Konzept geschildert, die sich jeweils nur über zwei bis drei Unterrichtsstunden erstrecken. Mit Hilfe von Vor- und Abschlußtests sowie Fragebögen zur Interessenslage und Selbsteinschätzung der beteiligten Schüler wird versucht, die mit diesem Unterrichtskonzept möglicherweise erreichbaren Erkenntnisse abzustecken.

Im Anhang findet der interessierte Leser eine kurze Zusammenstellung der Tastenfunktionen der Computerprogramme „E-Kette-Pot“ und „E-Kette-U“ sowie eine Materialliste für die Unterrichtsdurchführung und die vollständigen Quelltexte der Programme. Außerdem sind dort ausgearbeitete Schülerübungsarbeitsblätter, der Test mit Antwortblatt und der Fragebogen in Form von Kopiervorla-

¹nämlich: [Sokoloff 91], [Sokoloff 92]

gen abgedruckt. Der Arbeit liegt eine Diskette bei, die eine sofortige Benutzung der Programme ermöglicht.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, daß aus Gründen der Vereinfachung bei der Nennung einzelner Gruppen ausschließlich die männlichen Form verwendet wird. In allen diesen Fällen sind aber natürlich immer Frauen und Schülerinnen mit eingeschlossen.

Kapitel 1

Schülerschwierigkeiten mit Gleichstromkreisen und Ansätze zu ihrer Behebung in der Literatur

In den letzten 15 Jahren hat es eine ständig zunehmende Zahl von Untersuchungen zum Thema Schülerfehlvorstellungen und ihre Behebung gegeben. Dementsprechend umfangreich ist auch die dazu vorhandene Literatur. In diesem Kapitel wird versucht, eine repräsentative Auswahl sowohl der aufgedeckten Fehlvorstellungen und mangelnden Kenntnisse als auch der bisherigen, auf diese Erkenntnisse basierenden Unterrichtsansätze, zusammenzustellen. Der an diesem Thema näher interessierte Leser findet im Literaturverzeichnis neben den hier erwähnten Arbeiten eine breite Zusammenstellung von Artikeln, die aber trotzdem keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

1.1 Fehlkonzepte und Lernschwierigkeiten im Stoffgebiet Gleichstromkreise

Liest man die Vielzahl der Untersuchungsergebnisse der letzten Jahre, so läßt sich deutlich erkennen, daß die Verständnisschwierigkeiten der Schüler im Bereich der Gleichstromkreise (und nicht nur dort) grundlegend sind. Es hat sich gezeigt, daß sie im wesentlichen weder länderspezifisch sind noch — im Rahmen von herkömmlichem Unterricht — durch verschiedene Curricula unterschiedlich gut behoben werden.¹ Im Gegenteil lassen sich laut Literatur sogar eine Reihe von ausschlaggebenden Grundschwierigkeiten bzw. Fehlkonzepten aus den Antworten der Schüler auf gewisse Testfragen herausfiltern. Eine im wesentlichen vollständi-

¹vgl. z.B. [Shipstone 88a]

ge Zusammenstellung hierzu haben zuletzt L.C. McDermott und P.S. Shaffer in [McDermott 92a] geliefert.² Auf sie und eigene Literaturrecherchen stützt sich die hier zusammengestellte Liste der grundsätzlich auftretenden Schwierigkeiten und Fehlkonzepte:

1. **Notwendigkeit des geschlossenen Stromkreises nicht bewußt**

Es wird wiederholt berichtet, daß Schüler zwar die Notwendigkeit des geschlossenen Stromkreises für den Stromfluß kennen, aber diesen „Lehrsatz“ nicht anwenden können. So zeichnen viele in eine skizzierte Schaltung nur eine Kontaktstelle einer Glühbirne mit dem Kreis ein und glauben, daß sie dann leuchtet.

2. **Stromverbrauch**

In den Bauteilen des Stromkreises wird Strom verbraucht. Diese Vorstellung tritt auf, wenn bei Serienschaltungen (aber auch allgemein bei „komplexeren“ Schaltungen mit mehreren Schaltelementen) die Stromstärken an unterschiedlichen Stellen im Kreis vorhergesagt werden sollen.

3. **Konstantstromquelle**

Die (Spannungs-)Quelle liefert immer eine konstante Stromstärke. Am deutlichsten wird dieses Konzept im direkten Vergleich zwischen einem Stromkreis mit Quelle und einer Glühbirne sowie einem mit gleicher Quelle und einer Serienschaltung von zwei identischen Glühbirnen. Es wird dann die gleiche Stromstärke in beiden Stromkreisen vorhergesagt.

4. **Lokales Denken**

Der Zusammenhang zwischen einer bestimmten Stelle im Stromkreis und dem „Rest“ des Kreises wird nicht gesehen. Es wird nicht erkannt, daß Veränderungen an einem Punkt im Kreis Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis haben. Manchmal wird auch ein größeres Gebilde wie eine Parallelschaltung innerhalb eines Serienkreises losgelöst vom Restkreis (also lokal) betrachtet. Hier wird erwartet, daß sich bei Änderung eines Widerstandes in einem Parallelzweig die Stromstärken in beiden Zweigen so ändern, daß eine Verminderung in einem durch eine Erhöhung im anderen gerade kompensiert wird.³

5. **Sequentielles Denken**

Es kommt auf die Stromrichtung an. Vorgänge „hinten“ im Stromkreis haben „weiter vorne“ keine Auswirkungen, wohl aber haben Vorgänge „vorne“

²Aufsätze zu Einzelthemen und verschiedene Untersuchungen finden sich in: [Andersson 84], [Caillot 84], [Cohen 83], [Cosgrove 85a], [Cosgrove 85b], [Duit 83], [Duit 85b], [Duit 92b], [Duit 93a], [Duit 93b], [Härtel 85b], [Jung 82b], [Jung 85a], [Jung 86a], [Jung 86b], [Kircher 86], [Lecher 93], [Maichle 82], [McDermott 85], [Muckenfuß 80], [Rhöneck 80], [Rhöneck 84], [Schwedens 89], [Shipstone 85a], [Shipstone 88b]

³vgl. [Rhöneck 91a]

Auswirkungen auf „weiter hinten“. Dies führt z.B. zu der Erwartung, daß sich der Strom an einer Verzweigung in gleiche Teile aufspaltet, weil „er nicht weiß, was hinterher kommt“. Sequentielles Denken ist eng mit dem Konzept „Konstantstromquelle“ verbunden.

6. Mangelnde Unterscheidung zwischen Spannung und Stromstärke

Es ist nicht nur ein Problem, Spannung und Stromstärke auseinanderzuhalten, sondern es fehlt sogar jegliches Konzept für den Begriff Spannung. Die Spannung ist für viele Schüler nur über die Rechnung ($U = RI$) bzw. die Messung als abstrakte Größe existent, mit der sie nichts anfangen können. Außerdem fehlt die Vorstellung von dem, was Strom eigentlich ist. Einige Autoren⁴ nehmen an, daß viele der Fehlvorstellungen im Zusammenhang mit dem Strom auf eine, wenn auch meistens unbewußte, Verwechslung bzw. Gleichsetzung von Strom/Stromstärke und Energie zurückzuführen ist. Die unklare Vorstellung von dem, was Spannung eigentlich ist, zeigt sich am deutlichsten in der Erwartung, am Leitungsdraht eine Spannung messen zu können, und zwar (wenn sich der Leitungsdraht „vor“ dem ersten Bauteil befindet) die Spannung, die an der Spannungsquelle gemessen werden kann. Das dahintersteckende „Konzept“ könnte man mit v.Rhönneck als „Spannung ist eine Eigenschaft des Stromes“⁵ umschreiben. Die ganze Tragweite dieses Problems läßt sich recht treffend mit folgendem durch v.Rhönneck geprägten Satz zusammenfassen: „Bei vielen Schülern entwickelt sich *während des Unterrichts* aus einer einfachen Verbrauchsvorstellung eine Vorstellung mit einem übermächtigen Strombegriff, der lokale und sequentielle Argumentation mit einschließt und *nicht* durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ergänzt wird.“⁵

7. Mangelnde Unterscheidung zwischen Serien- und Parallelschaltung

Es wird mit den Anzahlen der Bauteile argumentiert und nicht auf Serien- oder Parallelschaltung geachtet bzw. sie werden nicht als solche erkannt. Konkret heißt das, daß bei zwei Bauteilen in einem Stromkreis, sowohl in Serien- als auch in Parallelschaltung, die gleichen Ergebnisse erwartet werden.

8. Umsetzung Schaltbild \leftrightarrow realer Stromkreis

Schüler haben Schwierigkeiten, die zeichenhafte Struktur eines Schaltbildes zu durchschauen und erkennen deshalb nicht, daß z.B. eine reale Parallelschaltung nicht immer so aussieht wie ihr Gegenstück im Schaltbild. Selbst eine leichte Verformung der Schaltskizze bewirkt, daß einige Schüler glauben, hier liege ein anderer Stromkreis zugrunde. In diesem Zusammenhang

⁴z.B. v.Rhönneck in [Rhönneck 84]

⁵z.B. [Rhönneck 86c]

werden sogar gleiche Schaltungen, die nur gedreht wurden, nicht als identisch erkannt. Oft stellt selbst die Umsetzung der Schaltskizze in eine reale Schaltung und umgekehrt allein wegen des anderen optischen Eindrucks ein echtes Problem dar.

9. Schaltung von Meßgeräten

Meßgeräte werden nicht als Bauteile des Stromkreises erkannt und damit auch nicht die daraus entstehenden Bedingungen für ihre Bauart und Schaltweise. So wird z.B. angenommen, daß Meßgeräte, egal welcher Art und unabhängig von ihrer Schaltung, keine Auswirkung auf die Helligkeit einer Glühbirne im Kreis haben.

Diese vom Autor zusammengestellte Liste gibt die Mehrzahl der in der Literatur dargestellten Fehlkonzepte wieder. Es sei an dieser Stelle aber betont, daß diese Fehlvorstellungen alle aus falschen Testantworten und Einzelinterviews mit Schülern geschlossen wurden. Bezüglich der Vielfalt der daraus abzuleitenden Fehlkonzepte gibt es auch andere Meinungen. So vertritt z.B. Closset in [Closset 84] folgende Auffassung über die Interpretationsmöglichkeiten seiner Tests: „Jede Antwort erlaubt Interpretationen, die von einer Aufgabe zur anderen differieren können, aber die Gesamtheit der erhaltenen Antworten legt eine Interpretation nach der lokalen oder sequentiellen Argumentation nahe.“

Schließlich sollte noch festgehalten werden, daß kaum ein Schüler mit grundsätzlich festgelegten Konzepten an die Lösung von Aufgaben herangeht. Es scheint vielmehr je nach Aufgabenstellung „ganz spontan“ mit der einen oder anderen Lösungsstrategie (soweit man das Vorgehen von vielen Schülern so nennen kann) gearbeitet zu werden.⁶ Aus diesem Grund und auch, weil selbst falsche Konzepte manchmal zur richtigen Antwort führen, ist es unter Umständen sehr schwierig, verschiedene Fehlvorstellungen herauszuarbeiten.

1.2 Unterrichtsansätze in der Literatur zur Behebung bestehender Lernschwierigkeiten im Stoffgebiet Gleichstromkreise

1.2.1 Umgang mit den Fehlkonzepten der Schüler im Unterricht

Die empirische Forschung hat in den letzten Jahren immer wieder gezeigt, daß auch nach dem Unterricht in der Elektrizitätslehre noch vorunterrichtliche Fehlvorstellungen vorhanden sind, ja manche Fehlvorstellungen sich sogar erst im Laufe des Unterrichts einstellen. Ein wesentlicher Ansatz, hier gegensteuernd

⁶siehe z.B. [Rhöneck 89b]

zu wirken, wird immer wieder im expliziten Ansprechen und Einbeziehen der vorunterrichtlichen und der alltagssprachlichen Vorstellungswelt im Unterricht gesehen.⁷ Denn „Unterricht, der nur wissenschaftliche Positionen vermittelt, ohne an den verwurzelten Überzeugungen der Schüler zu rühren, erzeugt häufig erst Fehlkonzepte.“⁸ Es ist also nicht sinnvoll, im Unterricht nur „korrekte“, wissenschaftliche Tatsachen zu vermitteln. Diese müssen nämlich auf jeden Fall mit vorhandenen Fehlvorstellungen konkurrieren und unterliegen bei konkreten, qualitativen Fragestellungen nur allzuoft. In anderen Fällen wird von Schülern aus einem solchen Unterricht versucht, alte Vorstellungen und neues Unterrichtswissen miteinander zu vereinbaren, was häufig erst recht zu einem ganzen Komplex von Fehlkonzepten führt.

Von Tabula rasa, im Hinblick auf die vorunterrichtliche Vorstellungswelt der Schüler zum Themenkreis Gleichstromkreise, kann und darf also nicht ausgegangen werden. Dies zeigt neben dem bisher erwähnten auch folgende, von Maichle in [Maichle 82] aufgestellte Charakterisierung eines „typischen Schülers“: „Sachverhalte, die seinen Vorstellungen entsprechen, wird er sich recht gut merken – er hat sie ja erwartet; Information, die nicht in sein Vorstellungsbild paßt, wird er mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ignorieren; diese Inhalte wird er auch nicht in seinem Gedächtnis speichern.“

Wie aber sollte man nun mit den „Vorkenntnissen“ der Schüler umgehen und wie sie zur Entwicklung physikalischer Vorstellungen anleiten? Intuitiv könnte man vielleicht folgenden Ansatz für geeignet bzw. ausreichend halten, einen Konzeptwechsel herbeizuführen. Man konfrontiert die Schüler mit einem Unterrichtsexperiment, dessen Ergebnis mit der entsprechenden Fehlvorstellung der Schüler nicht vereinbar ist. Leider haben mehrere Untersuchungen gezeigt, daß dieses Vorgehen alleine nicht ausreicht. So berichtet Duit in [Duit 92b], daß vielfach die Beobachtungen von Schülern durch ihre Vorstellungen geleitet werden. Man könne sogar sagen, daß einige Schüler während der Versuchsdurchführung ihre Erwartungen vom Ergebnis im wahrsten Sinn des Wortes in das Experiment „hineinsehen“, oder scheinbar überzeugt in ihrer Erinnerung trotzdem wieder ihre ursprüngliche Vorstellung auf den Versuch projizieren.

Es scheint also notwendig zu sein, eine intensive Beschäftigung der Schüler mit ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen herbeizuführen, um so einen erfolgversprechenden Konzeptwechsel zu ermöglichen. Das Spektrum der hierzu vorgeschlagenen Methoden ist äußerst vielschichtig. Eine der „Minimalforderungen“ ist die, zumindest anhand von *mehreren* Experimenten die Schülervorstellungen zum Widerspruch zu führen.⁹ Vom Arbeitskreis um v.Rhôneck findet sich in [Rhôneck 93c] ein Bericht über eine besonders intensive, direkte Konfrontation der Schüler mit ihren Fehlvorstellungen. Dort wird vorgeschlagen, nach dem

⁷Nähere Informationen zum Einfluß der Alltagssprache finden sich z.B. in [Duit 83], [Duit 85b], [Muckenfuß 80]

⁸aus [Mandl 93]

⁹z.B. [Duit 92b]

Unterricht speziell entwickelte Arbeitsblätter bearbeiten zu lassen. Auf ihnen werden zu einigen Fragen eine richtige und mehrere falsche Schülerantworten mit Begründungen im Schema des entsprechenden Fehlkonzepts dargeboten. Die Schüler werden anschließend aufgefordert, ihre eigene Vorstellung zu dieser Frage vor und nach dem Unterricht schriftlich zu formulieren. Dies soll dann als Diskussionsgrundlage und Anlaß dazu dienen, daß die physikalischen Konzepte noch einmal „für die Klasse verbindlich herausgearbeitet werden.“¹⁰

Die Notwendigkeit des **Konzeptwechsels** von den vorunterrichtlichen Vorstellungen in Richtung physikalisches Konzept sollte aus den bisherigen Ausführungen deutlich geworden sein. Sie zieht sich auch wie ein roter Faden durch die Fachliteratur. Die hier beschriebene und zugleich wohl grundlegendste Methode zum Anstoß des Konzeptwechsels ist die Nutzung des **kognitiven Konfliktes**. Dabei wird versucht, die vorunterrichtliche Vorstellungswelt der Schüler durch mit ihr unvereinbare Unterrichtsergebnisse in eine Konfliktsituation zu treiben. Dadurch soll bei den Schülern die Einsicht geweckt werden, daß ein neues Konzept vonnöten ist. Diese Methode hat aber nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn der Lehrer die Fehlvorstellungen der Schüler kennt, sie im Unterricht zur Sprache bringt und den Schülern sowohl ein Forum als auch die zeitliche Möglichkeit bietet, sich damit auseinanderzusetzen.¹¹

Jung beschreibt in [Jung 86b] noch zwei weitere Methoden des Umgangs mit Schülervorstellungen. Eine ist das **Anknüpfen** an solche Alltagsvorstellungen, die möglichst wenig mit den physikalischen kollidieren. Dabei wird also versucht, einen möglichst kontinuierlichen Übergang von den Alltagsvorstellungen zu den als Unterrichtsziele angepeilten Vorstellungen zu schaffen. Ähnlich gelagert ist auch die andere Methode, nämlich die **Umdeutung** von Fehlkonzepten auf die „richtigen“ physikalischen Begriffe. Ein Beispiel hierzu aus der Elektrizitätslehre: Viele Schüler gehen davon aus, daß in einer Serienschaltung von Glühlampen „der Strom“ abnimmt. Man könnte nun „Strom“ in elektrische Energie umdeuten und so an diesem Konzept weiterarbeiten, da ja wirklich in jeder Glühlampe elektrische Energie in thermische bzw. innere Energie des Glühdrahtes umgesetzt wird. „Allerdings muß man bedenken, daß solche Umdeutungen i.a. nicht nur irgendwelche Wortbedeutungen betreffen. In der Regel geht es darum, eine umfassende Umstrukturierung zu bewirken.“¹² Es genügt also nicht, nur einen Begriff gegen einen anderen auszutauschen. So unter den Schülervorstellungen von „Strom“ z.B. durchaus auch das Konzept eines Stoffes (im Sinn von Materie) zu finden, der sich bewegt. Dies gehört aber nicht in den physikalischen Verstehensrahmen für Energie.

Bisher wurde berichtet, daß es notwendig ist, die Schüler in ihrer persönlichen Vorstellungswelt abzuholen und zu einem Konzeptwechsel anzuleiten. Im folgen-

¹⁰aus [Rhöneck 93c]

¹¹Weiterführende Informationen zum Thema kognitiver Konflikt und Konzeptwechsel (auch im Elektrizitätslehreunterricht) finden sich z.B. in [Closset 85], [Dreyfus 90], [Scott 91]

¹²aus [Jung 86b]

den soll es darum gehen, wie ihnen die Inhalte des physikalischen Konzeptes vermittelt werden können.

1.2.2 Analogien und Modellbildungshilfen

Da man die Vorgänge im Stromkreis nicht direkt beobachten kann, sind sie der Vorstellung nur schwer (wenn überhaupt) zugänglich. Um hier die Anschauung der Schüler und ihre Erfahrungen in anderen Bereichen für den Verständnissgewinn nutzen zu können, wurden die unterschiedlichsten Analogien und Modelle als Konzeptbildungshilfe für die Schüler vorgeschlagen. All diese Analogien können sehr nützlich sein, müssen sich aber daran messen lassen, inwieweit die Schüler wirklich mit dem Analogiebereich vertraut sind. Stellt sich nämlich heraus, daß schon hier Schwierigkeiten auftreten oder der Analogiekomplex gar nur für den Lehrer verständlich ist, nicht aber für die Schüler, so ist die Analogie eher ein Hindernis denn eine Hilfe für die Konzeptbildung. Desweiteren ist auf die Grenzen der Analogie zu achten und darauf, wie sie sich auf Fehlvorstellungen beim eigentlichen Unterrichtsziel (hier der Elektrizitätslehre) auswirken.¹³ Diese und andere Gründe haben Kircher in [Kircher 84] und [Kircher 85], Duit in [Duit 91a], [Duit 91b] und [Duit 92a] und Tenney in [Tenney 85] dazu bewogen, für solche Analogien zu plädieren, die nur jeweils ein spezifisches Problem verdeutlichen. Duit und Tenney nennen das „Multiple Analogien“, weil für jedes Einzelthema „die beste“ Analogie herangezogen werden kann.

In diesem Sinn möchte der Autor auch die nachfolgende Liste möglicher Analogien zum Thema Gleichstromkreise verstanden wissen (auch wenn einige Autoren — z.B. die Arbeitsgruppe um Schwedes in bezug auf den Wasserstromkreis — ihren Analogiebereich anders verstehen). Sie stellt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit und will nur einen groben Überblick über die Bandbreite der vorgeschlagenen Analogien geben.

Es wird bei jeder Analogie nur kurz auf ihre Vorteile eingegangen. Einschränkungen bezüglich der Einsetzbarkeit und ähnliches ergeben sich jeweils aus dem oben Ausgeführten. Im Anschluß an die Vorstellung jeder Analogie finden sich Hinweise auf weiterführende Literaturstellen.

1. Wasserstromkreis

Die im Zusammenhang mit dem elektrischen Stromkreis am häufigsten bemühte Analogie ist der Wasserstromkreis. Sie hat den Vorteil, daß die Konzepte Strom und Stromstärke relativ anschaulich werden. Ein weiterer Pluspunkt ist die Tatsache, daß es einige technische Realisierungen dieses Modells gibt, mit deren Hilfe die Schüler im Unterricht direkt sehen können, was sich im Stromkreis abspielt. Im einzelnen wird mit den in Tabelle 1.1 auf Seite 10 zusammengestellten Entsprechungen gearbeitet.

¹³Verschiedene Diskussionen zu diesem Thema finden sich in [Bauer 86], [Duit 91a], [Duit 91b], [Duit 92a], [Groppe 91], [Johsua 89], [Kircher 84], [Kircher 85], [Manthei 90].

Gute Ergebnisse des (allerdings intensiven) Unterrichts mit dieser Ana-

elektrischer Stromkreis	Wasserstromkreis
Spannung	Druckdifferenz
elektrische Stromstärke	Wasserstromstärke
Widerstand	Hindernis

Tabelle 1.1: Zusammenstellung der Begriffsentsprechungen zwischen dem elektrischen Stromkreis und seiner Analogie, dem Wasserstromkreis

logie scheint es bei der Stromvorstellung zu geben. So schreiben Schwedes und Dudeck in [Schwedes 93] sogar: „Verbrauchsvorstellungen und die Konstantstromquellen-Vorstellung treten im Bereich der Elektrizitätslehre nicht mehr auf.“

Literatur: [Bauer 86], [Duit 92a], [Kircher 84], [Kircher 85], [Schwedes 90], [Schwedes 91a], [Schwedes 92], [Schwedes 93], [Tenney 85]

2. Gravitationsanalogie

Mit Hilfe der Gravitationsanalogie soll der Spannungsbegriff der Schülervorstellung zugänglich gemacht werden, ohne daß der Feldbegriff und das Potential verlorengehen. Sie beinhaltet die in Tabelle 1.2 auf Seite 11 zusammengestellten Entsprechungen.¹⁴ Mit dieser Begriffsbildung „wird der bislang ebene Stromkreis in eine ‚Berg-und-Tal-Fahrt‘ der Elektronen verwandelt. In der Batterie läuft das Elektron vom Pluspol zum Minuspol gegen das Feld ‚bergauf‘, natürlich nicht ohne das Zutun der Batterie. In den äußeren Drähten und im Widerstand R driftet das Elektron unter dem Einfluß des antreibenden Feldes und der ‚Reibungseffekte‘ zum Pluspol zurück. Die Wechselwirkung in den Drähten und im Widerstand kann man im Bild der klassischen Theorie des Elektronengases durch Stöße zwischen den Elektronen und dem Gitter beschreiben.“¹⁵ Mit dieser Analogie sollten sich relativ leicht Vorhersagen über die Spannungen in Gleichstromkreisen erzielen lassen. Die Schüler können mit Argumentationen wie „hier liegen Elektronen elektrisch hoch ... elektrisch tief“ unbewußt Aussagen über die Potentiallage machen. In [Rhöneck 93c] und [Rhöneck 93d] wird allerdings von nicht allzuguten Ergebnissen bei Schulversuchen berichtet. Für diese Analogie wurden mechanische Modelle und ein Computersimulationsprogramm entwickelt.

Literatur: [Rhöneck 88b], [Rhöneck 88c], [Rhöneck 93c], [Rhöneck 93d]

¹⁴Die Tabelle 1.2 wurde aus [Rhöneck 88c] übernommen.

¹⁵aus [Rhöneck 88c]

Elektrische Größen	Darstellung in der Gravitationsanalogie, wobei $g = 1$ gesetzt wird
elektrische Feldstärke	Gravitationsfeldstärke
EMK der Quelle	Höhenunterschied der Elektronen an den Polen der „Batterie“
Spannung am Widerstand	Höhenunterschied der Elektronen am „Widerstand“
Potential des Elektrons	Lage des Elektrons

Tabelle 1.2: Zusammenstellung der Begriffsentsprechungen zwischen Größen des elektrischen Stromkreises und der Gravitationsanalogie

3. Elektronengasdruck–Modell

Das Elektronengasdruck–Modell läßt sich im wesentlichen folgendermaßen charakterisieren: „Elektronen treten am Minuspol der Batterie im Überschuß auf und erzeugen dort wegen ihrer elektrostatischen Abstoßung einen Überdruck, während am positiven Pol durch eine geringere Elektronendichte auch ein geringerer Druck auftritt.“¹⁶ Hier gelten die in Tabelle 1.3 auf Seite 11 zusammengestellten Entsprechungen. Dieses Modell läßt sich zur

Elektrische Größen	Darstellung im Elektronengasdruck–Modell
Potential	Elektronendichte
Spannung	Differenz der Elektronendichten
Strom	bewegte Elektronen

Tabelle 1.3: Zusammenstellung der Begriffsentsprechungen zwischen dem elektrischen Stromkreis und seiner Analogie, dem Elektronengasdruck–Modell

¹⁶aus [Niedderer 91]

Vorhersage von Spannungen benutzen. Hier muß man speziell auf den Modellcharakter hinweisen, sonst ließe sich mit Jung, Wiesner, Kiowski und Weber einwenden: „Elektronen-Drift-Modelle sind nicht einmal bei allen Metallen brauchbar.“¹⁷ Auch für dieses Modell wurde ein Computersimulationsprogramm entwickelt.

Literatur: [Licht 91], [Niedderer 91]

4. Wärmeleitungsanalogie

Bei dieser Analogie wird von den in Tabelle 1.4 auf Seite 12 zusammengestellten Entsprechungen ausgegangen. Den größten Erfolg kann diese Analo-

Elektrische Größen	Größen der Wärmeleitungsanalogie
Potential	Temperatur
Spannung	Temperaturdifferenz
Spannungsquelle	Wärmepumpe
Stromstärke	Wärmestromstärke
elektrischer Widerstand	thermischer Widerstand (Wärmeisolierung)
Zweig eines Stromkreises	Leck in der <i>idealen</i> Wärmeisolierung

Tabelle 1.4: Zusammenstellung der Begriffsentsprechungen zwischen dem elektrischen Stromkreis und seiner Wärmeleitungsanalogie

gie für den Bereich Parallelschaltung von Widerständen verbuchen. Die Einsicht, daß der Gesamtwiderstand zweier parallelgeschalteter Widerstände kleiner als ein einzelner ist, fehlt den meisten Schülern. Sie finden es aber in der Regel einsichtig, daß bei zwei Lecks in der idealen Wärmeisolierung der thermische Widerstand kleiner ist als bei nur einem Leck.

Literatur: [Hermann 73], [Johsua 89]

5. Mechanische Analogie

Eine sehr einfache mechanische Analogie ist das **Fahrradkettenmodell**.¹⁸ Es hat nur eine sehr beschränkte Reichweite, und seine einzige Aufgabe ist es, „den globalen Charakter des Systems hervorzuheben. ... Ein auf der Kette als Reibung angebrachter Klotz ruft eine lokale Reibung hervor, die

¹⁷aus [Jung 82b]

¹⁸Von wem die Idee zu diesem Modell stammt, konnte der Autor nicht klären. Er fand es zuerst bei Härtel, Walgenbach, Wolze in [Härtel 80].

global die Bewegung der Kettenglieder beeinflusst. Auf diese Weise ist es möglich zu erklären, daß der Stromkreis nur der Treibriemen für die Energie ist.“¹⁹

Eine Weiterentwicklung dieses Modells ist die **Zuganalogie**. Der Zug hat keine Lokomotive, sondern besteht nur aus aneinandergeschlossenen Waggons (auch der erste Waggon ist an den letzten gekoppelt), die auf ringförmig geschlossenen Schienen stehen. An einem Bahnhof stehen Arbeiter, die den Zug mit konstanter Kraft anschieben. Es können Hindernisse existieren, die sich auf die Geschwindigkeit des Zuges auswirken. Im einzelnen ergeben sich Entsprechungen gemäß Tabelle 1.5 auf Seite 13. Die beiden wesentlichen,

Elektrizitätslehre	Mechanik (eindimensionale Bewegung)
konstante Stromstärke I	Gleichgewichtsgeschwindigkeit v
Widerstand R	Reibungskoeffizient γ
Spannung (EMK) U	konstante Kraft F
Ohmsches Gesetz $U = RI$	Bewegungsgleichung (im Kräftegleichgewicht) $F = \gamma v$
Leistung $P = UI$	Leistung $P = Fv$

Tabelle 1.5: Zusammenstellung der Entsprechungen zwischen dem elektrischen Stromkreis und seiner Zuganalogie

mit dieser Analogie veranschaulichbaren Fakten sind:

- Ein lokales Ereignis (Hindernis) hat Auswirkungen auf das gesamte System (Alle Waggons bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit.).
- Da die von den Arbeitern auf die Waggons ausgeübte Kraft konstant ist, hängt die Bewegung des Zuges nur vom Kreis ab.

Literatur: [Closset 84], [Härtel 85a], [Johsua 85b], [Johsua 89], [Shipstone 88b]

6. Spannung als Oberflächenladungsunterschied

Hierbei handelt es sich nicht um eine Analogie sondern um sehr kleine aber wesentliche Effekte im realen Stromkreis, mit denen sich Spannungen erklären lassen. Nach Meinung des Autors sind aber die sich um Stromkreise aufgrund der Oberflächenladungen aufbauenden, elektrischen Felder und

¹⁹aus [Closset 84]

ihre Auswirkungen im Augenblick nur bedingt für den schulischen Physikunterricht geeignet. Es mangelt noch erheblich an der didaktischen Aufarbeitung. Erste interessante Ansätze (z.B. Computersimulationsprogramme) zeigen die Effekte (notgedrungen) stark übertrieben. Aus diesem Grund schien zur Zeit eine Einordnung unter den Modellen angebracht und eine nähere Beschreibung an dieser Stelle wegen der fehlenden „Unterrichtsreife“ nicht notwendig.

Literatur: [Härtel 85b], [Härtel 85d], [Härtel 88], [Rhöneck 88b], [Walz 82], [Walz 85]

Wie bereits oben erwähnt, sind dies natürlich nicht alle vorgeschlagenen Analogien zum Thema Gleichstromkreise (Plappert schlägt in [Plappert 73a] und [Plappert 73b] z.B. noch eine Hydraulik- und eine Drehimpulsstromanalogie vor.). Für den Zweck einer Übersicht über die Möglichkeiten von Analogien auch und gerade im Bereich der Elektrizitätslehre sollte dieser Ausschnitt jedoch genügen.

1.2.3 Unterrichtsmedium Computer

Der Computer bietet als Unterrichtsmedium speziell in der Physik ein breites Anwendungsspektrum. Bereits im letzten Abschnitt wurde bei den Analogien immer wieder erwähnt, daß **Computersimulationsprogramme** zu dieser oder jener Analogie existieren. Sie sind in der Lage, dynamische Vorgänge darzustellen, in die man anders als beim Film jederzeit eingreifen und Veränderungen vornehmen kann. Es handelt sich in der Regel um Programme, bei denen kein Wert auf Formeln oder Grafen gelegt, sondern hauptsächlich mit ikonischem Material gearbeitet wird. „Die Entscheidung, diese Art von Programmen zu entwickeln, ist gegründet auf der Überzeugung, daß eines der wichtigsten und noch weitgehend ungelösten Probleme der Fachdidaktik zeitlich vor der Behandlung der mathematischen Formel liegt, nämlich beim Übergang von der Alltagsvorstellung der Schüler hin zu einer physikalischen Sichtweise und Interpretationen.“ Diese Aussage von Härtel in [Härtel 85c] macht den Nutzen von Simulationsprogrammen sehr deutlich. Sie alle wollen eine die Anschauung fördernde Konzeptbildungshilfe sein. Dies gilt unabhängig davon, ob sie nun als Grundlage für ein Unterrichtsgespräch oder als „Schülerversuchsinstrument“ Verwendung finden. Allgemeine Literatur zu diesem Thema findet sich in [Härtel 85c], [Härtel 85d], [Härtel 91] und zu einzelnen Simulationsprogrammen in verschiedenen Artikeln im Literaturverzeichnis (z.B. in [Niedderer 91]).

Eine ganz andere Anwendung des Computers wurde vom Arbeitskreis um v.Rhöneck vorgeschlagen. Hier wurde versucht, den **Computer als Lehrmaschine** einzusetzen. Mit Hilfe eines Expertensystems mußten Schüler am Computer Tests bearbeiten. Das Programm gab anschließend, je nach Erfolgsquote des Schülers, gezielte Informationen aus, um so das Lösungsverhalten im nächsten

Test positiv zu beeinflussen. „Die Rückmeldungen nach den einzelnen Aufgaben orientierten sich an den Regeln, die für die jeweilige Aufgabensituation gelten und an den Lösungen der Schüler. Die verbalen Informationen werden optisch ergänzt durch Einblenden der entsprechend aufbereiteten Stromkreise.“²⁰ Dies hat zunächst „nicht auf breiter Front zu Lernprozessen geführt.“²¹ Deshalb wurden für falsch beantwortete Fragen zusätzliche Übungsaufgaben angeboten. Die Arbeitsgruppe hält die daraufhin erzielten Ergebnisse für „zwar nicht optimal, aber doch so gut, daß ein Einsatz der Software in der Schule empfohlen werden kann.“²¹ Sie sehen den Vorteil des Lernens am Computer darin, daß sowohl das soziale als auch das emotionale Umfeld des Schülers den Lernerfolg weniger stark beeinflußt. Literatur zu diesem Thema findet sich in [Rhöneck 90a], [Rhöneck 91b], [Rhöneck 92b], [Rhöneck 92c], [Rhöneck 93b] und [Rhöneck 93d].

Ein breites Anwendungsgebiet stellt natürlich der **Computereinsatz zu Meß- und Auswertungszwecken** dar. Hier liegen die Vorzüge des Computers auf der Hand. Während ohne Computer die Auswertung viel, wenn nicht die meiste Zeit und Kapazität des Schülers während des Versuchs in Anspruch nimmt, läßt sich mit ihm schon während des Versuchs dessen Ablauf mit den eigenen Vorstellungen vergleichen. „Mit einem computerunterstützten Experiment können nämlich die Meßdaten direkt erfaßt, sofort in relevante Größen umgerechnet und in die interessierende Grafik umgesetzt werden. Bei nicht zu schnellen Vorgängen ist dies sogar in Realzeit möglich, so daß der physikalische Vorgang [und] das Ergebnis der Aufbereitung gleichzeitig verfolgt werden können.“²² Auswirkungen von Veränderungen am Experiment (hier am Stromkreis) lassen sich sofort feststellen, was zu einer intensiveren kognitiven Auseinandersetzung mit ihnen führen kann. Das Messen mit dem Computer sollte nicht zum Selbstzweck verkommen, sondern man sollte ihn da einsetzen, wo seine speziellen Stärken liegen. Diese sind z.B.:

- Gleichzeitiges Erfassen vieler Meßgrößen
- Erleichtern umständlicher Auswertungen (z.B. Vermeidung langer, stumpfsinniger Formeleinsatzübungen)
- Aufnehmen von Grafen (z.B. Kennlinien von Widerständen)
- Modellbildung: Überprüfung von Schülervorhersagen und –aussagen zu Versuchsabläufen während eines Unterrichtsgesprächs
- Echtzeitumsetzung von Experimenten in Piktogramme zur Konzeptbildung

²⁰aus Rhoneck7

²¹aus [Rhöneck 92b]

²²aus [Heuer 92d]

Literatur hierzu findet sich z.B. in [Blume 90], [Ciesla 90], [Cohen 85b], [Görnitz 85], [Heuer 92a], [Heuer 92c], [Heuer 92e], [Heuer 92f], [Heuer 93b], [Lüder 92], [Linn] und [Thornton 93].

1.2.4 Schülerübungen

Einige Autoren sehen in der fehlenden Erfahrung der Schüler mit realen Stromkreisen einen wesentlichen Grund für Fehlkonzepte und –vorstellungen. Evans stellt 1978 in [Evans 78] die Frage: „Can a student who has had no previous experience with electrical circuits be expected to understand their operations in terms of abstractions like charge, force per unit charge, and potential energy?“ Nun er kann entsprechende Formeln glauben, lernen und vielleicht mit ihnen rechnen, aber es ist in der Tat zu bezweifeln, ob er die Vorgänge im Stromkreis versteht. Beim selbständigen Experimentieren können die Schüler in der Tat eigene Erfahrungen mit Stromkreisen sammeln und auf diese Weise ein „Gefühl“ für sie gewinnen. Hält man sie dazu an, vor dem Experiment Vorhersagen über dessen Ausgang zu treffen, so werden die Schüler direkt mit ihren falschen (oder richtigen) Aussagen konfrontiert. Dadurch sind sie kognitiv intensiver am Geschehen beteiligt. Zusätzlich bietet die Schülerversuchssituation den Schülern die Gelegenheit, ihren spontan aufkommenden Fragen oder Ideen im Zusammenhang mit dem Versuch nachzugehen und so wirklich aus eigenem Antrieb entdeckend zu lernen. Der Vorteil hierbei liegt auch darin, daß Schüler sich mit Problemen näher beschäftigen können, die möglicherweise nur sie ganz persönlich haben bzw. die der Lehrer nicht erwartet und die deshalb im Unterricht wahrscheinlich auch nicht besprochen werden. Auf diese Weise entwickelt sich vielleicht das, was McDermott in [McDermott 92b] beschreibt: „Students must be intellectually active to develop a functional understanding.“

Interessanterweise wird immer wieder vorgeschlagen, mit einfachen bzw. einfachsten Stromkreisen zu arbeiten. Darunter wird eine Batterie (oder eine andere Gleichspannungsquelle), eine bzw. mehrere Glühlampen und die notwendigen leitenden Verbindungen verstanden. 1978 hat sich Evans noch fast entschuldigt, so etwas „Banales“ als Experimentiergerät für ältere Schüler und Studenten vorzuschlagen. Mittlerweile wissen wir jedoch aus diversen Untersuchungen, daß nicht einmal die Frage nach den Helligkeiten von parallel- bzw. in Reihe geschalteten Glühlampen von dieser Zielgruppe mehrheitlich richtig gelöst wird.²³ Daran läßt sich die Notwendigkeit, Experimente auf diesem Niveau durchzuführen, deutlich ablesen.

Einen Schritt weiter geht Muckenfuß, wenn er fordert, daß Schüler mit handgetriebenen Generatoren ihren „Strom“ (sprich: elektrische Energie) selbst erzeugen sollen, um ein Gefühl für die Vorgänge im elektrischen Stromkreis zu bekommen.²⁴

²³Literaturangaben hierzu finden sich in Abschnitt 1.1.

²⁴siehe z.B. [Muckenfuß 90]

Literatur zu Schülerversuchen findet sich als Hinweis in vielen Artikeln, so z.B. in [Evans 78], [Heuer 92c], [McDermott 92b], [Müller 86], [Nestler 92] und [Sokoloff 91].

1.2.5 Zusammenfassung der Unterrichtsansätze bzw. der –methoden

Natürlich machen alle oben vorgestellten Methoden noch kein Unterrichtskonzept und schon gar keinen Unterricht aus. Trotzdem gibt die Auflistung einen hoffentlich ausreichenden Überblick darüber, was im Elektrizitätslehreunterricht notwendig bzw. möglich ist. Darüber hinaus gibt es in der Literatur natürlich eine Vielzahl konkreter Unterrichtsvorschläge, die sich aber (abgesehen von der ein oder anderen Idee²⁵) im wesentlichen aus den vorgestellten Bausteinen zusammensetzen. Der Autor hält es für nicht sehr hilfreich, die einzelnen Unterrichtskonzepte, die sich oft auch nur auf einen ganz bestimmten Inhalt beziehen (z.B. Einführung der Spannung) oder mit einem speziellen Hilfsmittel arbeiten (z.B. die Stromzange), aufzulisten.²⁶ Im Folgenden soll jedoch exemplarisch ein Unterrichtsgang skizziert werden. Es wurde gerade dieses Konzept ausgewählt, weil es eine wesentliche Anregung für den Schülerversuchsteil des Unterrichts im Rahmen dieser Arbeit war.

1.2.6 Sokoloffs MBL–Unterricht als konkretes Beispiel²⁷

Eine Arbeitsgruppe um Sokoloff an der University of Oregon hat einen MBL–Unterricht entwickelt und erprobt. Dabei steht MBL für „Microcomputer–Based Laboratory“. Die Zielgruppe war zunächst eine Population von Studenten aus einem Einführungskurs Physik an der University of Oregon. Aufgrund des anderen Bildungssystems in den USA sind sie aber sowohl das Alter als auch die Vorbildung betreffend mit Schülern der 10. Klasse bzw. der Oberstufe deutscher Gymnasien vergleichbar. Der entwickelte Kurs geht speziell auf die aus diversen Tests bekannten Fehlvorstellungen und Schwierigkeiten auf dem Gebiet der elektrischen Gleichstromkreise ein und zielt auf einen Konzeptwechsel ab. Dabei

²⁵Eine dieser Ideen ist z.B. die Elektrizitätslehre auf eine neue Basis zu stellen, nämlich die Energie. Siehe hierzu z.B. [Langensiepen 92] und [Muckenfuß 90]

²⁶Hier trotzdem einige Stellen aus dem Literaturverzeichnis, wo sich konkrete Vorschläge oder Hinweise für den Unterricht finden: [Aalst 85], [Andereck 90], [Aufschnaiter 91], [Barros 91], [Bruns 92], [Closset 85], [Duit 74], [Duit 93a], [Duit 93b], [Evans 78], [Girwidz 92a], [Girwidz 92b], [Girwidz 93], [Langensiepen 92], [Härtel 80], [Härtel 85b], [Härtel 85c], [Härtel 85d], [Heuer 92c], [Heuer 92e], [Heuer 92f], [Jung 82a], [Jung 82b], [Jung 85b], [Jung 91], [Kärrqvist 85], [Osborne 90], [Raabe 85], [Göbel 86], [McDermott 85], [McDermott 92b], [Muckenfuß 80], [Muckenfuß 82], [Muckenfuß 90], [Muckenfuß 92], [Muckenfuß 93], [Müller 86], [Liebers 86], [Niedderer 80], [Niedderer 82], [Licht 91], [Nestler 92], [Shipstone 85b], [Shipstone 88b], [Witschaß 91]

²⁷aus [Sokoloff 92]

wird auf eine ganze Reihe der oben aufgeführten Unterrichtsansätze zurückgegriffen. Die Studenten wirken aktiv an ihrem Lernprozess mit, indem sie angehalten werden, sich anhand von Beobachtungen und eigenen Erfahrungen am einfachen Stromkreis physikalisches Wissen und Verständnis zu erarbeiten.

Es wird in Kleingruppen aus zwei bis vier Studenten mit jeweils eigenem Experimentiermaterial gearbeitet. Dieses besteht zunächst aus einer Batterie, diversen Lampen mit Fassungen, Schaltern und Leitungsdrähten. Ergänzt wird die Ausstattung jeder Gruppe durch an der University of Oregon entwickelte Spannungs- und Stromadapter, die (über ein Interface) direkt an einen Rechner angeschlossen werden können. Dort werden die gemessenen Stromstärken und/oder Spannungen mit Hilfe einer selbsterklärenden Software sofort (d.h. in Echtzeit) in verständliche Grafiken umgesetzt und auf dem Bildschirm ausgegeben. Auf diese Weise erhalten die Studenten sofort eine Rückmeldung bezüglich ihrer Überlegungen und Manipulationen am Stromkreis. Da die Meßwerte schnell aufgenommen, ausgewertet und ausgegeben werden, können die Studenten die Auswirkungen von sehr vielen Veränderungen im Stromkreis in kurzer Zeit beobachten. Dies führt dazu, daß sie die meiste Zeit zur Interpretation, Diskussion und zur selbständigen Erarbeitung der physikalischen Konzepte nutzen können.

Die Studenten werden durch Arbeitsblätter²⁸ zu den Experimenten angeleitet, auf die sie schon durch ihre häusliche Vorbereitung eingestellt werden. Bei dieser Vorbereitung werden die Studenten aufgefordert, schriftliche Vorhersagen zu den Ergebnissen der folgenden Praktikumsversuche zu machen. So läßt sich die, möglicherweise bei Versuchsdurchführung auftretende Diskrepanz zwischen Vorhersage und Ergebnis im Sinn des kognitiven Konfliktes als Anstoß zum Konzeptwechsel nutzen. Zu jeder Unterrichtseinheit gibt es ein umfangreiches Hausaufgabenmaterial, mit dem jeweils der „Lernerfolg“ kontrolliert, aber auch zu weiterem Nachdenken angeregt wird.

Im folgenden wird der Inhalt der drei in drei aufeinanderfolgenden Wochen durchgeführten Unterrichtsblöcke kurz zusammengefaßt. Der erste beginnt mit Experimenten an einem mit Aluminiumfolie überzogenem Tischtennisball, der zwischen zwei Metallplatten aufgehängt ist und auf verschiedene Arten geladen wird. Diese Ladung wird mit einem Elektroskop gemessen. Dies soll zur Beobachtung führen, daß statische und bewegte Elektrizität mit demselben „Stoff“ zusammenhängen. Anschließend erhalten die Studenten eine Batterie, eine Glühbirne sowie Draht und werden aufgefordert, verschiedene Möglichkeiten auszuprobieren, die Glühbirne zum Leuchten zu bringen. Der Einbau eines Schalters und diverser Materialien in den Kreis führt zur Beschäftigung mit Leitern und Isolatoren. Danach sollen die Studenten aus mehreren Vorgaben das ihnen am geeignetsten erscheinende Modell für den elektrischen Strom auswählen und unter Benutzung der Strommeßadapter sofort auf Konsistenz mit den Gegebenheiten in ihrem realen Stromkreis überprüfen. Im weiteren werden einige nützliche Stromkreise (z.B. für

²⁸Die schriftlichen Unterrichtsmaterialien finden sich in [Sokoloff 91].

eine Weihnachtsbaumbeleuchtung) entworfen, symbolische Stromkreisdiagramme entdeckt und die Schaltweise von Strom- und Spannungsmeßadaptern erforscht. Zum Abschluß dieses Unterrichtsblocks setzen sich die Studenten mit einem aus einer schiefen Ebene, einigen Nägeln und einer Hand voll Murmeln bestehenden Analogmodell des elektrischen Stromkreises auseinander.

Im zweiten Block beginnen die Studenten Parallel- und Reihenschaltung zu erforschen. Sie ziehen ihre Schlüsse aus der Betrachtung der Helligkeiten von Glühbirnen und den Computergrafiken. Zuerst vergleichen sie ihre Beobachtungen an einem Kreis mit einer Glühbirne mit denen an der Serienschaltung von zwei Glühbirnen. Im nächsten Schritt wird eine Parallelschaltung von zwei Glühbirnen mit den bisherigen Beobachtungen verglichen. Anschließend werden die Stromstärken in etwas komplexeren Stromkreisen untersucht. Die zweite Hälfte dieser Unterrichtseinheit beschäftigt sich mit der Spannung. Diese wird qualitativ und quantitativ an einem Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Glühbirnen und zunächst einer, dann zwei Batterien unter die Lupe genommen. Danach werden die Spannungen in einer Parallelschaltung gemessen. Schließlich wird wieder ein etwas komplexerer Stromkreis, diesmal bezüglich der Spannungen, untersucht.

Das Ohmsche Gesetz ist Gegenstand der dritten Unterrichtseinheit. Sie beginnt mit halbquantitativen Beobachtungen zum Zusammenhang des durch eine Glühbirne fließenden Stromes und der an ihr abfallenden Spannung. Dabei wird mit einem Kreis, bestehend aus einer Batterie, einer Glühbirne und einem in Serie dazu geschalteten Konstantendraht mit variablem Abgriff gearbeitet. Anschließend wird die Glühbirne gegen einen 10Ω -Widerstand ausgetauscht und die Änderung der Spannung an bzw. die Änderung der Stromstärke durch die Glühbirne gemessen. Diese Daten können nun in ein Grafikprogramm übernommen und als $U(I)$ -Diagramm dargestellt werden. Die Proportionalität von Stromstärke und Spannung ist deutlich zu erkennen, und der aus der Steigung ablesbare Wert für die Stromstärke stimmt sehr gut mit dem bekannten Widerstandswert (nämlich 10Ω) überein. Am Ende dieser Unterrichtseinheit machen sich die Studenten mit dem Gebrauch von Multimetern vertraut und lernen das Ersatzwiderstandskalkül kennen.

Nach diesem kurzen Überblick über das Unterrichtskonzept vom Arbeitskreis um Sokoloff wäre es eigentlich angebracht, die Lernerfolge der am Kurs beteiligten Studenten zu untersuchen. Dies wird hier deswegen nicht getan, weil der von Sokoloff verwendete Test in Kapitel 2 vorgestellt wird und die Testergebnisse der Unterrichtsgruppe in Kapitel 5 behandelt werden.

Kapitel 2

Der Test

2.1 „Testentwicklung“

Wenn wie in dieser Arbeit eine der Zielsetzungen das Erkennen von Fehlvorstellungen ist, dann stellt sich die Frage, mit welcher Testmethode man sie feststellen will. Eine oft angewandte Methode ist das Interview mit einzelnen Schülern. Damit lassen sich Fehlvorstellungen gut herausarbeiten und mögliche Inkonsistenzen des jeweiligen Schülers bei der Anwendung der eigenen Konzepte nachweisen.¹ Leider stößt diese Form der Befragung in der Praxis auf die Schwierigkeit, eine Anzahl von Schülern der geeigneten Jahrgangsstufe zu finden, die sich, nachdem die Befragung in dieser Form im Unterricht natürlich nicht möglich ist, bereit erklären, einen Teil ihrer Freizeit für dieses Interview zu opfern. Andererseits sollten möglichst viele Schüler an der empirischen Untersuchung beteiligt werden, um einen repräsentativen Überblick zu erhalten. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, mit einem Testbogen zu arbeiten. Nun stellte sich die Frage, wie ein solcher Test in bezug auf die Auswahl der Fragen, deren Strukturierung, etc. auszusehen habe. Es bedarf für die Entwicklung eines sinnvollen Testes einer erheblichen Vorarbeit, z.B. in Form von vielen klinischen Interviews und dergleichen. Dies ließ sich nicht nur wegen der oben beschriebenen Schwierigkeit im Rahmen dieser Zulassungsarbeit nicht durchführen. Daher wurde unter bereits veröffentlichten Tests einer als Grundlage ausgewählt.² In der Literatur finden sich einige Fragebogen zu diesem Thema,³ unter denen der in [Shipstone 88a] beschriebene und damals in fünf europäischen Ländern durchgeführte Test wohl der bekannteste ist. Sie sind sich alle sehr ähnlich und arbeiten in der Regel mit Fragen zu relativ einfachen Schaltungen, bestehend aus einer Batterie, Glühlampen und/oder (Ohmschen) Widerständen und manchmal einem Schalter.

¹siehe hierzu vor allem den Aufsatz von Fredette in [Fredette 85]

²Dies ist auch der Grund dafür, daß die Abschnittsüberschrift in Anführungszeichen gesetzt wurde.

³siehe z.B. [Cohen 83], [Jung 82a], [Maichle 82], [McDermott 92a], [Rhöneck 85a], [Rhöneck 86c], [Shipstone 88a], [Staver 84]

Für diese Arbeit wurde der von Sokoloff verwendete Test⁴ zugrunde gelegt, was mehrere Gründe hat. Zum einen handelt es sich dabei um einen der neuesten Tests, der alle wesentlichen bis dahin bekannten Forschungsergebnisse mehr oder weniger stark berücksichtigt. Zum anderen wurde ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen des Arbeitskreises um Sokoloff in den USA mit denen dieser Arbeit angestrebt. Dies ist bei gleicher Testgrundlage einfacher zu bewerkstelligen.

Der Test wurde zunächst aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Dabei wurde versucht, auch das Schriftbild zu verbessern bzw. die Übersichtlichkeit zu steigern. Am Ende des Tests wurden zwei Fragen zur Schaltweise von Ampere- und Voltmeter angefügt, um die Fähigkeit zum Umgang mit Meßinstrumenten in Verbindung zum Verständnis der Vorgänge im elektrischen Stromkreis zu setzen.

Im Anschluß daran hat der Autor den Test nacheinander mit einer Schülerin und zwei Schülern verschiedener 10. Realschul- bzw. Gymnasialklassen durchgesprochen. Dabei wurde die Verständlichkeit der Formulierungen, die Erfäßbarkeit des Inhalts der Fragestellungen und die grundsätzliche Handhabbarkeit des Tests kritisch unter die Lupe genommen. Das Ergebnis der daran anschließenden Umformulierungen ist der in Anhang C vollständig abgedruckte Testbogen.

2.2 Beschreibung der Testpopulation

Der fertiggestellte Testbogen hat den Vorteil, daß er ohne Vorbereitung, d.h. vor allem ohne Erklärungen zur Handhabung sofort von Schülern bearbeitet werden kann. Die Bearbeitungszeit war auf 45 Minuten, also eine Unterrichtsstunde angesetzt, es hat sich aber gezeigt, daß er in der Regel in 30 Minuten zu bewältigen ist. Vor diesem Hintergrund fand sich dankenswerterweise eine Anzahl von Lehrern bereit, diesen Test mit ihrer Klasse durchzuführen. Zunächst waren nur 10. Gymnasialklassen beteiligt. Denn nach dem neuen, seit 1. August 1992 für die Jahrgangsstufen 8 mit 11 gültigen „Lehrplan für das bayerische Gymnasium“⁵ werden die „Grundlagen der Elektrizitätslehre“⁵ und damit auch der stoffliche Inhalt dieser Arbeit in der 10. Jahrgangsstufe behandelt. Später wurden auch Physikleistungskurse am Ende der Kursphase 12/1 und sogar zwei 11. Klassen einbezogen. Diese Ergänzung begründet sich in der Fragestellung, ob bekannte Schülerschwierigkeiten, wie sie durch v.Rhöneck und anderen für die Jahrgangsstufen 8 mit 10 empirisch ermittelt wurden, auch in der Oberstufe oder sogar im Physikleistungskurs nachweisbar sind.

Es wurde darauf geachtet, daß die Schüler zu etwa gleichen Teilen aus der mathematisch-naturwissenschaftlichen bzw. neusprachlichen Ausbildungsrichtung der Gymnasien stammen.

Insgesamt haben 316 Schüler den Testbogen ausgefüllt. Sie verteilen sich wie in Tabelle 2.1 auf Seite 22 dargestellt auf die Jahrgangsstufen.

⁴abgedruckt in [Sokoloff 92]

⁵[Lehrplan]

Jahrgangsstufe	Anzahl der am Test beteiligten Schüler	Anzahl der am Test beteiligten Klassen/Kurse
10. Klasse	190	9
11. Klasse	49	2
LK Physik	77	5
Gesamt	316	16

Tabelle 2.1: Die Tabelle zeigt die Verteilung der am Test beteiligten 316 Schüler bzw. 16 Klassen/Kurse auf die Jahrgangsstufen.

2.3 Testauswertung für die Kontrollpopulation

Die im letzten Abschnitt kurz beschriebene Testpopulation wird im folgenden Kontrollpopulation genannt, weil sie den Rahmen liefert, in dem die Ergebnisse der Unterrichtsgruppen bewertet werden.

Zunächst sollen hier die einzelnen Aufgaben des Testbogens vorgestellt, die Testergebnisse zusammengestellt und interpretiert sowie die Art der Bearbeitung betrachtet werden.

Es sollte noch vorausgeschickt werden, daß sich im Vorspann des Testbogens unter der Überschrift „Hinweise zum Test“ folgender Text findet:

WICHTIG:

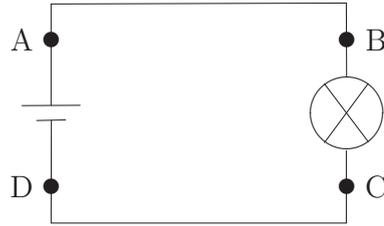
ALLE VORKOMMENDEN BATTERIEN SIND IDEALE SPANNUNGSQUELLEN.
(SIE BESITZEN KEINEN INNEREN WIDERSTAND.) DIE VERBINDUNGS-
DRÄHTE HABEN KEINEN WIDERSTAND.

2.3.1 Testaufgabe 1

Die erste Aufgabe des Tests befaßt sich mit der Stromstärke an verschiedenen Stellen eines einfachen Stromkreises, der aus einer Batterie und einer Glühbirne mit ihren Zuleitungen besteht. Die Abbildung 2.1 auf Seite 23 zeigt die Aufgabe 1 mit dem zugehörigen Stromkreis und den Multiple-Choice-Antwortvorschlägen. Aus Abbildung 2.2 auf Seite 24 geht hervor, daß der Anteil der richtigen Antworten in allen drei Jahrgangsstufen (also 10., 11. Klassen und LK Ph12) bei weitem überwiegt. Die in der Literatur immer wieder erwähnte Stromverbrauchsvorstellung scheint nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Sie macht (siehe den Prozentsatz der Antworten (F) und (G)) im schlechtesten Fall (10. Klassen)

(1) Eine Glühbirne ist, wie in der Schaltskizze dargestellt, mit einer Batterie verbunden.

Stromkreis (1):



Welche Aussage über die **Stromstärke** I an den verschiedenen Punkten im oben skizzierten Stromkreis ist richtig?

Die Stromstärke I ist

- (A) im Punkt A am größten.
- (B) im Punkt B am größten.
- (C) im Punkt C am größten.
- (D) im Punkt D am größten.
- (E) Überall gleich groß.
- (F) in den Punkten A,B gleich, aber kleiner als in den Punkten C,D ($I_A = I_B < I_C = I_D$).
- (G) in den Punkten A,B gleich, aber größer als in den Punkten C,D ($I_A = I_B > I_C = I_D$).
- (H) außer in der Glühbirne überall gleich groß.
- (I) außer in der Batterie überall gleich groß.
- (J) Keine der Antworten ist richtig.

Abbildung 2.1: Wortlaut der Aufgabe 1 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

nicht einmal ein Viertel der Antworten aus. Zusammen mit der Tatsache, daß bei komplexeren Fragestellungen diese Fehlvorstellung stärker hervortritt (siehe z.B. Antwort 8(C) in Abbildung 2.15 auf Seite 44) läßt das folgenden Schluß zu: Die Schüler haben zwar den Lehrsatz, daß die Stromstärke in einer Serienschaltung überall gleich ist, mechanisch gelernt, können ihn meist bei einer einfachen Schaltung wie dem Stromkreis (1) in Abbildung 2.1 auf Seite 23 reproduzieren, haben aber das dahinter steckende Stromkonzept nicht verstanden. Die Stromrichtung spielt bei der Stromverbrauchsvorstellung zwangsläufig auch eine Rolle. Die Ankreuzhäufigkeiten von Antwort (F) und (G) legen nahe, daß sich die im Unterricht vermittelte Vereinbarung der technischen Stromrichtung bei der Mehrheit der Schüler festgesetzt hat. Sie läßt aber auch die Frage gerechtfertigt erscheinen, ob der Unterricht, der konsequent von einer Stromrichtung spricht, nicht erst das auch gemeinsam mit dem Stromverbrauch auftretende sequentielle

Denken initiiert oder zumindest fördert. In [Härtel 85a] findet sich dazu folgende Meinung: „When a teacher is pointing out that the current is flowing from plus to minus (or from minus to plus) he or she inevitably supports local or sequential thinking.“

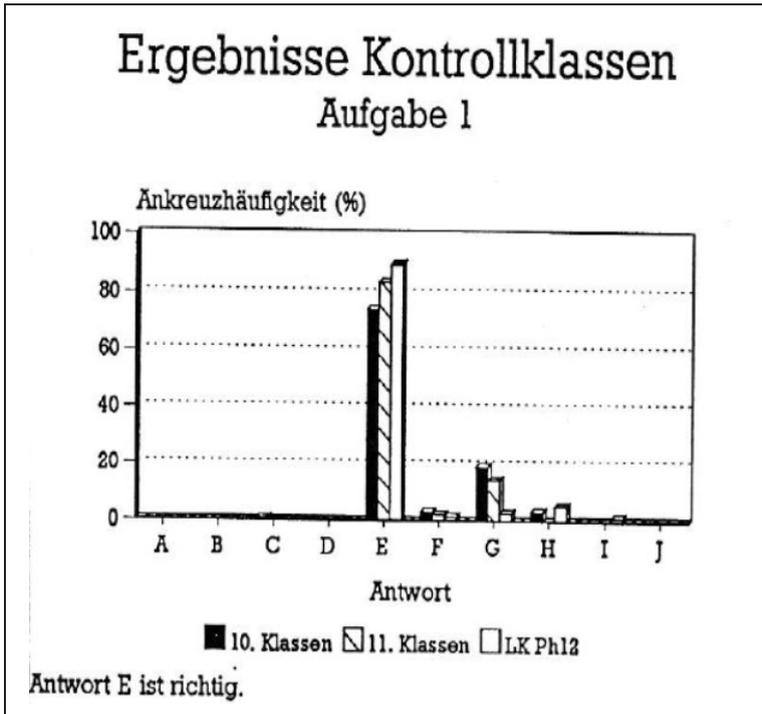


Abbildung 2.2: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 1. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

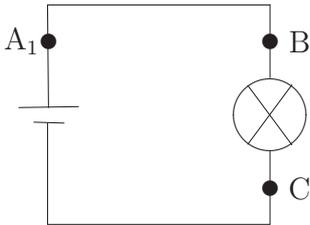
Interessant ist auch die Tatsache, daß über drei Prozent der befragten Schüler der 10. Klassen und sogar über fünf Prozent der Schüler aus den Physik Leistungskursen der Meinung sind, daß sich die Stromstärke in der Glühbirne anders verhält als im Rest des Kreises.

2.3.2 Testaufgabe 2

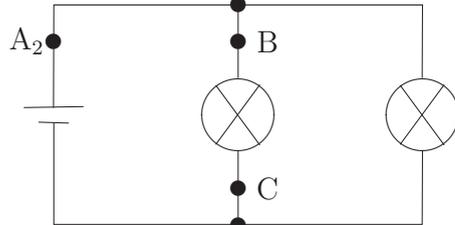
In Aufgabe 2 (siehe Abbildung 2.3 auf Seite 25) wird der Stromkreis (1) aus Aufgabe 1 um eine zur ersten Glühbirne parallel geschaltete zweite, identische

(2) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (2) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (2):



Vergleichen Sie jetzt die **Stromstärke** in Punkt A_2 des Stromkreises (2) mit der Stromstärke im Punkt A_1 des Stromkreises (1).

Die Stromstärke im Punkt A_2 ist

- (A) doppelt so groß wie in A_1 .
- (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in A_1 .
- (C) genauso groß wie in A_1 .
- (D) halb so groß wie in A_1 .
- (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in A_1 .

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

Abbildung 2.3: Wortlaut der Aufgabe 2 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

Glühbirne erweitert. Die Stromstärke in einem Punkt „vor“ der Verzweigung im so entstandenen Stromkreis (2) soll nun mit der Stromstärke im selben Punkt des Stromkreises (1) verglichen werden.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Balkengrafik in Abbildung 2.4 auf Seite 26 stellt man fest, daß die Mehrheit der Schüler sich für die falsche Antwortmöglichkeit (C) entschieden hat. Mit anderen Worten gehen die meisten Schüler (interessanterweise sogar knapp 73 Prozent der Leistungskursschüler) davon aus, daß die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis genauso groß ist wie im verzweigten. Dies legt die Vermutung nahe, daß hier mit dem Konzept Konstantstromquelle gearbeitet wird. Diese Interpretation läßt sich auch durch die Mehrheit der in dieser Aufgabe von den Schülern geforderten schriftlichen Begründungen für ihr Antwortverhalten belegen. Dazu nun einige Beispiele:

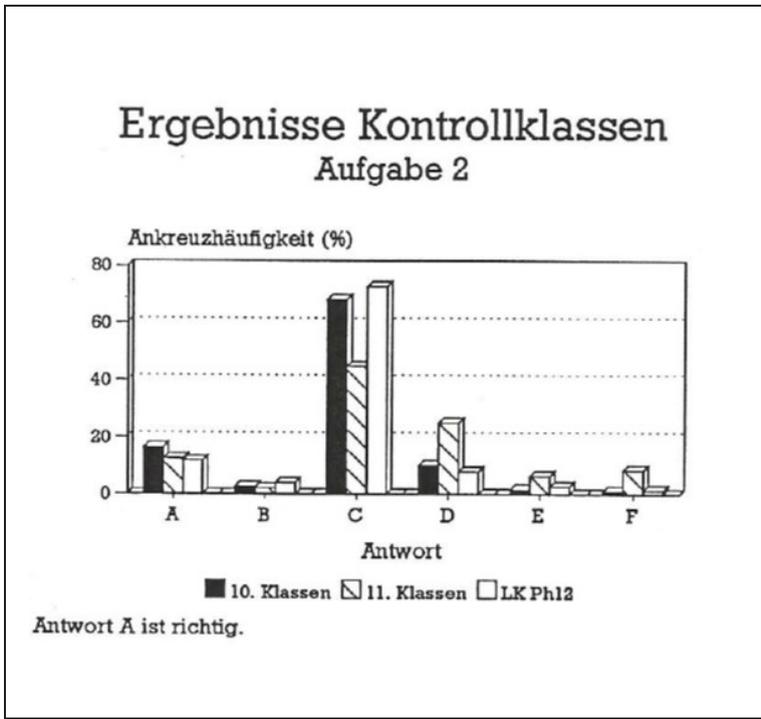


Abbildung 2.4: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 2. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

- Annette⁶: „Die Stromquelle ist ja gleich geblieben.“
- Rudolf: „Wenn die Stärke der Batterie gleich ist, ist auch die Stromstärke gleich.“
- Nicola: „Da die Batterie eine bestimmte Stromstärke abgibt, und diese dann jeweils in A_1 und A_2 identisch ist.“
- Kerstin: „Die Stromstärke ist unabhängig von der Größe des Stromkreises.“
- Thomas: „I ist in beiden Fällen die Gesamtstromstärke bei gleicher Spannungsquelle.“

⁶Die Schülernamen in dieser Arbeit sind frei erfunden und dienen nur dazu, sich besser auf einzelne Antworten beziehen zu können.

- Nicole: „Die Stromstärke I ist im Stromkreis immer gleich.“
- Jochen: „Die Stromstärke ist überall gleich groß.“
- Kerstin: „Die Stromstärke in der Parallelschaltung bleibt gleich groß, da sie nicht verändert werden kann. Sie wird auch nicht aufgebraucht.“

Wie man bei der Antwort von Thomas sehen kann, führt die Bezeichnung Spannungsquelle nicht notwendigerweise dazu, das Konzept Konstantstromquelle zu hinterfragen. Die Antworten von Nicole, Jochen und besonders die von Kerstin deuten darauf hin, daß der Versuch von Lehrern, ihnen die Vorstellung vom Stromverbrauch „auszutreiben“, die Schüler erst zur Vorstellung von der Konstantstromquelle veranlaßt bzw. diese Fehlvorstellung stützt. Die deutliche Sprache der oben zitierten Schüleräußerungen und die Tatsache, daß die Wahl von Antwort (C) von den meisten so begründet wurde, darf aber nicht zu der Vermutung verleiten, daß der hier beschriebene Fehler ausschließlich durch die Konstantstromquellenvorstellung zu erklären ist. Die im folgenden wiedergegebenen Schüleräußerungen weisen vielmehr darauf hin, daß sie bei manchen Schülern zumindest durch andere Fehlvorstellungen ergänzt werden oder sogar völlig andere Fehlvorstellungen zugrunde liegen.

- Carsten: „Da die Batterie in Stromkreis (1) und (2) identisch ist, und der Stromfluß von ‚+‘ nach ‚-‘ ist, muß die Stromstärke im Punkt A_2 gleich der im Punkt A_1 sein.“
- Daniel: „Die beiden Punkte A_1 und A_2 haben die gleiche Stromstärke, da sie an der gleichen Stelle nach derselben Stromquelle angebracht wurden.“
- Matthias: „Gleich groß, weil die Strecke von der Batterie zu A_1 bzw. A_2 gleich ist.“
- Ralf: „Weil A_2 an derselben Stelle ist wie A_1 .“
- Bernd: „Der Strom fließt vom Plus- zum Minuspol. Der Weg zu A_2 ist der gleiche wie $A_1 \rightarrow$ gleiche Stromstärke.“
- Horst: „Im Punkt A_2 weiß der Strom sozusagen noch nicht, daß noch eine zweite Glühbirne hinten dazugefügt wurde.“
- Ernst: „Die beiden Stromstärken sind gleich, da derselbe Stromkreis vorliegt. Beim 2. ist nur noch eine Glühbirne dazugeschaltet.“

Bei den ersten Antworten spielt die (Meß-)Stelle bzw. die Entfernung von der Batterie eine Rolle. Dies könnte man als sequentielles Denken, verbunden mit der Stromverbrauchsvorstellung interpretieren. Bei Horst ist eindeutig (und nach der Antwort zu schließen möglicherweise ausschließlich) von sequentiellm Denken

auszugehen. Ernst dagegen kann der Tatsache der parallelgeschalteten zweiten Glühbirne keine Bedeutung für die Stromstärke abgewinnen.

Selbst mit dieser Zusammenstellung sind noch nicht alle Beweggründe für Antwort (C) gesammelt. Es gibt noch die große Gruppe, die überhaupt keine Begründung liefert. Dies läßt den Schluß zu, daß die Schüler Schwierigkeiten haben, sich schriftlich auszudrücken, aber auch die Möglichkeit der Konzeptlosigkeit und des einfachen Ratens offen. Letzteres ist nicht einfach von der Hand zu weisen, da einige Schüler ehrlich genug sind, Begründungen wie „geraten“, „gewürfelt“ oder „nach Gefühl“ zu geben. Diese Gründe für das Ankreuzverhalten kommen bei allen Antworten und Fragen vor. Sie werden daher im folgenden nicht mehr eigens erwähnt.

Zuletzt wäre noch die Gruppe der „Auswendiglerner“ zu nennen, die einfach die Lehrsätze für Parallel- bzw. Serienschaltung verwechseln, was folgende Beispiele belegen:

- Sandra: „Begründung: Bei Parallelschaltungen ändert sich nur die Spannung, Stromstärke bleibt gleich.“
- Mareike: „Stromkreis 2 ist eine Parallelschaltung \Rightarrow Stromstärke ist überall gleich, nur Spannung teilt sich auf.“

Die dritthäufigste Antwort nach (C) und der richtigen Antwort (A) ist Antwort (D). Sie besagt, daß sich die Stromstärke halbiert. Dies läßt sich entweder auf eine Verwechslung mit der Serienschaltung⁷, auf die mangelnde Unterscheidung zwischen Parallel- und Serienschaltung oder auf eine Argumentation ausschließlich mit der Anzahl der Glühbirnen zurückführen. Besonders die letztgenannte Vermutung scheint sich mit folgenden Schüleräußerungen belegen zu lassen:

- Alexandra: „Aufgrund dessen, daß eine 2. Glühbirne im Stromkreis eingeschlossen ist.“
- Anja: „Der zweite Verbraucher braucht genausoviel Energie wie der erste.“
- Jennifer: „ $I = \frac{U}{R}$: Doppelter Widerstand \Rightarrow halbe Stromstärke“

Die richtige Antwort (A) finden die Schüler in der Regel über die Betrachtung des Ersatzwiderstandes. Begründet wird das meistens mit einer kleinen „Rechnung“ wie unten bei Stefan. Die Argumentation von Heike zeigt, daß auch eine richtige Antwort nicht unbedingt auf ein richtiges Konzept zurückzuführen ist.

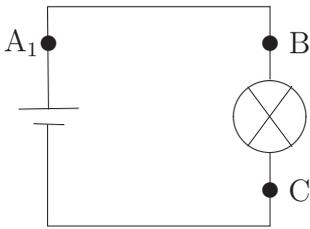
- Stefan: „Ersatzwiderstand zu (2): $\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R' = \frac{1}{2}R \Rightarrow$ halber Widerstand \Rightarrow doppelte Stromstärke ($I = \frac{U}{R}$)“
- Heike: „Der Widerstand der Glühbirne verdoppelt sich: $R = \frac{U}{I} \Rightarrow I_2 = \frac{U}{2R} \Rightarrow 2I_2 = I_1$ “

⁷Wenn man wie sehr viele Schüler davon absieht, daß die Glühbirne kein Ohmscher Widerstand ist. (Siehe hierzu den Abschnitt „Testaufgabe 5“ dieser Arbeit.)

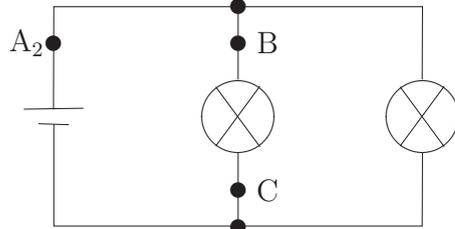
2.3.3 Testaufgabe 3

(3) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (2) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (2):



Vergleichen Sie die **Helligkeit** der Glühbirne zwischen den Punkten B und C in Stromkreis (2) mit ihrer Helligkeit in Stromkreis (1).

Die Glühbirne leuchtet in Stromkreis (2)

- (A) heller als in Stromkreis (1).
- (B) genauso hell wie in Stromkreis (1).
- (C) schwächer als in Stromkreis (1).

Abbildung 2.5: Wortlaut der Aufgabe 3 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens.

Der Aufgabe 3 (siehe Abbildung 2.5 auf Seite 29) liegen dieselben Schaltungen zugrunde wie der Aufgabe 2. In diesem Fall wird aber ein Vergleich der Helligkeit der Glühbirne zwischen den Punkten B und C mit bzw. ohne Parallelzweig verlangt. Wie aus Abbildung 2.6 auf Seite 30 hervorgeht, haben sich die meisten Schüler mit Antwort (C) für eine falsche Aussage entschieden. Sie besagt nämlich, daß eine an eine ideale Spannungsquelle angeschlossene Glühbirne schwächer leuchtet, wenn eine weitere Glühbirne parallel zur ersten an die Spannungsquelle angeschlossen wird. Eine Deutung dieses Fehlers ist eigentlich nur unter Zuhilfenahme der Ergebnisse von Aufgabe 2 möglich. Geht man nämlich von der Konstantstromquellenvorstellung aus und unterstellt man, daß die Schüler einen Zusammenhang zwischen der durchfließenden Stromstärke und der Helligkeit der Glühbirne sehen, so liegt der Grund für die Auswahl der Antwort (2) auf der Hand und könnte vielleicht von einem Schüler so formuliert werden: Da die Batterie immer dieselbe Stromstärke liefert und der Strom sich noch vor Punkt B auf die beiden Parallelzweige aufteilt, fließt durch die Glühbirne zwischen den Punkten B und C weniger Strom. Deshalb leuchtet sie schwächer. Einen Anhaltspunkt für diese Interpretation liefert Mareikes Begründung für ihre Antwort bei Aufgabe 4:

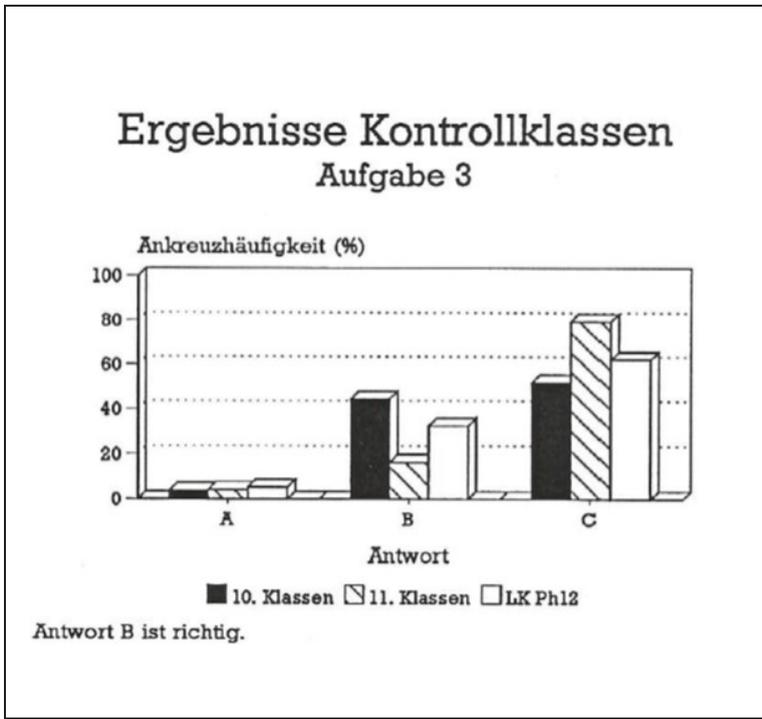


Abbildung 2.6: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 3. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

- Mareike: „Bei einer Parallelschaltung ist die Spannung überall gleich! Die Stromstärke teilt sich auf \Rightarrow weniger I \Rightarrow schwächeres Licht“

Eine andere Deutungsmöglichkeit wäre wieder die Verwechslung der Lehrsätze zur Parallel- bzw. Serienschaltung oder auch die Verwechslung des Stromkonzeptes mit dem Spannungskonzept. In beiden Fällen wäre dies nach Meinung des Autors auf eine fehlerhafte Reproduktion von mechanisch gelernten Lehrsätzen zurückzuführen. Auf diese eigentlich offensichtliche Möglichkeit wird in der Literatur so gut wie überhaupt nicht eingegangen. Die Tatsache, daß sich bei Schülern selten ein tragfähiges Konzept für den elektrischen Stromkreis und noch seltener ein echtes Verständnis der Vorgänge im Stromkreis entwickelt, ist in der Literatur hinreichend bekannt. Wie Schüler mit ihrem Wissen um ihr Unverständnis umgehen, ist, so scheint es dem Autor, zumindest noch nicht hinreichend erforscht. Als bekannt darf aber angenommen werden, daß Schüler die trotz ihres mangel-

den Verständnisses auf gute Zensuren nicht verzichten wollen oder können, ihr Heil häufig im mechanischen „Auswendiglernen“ suchen. Als zusätzlicher Beleg hierfür mag dem Skeptiker folgendes Zitat dienen:⁸ „Bei der ersten Schulaufgabe [zum Thema *Elektrizitätslehre*] bin ich fast ausgerastet. Ich hab’ ständig meine Formeln durcheinander gebracht. Ich hab’ nicht gewußt welche zur Parallelschaltung, welche zur Reihenschaltung gehören. Egal, ob es die Spannung ist oder die Stromstärke oder sonst irgend was.“ Vor diesem Hintergrund stellt sich dem Autor die offene Frage, ob es in jedem Fall sinnvoll ist, bei Schülerantworten von einer expliziten Fehlvorstellung auszugehen. Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei noch hinzugefügt, daß die Forschung nach Schülerfehlkonzepten i.a. natürlich absolut sinnvoll ist. Es geht nur darum, möglichst alle denkbaren Interpretationen der Schülerantworten im Auge zu behalten.

2.3.4 Testaufgabe 4

Testaufgabe 4 (siehe Abbildung 2.7 auf Seite 32) beschäftigt sich auch mit den beiden Stromkreisen (1) und (2). Diesmal wird ein Vergleich der Spannung zwischen den Punkten B und C in den beiden Stromkreisen von den Schülern gefordert. Betrachtet man die Balkengrafik der Testauswertung für diese Frage in Abbildung 2.8 auf Seite 33, so zeigt sich, daß mehrheitlich richtig geantwortet wurde (Antwort (C)). Leider stellt sich nach Sichtung der Begründungen auch hier wieder heraus, daß dies nicht in allen Fällen auf Verständnis zurückzuführen ist. Überspitzt formuliert könnte man manchmal von reinem Zufall sprechen bzw. davon, daß ein abwegiges Konzept zugrunde liegt. Diese Behauptung wird eindrucksvoll durch folgende Schüleräußerungen belegt:

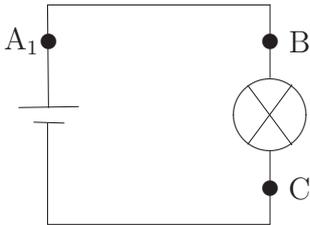
- Tobias: „Die Antwort ist C, da die Spannung überall in einem Stromkreis gleich ist, da sie ja selbst nicht Energie liefert, sondern nur die Energieübertragung Quelle → Benutzer darstellt.“
- Heike: „Wenn die Glühbirnen einen gleichen Widerstand haben, so ist auch die Spannung gleich.“
- Clemens: „Die Spannung ist immer überall gleich.“
- Daniel: „Die Spannung ist im Stromkreis an jeder Stelle gleich groß.“
- Ernst: „Die beiden Spannungen sind gleich groß, da derselbe Stromkreis vorliegt. Beim 2. ist nur noch eine Glühbirne dazugeschaltet.“

Interessanterweise beschränkten sich die zutreffenden Begründungen im wesentlichen auf die, allerdings je nach Naturell in der Formulierung stark variierte Wiedergabe des entsprechenden Lehrsatzes:

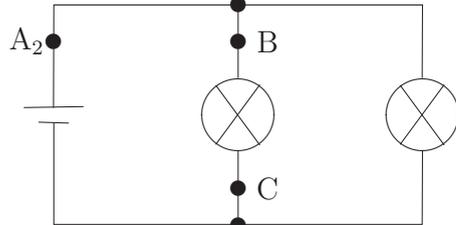
⁸Es stammt aus einem Gespräch des Autors mit der Schülerin Elke einer 10. Realschulklasse, in dem sie die Formulierungen der Testfragen auf Verständlichkeit überprüfen sollte.

(4) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (2) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (2):



Vergleichen Sie die an der Glühbirne zwischen den Punkten B und C anliegende **Spannung** U_{BC} im Stromkreis (2) mit der Spannung U_{BC} im Stromkreis (1).

Die Spannung U_{BC} ist in Stromkreis (2)

- (A) doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (C) genauso groß wie in Stromkreis (1).
- (D) halb so groß wie in Stromkreis (1).
- (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in Stromkreis (1).

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

Abbildung 2.7: Wortlaut der Aufgabe 4 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

- Thomas: „Parallelschaltung von Widerständen (Glühbirnen):
 $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U_{Gesamt}$ “
- Heike: „Die Spannung bei Parallelschaltungen ist immer gleich. Deshalb macht es nichts aus, wenn eine oder zwei Glühbirnen vorhanden sind.“

Die zweithäufigste Antwort (D) unterstellt, daß sich die Spannung im Fall des zugeschalteten Parallelzweiges halbiert. Begründungen dafür wurden wie folgt gegeben:

- Kerstin: „ $U_{Gesamt} = U_{BC} + U_{anderesLämpchen}$ da die Spannung und Stromstärke bei den Lämpchen gleich ist gilt Antwort D.“
- Carmen: „Spannung teilt sich.“

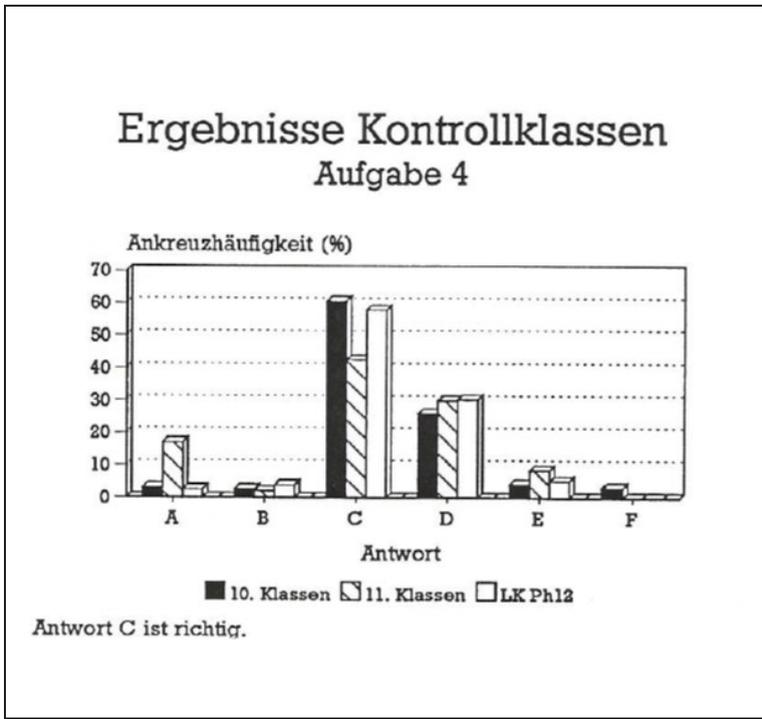


Abbildung 2.8: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 4. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

- Annette: „An Verzweigungen teilt sich die Spannung.“
- Horst: „Die Spannung in Stromkreis 2 verteilt sich gleichmäßig auf die beiden Glühlampen.“
- Matthias: „Halb so groß, weil sich die Spannung an einer Verzweigung halbiert.“
- Ralf: „Parallelschaltung“
- Nicola: „Da es in Stromkreis (2) ja 2 (d.h. doppelt soviel) Glühlampen sind.“

Die ersten fünf Antworten lassen darauf schließen, daß hier eine Verwechslung zwischen Spannung und Stromstärke auftritt. Ob es sich dabei um eine Vertauschung der Konzepte handelt oder um die Tatsache, daß die Schüler nur über ein

einziges Konzept, nämlich das Stromkonzept, verfügen und dieses aus mangelndem Verständnis der Begriffsinhalte von Spannung und Stromstärke auf beide Begriffe anwenden, läßt sich mit diesem Test nicht klären. Eine falsche Wiedergabe von auswendig gelernten Lehrsätzen ist auch nicht auszuschließen und läßt sich sogar mit hinreichender Sicherheit hinter Ralfs lapidarer Begründung vermuten. Nicola hingegen argumentiert ausschließlich mit der Anzahl der Bauteile.

Eine Interpretation der anderen gewählten Antwortmöglichkeiten fällt dem Autor nicht zuletzt deshalb schwer, weil hier praktisch überhaupt keine Begründungen für die Antworten gegeben wurden. Dies könnte zwei Gründe haben. Der eine liegt in der Unfähigkeit vieler Schüler begründet, sich — insbesondere schriftlich — zu artikulieren.⁹ Ein anderer Ansatz wäre, daß vorallem bei diesen Antworten die bei Multiple-Choice-Fragen immer vorhandenen Rater in der Mehrheit sind. Somit läßt sich also, auch angesichts bereits erwähnter Beispiele, nicht jede Schülerantwort auf ein (Fehl-)Konzept hin deuten. Ein Interpretationsversuch lohnt sich folglich im wesentlichen nur dann, wenn sich ein größerer Anteil der Testpopulation für eine bestimmte Antwort entschieden hat. Mit den weiteren Antworten wird im Bewußtsein dieser Tatsache verfahren.

2.3.5 Testaufgabe 5

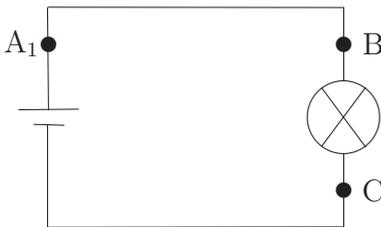
In den Aufgaben 5 bis 7 wird der Stromkreis (1) mit dem Stromkreis (3) verglichen. Letzterer geht aus Stromkreis (1) durch Hinzufügen einer weiteren, identischen Glühbirne in Serie zur ersten hervor. Aufgabe 5 (siehe Abbildung 2.9 auf Seite 35) fordert (analog Aufgabe 2¹⁰ den Vergleich der Stromstärke in Punkt A_1 in Stromkreis (1) mit der in Punkt A_3 in Stromkreis (3). Bei Betrachtung der Testergebnisse in Abbildung 2.10 auf Seite 36 fällt auf, daß die richtige Antwort (nämlich (E)) mit im Durchschnitt weniger als zehn Prozent weit abgeschlagen auf Platz drei liegt. Einem Grund für diese Tatsache kommt man auf die Spur, wenn man sich die Antwort (E) genauer ansieht. Sie besagt, daß die Stromstärke in Punkt A_3 kleiner aber nicht halb so groß ist wie in A_1 . Wer diese Antwort aufgrund seines Verständnisses der Vorgänge im Stromkreis wählt, der hat (mindestens) zwei Überlegungen angestellt. Dies könnte zum einen sein, daß sich bei einer Hintereinanderschaltung von zwei identischen, Ohmschen Widerständen der Gesamtwiderstand des Kreises im Gegensatz zum Kreis mit nur einem Widerstand verdoppelt und sich deshalb die Stromstärke halbiert. Zum anderen muß man damit vertraut sein, daß eine Glühbirne keinen Ohmschen Widerstand darstellt, sondern ihr Widerstand temperaturabhängig bzw. abhängig von der durchfließenden Stromstärke ist. Erst diese beiden oder ähnliche Überlegungen führen zu Antwort (E). Da dies mehr als nur oberflächliches Nachdenken erfordert, erhält man bei spontaner Befragung selbst von Physikstudenten im

⁹Dies sollte sich später auch noch nach der Auswertung der Praktikumsprotokolle zeigen.

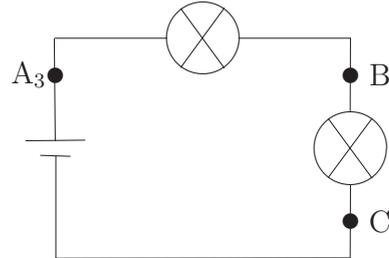
¹⁰siehe Abbildung 2.3 auf Seite 25

(5) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (3) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (3):



Vergleichen Sie jetzt die **Stromstärke** in Punkt A_3 des Stromkreises (3) mit der Stromstärke im Punkt A_1 des Stromkreises (1).

Die Stromstärke im Punkt A_3 ist

- (A) doppelt so groß wie in A_1 .
- (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in A_1 .
- (C) genauso groß wie in A_1 .
- (D) halb so groß wie in A_1 .
- (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in A_1 .

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

Abbildung 2.9: Wortlaut der Aufgabe 5 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

Hauptstudium und von erfahrenen Physiklehrern zunächst oft die Antwort (D), daß nämlich die Stromstärke in A_3 halb so groß sei wie in A_1 .

Doch nun zurück zu den Testergebnissen der Kontrollpopulation. Hier ist Antwort (C) die mit im Durchschnitt sechzig Prozent der Antworten die häufigste. Sie besagt, daß die Stromstärke in beiden Fällen gleich groß ist. Als Interpretationshilfe werden hier wieder einige Begründungen von Schülern für diese Antwort genannt:

- Mareike: „Stromstärke ist bei Serienschaltung überall gleich.“
- Christoph: „Serienschaltung \Rightarrow I konstant“
- Thomas: „Serienschaltung von Widerständen (Glühbirnen):
 $I_1 = I_2 = \dots = I_n = I_{Gesamt}$ “

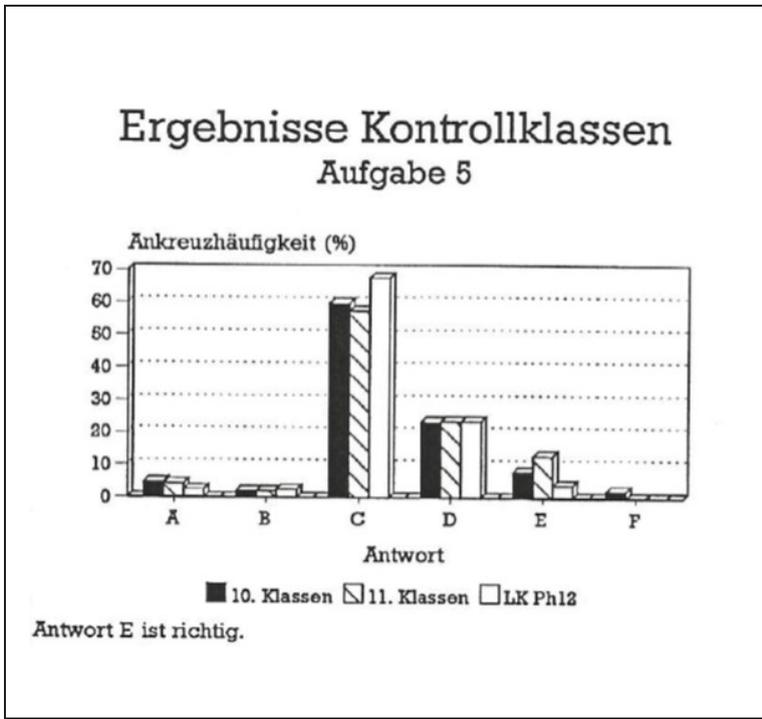


Abbildung 2.10: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 5. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

- Rudolf: „Da in Punkt A_3 die Widerstände noch nicht durchflossen sind, sind die Stromstärken gleich.“
- Carsten: „Da die Batterie in Stromkreis (1) und (2) identisch ist, und der Stromfluß von ‚+‘ nach ‚-‘ ist, muß die Stromstärke in Punkt A_3 gleich der in Punkt A_1 sein.“
- Carmen: „Stromquelle ist die gleiche.“
- Nicola: „Batteriestärke bleibt gleich.“
- Annette: „Stromquelle ist gleich geblieben.“
- Horst: „Durch einsetzen mehrerer Glühbirnen ändert sich nichts an der Stromstärke, die aus der Batterie kommt.“

- Sandra: „I ist deshalb genauso groß, weil die Stärke, die aus der Batterie kommt, ist genauso groß, wie die die in die Batterie reinfließt. Die Stärke im Punkt A_3 ist unabhängig.“
- Daniel: „Die beiden Punkte A_1 und A_2 [*gemeint ist wohl A_3*] haben die gleiche Stromstärke, da sie an der gleichen Stelle nach der gleichen Stromquelle aufgestellt wurden.“
- Matthias: „Gleich groß, weil die Strecke von der Batterie zu A_1 bzw. A_3 gleich ist.“
- Bernd: „Der Strom fließt vom Plus- zum Minuspol. Der Weg zu A_3 ist der gleiche wie $A_1 \rightarrow$ gleiche Stromstärke.“

Die Begründungen der Schüler für ihr Lösungsverhalten lassen sich genauso deuten wie im Abschnitt zur Testaufgabe 2. Die Fehlvorstellungen sind im einzelnen:

1. Fehlinterpretation des Lehrsatzes: In einer Serienschaltung ist die Stromstärke im gesamten Kreis konstant.
2. Sequentielle Argumentation
3. Konstantstromquellenvorstellung
4. Argumentation alleine über die Entfernung von der Spannungsquelle
5. Kombination der vorgenannten Vorstellungen

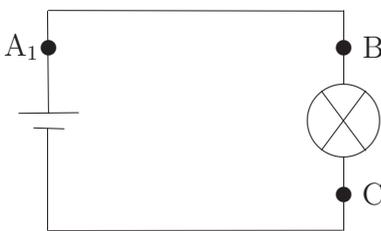
Auf den ersten Blick scheint der Vergleich dieser Fehlvorstellungen mit den bei Aufgabe 2 festgestellten zu belegen, daß die Schüler grundsätzlich mit einem gewissen Vorstellungsgefüge arbeiten. Aber da gibt es z.B. den Schüler Rudolf, der je nach Aufgabenstellung das Konzept wechselt. In Aufgabe 2 hat er noch mit der Konstantstromquellenvorstellung gearbeitet, was sich relativ eindeutig mit seiner dortigen Begründung belegen läßt: „Wenn die Stärke der Batterie gleich ist, dann ist auch die Stromstärke gleich.“ Hier in Aufgabe 5 dagegen verlegt er sich eher auf die sequentielle Argumentation (möglicherweise kombiniert mit der Stromverbrauchsvorstellung), wie aus seiner Äußerung deutlich wird: „Da in Punkt A_3 die Widerstände noch nicht durchflossen sind, sind die Stromstärken gleich.“ Man darf also leider nie annehmen, daß man *die* Fehlvorstellung eines Schülers kennt. Es ist vielmehr stets damit zu rechnen, daß ein Schüler bei einer ähnlichen Aufgabe plötzlich ein ganz anderes, möglicherweise auch falsches Konzept anwendet bzw. die Fehlkonzepte jedesmal unterschiedlich miteinander kombiniert. Diese Tatsache macht es so schwierig, einzelne Fehlkonzepte statistisch (z.B. mit Hilfe der Faktoranalyse) zu extrahieren.

2.3.6 Testaufgabe 6

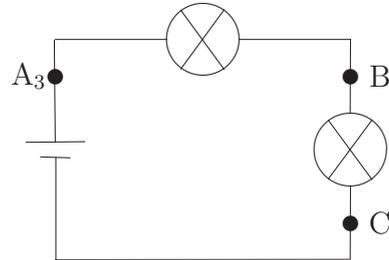
In Aufgabe 6 (siehe Abbildung 2.11 auf Seite 38) soll analog Aufgabe 4 die an der Glühbirne zwischen den Punkten B und C anliegende Spannung in Stromkreis (3) mit der in Stromkreis (1) verglichen werden. Bei Betrachtung der Balkengrafik in Abbildung 2.12 auf Seite 39 fällt auf, daß die Mehrheit der Schüler diese Aufgabe richtig beantwortet hat (Antwort (D)), aber auch Antwort (C) von sehr vielen (gut 30 Prozent) für richtig gehalten wird. Zur Aufklärung der Hintergründe, die zu Antwort (C) führten, folgen hier einige Begründungen der Schüler :

(6) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (3) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (3):



Vergleichen Sie die an der Glühbirne zwischen den Punkten B und C anliegende **Spannung** U_{BC} im Stromkreis (3) mit der Spannung U_{BC} im Stromkreis (1).

Die Spannung U_{BC} ist in Stromkreis (3)

- (A) doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (C) genauso groß wie in Stromkreis (1).
- (D) halb so groß wie in Stromkreis (1).
- (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in Stromkreis (1).

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

Abbildung 2.11: Wortlaut der Aufgabe 6 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

- Kerstin: „Der Spannungsunterschied bei der Stromquelle bleibt gleich \rightarrow es kann keine Spannung aufgebraucht werden“

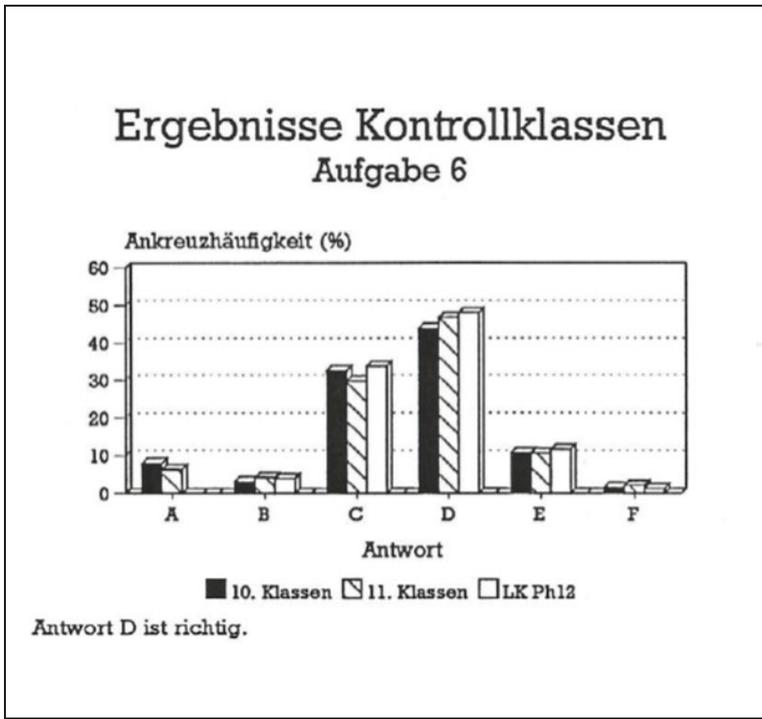


Abbildung 2.12: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 6. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

- Daniel: „Die Spannung ist im Stromkreis an jeder Stelle gleich groß.“
- Ernst: „Spannung ändert sich nicht durch eine weitere Glühbirne.“
- Clemens: „Weil sich die Spannung nicht ändert, da sie von Widerständen nicht abhängig ist.“
- Heinz: „Die Spannung ist genauso groß, da die zwei Glühbirnen nicht parallel geschaltet sind.“
- Bernd: „Bei einer Hintereinanderschaltung bleibt die Spannung gleich groß.“
- Markus: „Gleiche Spannung, da in Reihenschaltung der Lampen die Spannung gleich bleibt.“

- Christian: „Bei einer Hintereinanderschaltung ist überall die Spannung gleich.“
- Tobias: „Es ist C, da die Spannung nichts mit dem Stromverbrauch zu tun hat und überall gleich ist.“
- Marion: „Die Stromstärke bleibt gleich, also ändert sich auch die Spannung nicht.“
- Sebastian: „Die zweite Glühbirne hat mit der Spannung U_{BC} nichts zu tun.“
- Peter: „Spannung bleibt bei gleicher Stromquelle gleich.“
- Christoph: „An jeder Lampe fällt die gleiche Spannung ab.“
- Cora: „Jede Batterie hat eine festgelegte Spannung. Die Batterie in Stromkreis (3) ist mit zwei hintereinandergelegten Glühbirnen doppelt so schnell verbraucht.“
- Dieter: „In beiden Fällen ist die Glühbirne ein 1. Widerstand für die Spannung, d.h. es ist derselbe Weg bis zur Lampe.“

Die hier gegebenen Begründungen bieten eine ganze Reihe von Interpretationsmöglichkeiten. Zum einen drängt sich bei einigen Antworten die Frage auf, ob nicht der von der Spannungsquelle aufrechterhaltene konstante Potentialunterschied (nennen wir sie hier die an der Batterie anliegende konstante Spannung) von den Schülern als im gesamten Stromkreis konstante Spannung mißdeutet wird. Dies würde auch zu dem Schluß führen, daß die Spannung in keiner Weise als Differenz verstanden bzw. gesehen wird. Die Aussage von Christoph läßt sich hingegen wieder eher auf eine Verwechslung von Parallel- und Reihenschaltung zurückführen. Auch die Konstantstromquellenvorstellung in Verbindung mit der Annahme, die Glühbirne sei ein Ohmscher Widerstand, führt zu Antwort (C). Geht man nämlich davon aus, daß die Stromstärke gleichbleibt und sich der Widerstand der Glühbirne nicht verändert, so muß nach dem Ohmschen Gesetz auch die zwischen B und C abfallende Spannung gleichbleiben. In diese Richtung scheinen z.B. die Aussagen von Marion, Sebastian und Peter zu tendieren. Bei Dieter wird wieder deutlich, daß teilweise auch wieder ausschließlich mit der Entfernung zur Batterie bzw. mit der Lage im Kreis argumentiert wird. Dieses Verhalten ist an anderer Stelle (siehe Kapitel 1) mit „lokaler Argumentation“ bezeichnet worden. Für die richtige Lösung (Antwort (D)) gibt es kaum Begründungen und wenn doch, dann beschränkten sie sich auf Aussagen wie:

- Andreas: „An gleichen Widerständen ist gleicher Spannungsabfall.
 $U_{ges} = U_1 + U_2$ “
- Christoph: „ $U_{Ges} = U_1 + U_2$ weil Serienschaltung“

Aus solchen Formulierungen ist natürlich nicht abzulesen, ob wirklich ein Verständnis vorliegt, oder ob diese Schüler einfach ein besseres Gedächtnis haben als manche, die Antwort (C) angekreuzt haben, und deshalb die mechanisch gelernten Lehrsätze einfach noch genauer reproduzieren können.

Antwort (E), für die sich immerhin noch über 10 Prozent der Schüler entschieden haben, wird praktisch überhaupt nicht begründet. Um irgendeine Aussage machen zu können, sollen hier die fünf einzigen Begründungen wiedergegeben werden:

- Harald: „Die Spannung ist vom Widerstand der 1. Glühbirne im Stromkreis 3 abhängig. Aufgrund des Widerstandes verringert sich die Spannung U_{BC} .“
- Alexander: „Hintereinander, deshalb ist U_{BC} kleiner; nicht halb so groß da die Widerstände unterschiedlich sein können.“
- Maximilian: „Bei BC im (3) ist ein Spannungsabfall, da es eine Hintereinanderschaltung ist und die U 's zusammengezählt U_0 ergeben. Bei (1) ist keine andere Lampe da, also auch kein Spannungsabfall.“
- Matthias: „Kleiner, weil die erste Glühbirne bereits ein Teil der Spannung verbraucht und so nicht mehr alles bei der zweiten Glühbirne ankommt.“
- Roland: „...da die Glühbirne im Stromkreis (3) die Spannung mindert (durch den Widerstand).“

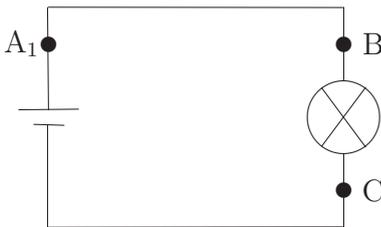
Die Mehrheit scheint hier sichergehen und sich nicht auf eine Halbierung der Spannung festlegen lassen zu wollen. Die Begründungen könnten nämlich (bis auf die von Alexander) auch Antwort (C) zugeordnet werden. Alexander hat entweder die Angabe nicht richtig gelesen (identische Glühbirnen) oder schon praktische Erfahrungen mit Glühbirnen und weiß deshalb, daß auch baugleiche Glühlampen geringe Widerstandsunterschiede aufweisen. Bei Matthias und Roland klingt ihr „verbraucht“ bzw. „mindert“ stark nach einer Spannungsverbrauchsvorstellung, was auf eine zugrundeliegende Stromverbrauchsvorstellung und die fehlende Unterscheidung zwischen Spannung und Strom hindeutet.

2.3.7 Testaufgabe 7

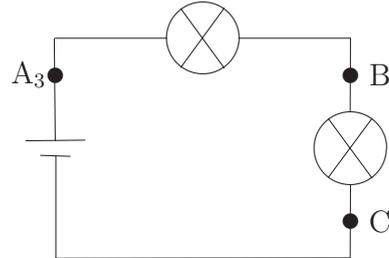
Es wird aus den bisherigen Ausführungen zu den zugrundeliegenden Schülervorstellungen ziemlich deutlich, daß eine eindeutige Zuordnung sehr schwierig und nach Meinung des Autors auch fragwürdig ist. Es ist allenfalls sinnvoll, plausible Möglichkeiten aufzuzeigen und später für den Unterricht im Auge zu behalten. Für diese und die folgenden Aufgaben, bei denen sich die Interpretationen nicht mehr auf Begründungen der Schüler stützen können, gilt das in besonderem Maße.

(7) Dem Stromkreis (1) wird eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (3) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (3):



Vergleichen Sie die **Helligkeit** der Glühbirne zwischen den Punkten B und C in Stromkreis (3) mit ihrer Helligkeit in Stromkreis (1).

Die Glühbirne leuchtet in Stromkreis (3)

- (A) heller als in Stromkreis (1).
- (B) genauso hell wie in Stromkreis (1).
- (C) schwächer als in Stromkreis (1).

Abbildung 2.13: Wortlaut der Aufgabe 7 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

Auch in Aufgabe 7 (siehe Abbildung 2.13 auf Seite 42) sollen Stromkreis (1) und (3) miteinander verglichen werden. Diesmal wird allerdings nach der Helligkeit der Glühbirne zwischen den Punkten B und C gefragt. Betrachtet man die in Abbildung 2.14 auf Seite 43 dargestellten Testergebnisse, so stellt man fest, daß sich mit etwa 60 Prozent die meisten Schüler für die richtige Antwort (C) entschieden haben. Sie sind also der Meinung, daß die in Serie zu einer zweiten Glühbirne geschaltete Glühbirne schwächer leuchtet als die, die alleine und direkt mit der Spannungsquelle verbunden ist. Dies könnte neben „dem richtigen“ Konzept auch auf die Stromverbrauchsvorstellung zurückzuführen sein, die davon ausgeht, daß in der Glühbirne zwischen den Punkten A₃ und B in Stromkreis (3) Strom verbraucht wird, deshalb weniger Strom bei der zweiten Glühbirne ankommt und somit deren Helligkeit abnimmt.

Antwort (B), die immerhin noch von etwa 30 Prozent der Testpopulation für richtig gehalten wird, besagt, daß die Helligkeit der fraglichen Glühbirne in beiden Stromkreisen (also (1) und (3)) gleich bleibt. Dies könnte auf die bereits mehrfach im Test „nachgewiesene“ Konstantstromquellenvorstellung zurückzuführen sein.

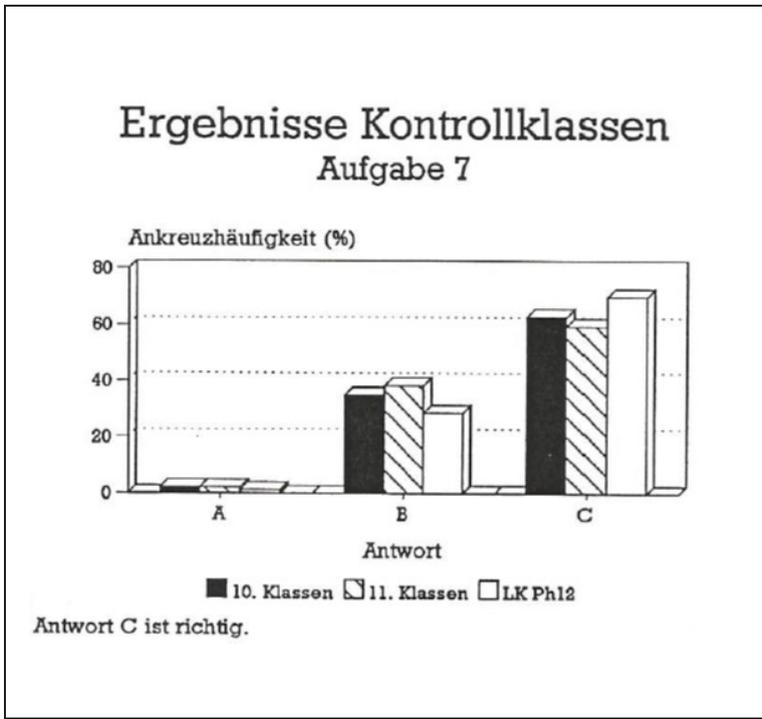


Abbildung 2.14: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 7. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

Ein Vergleich mit Testaufgabe 3¹¹ zeigt, daß dieselbe Fehlvorstellung schon bei der Parallelschaltung ein möglicher Grund für die häufigste falsche Antwort war. Ein anderer denkbarer Antrieb für diese falsche Antwort ist die Verwechslung der Konzepte der Serien- und der Parallelschaltung.

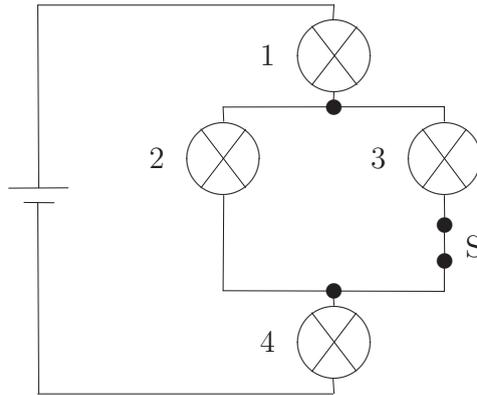
2.3.8 Testaufgabe 8

Diese und die nächsten vier Aufgaben beziehen sich auf den etwas komplexeren Stromkreis (4). Er besteht aus einer Batterie, vier Glühbirnen und einem Schalter. Zum ersten Mal dargestellt ist er in Abbildung 2.15 auf Seite 44. In Stromkreis (4) wird zum ersten Mal in diesem Test Parallel- und Reihenschaltung vermischt. Einem aus drei identischen Glühbirnen bestehenden Serienkreis wurde nämlich

¹¹auf Seite 29

- (8) Im Stromkreis (4) sind vier identische Glühlampen mit einer Batterie verbunden. (Der Schalter S ist zunächst, wie in der Schaltskizze dargestellt, geschlossen.)

Stromkreis (4):



Ordnen Sie die Glühlampen nach ihrer **Helligkeit H**.

- (A) $H_1 = H_2 = H_3 = H_4$.
Alle Glühlampen sind gleich hell.
- (B) $H_1 > H_2 > H_3 > H_4$.
1 ist am hellsten, 2 am zweithellsten, 3 am dritthellsten und 4 am dunkelsten.
- (C) $H_1 > H_2 = H_3 > H_4$.
1 ist am hellsten, 2 und 3 sind gleich hell aber dunkler als 1. 4 ist am dunkelsten.
- (D) $H_1 = H_4 > H_2 = H_3$.
1 und 4 sind gleich hell. 2 und 3 sind gleich hell, aber dunkler als 1 und 4.
- (E) $H_2 = H_3 > H_1 = H_4$.
2 und 3 sind gleich hell. 1 und 4 sind gleich hell, aber dunkler als 2 und 3.
- (F) $H_1 > H_4 > H_2 = H_3$.
1 ist am hellsten, 4 am zweithellsten. 2 und 3 sind gleich hell, aber dunkler als 4.
- (G) Keine der Antworten ist richtig.

Abbildung 2.15: Wortlaut der Aufgabe 8 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

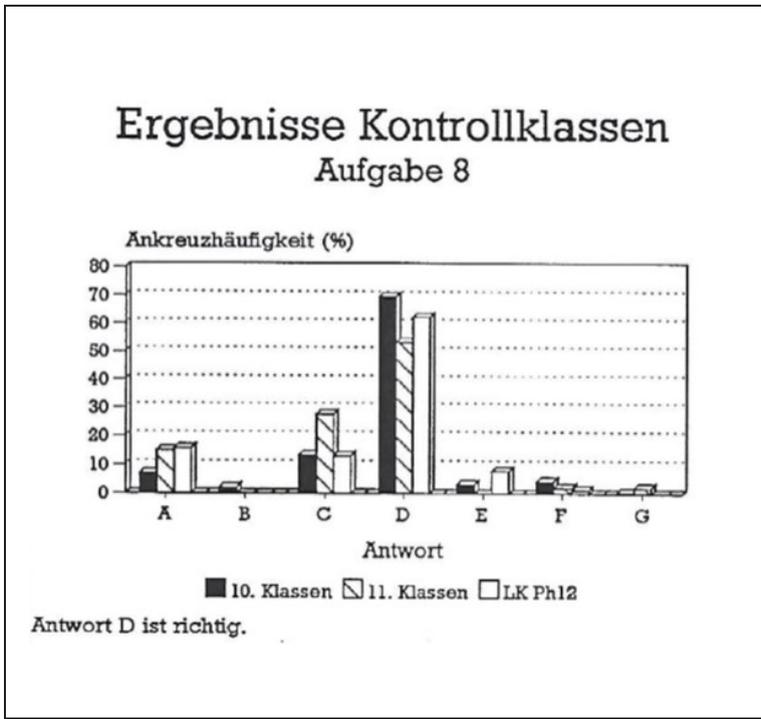


Abbildung 2.16: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 8. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

parallel zur mittleren Glühbirne ein Nebenschluß, bestehend aus einer wieder identischen Glühlampe und einem Schalter, hinzugefügt. In Aufgabe 8 (siehe Abbildung 2.15 auf Seite 44) geht es nun darum die vier Glühbirnen nach ihrer Helligkeit zu ordnen. Diese Aufgabe scheint für die große Mehrheit keine Probleme zu bereiten, denn wie Abbildung 2.16 auf Seite 45 zeigt, haben sich im Schnitt über 60 Prozent für die richtige Antwort (D) entschieden. Diese besagt natürlich, daß die Glühbirnen 1 und 4 ohne Nebenschluß gleich hell leuchten und heller als die gleichhellen, „parallelen“ Lämpchen 2 und 3. Leider muß auch hier wieder gesagt werden, daß die richtige Lösung nicht nur auf ein Verständnis der physikalischen Konzepte zurückzuführen ist. Mit der Konstantstromquellenvorstellung gelangt man z.B. ebenfalls zur richtigen Deutung, falls man die Helligkeit der Glühbirnen auf die durch sie fließende Stromstärke zurückführt.

Die Antworten (A) und (C) liegen mit in beiden Fällen etwas über 10 Prozent der Lösungen abgeschlagen auf den Plätzen zwei und drei. Nach Ansicht des Au-

tors läßt sich Antwort (A), die alle vier Glühbirnen für gleich hell erklärt, nur mit Hilfe des „lokalen Denkens“ deuten. Dabei wird wohl (jedes Lämpchen einzeln betrachtend) davon ausgegangen, daß identische Glühbirnen auch gleich hell leuchten und keinerlei Rückwirkungen aufeinander haben. Antwort (C), die die Helligkeitsbeziehung $H_1 > H_2 = H_3 > H_4$ vorsieht, ist wahrscheinlich durch eine implizite Stromverbrauchsvorstellung zustande gekommen. In diesem Konzept käme der Strom vom Pluspol der Quelle, würde beim Durchfließen jeder Glühbirne zum Teil verbraucht und schließlich als Rest am negativen Pol der Batterie ankommen.

2.3.9 Testaufgabe 9

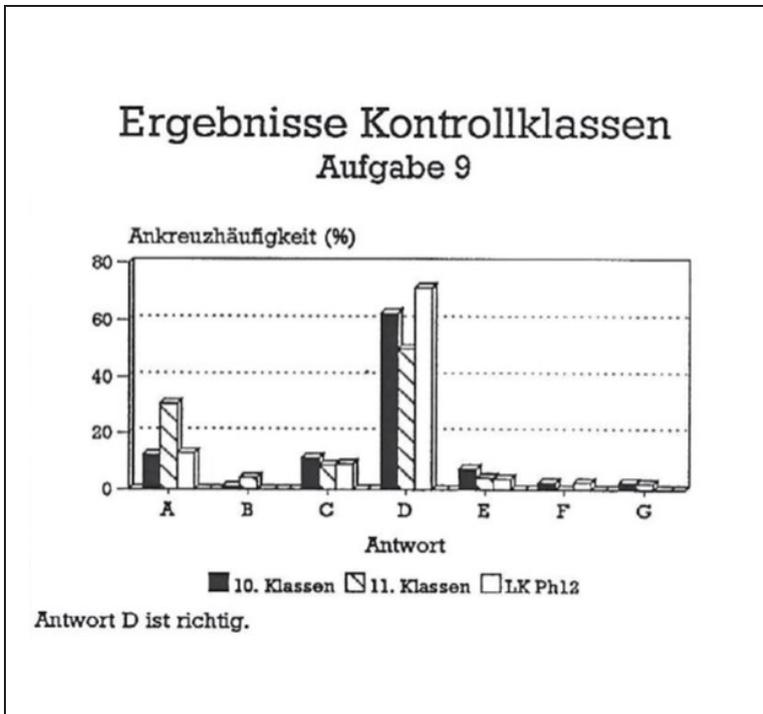
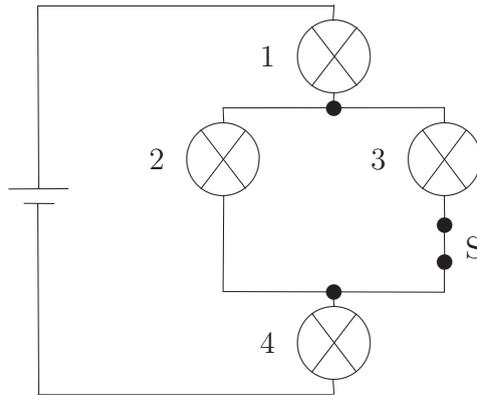


Abbildung 2.17: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 9. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

Aufgabe 9 (siehe Abbildung 2.18 auf Seite 47) stellt dieselbe Frage und gibt dieselben Antwortvorschläge wie Aufgabe 8, allerdings wird hier der Begriff „Hel-

- (9) Im Stromkreis (4) sind vier identische Glühlampen mit einer Batterie verbunden. (Der Schalter S ist zunächst, wie in der Schalt-skizze dargestellt, geschlossen.)

Stromkreis (4):



Ordnen Sie die Glühlampen nach der durch sie fließenden **Stromstärke I** .

Für die Stromstärke I gilt:

- (A) $I_1 = I_2 = I_3 = I_4$.
Sie ist durch alle Glühlampen gleich.
- (B) $I_1 > I_2 > I_3 > I_4$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 2 am zweitgrößten, durch 3 am drittgrößten und durch 4 am kleinsten.
- (C) $I_1 > I_2 = I_3 > I_4$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als durch 1. Durch 4 ist sie am kleinsten.
- (D) $I_1 = I_4 > I_2 = I_3$.
Durch 1 und 4 ist sie gleich groß. Durch 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als durch 1 und 4.
- (E) $I_2 = I_3 > I_1 = I_4$.
Durch 2 und 3 ist sie gleich groß. Durch 1 und 4 ist sie gleich groß, aber kleiner als durch 2 und 3.
- (F) $I_1 > I_4 > I_2 = I_3$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 4 am zweitgrößten, durch 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als durch 4.
- (G) Keine der Antworten ist richtig.

Abbildung 2.18: Wortlaut der Aufgabe 9 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

ligkeit“ gegen „Stromstärke“ ausgetauscht. Es geht also darum, die durch die vier Glühbirnen fließenden Stromstärken miteinander zu vergleichen. Die Schülerantworten zu dieser Aufgabe (vgl. Abbildung 2.17 auf Seite 46) sind denen zur Aufgabe 8 sehr ähnlich. Man könnte das nun darauf zurückführen, daß die Schüler einen Zusammenhang zwischen der Helligkeit und der Stromstärke sehen, aber leider scheint das nur bei etwa der Hälfte der Kontrollpopulation der Fall zu sein. Nur 50 Prozent kreuzen nämlich (unabhängig davon, ob die richtige oder eine falsche Antwort gewählt wurde) beide Aufgaben gleich an. Das bedeutet aber letztlich, daß etwa die Hälfte der Schüler von Aufgabe 8 zu Aufgabe 9 ihr Antwortkonzept gewechselt haben. Dies macht wieder deutlich, daß eine eindeutige Zuordnung von Fehlvorstellungen im Sinn von Schüler A arbeitet mit Konzept X, Schüler B mit Konzept Y, nicht möglich ist. Da die möglichen Begründungen für die drei meistgewählten Antworten denen der Aufgabe 8 entsprechen, sollen sie hier nicht noch einmal aufgelistet werden.

2.3.10 Testaufgabe 10

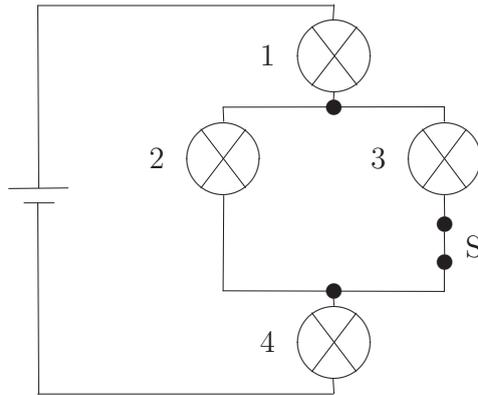
In Aufgabe 10 (siehe Abbildung 2.19 auf Seite 49) stellt sich die Frage nach den in Stromkreis (4) an den Glühbirnen abfallenden Spannungen. Die Aufgabenstellung entspricht dem Wortlaut nach wieder den Aufgaben 8 und 9, allerdings mit dem Unterschied, daß „Helligkeit“ bzw. „Stromstärke“ durch „Spannung“ ersetzt ist. Nach den Erfahrungen mit den letzten beiden Aufgaben könnte man jetzt wieder eine ähnliche Verteilung der Antworten erwarten. Wie bereits ein kurzer Blick auf die Testergebnisse in Abbildung 2.20 auf Seite 50 zeigt, ist dem aber nicht so. Vielmehr scheinen sich die Schüler überhaupt nicht entscheiden zu können. Nur die Antworten (A) und (D) ((D) ist richtig) werden jeweils von etwa einem Viertel der Kontrollpopulation angekreuzt.

Hier macht sich ein bereits bei den Aufgaben 4 und 6 aufgetretenes Phänomen wieder bemerkbar. Die Schüler scheinen kein eigenes Konzept für die Spannung zu haben. Die Spannung kommt in der Alltagsvorstellung entweder überhaupt nicht vor oder wenn doch, dann als etwas, das der Stromstärke ähnlich ist und irgendwie mit ihr zusammenhängt. Auch während des Unterrichts wird den meisten Schülern wohl nicht klar, wozu man die Spannung eigentlich braucht. Für einige ist sie nur eine weitere lästige Größe, die nur in Formeln existiert. Hier soll noch einmal die Realschülerin Elke zu Wort kommen:¹² „Ich weiß nicht, aber mit der Spannung kann ich überhaupt gar nichts anfangen.“ Um aber vielleicht trotzdem einen möglichen Entwicklungsprozess der Antworten erkennen zu können, soll hier exemplarisch die richtige Antwort (D) genauer betrachtet werden. Für sie (nämlich $U_1 = U_4 > U_2 = U_3$) sind wieder mehrere Interpretationen denkbar. Man könnte zum einen ein echtes Verständnis unterstellen, zum anderen annehmen, daß einfach der richtige Lehrsatz gemerkt und angewendet wurde.

¹²vgl. Fußnote 8

- (10) Im Stromkreis (4) sind vier identische Glühlampen mit einer Batterie verbunden. (Der Schalter S ist zunächst, wie in der Schaltskizze dargestellt, geschlossen.)

Stromkreis (4):



Ordnen Sie die Glühlampen nach der an ihnen liegenden **Spannung** U .

Für die Spannung U gilt:

- (A) $U_1 = U_2 = U_3 = U_4$.
Sie ist an alle Glühlampen gleich.
- (B) $U_1 > U_2 > U_3 > U_4$.
Sie ist an 1 am größten, an 2 am zweitgrößten, an 3 am drittgrößten und an 4 am kleinsten.
- (C) $U_1 > U_2 = U_3 > U_4$.
Sie ist an 1 am größten, an 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als an 1. An 4 ist sie am kleinsten.
- (D) $U_1 = U_4 > U_2 = U_3$.
An 1 und 4 ist sie gleich groß. An 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als an 1 und 4.
- (E) $U_2 = U_3 > U_1 = U_4$.
An 2 und 3 ist sie gleich groß. An 1 und 4 ist sie gleich groß, aber kleiner als an 2 und 3.
- (F) $U_1 > U_4 > U_2 = U_3$.
Sie ist an 1 am größten, an 4 am zweitgrößten, an 2 und 3 ist sie gleich groß, aber kleiner als an 4.
- (G) Keine der Antworten ist richtig.

Abbildung 2.19: Wortlaut der Aufgabe 10 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

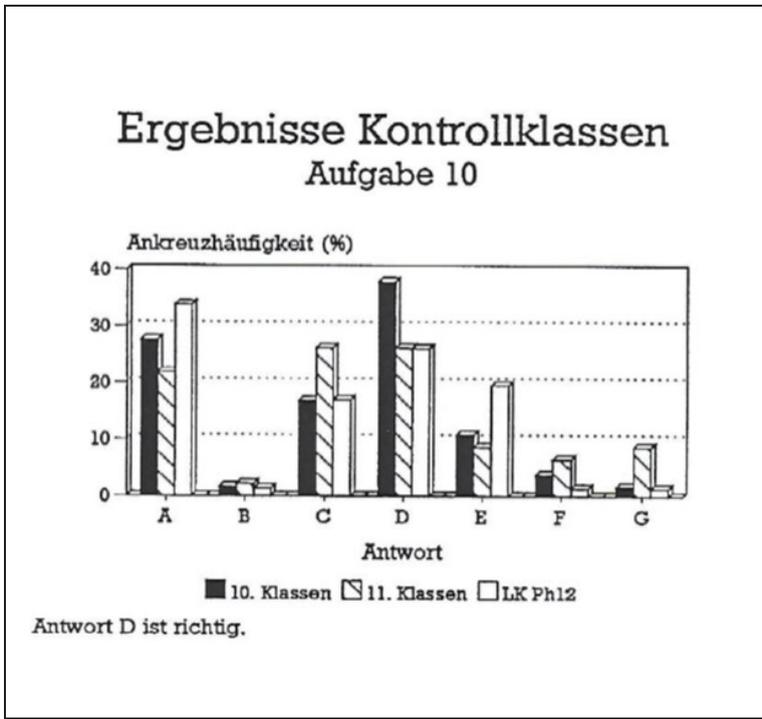


Abbildung 2.20: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 10. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

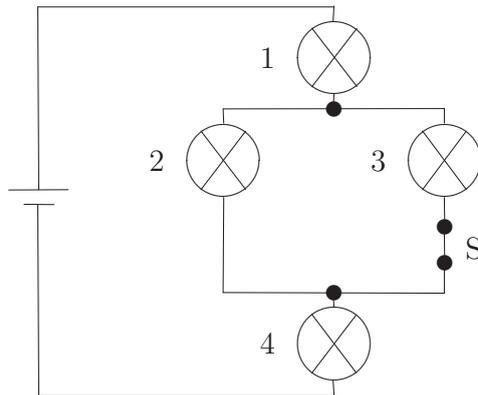
Die vom Autor angebotene dritte Möglichkeit ist Grundlage von vielen weiteren. Sie besagt nämlich, daß für den Schüler Stromstärke und Spannung im wesentlichen dasselbe sind und sich gleich verhalten. In diesem Fall wäre diese Antwort wieder, wie schon in Aufgabe 9, z.B. auf die Konstantstromquellenvorstellung zurückführbar. Diese Betrachtung soll an dieser Stelle nicht fortgeführt werden, aber die Problematik dürfte deutlich geworden sein.

2.3.11 Testaufgaben 11 und 12

Die Aufgaben 11 und 12 (siehe Abbildung 2.21 auf Seite 51) befassen sich mit der Frage, was passiert, wenn der bisher immer geschlossene Schalter in Stromkreis (4) geöffnet wird. Um die für manche Schüler hinter diesen zunächst relativ einfach klingenden Aufgaben steckende Problematik zu verdeutlichen, soll hier eine längere Passage aus dem bereits mehrfach zitierten Gespräch mit der Realschüle-

Die Aufgaben 11 und 12 beziehen sich auf Stromkreis (4). Dort sind vier identische Glühlampen mit einer Batterie verbunden. (Der Schalter S ist zunächst, wie in der Schaltskizze dargestellt, geschlossen.)

Stromkreis (4):



- (11) Wie verhält sich die **Stromstärke** durch Glühlampe 1, wenn man den Schalter S öffnet?
- (A) Sie wird größer.
 - (B) Sie bleibt gleich.
 - (C) Sie wird kleiner.
 - (D) Lässt sich ohne weitere Information nicht entscheiden.
- (12) Wie verhält sich die **Stromstärke** durch Glühlampe 2, wenn man den Schalter S öffnet?
- (A) Sie wird größer.
 - (B) Sie bleibt gleich.
 - (C) Sie wird kleiner.
 - (D) Lässt sich ohne weitere Information nicht entscheiden.

Abbildung 2.21: Wortlaut der Aufgaben 11 und 12 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

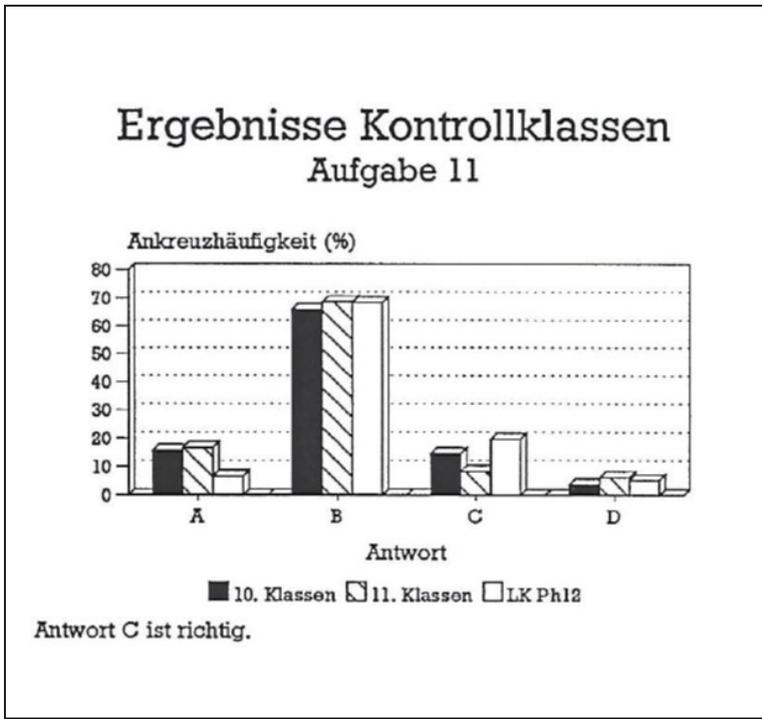


Abbildung 2.22: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 11. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

rin Elke wiedergegeben werden:¹²

„Des da unten, also ich weiß auch net, wenn ich den Schalter aufmache, dann fließt gar kein Strom mehr.“ (Wo fließt kein Strom mehr?)

„Naja, also wenn ich da den Strom durchschicke, ja, und er fließt jetzt da rein, dann brennt die [Glühbirne 1] erst einmal, und dann geht es hierrum und hierum, und da wird's ja unterbrochen, und von daher kann's ja dann gar nicht mehr weitergehen.“

(Du hast gesagt „es geht hierrum und hierrum“. Auf der rechten Seite wird der Strom unterbrochen und auf der anderen Seite?)

„Da kann's dann gar nicht mehr brennen!“

(Warum?)

„Naja, wenn der Stromkreis unterbrochen wird!“

(Auf der rechten Seite wird er unterbrochen, aber du hast gesagt links herum fließt auch etwas.)

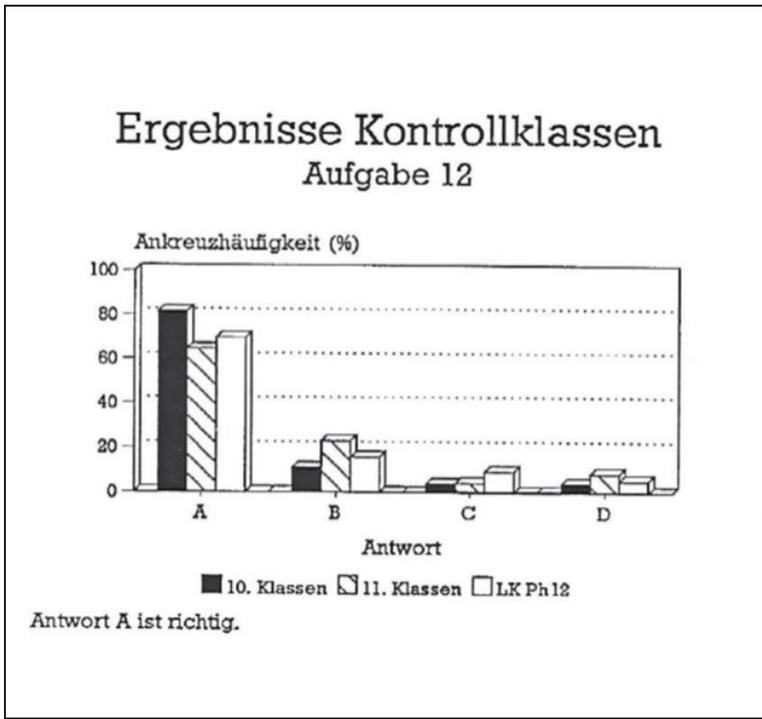


Abbildung 2.23: Das für die drei Jahrgangsstufen 10. Klasse, 11. Klasse und LK Ph12 getrennt dargestellte Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation bei Aufgabe 12. Es ist zu jeder Antwortmöglichkeit die Ankreuzhäufigkeit in Prozent der Gesamtzahl der Antworten aufgetragen.

„Ja gut, aber wenn da irgendwo unterbrochen wird, dann geht’s doch nicht!“
(Wenn der Stromkreis, der ganze Kreis, unterbrochen wird, dann geht nichts mehr, das ist richtig. Aber gibt es da irgendwo eine Strecke, auf der der Stromkreis nicht unterbrochen ist?)

„Ja, da schon, aber – (*leise*) ich hab’ immer gedacht, wenn irgendwo was unterbrochen wäre, dann geht gar nichts mehr.“

(Nehmen wir ‘mal Stromkreis (2). Angenommen ich baue in einen Zweig der Parallelschaltung einen Schalter ein und mach’ ihn auf. Was passiert dann?)

„Na, dann brennt die [*Glühbirne*] hier und da hört es auf.“

(Richtig. Aber warum brennt die eine Glühbirne? Da ist doch ein Stromkreis unterbrochen!)

„Ja da ist es ja noch zusammen.“

(Und wie ist es in Schaltung (4)?)

„Ja, da ist es auch zusammen, aber – Hhm (*ärgerlich*) – halt blöd zusammen.“ Dieses lange Zitat will nicht unterstellen, daß jeder Schüler dieses Problem hat oder sieht. Es veranschaulicht aber doch, daß Schüler oft mit Dingen Schwierigkeiten haben und kämpfen, von denen es der Lehrer überhaupt nicht erwartet und wovon er in der Regel auch nichts erfährt. Sicher ist aber ein Schüler, der derartigen Fragen nachgrübelt, für weiteren Unterrichtsstoff nicht mehr aufnahmebereit und -fähig. Es zeigt sich also wieder, daß es ein vorrangiges Ziel des Unterrichts sein muß, den Raum und die Atmosphäre zu schaffen, wo Schüler sich trauen, solche Fragen, wenn sie auftauchen, auch zu stellen und, was genauso wichtig ist, wo sie mit ihnen diskutiert werden.

Betrachtet man nun die Testergebnisse der Kontrollpopulation zu diesen beiden Fragen, so fällt zunächst auf, daß bei Aufgabe 12 (vgl. Abbildung 2.23 auf Seite 53) knapp 70 Prozent der Schüler richtig geantwortet haben (Antwort (A)). Dieses auf den ersten Blick sehr erfreuliche Ergebnis stellt sich nach einem Vergleich mit der Auswertung von Aufgabe 11 (vgl. Abbildung 2.22 auf Seite 52) völlig anders dar. Hier hat sich nämlich etwa der gleiche Prozentsatz für die falsche Antwort (B) entschieden. Nimmt man die jeweils meistgewählten Antworten der Aufgaben 11 und 12 zusammen, so ergibt sich folgendes Bild: Wird Schalter S geöffnet, so bleibt Glühbirne 1 gleich hell und Glühbirne 2 wird heller als bei geschlossenem Schalter. Von den hinter dieser Aussage möglicherweise steckenden Fehlkonzepten sollen hier zwei dargestellt werden:

1. Man kommt mit der **Konstantstromquellenvorstellung** zu dieser Vorhersage. Sie besagt nämlich, daß die von der Quelle gelieferte Stromstärke zunächst Glühbirne 1 zum Leuchten bringt und sich anschließend auf die beiden Parallelzweige aufteilt, weshalb Glühbirne 2 schwächer leuchtet als Glühbirne 1. Wird nun Schalter S geöffnet, so fließt die gesamte von der Quelle gelieferte Stromstärke durch Glühbirne 2 und folglich leuchtet sie nun genauso hell wie Glühbirne 1, deren Helligkeit sich nicht verändert hat.
2. Auch **sequentielles Denken** führt zu dieser Lösung. Glühbirne 1 ist in beiden Fällen gleichhell, da der durchfließende Strom nicht „weiß“, ob sich der Kreis anschließend verzweigt oder nicht. Auf Glühbirne 2 hat die Schalterstellung natürlich eine Auswirkung, da hier der Strom „weiß“, ob er sich vorher verzweigt hat oder nicht.

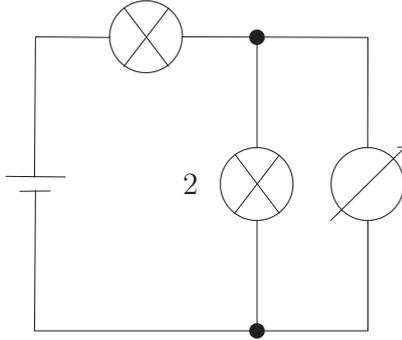
Auch hier zeigt sich wieder deutlich, daß die korrekte Antwort nicht notwendigerweise auf die richtige Vorstellung zurückzuführen ist.

2.3.12 Testaufgaben 13 und 14

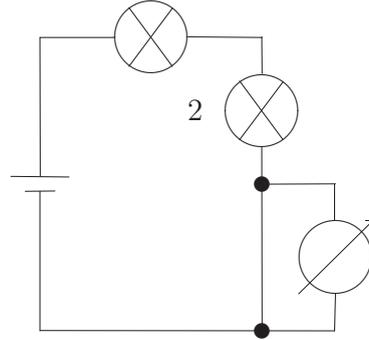
Die beiden letzten Testaufgaben 13 und 14 fragen nach der Schaltweise von Ampere- bzw. Voltmeter. Sie sind in Abbildung 2.24 auf Seite 55 bzw. in Abbildung 2.25 auf Seite 56 wiedergegeben. Diese Fragen stammen nicht aus dem

(13) Die vier Schaltskizzen A, B, C und D zeigen alle den Stromkreis (3) mit einem, jeweils anders zugeschalteten Meßgerät.

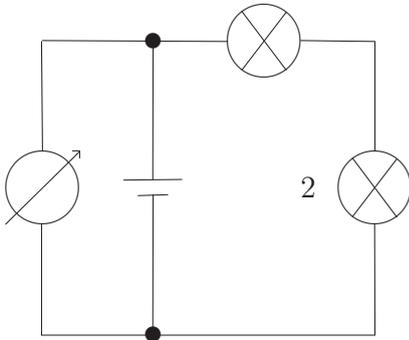
Schaltskizze A:



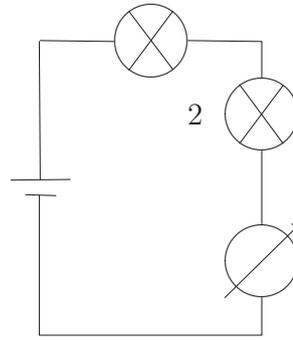
Schaltskizze B:



Schaltskizze C:



Schaltskizze D:



Wie muß man ein Amperemeter in den Stromkreis (3) schalten, um die durch Glühbirne 2 fließende Stromstärke messen zu können?

Die richtige Antwort zeigt Schaltskizze

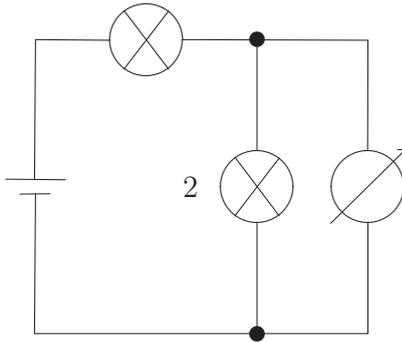
- (A) A.
- (B) B.
- (C) C.
- (D) D.

(E) Keine der gezeigten Schaltungen ist richtig.

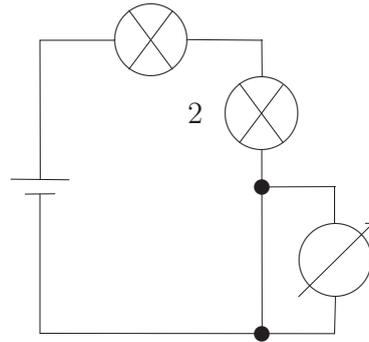
Abbildung 2.24: Wortlaut der Aufgabe 13 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

(14) Die vier Schaltskizzen A, B, C und D zeigen alle den Stromkreis (3) mit einem, jeweils anders zugeschalteten Meßgerät.

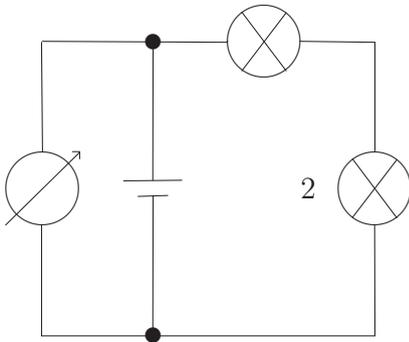
Schaltskizze A:



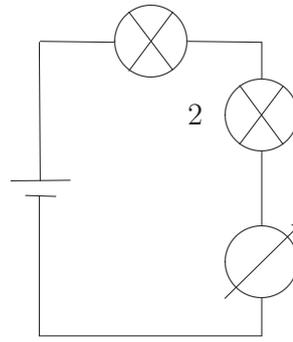
Schaltskizze B:



Schaltskizze C:



Schaltskizze D:



Wie muß man ein Voltmeter in den Stromkreis (3) schalten, um die an Glühbirne 2 anliegende Spannung messen zu können?

Die richtige Antwort zeigt Schaltskizze

- (A) A.
- (B) B.
- (C) C.
- (D) D.

(E) Keine der gezeigten Schaltungen ist richtig.

Abbildung 2.25: Wortlaut der Aufgabe 14 des im Rahmen dieser Arbeit benutzten Testbogens

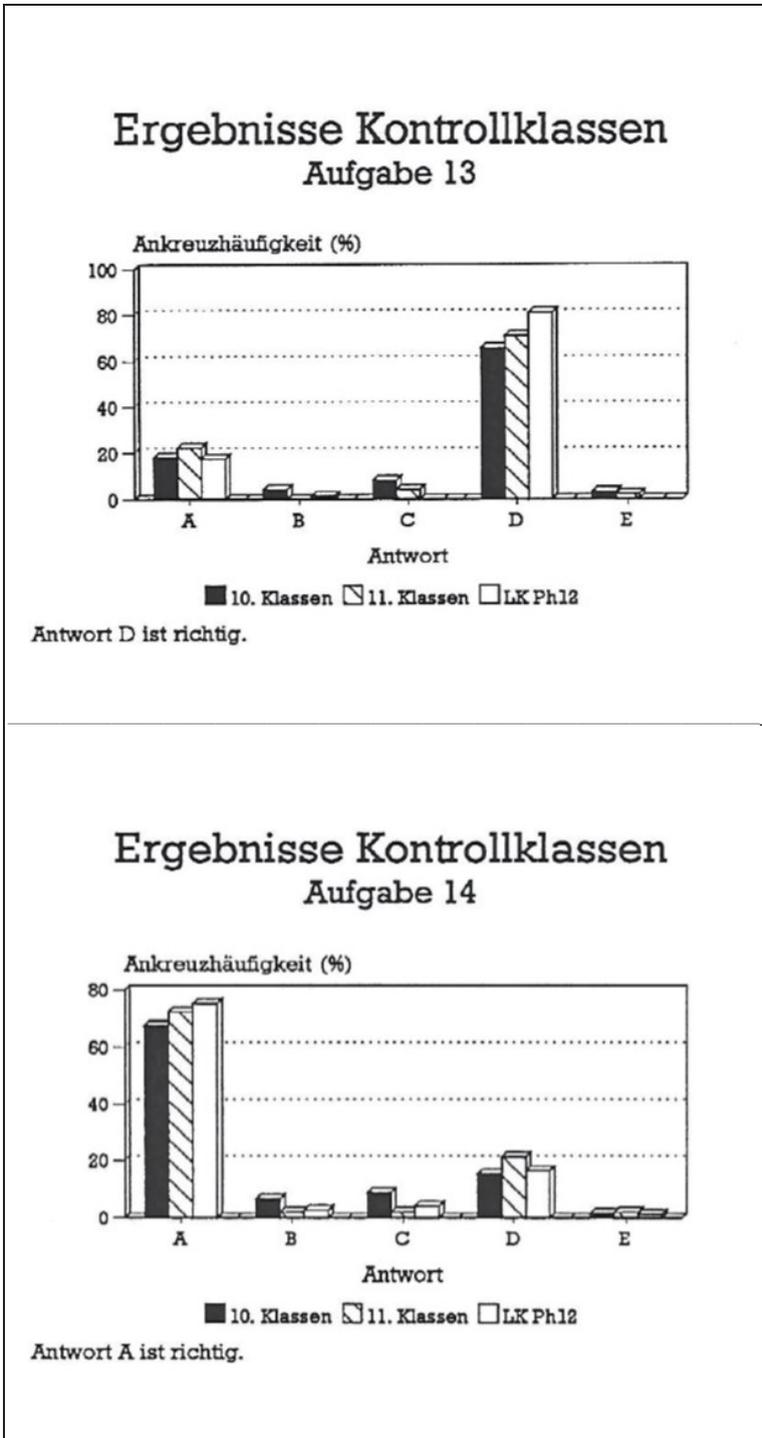


Abbildung 2.26: Das Antwortverhalten der Kontrollklassen bei Aufgaben 13 (oben) und 14 (unten).

zugrundeliegenden Sokoloff'schen Test. Sie wurden hinzugefügt, um festzustellen, inwieweit die Schüler im Umgang mit Meßinstrumenten vertraut sind.

Die Testergebnisse (vgl. Abbildung 2.26 auf Seite 57) sprechen eine deutliche Sprache. Relativ unabhängig von den restlichen Testergebnissen werden beide Aufgaben von etwa 70 Prozent der Schüler richtig beantwortet. Weitere knapp 20 Prozent vertauschen die Schaltungen der beiden Meßinstrumente gerade. Nur sehr wenige antworten in beiden Fällen gleich. Eine naheliegende Interpretation hierfür wäre, daß die Schaltweise von den meisten mechanisch auswendig gelernt wurde und ein echtes Verständnis für den Meßvorgang fehlt. In diesem Zusammenhang ist auch die jeweils häufigste falsche Antwort als bloße Verwechslung der „Lehrsätze“ zu verstehen. Der beste Beleg dafür scheint dem Autor die Unabhängigkeit von den anderen Testfragen zu sein. Denn nur bei wirklichem Verständnis für Spannungen und Stromstärken im Stromkreis läßt sich eine begründete Schaltung der Meßgeräte erwarten. Wie immer muß natürlich auch an dieser Stelle wieder erwähnt werden, daß durchaus noch andere Interpretationen denkbar wären. Sicher scheint aber zu sein, daß die Mehrheit der Schüler nicht durch ein richtiges Konzept zur korrekten Lösung dieser Aufgaben gekommen ist.

2.3.13 Faktoranalyse der Testergebnisse

Wie bereits mehrfach bei der Besprechung der einzelnen Testaufgaben angeklungen ist, lassen sich zu einer Antwort in der Regel mehrere Vorstellungen finden, die ihr zugrunde liegen könnten. Teilweise sind sie auch miteinander verknüpft. Weiterhin scheinen viele Schüler je nach Situation (Frage) ein anderes Konzept zu benutzen. Alle diese Punkte machen eine aussagekräftige, statistische Auswertung schwierig, oder gar unmöglich. Wenn hier trotzdem das Ergebnis einer Faktoranalyse wiedergegeben wird, dann geschieht das, um (gerade auch vor dem Hintergrund dieser Schwierigkeiten) Hinweise auf Tendenzen zur Anwendung derselben Fehlvorstellung bei unterschiedlichen Aufgaben zu bekommen. Eine zusätzliche Ermutigung gerade die Faktoranalyse einzusetzen, ergab sich aus in der Literatur erwähnten, positiven Erfahrungen mit ihr.¹³ Zur praktischen Durchführung wurde das Statistik-Programm WinSTAT™ herangezogen.

Im folgenden soll geklärt werden, was die Faktoranalyse zusätzlich zu der bis hierher durchgeführten Auswertung der Testbögen an neuen Erkenntnissen bringen kann. In den letzten Abschnitten wurde versucht, anhand der Schüleraussagen mögliche, hinter den einzelnen Antworten zu einer Aufgabe versteckte Fehlvorstellungen aufzudecken. Dabei hat es sich immer wieder gezeigt, daß es *die* jeweils zugehörige Fehlvorstellung nicht gibt. Vielmehr sind jeweils mehrere Interpretationsmöglichkeiten vorhanden. Teilweise werden die verschiedenen Fehlvorstellungen auch miteinander kombiniert. Mit der Faktoranalyse versucht man nun den bestimmenden Größen, die den vorhandenen Korrelationen zwischen den einzel-

¹³siehe hierzu z.B.: [Rhöneck 87], [Rhöneck 88a] und [Treffer 89]

Varimax Faktorladungen						
Variable	Faktoren					Kommunalität
	1	2	3	4	5	
(5C)	-0,727	0,025	0,080	-0,135	-0,167	0,582
(11B)	-0,684	-0,027	-0,047	-0,071	-0,115	0,489
(5D)	0,657	0,026	0,005	0,179	0,014	0,465
*(11C)	0,601	0,031	0,208	0,176	-0,188	0,472
*(2A)	0,590	0,075	0,078	0,218	-0,285	0,488
(2C)	-0,527	0,037	-0,080	-0,091	0,189	0,330
(10A)	0,292	0,237	0,038	-0,022	0,030	0,144
*(10D)	-0,290	0,135	-0,005	0,110	0,085	0,122
(12B)	0,011	-0,799	0,108	-0,062	-0,039	0,655
*(12A)	-0,166	0,639	-0,113	0,022	0,020	0,449
(9A)	-0,114	-0,623	0,109	0,006	0,068	0,417
*(9D)	-0,038	0,588	0,229	-0,089	-0,251	0,471
*(8D)	-0,036	0,489	0,374	-0,164	-0,266	0,478
(8A)	-0,095	-0,308	-0,027	0,173	-0,017	0,135
(10C)	-0,022	-0,296	-0,047	-0,054	-0,007	0,093
*(1E)	0,111	-0,092	0,767	0,026	0,039	0,611
(1G)	-0,156	0,115	-0,698	-0,057	-0,069	0,533
(9C)	0,036	-0,113	-0,381	0,081	0,156	0,190
(8C)	0,051	-0,268	-0,312	-0,002	0,229	0,224
*(7C)	0,095	0,064	0,065	0,743	0,088	0,577
(7B)	-0,129	-0,058	-0,051	-0,729	-0,134	0,572
(3C)	-0,232	0,140	0,096	-0,634	0,234	0,539
*(3B)	0,175	-0,111	-0,090	0,599	-0,224	0,461
*(6D)	0,091	0,075	0,081	-0,066	-0,627	0,418
*(4C)	0,097	0,291	-0,059	0,033	-0,584	0,440
(6C)	0,091	0,048	-0,129	-0,106	0,572	0,366
(4D)	-0,163	-0,170	0,077	0,012	0,503	0,314
(11A)	0,257	0,016	-0,077	-0,044	0,261	0,142
(10E)	0,014	-0,073	0,019	-0,017	-0,176	0,037
(6E)	-0,206	-0,148	0,100	0,176	0,116	0,119
(2D)	0,014	-0,043	0,036	-0,050	-0,034	0,007
Prozent der Varianz	9,517	8,329	5,451	6,883	6,403	36,584

Tabelle 2.2: Die Tabelle zeigt das Ergebnis einer Faktoranalyse mit Varimax-Rotation von den Testresultaten der Kontrollpopulation. Es wurden nur solche Antworten einbezogen, die von mindestens 10 Prozent der Schüler gewählt wurden.

nen Testantworten zugrunde liegen, auf die Spur zu kommen. Dazu werden mit ihrer Hilfe die Variablen (sie entsprechen hier den Antworten, die von mindestens 10 Prozent der Schüler gewählt worden sind) gemäß ihrer korrelativen Beziehungen in wenige, voneinander unabhängige Variablengruppen geordnet. Sie „liefert Indexzahlen (sog. Ladungen), die darüber informieren, wie gut eine Variable zu einer Variablengruppe paßt. Diese Indexzahlen stellen die Basis für interpretative Hypothesen über das Gemeinsame der Variablen einer Variablengruppe dar.“¹⁴ Die Faktoranalyse selbst ist natürlich nicht in der Lage, inhaltliche Aussagen über das Gemeinsame der Variablen einer Variablengruppe zu machen. Allerdings wird eine „synthetische“ Variable konstruiert, die mit den Variablen einer Variablengruppe so hoch wie möglich korreliert. Diese, das Gemeinsame einer Variablengruppe ausmachende, d.h. ihr zugrundeliegende theoretische Variable, wird als „Faktor“ bezeichnet. Jeder der so entstandenen Faktoren ist als Hilfsmittel zur Hypothesenbildung zu verstehen. In günstigen Fällen lassen sich die Faktoren also inhaltlich interpretieren, was in diesem Fall die Zuordnung gewisser Fehlvorstellungen zu den einzelnen Faktoren bedeuten würde.¹⁵ Falls das gelingt, läßt sich für jede Antwort aus den zugehörigen Faktorladungen ablesen, auf welche Fehlvorstellung(en) sie in welchem Maß zurückzuführen ist. Damit gibt sie aber auch Hinweise darauf, inwieweit eine einzelne Fehlvorstellung (ein einzelner Faktor) von den Schülern bei der Beantwortung mehrerer, unterschiedlicher Aufgaben herangezogen wird.

Tabelle 2.2 auf Seite 59 zeigt das Ergebnis einer Faktoranalyse mit anschließender Varimax-Rotation. Dabei wurden nur die Antwortmöglichkeiten als Variable eingebracht, die von mindestens 10 Prozent der Schüler angekreuzt wurden. Es läßt sich an ihr relativ schnell feststellen, daß gesicherte Aussagen kaum zu erwarten sind. Zunächst ist an den Kommunalitäten ersichtlich, daß die einzelnen Variablen durch die fünf Faktoren nur wenig aufgeklärt sind. (Wären sie ganz aufgeklärt, d.h. durch die Faktoren vollständig bestimmt, so würde die Kommunalität jeweils eins betragen.) Dies ließe sich beheben, wenn man die Anzahl der Faktoren nicht beschränken würde. Leider zeigt sich, daß für diesen Fall jede Aufgabe mindestens einen eigenen Faktor erhält. Dies bedeutet aber, daß die Faktoren überhaupt nicht mehr interpretiert werden können. Genauso verhält es sich mit der Varianz, die hier ersichtlich von jedem Faktor nur zu 6 – 9 Prozent aufgeklärt wird. Läßt man mehr Faktoren zu, so verringert sich der Prozentsatz noch. Diese so gewonnenen Faktorladungen sind also die „Besten“ die sich hier erreichen lassen. Wenn hier trotzdem versucht wird, die einzelnen Faktoren zu interpretieren, so stützt sich dieses Vorgehen auf folgende Tatsachen:

¹⁴aus [Bortz 93]

¹⁵Da es im Rahmen dieser Arbeit nicht darum gehen kann, statistische Verfahren zu beschreiben bzw. zu erklären, beschränkt sich der Autor auf diese kurze „Beschreibung“ dessen, was die Faktoranalyse leistet. Detaillierte Ausführungen zur Faktoranalyse und deren mathematische Grundlagen findet der interessierte Leser in [Bortz 93].

- Es waren relativ viele Schüler ($N=316$) an dem Test beteiligt.
- Die Interpretationen sind nicht aus der Luft gegriffen, sondern wurden (bis zu einem gewissen Grad) aus den Begründungen der Schüler geschlossen.

Faktor	Konzept
1	Konstantstromquelle
2	lokale Argumentation
3	Stromverbrauchsvorstellung
4	Verwechslung von Parallel- und Reihenschaltung
5	Die Spannung wird wie die Stromstärke behandelt

Tabelle 2.3: Die Tabelle zeigt eine mögliche Zuordnung von Fehlkonzepten zu den sich aus der Faktoranalyse ergebenden Faktoren.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, soll hier aber festgehalten werden, daß ausschließlich eine denkbare Interpretation geliefert wurde. Diese, also die Zuordnung der Fehlvorstellungen zu den Faktoren, stützt sich jeweils auf die in Tabelle 2.2 auf Seite 59 fettgedruckten, höchsten Faktorladungen. Die Auswertungen der zugehörigen Testantworten wurden daraufhin noch einmal durchgesehen und die entsprechenden Begründungen der Schüler zu Rate gezogen. Aus den dort für möglich gehaltenen, zugrundeliegenden Fehlvorstellungen wurde jeweils die ausgewählt, die am ehesten alle fraglichen Antworten erklärt. Diese wurde dann als die, dem Faktor zugrundeliegende Fehlvorstellung interpretiert. An dieser Stelle sollte noch erwähnt werden, daß diese Aufgabe keineswegs trivial war, denn auch hier sind wieder mehrere Lösungen denkbar. Eine dem Autor plausibel erscheinende Interpretation der Faktoren wird in Tabelle 2.3 auf Seite 61 wiedergegeben. Auf sie gestützt, ist es nun anhand der Faktorladungen möglich, Aufgaben herauszuarbeiten, deren Bearbeitung wesentlich von einer bestimmten Fehlvorstellung geprägt ist. Aus der durchweg sehr niedrigen, an der Kommunalität ersichtlichen Aufklärung der einzelnen Antworten durch die Faktoren¹⁶, ist aber deutlich abzulesen, daß das die absolute Ausnahme und keinesfalls die Regel ist. Dies ist also ein zusätzlicher Beleg dafür, daß Schüler in aller Regel nicht mit einem festen Fehlkonzept argumentieren, sondern bei den einzelnen Aufgaben im wesentlichen

¹⁶Im Idealfall, also bei totaler Aufklärung einer Antwort durch die Faktoren würde die Kommunalität 1,000 betragen.

jeweils neu und unabhängig von früheren Antworten entscheiden. Trotzdem lassen sich aus Tabelle 2.2 auf Seite 59 auf der Grundlage der hohen Faktorladungen jeweils die Antworten entnehmen, die im wesentlichen auf eine bestimmte Fehlvorstellung zurückzuführen sind.¹⁷ Dabei ist allerdings auf das Vorzeichen der Faktorladungen zu achten. Ein Vorzeichen (es kann das positive aber auch das negative sein) gibt an, in welchem Maß die zugehörige Antwort durch die entsprechende Fehlvorstellung bestimmt wird.¹⁸ Die Faktorladungen mit dem jeweils anderen Vorzeichen sind ein Maß für die Sicherheit, daß die zugehörige Antwort bei Anwendung des entsprechenden Fehlkonzeptes nicht gewählt wird. Um die Zuordnung der Vorzeichen zu ihren Bedeutungen für die einzelnen Faktoren zu erleichtern, wurden die richtigen Antworten in Tabelle 2.2 mit einem „*“ versehen.

2.3.14 Vergleich der Testergebnisse mit denen von Sokoloff

Bisher wurden die Testergebnisse der Kontrollpopulation für jede Aufgabe einzeln dargestellt. Um sie aber besser mit denen der Kontrollgruppe aus der Untersuchung von Sokoloff in den USA vergleichen zu können, werden die Resultate wie dort auch im Zusammenhang angegeben. Abbildung 2.27 auf Seite 63 gibt für jede Testfrage den Prozentsatz der richtigen Antworten der gesamten Kontrollpopulation an. Zunächst fällt auf, daß die Aufgaben (2), (5) und (11) die wenigsten richtigen Antworten erhalten haben. Sie wurden jeweils nur von erheblich unter 20 Prozent der 316 Schüler korrekt gelöst.

In Abbildung 2.28 auf Seite 64 sind die Prozentsätze der richtigen Antworten der 31 Studenten umfassenden Kontrollpopulation bei Sokoloff wiedergegeben. Auch bei den amerikanischen Studenten scheinen die Aufgaben (2), (5) und (11) die größten Schwierigkeiten zu bereiten. Allerdings fällt auf, daß bei Frage (5) über 20 Prozent von ihnen richtig antworten. Damit liegen sie hier deutlich über dem Durchschnitt der Kontrollpopulation dieser Arbeit. Sie scheinen also die Erkenntnis, daß eine Glühbirne kein Ohmscher Widerstand ist, besser verinnerlicht zu haben. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, daß diese Problematik im dortigen Lehrgang eventuell explizit angesprochen wurde.

Um einen besseren Vergleich zu ermöglichen, sind in Abbildung 2.29 auf Seite 65 die Ergebnisse beider Populationen direkt gegenübergestellt. Dabei fällt auf, daß die amerikanischen Studenten im Durchschnitt weniger richtige Antworten geben als die deutschen Schüler. Deutlich besser sind Sokoloffs Studenten nur bei Aufgabe (3), (7) und (wie bereits erwähnt) bei Aufgabe (5). Die Fragen (3)

¹⁷Dabei wird immer stillschweigend vorausgesetzt, daß man die hier vorgenommene Interpretation der Faktoren akzeptiert.

¹⁸Für die Faktoren 1 bis 4 ist das das negative Vorzeichen, während es für Faktor 5 das positive ist.

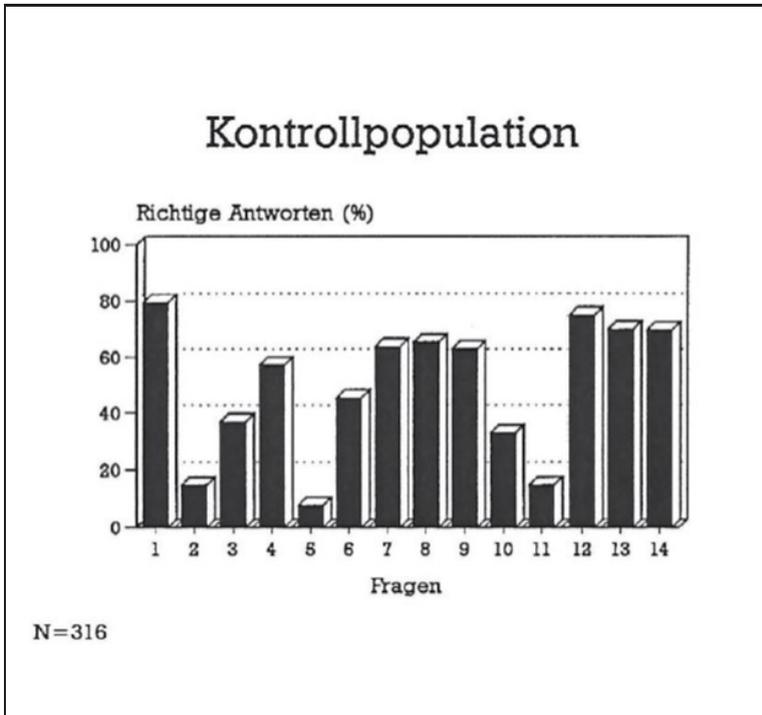


Abbildung 2.27: Das Antwortverhalten der 316 Schüler umfassenden Kontrollpopulation dieser Arbeit

und (7) beziehen sich jeweils auf die Helligkeit einer Glühbirne in einer einfachen Parallel- bzw. Reihenschaltung. Der Schluß, daß es den amerikanischen Studenten leichter falle, mit Helligkeiten zu argumentieren, wird allerdings durch Aufgabe (8) widerlegt, wo nach den Helligkeiten im etwas komplexeren Stromkreis (4) gefragt wird. Hier haben Sokoloffs Studenten um 40 Prozent weniger richtige Antworten gegeben als die deutschen Schüler. Es ist an dieser Stelle grundsätzlich festzuhalten, daß die Unterschiede im Testergebnis nur beschrieben werden können. Sichere Aussagen über die möglichen Gründe dafür sind nicht zuletzt deshalb nicht möglich, weil, wie bereits mehrfach angeklungen ist, richtige Antworten nicht unbedingt auf physikalisch korrekte Konzepte schließen lassen. Folglich kann es sich bei den bisherigen und folgenden Aussagen nur um Beschreibungen der Resultate bzw. bestenfalls um Vermutungen handeln.

Auch bei Aufgabe (1) ist die Diskrepanz der Prozentsätze richtiger Lösungen auffällig. Dies legt die Vermutung nahe, daß die um knapp 40 Prozent häufigere richtige Antwort der deutschen Schüler auf eine bessere Verinnerlichung der Tatsache, daß der Strom nicht verbraucht wird, zurückzuführen ist. Der Begriff „Verinnerlichung“ ist hier bereits zum zweiten Mal gefallen. Er scheint dem Autor an dieser Stelle geeigneter als die sonst übliche Bezeichnung „Verständnis“. Dies

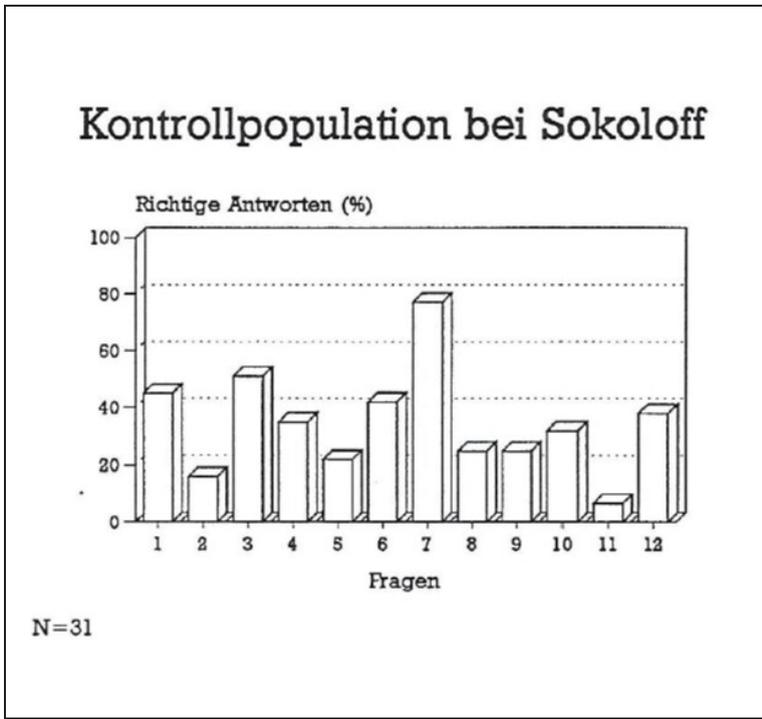


Abbildung 2.28: Das Antwortverhalten der 31 Studenten umfassenden Kontrollpopulation bei Sokoloff. Es ist bei jeder Aufgabe der Prozentsatz der richtigen Antworten aufgetragen.

begründet sich im wesentlichen darin, daß der Autor eher an das Abspeichern einer ständig wiederholten Lehreraussage als an ein Durchblicken des physikalischen Sachverhalts bei den Schülern glaubt. Der Hintergrund für diese These findet sich bereits in Abschnitt 2.3.1.

Weitere auffällig bessere Ergebnisse der Kontrollpopulation dieser Arbeit lassen sich bei den Aufgaben (4), (8), (9) und (12) beobachten. Diese Erkenntnisse sollen hier allerdings nicht gedeutet werden, da es schon bei den einzelnen Aufgaben fast unmöglich war, eindeutige Interpretationen zu liefern.

2.3.15 Zusammenfassung der Testergebnisse

Zum Abschluß des Kapitels über den durchgeführten Feldtest sollen an dieser Stelle noch einmal die wichtigsten Ergebnisse zusammengefaßt werden. Wie aus den Besprechungen der einzelnen Aufgaben schon hervorgegangen ist, gab es kaum nennenswerte Unterschiede im Antwortverhalten der Schüler der drei be-

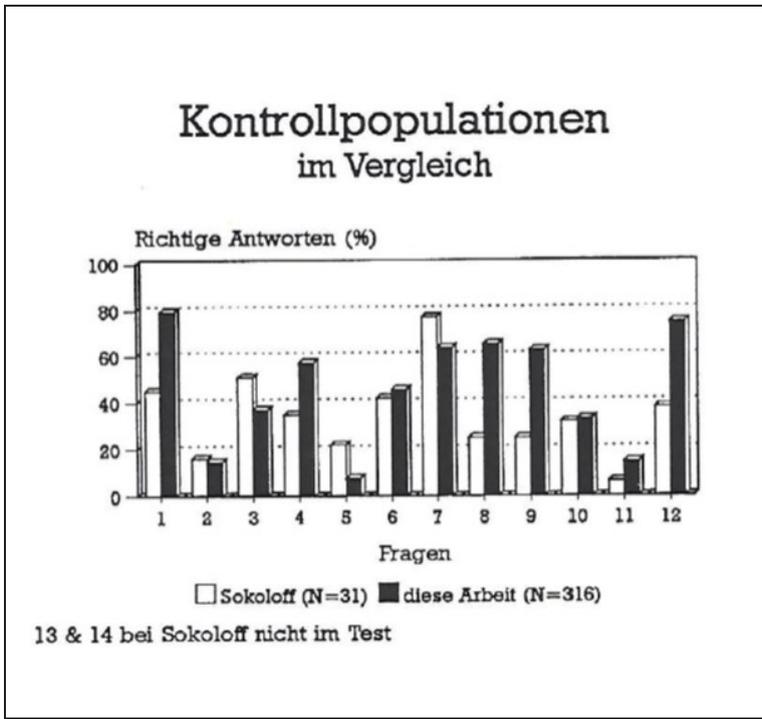


Abbildung 2.29: Vergleich des Antwortverhaltens der Kontrollpopulationen dieser Arbeit und bei Sokoloff. Es ist bei jeder Aufgabe der Prozentsatz der richtigen Antworten für jede Population aufgetragen.

teiligten Jahrgangsstufen. Abbildung 2.30 auf Seite 66 zeigt noch einmal für jede Aufgabe die Prozentsätze richtiger Lösungen der 10. Klassen, der 11. Klassen und der Leistungskurse Physik im direkten Vergleich. Dabei ist sicher am interessantesten, daß die Schüler der Physik-Leistungskurse aus Kursphase 12/1 praktisch die gleichen Schwierigkeiten haben wie die anderen Schüler. Damit wird folgendes ziemlich offensichtlich: **Die Schülerfehlvorstellungen sind unabhängig vom Alter, und Schüler in Physikleistungskursen unterscheiden sich in ihren Fehlvorstellungen und deren Anwendung in keiner Weise von anderen Schülern.**

Ein noch wichtigeres Ergebnis ist vielleicht bekannt, wird aber, so scheint es dem Autor, in der allgemeinen Unterrichtspraxis noch viel zu wenig berücksichtigt. **Mit Fehlkzepten lassen sich auch richtige Ergebnisse bzw. Vorhersagen erzielen.** Dies bedeutet, daß Lehrer von richtigen Schüleraussagen noch nicht auf das „richtige“ Verständnis schließen dürfen. Es ist mit anderen Worten notwendig, die **Schüler im Unterricht zur Begründung ihrer Vor-**

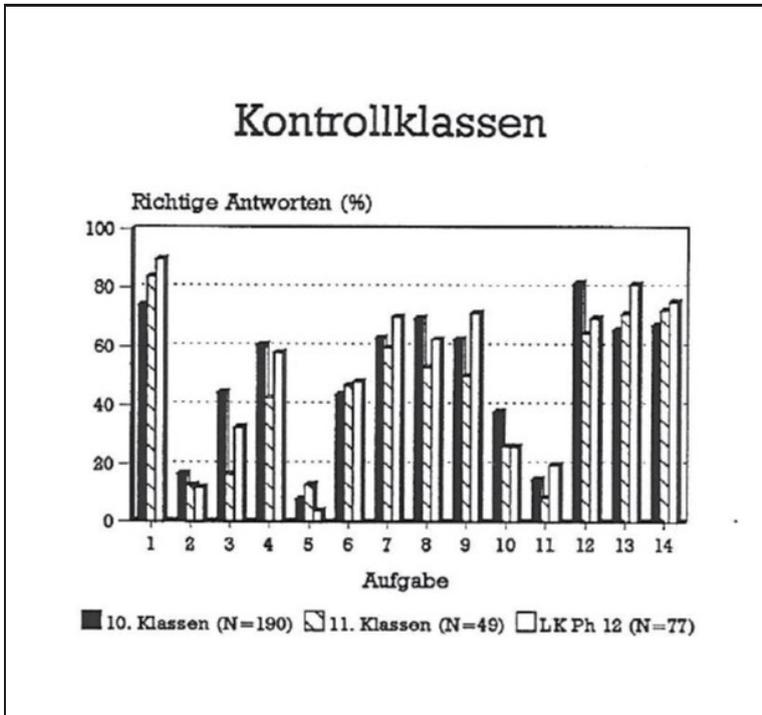


Abbildung 2.30: Das Antwortverhalten der verschiedenen Jahrgangsstufen der Kontrollpopulation dieser Arbeit im direkten Vergleich. Es ist bei jeder Aufgabe der Prozentsatz der richtigen Antworten aufgetragen.

hersage bzw. ihrer Antwort aufzufordern, auch wenn sie korrekt war. Denn es besteht oft die Gefahr, daß der Lehrer aus Freude über die (endlich) richtige Antwort das dahintersteckende Fehlkonzept nicht bemerkt bzw. hinterfragt und so unbewußt (auch durch Lob!) die Fehlvorstellung beim Schüler verfestigt.

Auch bei dieser Testauswertung ist eines sehr deutlich geworden: **Eine eindeutige Zuordnung von einem Fehlkonzept zu einem Schüler ist nicht möglich.** Vielmehr scheinen die meisten ihr Antwortkonzept je nach Situation bzw. Fragestellung zu wechseln oder mit anderen Konzepten zu kombinieren. Letzteres läßt sich gut mit den Ergebnissen der Faktoranalyse belegen. Daraus läßt sich sofort folgern, daß es wenig sinnvoll ist, ein Fehlkonzept „austreiben“ zu wollen. Vielmehr ist es notwendig, den Schülern die Möglichkeit des eigenständigen Erkenntnisprozesses zu bieten, so daß sie ein Verständnis für das entwickeln können, was sie sonst bestenfalls neben ihren Fehlkonzepten abspeichern.

Festzuhalten bleibt noch folgendes: **Die meisten Schüler haben Schwierigkeiten, ihre Antwort jeweils zu begründen bzw. die Begründung schriftlich auszudrücken.** Will man hier keine absolute Konzeptlosigkeit un-

terstellen, so bleibt die Vermutung, daß nur sehr wenige Schüler in der Lage sind, physikalische Sachverhalte (bzw. ihre Sicht davon) angemessen schriftlich auszudrücken. Wenn sich dies bewahrheiten sollte, stellt sich die Frage, ob man die Schüler nicht häufiger zu schriftlichen Begründungen anhalten sollte. Damit ließen sich zwei positive Effekte erzielen. Zum einen bietet man ihnen die Chance zur Einübung von Formulierungen, und gleichzeitig werden sie gezwungen, über ihre eigenen Konzepte nachzudenken und diese so vielleicht in Frage zu stellen.

Kapitel 3

Unterrichtsmaterial

Aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen über Schülerfehlvorstellungen soll nun ein Unterrichtsansatz entwickelt werden. Er soll den Schülern helfen, sich ihre (Fehl-)Vorstellungen bewußt zu machen, ihnen Erfahrungen bieten, die ihnen die geringe Tragfähigkeit ihrer Konzepte vor Augen führt und ihnen schließlich die Chance geben, selbständig physikalisch tragfähige Vorstellungen zu entwickeln. Inwieweit dieses Ziel zu erreichen ist, wird die Praxis zeigen. Trotzdem darf die Meßplatte nicht niedriger angesetzt werden, weil sonst praktisch keine Aussicht besteht, ein physikalisches Verständnis bei Schülern zu erreichen. In dieser Arbeit wird ein zweigeteilter Unterrichtsansatz vorgestellt. Im ersten Teil findet ein Klassengespräch statt und daran anschließend werden Schülerübungen in Kleingruppen durchgeführt. Bevor nun allerdings das Unterrichtskonzept dieser Arbeit im einzelnen geschildert wird, soll hier zunächst auf die dazu benötigten Materialien eingegangen werden, um eine Grundlage für die Besprechung des geplanten Unterrichts zu schaffen. Benötigt wurden geeignete Computerprogramme, Schaltelemente und Meßadapter, die folglich hergestellt bzw. ausgewählt werden mußten. Die Programme sind alle in der Umgebung Pakma in Comal mit Pakmaerweiterungen geschrieben. (Pakma ist eine Entwicklung des Lehrstuhls Didaktik der Physik an der Universität Würzburg.) Sie laufen im Augenblick unter der Amigaversion von Pakma auf Amiga-Rechnern. (Die C64-Version des Pakma ist in [Heuer 86] und [Heuer 88] umfangreich dokumentiert.) Um die Übernahme von externen Daten, ähnlich wie beim C64, auch beim Amiga zu ermöglichen, wurde am Lehrstuhl Didaktik der Physik der Universität Würzburg eine spezielle Karte entwickelt. Sie entspricht dem an den USER-Port anzuschließenden Adapter für den C64. Dieser Adapter und alle sonstigen in der Arbeit benutzten Karten sind in [Heuer 86] beschrieben und werden dort in ihrer Funktionsweise erklärt. Im weiteren Text wird nicht gesondert darauf verwiesen.

Im folgenden soll auf den Entstehungsprozess der vorliegenden Ausführungen und einige wesentliche Details eingegangen werden. Außerdem werden die benötigten Materialien (soweit noch nicht anderweitig erfolgt) ausführlich beschrieben.

3.1 Computerprogramm zur Echtzeiterzeugung von Pfeildiagrammen

Beabsichtigt war, ein Programm zu erstellen, das folgende Funktionen erfüllt:

1. Es soll den Schülern helfen, Konzepte zu entwickeln, mit denen sie Vorgänge in Gleichstromkreisen vorhersagen und erklären können. Dabei wird nicht auf Analogien zurückgegriffen, sondern der Versuch unternommen, durch eine bildliche Veranschaulichung der Vorgänge im realen Stromkreis Ein-sichten bei den Schülern zu erreichen.
2. Es soll mit Hilfe von anschaulichen Pfeildiagrammdarstellungen der Vor-stellungswelt der Schüler relativ einfach zugänglich sein. Dadurch soll die kognitive Hürde zur Ausbildung eines Spannungs- bzw. Stromkonzepts ver-ringert werden.
3. Es soll jederzeit einen Überblick über die Vorgänge im gesamten Strom-kreis bieten und dadurch den Schülern das Erkennen von Zusammenhängen ermöglichen. Auf diese Weise soll lokalem und sequentiellm Denken entge-gengewirkt werden.
4. Es soll in Echtzeit Messungen an einem realen Gleichstromkreis durchführen und die Auswertung grafisch ausgeben können. So soll es den Schülern ermöglicht werden, das reale Geschehen und die Bildschirmausgabe direkt in Beziehung zu setzen.

Am Lehrstuhl Didaktik der Physik an der Universität Würzburg wurde schon seit Jahren im Rahmen der Programmentwicklung von Pakma mit Pfeildiagrammen zur Veranschaulichung von physikalischen Gegebenheiten experimentiert. Ein kleiner Überblick findet sich in [Heuer 92a]. Im Rahmen dieser Arbeit ging es im wesentlichen darum, die Grafikausgabe eines in [Heuer 93b] kurz vorgestellten, bereits existierenden Programms zu erweitern. Im zugrundeliegenden, von Prof. Dr. D. Heuer entwickelten Programm waren die grundlegenden Meßroutinen und die grafische Darstellung von Spannung und Stromstärke als Pfeildiagramme bereits enthalten. Abbildung 3.1 auf Seite 70 zeigt zwei Bildschirmausgaben dieses Programms.¹ Ein Vergleich mit den Bildschirmausgaben der Weiterentwicklungen im Rahmen dieser Arbeit macht die Unterschiede deutlich. So wurden die vorhandene Bildschirmausgaben, die für Schaltskizze, Spannungs- und Stromstärkepfeildiagramm jeweils nur aus einem Ausschnitt aus dem Stromkreis bestanden, in allen drei Ausgabeteilen zum Gesamtstromkreis ergänzt. Desweiteren wurde die Möglichkeit geschaffen, die Umpolung der Spannungsquelle, die Unterbrechung des Stromkreises und das Entfernen eines Widerstandes sowohl in ihren Auswirkungen auf Strom- und Potentialverlauf als auch auf die Schaltskizze grafisch darzustellen.

¹Diese Abbildung wurde aus [Heuer 93b] übernommen.

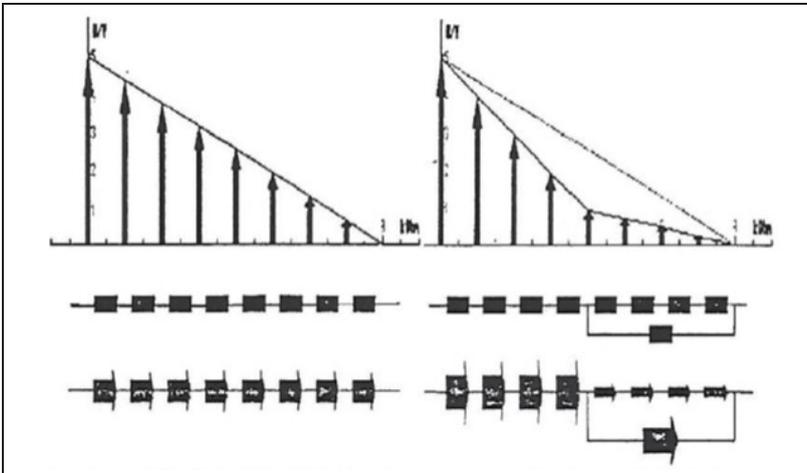


Abbildung 3.1: Zwei Grafikbeispiele des den beiden Programmen „E-Kette-U“ und „E-Kette-Pot“ zugrundeliegenden Programms.

Im folgenden werden nun zwei aus dem ursprünglichen Programm entstandene Programmversionen ausführlich beschrieben. Die hier zuerst erläuterte Version „E-Kette-U“ ist, auf Anregung von StR W. Reusch zusätzlich zu dem zunächst entwickelten Programm „E-Kette-Pot“ entstanden. Dabei lag die Überlegung zugrunde, daß es schwierig sein dürfte, die Schüler in der kurzen, zur Verfügung stehenden Zeit mit der Spannungsdarstellung in „E-Kette-Pot“ vertraut zu machen. Dies vor allem deshalb, weil die betroffenen Schüler nicht bzw. nicht genügend mit dem Potentialbegriff vertraut waren, die Spannungsdarstellung in diesem Programm aber das Potential über jedem Punkt des Kreises als Höhenlinie darstellt. Nähere Einzelheiten zu den unterschiedlichen Darstellungen der Spannungspfeildiagramme in den beiden Programmen finden sich in den folgenden Abschnitten.

3.1.1 Das Programm „E-Kette-U“

Bevor hier das Programm „E-Kette-U“ selbst besprochen wird, soll zunächst auf einen limitierenden Faktor bei dessen Benutzung eingegangen werden. Wegen der festgelegten acht Kanäle der Achtkanal-AD-Wandlerkarte läßt sich nämlich nicht jeder beliebige Stromkreis auswerten. Diese Karte ist aber notwendig zur Übertragung der gemessenen, analogen Signale in für den Computer verarbeitbare digitale. Dies hat zur Folge, daß im zu messenden Stromkreis nur wenige Meßpunkte möglich sind. Aus diesem Grund muß man sich auf einen „Grundstromkreis“ beschränken. Er besteht aus einer stabilisierten 5V-Spannungsquelle und einer mit ihr verbundenen Reihenschaltung von sieben identischen $1\text{k}\Omega$ -Widerständen. Am Anfang und am Ende der Widerstandskette sowie zwischen je zwei Widerständen befindet sich jeweils ein Meßabgriff, ein weiterer sitzt zur Erfassung des Bezugspotentials beim negativen Pol der Spannungsquelle. Das Programm arbeitet aus-

schließlich mit den Spannungen, die jeweils zwischen einem Meßabgriff und dem Bezugspotential abfallen.

Darstellung des aktuellen Schaltbildes

Aus didaktischen Überlegungen erschien es notwendig, den realen Stromkreis mit allen Meßabgriffen in einer eigenen Grafik auf dem Bildschirm nachzubilden. Dies erleichtert den Schülern die Zuordnung der Computergrafik zum realen Stromkreis. Aus demselben Grund war es natürlich auch notwendig, Veränderungen am realen Stromkreis gleichzeitig auch auf dem Bildschirm darzustellen. Um das zu realisieren, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Die eine wäre, an jedem Widerstand sowohl die anliegende Spannung als auch die Stromstärke getrennt zu messen. Dies würde aber wegen der festgelegten acht Kanäle der AD-Wandlerkarte bedeuten, daß man sich auf drei in Reihe geschaltete Widerstände im „Grundstromkreis“ beschränken müßte. Ein so kleiner Stromkreis wäre aber einer allgemeinen Konzeptbildung nicht dienlich. Die zweite Möglichkeit ist die, sieben identische, konstante Widerstände im „Grundstromkreis“ zu verwenden. Es wird dann nur jeweils die Spannung gemessen und die Stromstärke intern über das Ohmsche Gesetz und den bekannten Widerstand berechnet. Jede Veränderung der Potentialhöhe vor und nach einem Widerstand, die nicht auf beiden Seiten gleichmäßig (d.h. gleiches Vorzeichen und gleicher Betrag) stattfindet, wird als Parallelschaltung eines weiteren Widerstandes zu den Beteiligten aufgefaßt. Entsprechend wird in der Schaltung auf dem Bildschirm ein Parallelzweig mit einem Widerstand zu den betreffenden Widerständen dargestellt.

Die Spannungsquelle wird durch das Batterieschaltymbol in schwarz symbolisiert und die Leitungen des „Grundstromkreises“ sind in grün gehalten. Alle Widerstände werden als liegende Balken gleicher Höhe und Breite ausgegeben. Die sieben Widerstände im „Grundstromkreis“ sind einheitlich rot, und der Parallelwiderstand sowie die Leitungen des Parallelzweiges sind in einem korrespondierenden Orangeton gehalten. Entsprechend den Farben der Meßstecker in der realen Schaltung sind die Meßabgriffe als grüne Punkte und der Abgriff des Bezugspotentials als gelber Punkt dargestellt.

Alles bisher Beschriebene wird als Schrägbilddarstellung in der Mitte des dreigeteilten Ausgabefensters ausgegeben. Das obere Drittel wird für die Darstellung des Potentialverlaufs verwendet, das untere für die Strompfeildarstellung. Die Ausgabe des Schaltbildes erfolgt automatisch beim Start des Programms. Desweiteren wird der Stromkreis alleine immer dann ausgegeben (und vorher der Bildschirm gelöscht), wenn man eine beliebige, nicht explizit als Eingabetaste vorgesehene Taste drückt. Einen Überblick über die Tastenfunktionen gibt Tabelle B.1 im Anhang auf Seite 203. Abgesehen von Taste O (auf ihre Funktion wird später eingegangen) wird beim Drücken jeder vorgesehenen Befehlstaste auch der Stromkreis ausgegeben. Grundsätzlich wird der Bildschirm immer dann gelöscht und neu aufgebaut, wenn sich auf einem Kanal die gemessene Spannung

verändert ($|\Delta U| > 0,05V$). Drückt man die Taste **B** (für: „Beide Grafiken“), dann werden auf dem Bildschirm von oben nach unten der Potentialverlauf, das Schaltbild und das Pfeildiagramm für die Stromstärke ausgegeben. Mit den Tasten **Q** (für: „Quit“) bzw. **ESC** kann man das Programm beenden. Drückt man anschließend (noch einmal) Taste **ESC**, so verläßt man das Programm und gelangt in das „Amiga Comal Command Window“. Alle weiteren Tastenfunktionen werden in den beiden nächsten Abschnitten erklärt. Es sollte hier nur noch erwähnt werden, daß mit jedem Tastendruck der Bildschirm gelöscht und neu aufgebaut wird.

Grafische Darstellung des Potentialverlaufs

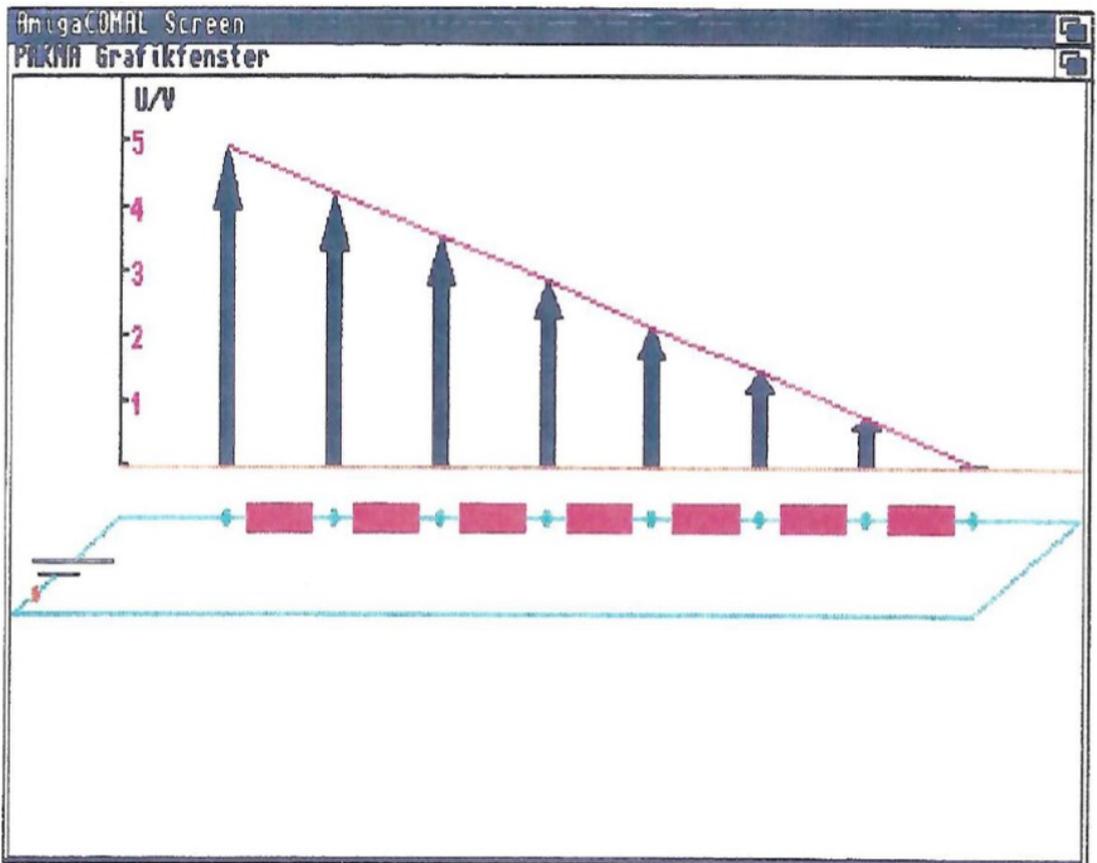


Abbildung 3.2: Der Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-U“ zeigt das vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Pfeildiagramm des Potentialverlaufs. Diese Darstellung erscheint immer, wenn die Taste **U** während des Programmlaufs gedrückt wird.

Drückt man die Taste **U** (für: „Spannungsdarstellung“), dann erscheint im oberen Drittel des Bildschirms die grafische Darstellung des aktuellen Potentialverlaufes

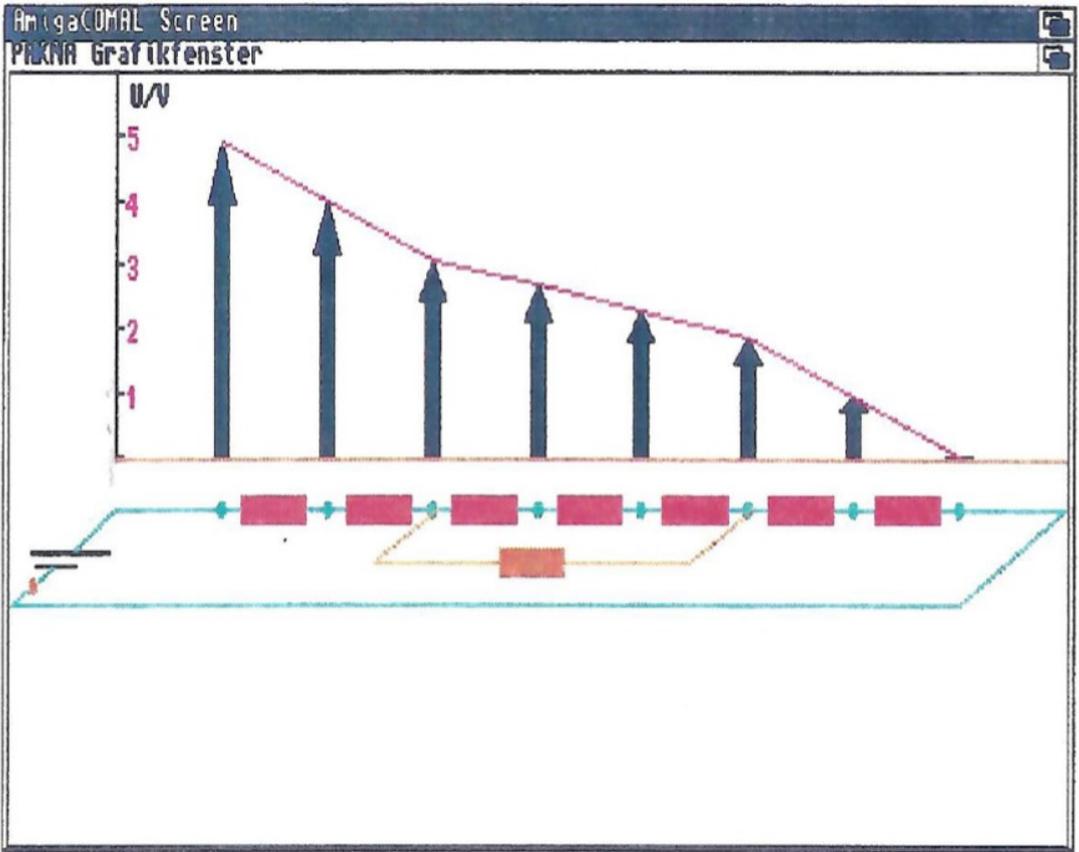


Abbildung 3.3: Der Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-U“ zeigt das vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Pfeildiagramm des Potentialverlaufs. In diesem Fall wurde der „Grundstromkreis“ um einen Nebenschluß erweitert.

im Stromkreis (vgl. Abbildung 3.2 auf Seite 72). An der Stelle der Meßpunkte in der darunterliegenden Schaltskizze werden hier schwarze Pfeile gezeichnet, die von einer gemeinsamen Grundlinie beginnend senkrecht nach oben weisen. Dabei entspricht die Pfeillänge jeweils dem Betrag des Potentials am korrespondierenden Meßpunkt. Die Grundlinie ist im gleichen Gelb gehalten, wie der Bezugspotentialmeßpunkt im oben beschriebenen Schaltbild. Auf diese Weise kann man jede Pfeillänge als die zwischen dem jeweiligen Meßpunkt und dem Bezugspotential anliegende Spannung deuten. Die Pfeilspitzen sind mit einer violetten Linie untereinander verbunden, die eine idealisierte Potentiallinie darstellt. Über jedem Widerstand hat sie nämlich ein konstantes Gefälle. Das ist natürlich nicht notwendigerweise der Fall. Links neben der gerade beschriebenen Grafik ist eine Spannungsskala angebracht, so daß man an den Spitzen der Pfeile jeweils den Wert der zwischen zugehörigem Meßpunkt und Bezugspotential anliegenden Spannung in

Volt ablesen kann. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, einen Punkt der Spannungsgrafik mit der Maus anzuwählen. Für diesen Punkt erscheint dann in der Kopfzeile des Pakma Grafikfensters der korrespondierende Spannungsbetrag als y-Wert des Punktes. Abbildung 3.3 auf Seite 73 zeigt das Spannungspfeildiagramm für den Grundstromkreis mit einem Nebenschluß.

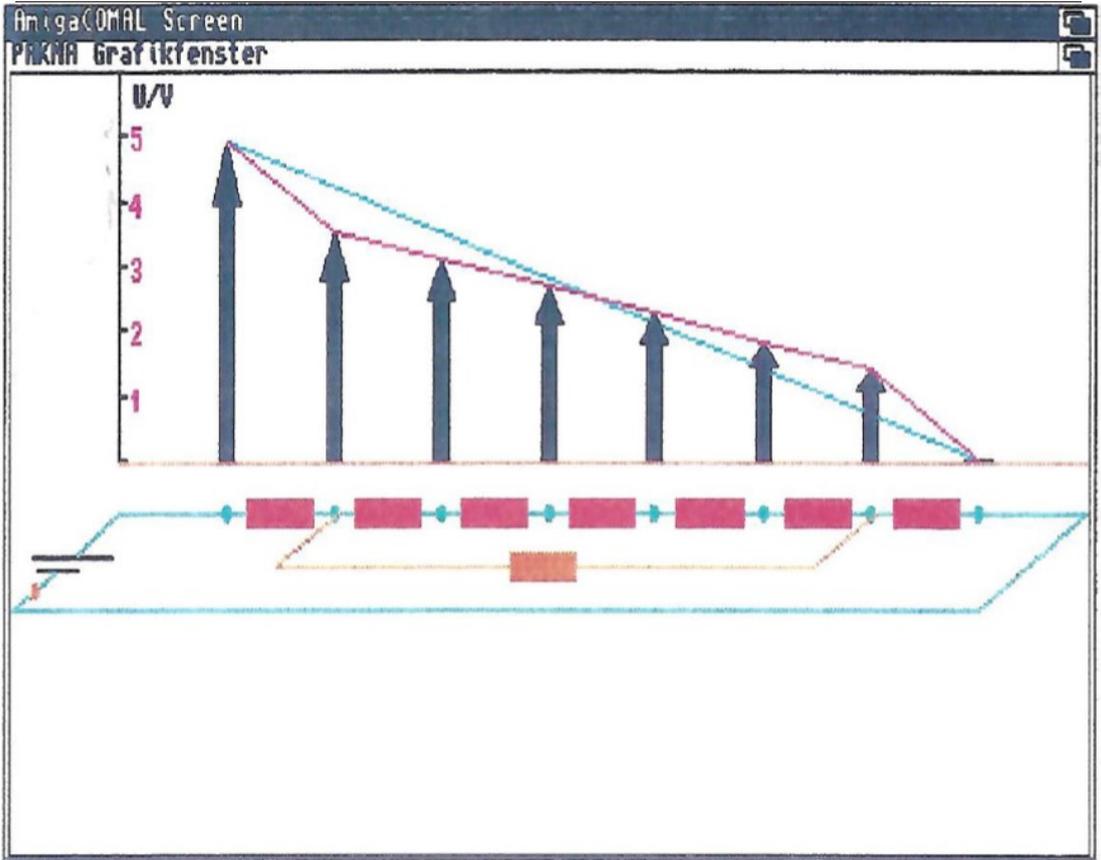


Abbildung 3.4: Der Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-U“ zeigt das vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Pfeildiagramm des Potentialverlaufs. Zusätzlich wird die Potentiallinie eingezeichnet, die sich ohne Nebenschluß ergeben würde. Diese Darstellung erscheint immer, wenn die Taste **G** während des Programmlaufs gedrückt wird.

Drückt man die Taste **G** (für: „Gerade“), dann ergibt sich das gleiche Bild wie bei Betätigung der Taste **U**, allerdings mit folgendem Zusatz: Es wird über den sieben konstanten Widerständen zusätzlich in hellblau die Potentiallinie mit konstantem Gefälle (Gerade) eingezeichnet, die sich bei Messung am „Grundstromkreis“ ohne Nebenschluß ergeben würde. Dadurch lassen sich Veränderungen am Gefälle der Potentiallinie leichter erkennen. Abbildung 3.4 auf Seite 74 zeigt die sich für diesen Fall ergebende Bildschirmausgabe. Drückt man die Ta-

ste (für: „Ohne Schaltskizze), dann wird das Schaltbild im mittleren Drittel des Bildschirms nicht mitgezeichnet. Ansonsten ergibt sich eine Darstellung wie beim Drücken der Taste . Diese Funktion ist systembedingt notwendig. Da das System jede Potentialänderung an einem Meßpunkt auf einen Nebenschluß zurückführt, wird bei auch bei jeder Potentialänderung ein Nebenschluß im Schaltbild eingezeichnet. Dies ist unerwünscht, wenn man einen der $1k\Omega$ -Widerstände im „Grundstromkreis“ durch einen Widerstand mit anderem Wert ersetzt. Blendet man nun mit Taste das Schaltbild aus, so kann man widerspruchsfrei den richtigen Potentialverlauf für diesen Fall betrachten und analysieren.

Grafische Darstellung der Stromstärke

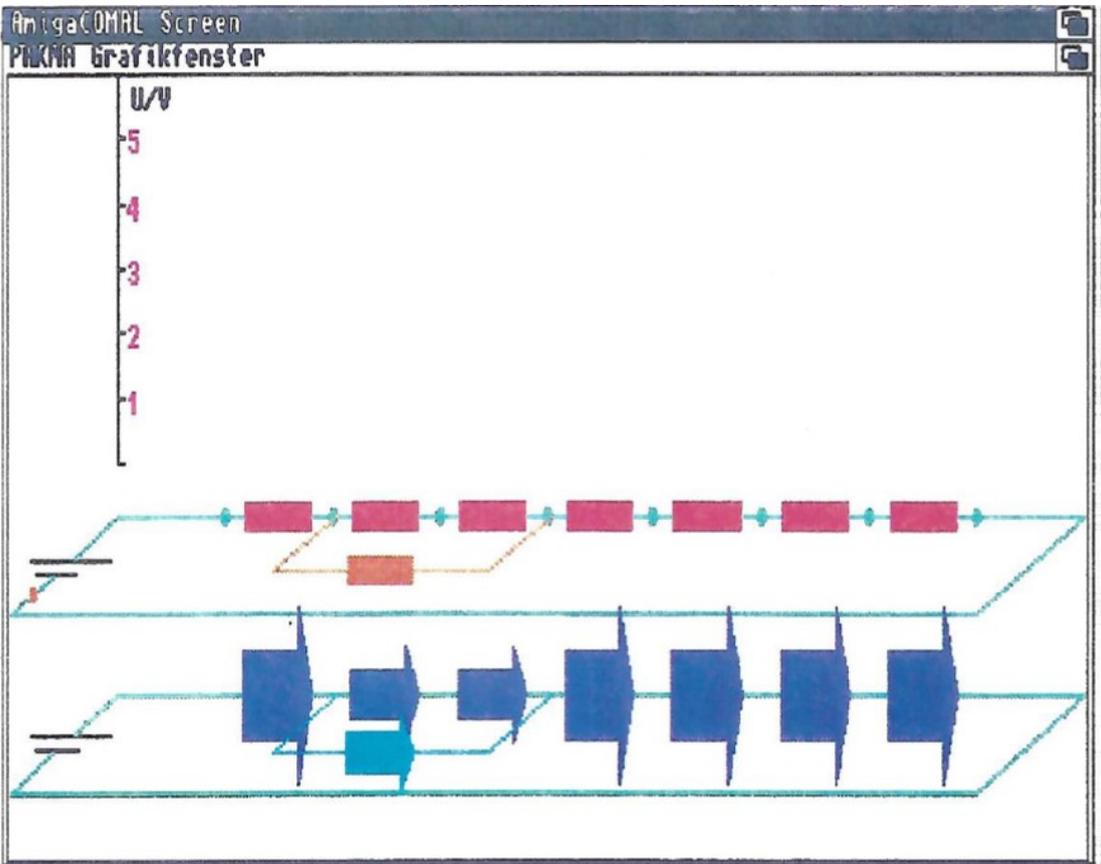


Abbildung 3.5: Der Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-U“ zeigt das vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Pfeildiagramm der Stromstärke im Kreis. In diesem Fall wurde der Grundstromkreis um einen Nebenschluß erweitert.

Drückt man die Taste **I** (für: „Stromstärkedarstellung“), dann erscheint im unteren Drittel des Bildschirms die grafische Darstellung der Stromstärke durch die einzelnen Widerstände im Kreis. Sie besteht zunächst aus der Schrägbilddarstellung des „Grundstromkreises“ ohne die Widerstandsbalken. An deren Stelle werden jeweils dunkelblaue Pfeile angebracht, die in technische Stromrichtung zeigen und deren Breite der Stromstärke durch den Widerstand entspricht. Wird nun ein Nebenschluß im realen Stromkreis hergestellt, so wird zusätzlich ein entsprechender Parallelzweig eingezeichnet. An der Stelle des Nebenschlußwiderstandes wird ein hellblauer Pfeil ausgegeben, dessen Breite wieder die durch ihn fließende Stromstärke anzeigt. Abbildung 3.5 auf Seite 75 zeigt ein Beispiel der resultierenden Ausgabe für den „Grundstromkreis“ mit einem Nebenschluß.

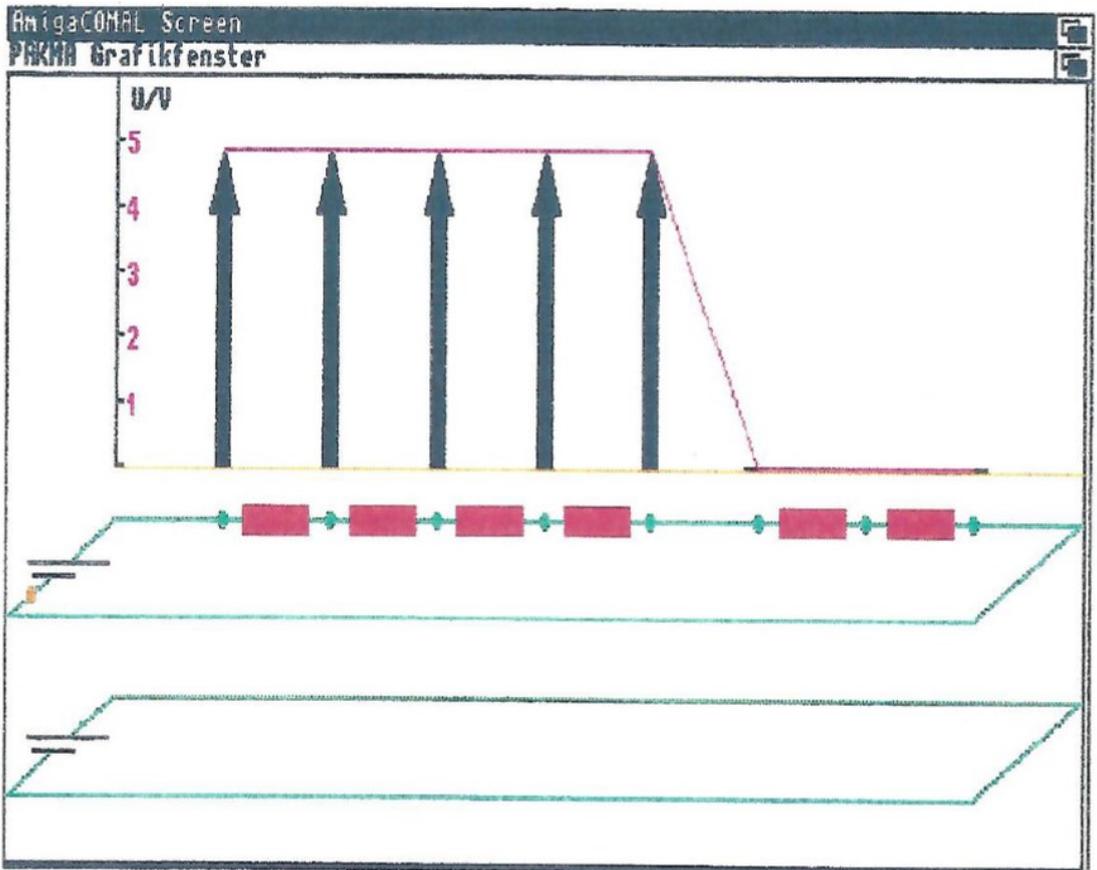


Abbildung 3.6: Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-U“ nach Entfernen eines Widerstandes aus dem „Grundstromkreis“ und Drücken der Taste **B** (Reihenfolge beliebig)

Um die Möglichkeiten des Programms anzudeuten, zeigt Abbildung 3.6 auf Seite 76 die Bildschirmausgabe, die entsteht, wenn man einen Widerstand aus dem

„Grundstromkreis“ entfernt, damit den Kreis unterbricht und Taste B drückt. Dabei ist es wie immer unerheblich, in welcher Reihenfolge diese Vorgänge ausgeführt werden, da das Programm auf Veränderungen jeglicher Art sofort reagiert. Der Bildschirm wird dann gelöscht und den aktuellen Meßwerten entsprechend in der durch den Tastendruck festgelegten Form neu aufgebaut. In diesem speziellen Fall fließt natürlich kein Strom mehr, was sich schön an den nicht mehr vorhandenen Strompfeilen im unteren Drittel des Bildschirms ablesen läßt. Die Spannung fällt nun komplett an der durch den fehlenden Widerstand entstandenen Lücke im Stromkreis ab. Mit anderen Worten ist das Potential zwischen dem positiven Pol der Spannungsquelle und der Lücke im Stromkreis überall konstant. Die schwarzen „Potentialpfeile“ sind demnach auf diesem Stück auch alle gleich lang, und ihre Länge entspricht der von der Quelle gelieferten Spannung. Zwischen dem negativen Pol der Spannungsquelle und der Lücke im Stromkreis ist das Potential überall konstant gleich Null. Folglich haben auch die zugehörigen „Potentialpfeile“ die Länge Null. Es lohnt sich wirklich, diese Tatsachen im Detail herauszuarbeiten und gemeinsam mit den Schülern zu deuten, denn die Erfahrung lehrt, daß Schüler gerade bei diesem Sachverhalt große Schwierigkeiten haben.

3.1.2 Das Programm „E–Kette–Pot“

Für solche Schüler, die mit dem Potentialbegriff vertraut sind, oder die schon mit dem Programm „E–Kette–U“ gearbeitet haben, bietet das Programm „E–Kette–Pot“ die Möglichkeit, ein noch tieferes Verständnis für den Spannungsbegriff zu erarbeiten. Wie diese Einführung zu Recht vermuten läßt, liegen die Unterschiede zum Programm „E–Kette–U“ im wesentlichen im Bereich der Pfeildiagrammdarstellung für die Spannung. Hier besteht sie nämlich zunächst aus der Schrägbild-darstellung des „Grundstromkreises“ wie im mittleren Drittel des Bildschirms, allerdings ohne die Widerstandsbalken. An der Stelle der grünen Meßpunkte stehen die „Potentialpfeile“, wie bei Programm „E–Kette–U“ beschrieben, senkrecht auf dem skizzierten Stromkreis, wodurch sie hier allerdings die dritte Dimension eröffnen. Desweiteren wird über jedem Punkt des „Grundstromkreises“ in der dritten Dimension die Potentiallage eingezeichnet. Insgesamt ergibt das eine Potentiallinie in Form einer violetten Höhenlinie. Auf diese Weise läßt sich jederzeit der Potentialverlauf im gesamten Kreis mit allen seinen Änderungen beobachten. Dies eröffnet völlig neue Möglichkeiten. Beispielsweise läßt sich erkennen, daß bei Unterbrechung des Kreises an einer Stelle dort die Gesamtspannung abfällt. Über der Spannungsquelle ist auch eine idealisierte Potentiallinie dargestellt. Hier wird wieder postuliert, daß das Potential beim Durchlaufen der Spannungsquelle vom Minus- zum Pluspol linear ansteigt. Dies ist natürlich nicht notwendigerweise der Fall, dient aber der Anschauung. Einen direkten Vergleich der von den beiden Programmen erzeugten, vollständigen grafischen Darstellungen bietet die Abbildung 3.7 auf Seite 78.

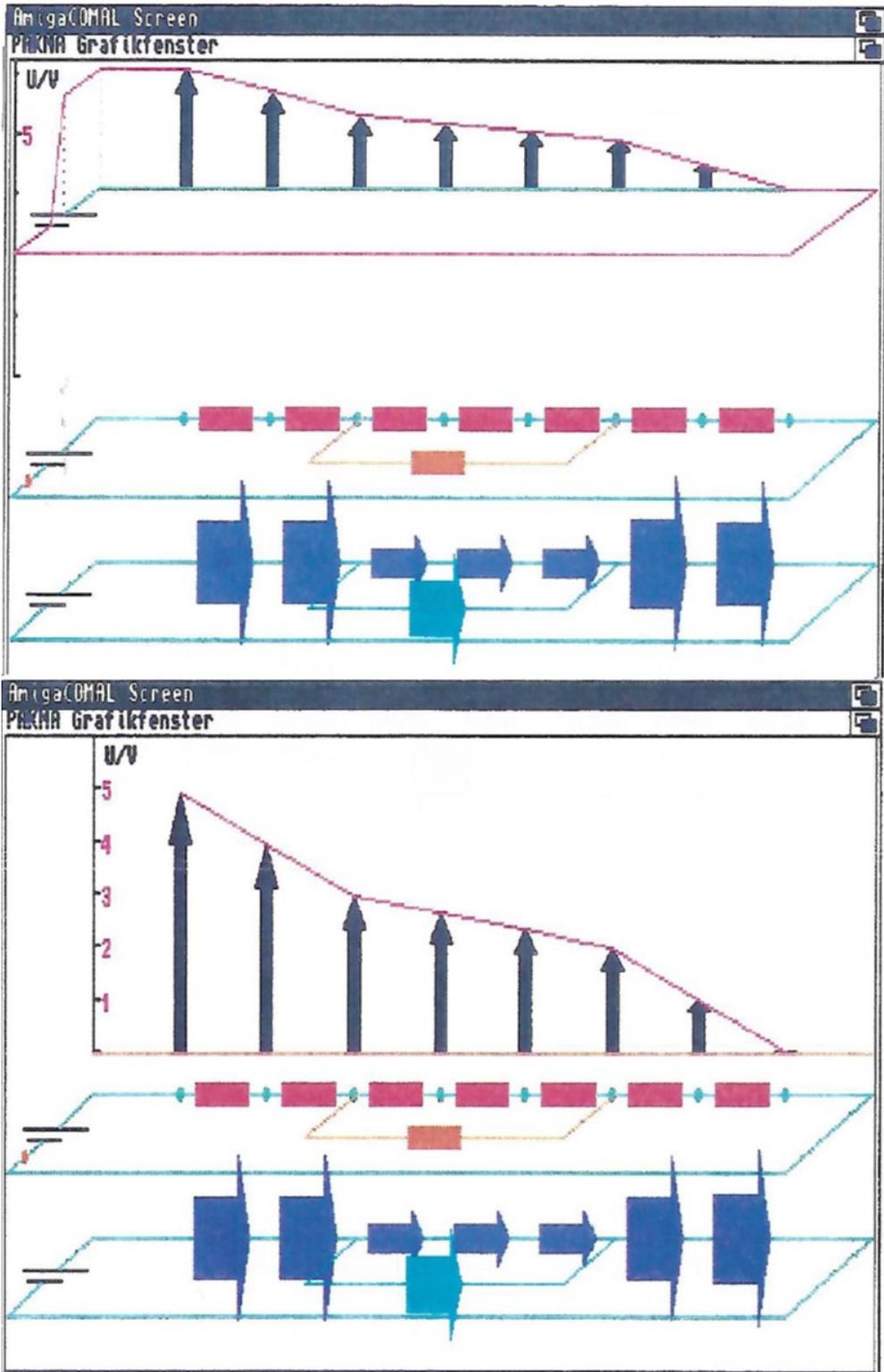


Abbildung 3.7: Bildschirmausdrucke der Programme „E-Kette-Pot“ und „E-Kette-U“ bei Tastendruck **[B]** im direkten Vergleich. (oben: „E-Kette-Pot“; unten: „E-Kette-U“)

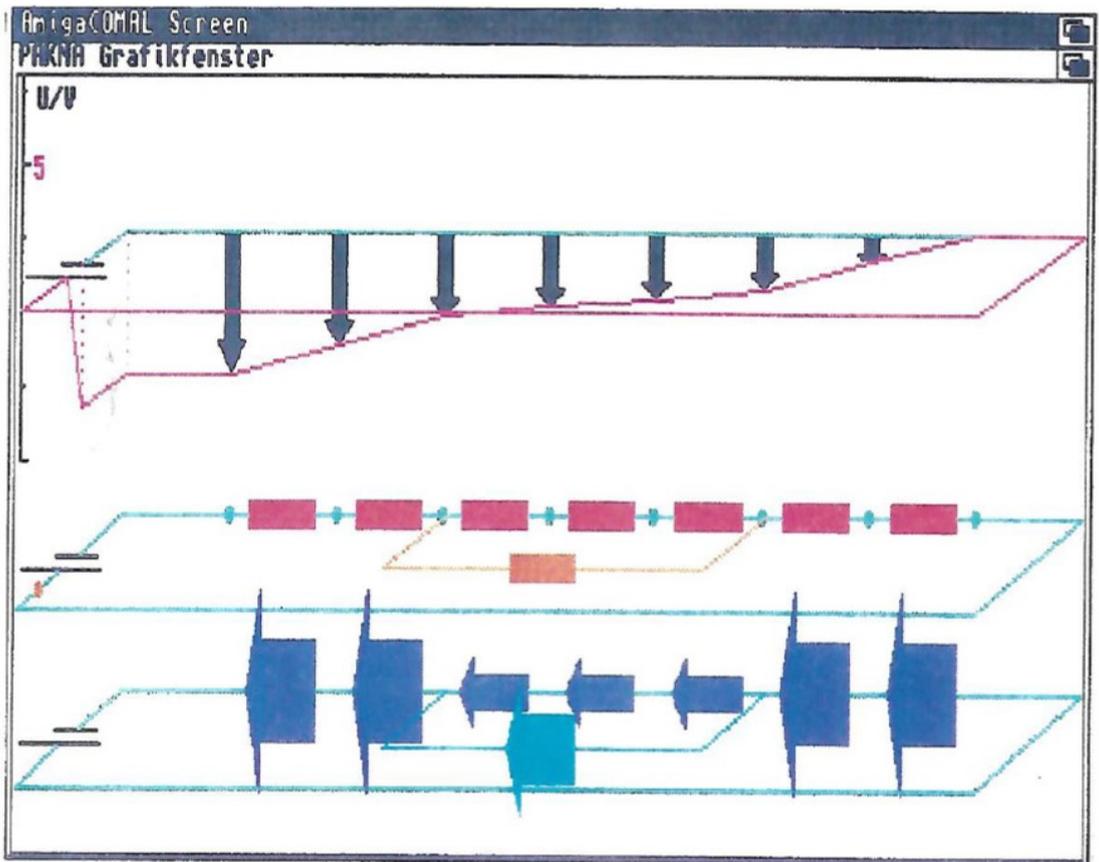


Abbildung 3.8: Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-Pot“, wie er sich nach dem Umpolen der Spannungsquelle und Drücken der Taste **B** (Reihenfolge beliebig) ergibt

Mit diesem Programm läßt sich auch das Verhalten von Strom und Spannung beim Umpolen der Spannungsquelle beobachten. Wird durch Vertauschung der Anschlüsse umgepolt, so fällt die violette Potentiallinie beim Öffnen des ersten Anschlusses im ganzen Kreis auf Null, und die Strompfeile verschwinden. Ist die Umpolung durchgeführt, so reagiert das Programm darauf, indem die Symbole für die Spannungsquellen überall ihre Pole vertauschen, die Richtung der Strompfeile sich ändert und die „Potentialpfeile“ in die entgegengesetzte Richtung im Raum zeigen. Letzteres läßt sich damit begründen, daß der Potentialnullpunkt immer im Bezugspotentialmeßpunkt liegt und dieser sich nicht verändert hat. Abbildung 3.8 auf Seite 79 veranschaulicht die Änderung der grafischen Darstellung.

Auch eine Unterbrechung des Stromkreises in der Zuleitung läßt sich mit diesem Programm in ihren Auswirkungen auf Spannung und Stromstärke darstellen. Das Resultat zeigt Abbildung 3.9 auf Seite 80.

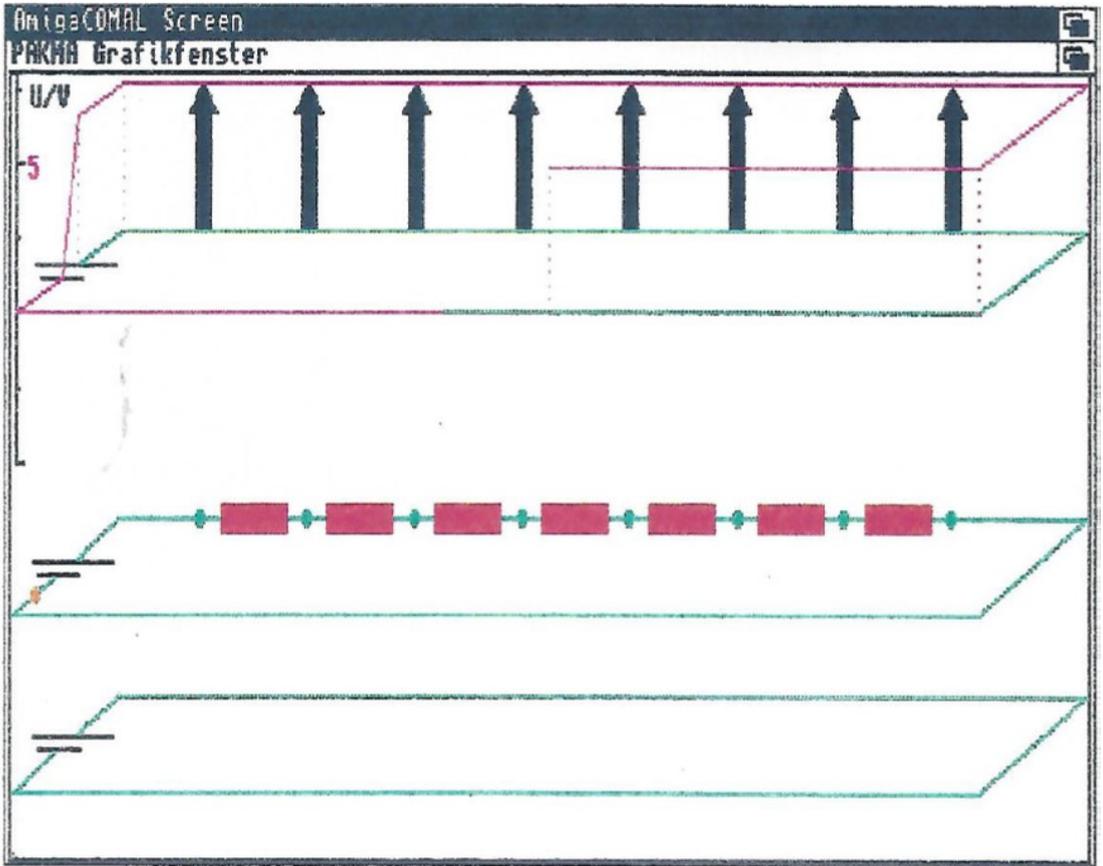


Abbildung 3.9: Bildschirmausdruck des Programms „E-Kette-Pot“, wie er sich nach der Unterbrechung des Stromkreises und Drücken der Taste **B** (Reihenfolge beliebig) ergibt

3.1.3 Realisierung des Stromkreises und sein Anschluß an den Computer

Zur Realisierung des realen Stromkreises wurde das Leyboldt-Rastersteckplatzensystem herangezogen. Es hat den erheblichen Vorteil, daß es bei entsprechendem Aufbau einem Schaltbild sehr ähnlich ist. Auf diese Weise läßt sich die häufig belegte Schülerschwierigkeit bei der Umsetzung von Schaltbildern in reale Stromkreise zumindest verringern. So bleiben die Schüler aufnahmefähiger für andere Inhalte.

Die Rastersteckplatte besteht aus vielen Steckbuchsen. Jeweils neun von ihnen sind in Form eines Quadrates angeordnet und untereinander verschaltet (kurzgeschlossen). Will man einen geschlossenen Stromkreis erzeugen, so muß man nur mit Brückensteckern (leitende Verbindungen von vernachlässigbarem Wi-

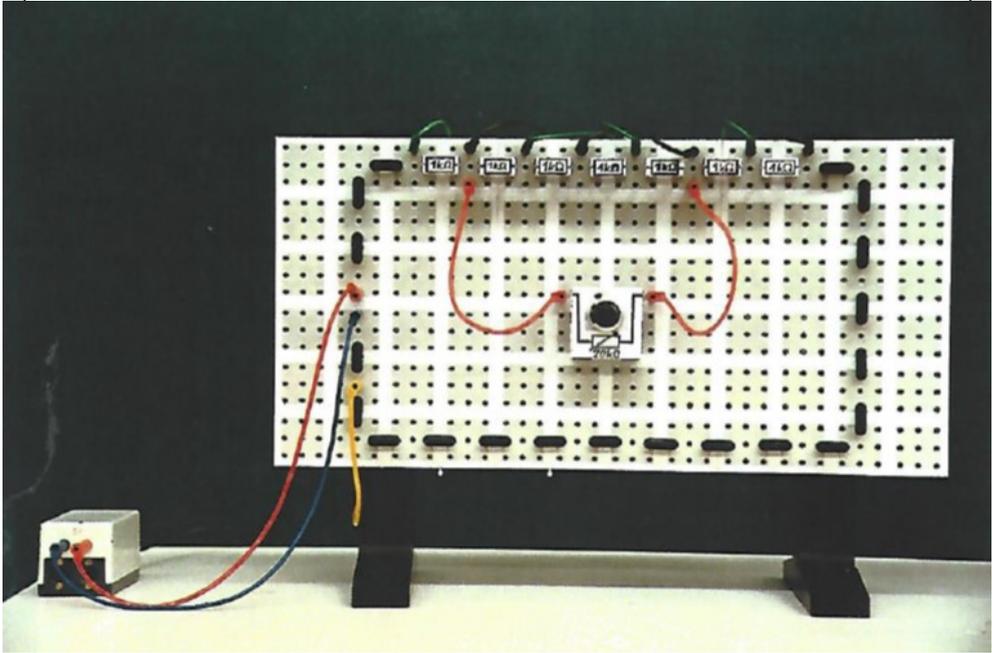


Abbildung 3.10: Aufbau der realen Schaltung zu den Programmen „E-Kette-Pot“ und „E-Kette-U“, wie er im Unterricht eingesetzt wurde. (Die hier benutzte Rastersteckplatte besteht aus drei zusammengesteckten DIN A4-Steckplatten.)

derstand) je zwei Buchsen dieser Quadrate verbinden. Auch alle Bauteile, wie z.B. die Widerstände, werden auf diese Weise in die Rastersteckplatte eingesteckt. Dazu gibt es vorgefertigte Gehäuse mit passenden Steckkontakten. Sie schließen oben mit einer weißen, ebenen Fläche ab, die man mit dem entsprechenden Schaltsymbol „beschriften“ kann. Auf diese Weise wird das Aussehen des realen Stromkreises dem der Schaltskizze noch ähnlicher. In die Gehäuse wurden $1\text{k}\Omega$ -Widerstände mit 1% Toleranz eingelötet. Diese relativ geringe Toleranz ist notwendig, weil die Widerstände gleichzeitig als Meßwiderstände für die Stromstärke fungieren. Für den Nebenschluß wird ein $20\text{k}\Omega$ -Steckpotentiometer benutzt und für den Einsatz eines veränderlichen Widerstandes im „Grundstromkreis“ ein $10\text{k}\Omega$ -Drehwiderstand, der in ein normales Widerstandsgehäuse eingebaut ist. Für den Anschluß des Nebenschlußwiderstandes werden keine Brückenstecker benutzt, sondern rote, ca. 15cm lange Experimentierkabel, damit der Nebenschluß im Unterricht schnell variiert werden kann. Die Spannungsquelle, ein stabilisiertes 5V-Netzteil, wird auch über ca. 30cm lange Kabel an den Stromkreis angeschlossen. Dabei wird, wie allgemein üblich, ein rotes Experimentierkabel für den Anschluß des Plus- und ein blaues für den Anschluß des Minuspols verwendet.

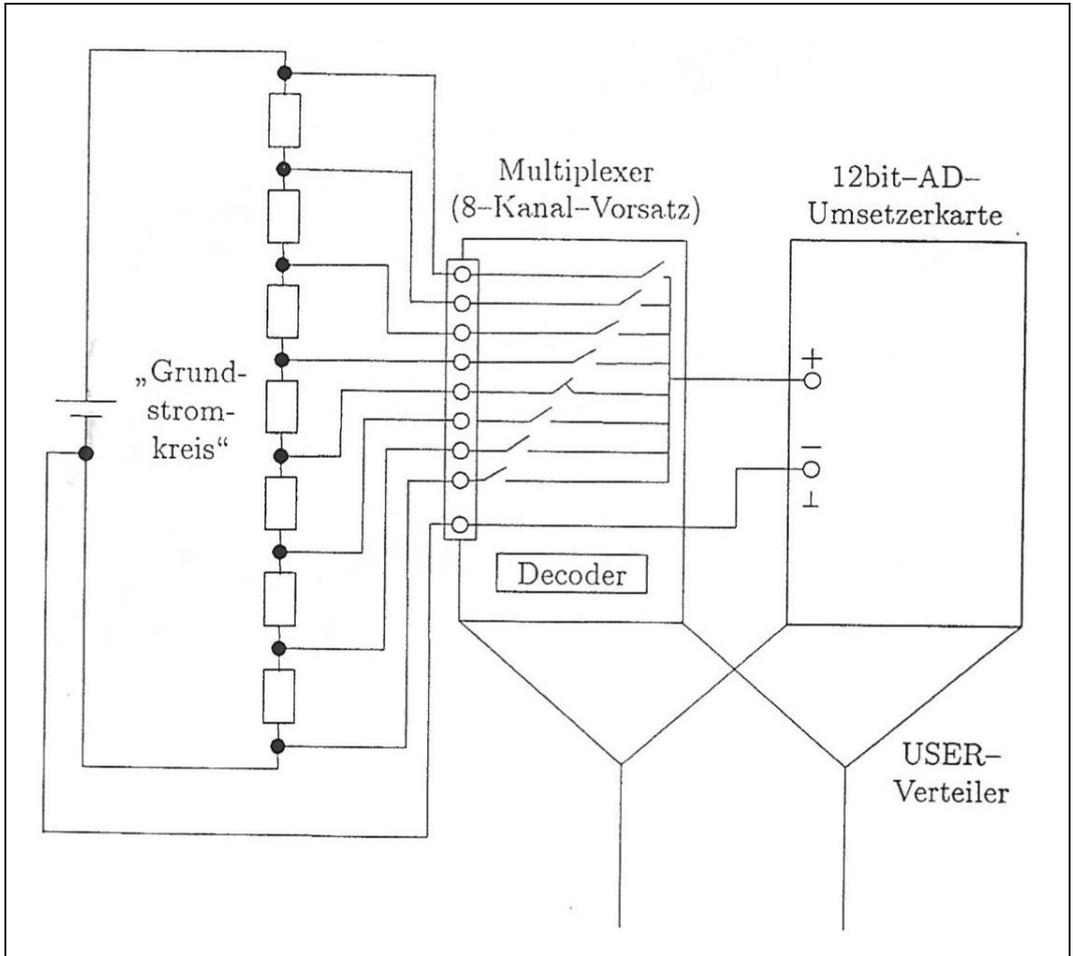


Abbildung 3.11: (Interface-) Schaltplan zu den Programmen „E-Kette-Pot“ und „E-Kette-U“

Zum Anschluß des realen Stromkreises an den Computer muß ein Interface eingesetzt werden. Es besteht hier aus zwei am Lehrstuhl Didaktik der Physik an der Universität Würzburg entwickelten Karten. Dabei handelt es sich um eine 12bit-AD-Umsetzkarte, die die eingehenden analogen Signale in digitale umsetzt, und einen 8-Kanal-Vorsatz, der dem Computer die auf den acht Eingangskanälen einlaufenden Signale nacheinander zugänglich macht. Die Karten müssen mit einem geeigneten Kabel verbunden werden. Beide Karten werden, zumindest prinzipiell, in [Heuer 86] beschrieben. Für den 8-Kanal-Vorsatz benötigt man noch ein Anschlußstück mit neun Bananensteckerbuchsen. Über die Buchsen werden die in der Programmbeschreibung bereits erwähnten Meßpunkte mit Hilfe von Experimentierkabeln mit dem 8-Kanal-Vorsatz verbunden. Dabei sind, entsprechend den Farben im Programm, die Kabel zu den Meßpunkten grün zu

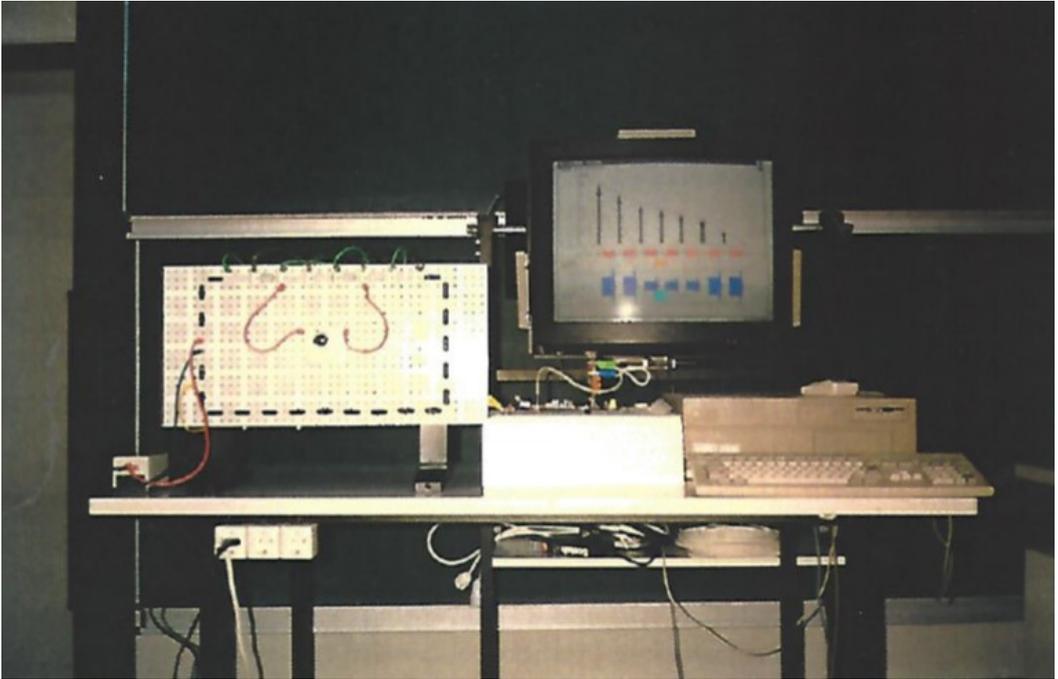


Abbildung 3.12: Gesamtaufbau des Demonstrationsversuchs für das Unterrichtsgespräch

wählen und das zum Bezugspotentialmeßpunkt gelb. Es werden also acht grüne und ein gelbes Experimentierkabel benötigt. Die Längenangaben entnehme man der Materialliste in Anhang E.1.2. Wie bereits erwähnt, muß es sich beim Rechner um einen Amiga handeln. Für diesen Demonstrationsversuch und das damit durchgeführte Unterrichtsgespräch empfiehlt es sich, aus Gründen der Schnelligkeit mindestens einen Amiga 2000 mit Festplatte zu verwenden.² Eine Tastatur und eine Maus sind ebenfalls notwendig. Um die Bildschirmausgabe des Rechners den Schülern sichtbar zu machen, ist die Benutzung eines Fernsehers mit möglichst großer Bildröhre zu empfehlen. Dieser läßt sich mit einem entsprechenden Kabel von seinem Euro-AV-Eingang (21-polig) direkt an den Videoausgang am Amiga (12-polig) anschließen. Abbildung 3.12 auf Seite 83 zeigt den Gesamtaufbau des Versuchs.

²Die Verwendung eines kleineren Modells ist natürlich möglich, führt aber zu Geschwindigkeitseinbußen.

3.2 Das Programm „Stromkreis“ – Ein Meß- und Auswertungsprogramm für Schüler- versuche am elektrischen Stromkreis

3.2.1 Das Programm und seine Bedienung

Das Programm „Stromkreis“ dient einem ganz anderen Zweck als die bisher beschriebenen. Es geht darum, Schülern für ihre eigenen Experimente ein Werkzeug in die Hand zu geben, das einfach zu bedienen ist und ihnen die langwierige Arbeit der Meßdatenaufnahme und -auswertung abnimmt. Auf diese Weise sollen Zeit und Kapazitäten für die intensive Beschäftigung mit den Ergebnissen und der Entwicklung eigener Erklärungskonzepte freigesetzt werden. Dank der guten Ausstattung der Programmierumgebung Pakma genügt zu diesem Zweck ein so kurzes Kernprogramm wie das in Anhang A.3 abgedruckte Programm „Stromkreis“. Es scheint dem Autor nicht notwendig zu sein, auf die Funktionsweise dieses Programms näher einzugehen, da es eigentlich nur Funktionen von Pakma ausnutzt und der Anwender (also der Schüler) sich während des Programmablaufs ausschließlich im Pakma-Führungsmenü bewegt. Hier soll lediglich noch einmal darauf hingewiesen werden, daß Pakma ausschließlich Meßdaten in Form von Spannungen verarbeiten kann, weshalb die Meßwerterfassung von Strömen nur über Meßwiderstände erfolgen kann. Auf diesen Sachverhalt wird später bei der Beschreibung der Meßadapter noch detaillierter eingegangen.

Da dieses Programm für ein selbständiges Arbeiten von Schülern gedacht ist, schien es notwendig, das umfangreiche Befehlsangebot des Pakma-Führungsmenüs zu beschränken. Zum einen sollte diese Maßnahme die Übersicht erhöhen und die Einarbeitungszeit in das Programm verringern, zum anderen sollten die für den Unterricht nicht benötigten Teile des Programms für die Schüler möglichst nicht zugänglich sein. Pakma stellt für diesen Zweck die Option „Verstecken“ bereit. Bevor nun aber auf die einzelnen versteckten bzw. nicht versteckten Möglichkeiten der Programmierumgebung eingegangen wird, soll zunächst die grundsätzliche Vorgehensweise beim Starten der in dieser Arbeit verwendeten Programme beschrieben werden. Der Arbeit liegt eine Diskette mit der Bezeichnung „E-Kette & Stromkreis“ bei. Diese legt man in das Amiga-Laufwerk ein. Anschließend schaltet man den Rechner ein. Die weitere Vorgehensweise ist in [Heuer 92b] ausführlich beschrieben. Es sei nur noch darauf hingewiesen, daß man sich bei jedem Schritt nur vom Namen des gewählten Programms leiten lassen muß. Auch die für die Ausführung von „Stromkreis“ notwendige Bedienung des Pakma-Führungsmenüs ist in [Heuer 92b] erläutert.

Nun aber zu den versteckten Optionen. Im Führungsmenü gibt es eine Reihe von Funktionen, die die Schüler nicht brauchen und daher ausgeblendet werden. Im folgenden werden diese Bedienungselemente aufgelistet und jeweils eine kurze Begründung für ihr Entfernen genannt.

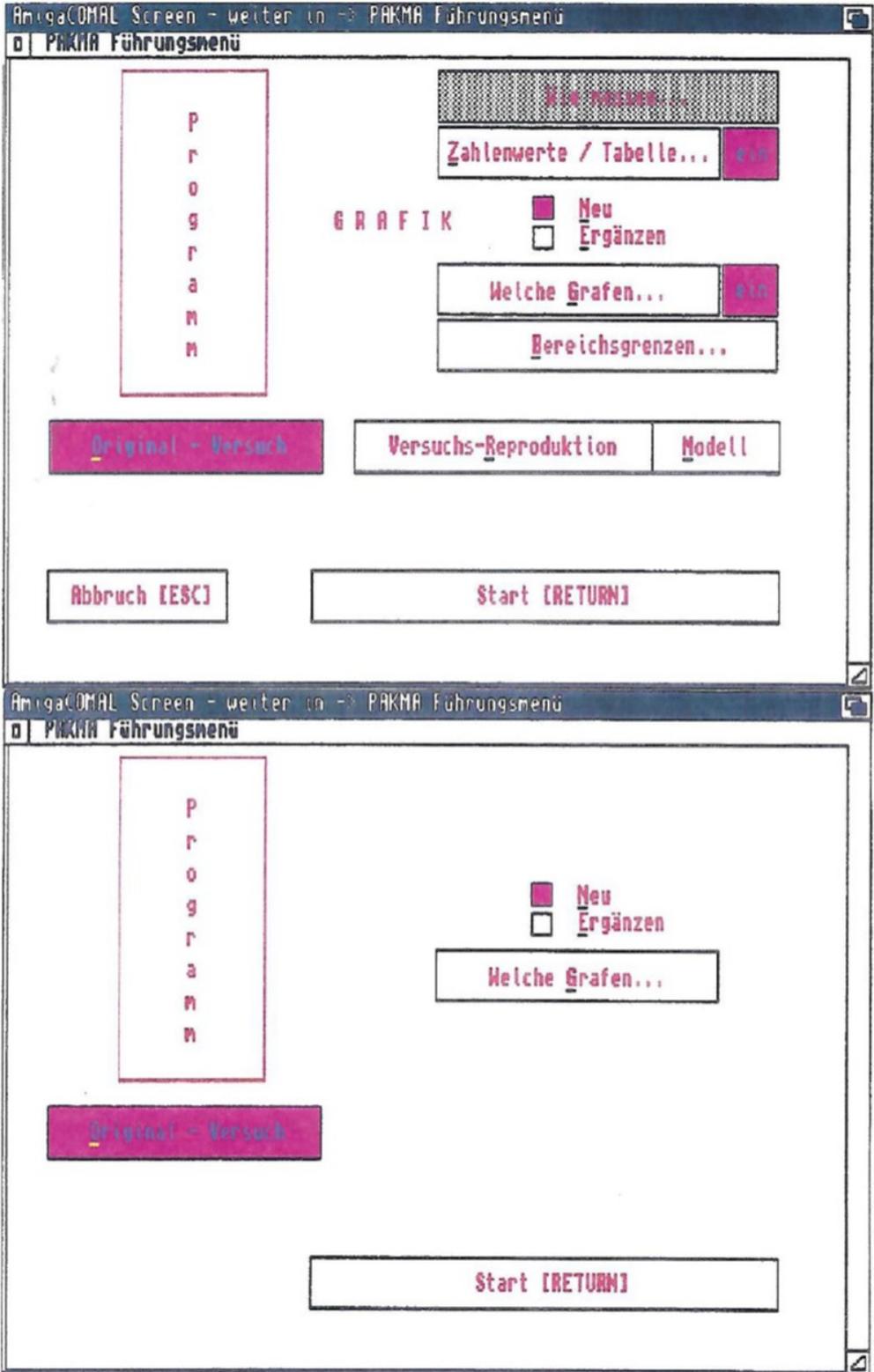


Abbildung 3.13: Oberfläche des Pakma-Führungsmenüs vor (oben) und nach (unten) dem Verstecken von Optionen

- **Wie messen ...**

Hier läßt sich nichts verändern, da die Einstellungen bereits im Kernprogramm vorgenommen wurden. Es wird also nur ein zusätzliches, die Übersicht verringerndes, Symbol entfernt.

- **Zahlenwerte / Tabelle ...**

Diese Funktion wird nicht gebraucht, da es hier um qualitatives Verstehen geht und reine Meßwertlisten für Schüler wohl zu unübersichtlich sind.

- **Bereichsgrenzen ...**

Die Bereichsgrenzen legen die Intervalle fest, in denen die Meßwerte grafisch ausgegeben werden. Sie sind bereits für die vorgesehenen Experimente optimiert und sollten deshalb nicht verändert werden.

- **Versuchs-Reproduktion und Modell**

Mit diesen Funktionen ist es möglich, frühere Meßwerte noch einmal auszugeben. Dies ist hier nicht notwendig und unter Umständen auch nicht sinnvoll, da es ja gerade darum geht, die Vorgänge im realen Stromkreis direkt mit der Ausgabe zu vergleichen.

- **Abbruch [ESC]**

Mit dieser Option beendet man den Programmablauf von „Stromkreis“ und gelangt ins „Amiga Comal Command Window“. Dort kann man am Kernprogramm manipulieren. Dies ist hier natürlich absolut unerwünscht. Für den Lehrer gibt es natürlich noch eine Möglichkeit aus dem Programm auszusteigen. Es genügt, das kleine Quadrat links oben neben dem Titel „Pakma Führungsmenü“ mit der rechten Maustaste anzuklicken.

- **Führungsmenütitel**

Die normalerweise durch Drücken der rechten Maustaste im Balken des Führungsmenüs erscheinenden Menütitel und Untertitel werden komplett versteckt. Bei ihnen handelt es sich nämlich im wesentlichen um Möglichkeiten der externen Kommunikation des Programms, die für diese Schülerübungszwecke nicht notwendig sind. Zusätzlich verschwindet auf diese Weise auch der Menütitel „Verstecken“, mit dem die hier beschriebenen Ausklammerungen vorgenommen wurden.

In der Führungsmenü-Oberfläche sind also nur noch die wirklich notwendigen Optionen sichtbar. Dies sind im einzelnen:

- **GRAFIK Neu / Ergänzen**

Hier wird durch einfaches Anklicken festgelegt, ob vor Ausgabe der neuen Grafik der Bildschirm gelöscht, oder die neue Grafik der letzten hinzugefügt werden soll.

- **Welche Grafen ...**

Hiermit gelangt man durch Anklicken ins Pakma–Grafikmenü, wo man die Art der Darstellung der Meßwerte beeinflussen kann.

- **Original – Versuch**

Dieses Feld hat eigentlich keine Funktion mehr, da grundsätzlich nur noch Originalmessungen verwertet werden. Es soll die Schüler aber immer daran erinnern, daß es sich bei ihrem Schülerversuch nicht um Simulation handelt!

- **Start [RETURN]**

Hiermit werden die Messung und gleichzeitig die Auswertung gestartet.

Einen direkten Vergleich der Oberfläche des Pakma–Führungsmenüs vor und nach dem Verstecken bietet die Abbildung 3.13 auf Seite 85.

Nach dem Programmlauf können im „Pakma Grafikfenster“ die erstellten Grafen über Optionen in der Menüleiste weiter bearbeitet werden. Auch aus dieser Menüleiste wurden eine Reihe von Befehlen ausgeblendet. Die versteckten bzw. beibehaltenen Unterpunkte werden im folgenden für jeden Menüpunkt festgehalten.

- **Projekt**

Von den drei Unterpunkten des Menütitels „Projekt“ wurde ausschließlich „Wiederstart“ beibehalten, da nur hiermit nach Beendigung eines Programmlaufes eine neue Messung gestartet werden kann. Mit „Führungs-menü“ käme man zu Nachbearbeitungszwecken zurück ins Führungs-menü, ohne aber das Kernprogramm „Stromkreis“ neu starten zu können. Dies ist hier nicht notwendig. Die Funktion „Ausstieg“ wurde, aus den bereits oben genannten Gründen, wieder versteckt.

- **Fensterwahl**

Der Menütitel „Fensterwahl“ wurde für unnötig gehalten und folglich komplett aus der Menüleiste genommen.

- **Grafik ergänzen**

Die Schüler sollen ihre Grafen eigentlich gar nicht ergänzen. Der Grund dafür, daß trotzdem zwei Unterpunkte sichtbar bleiben, besteht darin, daß Pakma alle Meßwerte aufträgt und je zwei benachbarte Punkte durch Geradenstücke miteinander verbindet. Auf diese Weise kann ein Ausreißer bei den Meßwerten den Grafen völlig deformieren. Aus diesem Grund wurden die Menü–Unterpunkte „Löschen“ und „Punkte“ nicht versteckt. Mit „Löschen“ kann man nämlich den gerade gemessenen Graf löschen und anschließend mit „Punkte“ die Meßpunkte ohne Verbindungslinien wieder zeichnen lassen.

- **Neuer Graf**

Der Unterpunkt „Zoom“ ist nicht notwendig, da, wie bereits erwähnt wurde, die Bereichsgrenzen für die durchzuführenden Messungen optimiert sind. Versteckt werden außerdem die Unterpunkte „Differenz“ und „Integrieren“, weil sie noch nicht voll realisiert sind, und „Weitere Gerade“, weil keine Gerade fest in die Grafen eingezeichnet werden soll. Es bleibt also nur „Gerade neu zeichnen“ bestehen. Damit läßt sich z.B. überprüfen, ob ein erzeugter Graf eine (Ursprungs-)Gerade ist. Auch die Steigung des Grafen läßt sich so in jedem Punkt bestimmen. Die Steigung der nachträglich eingezeichneten Gerade wird nämlich immer in der Leiste „Pakma Grafikfenster“ ganz rechts außen angegeben. Da sie nach Belieben dem jeweiligen Grafen angepaßt werden kann, ist damit auch die Steigung der Originalkurve in den entsprechenden Punkten bekannt.

Für die bildhafte Darstellung der Menüleisten in der Pakma-Oberfläche sei wieder auf [Heuer 92b] verwiesen. Dort sind jeweils die Menütitel mit allen Unterpunkten dargestellt. Nach dem Verstecken ändert sich an der Bedienung und dem Aussehen nichts, nur fehlen eben die erwähnten Unterpunkte.

Das Programm „Stromkreis“ ist angelegt, damit Schüler mit ihm selbständig experimentieren. Dies beinhaltet natürlich auch, daß sie bei unterschiedlichen Versuchen in der Regel auch eine jeweils andere Belegung der vier Eingangskanäle vornehmen müssen. Dies wirft normalerweise das Problem auf, welche Grafik der Bildschirmausgabe welchem Eingang zuzuordnen ist. Um diese Frage gar nicht aufkommen zu lassen wurde folgender Weg beschritten:

- Jede Steckbuchse auf der 4-Kanal-AD-Karte, die einen Eingangskanal repräsentiert, wurde mit der zugehörigen Kanalnummer gekennzeichnet.
- Bereits im Kernprogramm wurde jeder für die Ausgabe vorgesehene Wert mit der seinem Eingangskanal entsprechenden Nummer versehen ($u_1, u_2, u_3, u_4, i_1, i_2, i_3, i_4$).
- Im „Grafik-Menü“ wurde für jeden Kanal und hier jeweils für Spannung und Stromstärke ein Auswahlpunkt in der Grafenliste angelegt.
- Bei der Voreinstellung der Bereichsgrenzen wurden als Achsenbeschriftungen für die Grafen der Bildschirmausgabe wieder die bereits im Kernprogramm eingeführten Bezeichnungen verwendet.

Auf diese Weise ist an jeder Stelle im Programmlauf sofort ersichtlich, mit welchen Kanälen gerade gearbeitet wird und vor allem, auf welchen Eingang sich die Bildschirmausgabe bezieht. Diese Maßnahmen waren durchaus notwendig, da über die vier Eingangskanäle bis zu vier Spannungen bzw. bis zu vier Stromstärken gleichzeitig gemessen werden können. Natürlich ist auch das gleichzeitige Messen von

Spannungen und Stromstärken über die vier Kanäle möglich. (Es können also z.B. über die Kanäle 1 und 3 Spannungen und gleichzeitig über die Kanäle 2 und 4 Stromstärken gemessen werden.)

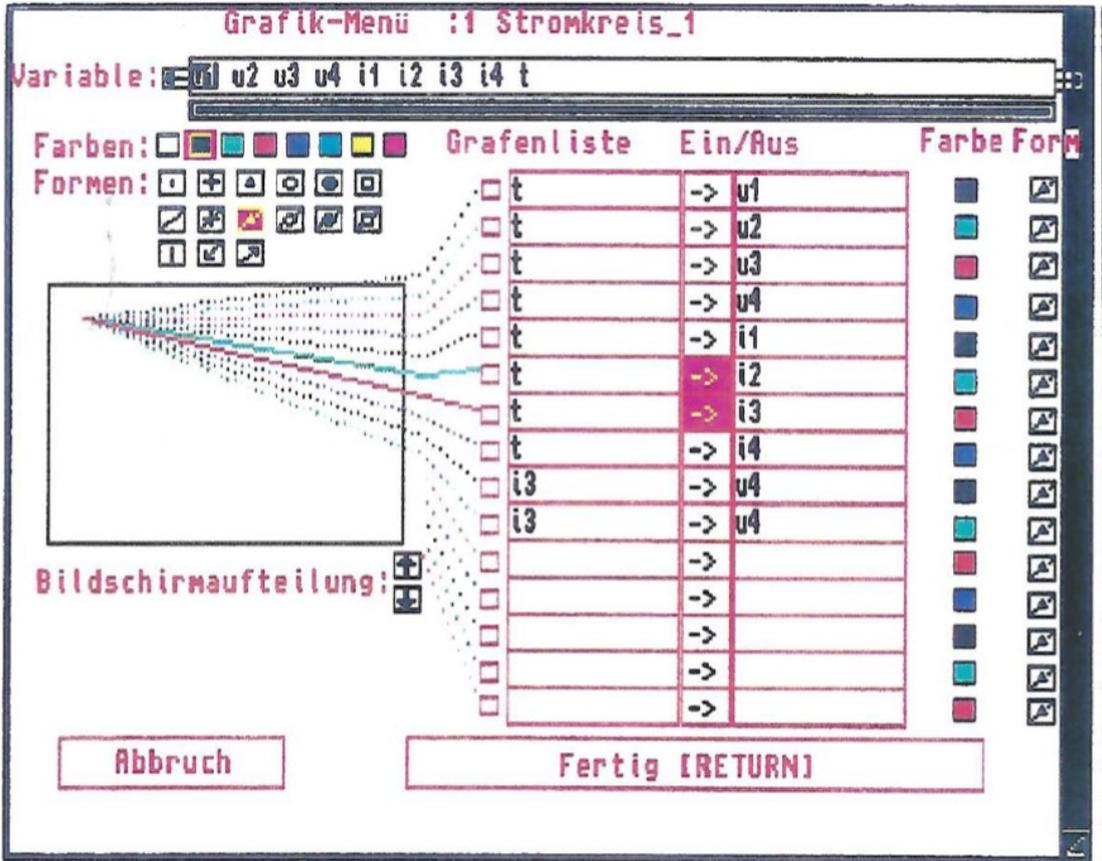


Abbildung 3.14: Schirmbild vom „Grafik-Menü“ unter Pakma, wie es sich mit allen Voreinstellungen bei Programmstart von „Stromkreis“ ergibt

Um den Schülern die Arbeit mit dem Programm noch zusätzlich zu erleichtern, wurden im „Grafik-Menü“ eine ganze Reihe von Voreinstellungen vorgenommen. Abbildung 3.14 auf Seite 89 zeigt die „Grafik-Menü“-Oberfläche, wie sie der Schüler direkt nach dem Start von „Stromkreis“ vorfindet. Wie man dort sieht, ist die „Grafenliste“ bereits mit allen für die Schülerversuche notwendigen Grafenkonfigurationen versehen. Hier muß nämlich für jeden gewünschten Graf in der entsprechenden Zeile links die unabhängige und rechts die abhängige Variable eingetragen werden. Bei den hier anstehenden Messungen wird in der Regel jeweils eine Meßgröße über der Zeit aufgetragen. Jede Messung dauert zehn Sekunden, und während dieser Zeit wird die Meßgröße M als $M(t)$ -Diagramm aufgetragen. Beispiele für derart entstandene Bildschirmausgaben finden sich in den Abbildung

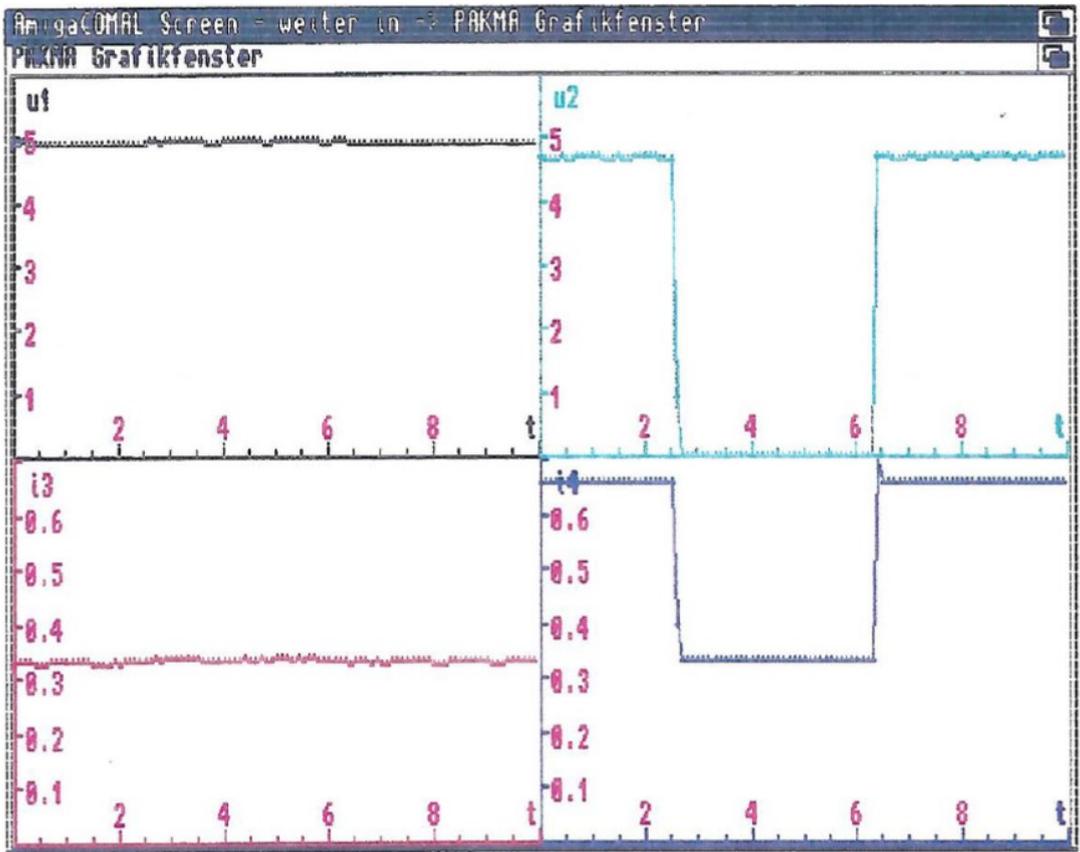


Abbildung 3.15: Der Bildschirmausdruck des Programms „Stromkreis“ zeigt eine typische, vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Grafik. Es wurden, wie in der oben abgebildeten Schaltskizze dargestellt, zwei Spannungen und zwei Stromstärken gemessen. Im „Grafik-Menü“ wurde die 4-Felder-Bildschirmaufteilung gewählt.

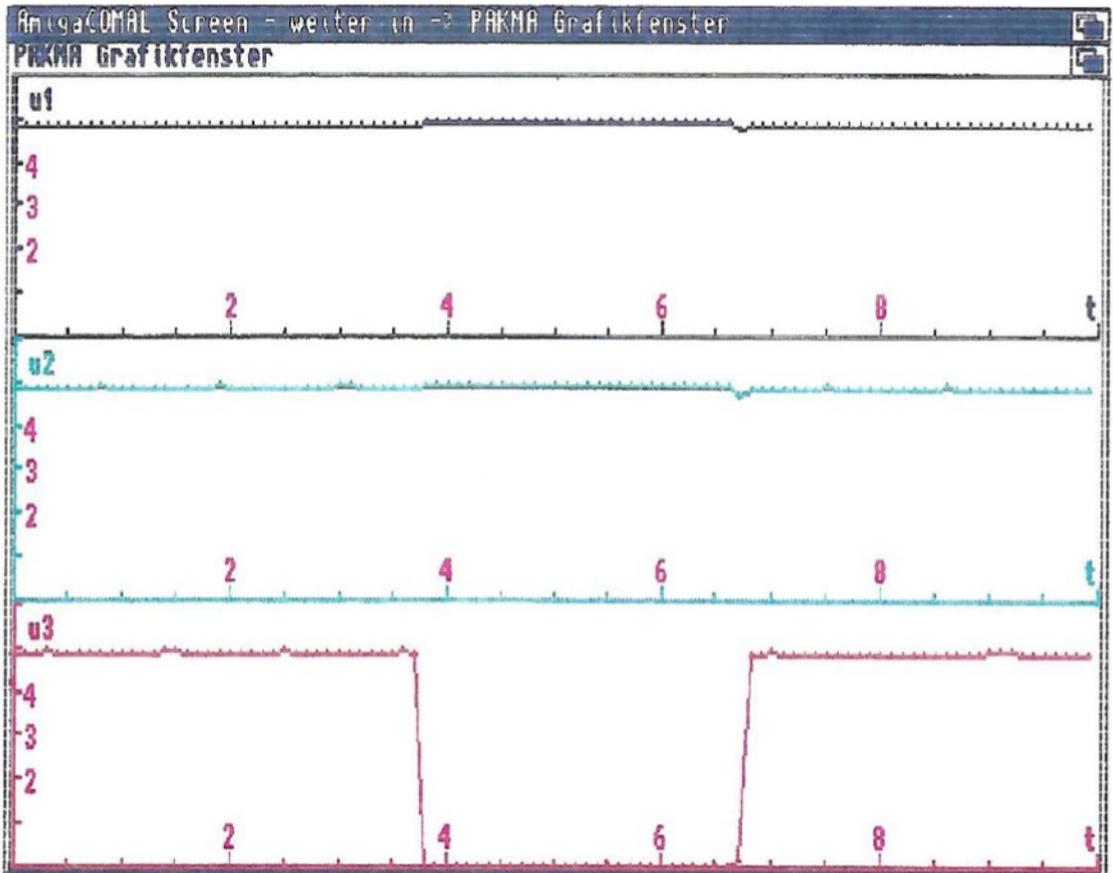


Abbildung 3.16: Der Bildschirmausdruck des Programms „Stromkreis“ zeigt eine typische, vom Computer anhand der aktuellen Meßdaten erzeugte Grafik. Es wurden, wie in der oben abgebildeten Schaltskizze dargestellt, drei Spannungen gemessen. Im „Grafik-Menü“ wurde die horizontale 3-Felder-Bildschirmaufteilung gewählt.

en 3.15 und 3.16 auf den Seiten 90 bzw. 91. Eine Ausnahme bilden hierbei nur die beiden letzten ausgefüllten Zeilen der „Grafenliste“. Die dort vorgesehenen U(I)–Diagramme werden ausschließlich zum Aufnehmen von Widerstandskennlinien benötigt. Jedem vorbereiteten Graf wurde auch schon eine Zeichenfarbe zugeordnet. Dabei wurde darauf geachtet, daß bei Beibehaltung dieser Farbzurordnung bei jeder beliebigen Kanalausnutzung alle gezeichneten Grafen in einer anderen Farbe dargestellt werden. Folgende, jeweils mit der Maus und der linken Maustaste auszuführende Einstellungen sind die einzigen, die die Schüler hier vorzunehmen haben bzw. die man ihnen erklären muß:

- Es müssen durch Anklicken bzw. Abklicken des Pfeiles in der Mitte der jeweiligen Zeile der „Grafenliste“ die gewünschten Grafen ausgewählt werden.
- Durch Anklicken eines der beiden kleinen Pfeile neben dem Wort „Bildschirmaufteilung“ läßt sich die Aufteilung des Ausgabeschirms in einzelne Fenster und damit die Anordnungsmöglichkeit der Grafen festlegen.
- Die Grafen lassen sich den einzelnen Fenstern folgendermaßen zuordnen: Man klickt das kleine Quadrat links neben der jeweiligen Zeile der „Grafenliste“ an und anschließend das gewünschte Fenster. Dabei können einem Fenster auch mehrere Grafen zugeordnet werden. Klickt man das kleine Quadrat danach noch einmal an, so ist diese Zuordnung wieder gelöscht.
- Manchmal erweist es sich als sinnvoll, die voreingestellte Grafenfarbe zu ändern. In diesem Fall wählt man sich durch Anklicken in der Farbpalette links oben die gewünschte Farbe aus und klickt anschließend auf das Farbfeld rechts neben der jeweiligen Zeile.

3.2.2 Computer und Interface

Jede Schülerübungsgruppe, bestehend aus zwei bis drei Schülern, benötigt einen Amiga–Rechner. Für die Schülerversuche wurden sowohl Amiga 500 als auch Amiga 2000 bzw. 2500 verwendet. Der Rechner sollte jeweils mit Bildschirm, Maus und der Anschlußmöglichkeit für Interface–Karten ausgestattet sein. Eine Tastatur sollte den Schülern (wenn möglich) nicht an die Hand gegeben werden, da sich zum einen alle benötigten Funktionen mit der Maus aufrufen und zum anderen auf diese Weise der Bewegungsspielraum der Schüler im Programm stärker auf das unterrichtsspezifisch Notwendige beschränkt bleibt. Amiga 2000 sind für Schülerversuche besser geeignet als Amiga 500. Dies liegt zum einen daran, daß bei letzterem die Tastatur nicht entfernt werden kann. Ein noch wesentlicher Grund ist aber die Tatsache, daß am Amiga 500 ein externer Adapter am USER–Port angeschlossen werden muß, der zusätzlich von einem ebenfalls externen Netzteil mit einer Arbeitsspannung von 9V versorgt werden muß.

Als Interface wird zu diesem Programm eine 4-Kanal-AD-Umsetzerkarte benutzt. Sie ermöglicht es, auf vier Kanälen gleichzeitig zu messen und wandelt die einlaufenden, analogen Signale in digitale um. Für jeden der vier Kanäle gibt es auf der Karte eine eigene Eingangsbuchse. Eine genauere Beschreibung des Funktionsprinzips dieser Karte findet sich in [Heuer 86]. Es sollte hier noch festgehalten werden, daß für alle Messungen ein Bezugspotential benötigt wird. Dieses muß über eine eigens dafür auf der 4-Kanal-AD-Umsetzerkarte vorgesehene Buchse extern geliefert werden.

3.2.3 Meßadapter und sonstige Materialien zum Aufbau der Stromkreise

Für die Schülerversuche ist der Einsatz des Rastersteckplattensystems zum Aufbau der realen Stromkreise fast noch wichtiger, als beim Demonstrationsversuch. Gerade bei der selbständigen Umsetzung von Schaltskizzen in reale Stromkreise haben viele Schüler große Probleme. Da aber der Schwerpunkt des Unterrichts die Entwicklung von Konzepten zum Verständnis der Vorgänge im elektrischen Stromkreis sein soll, ist es notwendig, die Schüler an anderer Stelle zu entlasten. Ein erster Schritt in diese Richtung ist der Einsatz des Rastersteckplattensystems, das große Ähnlichkeit mit der Schaltskizze hat, wenn es entsprechend aufgebaut wird.

Alle folgenden Mengenangaben beziehen sich auf eine Schülerversuchsgruppe, bestehend aus zwei bis drei Schülern. Es werden zunächst zwei Rastersteckplatten benötigt, deren prinzipieller Aufbau bereits in Abschnitt 3.1.3 beschrieben wurde.³ Zur Herstellung der leitenden Verbindungen braucht man außerdem 20 bis 30 Brückenstecker und als Spannungsquelle ein stabilisiertes 5V-Netzteil, das mit Experimentierkabeln in den Farben Blau und Rot (den Polen entsprechend) an eine Rastersteckplatte angeschlossen wird. Als Bauteile im Kreis werden hauptsächlich Glühbirnen verwendet. Es hat sich in der Erprobungsphase herausgestellt, daß sich bei Verwendung des 5V-Netzteils und mit Blick auf die Anforderungen in den Schülerversuchen solche Lämpchen am besten eignen, die für eine Betriebsspannung von 4,5V und eine Betriebsstromstärke von 0,30A ausgelegt sind. Um sie wieder so auf der Rastersteckplatte anbringen zu können, daß sie ihrer Darstellung in der Schaltskizze möglichst ähnlich sehen, wurden im Rahmen dieser Arbeit Schraubfassungen in oben bereits beschriebene Steckgehäuse gelötet. In die Mitte des Gehäusedeckels wurde jeweils ein Loch von der Größe der Glühbirne gebohrt. Wurde anschließend eine Glühbirne in die so entstandene Steckfassung geschraubt, so entstand ein Bauteil, das von oben betrachtet in der Tat seinem eigenen Schaltsymbol ähnelt. Man braucht fünf dieser Glühbirnen mit

³Abmessungen, Farben und dergleichen entnehme man, soweit hier nichts anderes explizit angegeben ist, der Materialliste in Anhang E.2.2.

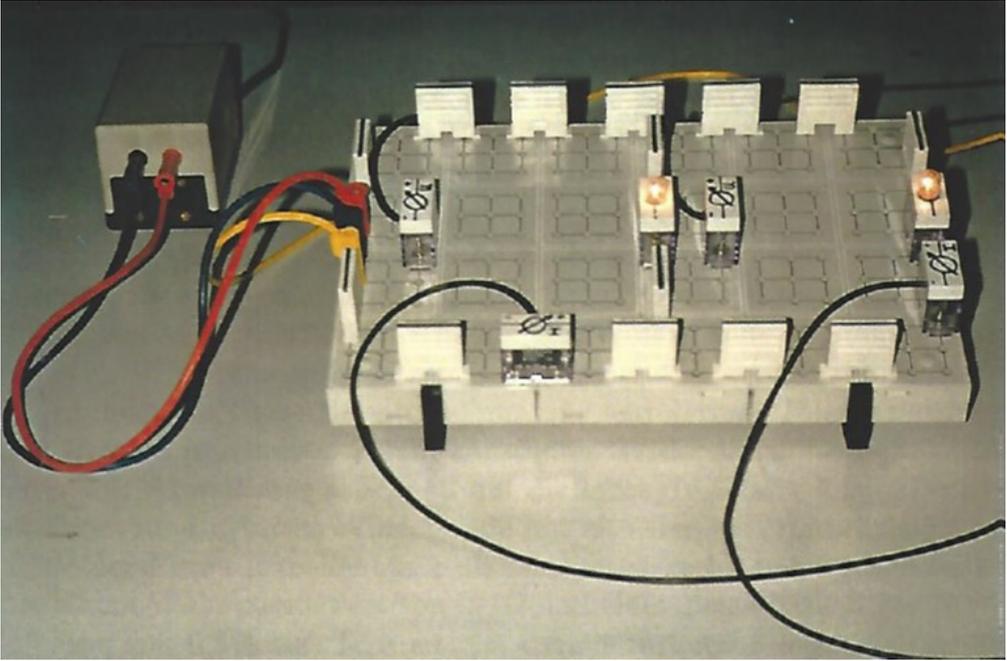


Abbildung 3.17: Typischer Aufbau eines Stromkreises mit dem Rastersteckplattensystem, das im Rahmen der Schülerversuche verwendet wurde

Fassungen. Da auch zwei Schalter benötigt werden, wurden im Rahmen dieser Arbeit aus den bereits mehrfach genannten Gründen Kippschalter in Steckgehäuse eingebaut. Die beiden möglichen Schalterstellungen wurden mit der Beschriftung „Ein“ bzw. „Aus“ versehen. Abbildung 3.17 auf Seite 94 zeigt einen Stromkreis-aufbau, wie er sich typischerweise bei Verwendung des Rastersteckplattensystems ergibt.

Auch die Meßabgriffe im Kreis, die der Datenübertragung an den Computer dienen, sollten sich nicht wesentlich von den Schaltsymbolen von Meßgeräten unterscheiden. Folglich wurden auch sie in Steckgehäuse eingebaut, auf deren Deckel diesmal das Meßgerätschaltssymbol aufgezeichnet wurde. Zusätzlich wurde, je nachdem ob es sich um einen Spannungs- oder Stromstärkemeßabgriff handelte, ein „U“ bzw. ein „I“ zur Kennzeichnung hinzugefügt. Natürlich mußte auch jeweils ein zweiadriges Koaxialkabel zum Anschluß an die 4-Kanal-AD-Wandlerkarte angebracht werden. Zu diesem Zweck wurde jeweils auf der einen Seite des Gehäuses ein Loch in der Größenordnung des Kabeldurchmessers gebohrt, dieses hindurchgeführt und im Inneren des Gehäuses mit einer Zugsicherung versehen. Diese besteht aus einem Federring, der direkt hinter dem Bohrloch um die Kabelisolierung gequetscht wurde. Auf diese Weise läßt sich das Kabel nicht mehr aus dem Gehäuse ziehen, was die Lebensdauer der Lötstellen erhöht,

die gerade auch bei Schülerversuchen des öfteren auf Zug belastet werden. Da Spannungen direkt von der Wandlerkarte und dem Computer verarbeitet werden können, genügt es, für Spannungsmeßabgriffe die Enden des zweiadrigen Kabels in den Gehäusesockel einzulöten. Das fertige Bauteil wird in dieser Arbeit „Meßadapter“ genannt, in diesem Fall handelt es sich also um einen Spannungsmeßadapter. Bei den Strommeßadaptern ist es allerdings nicht damit getan, das Kabel im Sockel anzulöten. Da der Computer nur Spannungen verarbeiten kann, wird hier noch jeweils ein Meßwiderstand benötigt, an dem die zur Stromstärke proportionale Spannung abgegriffen werden kann. Dieser Widerstand muß eine ganze Reihe von Voraussetzungen erfüllen. Der Widerstandswert muß sehr klein sein, damit er die zu messenden Stromstärken möglichst wenig verfälscht. Trotzdem darf er (auch bei hoher Belastung) nur eine sehr geringe Toleranz aufweisen, da im Programm immer von einem konstanten Widerstand ausgegangen wird und sich somit Abweichungen schnell auf die erzeugte Grafik auswirken. Nach längerer Erprobung diverser Widerstände hat sich der 4-Leiterpräzisionswiderstand PBV der Firma Isabellenhütte als am besten geeignet herausgestellt.⁴ Er weist bei einem Widerstandswert von $0,1\Omega$ und einer Belastbarkeit bis 10W nur eine Toleranz von 0,5% auf. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, daß er neben den normalen Zuleitungen zusätzliche Spannungsabgriffe praktisch direkt an der Widerstandslegierung besitzt. Diese Widerstände wurden bei den Strommeßadaptern in den Gehäusesockel, und die beiden Adern des jeweiligen Anschlußkabels an die Spannungsabgriffe gelötet.

An dieser Stelle sind noch einige Worte zum Einsatz der Meßadapter und zur Notwendigkeit eines Bezugspotentials angebracht. Die 4-Kanal-AD-Umsetzerkarte erlaubt im Prinzip eine potentialfreie Messung. Der interne Multiplexer benötigt aber ein Bezugspotential und läßt nur ein „Aktionsintervall“ von 8V um das Bezugspotential zu. Da das hier verwendete Netzteil aber nur eine Spannung von ca. 5V liefert, schränkt dies die Spannungsmessung in keiner Weise ein. Anders sieht es bei der Messung der Stromstärke aus. Da nur sehr kleine Spannungen anfallen, wird hier in einem empfindlicheren Meßbereich gearbeitet. In ihm reduziert sich das „Aktionsintervall“ um das Bezugspotential auf ca. 1 – 2V. Dies führt zu den im folgenden geschilderten Schwierigkeiten beim Anschluß der Meßadapter. Wie bei (fast) allen Meßinstrumenten kommt es auch bei den Meßadaptern auf die richtige Polung an. Auf den entsprechenden Seiten der Gehäusedeckel ist jeweils ein kleines Plus bzw. ein kleines Minus eingezeichnet. Will man ausschließlich Spannungen messen, so genügt es, den Anschluß für das Bezugspotential in der Nähe des negativen Pols der Spannungsquelle anzubringen und dort zu belassen. Bei der Stromstärkemessung kann man genauso vorgehen, wenn man nur auf der Potentialhöhe des Bezugspotentialsteckers mißt.

In anderen Fällen macht sich der Umstand bemerkbar, daß nur eine sehr

⁴Dankenswerterweise hat die Firma Isabellenhütte einige Widerstände für diese Arbeit kostenlos zur Verfügung gestellt.

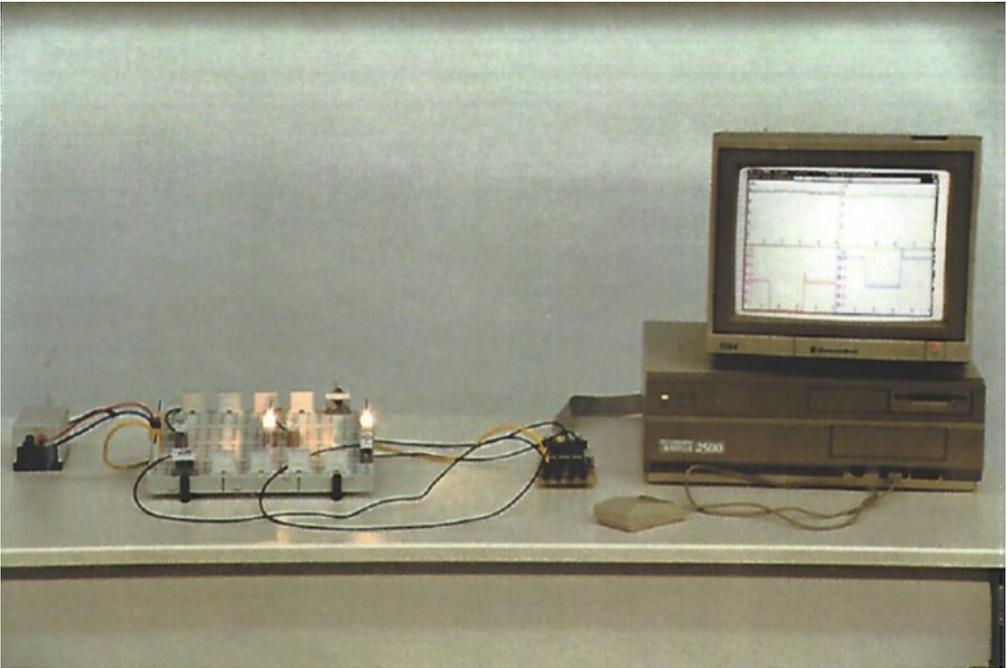


Abbildung 3.18: Typischer Aufbau, wie er sich im Rahmen der Schülerversuche ergibt

kleine Spannung am $100\text{m}\Omega$ -Meßwiderstand abfällt und damit in einem sehr kleinen Meßbereich gemessen wird. Will man nämlich z.B., vom Bezugspotential aus betrachtet, jenseits einer Glühbirne im Kreis die Stromstärke messen, so ist der Potentialunterschied zwischen Bezugspotential und negativem Anschluß des Meßadapters um ein Vielfaches größer als das erlaubte „Aktionsintervall“. Das führt in dieser Konfiguration dazu, daß der Computer teilweise völlig unsinnige „Meßergebnisse“ ausgibt. Abhilfe läßt sich dadurch schaffen, daß bei Strommessungen im gesamten Kreis der Bezugspotentialabgriff jeweils mitgenommen wird.⁵ Man muß also in diesen Fällen den Bezugspotentialstecker jeweils neben dem negativen Anschluß des Meßadapters anbringen. Weil diese Prozedur auf Dauer lästig sein und leicht vergessen werden kann, wurde ein Strommeßadapter mit integriertem Bezugspotentialabgriff entwickelt. Bei ihm wurde einfach am Steckanschluß zur 4-Kanal-AD-Wandlerkarte ein Bananenstecker zusätzlich an die zum negativen Anschluß des Adaptergehäuses führende Ader des Kabels gelötet. Dieser kann in die Bezugspotentialbuchse an der Karte gesteckt werden und bei Strommessungen mit dem zugehörigen Meßadapter im ganzen Kreis auch dort belassen werden. Die Spannungsmessung ist aus dem oben angegebenen Grund

⁵Bei der nächsten Interface-Generation, die sich im Rahmen der Pakma-Version für den PC in der Entwicklung befindet und auch am Amiga einsetzbar ist, wird dieses für Schüler schwerwiegende Problem bereits beseitigt sein.

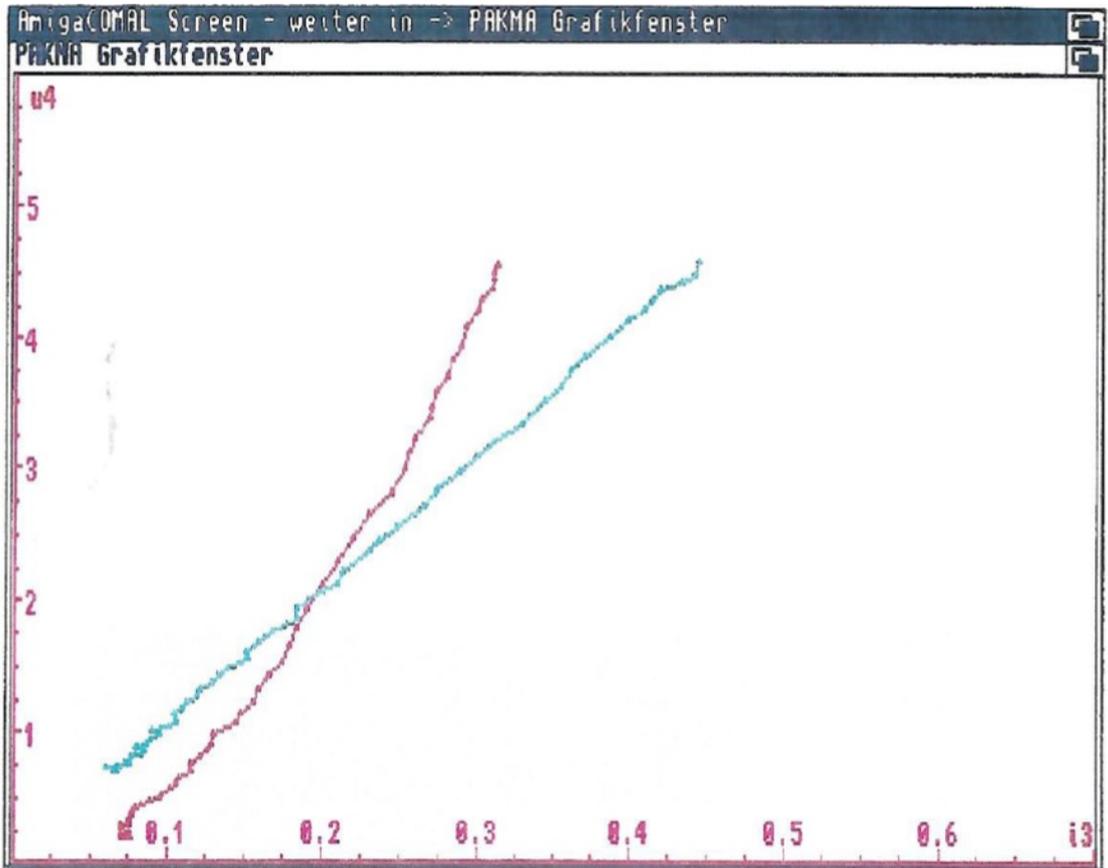


Abbildung 3.19: Bildschirmausdruck der mit dem Programm Stromkreis erzeugten Widerstandskennlinien eines 10Ω -Widerstandes (grün) und einer $4,5\text{V}/0,30\text{A}$ -Glühbirne (rot).

relativ unabhängig von der Lage des Bezugspotentialabgriffs, so daß in jedem Fall Strom- und Spannungsmessungen gleichzeitig erfolgen können. Wie bei jeder gleichzeitigen Strom- und Spannungsmessung ist allerdings auch hier auf strom- bzw. spannungsrichtiges Messen zu achten. Auch wenn hierbei die jeweiligen Abweichungen relativ gering sind, werden sie in der grafischen Darstellung auf dem Bildschirm sehr gut aufgelöst. Abbildung 3.18 auf Seite 96 zeigt einen typischen Aufbau, mit dem die Schüler arbeiten.

Für die Aufnahme der Widerstandskennlinien von Glühbirne und Ohmschem Widerstand müssen Spannung und Stromstärke am entsprechenden Bauteil variiert werden. Es wurde ein relativ leicht zu durchschauender Aufbau verwendet. In Serie zu dem Bauteil, das vermessen werden soll, wird ein Konstantendraht mit einem variablen Abgriff geschaltet. In der Erprobungsphase dieser Arbeit hat sich, bei dem hier verwendeten 5V -Netzteil und den $4,5\text{V}/0,30\text{A}$ -Glühbirnen, ein ca.

zwei bis drei Meter langer $16\frac{\Omega}{m}$ -Konstantendraht als am besten geeignet herausgestellt. Er wird zwischen zwei Klemmstangen aufgespannt, die vorher mit zwei Tischklemmen an diagonal gegenüberliegenden Ecken des Experimentiertisches befestigt wurden. Der Anschluß an den Stromkreis wird mit zwei langen Experimentierkabeln vorgenommen. Das erste verbindet eine der beiden Klemmstangen direkt mit dem Stromkreis. Am einen Ende des zweiten wird eine Krokodilklemme befestigt, die als Schiebekontakt über den ganzen Konstantendraht bewegt werden kann, während das andere Ende die Verbindung zum Stromkreis auf der Rastersteckplatte herstellt. Abbildung 3.19 auf Seite 97 zeigt, daß mit diesem einfachen Aufbau und Kernprogramm, dank der Pakma-Umgebung, ziemlich gute Kennlinien zu erzielen sind.

Nach der langen Beschäftigung mit den Materialien für die Schülerversuche empfiehlt sich auch ein optischer Eindruck von dem, was hier aufgelistet wurde. Abbildung 3.20 auf Seite 98 zeigt den Experimentiertisch mit allen benötigten Einzelteilen, wie ihn die Schüler zu Beginn ihrer Versuche vorfinden.

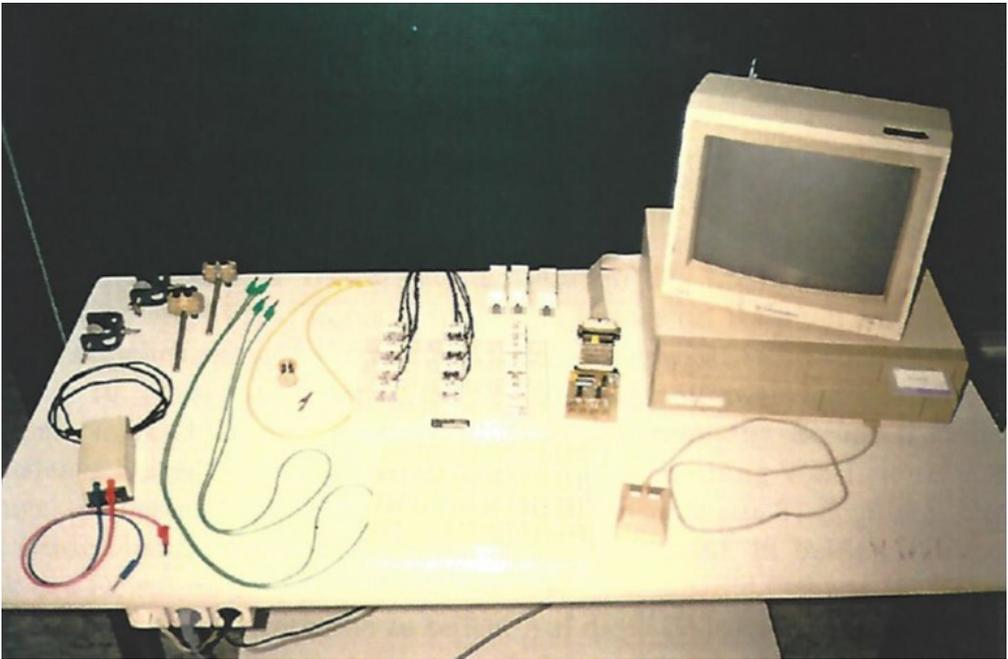


Abbildung 3.20: Hier wird das für die Schülerversuche notwendige Experimentiermaterial gezeigt, wie es die Schüler an ihrem Arbeitsplatz vorfinden.

Kapitel 4

Der Unterricht

Der in diesem Kapitel geschilderte Unterrichtsansatz wäre nach Meinung des Autors ohne weiteres ausbaufähig und dann bereits für eine Einführung in das Themengebiet einfache Stromkreise geeignet. In diesem Fall könnte er als Grundlage für den Unterricht in diesem gesamten Themenbereich fungieren. Aufgrund der äußeren Umstände¹ mußte man sich aber im Unterrichtsumfang auf zwei bis drei Unterrichtsstunden beschränken. So ergab es sich, daß dieses Konzept am Ende eines herkömmlichen Unterrichtes eingesetzt wurde und bewußt als Ergänzung zum bisherigen Unterricht verstanden wird.

Im Schulversuch wurde dieses Konzept in annähernd gleicher Weise in einem Physikleistungskurs zu Beginn des Ausbildungsabschnittes 12/1 und in einer 10. Klasse nach Beendigung des Unterrichts der Elektrizitätslehre² durchgeführt. Im Leistungskurs erfolgte der Unterricht im Rahmen des im Lehrplan vorgesehenen „experimentellen Praktikums“³, in der 10. Klasse im Rahmen der „erweiterten Übungsmöglichkeiten“³ für mathematisch-naturwissenschaftliche Gymnasien. Für die 10. Klasse trifft der Unterricht sogar genau zwei der vier für Schülerübungen vorgeschlagenen Themen, und zwar: „Spannung-Strom-Kennlinien verschiedener Leiter“³ sowie „Reihen- und Parallelschaltung von Leitern“³. Der Leistungskurs bestand aus 22 Schüler und die 10. Klasse aus 31 Schülern. Damit wiesen beide überdurchschnittlich hohe Schülerzahlen auf. In beiden Fällen war es dank des Einsatzes der jeweiligen Lehrkräfte möglich, die Gruppe im Rahmen der Regelung für Schülerversuche zu teilen. Auf diese Weise wurde der Unterricht also viermal gehalten. Dabei standen im Leistungskurs jeweils zwei und in der 10. Klasse jeweils drei Unterrichtsstunden (zu je 45 Minuten) zu Verfügung.⁴

¹Es stand nur sehr begrenzte Unterrichtszeit zur Verfügung und im Rahmen dieser Arbeit hätte sich auch ein Unterricht über Wochen und Monate hinweg nicht verwirklichen lassen.

²Es waren zumindest die in diesem Zusammenhang thematisch relevanten Gebiete bereits abgeschlossen.

³aus [Lehrplan]

⁴Es handelte sich sowohl beim Leistungskurs als auch bei der 10. Klasse um Schüler des Röntgen-Gymnasiums in Würzburg.

Wie bereits in der Einleitung des 3. Kapitels ausgeführt, wurde der Unterricht in zwei Einheiten geplant und durchgeführt. Der erste Teil bestand aus einem Unterrichtsgespräch anhand der vom Programm „E-Kette-U“ erzeugten Pfeildiagramme, der zweite aus einem Schülerversuchsblock mit dem Programm „Stromkreis“. Im folgenden wird, für jeden dieser beiden Abschnitte getrennt, das Konzept der Unterrichtseinheit vorgestellt und der Unterrichtsverlauf skizziert. Anschließend wird jeweils auf Probleme eingegangen, die sich im Lauf des Unterrichts abgezeichnet haben, und in einem vierten Schritt wird, angesichts der erkannten Probleme, versucht, Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

4.1 Das Unterrichtsgespräch

4.1.1 Konzept und Vorgehensweise

Das Unterrichtsgespräch hat hier zwei Aufgaben. Einerseits soll es eine Hilfestellung zur Konzeptbildung geben und andererseits den Schülern zeigen, wie man mit den eigenen Vorstellungen und denen anderer umgeht, wie man sie hinterfragt und gegebenenfalls überprüft.

In der Literatur werden als Konzeptbildungshilfen in der Regel Analogien (manchmal kombiniert mit Computersimulationen) angeboten. Darauf wird hier, aus mehreren Gründen, bewußt nicht zurückgegriffen. Immer wieder hat sich nämlich herausgestellt, daß die Schüler mit dem Analogiegebiet selbst Schwierigkeiten haben, außerdem erfordert die Umsetzung von der Analogie zum Stromkreis wieder einigen kognitiven Aufwand, den man möglicherweise besser dem Stromkreis und einer Vorstellung von ihm direkt widmen sollte. Folglich wird hier mit Pfeildiagrammen gearbeitet, die die Vorgänge im elektrischen Stromkreis veranschaulichen, ohne den Umweg über eine Analogie zu gehen. Es wird der Computer herangezogen, damit auch mit dynamischen Bildern gearbeitet werden kann. Zusätzlich wird die Konzeptbildung dadurch erleichtert, daß es sich nicht um ein Simulationsprogramm handelt, sondern um ein Meß- und Auswertungsprogramm. Konkret heißt das, es ist ein Stromkreis aufgebaut, von dem Meßdaten direkt dem Computer übertragen werden. Diese werden dort quasi in Echtzeit in das zugehörige Schaltbild und die Pfeildiagramme umgesetzt und auf dem Bildschirm ausgegeben.⁵ Es gibt zwei Pfeildiagramme, nämlich eines für die Spannungs- und eines für die Stromstärkedarstellung. In diesem Unterricht wird mit der Spannungsdarstellung und ihrer Besprechung begonnen, da die Schüler erfahrungsgemäß mit dem Spannungskonzept am wenigsten anfangen können. Sie verwechseln es sogar mit dem Stromkonzept bzw. gehen davon aus, daß die Begriffe Spannung und Stromstärke im wesentlichen dasselbe bedeuten. Um den Schülern zu vermitteln, daß die Spannung ein wichtiges und in Teilen sichereres

⁵Eine ausführliche Beschreibung des Programms, seiner Handhabung und einige typische Grafiken finden sich in Kapitel 3.

(weil weniger fehleranfälliges) Konzept, ist wird es hier ausführlich behandelt. Natürlich ist mit diesem System auch der Einstieg über die Stromstärke möglich. Einige Didaktiker bevorzugen diesen Ansatz, weil er die Schüler eher bei ihren Alltagsvorstellungen abholt und man dann auf die Notwendigkeit eines zweiten Konzeptes hinarbeiten kann. Dieses Vorgehen birgt aber die Gefahr in sich, daß einige Schüler meinen, sie seien mit dem Stromkonzept vertraut und „abschalten“. Sie realisieren dann die neuralgischen Stellen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht. Bei dem hier gewählten Einstieg über die Spannung werden die Schüler von Anfang an mit „Unbekanntem“ bzw. „Ungewohntem“ konfrontiert. Dadurch sind sie stärker bei der Sache. Dies erhöht die Chance, daß sie wesentliche Inhalte registrieren.

Im folgenden soll jetzt die eigentliche Vorgehensweise erläutert werden. Nach einer kurzen Erklärung der Funktionsweise des Systems wird anhand des „Grundstromkreises“ darauf hingewiesen, daß die computererzeugte Schaltskizze dem realen Stromkreis in allen Punkten entspricht. Dabei sollte der Lehrer die Entsprechungen jeweils deutlich bezeichnen und, was noch wichtiger ist, jeweils im realen Stromkreis und in der Schaltskizze auf dem Bildschirm auf sie zeigen. Dies ist nicht nur am Anfang, sondern während des ganzen Unterrichtsgesprächs notwendig, weil sonst die Gefahr besteht, daß die Schüler die Tatsache verdrängen, daß hier am realen Stromkreis gemessen wird. Anschließend wird, wieder anhand des „Grundstromkreises“, die Pfeildiagrammdarstellung für die Spannung eingeführt. Nach der Erklärung, daß die Länge der schwarzen Pfeile jeweils die zwischen dem zugehörigen Meßpunkt und dem Bezugspotential anliegende Spannung anzeigt, beginnt das eigentliche Unterrichtsgespräch. Die Schüler werden mit der Frage konfrontiert, wie man an diesem Pfeildiagramm die, an den einzelnen Widerständen abfallenden Spannungen, ablesen kann. Dies ist eine, höchstens vordergründig leichte Frage, da sie erhebliche Transferleistungen von den Schülern verlangt. Sie ist aber für einen Einstieg und hinreichende, kognitive Beteiligung der Schüler unabdingbar.

Hier beginnt nun die didaktische Gratwanderung der Lehrkraft. Sie soll, da sie praktisch bei jeder Frage gegeben ist an dieser Stelle einmal im Zusammenhang geschildert werden. Im weiteren Text wird auf eine explizite Erwähnung verzichtet, was aber natürlich nicht heißen soll, daß die beschriebene Vorgehensweise nicht jedesmal notwendig und zu beachten ist.

Zum einen muß den Schülern genügend Zeit gegeben werden, um über das Problem nachzudenken und einen eigenen Lösungsansatz (zumindest in Gedanken) zu formulieren, zum anderen muß der richtige Zeitpunkt für weitere Hinweise abgepaßt werden. Geschieht dies nämlich nicht, so beschließen viele Schüler nach einiger Zeit, daß das Problem für sie zu schwer ist und sie es grundsätzlich nicht lösen können. Wenn das aber der Fall ist, dann klinken diese Schüler sich kognitiv aus dem Unterrichtsgeschehen aus, und sind nicht mehr erreichbar. Folglich muß zu gegebener Zeit ein gut dosierter Hinweis gesetzt werden. (Hier z.B. der,

daß doch jeweils die schwarzen Pfeile vor und nach einem Widerstand und ihre unterschiedliche Höhe mit berücksichtigt werden sollten.) Wenn sich daraufhin die ersten Meldungen ergeben, sollte der Lehrer noch eine kleine Weile warten, bis auch die Mehrheit der anderen Schüler diesen Hinweis verarbeitet hat. Erst dann wird einer der Schüler aufgefordert, seine Antwortmöglichkeit vorzustellen und zu begründen. Die Lehrkraft sollte sich aber, egal ob die Antwort richtig oder falsch war, davor hüten, diese zu bewerten. Ihr kommt „nur“ die Aufgabe eines guten Moderators zu, der daraufhin die Stimmung in der Restklasse taxieren muß und gegebenenfalls weitere, begründete Vorschläge einfordert und sammelt. Wenn dann das Spektrum der Konzepte erfaßt ist, geht es darum, diese gegeneinander abzuwägen. Dabei ist es notwendig, daß der Lehrer keine fertigen Konzepte liefert, sondern den Schülern Anregungen gibt, wie man die eigenen Vorstellungen hinterfragt. Am Ende dieser Phase steht hier immer das Experiment. Mit ihm wird die gemeinsame begründete Vorhersage überprüft. Falls man sich allerdings nicht einigen konnte, dient es mit den daraus gewonnenen, neuen Erkenntnissen als Grundlage für eine gemeinsame Konzeptentwicklung. Auf jeden Fall ist es unbedingt notwendig, daß der Lehrer sich von den Schülern mitteilen läßt, was sie beobachtet haben. Oft sehen sie nämlich das in Versuche hinein, was sie vorher erwartet haben. Wenn dies der Fall ist, dann sollte die Lehrkraft auf wesentliche Stellen aufmerksam machen, die beobachtet werden sollen, und anschließend das Experiment wiederholen. Danach wird gemeinsam versucht, das Beobachtete zu verstehen. Bei all dem muß der Lehrer darauf achten, daß er sich und sein Wissen nur sehr vorsichtig (und nur, wenn wirklich notwendig) in die Diskussion einbringt. Andernfalls könnte bei den Schülern der Eindruck entstehen, daß der Lehrer die Lösung schon liefern wird, wenn sie nur lange genug warten. Dies würde wieder dazu führen, daß sie sich kognitiv nicht am Unterricht beteiligen und damit jeglichen Verständnissgewinn unmöglich machen. Desweiteren muß versucht werden, alle Schüler zu begründeten Aussagen zu veranlassen, sowie alle Aussagen gleichberechtigt diskutieren und keine als „dumm“ oder „falsch“ abqualifizieren zu lassen. Vielmehr muß die Erkenntnis angestrebt werden, daß nur Konzepte existieren, die unterschiedlich gut tragen und es die gemeinsame Aufgabe ist, eines der besten herauszufiltern, bzw. zu entwickeln.

Nun wird man zu Recht einwenden, daß es einen Lehrer, der es schafft, alle diese Anforderungen in der Unterrichtspraxis durchzuhalten, wohl nicht gibt. Trotzdem, oder gerade deshalb, hält es der Autor für notwendig, sich selbst immer wieder an dieser Meßlatte zu messen und sie als Ziel nie aus den Augen zu verlieren. Neben dem Einsatz der beschriebenen Computerprogramme und der selbstbestimmten Arbeit der Schüler in ihren Schülerversuchen ist dies das wesentliche Konzept, mit dem hier verucht wird, ein Verständnis bei den Schülern zu erreichen.

Im weiteren wird auf dieses Konzept und die daraus resultierenden Vorgehensweisen nicht mehr näher eingegangen. Es werden nur noch die im Unterrichtsge-

spräch behandelten Themengebiete aufgezeigt und kurz erläutert. Wenn geklärt ist, wie man die Spannungen an den Widerständen ablesen kann, wendet man sich der violetten Linie zu und versucht zu klären, was sie aussagt. Dabei könnte sich die Frage als produktiv erweisen, ob man anhand der grafischen Darstellung erkennen kann, wie sich die Widerstandswerte der sieben Widerstände des „Grundstromkreises“ zueinander verhalten. Daran anschließend wird diskutiert, was wohl passiert, wenn man einen der (gleichen) Widerstände gegen einen mit einem anderen Widerstandswert austauscht. Hier ist die Anschlußfrage angebracht, wie sich die Steigungen der violetten Linie vor, im und nach dem Widerstand jeweils verhalten. Ein Hinweis auf den ersten und letzten schwarzen Pfeil (die sich, weil direkt auf dem Potential des Plus- bzw. Minuspols der Spannungsquelle, natürlich nicht verändern) könnte sich als nützlich erweisen. Dann wird der Frage nachgegangen, wie sich eine Veränderung des Widerstandswertes des neuen Widerstandes auswirkt. Spätestens, wenn man den „Grundstromkreis“ wieder herstellen will, ergibt sich das Problem, wie die Grafik auf das Herausziehen eines Widerstandes reagiert.

Ist auch das abgehandelt, so geht man über zu Nebenschlüssen im „Grundstromkreis“. Damit überdenken die Schüler, ohne es zu realisieren, das Problem des belasteten Potentiometers. Es wird die Frage aufgeworfen, was passiert, wenn man parallel zu irgendwelchen Widerständen im „Grundstromkreis“ einen Nebenschluß mit einem Widerstand anbringt. (Stützfragen: Verändert sich etwas, wenn ja, was und warum, wenn nein, warum nicht? / Wie verhält sich die violette Linie, und wie kommt es dazu? / Wo im Kreis sind Veränderungen zu erwarten und aus welchem Grund? / Was bleibt gleich und woran liegt das? ...) Anschließend werden nacheinander die Probleme in Angriff genommen, wie es sich auswirkt, wenn man den Widerstandswert des regelbaren Widerstandes erhöht (erniedrigt), bzw. wenn sich, bei gleichem Widerstandswert im Nebenschluß, dieser über mehr (weniger) Widerstände im „Grundstromkreis“ erstreckt.

Erst, wenn sich die Schüler auf diese Weise intensiv mit der Spannung auseinandergesetzt haben, geht man im Programm „E-Kette-U“ zur Stromstärkepfeildiagrammdarstellung über. Wie schon im Bereich der Spannung wird auch hier wieder mit dem „Grundstromkreis“ begonnen und an dessen Pfeildiagramm die Darstellungsweise für die Stromstärke erklärt. Anschließend wird das Unterrichtsgespräch fortgesetzt. Dabei wird wieder der Frage nachgegangen, was passiert und warum, wenn man irgendwo im Kreis einen Parallelzweig hinzufügt. Hier ist, notfalls mit Hilfe von Stützfragen (z.B.: Wie verhalten sich die Strompfeile vor und nach der Nebenschlußstelle und warum?), auf die Einsicht hinzuwirken, daß ein Eingriff irgendwo im Kreis Auswirkungen auf den Gesamtkreis hat und daß sich dadurch, bei unveränderter Spannungsquelle, auch die Gesamtstromstärke im Kreis ändert. Es ist die interessante Fragestellung aufzuwerfen, wie sich die Stromstärken in den Parallelzweigen zu denen im Restkreis verhalten. Desweiteren muß sich die Frage anschließen, ob und gegebenenfalls wie die Stromstärken im Kreis auf eine Änderung des Widerstandswertes im Parallelkreis reagieren.

Auch hier sind die Antworten wieder zu erläutern und zu begründen. Danach ist das Problem zu klären, was passiert, wenn sich bei gleichem Widerstandswert im Nebenschluß, dieser über mehr (weniger) Widerstände im „Grundstromkreis“ erstreckt.

Nachdem all das abgehandelt ist, empfiehlt es sich, zum Abschluß einmal Stromstärke- und Spannungspfeildiagramm zusammen zu betrachten, und deren Verhalten bei Veränderungen im Kreis gegenüberzustellen. Anschließend wird das Unterrichtsgespräch beendet und mit dem Schülerversuchsblock begonnen. Dabei besteht die Hoffnung, daß die Schüler bei den Überlegungen in ihrer Kleingruppe wieder auf im Unterrichtsgespräch erworbene Konzepte und Erklärungsmuster zurückgreifen.

4.1.2 Im Unterrichtsverlauf erkannte Probleme und Ansätze zu deren Behebung

Der Unterrichtsverlauf hat sich im Leistungskurs praktisch überhaupt nicht von dem in der 10. Klasse unterschieden. Wie die Testergebnisse läßt auch diese Tatsache wieder darauf schließen, daß in beiden Fällen ein gleich gutes (oder soll man sagen gleich schlechtes) Verständnis der Vorgänge in Gleichstromkreisen vorliegt. Dies ist auch der Grund, warum nur an wenigen Stellen speziell auf die eine oder andere Unterrichtsgruppe eingegangen wird.

Ein erstes Problem hat sich im Unterrichtsgespräch zunächst dadurch ergeben, daß es im selben Raum stattfand wie die anschließenden Schülerversuche. Dies führte dazu, daß die Schüler sehr stark vom Computer und den sonstigen Arbeitsmaterialien an ihrem Platz abgelenkt waren. Eine Möglichkeit dieses Problem zu beseitigen wäre, das Schülerversuchsmaterial erst nach dem Unterrichtsgespräch zu verteilen. Dies ist aber aufgrund der Menge zeitlich nicht durchführbar. Die hier beim letzten Unterricht im Rahmen dieser Arbeit erfolgreich angewandte Methode ist folgende: Alle Schülerversuchsarbeitsplätze werden am Rand des Fachraumes aufgebaut. In der Mitte bleibt Platz für die Stühle der Schüler. Diese werden im Halb- bis Dreiviertelkreis so ausgerichtet, daß möglichst alle Schüler mit dem Rücken zu ihren Arbeitsplätzen sitzen, direkte Sicht auf den Demonstrationsversuch haben und trotzdem ein Blickkontakt zu den Mitschülern möglich ist. Dadurch konzentrieren sich die Schüler mehr auf den Versuch, und der Lehrer kann, weil er alle gleichzeitig im Blick hat, viel besser auf (auch nonverbale) Reaktionen der Schüler eingehen. Zusätzlich unterscheidet sich diese Sitzordnung grundsätzlich von dem, was die Schüler gewohnt sind und fördert durch den uneingeschränkten Blickkontakt untereinander das Diskussionsklima. Damit ist auch schon das zweite Problem angesprochen, mit dem ein solches Unterrichtskonzept zu kämpfen hat. Die Schüler sind es nämlich nicht gewohnt zu diskutieren, schon gar nicht in der Physik. Es fehlt die Erfahrung, wie man mehrere Konzepte zunächst sammelt und anschließend gemeinsam gegeneinander abwägt. Dabei

fehlt meist die Erkenntnis, daß das, was im Physikunterricht als absolute Wahrheit präsentiert wird, auch nichts anderes ist, als durch Menschen entwickelte Reihe von Erklärungskonzepten ist, die sich allerdings im Lauf der Jahre als sehr tragfähig erwiesen haben. Wie tiefgreifend die Schwierigkeiten dieser Art sind, zeigt folgendes Beispiel: Im Leistungskurs haben immer nur wenige Schüler zum Unterrichtsgespräch beigetragen. Um die anderen Schüler auch zu beteiligen, hat der Lehrer eine Umfrage im Kurs durchgeführt. Dabei wurde jeder Schüler nach seiner Vorstellung zum augenblicklichen Diskussionspunkt befragt und um eine Begründung seiner Vorhersage gebeten. Auch in dieser Situation trauten sich viele nicht zu antworten und mußten wiederholt aufgefordert werden. Aber das Interessanteste daran war wohl die Begründung mehrerer Schüler für ihre Antwort. Diese beruhte nämlich darauf, daß ein vom Kurs für physikalisch begabt gehaltener Schüler diese Meinung schon vorher geäußert hatte. Es bleibt festzuhalten, daß sie sich nicht auf dessen Begründung, sondern nur auf die reine Aussage beriefen. Dies alles läßt vielfältige Interpretationen zu, von denen hier einige im Hinblick auf eine Problemlösung zusammengestellt werden.

- Die Schüler glauben, daß Beitrag benotet wird und halten sich deshalb, aus Angst etwas falsches zu sagen, zurück.
- Einige Schüler haben Angst, für ihre Antwort ausgelacht zu werden.
- Für die Schüler gibt es nur falsche bzw. richtige Aussagen, die von Anfang an feststehen und nicht diskutierbar sind. Dies ist besonders problematisch, wenn der Lehrer etwas sagt, denn man muß davon ausgehen, daß das richtig ist. Folglich kann man auch nicht nachfragen, wenn man die Begründung nicht verstanden hat, weil man sich dadurch nur vor dem Lehrer und/oder den Anderen eine Blöße gibt. Man beschränkt sich darauf, den Lehrer als Autorität anzuerkennen und damit seine Aussage als wahrscheinlich richtig zu akzeptieren. Damit ist aber natürlich keinerlei Verständnisgewinn zu erzielen.
- Einige arbeiten völlig ohne Konzept und antworten nur „nach Gefühl“. Deshalb ist ihnen auch eine Begründung ihre Antworten nicht möglich.
- Viele benutzen kein Konzept, sondern wenden nur gelernte Lehrsätze an. Aus diesem Grund können sie nicht über Konzepte diskutieren, sondern nur richtige oder falsche Aussagen mit ihren Lehrsätzen vergleichen.

Es sei an dieser Stelle noch einmal wiederholt, daß der Autor die vorgestellte Liste ausschließlich als Interpretationsversuche betrachtet und nicht etwa als absolute Wahrheit. Ein Erfolgsrezept zur Beseitigung dieser Probleme wird man an dieser Stelle schwerlich erwarten können und kann natürlich auch nicht angeboten werden. Der Autor schlägt hier nur folgende, sehr zeitaufwendige Möglichkeiten

vor, deren Erfolgsaussichten noch dazu höchst ungewiß sind. Wenn sie hier trotzdem aufgeführt sind, dann deshalb, weil man grundsätzlich die Idealvorstellungen dessen, was man erreichen will, nicht aus den Augen verlieren sollte.

- Es sollte versucht werden, den Schülern die Arbeitsweise von Physikern zu verdeutlichen, damit sie physikalische Sachverhalte nicht mehr nur glauben, sondern sich als Konzepte erarbeiten bzw. als solche erkennen. Außerdem sollte man sie zur Einsicht anleiten, daß diese Konzepte ständig auf dem Prüfstand von Experimenten und eigenen Überlegungen ihre Tragfähigkeit unter Beweis stellen müssen.
- Es sollte mit der Klasse intensiv gruppenspezifisch gearbeitet werden, damit möglichst für alle Schüler die Hemmschwelle für Äußerungen vor der Klasse deutlich herabgesetzt wird. Desweiteren ist dadurch eine Diskussionskultur zu erarbeiten, die als Grundlage echter, gemeinsamer Konzeptarbeit notwendig ist.

4.2 Schülerversuche

4.2.1 Konzept und Vorgehensweise

Beim Schülerversuchsteil des hier vorgestellten Unterrichts geht es natürlich nicht nur darum, die Schüler eigene Erfahrungen mit Stromkreisen sammeln zu lassen, obwohl auch das ein erklärtes Ziel dieses Abschnitts ist. Noch wichtiger ist die Fortsetzung der im Unterrichtsgespräch begonnenen, kognitiven Beschäftigung mit dem Problemkreis „Vorgänge in Gleichstromkreisen“. Da jeder Schüler hierfür unterschiedlich viel Zeit benötigt, kann jede jeweils aus zwei bis drei Schülern bestehende Arbeitsgruppe selbst festlegen, wie lange sie sich mit jeder Aufgabe beschäftigen will. Um dies zu gewährleisten, werden die Arbeitsanweisungen nicht vom Lehrer verkündet, sondern auf den Blättern des Praktikumsprotokoll-Vordrucks mitgeteilt. Dabei ist es wichtig, nicht alle Blätter auf einmal zu verteilen, sondern zunächst nur das erste und sonst nur bei Bedarf der einzelnen Gruppe das jeweils nächste. Dadurch fühlen sich die langsameren Schüler durch den Umfang der Aufgaben nicht unter Druck gesetzt und die besseren Schüler erhalten durch die später ausgeteilten vermeintlichen Spezialaufgaben einen zusätzlichen Motivationsschub. Schon in den Arbeitsanweisungen auf dem ersten Blatt wird eine intensive Beschäftigung mit den eigenen Vorstellungen, aber auch mit denen des/der anderen in der Arbeitsgruppe eingefordert (vgl. Abbildung 4.1 auf Seite 107). Anhand dieser Liste wird jetzt das zugrundeliegende Konzept Schritt für Schritt ausgeführt:

- Zunächst werden die Vorstellungen der Schüler aktiviert, indem sie zum Nachdenken über ihre Erwartungen vom Versuchsergebnis angehalten werden. Sehr wichtig ist, daß sie diese anschließend auch artikulieren und dem

- Die folgenden Aufgaben sind in fünf Schritten zu bearbeiten:
- 1) Überlegen Sie sich eine Antwort auf die Frage, diskutieren Sie in ihrer Gruppe darüber, und notieren Sie Ihre Lösung unter dem Stichwort „Vorhersage“ auf Ihrem Praktikumsprotokoll (PP).
 - 2) Bauen Sie die zugehörige Schaltung auf ihrem Steckbrett nach.
 - 3) Zeichnen Sie in die Schaltskizze ein, wo Sie Ampere- bzw. Voltmeter einbauen wollen, und zeigen Sie Ihre so vervollständigte Schaltskizze einem Betreuer.
 - 4) Bauen Sie jetzt Ihre Meßadapter gemäß Ihrer Skizze in Ihre Schaltung ein und führen Sie Ihre Messung(en) mit Hilfe des Programms „Stromkreis“ durch.
 - 5) Schreiben Sie die Meßergebnisse in Ihr PP. Sollten diese nicht mit Ihrer Vorhersage übereinstimmen, dann diskutieren Sie in Ihrer Arbeitsgruppe darüber, welche Ihrer (Modell-)Vorstellungen fehlerhaft waren. Versuchen Sie, anhand der Meßergebnisse allgemeine Strom- und Spannungsregeln aufzustellen.

Abbildung 4.1: Arbeitsanweisungen im Vorspann des an die Schüler ausgeteilten Praktikumsprotokollvordrucks

Partner in der Arbeitsgruppe erklären sollen. Da die Schüler selbständig arbeiten, ist die Überprüfung dieser Anforderung nicht ganz leicht. Ein Minimalansatz hierfür ist die Tatsache, daß sie ihre Vorhersage auf dem Praktikumsprotokoll schriftlich fixieren sollen. Ein zweiter, ebenso wichtiger Grund dafür liegt im Ansatz des kognitiven Konfliktes innerhalb dieses Konzepts. Schüler neigen oft dazu, ihre „fehlerhaften“ Aussagen vor anderen, aber auch vor sich selbst verdrängen. Auf diese Weise wird ein notwendiger kognitiver Konflikt vermieden, aber gleichzeitig die Chance zur intensiven Auseinandersetzung und dadurch möglicherweise zur Verständniserwicklung vertan. Die Schüler sollen also durch die schriftliche Fixierung ihrer Vorhersagen zur Auseinandersetzung mit ihnen „gezwungen“ werden.

- Die Notwendigkeit, die eigenen Stromkreise selbst zusammenzubauen, verschafft den Schülern die Gelegenheit, sich mit der Struktur einfacher, realer Stromkreise vertraut zu machen.
- Selbst festzulegen, mit welchen Messungen man seine Vorhersagen überprüft bzw. sich eine Frage beantworten läßt, ist für die Schüler eine zusätzliche kognitive Herausforderung. Gleichzeitig gewinnen sie möglicherweise Einblick in die Hintergründe der Spannungs- und Strommessung.

- Wenn vor dem eigentlichen Experiment eine so lange und ausführliche gedankliche Auseinandersetzung steht, schärft das den Blick der Schüler für den Verlauf und Ausgang des Versuchs. Vielleicht vermindert die vorausgegangene Diskussion mit dem Partner in der Arbeitsgruppe die Tendenz, eigene Vorstellungen in den Ausgang des Experiments hineinzusehen.
- Die Diskussionsphase am Ende des Versuchs hat zunächst die Aufgabe, gemeinschaftlich in der Gruppe das Wesentliche der neuen Erkenntnisse herauszuarbeiten. Erst danach werden durch die Ausnutzung des kognitiven Konfliktes die eigenen Vorstellungen in Frage gestellt und die Entwicklung neuer Konzepte gefördert. Die Aufforderung, daraus eigene Strom- und Spannungsregeln zu entwickeln, soll die Transferfähigkeit der Schüler fördern und entwickeln, ihnen aber auch die Gelegenheit geben, ihre neuen Konzepte gleich bei der nächsten Aufgabe zu überprüfen.

Im folgenden soll die Vorgehensweise in dieser Unterrichtsphase im einzelnen geschildert werden. Zunächst stellt der Lehrer den Schülern vor, was im Verlauf der Schülerübung auf sie zukommt und macht im Sinn des oben dargestellten Grundkonzeptes auf wesentliche Details aufmerksam. Anschließend teilt er das erste Blatt des Praktikumsprotokolls aus und gibt den Schülern Zeit, die Arbeitsanweisungen zu lesen und ihre Vorhersagen für die erste Teilaufgabe aufzuschreiben. Danach wird ihnen das Steckbrettssystem erklärt, und sie werden aufgefordert, die erste Schaltung nachzubauen. Erst jetzt wird die Einführung in die Bedienung des Programms „Stromkreis“ vorgenommen. Dabei benutzt der Lehrer wieder den bereits während des Unterrichtsgesprächs verwendeten Computer und den Fernseher mit großformatiger Bildröhre. Den Schülern wird jeder Bedienungsvorgang schrittweise am Bildschirm erklärt und sie werden jeweils direkt anschließend aufgefordert, ihn an ihrem Computer nachzuvollziehen. Dann wird der Anschluß der Meßadapter und besonders der nicht ganz einfache Umgang mit dem Bezugspotential erläutert. Die gemeinsame experimentelle Bearbeitung der ersten Teilaufgabe schließt die Einführung ab und ist gleichzeitig der Beginn der eigenständigen Arbeit in den Übungsgruppen. Ab diesem Zeitpunkt bewegt sich der Lehrer zwischen den einzelnen Gruppen hin und her und ist für Fragen jederzeit ansprechbar, hütet sich aber tunlichst davor, zu viele gutgemeinte Ratschläge zu geben. Er sollte nur eingreifen, wenn das Versuchsergebnis ersichtlich falsch interpretiert wurde. In diesem Fall muß er einen zweiten Versuchslauf anordnen und sich von den Schülern ihre Beobachtungen und Schlußfolgerungen direkt darlegen lassen.

Nachdem die Vorgehensweise geklärt ist, sollen jetzt die zu lösenden Aufgaben des Praktikumsprotokolls im einzelnen dargestellt und erläutert werden. In Aufgabe 1 (siehe Abbildung 4.2 auf Seite 109) geht es um die Stromstärke und die Spannungen in einem sehr einfachen Stromkreis, der im wesentlichen nur aus einer Spannungsquelle und einer Glühbirne besteht. Die relativ einfachen Aufgabenstellungen in 1a und 1b geben den Schülern die Gelegenheit, mit dem System

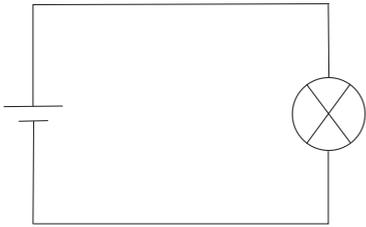
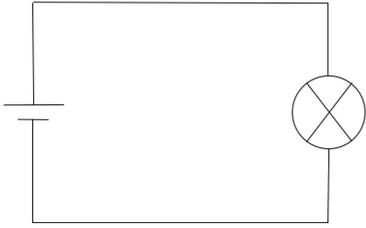
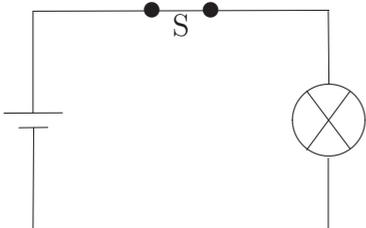
Aufgabe 1:	
<p>1a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen im Stromkreis 1a zueinander?</p>	
Stromkreis 1a:	Vorhersage:
	Meßergebnis:
<p>1b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirne anliegenden Spannungen in Stromkreis 1b zueinander?</p>	
Stromkreis 1b:	Vorhersage:
	Meßergebnis:
<p>1c) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirne anliegenden Spannungen und die Stromstärke in Stromkreis 1c, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?</p>	
Stromkreis 1c:	Vorhersage:
	Meßergebnis:

Abbildung 4.2: Wortlaut der Aufgabe 1 des Praktikumsprotokolls

und dessen Bedienung vertraut zu werden. Teilaufgabe 1c stellt aber spätestens die ersten größeren, kognitiven Anforderungen an die Schüler. Das Öffnen eines Schalters im Kreis, bringt das „Spannungskonzept“ der meisten Schüler (falls sie überhaupt über eines verfügen) bereits ins Wanken. So ist ihnen nicht klar, daß auch in diesem Fall an der Spannungsquelle dieselbe Spannung zu messen ist.

Aufgabe 2 (vgl. Abbildung 4.3 auf Seite 111) beschäftigt sich mit der Stromstärke und den Spannungen in einer einfachen Serienschaltung, bestehend aus zwei identischen Glühlampen. Anhand dieser Aufgabe sollen sich die Schüler mit den grundsätzlichen Gegebenheiten in Serienschaltungen vertraut machen. Aufgabe 3 (siehe Abbildung 4.4 auf Seite 112) befaßt sich mit einer wieder aus zwei identischen Glühlampen bestehenden Parallelschaltung. Auch hier wurde wieder der denkbar einfachste Parallelkreis gewählt, da sich wesentliche Erkenntnisse und Konzeptansätze am ehesten an Spezialfällen bzw. starken Vereinfachungen gewinnen lassen. Vor diesem Hintergrund stellt sich natürlich die berechnete Frage, warum dann nicht Ohmsche Widerstände verwendet wurden, die die Problematik der Widerstandsänderung von Glühlampen ausgeklammert hätten. Hierauf läßt sich erwidern, daß elektrischer Strom etwas ist, was man nicht sehen oder hören kann und Schüler mit dieser Tatsache in der Regel Schwierigkeiten haben. Dazu hier noch einmal eine Passage aus dem bereits mehrfach zitierten Gespräch mit der Realschülerin Elke⁶:

- „Es ist schwer vorstellbar mit dem Strom. Den Strom sieht man nicht und — du merkst halt nichts und wenn du mal so hinlangst, dann kriegst du halt so einen Schlag. Kannst dir ja nicht ständig einen Schlag geben lassen, so davor und danach.“

Elke spricht hier den Kern des Problems an und zeigt implizit auch schon einen Lösungsansatz auf. Der elektrische Strom ist zwar nicht sichtbar, man kann ihn aber an seinen Wirkungen erkennen. Die Glühlampen werden also deshalb verwendet, weil jeder Schüler an ihnen sofort sehen kann, ob „Strom“ fließt. Außerdem läßt sich aus ihrer Helligkeit (ganz ohne Meßinstrumente) bereits auf die jeweilige Stromstärke schließen. Mit den Aufgaben 1 bis 3 sind die grundlegendsten Versuche gemacht. Von jetzt an muß bereits teilweise mit den entwickelten (neuen) Konzepten gearbeitet werden.

Aufgabe 4 des Praktikumsprotokolls versucht einer Fehlvorstellung im Zusammenhang mit dem Ohmschen Gesetz entgegenzuwirken. Folgendes Zitat gibt eine gute Zusammenfassung dieser Problematik:

- „Das gefundene Ohmsche Gesetz ($U \sim I$) legt die Definition des Widerstandes als $R = \frac{U}{I}$ nahe. Dies scheint so selbstverständlich, daß viele das Ohmsche Gesetz und die Widerstandsdefinition gleichsetzen. Dabei besteht ein fundamentaler Unterschied: Ein Gesetz ist in der Physik ein gefundener

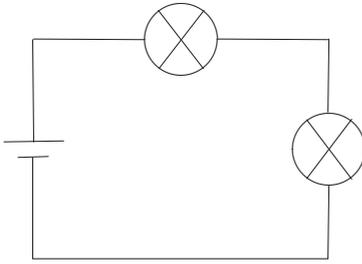
⁶vgl. Kapitel 2, Fußnote 8

Aufgabe 2:

- 2a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen im Stromkreis 2a zueinander? Ändern sich Helligkeit und durchfließende Stromstärke der Glühbirne in Stromkreis 1a, wenn man wie in Stromkreis 2a eine Glühbirne hinzufügt?

Stromkreis 2a:

Vorhersage:

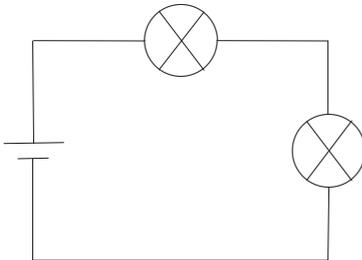


Meßergebnis:

- 2b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirnen anliegenden Spannungen in Stromkreis 2b zueinander? Ändern sich die an der Glühbirne bzw. der Spannungsquelle in Stromkreis 1b anliegenden Spannungen, wenn man wie in Stromkreis 2b eine Glühbirne hinzufügt?

Stromkreis 2b:

Vorhersage:



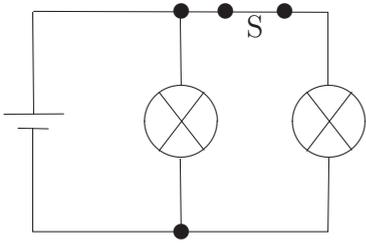
Meßergebnis:

Abbildung 4.3: Wortlaut der Aufgabe 2 des Praktikumsprotokolls

Aufgabe 3:

3a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen im Stromkreis 3a zueinander? Ändern sich Helligkeiten und Stromstärken, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?

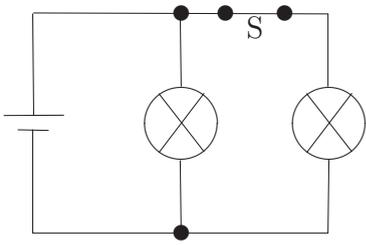
Stromkreis 3a:
Vorhersage:



Meßergebnis:

3b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirnen anliegenden Spannungen in Stromkreis 3b zueinander? Ändern sich die an den Glühbirnen bzw. der Spannungsquelle anliegenden Spannungen, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?

Stromkreis 3b:
Vorhersage:

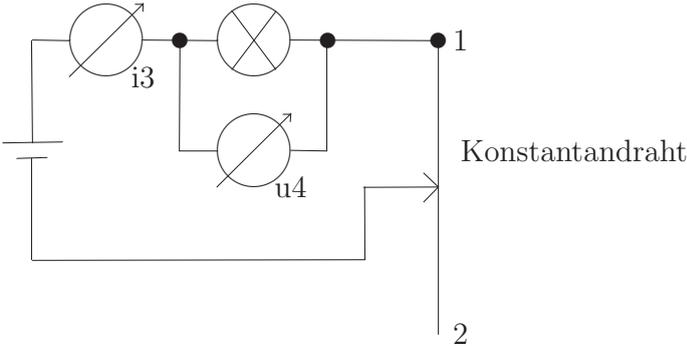


Meßergebnis:

Abbildung 4.4: Wortlaut der Aufgabe 3 des Praktikumsprotokolls

Aufgabe 4:

Stromkreis 4:



In Stromkreis 4 ist ein Konstantendraht in Serie zu einer Glühbirne geschaltet. Was passiert, wenn man den variablen Abgriff von Stellung 1 nach Stellung 2 verschiebt? Begründen Sie Ihre Vorhersage.

Antwort:

Bauen Sie den Stromkreis 4 nach, und nehmen Sie ein U–I–Diagramm auf, während sie den Abgriff (Krokodilklemme) am Konstantendraht von 1 nach 2 verschieben. Tauschen Sie anschließend die Glühbirne gegen einen 10Ω–Widerstand aus, und wiederholen Sie den Vorgang. Übertragen Sie nun den qualitativen Verlauf der Kurven auf Ihr PP und diskutieren Sie das Ergebnis.

U–I–Diagramm einer Glühbirne (G) und eines Festwiderstandes (FW)



Meßergebnis:

Abbildung 4.5: Wortlaut der Aufgabe 4 des Praktikumsprotokolls

Zusammenhang zwischen bereits bekannten Größen; hier ist es die entdeckte Proportionalität zwischen den schon definierten Größen Spannung und Stromstärke. Allein das ist der Inhalt des Ohmschen Gesetzes: Eine physikalische Größe dagegen wird nicht entdeckt, sondern z.B. durch Verknüpfung bekannter Größen definiert. ... Der Lehrer achte darauf, daß kein Schüler sagt: ‚Das Ohmsche Gesetz heißt $R = \frac{U}{I}$!‘⁷

In dieser Aufgabe 4 (siehe Abbildung 4.5 auf Seite 113) sollen die Schüler die Widerstandskennlinien eines Ohmschen Widerstandes und einer Glühbirne aufnehmen. Dadurch sollen sie erfahren, was das Ohmsche Gesetz eigentlich bedeutet und gleichzeitig erkennen, daß eine Glühbirne einer der vielen nicht Ohmschen Widerstände ist. Sollten bei guten Schülern an dieser Stelle noch Aufnahmekapazitäten frei sein, so ließe sich mit ihnen noch der Verlauf der Glühbirnenkennlinie besprechen. Schon an diesem letzten Satz läßt sich erkennen, daß sich der Lehrer bei dieser Aufgabe etwas intensiver um die einzelnen Gruppen kümmern muß und zwar aus mehreren Gründen. Einmal muß man zur Aufnahme einer Kennlinie ein U(I)-Diagramm erstellen, die Schüler haben aber in den bisherigen Versuchen immer nur mit U(t)- bzw. I(t)-Diagrammen gearbeitet. Um den Schülern die Arbeit mit dem U(I)-Diagramm zu erleichtern, wurden bei dieser Aufgabe ausnahmsweise die Meßgeräte mit in die Schaltskizze eingezeichnet. Deren Bezeichnungen „I₃“ bzw. „U₄“ sind als Hinweis auf die entsprechende Grafik-Auswahlzeile im „Grafik-Menü“ gedacht. Ein zweiter und wichtigerer Grund für den Lehrer, sich hier intensiv um die Gruppen zu bemühen, besteht darin, daß viele Schüler große Schwierigkeiten haben, etwas komplexere Grafen (wie eben die Kennlinien) zu interpretieren. Folgende Frage sollte der Lehrer als Hinweis im Hinblick auf die Interpretation auf jeden Fall stellen: ‚Wenn keine Spannung an einem Bauteil anliegt, wie groß ist dann die Stromstärke im Bauteil?‘ Die Notwendigkeit hierzu begründet sich in der Tatsache, daß die Kennlinien erst bei einer Spannung größer als Null beginnen. Dies liegt daran, daß man, mit dem hier verwendeten Aufbau, die am betrachteten Bauteil abfallende Spannung nicht auf Null reduzieren kann. Desweiteren sollte man auf die Möglichkeit hinweisen, daß man eine neue Ursprungsgerade mit beliebiger Steigung in die fertige Grafik einzeichnen kann. Da ihre Steigung jeweils ganz rechts außen in der Kopfzeile angezeigt wird, kann sie also (auch das muß erarbeitet werden) als Widerstandsanzeiger für jeden Punkt der entsprechenden Kennlinie benutzt werden.

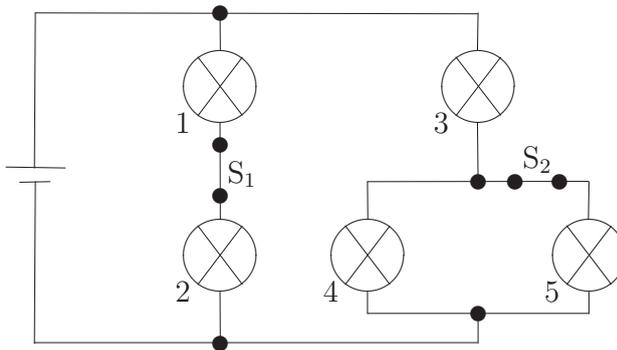
Hier sollte noch einmal erwähnt werden, daß es für den Lehrer durchaus möglich ist, sich an dieser Stelle intensiver mit einer Gruppe zu beschäftigen und nach Bedarf von einer Gruppe zur nächsten zu wechseln. Dies liegt daran, daß die Schüler in ihrer eigenen Geschwindigkeit arbeiten dürfen und sollen und somit zu leicht unterschiedlichen Zeiten bei dieser Aufgabe ankommen.

⁷Zitiert aus [Duit 89]. Dort wird als Ursprung dieser Passage allerdings folgendes Buch angegeben: G. Amberger, u.a.: ‚WEGE IN DER PHYSIK‘, Lehrband, Klett Verlag, Stuttgart, 1977

Aufgabe 5:

In dieser Aufgabe geht es darum, die erarbeiteten Strom- und Spannungskonzepte anzuwenden. Sie werden nur nach den Helligkeiten der Glühbirnen gefragt, sollten aber in der ausführlichen Begründung Ihrer Antwort jeweils mit den Spannungen und Stromstärken argumentieren. Zuletzt sollten Sie Ihre Argumentation mit Hilfe von Messungen überprüfen.

Stromkreis 5:



- 5a) Die Schalter S_1 und S_2 sind zunächst geschlossen. Wie verhalten sich die Helligkeiten der Glühbirnen 1 bis 5 zueinander? Vergleichen Sie insbesondere die Glühbirnen 1 und 3.

Antwort:

Begründung:

- 5b) Was ändert sich an den Helligkeiten, wenn man Schalter S_1 öffnet?

Antwort:

Begründung:

- 5c) Was ändert sich an den Helligkeiten, wenn man Schalter S_2 öffnet?

Antwort:

Begründung:

Abbildung 4.6: Wortlaut der Aufgabe 5 des Praktikumsprotokolls

Aufgabe 5 (siehe Abbildung 4.6 auf Seite 115) schließlich hat zwei Zielrichtungen. Sie will zum einen die neuen Erkenntnisse durch wiederholte Anwendung vertiefen und zum anderen die Tragfähigkeit der entwickelten, neuen Konzepte auch für komplexere Aufgaben unter Beweis stellen. Dabei ist der Schwierigkeitsgrad dieser Aufgabe keinesfalls zu unterschätzen. Die Fragen stellen eine nicht unerhebliche Herausforderung für die Schüler dar, die sie bei flüchtiger Bearbeitung oft gar nicht erkennen. Gerade für diese Aufgabe muß man sich sehr viel Zeit nehmen und sie, nachdem sie von den einzelnen Arbeitsgruppen bearbeitet ist, auch in der Klasse ausführlich besprechen. Dies gilt aber nicht nur für die letzte Aufgabe. Vielmehr sollte die in den Schülerversuchen erfolgte intensive Beschäftigung aller Schüler mit der Materie genutzt werden. Ein weiteres Unterrichtsgespräch in der oben dargestellten Form, das jetzt auf einer gemeinsamen Grundlage basiert, könnte und sollte den gesamten Stoff der Schülerübung noch einmal aufarbeiten.

4.2.2 Im Unterrichtsverlauf erkannte Probleme und Ansätze zu deren Behebung

Obwohl keiner der am Unterrichtsversuch beteiligten Schüler jemals mit einem der beiden verwendeten Programme gearbeitet hat, gab es fast keine erkennbaren Schwierigkeiten. Dabei mache man sich klar, daß sich die Schüler nicht nur an das neue Unterrichtsmedium Computer gewöhnen mußten. Es war sogar notwendig, sich nacheinander in zwei völlig verschiedene grafische Darstellungen einzuarbeiten. Die Pfeildiagrammdarstellung haben sie mit Sicherheit vorher noch nie gesehen, und die Auftragung der Stromstärke bzw. der Spannung über der Zeit war ihnen ebenfalls neu. Doch alle diese Neuerungen bereiteten den Schülern augenscheinlich (und auch nach ihren im nächsten Kapitel ausführlich behandelten Aussagen im Fragebogen zu schließen) keine Probleme. Man könnte sogar sagen, daß der Reiz des Neuen ihnen einen nicht unerheblichen Motivationsschub gegeben hat.

Wo aber traten dann Schwierigkeiten auf? Das wesentliche Problem der Schüler mit dem Meßsystem war, wie nicht anders zu erwarten war, die Positionierung des Bezugspotentials. Der Grund, warum man hier manchmal umstecken muß, ist für die Schüler zu komplex, um ihn zu durchschauen. Folglich müssen sie die Art der Positionierung einfach als Rezept übernehmen und sich merken. Da sie aber kognitiv derart gefordert sind, fällt es vielen Schülern schwer, zusätzlich die Vorschriften für das Bezugspotential zu behalten. Dieses Problem läßt sich leider erst mit der neuen Interface-Generation beheben. Für den Augenblick bleibt nur die Möglichkeit der regelmäßigen Kontrolle der Bezugspotentiallage durch den betreuenden Lehrer.

Ein weiterer aufgetretener negativer Effekt ist die Tatsache, daß viele Schüler ihr Vorwärtskommen mit dem anderer Gruppen vergleichen. Dies führt bei lang-

sameren Arbeitsgruppen leicht dazu, daß sie hektischer arbeiten, um den Rückstand aufzuholen. Dies geht in aller Regel auf Kosten der kognitiven Auseinandersetzung mit dem aktuellen Versuch, und die Schüler führen im wesentlichen nur noch das Experiment durch. Es gibt zwei Möglichkeiten, um an dieser Stelle für eine Verbesserung zu sorgen. Erstere ist nur bei genügend großem Lehrsaal anwendbar. Gegebenenfalls sollte man die Übungsgruppen soweit auseinander setzen, daß sie möglichst wenig vom Fortschritt der jeweils anderen mitbekommen. Ein zweiter Ansatz sollte in jedem Fall beachtet werden. Der Lehrer muß die Schüler bei seinen Rundgängen immer wieder dazu anhalten, sich den Vorgaben im Vorspann des Praktikumsprotokolls entsprechend intensiv um Vorhersagen zu bemühen und mit den Versuchsausgängen zu beschäftigen. Dazu kann er sich leicht an der schriftlichen Fixierung der Vorhersagen orientieren. Fallen sie sehr spärlich aus oder sind sie gar nicht vorhanden, obwohl der Versuch bereits läuft, dann hat sich die Gruppe in der Regel nicht intensiv genug mit der Problematik auseinandergesetzt. In der Tat scheinen sehr viele Schüler Schwierigkeiten zu haben, sich schriftlich auszudrücken. Folglich ist für eine angemessene, schriftliche Fixierung für diese Schüler genau die intensive, kognitive Auseinandersetzung notwendig, die hier angestrebt wird.

Ein wichtiges Anliegen ist es aber auch, daß der Lehrer nicht zu viele neue (und sicher auch interessante) Fragen aufwirft. Die Schüler sollen sich ja selbst und in ihrem Tempo um die Probleme bemühen, die sie selbst sehen. Im Laufe dieser Arbeit sollte deutlich geworden sein, daß dies sehr oft ganz andere Probleme sind (und teilweise auch auf einem anderen Niveau) als sie der Lehrer erwartet. Gerade hier liegt aber die Chance der eigenständigen Arbeit. Die Schüler können sich ein Grundlagenverständnis erarbeiten, ohne das weiterführende und speziellere Inhalte nicht vermittelbar sind. Folglich ist es wichtig, daß der Lehrer ab und zu in jeder Gruppe nach aktuellen Problemen fragt und, egal um welches Problem es sich handelt, gemeinsam mit ihr nach einer Lösung forscht (und diese nicht einfach angibt, z.B. weil die Frage schon im Unterricht behandelt wurde).

Ein sehr wichtiges Beispiel für ein erst während der Schülerversuche deutlich gewordenes Fehlkonzept, soll dem Leser nicht vorenthalten werden. Es zeigt auch, wie die betroffenen Schüler mit ihren Fehlkonzepten umgehen. Die Schüler einer Arbeitsgruppe versuchen, an einem Brückenstecker eine Spannung zu messen. Die Computergrafik gibt (natürlich) über die gesamte Meßzeit eine Spannung von 0V aus. Dies läßt die Schüler, die eine ganz andere Erwartung vom Ausgang der Messung hatten, nicht an ihrem Konzept zweifeln. Sie melden vielmehr Zweifel an der Vertrauenswürdigkeit der Computermessung an. Einer der Schüler, der Zuhause ein eigenes Digital-Multimeter besitzt, verlangt ein solches Meßinstrument, um hier noch einmal „per Hand“ nachzumessen. Daraufhin erhält die Gruppe ein Digital-Multimeter und mißt mit ihm die am entsprechenden Kurzschlußstecker anliegende Spannung. Als nun auch hier eine Spannung von 0V gemessen wird, ist das noch immer kein Grund für die Schüler, ihr Konzept zu hinterfragen. Sie überprüfen vielmehr die Funktionsfähigkeit des Multimeters, indem sie die Span-

nung am 5V-Netzteil messen. Erst als sie hier die knapp 5V wirklich messen, geben sie auf, ohne aber zu verstehen, was hier passiert. Darauf angesprochen, warum sie einen Spannungsabfall am Kurzschlußstecker erwarten, antwortet einer (im Einvernehmen mit seinem Partner):

- „Aber da fließt doch auch Spannung durch, die muß man doch auch messen können.“

An dieser Stelle könnte der Lehrer wieder auf die Pfeildiagrammdarstellung der Spannung verweisen und die Schüler auffordern, sich das Bild vorzustellen, das sich für ihre Messung ergeben würde. Auf dieser Grundlage könnte man dann weiterdiskutieren. Ein anderer Ansatz wäre, einmal nach dem Unterschied von Spannung und Stromstärke zu fragen, weil die obige Antwort stark auf eine Verwechslung bzw. Vermischung der beiden Konzepte hindeutet.

Spätestens hier greift eines der wesentlichsten Probleme des durchgeführten Unterrichts, und zwar der Zeitmangel! Stünde nämlich mehr Unterrichtszeit zur Verfügung, so könnte man während der Schülerversuche aufgetauchte Probleme in einer darauffolgenden Sitzung im Unterrichtsgespräch gemeinsam lösen. Des weiteren könnte man auf die Pfeildiagrammdarstellung zurückgreifen und erworbene Erkenntnisse vertiefen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Einbeziehung des Programms „E-Kette-Pot“ in den Unterricht gewesen. Nachdem sich die Schüler schon an die Pfeildiagrammdarstellung gewöhnt haben, hätte man nun diese inhaltlich weiterführende Darstellungsweise einbringen können. Dies alles war aber in den zwei bzw. drei Unterrichtsstunden, die im Leistungskurs bzw. in der 10. Klasse zur Verfügung standen, nicht zu erreichen. Viel schwerwiegender als diese nicht durchführbare, inhaltliche Fortsetzung war aber, daß sehr viele Arbeitsgruppen aus Zeitgründen nicht bis zu Aufgabe 4 vorgestoßen sind. Dies mag ein Grund dafür sein, daß gerade bei Testaufgabe 5 im Abschlußtest keinerlei Verbesserung im Vergleich zum Vortest zu beobachten ist.⁸ Besonders diese Aufgabe erfordert ja das Wissen um die Widerstandscharakteristik der Glühbirne für die richtige Beantwortung. Da der Unterricht infolge der Halbierung beider Klassen insgesamt viermal gehalten wurde, hat sich das Zeitproblem durch Rationalisierungsmaßnahmen bei der Einführung in das System bis zum letzten Mal etwas entschärft. Auf diese Weise haben gegen Ende immer mehr Schüler zumindest noch Aufgabe 4 bearbeitet. Aufgabe 5 hingegen wurde allenfalls noch überflogen. Dies ist dieser Aufgabe natürlich in keiner Weise angemessen und führt zu keinerlei Verständnissgewinn. Es bleibt hier festzuhalten, daß für eine sinnvolle Unterrichtsgestaltung der hier dargestellten Inhalte jeweils mindestens die doppelte Zeit, verteilt auf mehrere (minimal zwei) Sitzungen notwendig gewesen wäre. Nach der bisherigen Unterrichtserfahrung würde dies sowohl im Leistungskurs als auch in der 10. Klasse sechs Unterrichtsstunden bedeuten.

⁸Eine ausführliche Darstellung der mit den Unterrichtsgruppen durchgeführten Tests und ihrer Ergebnisse findet sich in Kapitel 5.

Oben wurde nicht zwischen Leistungskurs und 10. Klasse unterschieden, da interessanterweise die im Unterricht auftretenden Probleme in beiden Gruppen identisch sind. Dies läßt sich relativ gut an den Praktikumsprotokollen ablesen. Vergleicht man nämlich zwei beliebige Bearbeitungen, so läßt sich nicht feststellen, welche aus dem Leistungskurs und welche aus der 10. Klasse stammt. In beiden Fällen haben viele Schüler erhebliche Schwierigkeiten, ihre Überlegungen bzw. Meßergebnisse schriftlich zu formulieren und beschränken sich auf manchmal wenig aussagekräftige Stichworte. Ein extremes Beispiel hierfür macht das Ausmaß des Problems deutlich. Aufgabe 1c des Praktikumsprotokolls lautet: „Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirne anliegenden Spannungen und die Stromstärke in Stromkreis 1c, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?“ Als zugehörige Vorhersage eines Schülers fand sich: „sind gleich“. Bleibt festzuhalten, daß natürlich einige (auch sprachlich) sehr gute Bearbeitungen dabei waren und dies das mit Abstand extremste Beispiel war. Gerade bei den Bearbeitungen von Aufgaben 4 und 5 (soweit diese überhaupt bearbeitet wurden) ist der Zeitmangel deutlich zu spüren. Vereinzelt wurde ersichtlich ohne nachzudenken einfach der Versuch abgspult. Dies hat in einem einzigen Fall dazu geführt, daß die im Praktikumsprotokoll eingezeichneten Widerstandskennlinien von Glühbirne und 10Ω -Widerstand jeweils Ursprungsgeraden sind, die sich nur in der Steigung unterscheiden. Es gab allerdings auch sehr gute und ausführliche Bearbeitungen der Aufgabe 4. Bei Aufgabe 5 hat fast keine Gruppe ihre kurzen Überlegungen experimentell überprüft. Dies hatte bei einigen zur Folge, daß Fehlvorstellungen unkorrigiert festgehalten wurden.

Das alles macht deutlich, daß ein Unterrichtsansatz, wie er hier versucht wurde, ganz sicher nur über einen längeren Zeitraum eingesetzt wirklichen Erfolg haben kann. Im Hinblick auf weitere Unterrichtsversuche in dieser Richtung stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoll ist, mit diesem Unterrichtskonzept die gesamte Elektrizitätslehre der Gleichstromkreise zu gestalten. Ein Vergleich der Testergebnisse der Unterrichtsgruppen im Vortest und im Nachtest wie er im folgenden Kapitel durchgeführt wird, macht, in Anbetracht des hier geschilderten knappen zeitlichen Rahmens, Mut, dies zu versuchen. Bereits hier soll aber festgehalten werden, daß erst wesentlich weitergefaßte Untersuchungen eine echte Aussage über Erfolg oder Mißerfolg dieses Unterrichtskonzeptes zulassen.

Kapitel 5

Testergebnisse der Unterrichtsgruppen

Im Kapitel 2 wurden unter der Überschrift „Der Test“ der im Rahmen dieser Arbeit verwendete Testbogen vorgestellt und die Ergebnisse der Kontrollpopulation im Hinblick auf bestehende Fehlvorstellungen und Schwierigkeiten analysiert. Dieses Kapitel hat einen etwas anderen Ansatz. Hier geht es darum, mögliche Erfolgchancen des hier beschriebenen Unterrichts bzw. dessen Schwachstellen im Hinblick auf das Unterrichtsziel auszuloten. Dazu wurde der bereits vorgestellte Test den am Unterricht beteiligten Schülern einmal vor und einmal nach dem Unterricht zur Bearbeitung vorgelegt. Der Vortest erfolgte am Tag bzw. in der Woche vor und der Nachtest am Tag bzw. in der Woche nach dem Unterricht. Zusätzlich wurde ein Fragebogen entwickelt, der im wesentlichen nach der Interessenslage der Schüler und deren Einstellung zum erlebten Unterricht fragt. Diesen haben die Schüler mehrere Wochen nach dem Nachtest ausgefüllt. Er wird hier zunächst vorgestellt und parallel dazu werden die Antworten der Schüler ausgewertet.

5.1 Der Fragebogen

Der Fragebogen wurde aus der Überlegung heraus entwickelt, daß der Lernerfolg bzw. die Entwicklung von Verständnis nicht nur von der jeweiligen Unterrichtsform und Lehrerpersönlichkeit abhängt. Es gibt vielmehr eine ganze Reihe von psychologischen und anderen Variablen, die hierbei eine nicht vernachlässigbare Rolle spielen.¹ Da letztere Gesichtspunkte durch den in Kapitel 2 vorgestellten Test nicht zu erfassen sind, wurde auf diese Weise versucht, sie mit in die Auswertung einzubeziehen. Die Themengebiete, die hierbei im Vorfeld des Feldexperiments interessant erschienen, werden bei der Vorstellung der einzelnen Testfragen erörtert. Bis auf zwei Ausnahmen ist der Fragebogen ausschließlich durch Ankreuz-

¹siehe hierzu z.B. [Mandl 92], [Rhöneck 88a], [Rhöneck 92a], [Rhöneck 93a] und [Winnenburg 89]

zen zu bearbeiten. Dabei wird den Schülern jeweils ein Gegensatzpaar vorgegeben (z.B.: interessant – langweilig) und dazu sieben Auswahlfelder.² Letztere drücken je nach Lage zu einem der beiden Worte die Position der Testperson aus. Um dies für die Bearbeiter der Fragebögen zum Ausdruck zu bringen, wurden die Felder bezeichnet. Das einem Wort jeweils nächstliegende Felder wurden mit „3“ gekennzeichnet, die Nachbarfelder mit „2“. . . . Das siebte, genau in der Mitte liegende Feld erhielt die Bezeichnung „0“. Jede der Zahlen hat eine Bedeutung, die nachfolgender Aufstellung entsprechend im Vorspann des Fragebogens aufgelistet ist, um den Schülern das Ankreuzen zu erleichtern:

- 0 : unentschieden
- 1 : etwas
- 2 : mittel
- 3 : sehr

Zur leichteren Auswertung der Ergebnisse wurden die Zahlen auf der Seite des negativen Wortes des jeweiligen Gegensatzpaares auch negativ gezählt. Daraus ergibt sich eine Skala von -3 bis $+3$.

Die Fragen auf dem Testbogen sind im wesentlichen in vier Untergruppen eingeteilt. Der erste Teil befaßt sich mit der Interessenlage der Schüler. Im zweiten Abschnitt geht es um die Selbsteinschätzung der Schüler im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit. Die Teile drei und vier erkunden jeweils, wie die Schüler das Unterrichtsgespräch bzw. die Schülerversuchsphase erlebt haben.

5.1.1 Fragen zur Interessenlage der Schüler

Der erste Teil des Fragebogens mit den Fragen 1 bis 5 findet sich in Abbildung 5.1 auf Seite 122. Mit seiner Hilfe sollte festgestellt werden, inwieweit das Erreichen des Unterrichtsziels vom Interesse der Schüler abhängt. Dabei wurde sowohl das Interesse am Inhalt des Unterrichts hinterfragt (Fragen 1, 2 und 5) als auch der Bezug zum wesentlichsten Unterrichtsmedium, nämlich dem Computer (Fragen 3 und 4).

Nun aber zu den Fragen im einzelnen. Die erste versucht, die Einstellung der Schüler zu den Vorgängen in (Gleich-)Stromkreisen einzuordnen. Die Gegensatzpaare „interessant – uninteressant“ bzw. „alltagsrelevant – irrelevant“ beleuchten zunächst das persönliche Interesse der Schüler an dem hier behandelten Themengebiet. Vor allem das Ankreuzverhalten beim zweiten Begriffspaar läßt aber auch auf ihre Einschätzung der Relevanz dieses Themengebietes für den Alltag schließen.

Bereits hier lassen sich Unterschiede zwischen den Schülern des Leistungs-

²Diese Testform wurde durch einen in [Dengler 93] beschriebenen Test zu einem anderen Thema angeregt.

1) Vorgänge in (Gleich-) Stromkreisen finde ich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
interessant								uninteressant
alltagsrelevant								irrelevant
2) Mein Interesse an Technik ist ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering
3) Mein Interesse an Computern allgemein ist ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering
4) In meiner Freizeit verbringe ich am Computer ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
viel Zeit								wenig Zeit
5) Mein Interesse an Physik im allgemeinen ist ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering

Abbildung 5.1: Erster Teil des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebogens, bestehend aus Fragen zum Interesse

kurses und denen der 10. Klasse erkennen. Während erstere weniger Interesse für Gleichstromkreise aufbringen (Mittelwert $m_{i_{10}} = 0,91$), dafür aber deren Alltagsrelevanz höher einschätzen ($m_{a_{10}} = 1,45$), ist es bei letzteren genau umgekehrt ($m_{i_{Lk}} = 1,50$ bzw. $m_{a_{Lk}} = 0,96$). Eine Deutung hierfür könnte sein, daß für die Schüler des Leistungskurses dieses Stoffgebiet eine absolute Wiederholung darstellt. Deshalb ist es ihrer Meinung nach für sie weniger interessant, als vielmehr bekannt. Mit Können bzw. Verständnis darf das, gerade auch im Hinblick auf die in Kapitel 2 dargestellten Testergebnisse von Leistungskursen, nicht verwechselt werden. Allerdings scheint die Einschätzung der Alltagsrelevanz darauf hinzudeuten, daß die Schüler des Leistungskurses Physik diesen Problemkreis durchaus für wichtig halten.³ Bis auf einen einzigen Schüler der 10. Klasse, der an dieser Stelle „-1“ ankreuzt, sind alle bei dieser Frage unentschlossen bzw. davon überzeugt,

³Die hier angebotenen Deutungsversuche sind – wie immer – nicht überzubewerten. In diesem Fall geben die großen Standartabweichungen ($\sigma_{i_{10}} = 1,10$; $\sigma_{a_{10}} = 1,20$; $\sigma_{i_{Lk}} = 1,60$; $\sigma_{a_{Lk}} = 1,10$) zusätzlich Anlaß hierzu.

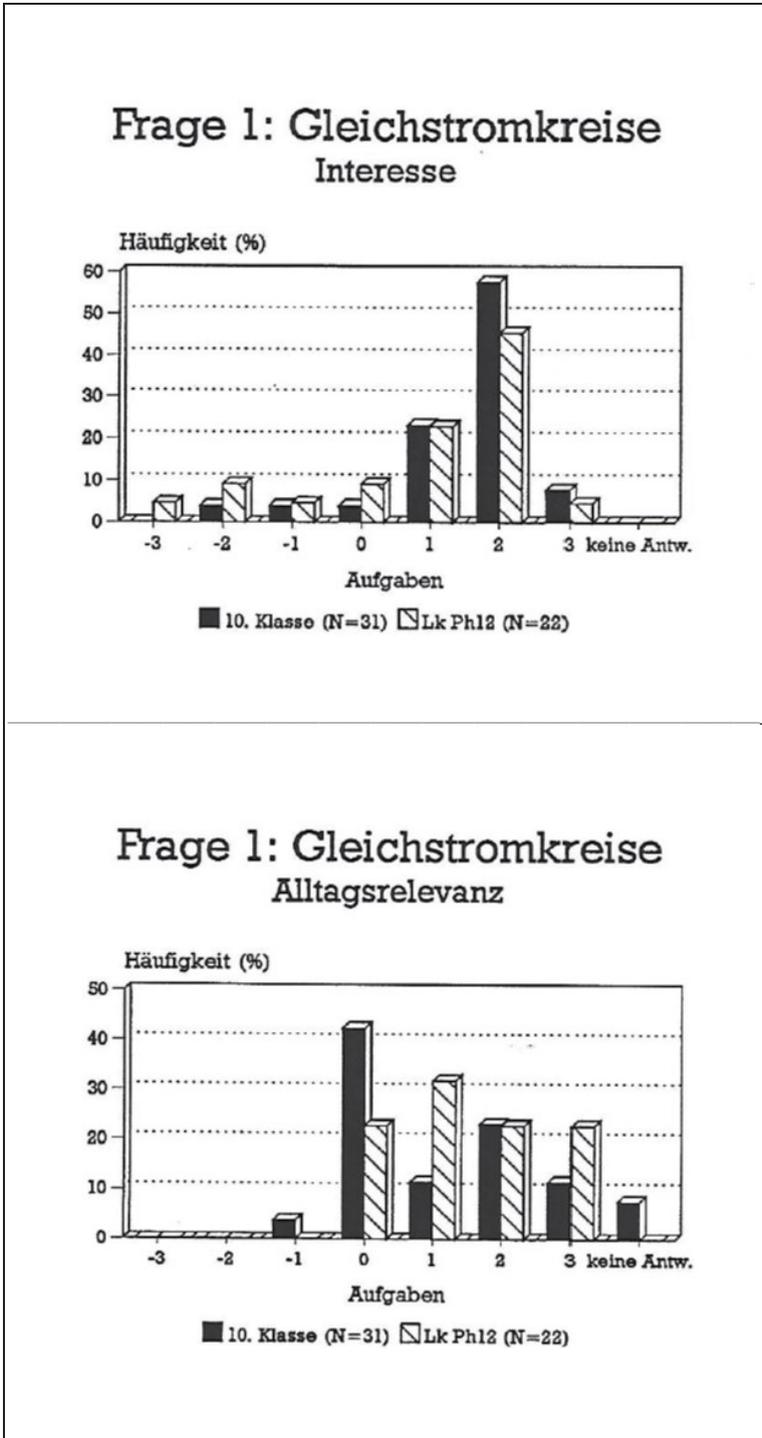


Abbildung 5.2: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Frage 1 des Fragebogens

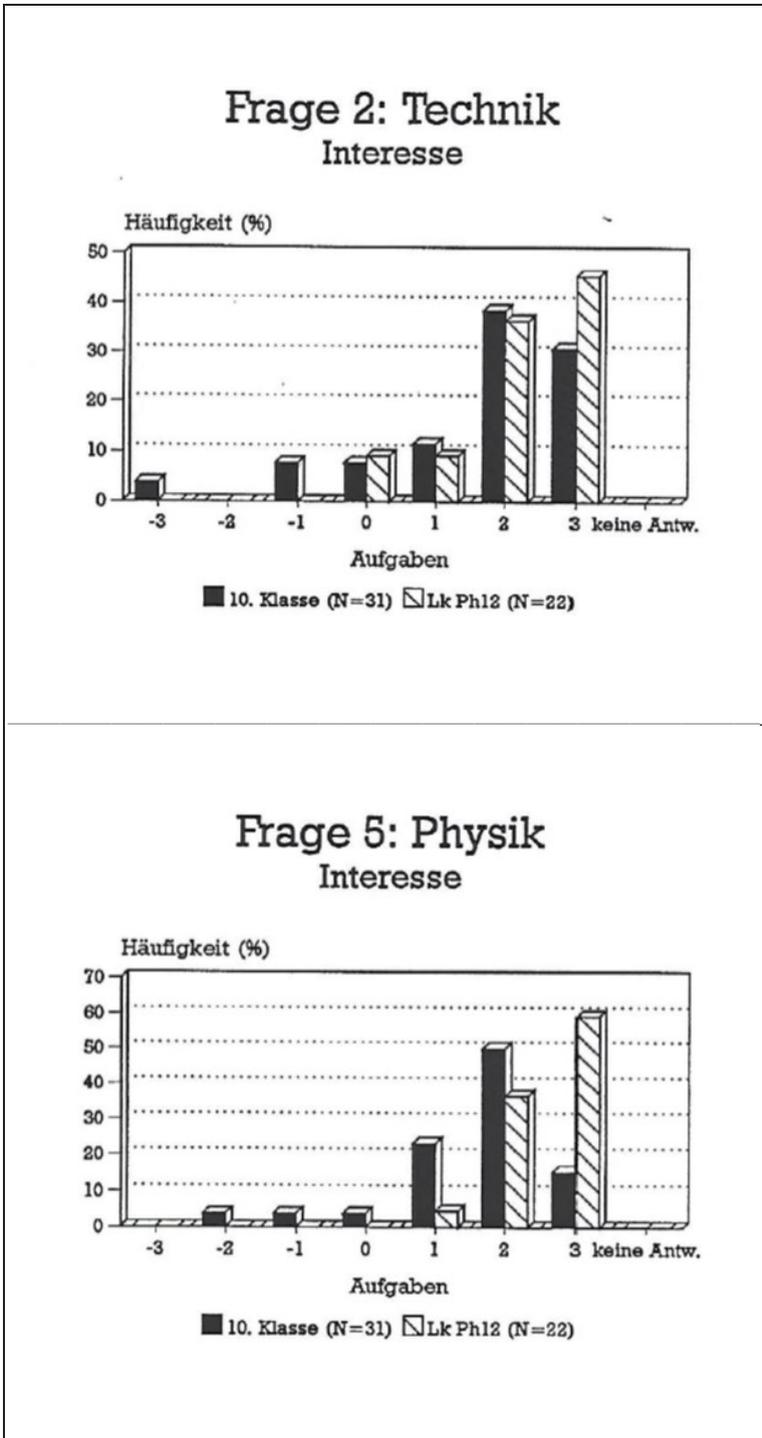


Abbildung 5.3: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 2 und 5 des Fragebogens

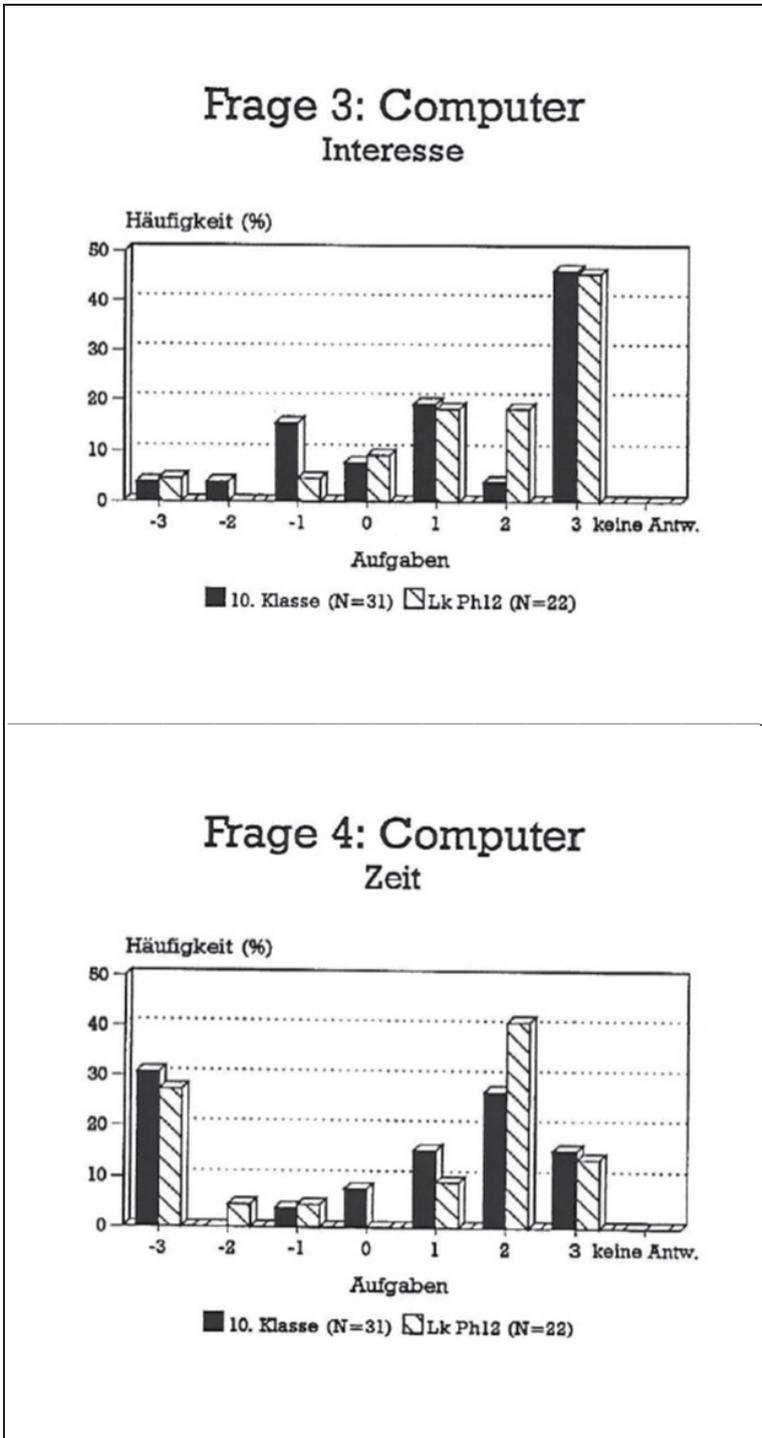


Abbildung 5.4: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 3 und 4 des Fragebogens

daß hier zumindest eine gewisse Alltagsrelevanz vorliegt. Abbildung 5.2 auf Seite 123 gibt die Häufigkeitsverteilungen der Antworten zur ersten Frage im einzelnen wieder.

Die Fragen 2 und 5, in denen es um das Interesse an Technik bzw. Physik geht, sollen hier gemeinsam behandelt werden. Wie Abbildung 5.3 auf Seite 124 zeigt, geben die Schüler des Physikleistungskurses in beiden Fällen an, daß sie daran interessiert bis sehr interessiert sind. Nur beim Technikinteresse sind nach eigenem Bekunden knapp 10 Prozent von ihnen weder besonders interessiert noch besonders desinteressiert. Nun könnte man annehmen, daß hier die Kurswahl auf ein besonderes Interesse an diesen Gebieten schließen läßt. Dies scheint sich bei der Betrachtung der Testergebnisse der 10. Klasse zunächst zu bestätigen, denn hier streuen die Antworten durchaus auch über den Bereich des Desinteresses. Andererseits ergibt sich im Mittel auch hier eine deutliche Aussage zugunsten eines Interesses für Technik bzw. für Physik. Geht man davon aus, daß die Schüler ehrlich antworten⁴, so läßt dies zusammen mit dem Ergebnis der Frage 1 den Schluß zu, daß man bei der Unterrichtsgestaltung durchaus mit interessierten Schüler rechnen kann. Dies bedeutet auch, daß eine mögliche relative Ergebnislosigkeit des Unterrichts in keiner Weise auf mangelndes Interesse der Schüler zurückzuführen ist.

Die Fragen 3 und 4 befassen sich mit dem Interesse an Computern bzw. mit der Computerpraxis der Schüler. Dies muß ein wesentlicher Punkt in den Überlegungen zu dem im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Unterricht sein. Es die Frage ergründet werden, ob ein Unterricht, der ganz wesentlich auf den Computer als Unterrichtsmedium setzt, die Schüler benachteiligt, die kein Interesse an Computern haben bzw. denen die Übung im Umgang mit Computern fehlt. Auf diese Fragestellung wird später eingegangen. Hier sollen zunächst nur die Ergebnisse der Befragung dargestellt werden. Wie aus Abbildung 5.4 auf Seite 125 hervorgeht, interessieren sich in beiden Unterrichtsgruppen (10. Klasse und Lk Ph12) ca. 45 Prozent der Schüler besonders intensiv für Computer. Insgesamt zeigen in der 10. Klasse ca. 70 Prozent und im Leistungskurs sogar ca. 80 Prozent Interesse für Computer. Allerdings ist aus den Antworten zu Frage 4 ersichtlich, daß das Interesse nicht mit Computerpraxis gleichzusetzen ist. Dies ist vor allem dem hohen Anteil (jeweils ca. 30 Prozent) derjenigen zu entnehmen, die praktisch keine Zeit am Computer verbringen. Insgesamt scheinen die Antworten darauf hinzudeuten, daß entweder relativ viel Zeit am Computer verbracht wird oder praktisch überhaupt keine.

⁴Darauf deutet die Tatsache hin, daß sie bei unerwünschten Fragen (siehe dazu die Fragen zu den schulischen Leistungen) gar nicht antworten.

5.1.2 Fragen zur Selbsteinschätzung der Schüler im Hinblick auf ihre schulischen Leistungen

6) Meine Fähigkeit mit Grafen und grafischen Darstellungen umzugehen und sie zu verstehen schätze ich im allgemeinen ein als ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering
7) Meine schulischen Leistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften schätze ich ein als ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering
8) Meine schulischen Leistungen in den Sprachen schätze ich ein als ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering
9) Meine schulischen Leistungen in Fächern wie Geschichte, Erdkunde, ... schätze ich ein als ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
groß								gering

Abbildung 5.5: Zweiter Teil des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebogens, bestehend aus Fragen zur schulischen Leistung

Der Fragebogen wurde zwischen den Einsätzen im Leistungskurs und in der 10. Klasse noch einmal überarbeitet. Für die 10. Klasse wurden vier Fragen hinzugefügt, die sich, wie aus Abbildung 5.5 auf Seite 127 ersichtlich, mit der Selbsteinschätzung der Schüler beschäftigen. Diese werden nach ihrer Meinung zu ihren eigenen Leistungen auf verschiedenen schulischen Gebieten gefragt. Der Hintergrund für diese Erweiterung war die Hoffnung, auf diese Weise Zusammenhänge z.B. zwischen den sprachlichen Fähigkeiten und den Testergebnissen herstellen bzw. erkennen zu können. Leider wurde diese Hoffnung durch die Tatsache getrübt, daß mehr als ein Drittel der Schüler sich unter Berufung auf den Datenschutz weigerten, diese Fragen zu beantworten.

In Frage 6 geht es um die Einschätzung der eigenen Fähigkeit mit grafischen Darstellungen umzugehen und sie zu verstehen. Sie wurde noch von allen Schülern

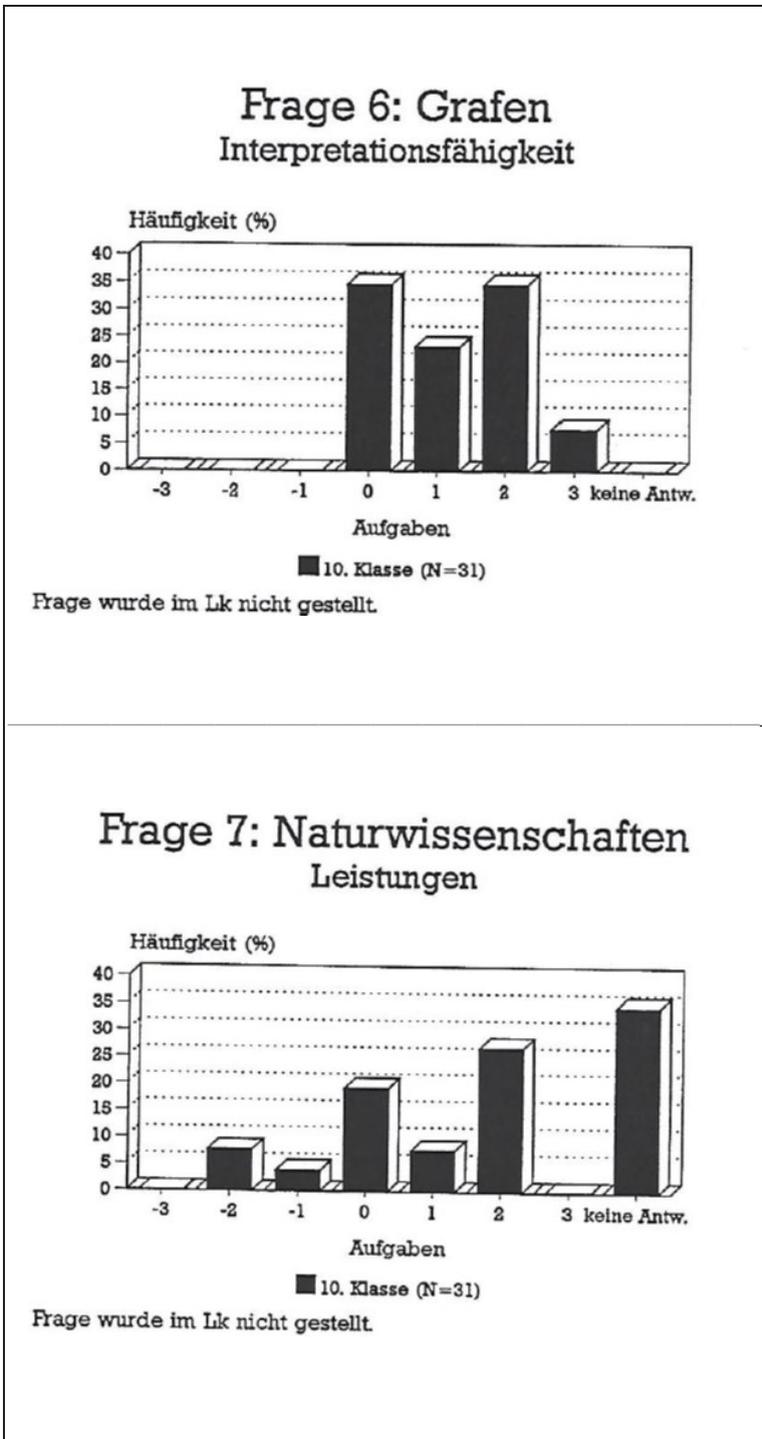


Abbildung 5.6: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 6 und 7 des Fragebogens

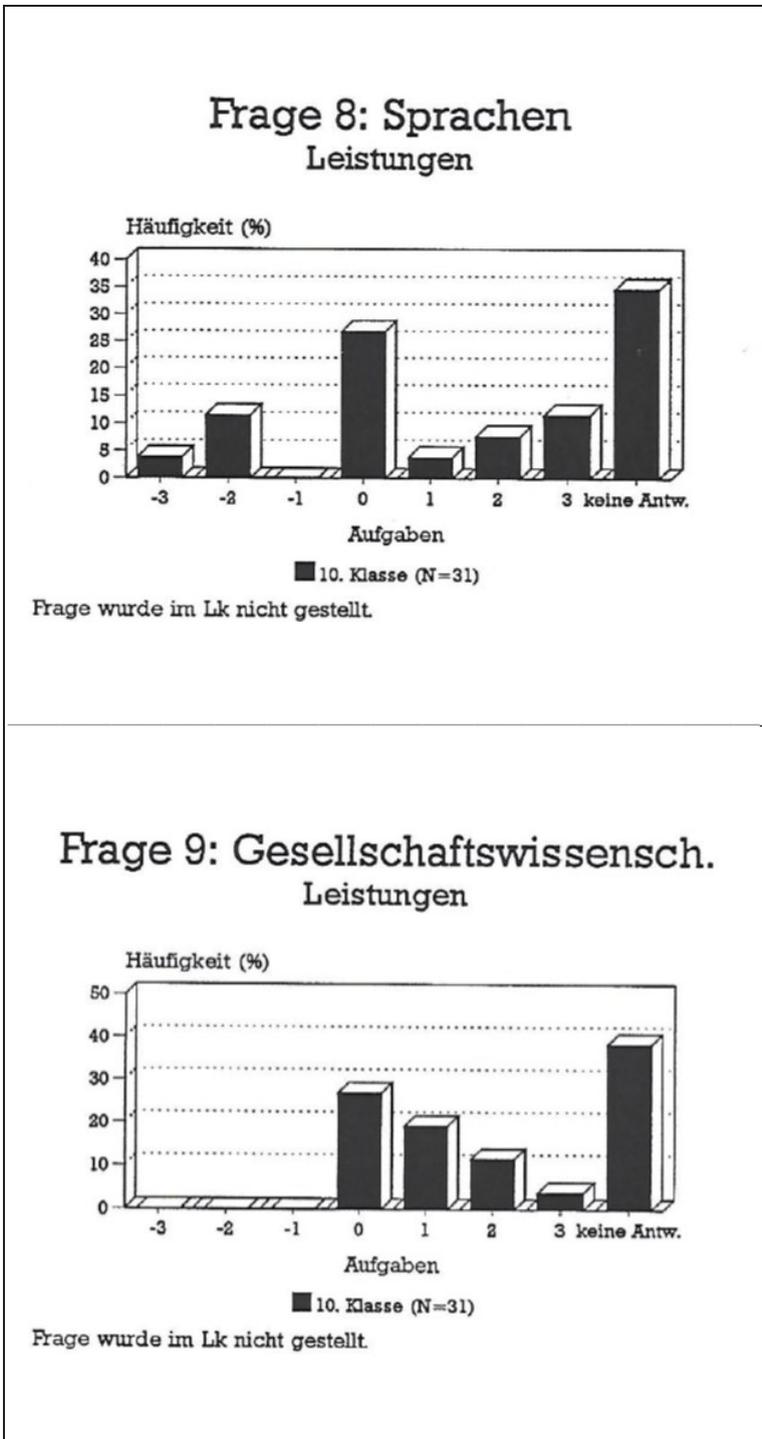


Abbildung 5.7: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 8 und 9 des Fragebogens

beantwortet. Dabei stellte sich heraus, daß mit gut 65 Prozent die Mehrheit glaubt ganz gut bis sehr gut mit Grafen umgehen zu können. Die restlichen knapp 35 Prozent sind in dieser Frage unentschieden. Bemerkenswert scheint die Tatsache zu sein, daß keiner sich ungenügende Fähigkeiten in der Grafenauswertung zuschreibt. Abbildung 5.6 auf Seite 128 zeigt die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen für die Fragen 6 und 7. Letztere beschäftigt sich mit der Selbsteinschätzung der Schüler bezüglich ihrer schulischen Leistungen in den Naturwissenschaften. Hier haben zum ersten Mal knapp 35 Prozent nicht geantwortet. Die restlichen Schüler bewegen sich ihrer Meinung nach mit ihren naturwissenschaftlichen Leistungen im Mittelfeld des Spektrums, wobei eine deutliche Tendenz in Richtung guter Leistungen zu verzeichnen ist. Inwieweit dies auf die Tatsache zurückzuführen ist, daß so viele nicht geantwortet haben, läßt sich nur vermuten.

Ihre Leistungen in den Sprachen schätzen den Angaben bei Frage 8 zufolge etwa 15 Prozent der Schüler als eher schlecht ein. Mit gut 25 Prozent ist die Mehrheit unentschieden ob sie sich als gut oder schlecht einordnen soll und ist damit wohl im Leistungsmittelfeld anzusiedeln. Insgesamt knapp 25 Prozent glauben eher gute Leistungen in den Sprachen zu bringen. Auch bei dieser Frage ziehen es knapp 35 Prozent der Schüler vor, nicht zu antworten. Aufgrund dieses Antwortverhaltens läßt sich leider nichts darüber aussagen, ob die erkennbaren Schwierigkeiten vieler Schüler, ihre physikalischen Konzepte schriftlich und mündlich auszudrücken, auf mangelhafte sprachliche Fähigkeiten zurückzuführen sind. Bei Frage 9 halten es knapp 40 Prozent der Schüler für besser, nicht zu antworten. Die restlichen Schüler sind hier durchweg der Meinung, im Mittelfeld zu liegen oder gute Leistungen zu bringen. Auch hier hat sich die mit dieser Frage verknüpfte Hoffnung nicht erfüllt. Im Wissen, daß die meisten Schüler die gesellschaftswissenschaftlichen Fächer als reine „Lernfächer“ betrachten, hatte der Autor gehofft, aus der Beantwortung dieser Frage Rückschlüsse auf den „Lerneifer“ bzw. die Auffassungsgabe der Schüler ziehen zu können. Dies ist natürlich bei einem derartigen Ergebnis nicht möglich. In Abbildung 5.7 auf Seite 129 sind die Testresultate der Fragen 8 und 9 noch einmal im einzelnen grafisch aufgetragen.

5.1.3 Fragen zum Unterrichtsgespräch anhand der computererzeugten Pfeildiagramme

Der dritte Teil des Fragebogens (siehe Abbildung 5.8 auf Seite 131) versucht zu ermitteln, wie die Schüler das Unterrichtsgespräch anhand der Pfeildiagramme erlebt haben und ob ihr Verständnis der Vorgänge in Gleichstromkreisen ihrer Meinung nach davon profitiert hat. Die erste Frage dieses Teils des Fragebogens, Frage 10, ist vierteilig. Die Ergebnisse der ersten beiden finden sich in Abbildung 5.9 auf Seite 132 und die beiden letzten in Abbildung 5.10 auf Seite 133. Es zeigt sich, daß sowohl die Schüler der 10. Klasse als auch die des Leistungskurses das Unterrichtsgespräch sehr interessant fanden und auch insgesamt sehr

Unterrichtsgespräch anhand der computererzeugten Pfeildiagramme								
10) Die gemeinsame Arbeit mit dem Computer war für mich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
interessant								langweilig
nützlich								überflüssig
abwechslungsreich								eintönig
positiv								negativ
11) Die Pfeildiagramme für Spannung und Stromstärke sind ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
anschaulich								unverständlich
lehrreich								verwirrend
erhellend (brachte neue Erkenntnisse)								wiederholend
12) Wichtig bzw. bemerkenswert an der computererzeugten Pfeildiagrammdarstellung fand ich ...								

Abbildung 5.8: Dritter Teil des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebogens. Er besteht aus Fragen zu den Erfahrungen der Schüler mit dem Unterrichtsgespräch anhand der Pfeildiagramme.

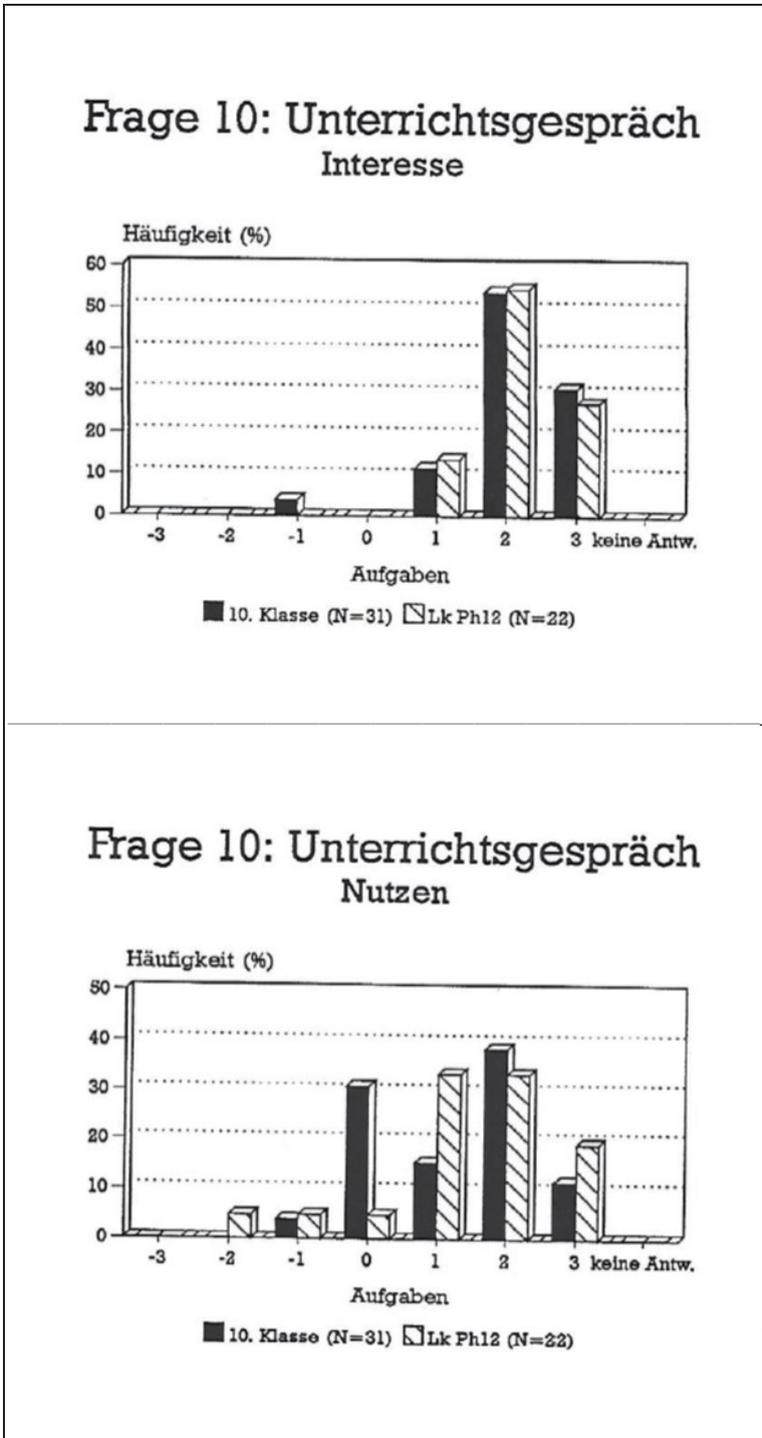


Abbildung 5.9: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Frage 10 des Fragebogens (1. Teil)

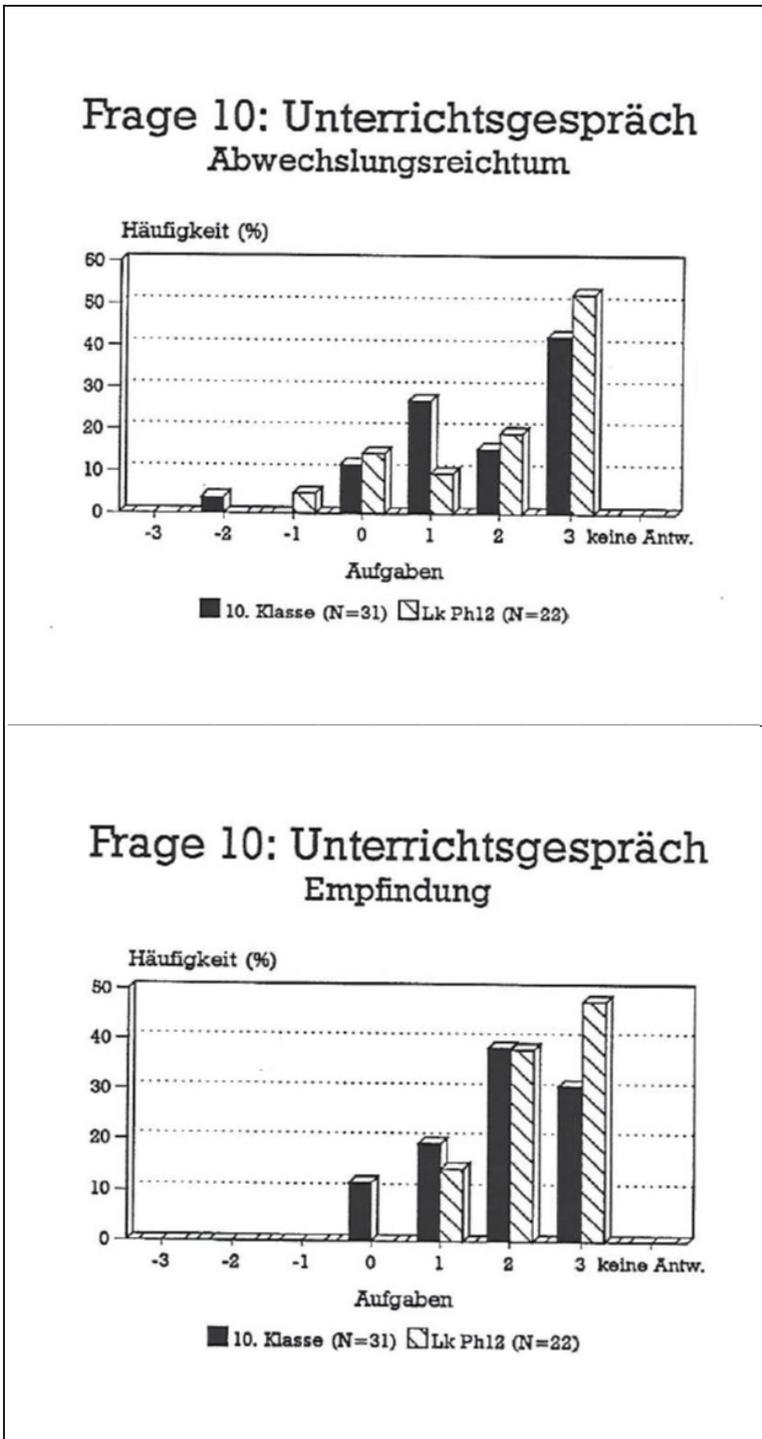


Abbildung 5.10: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Frage 10 des Fragebogens (2. Teil)

positiv erlebt haben. Bemerkenswert ist hier, daß die Prozentsätze der Antworten beim Interesse im Leistungskurs und in der 10. Klasse nahezu übereinstimmen. Demgegenüber haben die Schüler des Leistungskurses das Unterrichtsgespräch im Durchschnitt noch ein ganzes Stück positiver erlebt als die der 10. Klasse. Die Gründe hierfür kann man nur spekulieren und deshalb sollen hier auch keine genannt werden. Vom Nutzen des Unterrichtsgesprächs sind die Schüler des Leistungskurses einheitlich ziemlich überzeugt. In der 10. Klasse ist zwar die Mehrheit auch dieser Ansicht, aber immerhin gut 30 Prozent können oder wollen sich nicht festlegen, ob es nun nützlich oder doch eher überflüssig war und kreuzen „unentschieden“ an. Nach ihrem Antwortverhalten zu schließen, fanden beide Gruppen das Unterrichtsgespräch anhand der Pfeildiagramme für Stromstärke und Spannung abwechslungsreich, gut 40 Prozent der 10. Klasse und gut 50 Prozent des Leistungskurses sogar sehr abwechslungsreich.

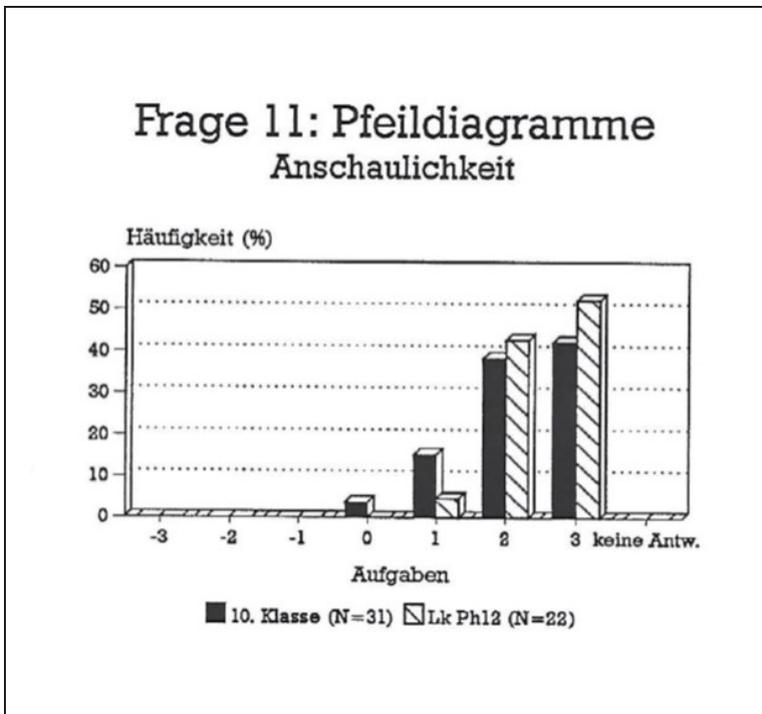


Abbildung 5.11: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit beim ersten Teil der Frage 11 des Fragebogens

Die Antworten auf Frage 11 sind (vgl. Abbildung 5.11 auf Seite 134 und Abbildung 5.12 auf Seite 136) machen deutlich, daß die Schüler die Pfeildiagramme für sehr anschaulich und lehrreich halten. Allerdings ist in Abbildung 5.12 auch zu erkennen, daß die Schüler des Leistungskurses sie insgesamt für lehrreicher

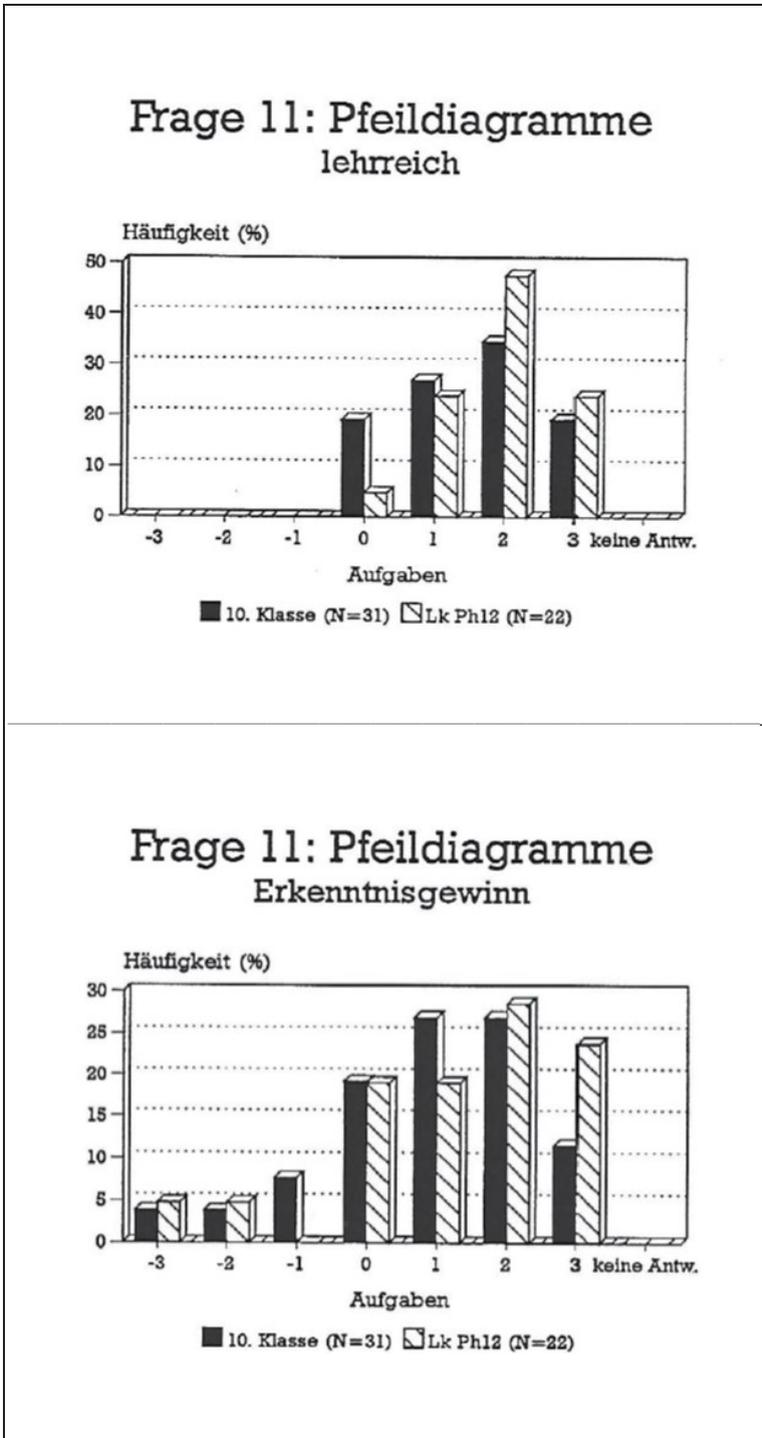


Abbildung 5.12: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit beim zweiten Teil der Frage 11 des Fragebogens.

halten und sie in höherem Maß für neue Erkenntnisse verantwortlich machen als die Schüler der 10. Klasse. Man könnte als Ursache dafür nun vermuten, daß die ausführliche Beschäftigung mit diesem Themengebiet bei den Schülern des Leistungskurses längere Zeit zurückliegt und vieles für sie wieder neu war. Insgesamt läßt sich aus allen Antworten zu Frage 11 entnehmen, daß die Schüler gut mit den Pfeildiagrammen zurechtkommen. Zusätzlich scheinen sie den meisten das Erfassen der Vorgänge in Gleichstromkreisen zu erleichtern.

Bei Frage 12 sollten die Schüler zum ersten Mal in freier Formulierung festhalten, was sie an der computererzeugten Pfeildiagrammdarstellung wichtig bzw. bemerkenswert fanden. Einige typische Antworten werden im folgenden zusammengestellt:

- Dominik: „Ständige Aktualisierung der Spannungs-/Stromwerte“
- Dirk: „Es war toll zu verstehen und man konnte alles gut veranschaulichen“
- Natalie: „...die anschauliche Darstellung“
- Patrick: „...die Genauigkeit“
- Volker: „Summe der Spannungsabfälle war anschaulich“
- Christian: „...übersichtliche Darstellung“
- Bernd: „Die direkte Messung und Darstellung über den Computer!“
- Sebastian: „...daß der Computer Strom- bzw. Spannungsänderungen so schnell und anschaulich im Pfeildiagramm verdeutlicht hat.“
- Martin: „...anschaulich, positiv, wichtig zum besseren Vorstellungsvermögen, besser bzw. leichter zu verstehen“
- Florian: „...die große Übersichtlichkeit“
- Albert: „...anschaulich“
- Fritz: „...ich hab' endlich mehr kapiert, sehr anschaulich, vielleicht grafisch zu verbessern“
- Michael: „Flexibilität der Darstellung \Rightarrow Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Anschauliche Darstellung brachte neue Erkenntnisse über Spannungsabfall“
- Konrad: „Klare Darstellung“
- Bernhard: „...die Anschaulichkeit“
- Felix: „Sehr anschaulich und einfach zu überblicken“

- Thomas: „... daß sie sehr anschaulich und gut aufgebaut waren.“
- Wolfgang: „... daß das Programm selbständig den Aufbau des Stromkreises registrierte.“

Aus diesen Aussagen geht eindeutig hervor, daß die Pfeildiagrammdarstellungen von Spannung und Stromstärke von den Schülern als anschaulich empfunden wurden. Man kann diesen Äußerungen aber auch entnehmen, daß eine Veranschaulichung oder auch Erzeugung intuitiver Bilder und Vorstellungen den Schülern hilft, die abstrakten Größen des elektrischen Stromkreises in den Griff zu bekommen. Die Aussagen von Michael und Volker deuten besonders darauf hin, daß der sehr abstrakte Spannungsbegriff mit diesem Mittel für Schüler besser intuitiv faßbar und damit möglicherweise irgendwann verstehbar wird. Letzteres läßt sich durch die Äußerungen von Dirk, Martin und Fritz zwar nicht belegen, aber doch als Möglichkeit positiv bestärken. Auch die Entstehung der Pfeildiagramme aufgrund von Messungen am realen Stromkreis scheint den Schülern geholfen zu haben. Darauf lassen zumindest die Aussagen von Dominik, Bernd und Wolfgang schließen.

Zusammenfassend bestätigen die Schülerantworten zu diesem Teil des Fragebogens, daß die Entwicklung und der Unterrichtseinsatz des Programms „E-Kette-U“ ein Ansatz war, der in die richtige Richtung ging und den man weiterverfolgen sollte.

5.1.4 Fragen zu den Schülerexperimenten mit dem Computer

Im vierten und letzten Teil des Fragebogens (siehe Abbildung 5.13 auf Seite 139) werden die Schüler nach ihren Erfahrungen im Schülerversuchsteil des Unterrichts gefragt. Hier ist vor allem das selbständige Arbeiten mit dem Computer Hintergrund der Fragen. Wie auch schon im Zusammenhang mit dem Unterrichtsgespräch wird auch hier in Frage 13 erforscht, inwieweit die Schüler diesen Unterrichtsblock interessant und abwechslungsreich fanden. Wie Abbildung 5.14 auf Seite 140 zu entnehmen ist, finden die Schüler auch diesen Unterrichtsteil interessant und naturgemäß sogar im Durchschnitt noch abwechslungsreicher als das Unterrichtsgespräch. Insgesamt scheinen praktisch alle die Schülerversuche positiv erlebt zu haben. Dies geht ebenso aus der Abbildung 5.15 auf Seite 141 hervor wie die Ansicht der großen Mehrheit der Schüler, daß das selbständige Experimentieren hilfreich für ein besseres Verständnis gewesen sei.

Frage 14 versucht festzustellen, ob der Einsatz des Computers zu Meß- und Auswertungszwecken von den Schülern als Zeitersparnis oder doch eher als zusätzlicher Arbeitsaufwand empfunden wird. Hier war man fast einhellig der Meinung, daß auf diese Weise Zeit zu sparen ist. Interessanterweise sind nur im Leistungskurs etwa 13 Prozent der Ansicht, daß der Computereinsatz zu dem genannten

Eigene Computeranwendung in den Schülerversuchen								
13) Das selbständige Arbeiten mit dem Computer war für mich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
interessant								langweilig
abwechslungsreich								eintönig
positiv								negativ
hilfreich für ein besseres Verständnis								unnötig
14) Computeranwendung zu Meß- und Auswertungszwecken finde ich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
arbeitsaufwendig								zeitsparend
15) Die Bedienung des Programms fand ich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
einfach								kompliziert
16) Die Benutzeroberfläche fand ich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
übersichtlich								unübersichtlich
17) Die Einführung in das System fand ich ...								
	3	2	1	0	1	2	3	
zu lang								zu kurz
18) Wichtig bzw. bemerkenswert am selbständigen Arbeiten mit dem Computer fand ich ...								

Abbildung 5.13: Dritter Teil des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebogens. Er besteht aus Fragen zu den Erfahrungen, die die Schüler während der Schülerversuche mit dem Computer gemacht haben.

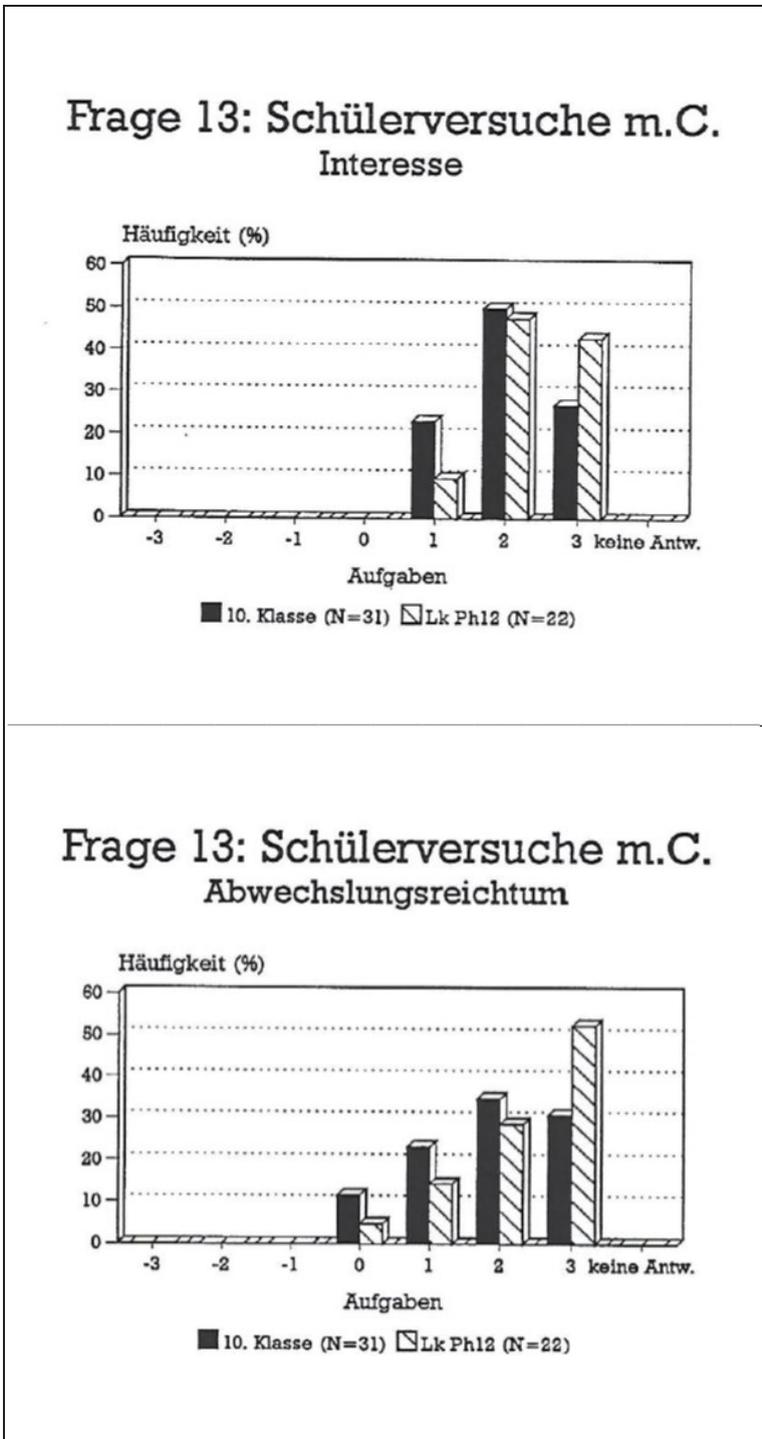


Abbildung 5.14: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit beim ersten Teil der Frage 13 des Fragebogens

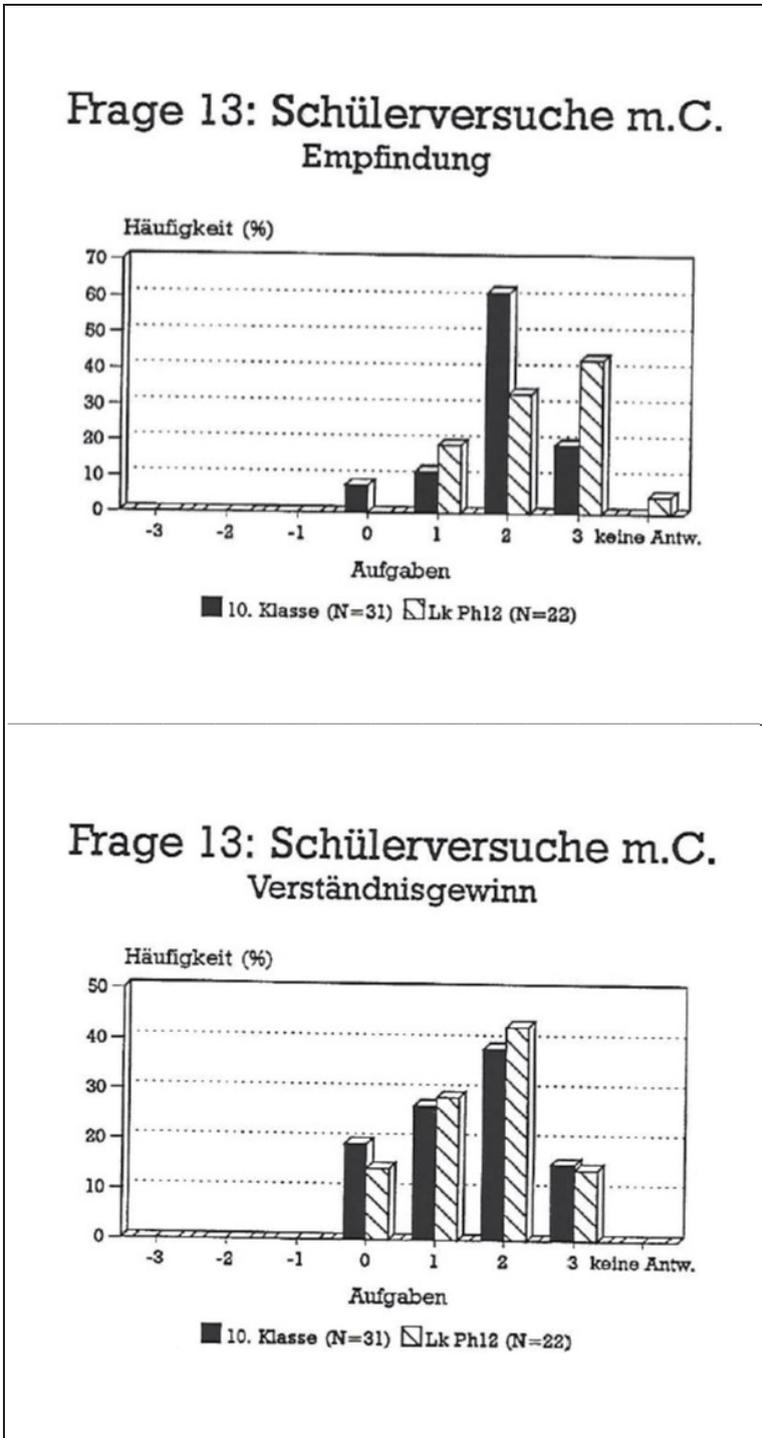


Abbildung 5.15: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit beim zweiten Teil der Frage 13 des Fragebogens

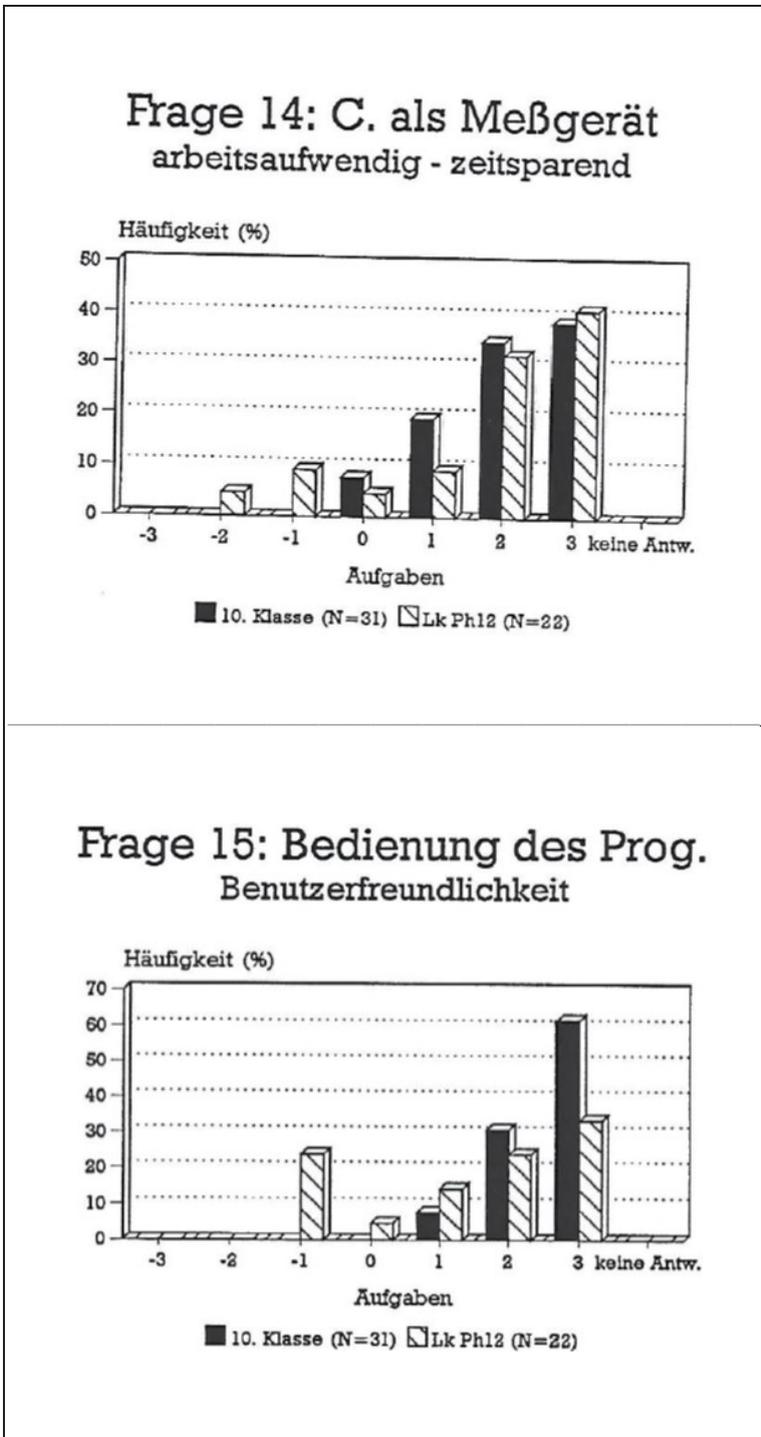


Abbildung 5.16: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 14 und 15 des Fragebogens

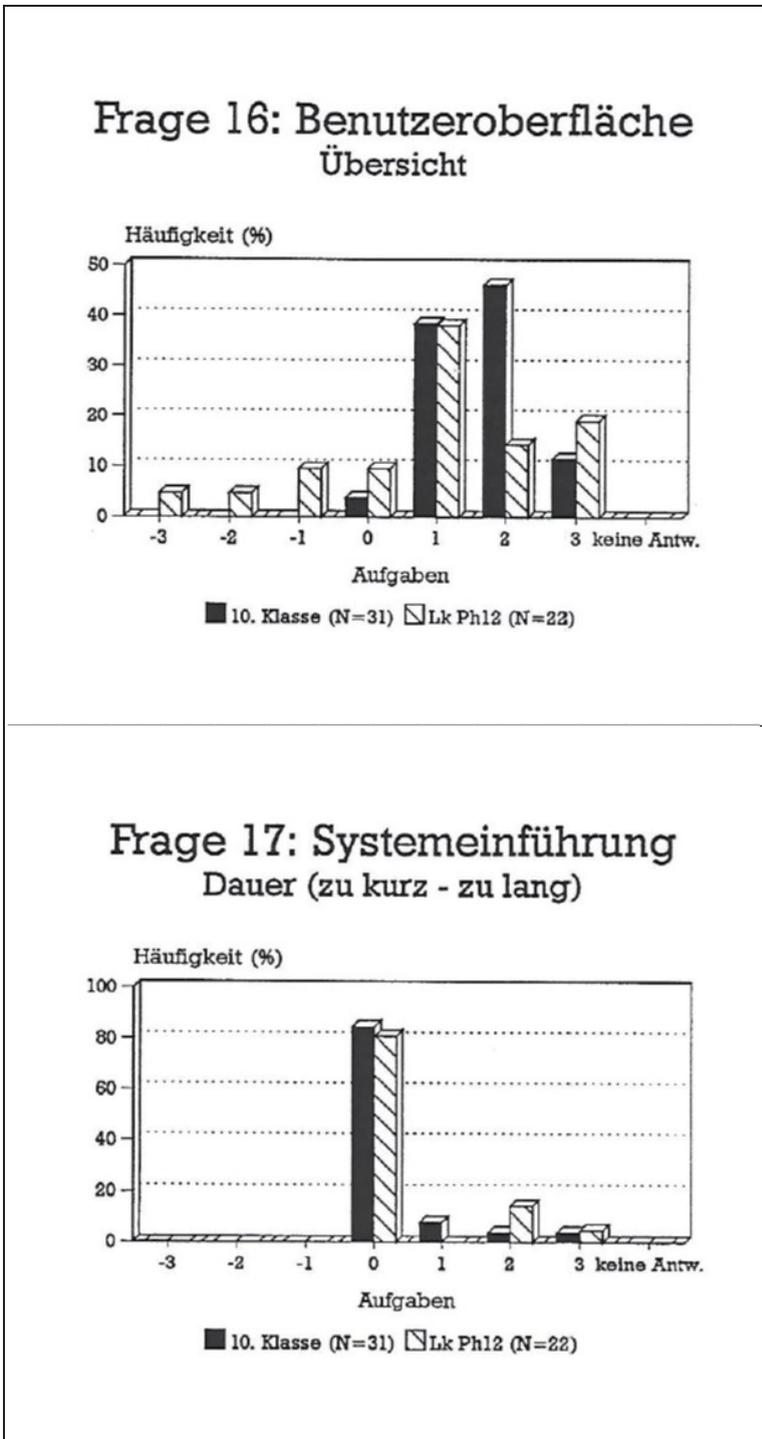


Abbildung 5.17: Das Antwortverhalten der beiden Unter-richtsgruppen dieser Arbeit bei den Fragen 16 und 17 des Fragebogens

Zweck arbeitsaufwendig sei. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Frage 15, wo über 60 Prozent der Schüler der 10. Klasse die Ansicht vertreten, daß die Bedienung des Programms sehr benutzerfreundlich sei. Alle anderen glauben zumindest, daß es ziemlich einfach zu bedienen ist. Etwas anders sieht es für die Schüler des Leistungskurses aus. Von ihnen sind immerhin knapp 24 Prozent der Meinung, daß die Bedienung etwas kompliziert sei. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte die Tatsache sein, daß eine ganze Reihe der Schüler des Leistungskurses ein anderes Führungsmenü gewohnt sind (in der Regel das von WINDOWSTM) und ihnen hier die Routine fehlt. Die einzelnen Ankreuzhäufigkeiten für die Fragen 14 und 15 finden sich in Abbildung 5.16 auf Seite 142.

Die Benutzeroberfläche des für die Schülerversuche benutzten Programms ist übersichtlich. So läßt sich das Antwortverhalten der 10. Klasse bei Frage 16 zusammenfassen. Der Leistungskurs ist zwar mehrheitlich auch dieser Meinung, aber hier halten auch etwa 20 Prozent der Schüler das Gegenteil für richtig. Die Abbildung 5.17 auf Seite 143 gibt jeweils die genauen Häufigkeitsverteilungen für diese und die Frage 17 wieder. Letztere sollte ergründen, ob die Einführungszeit in das System lange genug war. Zu berücksichtigen war die Tatsache, daß keiner der Schüler je dieses Programm gesehen geschweige denn mit ihm gearbeitet hat. Außerdem hatten, wie die Antworten zu Frage 4 zeigen, ca. 30 Prozent der Schüler praktisch keine Erfahrung mit Computern. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die System Einführung jeweils für die gesamte Unterrichtsgruppe gleichzeitig stattfand und nie länger als zehn Minuten gedauert hat. Vor diesem Hintergrund ist es sehr ermutigend, daß jeweils über 80 Prozent der Schüler der Meinung sind, die Einführungszeit sei genau richtig bemessen gewesen und der Rest sogar glaubt, man hätte sich auch kürzer fassen können. Dieses Ergebnis relativiert nach Meinung des Autors alle negativen Äußerungen zur Übersicht und Bedienerfreundlichkeit des Programms bei den Fragen 15 und 16.

In Frage 18 soll die Antwort wieder frei formuliert werden. Diese letzte Frage des Fragebogens versucht festzustellen, was den Schülern in bezug auf das selbständige Arbeiten mit dem Computer wichtig war, bzw. was sie daran bemerkenswert fanden. Dazu sollen hier zunächst wieder einige repräsentative Antworten zusammengestellt werden:

- Andreas: „...daß jeder allein alles verstanden hat. Interessanter als die normalen Schülerübungen.“
- Dirk: „Die große Palette an Möglichkeiten und verschiedenen Einstellungen ist wichtig und gut für verschiedene Messungen.“
- Matthias: „Viele Einstellungsmöglichkeiten“
- Birgit: „Einfache Bedienung“
- Martin: „... positiv, lehrreich, leicht verständlich, sehr gute Eindrücke hinterlassen, brachte positive Versuchsergebnisse“

- Thomas: „Es war mal etwas anderes mit den Computern, als mit den simplen Strippen, Meßgeräten und dem anderen veralteten Material.“
- Sebastian: „... daß auch Schüler (also wir) solche Ergebnisse mit dem Computer erzielen. Außerdem hat es auch Spaß gemacht.“
- Frank: „Nichts Neues, da ich mich mit PC's gut auskenne!“
- Thorsten: „Ich bin arbeiten am Computer gewohnt → nicht besonders bemerkenswert“
- Stefan: „Gut, daß zu zweit gearbeitet wurde“
- Armin: „Sehr nützlich, da begangene Fehler leicht zu erkennen sind und verbessert werden können“
- Markus: „... daß es mal eine interessante Abwechslung zum normalen Unterricht war“
- Natalie: „... das selbständige Denken“
- Volker: „Genauigkeit; zeitsparend; übersichtlich; man lernt schnell; nicht aufwendig“
- Max: „... die schnelle Meßauswertung“
- Florian: „Man erhielt schnell und einfach gute, teilweise auch sehr genaue Ergebnisse, wie z.B. den ‚Einschaltstrom‘ bei Glühbirnen.“
- Konrad: „Neue Erkenntnisse über Spannungsänderungen beim Schalten von Lampen“
- Gerald: „... daß mal ein Computer verwendet wurde“
- Roland: „Man konnte mehrere Grafen in ein Diagramm abbilden (zum Vergleich)“
- Steffen: „... daß der Computer doch eine große Hilfe beim Experimentieren sein kann.“
- Jörg: „... daß es mir einmal Spaß gemacht hat, mit dem Computer zu arbeiten! Das Programm war sehr bedienerfreundlich (auch für die, die wenig mit Computern zu tun haben). Die Diagramme waren in der Aufzeichnung sehr übersichtlich.“
- Hans: „... sehr genau; Auswertung gut, aber Aufbau sehr lang“

Viele der Äußerungen machen deutlich, daß der Computereinsatz, gerade auch zu Schülerversuchszwecken (noch) ein erhebliches Motivationspotential freisetzt. Dies gilt den Aussagen zufolge insbesondere für Schüler die selten oder nie mit dem Computer „arbeiten“. Allerdings, darauf deuten auch einige der Äußerungen hin, setzt das eine einfach zu handhabende Software voraus. In diesem Zusammenhang ist auch die Tatsache bemerkenswert, daß einige Schüler die von ihnen selbständig genutzte Vielseitigkeit des Programms hervorheben. In diese Richtung scheinen auch einige Aussagen zu gehen, die sich nicht direkt mit dem Computer beschäftigen. Wenn hier die Tatsache positiv hervorgehoben wird, daß selbständiges Denken gefordert war und „jeder allein alles verstanden hat“, dann zielt das wohl hauptsächlich auf die Organisationsform der Schülerversuche ab. Dabei sind im einzelnen die freie Zeiteinteilung für jede Arbeitsgruppe, aber besonders die selbständige, kognitive Auseinandersetzung mit gestellten Problemen zu nennen. Hinzu kommt die Notwendigkeit, selbst zu überlegen, welche Messungen durchzuführen sind, um aufgestellte Hypothesen zu überprüfen. Sollten sie irgendeine Messung falsch aufgebaut haben, dann führt das bei dieser Apparatur nicht zum Defekt, aber man kann an der Ausgabegrafik erkennen, daß hier wohl ein Fehler vorliegt, und diesen selbständig suchen. Die Schüler waren zum größten Teil begeistert von dem, was sie selbst, d.h. mit eigener Verstandesleistung und selbständigem Einsatz von Meßapparaturen leisten und sich erarbeiten konnten. An dieser Stelle liefert die Äußerung von Sebastian eine gute Zusammenfassung. Er findet bemerkenswert, „daß auch Schüler (also wir) solche Ergebnisse mit dem Computer erzielen. Außerdem hat es auch Spaß gemacht.“

5.2 Die Unterrichtsgruppen im Test

Nachdem mit der Auswertung des Fragebogens die psychologischen Faktoren im Zusammenhang mit dem hier durchgeführten Unterricht grob abgesteckt sind, werden im folgenden die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen ausgewertet. Dabei werden jeweils die Resultate des Vortests und des Nachtests gegenübergestellt. Auf diese Weise soll versucht werden, Tendenzen möglicher positiver Auswirkungen des Unterrichts auf das Verständnis der Schüler aufzuspüren, bzw. deutliche Mißerfolge aufzuzeigen. Um sich zunächst einen Überblick über den Kenntnisstand der Unterrichtsgruppen zu verschaffen, werden deren richtige Testantworten mit denen der entsprechenden Kontrollklassen verglichen.

5.2.1 Vergleich der Testergebnisse der Unterrichtsgruppen mit denen der entsprechenden Kontrollklassen

In Abbildung 5.18 auf Seite 147 werden im oberen Teil die Testergebnisse der 10. Klassen und im unteren die der Leistungskurse verglichen. Dabei handelt es sich jeweils um einen Vergleich die Ergebnisse der Unterrichtsgruppe im Vor-

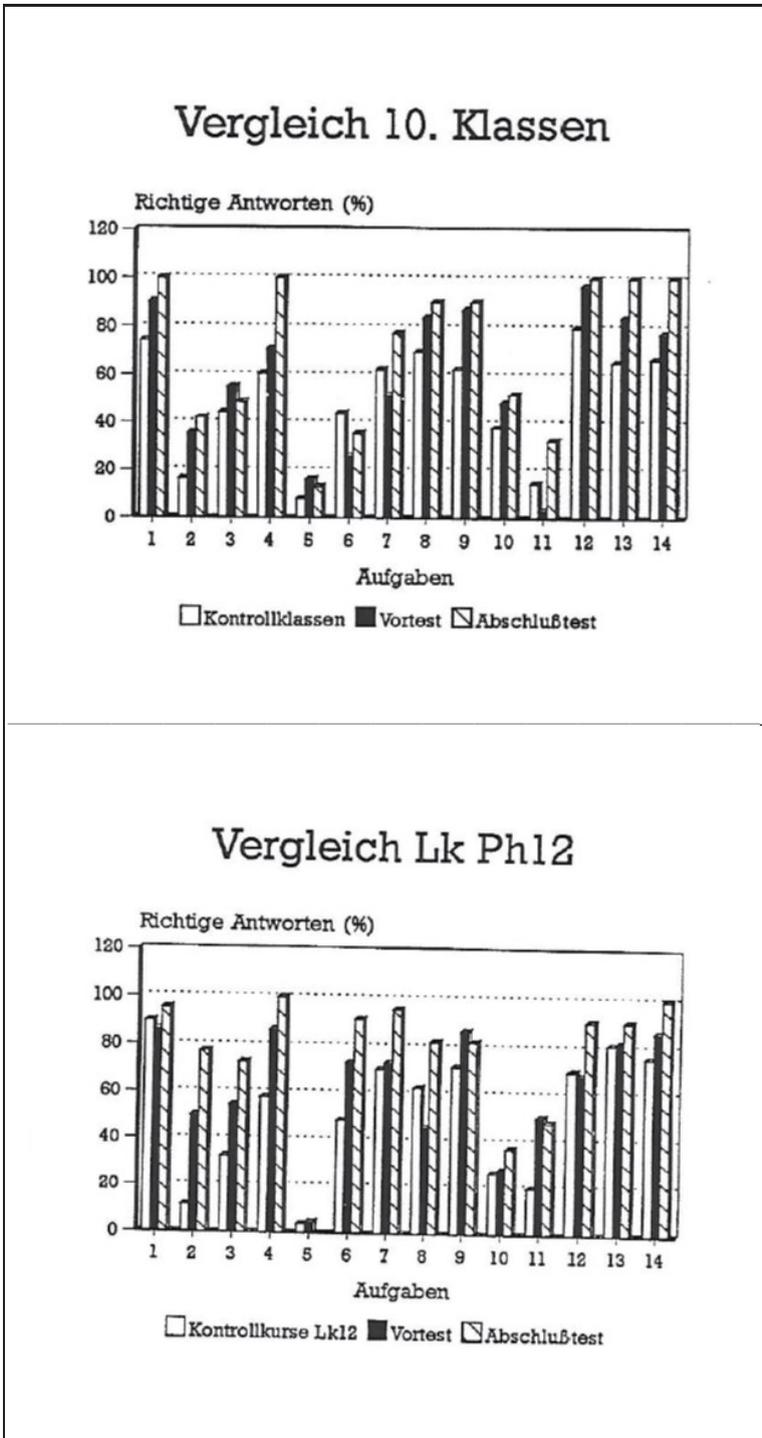


Abbildung 5.18: Hier werden die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen dieser Arbeit mit denen der entsprechenden Kontrollklassen verglichen

und Nachtest mit denen der entsprechenden Kontrollklassen. Dabei ist bereits beim flüchtigen Betrachten ersichtlich, daß die Unterrichtsgruppen bei den meisten Aufgaben bereits im Vortest besser abgeschnitten haben als die jeweiligen Kontrollklassen. Die 10. Klasse hat nur bei den Aufgaben 6, 7 und 11 im Vortest deutlich schlechter abgeschnitten. Dies ist eine interessante Beobachtung, wenn man sich vor Augen hält, daß sich alle drei letztlich auf eine Serienschaltung beziehen. Der Physikleistungskurs dagegen ist im Vortest nur bei Aufgabe 8 deutlich schlechter als die Kontrollkurse. Hierbei handelt es sich um eine Frage zur Helligkeit in einem etwas komplexeren Stromkreis. Beim genauen Hinsehen bemerkt man auch, daß es vereinzelt Aufgaben gibt, die im Nachtest etwas weniger richtige Antworten aufweisen. Allerdings, kann man hier auch schon sehen, daß dies bis auf eine Ausnahme im Leistungskurs und in der 10. Klasse jeweils unterschiedliche Aufgaben sind. Die Ausnahme, nämlich Aufgabe 5, wird gleichzeitig auch insgesamt am seltensten richtig bearbeitet. Auf diese Problematik wird bei der Behandlung dieser Aufgabe noch einmal ausführlich eingegangen. Im folgenden werden nämlich, wie schon in Kapitel 2, alle Testaufgaben einzeln besprochen. Dabei wird, um häufige Wiederholungen zu vermeiden, regelmäßig auf entsprechende Abschnitte von Kapitel 2 verwiesen.

5.2.2 Testaufgabe 1

Bei der Aufgabe 1 des Tests ging es, wie man sich vielleicht erinnert, um die Frage, wie sich die Stromstärke in einem einfachen Stromkreis bestehend aus einer Spannungsquelle und einer Glühbirne verhält.⁵ Die Auswertung der Antworten (siehe Abbildung 5.19 auf Seite 149) zeigt auch hier wieder deutlich, daß die Stromverbrauchsvorstellung bei derart einfachen Aufgaben praktisch keine Rolle spielt. Erwähnenswert ist hier die Tatsache, daß die unterrichtete 10. Klasse bereits im Vortest gut 15 Prozent mehr richtige Lösungen liefert, als die entsprechende Kontrollgruppe. Im Nachtest haben auch die ca. 10 Prozent der Schüler, die im Vortest noch falsch gelegen hatten, richtig geantwortet. Beim Leistungskurs gibt es im Nachtest noch einen Schüler, der hier falsch antwortet. Interessanterweise meint er, daß die Stromstärke überall im Kreis mit Ausnahme der Spannungsquelle gleich ist. Die Tatsache, daß nach dem Unterricht bis auf einen Schüler alle diese Aufgabe richtig beantworten, könnte viele Gründe haben. Dem Autor scheint die Annahme am plausibelsten, daß die zusätzlichen, praktischen Erfahrungen hierfür ausschlaggebend sind, die die Schüler während des Unterrichts im Rahmen dieser Arbeit gerade auch mit dieser Problematik gesammelt haben. Es handelt sich hier also wohl um in Theorie und Praxis erworbenes Wissen und nicht um ein Verständnis der inneren Zusammenhänge.

⁵Der Aufgabentext von Testaufgabe 1 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.1 auf Seite 23.

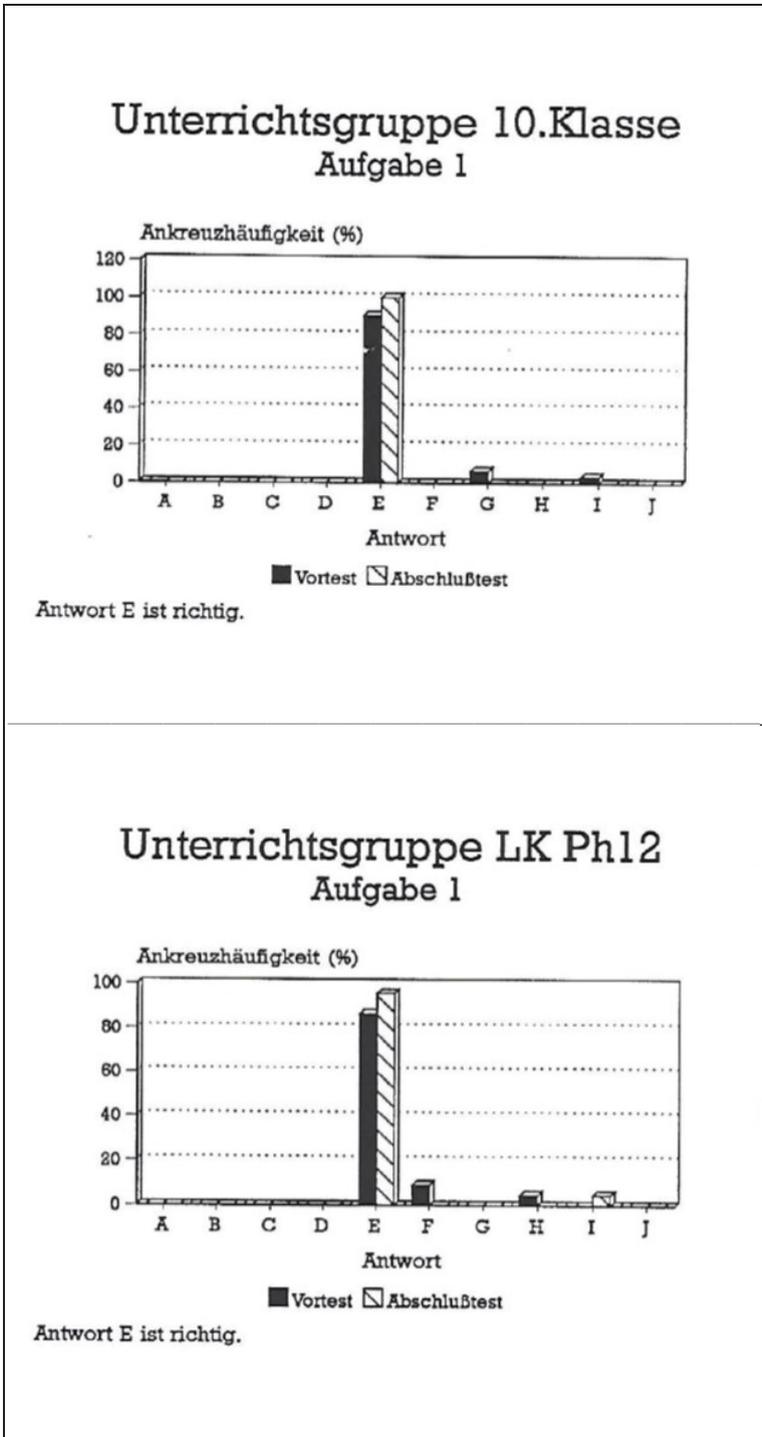


Abbildung 5.19: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 1 des Tests

5.2.3 Testaufgabe 2

Bei Testaufgabe 2 erreichen die beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bereits im Vortest deutlich bessere Ergebnisse als die Kontrollpopulation. Hier wird einem Stromkreis bestehend aus einer Spannungsquelle und einer Glühbirne eine weitere, identische Glühbirne parallel zur ersten hinzugefügt. Gefragt ist nun, ob und wenn ja, in welcher Weise sich dadurch die Gesamtstromstärke im Kreis ändert.⁶ Nur etwa 15 Prozent der Kontrollpopulation gab hier die richtige Antwort, daß sich nämlich die Gesamtstromstärke verdoppelt. Betrachtet man Abbildung 5.20 auf Seite 151 so stellt man fest, daß etwa 35 Prozent der 10. Klasse und ca. 50 Prozent des Leistungskurses die richtige Antwort A bereits im Vortest gewählt haben. Damit ist das Problem in den beiden Unterrichtsgruppen zwar deutlich kleiner als im Durchschnitt, aber trotzdem in erheblichem Umfang vorhanden. So geben durch die Wahl der Antwort C etwa 57 Prozent der Schüler der 10. Klasse und immerhin noch ca. 37 Prozent des Leistungskurses an, daß die Stromstärke gleich bleibe. Es zeigt sich, daß der Unterricht hier eine Verbesserung gebracht hat. Diese fällt beim Leistungskurs mit im Nachtest knapp 25 Prozent mehr richtigen Antworten als im Vortest recht deutlich aus. Allerdings sind auch hier mit über 20 Prozent noch relativ viele der Ansicht, daß die Stromstärke gleich bleibe. Problematischer stellt sich die Situation in der 10. Klasse dar. Hier steigt der Anteil der richtigen Antworten beim Nachtest nur um ca. 7 auf etwa 42 Prozent an. Die Antwort C wird mit ca. 45 Prozent immer noch von den meisten für richtig gehalten. Überraschend ist auch die Tatsache, daß nach dem Unterricht plötzlich über 12 Prozent der Schüler der 10. Klasse Antwort B ankreuzen. Sie glauben also, daß sich die Stromstärke zwar vergrößert, aber nicht verdoppelt. Die Begründungen, die sie hierfür angeben, lesen sich wie folgt:

- Heiko: „Wegen der doppelten Anzahl an Glühbirnen, aber kleinerem Gesamtwiderstand.“
- Stefan: „Aus der Stromquelle wird mehr Strom gezogen, da zwei Lampen Strom verbrauchen.“
- Dominik: „Der Gesamtwiderstand fällt durch Parallelschaltung“
- Martin: „Sie sind auf dem gleichen elektrischen Potential, d.h. es muß mehr Strom fließen, da die Lampen gleich hell sind.“

Auch aus diesen Antworten ist wieder – wie schon so oft in dieser Arbeit – zu schließen, daß kein einheitliches Fehlkonzept vorliegt. Es gibt vielmehr eine Bandbreite von Vorstellungen, die bei Stefans Stromverbrauchsvorstellung beginnt und mit Dominik endet, dessen Vorstellung in die richtige Richtung geht, der sich aber (aus welchen Gründen auch immer) nicht auf eine Halbierung festlegen lassen will.

⁶Der Aufgabentext von Testaufgabe 2 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.3 auf Seite 25.

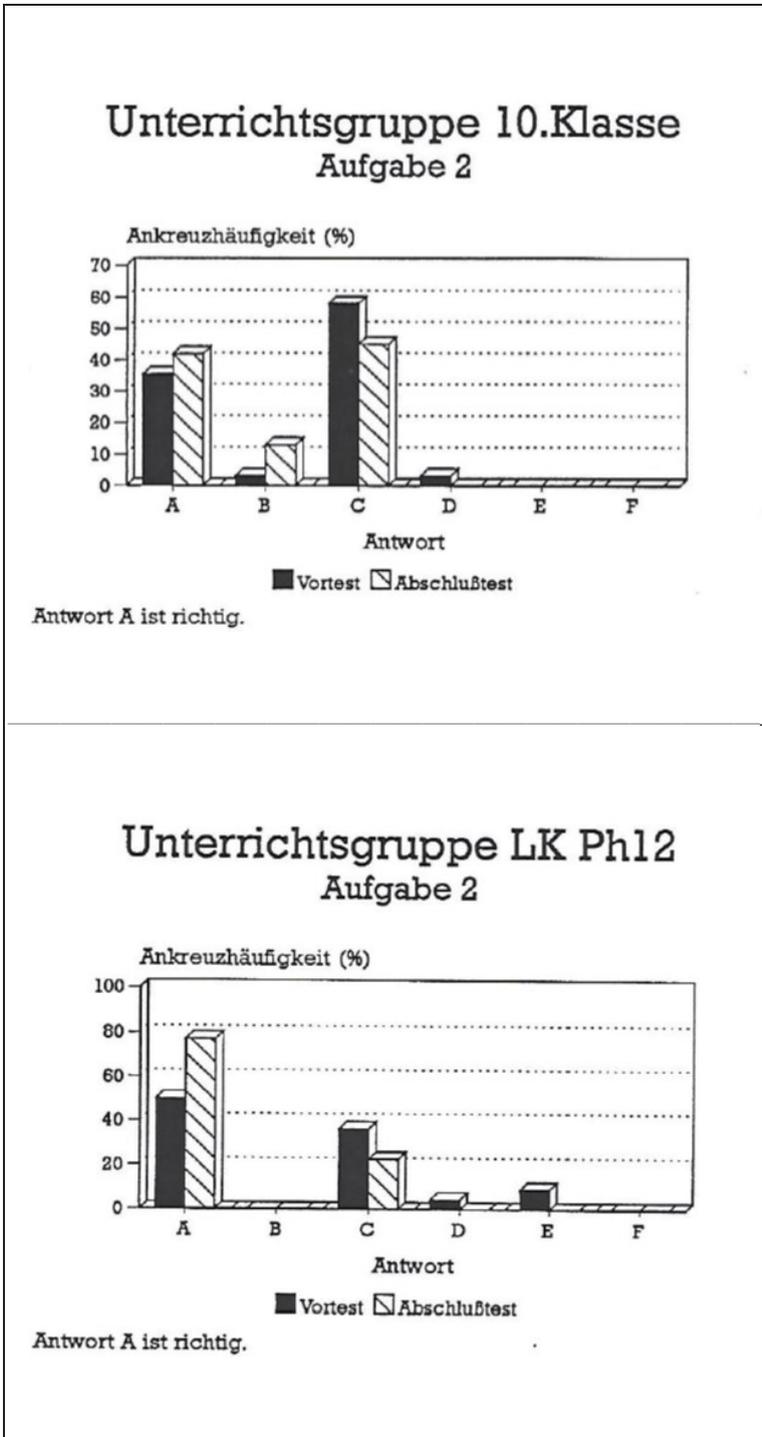


Abbildung 5.20: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 2 des Tests

Allgemein deuten die Antworten darauf hin, daß der durchgeführte Unterricht bei einer großen Zahl der Schüler wenig bewegt hat. Dies läßt sich auch an den Begründungen für Antwort C ablesen, die sich zwischen Vor- und Nachtest kaum wesentlich unterscheiden. Besonders schwerwiegend scheint dem Autor in diesem Zusammenhang die Tatsache zu sein, daß alle Schüler in Aufgabe 3a der Schülerversuche genau dieses Problem bearbeitet und die fraglichen Stromstärken selbst gemessen haben. Es zeigt sich also, daß es bei einer Reihe von Schülern nicht reicht, nur einmalig eine derart intensive Auseinandersetzung mit der Materie zu veranlassen. Spätestens hier stellt sich auch die Frage, ob der Unterricht als kognitive Herausforderung und eigenständige Erarbeitung von Verstehensprozessen nicht an manchen Schülern völlig vorbeigeht. Möglicherweise würde es diesen Schülern helfen, wenn man ihnen zusätzliche Hilfestellungen gibt, die weniger das Verständnis aufbauen, sondern vielmehr die Intuition fördern. Wie das im einzelnen aussehen könnte, kann vielleicht in einer weiterführenden Arbeit geklärt werden.

5.2.4 Testaufgabe 3

Aufgabe 3 stellt die Frage, ob und wenn ja wie eine Glühbirne (bei unveränderter Spannungsquelle) ihre Helligkeit ändert, wenn man parallel zu ihr eine zweite identische Glühbirne schaltet.⁷ Hier haben in beiden Unterrichtsgruppen jeweils mehr als die Hälfte der Schüler im Vortest richtig geantwortet. Sie wählten nämlich Antwort B die besagt, daß sich die Helligkeit nicht verändert. Alle anderen Schüler haben sich für Antwort C entschieden, also dafür, daß die Glühbirne schwächer leuchtet. Betrachtet man nun den unteren Teil der Abbildung 5.21 auf Seite 153, so kann man aus der Sicht des Lehrers erfreut zur Kenntnis nehmen, daß im Leistungskurs weitere knapp 20 Prozent der Schüler infolge ihrer Beobachtungen während der Schülerversuche hier die richtige Antwort ankreuzen. Wendet man sich allerdings den Ergebnissen der 10. Klasse im oberen Teil der Abbildung 5.21 zu, dann ist überhaupt kein Grund zur Freude mehr vorhanden. Es zeigt sich nämlich, daß sich hier, obwohl sie im eigenen Versuch selbst gesehen haben, daß die Helligkeit der Glühbirne sich nicht verändert, mehr als 7 Prozent der Schüler von ihrer zunächst richtigen Antwort abgehen und im Nachtest Antwort C ankreuzen. Dies macht zwei Dinge sehr deutlich. Zum einen sind sich einige Schüler bei ihren Antworten in keiner Weise sicher und antworten durchaus bei der selben Frage zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedlich. Zum anderen bewahrt sich die Überlegung, daß ein Fehlkonzept, daß nur einmal zum Widerspruch geführt wird, diesen sehr oft unbeschadet übersteht. Es bleibt also die Frage, wie man damit umgehen soll. Eine Antwort, die zunächst auf der Hand liegt, läßt sich schwer in aller Konsequenz durchführen. Allein die im Unterricht zur Verfügung stehende Zeit läßt es unmöglich erscheinen, so lange Schülerübungen durchzu-

⁷Der Aufgabentext von Testaufgabe 3 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.5 auf Seite 29.

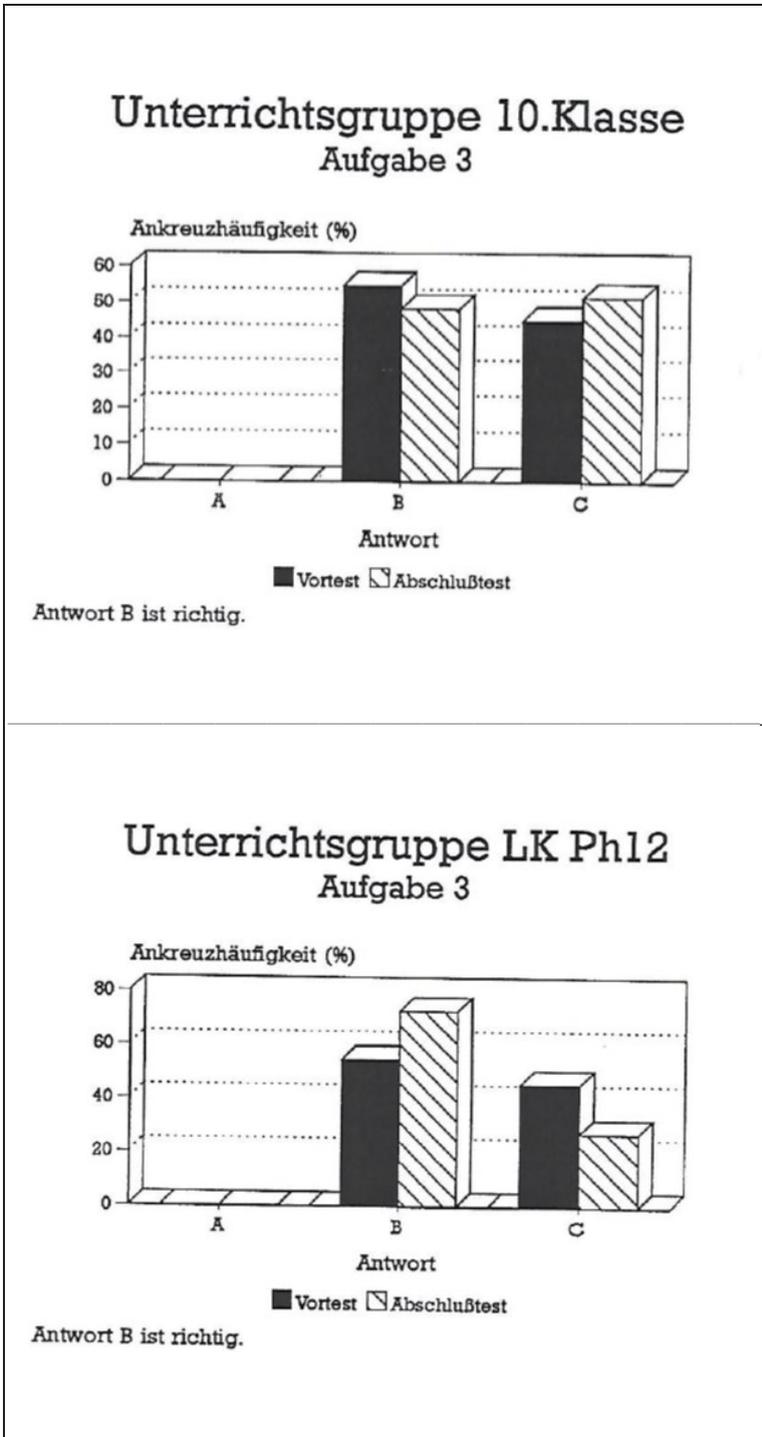


Abbildung 5.21: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 3 des Tests

führen und so oft Widersprüche aufzuzeigen, daß die Fehlkonzepte nicht mehr überleben können. Folglich bleibt nur zu versuchen, Hilfen auf möglichst vielen Ebenen anzubieten. Hier wären z.B. Anschauung, Praxis, Intuition, Theorie und Diskussion zu nennen.

5.2.5 Testaufgabe 4

Die Aufgabe 4 beschäftigt sich immer noch mit dem einfachen Stromkreis bestehend aus einer Spannungsquelle und einer Glühbirne, der eine zweite, identische Glühbirne parallel zugeschaltet wird. Hier geht es nun um die Frage, ob die an der ersten Glühbirne anliegende Spannung sich bei diesem Vorgang ändert und gegebenenfalls wie sie sich verändert.⁸ Bereits ein flüchtiger Blick auf die Testergebnisse in Abbildung 5.22 auf Seite 155 macht deutlich, daß die Unterrichtsgruppen wenig Schwierigkeiten mit dieser Frage hatten. Bereits im Vortest hat mit etwa 70 Prozent in der 10. Klasse und ca. 85 Prozent im Leistungskurs jeweils eine deutliche Mehrheit die richtige Antwort C gewählt. In der 10. Klasse geben allerdings über 20 Prozent der Schüler durch Ankreuzen der Antwort D an, daß sich die an der ersten Glühbirne anliegende Spannung ihrer Meinung nach halbiert. Die Begründungen für dieses Antwortverhalten sind hier sehr unterschiedlich und zusätzlich äußerst aussagekräftig. Deshalb werden im folgenden einige von ihnen wiedergegeben.

- Stefan: „ $U = RI$, da R immer gleich ist, muß U abhängig von I sein!“
- Heiko: „Die Gesamtspannung I_g wird in zwei gleich große Teile geteilt: I_1 und $I_2 \Rightarrow I_1 + I_2 = I_g \Rightarrow I_1 = \frac{1}{2}I_g$. Da I_g bei den beiden Stromkreisen gleich ist, erklärt sich meine Antwort so.“
- Sebastian: „Da an einer Stromverzweigungsstelle in einem geschlossenen Stromkreis die Summe der Spannungsabfälle gleich der angelegten Spannung ist und diese Verzweigung in zwei Richtungen geht, muß in jede Richtung die halbe Spannung gehen.“
- Christian: „Die Summe der Spannungsabfälle in einem geschlossenen Stromkreis ist gleich der angelegten Spannung.“
- Bernhard: „Die Spannungsquelle ist in beiden Stromkreisen gleich. Da im zweiten Stromkreis Parallelschaltung vorliegt, muß die Spannung an der Glühbirne halb so groß sein wie die an der Quelle.“

Die Aussage von Stefan läuft darauf hinaus, daß er glaubt, die Spannung sei bis auf einen Proportionalitätsfaktor im wesentlichen dasselbe wie die Stromstärke. Folglich arbeitet er hier mit seinem Stromkonzept, das zweifellos die Konstantstromquellenvorstellung beinhaltet. Bei Heiko wird alleine schon durch seine

⁸Der Aufgabentext von Testaufgabe 4 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.7 auf Seite 32.

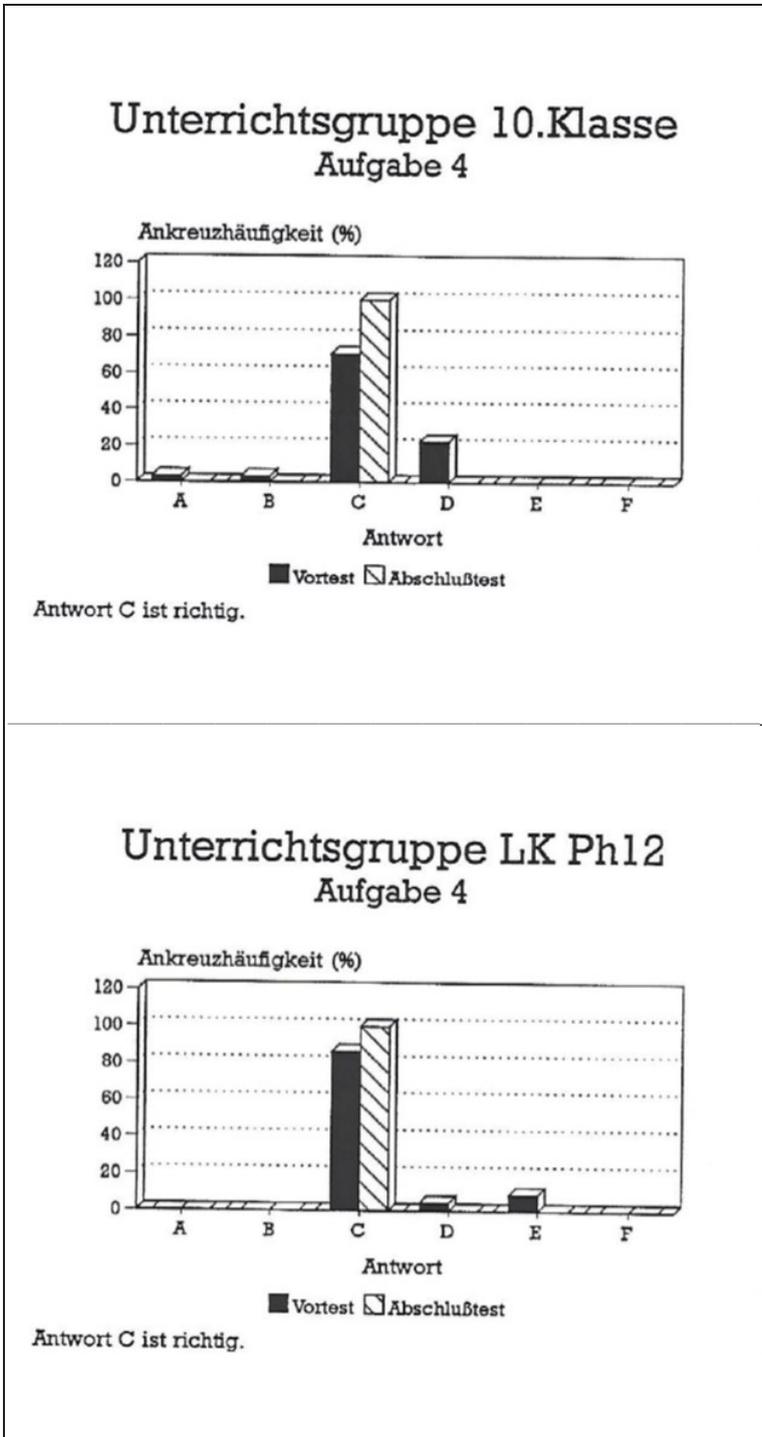


Abbildung 5.22: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 4 des Tests

Bezeichnungen deutlich, daß er Stromstärke und Spannung nicht deutlich unterscheidet, und hier sein fehlerhaftes Stromkonzept anwendet. Auch bei Sebastian ist ersichtlich, daß er Spannungs- und Stromkonzept vermischt. Bei Christian liegt entweder eine Fehlinterpretation des zweiten Kirchhoffschen Gesetzes vor, oder er verwechselt die Regeln für Parallel- und Reihenschaltung. Letzteres ist bei Bernhard am wahrscheinlichsten. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die hier zitierten vier Schüler durchaus unterschiedliche Beweggründe hatten, als sie die Antwort D wählten. Ein weiterer Blick auf Abbildung 5.22 zeigt, daß im Nachtest alle Schüler (also jeweils 100 Prozent) richtig antworteten. Nun erscheint es interessant, festzustellen, was die vier Schüler die oben zu Wort gekommen sind veranlaßt hat, im Abschlußtest die richtige Antwort C zu wählen. Sie selbst geben folgende Begründungen:

- Stefan: „Beide Birnen liegen auf dem gleichen elektrischen Potential.“
- Heiko: „Doppelte Anzahl der Glühbirnen \Rightarrow gleiche Spannung, doppelte Stromstärke“
- Sebastian: „Alles auf gleichem elektrischen Potential“
- Christian: „Sie liegen auf dem gleichen elektrischen Potential“
- Bernhard: „Sie liegen auf gleichem Potential.“

Heikos Aussage bleibt für den Autor unverständlich. Ein möglicher Deutungsversuch könnte allerdings sein, daß er während des Schülerversuchs experimentell festgestellt hat, wie sich die Spannung verhält. Leider ließ sich das aber nicht mit seinem bisherigen Konzept erklären. Deshalb hat er hier nun krampfhaft (und ohne Erfolg) versucht, doch noch eine plausible Erklärung zu liefern. Bei Stefan, Sebastian, Christian und Bernhard tritt ein sehr interessanter Effekt auf. Sie haben zunächst durchaus unterschiedliche Fehlkonzepte benutzt und wahrscheinlich auch in einem Praktikumsversuch gemerkt, daß die Meßergebnisse mit ihrer Hilfe nicht erklärt werden können. Bemerkenswert ist nun, daß sie jetzt unabhängig voneinander auf dasselbe Ausweichkonzept zurückgreifen. Da während des Unterrichts im Rahmen dieser Arbeit zu keiner Zeit mit dem Begriff Potential gearbeitet worden ist und die Formulierungen der drei überraschend gleichlautend sind, ist wohl davon auszugehen, daß dies auf ein im regulären Unterricht angebotenes Konzept zurückgeht. Es scheint also so zu sein, daß im Unterricht neben den bisherigen Fehlkonzepten ein zweites abgespeichert wurde, daß aber nur aktiviert wird, wenn sich das eigene Fehlkonzept offensichtlich als ungeeignet erweist. Aus all dem läßt sich schließen, daß die Schülerversuche zumindest eine ihrer Intentionen erfüllt haben. Die Schüler haben eigene Erfahrungen mit realen Stromkreisen gemacht, die sie aufgrund der grafischen Darstellung auch verstehen konnten und auf die sie jetzt zurückgreifen können.⁹

⁹Es bleibt allerdings unklar, wie lange diese Erfahrungen in Erinnerung bleiben.

5.2.6 Testaufgabe 5

Bei Aufgabe 5 wird dem einfachen Stromkreis bestehend aus einer Spannungsquelle und einer Glühbirne eine weitere identische Glühbirne in Reihe hinzugefügt. Gefragt ist nun, ob und gegebenenfalls wie sich dabei die Stromstärke in einem Punkt direkt neben dem Pluspol der Spannungsquelle und noch vor der ersten Glühbirne verändert.¹⁰ Betrachtet man die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen in Abbildung 5.23 auf Seite 158, so stellt man fest, daß sich jeweils über 50 Prozent der Schüler im Vortest für Antwort C entschieden haben. Damit sind sie der Meinung, daß die Stromstärke beim Hinzufügen einer weiteren identischen Glühbirne gleich bleibt. Die Begründungen zu dieser Antwort lesen sich mehrheitlich wie die folgenden:

- Silvia: „Die Lämpchen sind in Serie geschaltet und dabei bleibt die Stromstärke überall gleich.“
- Petra: „Die Lämpchen sind in Serie geschaltet.“
- Frank: „Liegen in Serie, daher ist I immer gleich.“
- Horst: „Bei einer Reihenschaltung bleibt die Stromstärke konstant.“

Es scheint hier also eine Fehlinterpretation des zitierten Lehrsatzes vorzuliegen, die möglicherweise durch die Konstantstromquellenvorstellung unterstützt wird.

Auch Antwort A wird im Vortest von jeweils über 10 Prozent der Schüler gewählt. Sie glauben also, daß die Stromstärke in einer Serienschaltung bestehend aus zwei Glühbirnen doppelt so groß ist wie in einem Stromkreis mit nur einer Glühbirne und derselben Spannungsquelle. Dazu werden Erklärungen folgender Art geliefert:

- Dirk: „In der Serienschaltung muß die Stromstärke doppelt so groß sein, um die Glühbirnen gleichhell brennen zu lassen.“
- Christian: „Die Lampen sind in Reihe geschaltet, deswegen wird I addiert.“
- Frank: „Zwei gleiche Lampen $I_1 + I_2 = I_{ges} = 2I_1 = 2I_2$ “
- Stefan: „Die Birnen verbrauchen mehr Strom (doppelt soviel).“

Dirk hat die Aufgabenstellung in Gedanken selbständig erweitert und kann damit natürlich nicht mehr richtig antworten. Außerdem berücksichtigt er nicht, daß Glühbirnen keine Ohmschen Widerstände sind. Christian und Frank verwechseln entweder die Konzepte von Parallel- und Reihenschaltung oder die der Stromstärke mit der der Spannung. Stefan hingegen argumentiert mit einer Stromverbrauchsvorstellung. Hieran ist wieder deutlich zu erkennen wie unterschiedlich die Beweggründe sein können, die zur selben Antwort führen.

¹⁰Der Aufgabentext von Testaufgabe 5 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.9 auf Seite 35.

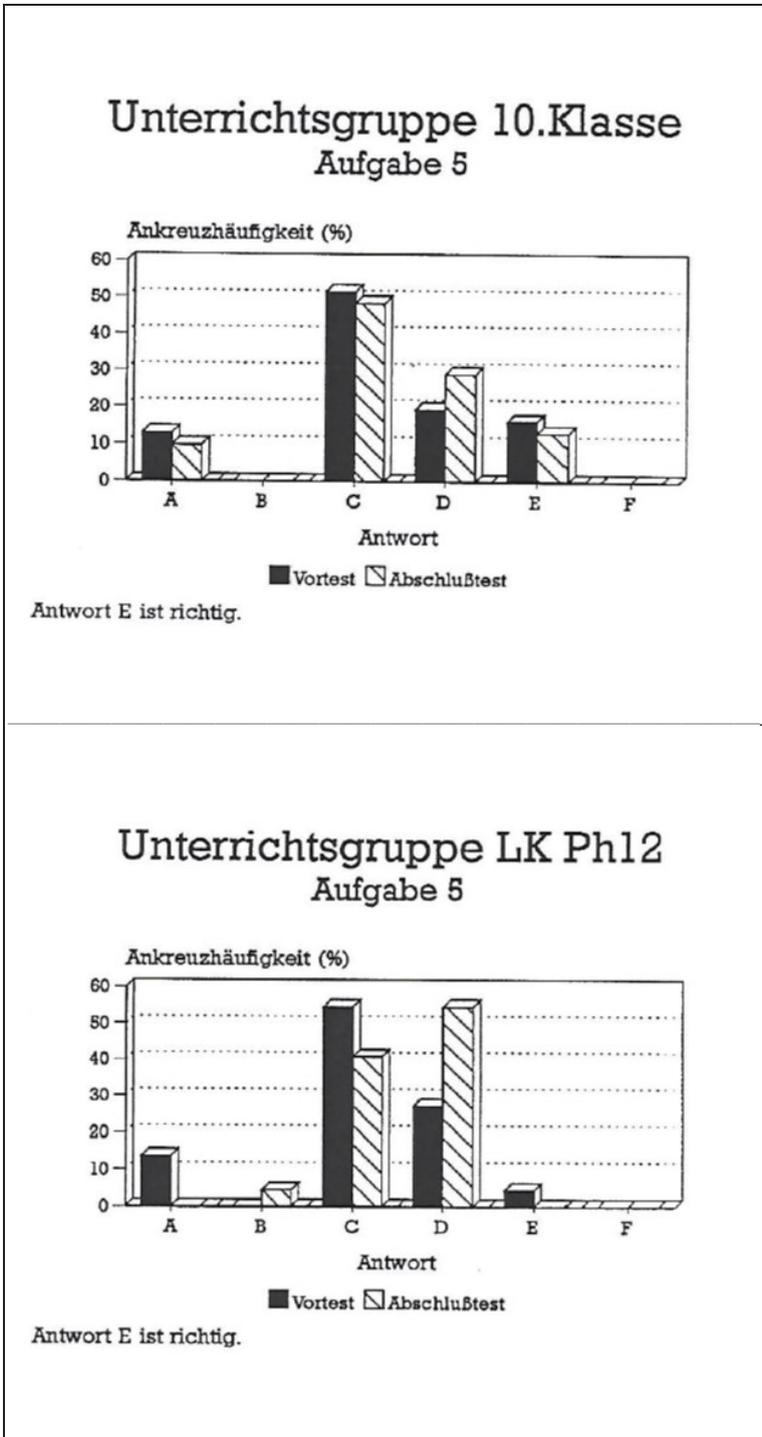


Abbildung 5.23: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 5 des Tests

Viel interessanter als die bisher besprochenen sind die Antworthäufigkeiten bei den Antworten D und E. Die richtige Antwort E besagt, daß die Stromstärke kleiner wird sich aber nicht halbiert. Letzteres liegt natürlich daran, daß die Glühbirne kein Ohmscher Widerstand ist. Gerade diese Tatsache machen sich aber die wenigsten klar. Vor diesem Hintergrund wird es verständlich, warum die meisten, die das Grundprinzip bei einer Serienschaltung verstanden haben, Antwort D ankreuzen. Darin wird behauptet, daß sich die Stromstärke halbiert. Dies würde natürlich auch absolut richtig sein, wenn es sich nicht um Glühbirnen sondern um Ohmsche Widerstände handeln würde. So begründet sich hier also die Tatsache, daß so wenige (nämlich im Leistungskurs etwa 5 Prozent und in der 10. Klasse ca. 15 Prozent) sich für Antwort E entschieden haben. Aus der Sicht des Lehrers noch trauriger wird dieses Negativergebnis, wenn man sich vor Augen hält, daß keiner der Schüler diese Antwort aufgrund eines echten Verständnisses angekreuzt hat. Dies läßt sich leicht anhand der Begründungen belegen:

- Patrick: „Es geht an jeder Lampe etwas vom Strom verloren, aber der Strom wird nicht halbiert und aufgeteilt.“
- Marcus: „Die Lampen verbrauchen die Ladung ja doppelt, aber es ist immer noch die gleiche Spannung auf der Leitung.“
- Ralf: „Die Lampe 2 liegt nun in Serie und verbraucht nun genauso viel Strom wie Lampe 1 aber im selben seriellen Stromkreis.“
- Stefan: „Doppelter Verbrauch der Lampen, aber Verbrauch der Zuleitungen immer da und gleich.“
- Heiko: „Da die Glühbirnen in Serie Strom verbrauchen, verbraucht eine weniger als zwei.“
- Jürgen: „Da die zweite Glühbirne ein zusätzlicher Widerstand ist.“

Der Nachtest macht deutlich, daß auch nach dem Unterricht im Rahmern dieser Arbeit die Temperaturabhängigkeit des Glühbirnenwiderstandes (bzw. dessen Abhängigkeit von der durchfließenden Stromstärke) in keiner Weise durchschaut ist. Dies zeigt, daß es noch nicht reicht, die Schüler die Widerstandskennlinien einer Glühbirne und eines Ohmschen Widerstandes im direkten Vergleich aufnehmen und diskutieren zu lassen, wie es im Schülerversuchsteil des hier durchgeführten Unterrichts geschehen ist.¹¹ Um hier bessere Ergebnisse zu erzielen, ist gerade an diesem anspruchsvollen Punkt mehr Zeit zu investieren als hier geschehen. Nun soll das Widerstandsproblem ausgeklammert und die unter diesen Umständen „richtige“ Antwort D betrachtet werden. Sie gibt bis zu einem

¹¹An dieser Stelle ist es notwendig noch einmal darauf hinzuweisen, daß einige Arbeitsgruppen aus Zeitgründen nicht zur hier angesprochenen Aufgabe 4 des Praktikumsprotokolls vorgestoßen sind.

gewissen Grad Auskunft darüber, inwieweit das Stromkonzept in seiner Anwendung auf die Serienschaltung verstanden ist. Wird das Ergebnis des Nachttests für Aufgabe 5 aus diesem Blickwinkel betrachtet, dann läßt sich zumindest eine kleine Verbesserung gegenüber dem Vortest erkennen. Antwort D wurde von den Schülern der 10. Klasse um 10 Prozent häufiger, nämlich zu etwa 29 Prozent angekreuzt. Im Leistungskurs haben sich im Nachttest 22 Prozent zusätzlich für Antwort D entschieden. Sie wurde letztlich von ca. 54 Prozent der Schüler gewählt. Interessanterweise haben von den Schülern, die im Vortest diese Antwort nicht angekreuzt haben, nur die Antwort D im Nachttest gewählt, die bei der korrespondierenden Aufgabe des Praktikumsprotokolls¹² eine Vorhersage formuliert haben (unabhängig davon, ob die Vorhersage richtig oder falsch war). Es scheint also einen erkennbaren Zusammenhang zwischen der intensiven, kognitiven Auseinandersetzung und dem Verständniserfolg zu geben. Dies könnte man als kleine, wenn auch sehr bescheidene Bestätigung des hier versuchten Unterrichtsansatzes werten.

5.2.7 Testaufgabe 6

Testaufgabe 6 beschäftigt sich mit der Frage, ob der Spannungsabfall an einer direkt mit einer Spannungsquelle verbundenen Glühbirne sich ändert (und gegebenenfalls in welcher Weise), wenn man eine zweite, identische Glühbirne in Serie zuschaltet.¹³ Ein einziger Blick auf die Testergebnisse in Abbildung 5.24 auf Seite 161 genügt, um zu sehen, daß die beiden Unterrichtsgruppen hier (zum ersten Mal) völlig verschieden geantwortet haben. Während sich der Leistungskurs bereits im Vortest zu etwa 70 Prozent für die richtige Antwort D entscheidet, und dieses Resultat im Nachttest sogar auf ca. 90 Prozent steigert, hält es die Mehrheit der 10. Klasse eindeutig mit Antwort C. Da diese Mehrheit im Vortest etwas über und im Nachttest nur leicht unter 75 Prozent lag, scheint es empfehlenswert, diese Antwort etwas genauer zu betrachten. Sie besagt zunächst, daß sich die Spannung an der fraglichen Glühbirne durch serielles Hinzufügen einer weiteren Glühbirne nicht ändert. Um die Hintergründe für diese Antwort besser verstehen zu können, hier wieder eine Auswahl der zugehörigen Begründungen:

- Dirk: „In beiden Fällen liegt die gleiche Batterie vor.“
- Maximilian: „Die Spannung wird bei Serienschaltung immer gleich. Nur die Stromstärke ändert sich.“
- Matthias: „Es liegt ein geschlossener Stromkreis vor, deswegen ist die angelegte Spannung gleich der Abfälle“

¹²Aufgabe 2b des Praktikumsprotokolls

¹³Der Aufgabentext von Testaufgabe 6 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.11 auf Seite 38.

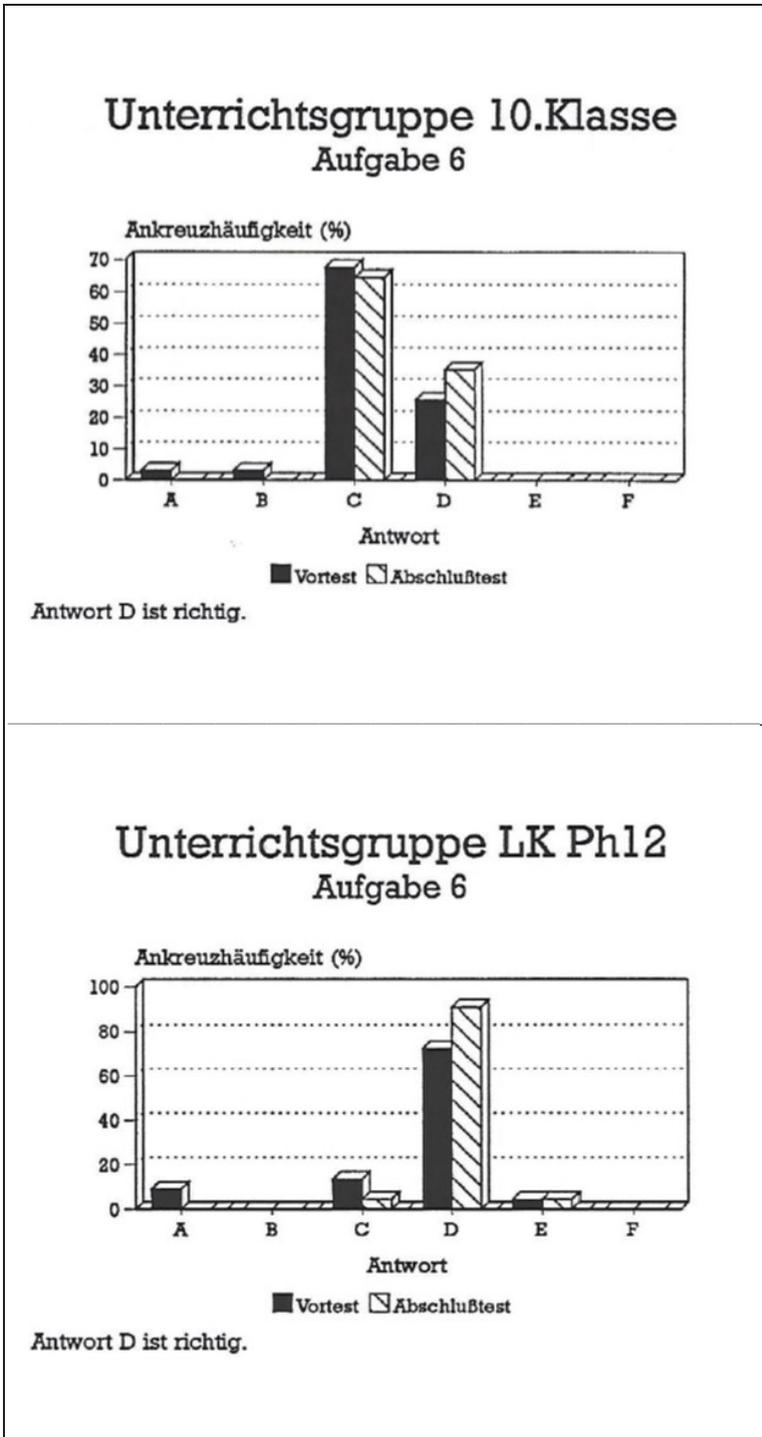


Abbildung 5.24: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 6 des Tests

- Birgit: „Es ist ein geschlossener Stromkreis“
- Thomas: „Spannung bleibt konstant“
- Jürgen: „Die Spannung wird durch die zweite Glühbirne nicht beeinflusst“
- Sebastian: „Da es in beiden Stromkreisen keine Verzweigung gibt, liegt überall die gleiche Spannung an.“
- Frank: „Die Spannung wird immer parallel gemessen.“
- Heiko: „Die Spannung bleibt gleich, auch wenn die Stromstärke niedriger wird.“
- Ralf: „Auch in Serie geschaltete Glühbirnen liegen auf gleichem elektrischen Potential.“
- Ernst: „Spannung ist überall gleich“
- Alexander: „Sie werden addiert (in jedem Punkt gleich viel Spannung)“
- Stefan: „Lampen liegen in Serie, d.h. auf gleichem elektrischen Potential!“
- Patrick: „Bis zum Punkt B ist in Schaltbild (3) nichts anders als in Schaltbild (1)“
- Natalie: „Weil die Glühbirnen in Serie geschaltet sind.“
- Martin: „Die Spannung ist an jedem Punkt einer Schaltung (bzw. in einem Stromkreis) gleich.“
- Helmut: „Es liegt in beiden Fällen die gleiche Spannung an, da Birne 1 heller brennt als Birne 2.
 Stromkreis (1): Birne hell
 Stromkreis (3): 1. Birne gleichhell wie in Kreis (1)“
- Christian: „Hintereinanderschaltung $\Rightarrow U$ bleibt gleich“

Aus der hier deutlich werdenden Vielzahl von Fehlvorstellungen sollen hier nur wenige zur näheren Betrachtung herausgegriffen werden. Ein Phänomen, nämlich die konsequente Vertauschung der „Lehrsätze“ für die Spannung in Parallel- bzw. Serienschaltungen, scheint man am leichtesten beheben zu können. Die Schüler, die bei Aufgabe 4 und 6 die Antwort angekreuzt und eine der Begründungen geliefert haben, die man eigentlich bei der entsprechend anderen Aufgabe erwartet hätte, haben alle im Abschlußtest jeweils richtig geantwortet.

Viele Schüler der 10. Klasse scheinen bei der Spannung keinen Unterschied zwischen der Reihen- und der Parallelschaltung zu machen. Dies wird an der großen Zahl der Schüler deutlich, die bei Aufgabe 4 und 6 identisch antworten.

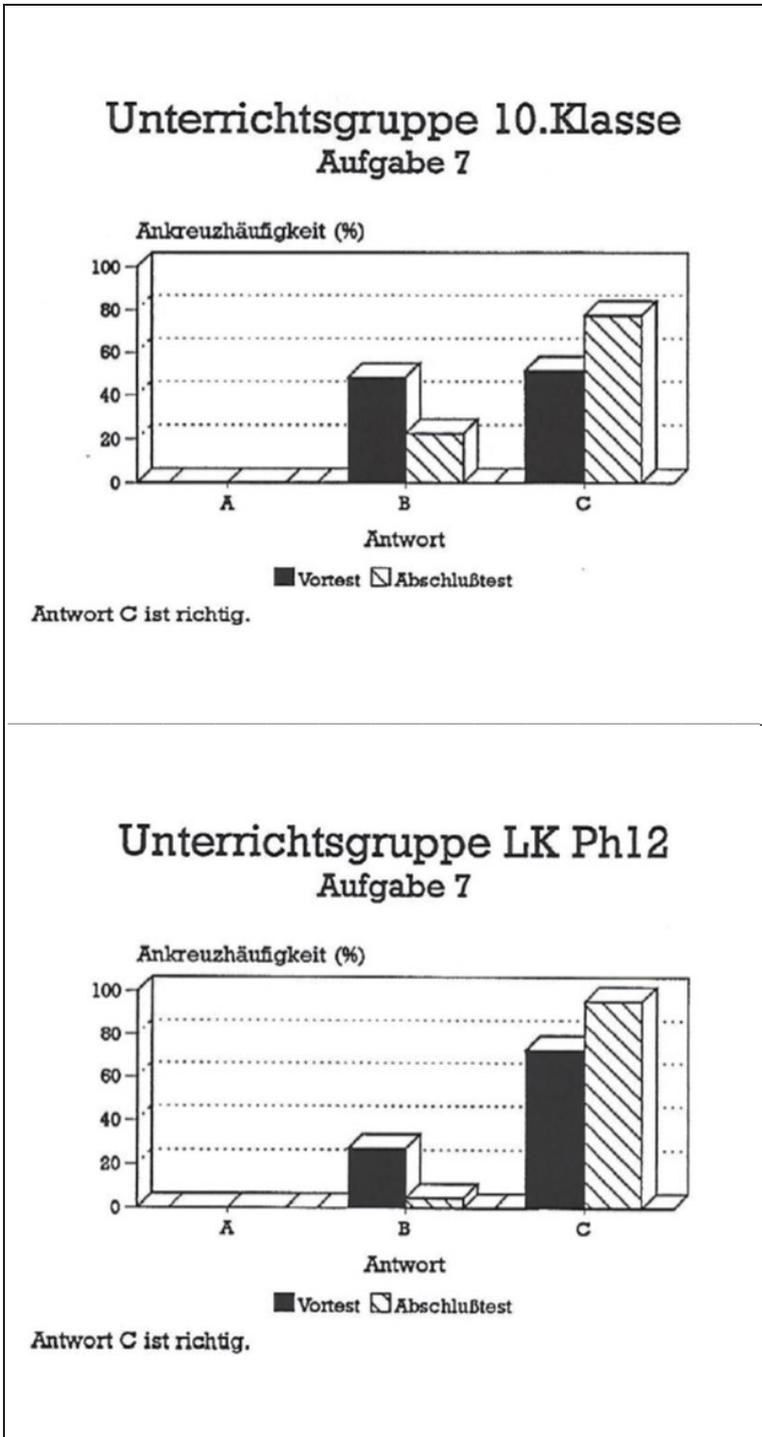


Abbildung 5.25: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 7 des Tests

daß die Helligkeit sich nicht verändert. Bereits im entsprechenden Abschnitt des zweiten Kapitels wurde auf einige, mögliche Gründe hingewiesen, die zu dieser Antwort geführt haben könnten. Dort wurde ein weiterer, möglicher Beweggrund, nämlich die Stromverbrauchsvorstellung, teilweise kombiniert mit dem sequentiellen Denken, nicht genannt. Es scheint deshalb notwendig dies nachzuholen, weil der hier durchgeführte Unterricht gerade auch an dieser Stelle Erfolge zeigt. Dies liegt möglicherweise an der Kombination aus Pfeildiagrammdarstellung des gesamten Stromkreises und der in den Schülerversuchen gesammelten praktischen Erfahrung. Wie aus Abbildung 5.25 ersichtlich ist, haben sich nach dem Unterricht in beiden Gruppen jeweils weitere 20 Prozent der Schüler für die richtige Antwort entschieden.

5.2.9 Testaufgabe 8

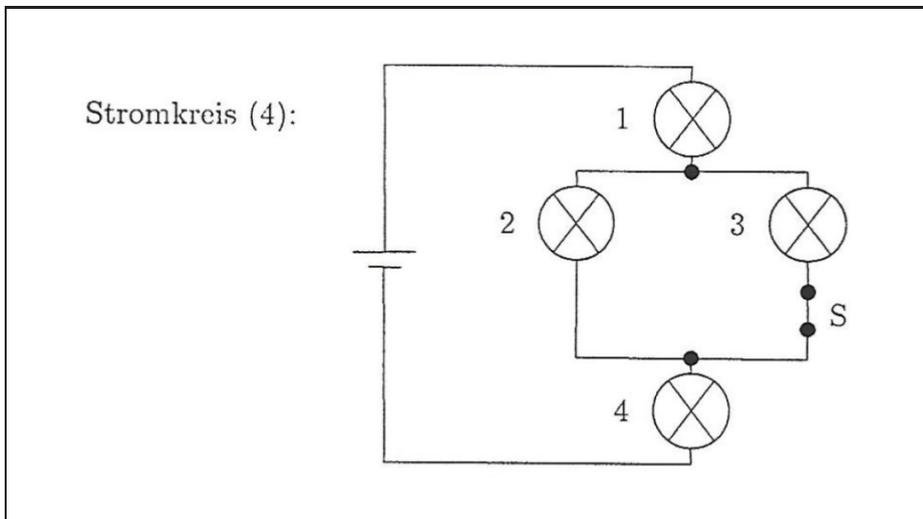


Abbildung 5.26: Schaltbild von Stromkreis (4), auf den sich die Aufgaben 8 bis 12 beziehen

Die im folgenden behandelten Aufgaben 8 bis 12 beziehen sich alle auf den in Abbildung 5.26 auf Seite 165 dargestellten Stromkreis (4). In Aufgabe 8 geht es darum, die vier Glühlampen nach ihrer Helligkeit zu ordnen.¹⁶ Hier sind die Testergebnisse der 10. Klasse deutlich besser als die des Leistungskurses. Abbildung 5.27 auf Seite 166 zeigt, daß sich bereits im Vortest über 80 Prozent der Schüler der 10. Klasse für die richtige Antwort D entscheiden, während es im Leistungskurs nur knapp 45 Prozent sind. Sie haben also richtig festgestellt, daß die Glühlampen 1 und 4 gleichhell leuchten und heller sind als die beiden parallel geschalteten,

¹⁶Der Aufgabentext von Testaufgabe 8 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.15 auf Seite 44.

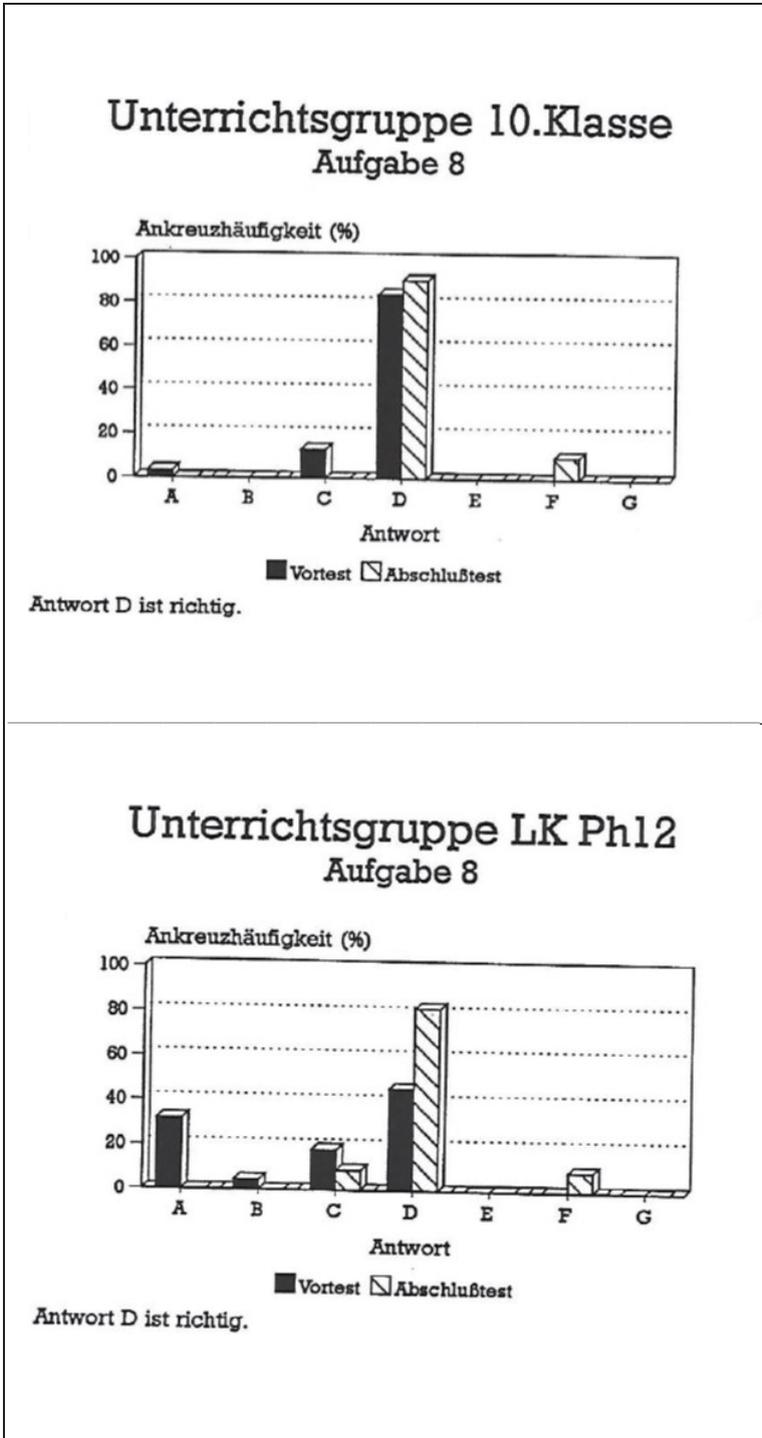


Abbildung 5.27: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 8 des Tests

gleichhellen Glühbirnen 2 und 3. Auf mögliche Beweggründe für die Wahl der einzelnen Antworten wurde bereits in Abschnitt 2.3.8. dieser Arbeit ausführlich eingegangen. Hier soll nur die Tatsache noch einmal erwähnt werden, daß die Antwort A höchstwahrscheinlich ausschließlich auf das lokale Denken zurückgeht.¹⁷ Dies ist deshalb bemerkenswert, weil diese Antwort zwar im Vortest vorkommt (dort im Leistungskurs sogar über 30 Prozent der Antworten ausmacht), im Nachtest aber von keinem Schüler mehr angekreuzt wurde. Dies zeigt sehr deutlich, daß der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Unterricht geeignet ist, um den globalen Charakter der Vorgänge im Stromkreis zu verdeutlichen. Allerdings scheint der Unterricht auch negative Effekte auf einige Schüler zu haben. Dies läßt sich daran ablesen, daß insgesamt fünf Schüler nach dem Unterricht die Antwort F für richtig halten, also glauben, daß Glühbirne 1 am hellsten ist, Glühbirnen 2 und 3 gleich hell aber dunkler sind und Glühbirne 4 schließlich noch dunkler ist. Dies zu erklären, fällt dem Autor schon deshalb schwer, weil hier mit großer Wahrscheinlichkeit eine zumindest implizite Verbrauchsvorstellung vorliegt, die im Unterricht durch alle Versuche widerlegt wurde.

5.2.10 Testaufgabe 9

In Testaufgabe 9 sollen die vier Glühbirnen des Stromkreises (4)¹⁸ nach den durch sie fließenden Stromstärken geordnet werden.¹⁹ Die Abbildung 5.28 auf Seite 168 zeigt, daß beide Unterrichtsgruppen hier bereits im Vortest zu mehr als 85 Prozent richtig antworten. Dies ist insbesondere im direkten Vergleich des Ergebnisses des Leistungskurses im Vortest bei Aufgabe 8 interessant.²⁰ Es zeigt nämlich, daß viele Schüler des Leistungskurses den Zusammenhang zwischen der Helligkeit der Glühbirne und der durch sie fließenden Stromstärke zunächst nicht durchschaut haben. Für die 10. Klasse ist zu bemerken, daß sich die drei Schüler, die sich schon bei Aufgabe 8 im Nachtest für die Antwort F entschieden haben, dies auch hier wieder tun. Damit ist absolut klar, daß sie sich eine implizite Stromverbrauchsvorstellung „erworben“ haben.

5.2.11 Testaufgabe 10

In Aufgabe 10 sollen die an den vier Glühbirnen in Stromkreis (4)²¹ Spannungen der Größe nach geordnet werden.²² Die Testergebnisse zu dieser Frage, dargestellt in Abbildung 5.29 auf Seite 169, zeigen zwei Dinge sehr deutlich: Zum einen gibt

¹⁷Antwort A sagt aus, daß alle Glühbirnen gleichhell leuchten.

¹⁸siehe Abbildung 5.26 auf Seite 165

¹⁹Der Aufgabentext von Testaufgabe 9 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.18 auf Seite 47.

²⁰vgl. Abbildung 5.27 auf Seite 166

²¹siehe hierzu die Schaltskizze in Abbildung 5.26 auf Seite 165

²²Der Aufgabentext von Testaufgabe 10 findet sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.19 auf Seite 49.

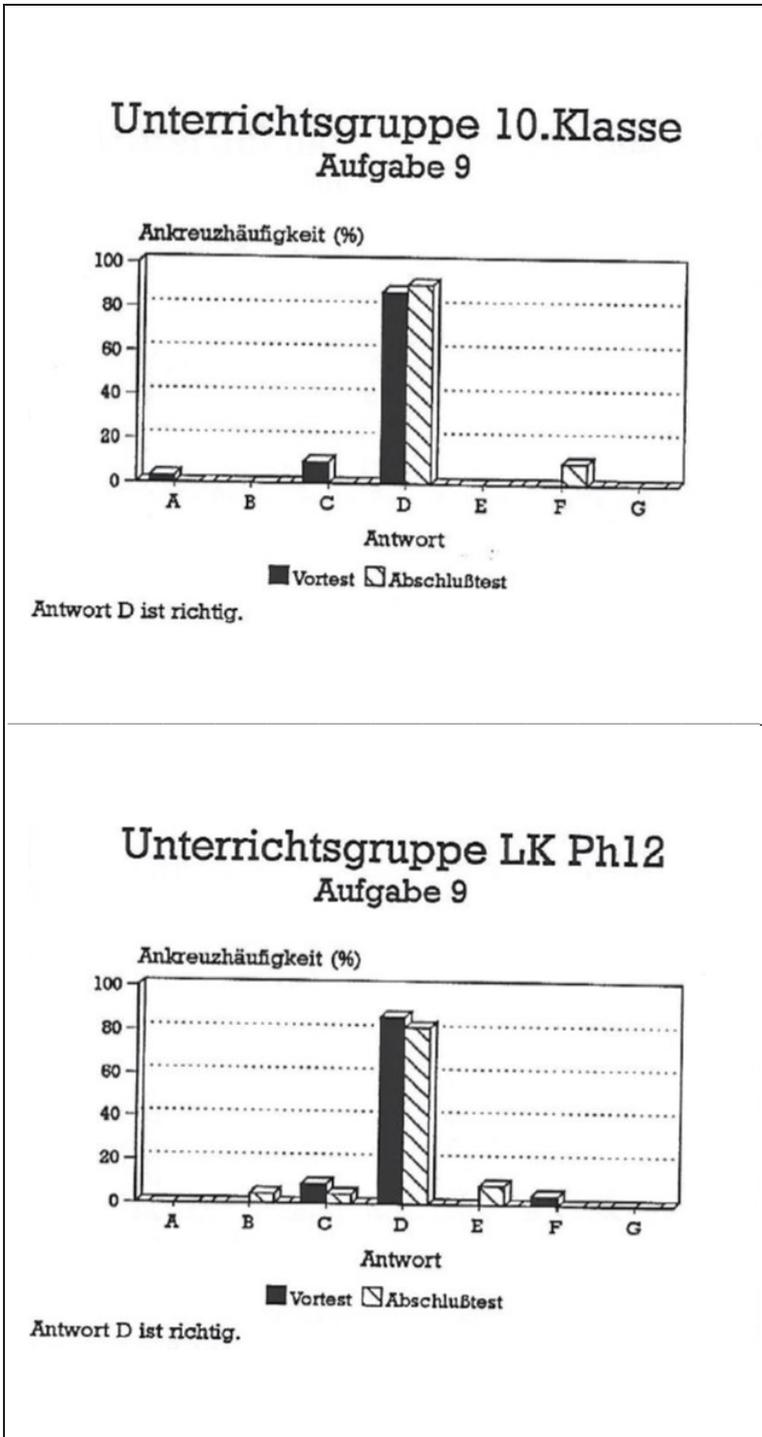


Abbildung 5.28: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 9 des Tests

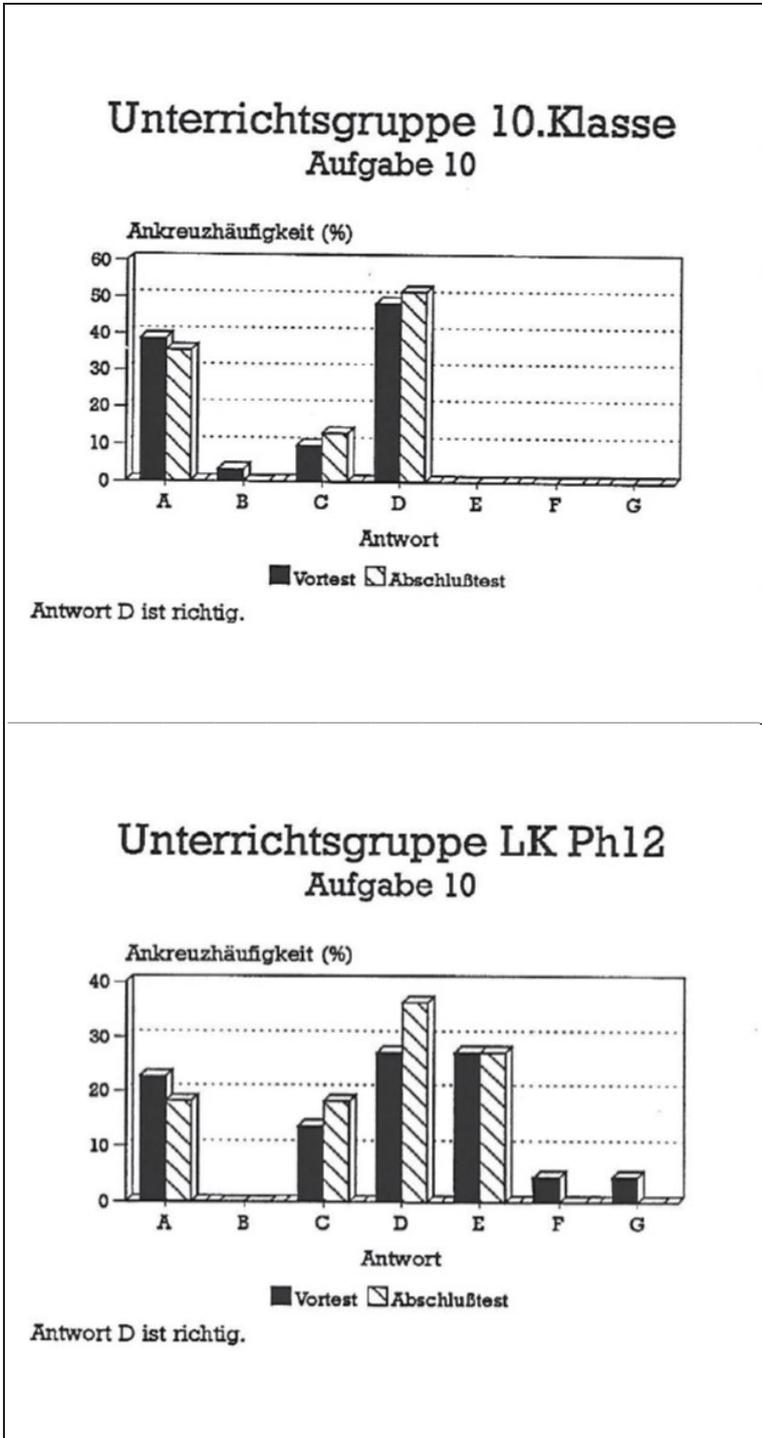


Abbildung 5.29: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 10 des Tests

es in dieser Frage keine Mehrheitsmeinung und zum anderen hatte der Unterricht praktisch keinen Einfluß auf das Antwortverhalten. Interessant ist die Häufigkeit der Antwort A. Hier spiegelt sich die bereits weiter oben festgestellte Vorstellung einer ganzen Reihe von Schülern wieder, daß die Spannung bei identischer Spannungsquelle überall im Stromkreis und in jedem Stromkreis gleich ist. Besonders bemerkenswert erscheint auch die Tatsache, daß mehr als ein Viertel der Schüler des Leistungskurses sich für die falsche Antwort E entschieden hat, während kein Schüler der 10. Klasse sie für richtig hielt. Letzteres ist zwar ein Extremfall, deckt sich aber in der Tendenz durchaus mit dem Ergebnis der Kontrollpopulation bestehend aus 316 Schülern.²³ Es scheint also gerade in Leistungskursen im Ausbildungsabschnitt 12/1 bei einer Reihe von Schülern die Neigung zu bestehen, folgendes für richtig zu halten: Der Spannungsabfall an einer Parallelschaltung bestehend aus zwei identischen Glühlampen ist größer als der an einer gleichen, dazu in Reihe geschalteten Glühlampe.

5.2.12 Testaufgaben 11 und 12

Auch die Aufgaben 11 und 12 beziehen sich auf den in Abbildung 5.26 auf Seite 165 dargestellten Stromkreis (4). Hier wird der bisher geschlossene Schalter S geöffnet. Gefragt ist jeweils, ob und gegebenenfalls wie sich die durch Glühlampe 1 bzw. Glühlampe 2 fließende Stromstärke dabei ändert.²⁴ Betrachtet man zunächst die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen für Aufgabe 11 in Abbildung 5.30 auf Seite 171, so stellt man fest, daß sich die des Leistungskurses deutlich von denen der 10. Klasse unterscheiden. Während sich nämlich über 90 Prozent der Schüler der 10. Klasse im Vortest für die falsche Antwort B entscheiden und nur etwa 5 Prozent für die richtige Antwort C, kreuzen im Leistungskurs „nur“ ca. 45 Prozent B an aber ziemlich genau 50 Prozent C. Wählt man aber Antwort B, so geht man davon aus, daß die Stromstärke durch Glühlampe 1 sich beim Öffnen von Schalter S nicht ändert. Dies ist, wie in Abschnitt 2.3.11 erläutert, sowohl auf die Konstantstromquellenvorstellung als auch auf sequentielles Denken zurückführbar. Wie bereits mehrfach erwähnt, scheint letztere Fehlvorstellung durch den hier durchgeführten Unterricht zumindest in soweit relativiert worden zu sein, daß sie seltener zu Erklärungen herangezogen wird. Dies ist wahrscheinlich ein Hauptgrund dafür, daß immerhin 30 Prozent der Schüler der 10. Klasse im Nachtest die richtige Antwort C wählen. Die Ergebnisse des Leistungskurses unterscheiden sich in Vor- und Nachtest praktisch überhaupt nicht, woraus man schließen muß, daß der Unterricht in dieser Frage beim Leistungskurs nichts bewirkt hat.

Das Ergebnis der 10. Klasse bei Aufgabe 12 ist für die Auswertung relativ uninteressant, da die im Vortest zu 95 Prozent und im Nachtest sogar zu 100 Prozent richtigen Antworten nur schwer zu beurteilen sind. Wie bereits in Ab-

²³siehe hierzu Abbildung 2.20 auf Seite 50

²⁴Die Aufgabentexte der Testaufgaben 11 und 12 finden sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.21 auf Seite 51.

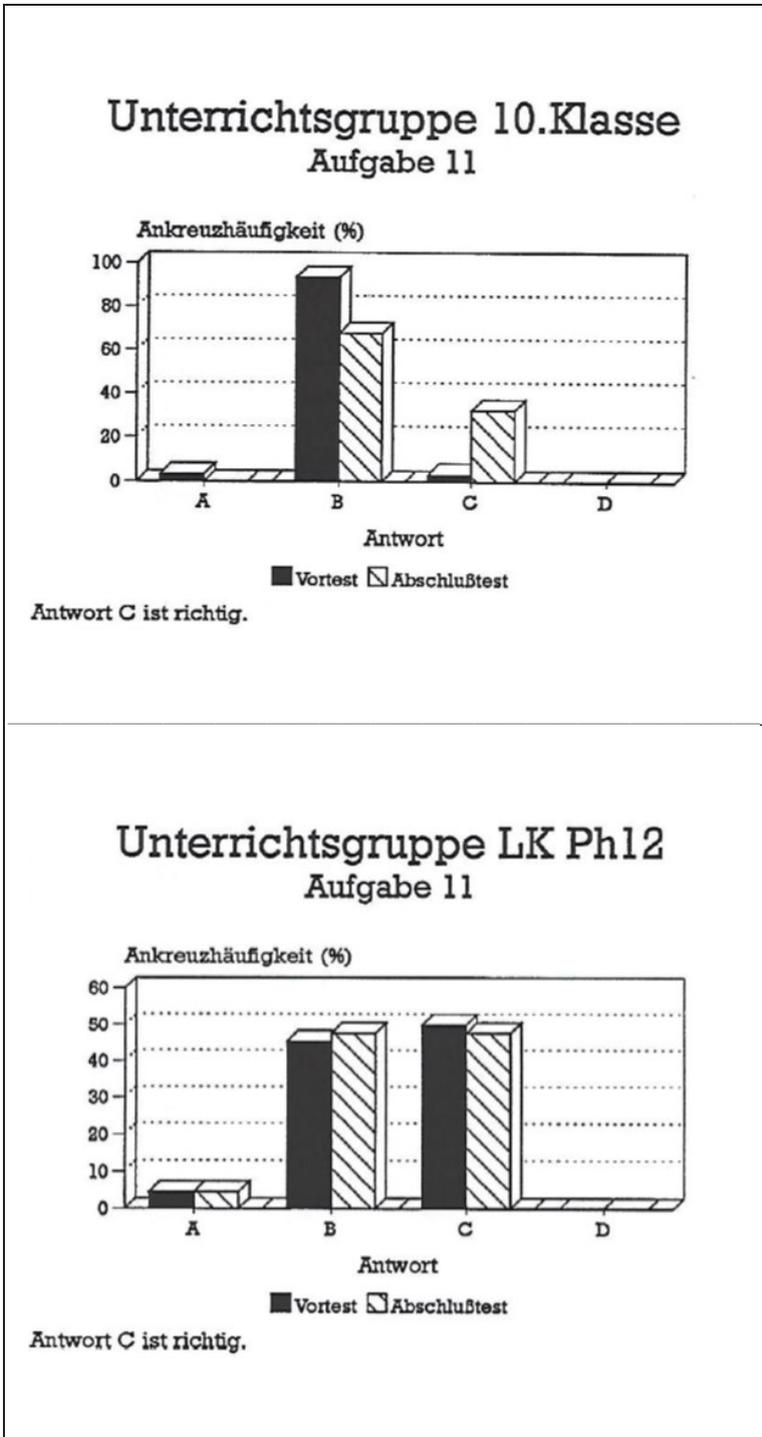


Abbildung 5.30: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 11 des Tests

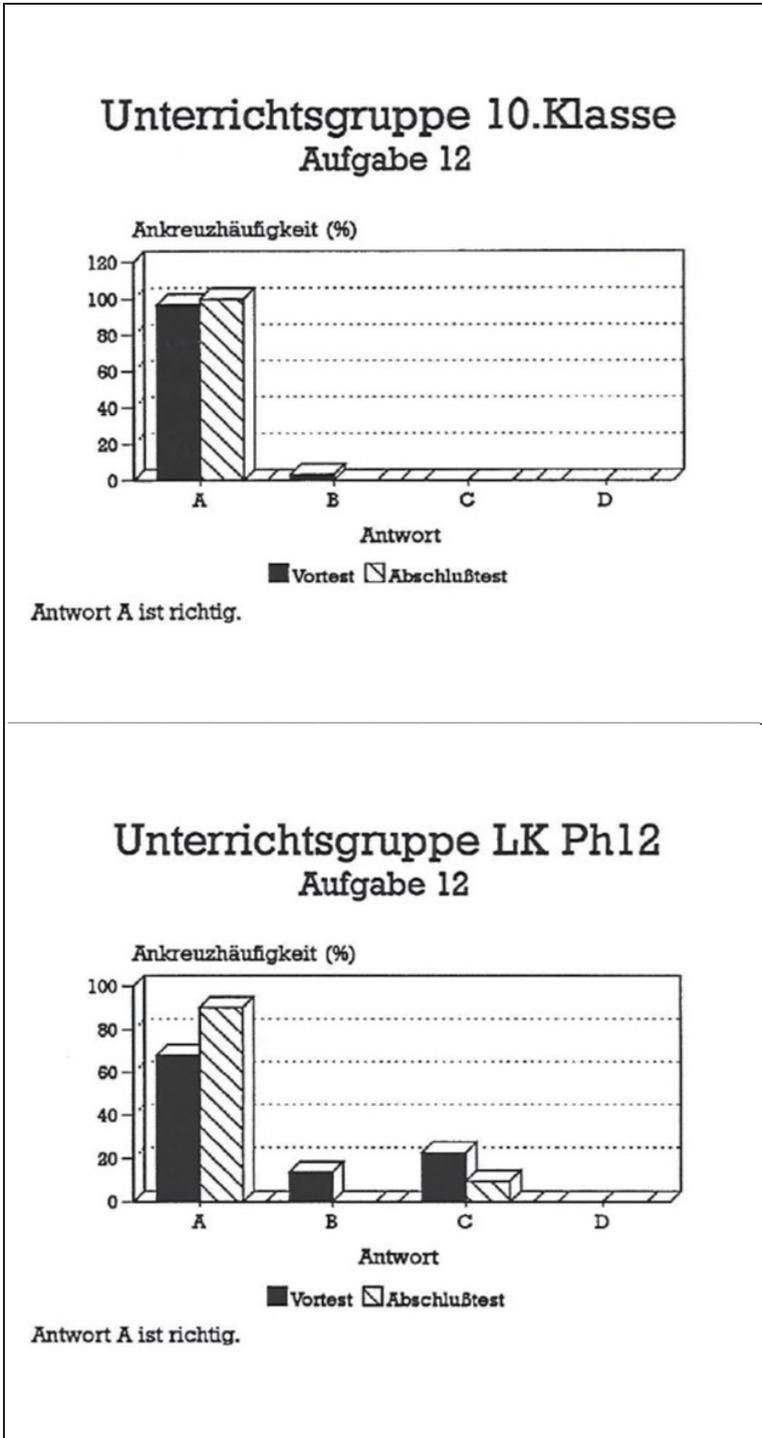


Abbildung 5.31: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 12 des Tests

schnitt 2.3.11 ausgeführt, könnte ihnen zwar ein echtes Verständnis zugrunde liegen, sie sind aber genauso durch eine Reihe von Fehlvorstellungen erklärbar. Ohne Begründungen der Schüler für diese Antwort hat man hier keine Chance, Rückschlüsse irgendeiner Art zu ziehen. Beim Testergebnis des Leistungskurses zu Aufgabe 12 sieht es in dieser Hinsicht etwas besser aus. Zunächst läßt sich erkennen, daß die gut 15 Prozent, die im Vortest Antwort B gewählt haben, und folglich glaubten, daß sich die Stromstärke in Glühbirne 2 nicht ändert, nach dem Unterricht die richtige Antwort angekreuzt haben. Desweiteren haben sich von dem knappen Viertel der Schüler die noch im Vortest der Meinung waren, die Stromstärke würde kleiner, im Nachtest immerhin gut 10 Prozent für die richtige Antwort entschieden. Diesen Schülern scheint durch den Unterricht immerhin deutlich geworden zu sein, daß ihr im Vortest benutztes Konzept nicht tragfähig ist. Mehr läßt sich darüber nicht sagen, aber auch nicht weniger.

5.2.13 Testaufgaben 13 und 14

Die Aufgaben 13 und 14 wurden vom Autor hinzugefügt um festzustellen, inwieweit die Schüler wissen, wie man Meßgeräte in den Stromkreis schaltet.²⁵ Es sollte festgestellt werden, ob hierin eine zusätzliche Schwierigkeit beim Experimentieren mit elektrischen Stromkreisen liegt. Dabei bezieht sich Aufgabe 13 auf die Schaltweise des Amperemeters und Aufgabe 14 auf die des Voltmeters. Betrachtet man die Testergebnisse der Unterrichtsgruppen in den Abbildungen 5.32 bzw. 5.33 auf den Seiten 174 bzw. 175, so stellt man fest, daß die Schüler hier kaum Schwierigkeiten haben und im Nachtest sogar alle richtig antworten. Es läßt sich folglich insbesondere vor dem Hintergrund der restlichen Testergebnisse annehmen, daß dieses positive Ergebnis auf (auswendig-)gelerntem Wissen und in Schülerversuchen angeeigneter Erfahrung und nicht auf einem Verständnis der Meßvorgänge beruht. Erwähnenswert scheint noch die Tatsache zu sein, daß nur im Leistungskurs und hier nur bei Aufgabe 13 (Schaltweise des Amperemeters) im Nachtest immerhin noch knapp 10 Prozent der Schüler eine falsche Antwort geben. Sie sind also trotz ihrer frischen Erfahrung mit der praktischen Strommessung nicht in der Lage, bei vier vorgegebenen Schaltskizzen die für den Einbau eines Amperemeters geeignete Schaltung zu benennen. Sie halten vielmehr alle für falsch.

²⁵Die Aufgabentexte der Testaufgaben 13 und 14 finden sich in Kapitel 2 in Abbildung 2.24 auf Seite 55 bzw. in Abbildung 2.25 auf Seite 56.

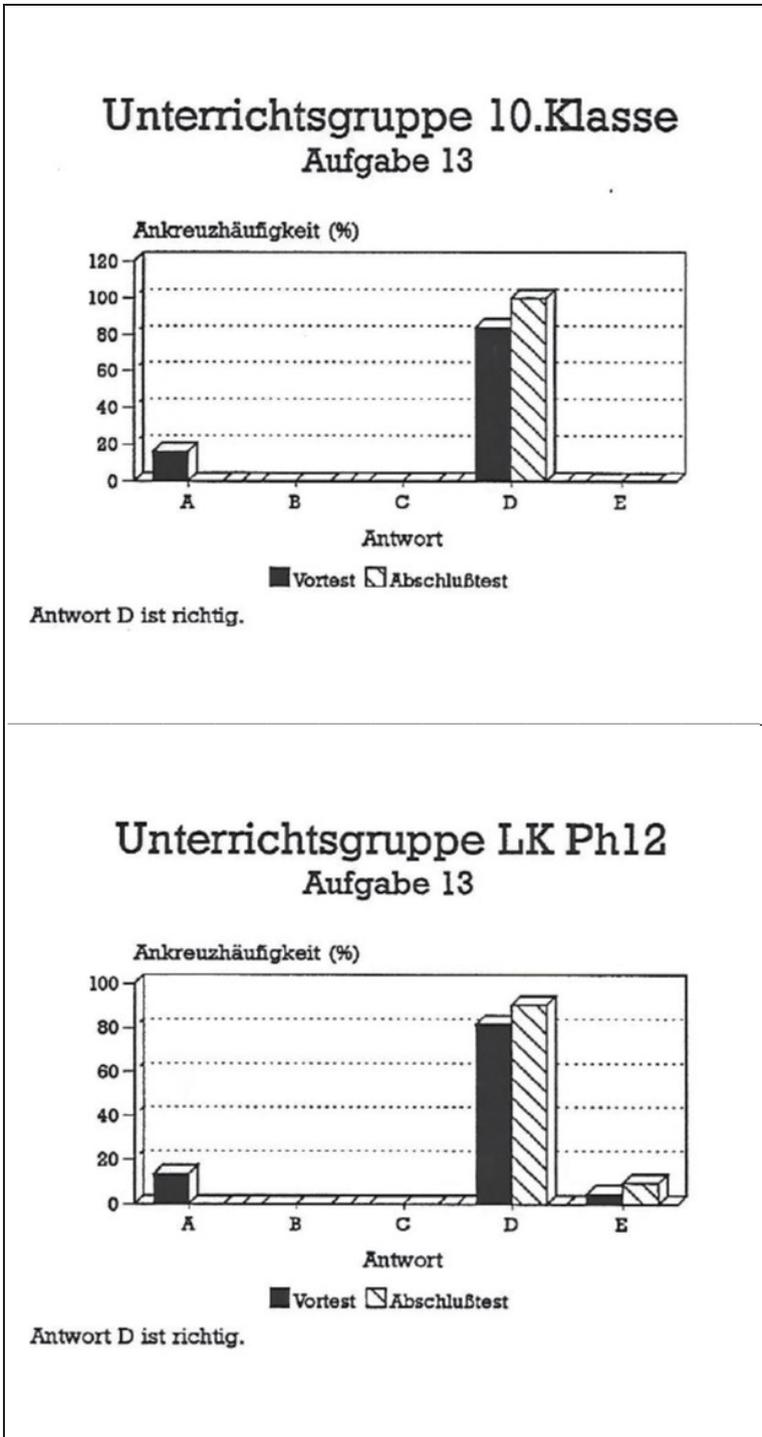


Abbildung 5.32: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 13 des Tests

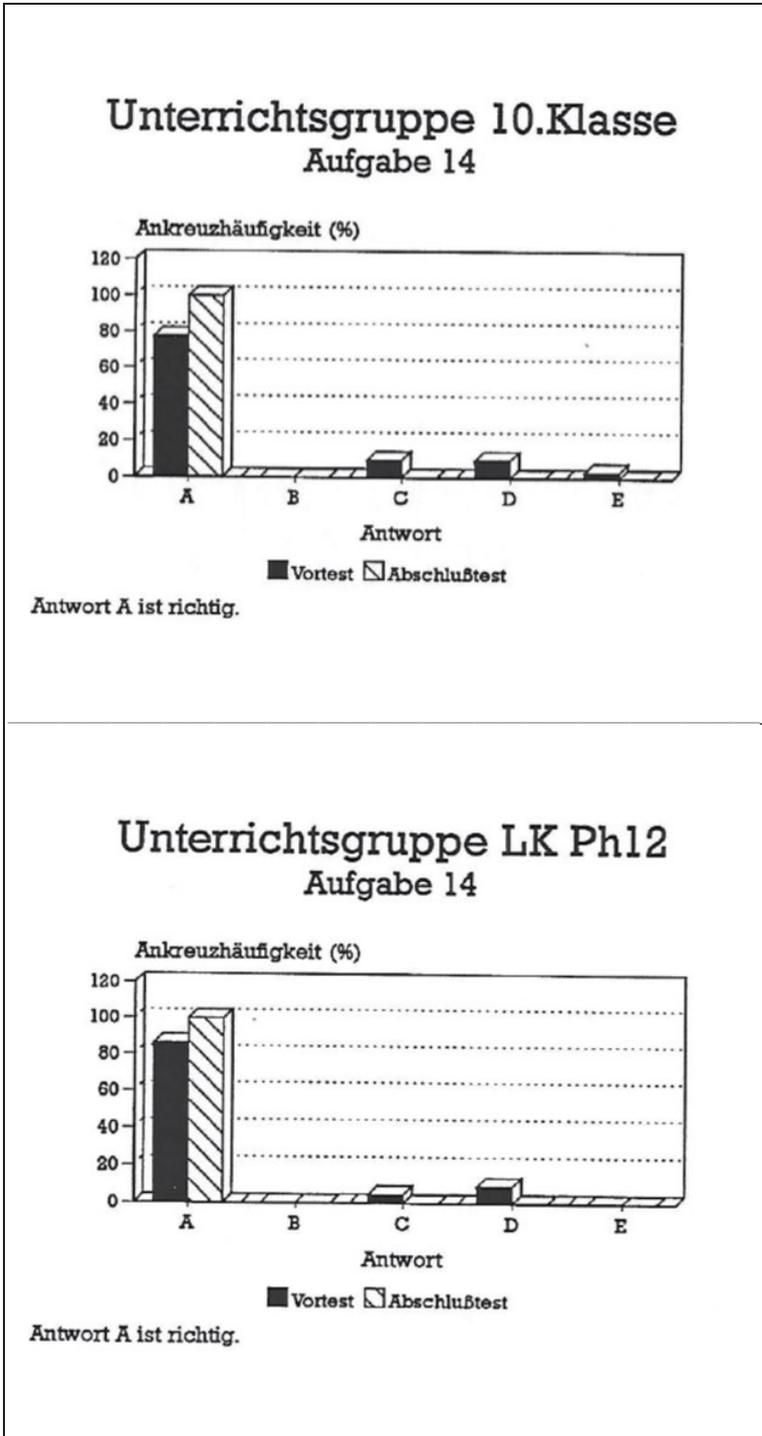


Abbildung 5.33: Das Antwortverhalten der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit bei Aufgabe 14 des Tests

5.2.14 Testergebnisse der Unterrichtsgruppen in Vor- und Nachtest im Überblick und Vergleich

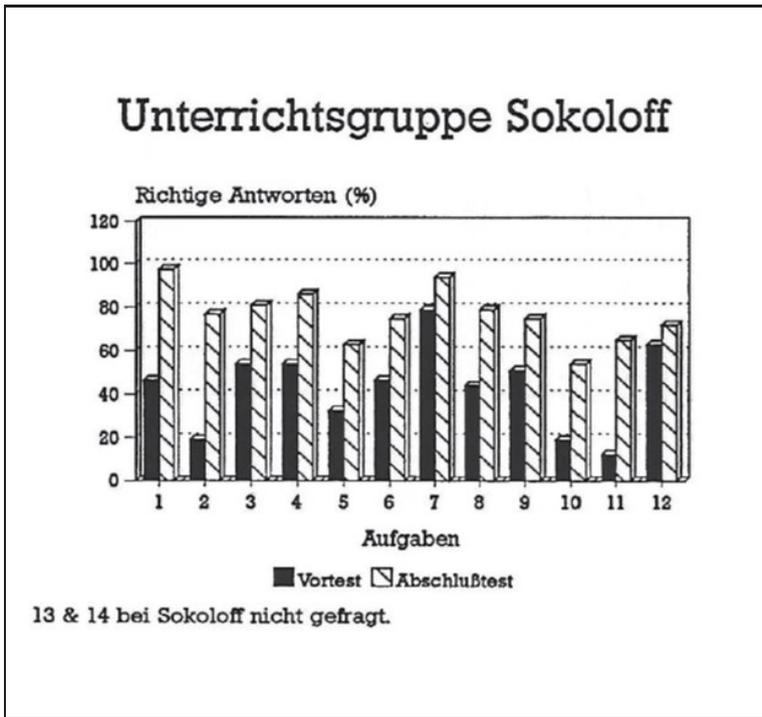


Abbildung 5.34: Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsgruppe bei Sokoloff

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Testergebnisse der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit im Detail dargelegt. Hier soll es einerseits darum gehen, sich noch einmal einen Überblick über sie zu verschaffen und andererseits darum, die „Resultate“ des Unterrichts im Rahmen dieser Arbeit mit denen der Arbeitsgruppe um Sokoloff zu vergleichen. Dazu wird zum einen aus Gründen der Übersicht und zum anderen weil die vergleichbaren Werte von Sokoloff nur in dieser Form vorliegen, jeweils nur die Häufigkeit der richtigen Antwort dargestellt.²⁶ Die Testergebnisse der Unterrichtsgruppe bei Sokoloff²⁷, sind in Abbildung 5.34 auf Seite 176 dargestellt. Ihr ist zu entnehmen, daß der Sokoloffsche Unterricht,

²⁶An dieser Stelle sollte noch einmal festgehalten werden, daß diese Art der Darstellung nur sehr bedingt als Grundlage für Aussagen zum Gesichtspunkt dieser Arbeit, nämlich dem **Verständnis** der Schüler herangezogen werden kann. Man erinnere sich nur an die Einzelauswertungen der Testaufgaben, die des öfteren gezeigt haben, daß durchaus auch Fehlkonzepte zu richtigen Antworten führen können. Da diese Form der Darstellung hier die einzig mögliche ist, muß man dieses Manko aber wohl in Kauf nehmen.

²⁷Diese Ergebnisse wurden aus [Sokoloff 92] übernommen.

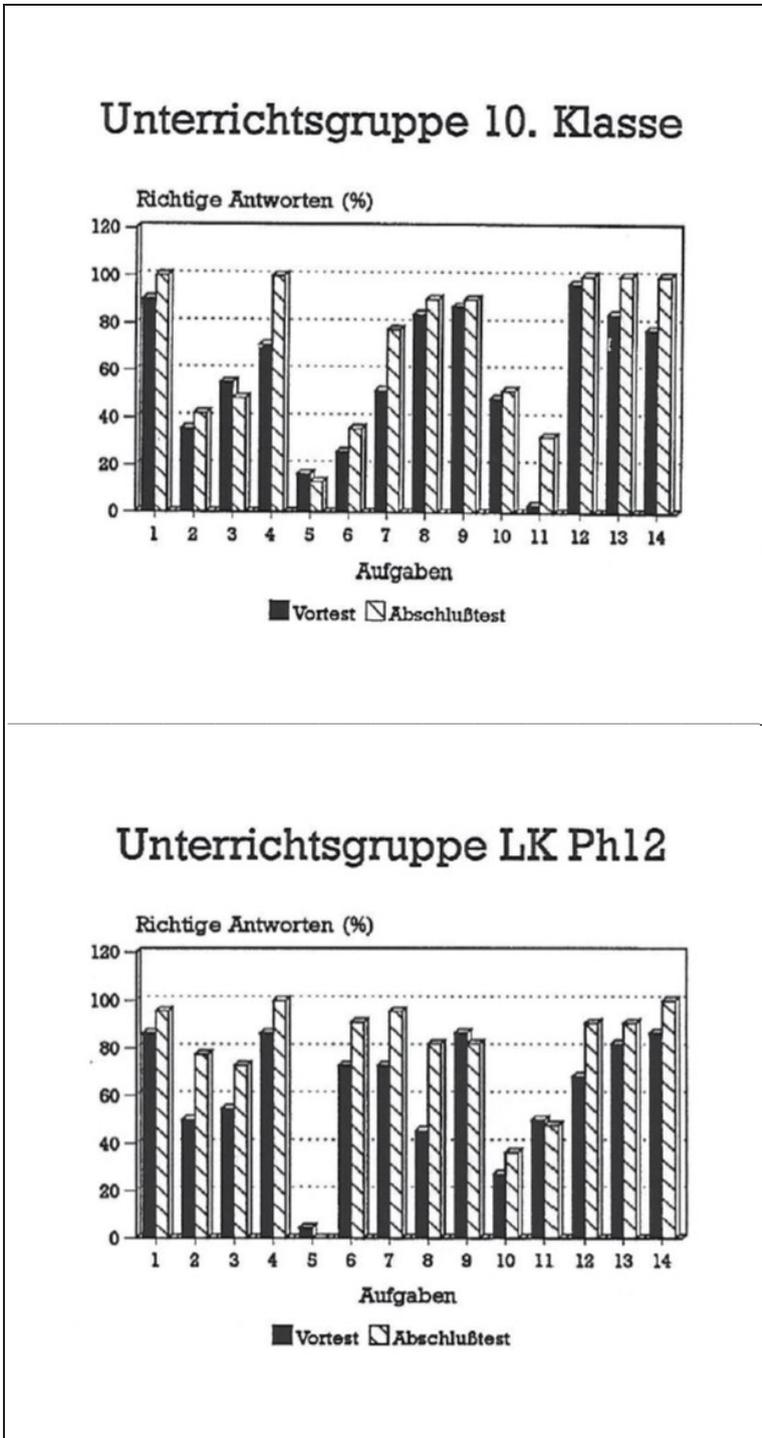


Abbildung 5.35: Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsguppen dieser Arbeit

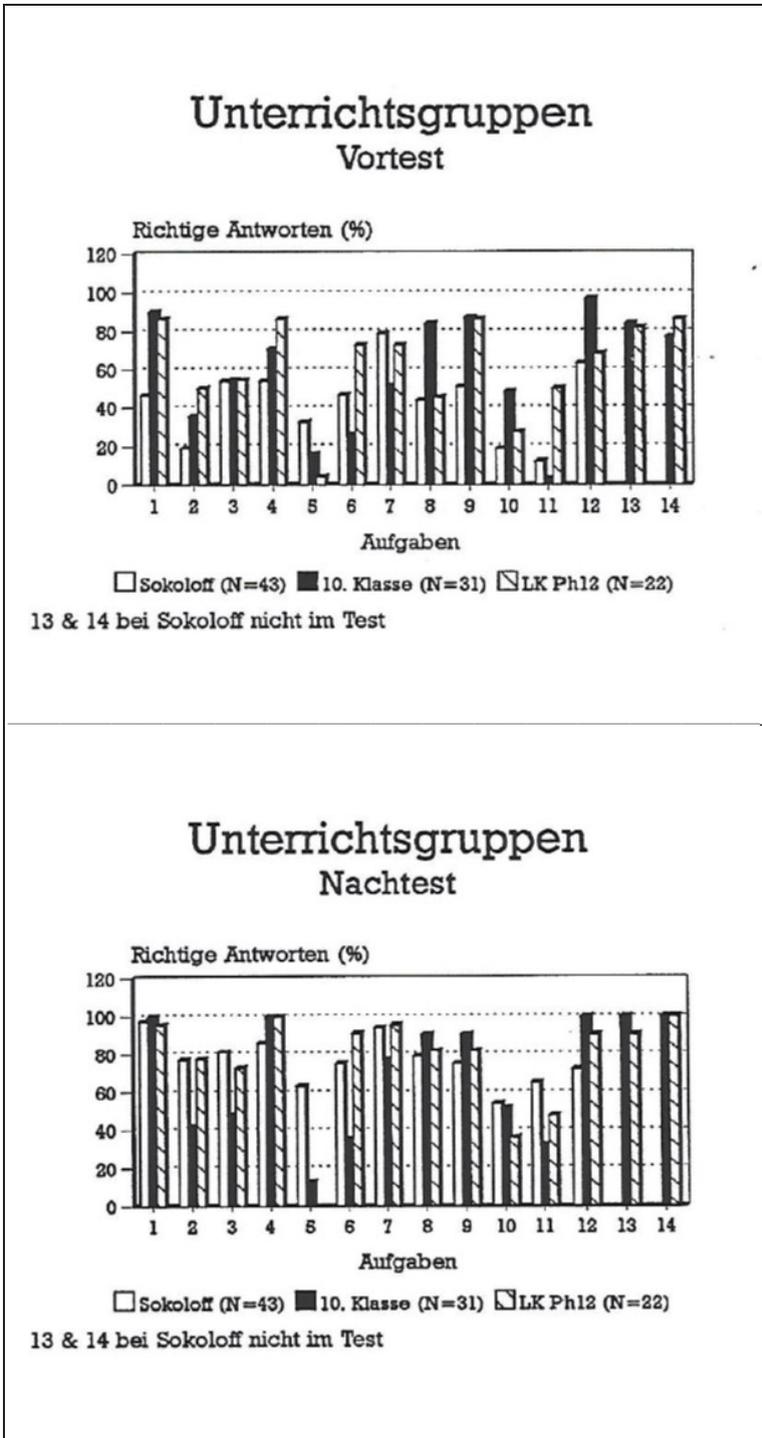


Abbildung 5.36: Überblick über das Antwortverhalten der Unterrichtsgruppen dieser Arbeit und bei Sokoloff in Vor- (oben) und Nachtest (unten)

gemessen an den richtigen Antworten, erfolgreich war. Es haben nämlich bei jeder Testaufgabe im Nachtest zusätzlich zu den richtigen Lösungen des Vortests noch weitere 10 (Aufgabe 12) bis knapp 60 Prozent (Aufgabe 2) der Studenten die jeweils korrekte Antwort gewählt. Wie die Zusammenfassung der Testergebnisse der beiden Unterrichtsgruppen dieser Arbeit in Abbildung 5.35 auf Seite 177 deutlich zeigt, fällt hier die Steigerungsrate für die richtigen Antworten im Durchschnitt etwas geringer aus. Ein Grund hierfür ist wohl die Tatsache, daß die Studenten bei Sokoloff im Vortest ein im Durchschnitt deutlich geringeres „Leistungsniveau“ aufwiesen, als die Schüler dieser Arbeit. Zusätzlich spielt hierbei wahrscheinlich die aufgewendeten Zeit eine nicht unerhebliche Rolle. Während der Unterricht im Rahmen dieser Arbeit sich nämlich ausschließlich auf zwei bis drei Schulstunden beschränkte, war er bei Sokoloff wesentlich umfassender. Dort bestand er aus drei Unterrichtsnachmittagen, die jeweils durch eine häusliche Vor- und Nachbereitung der Studenten ergänzt wurden.²⁸ Vergleicht man nun die Testergebnisse von Vor- bzw. Nachtest der Unterrichtsgruppen dieser Arbeit direkt mit denen der Unterrichtsgruppe bei Sokoloff (wie in Abbildung 5.36 auf Seite 178 geschehen) so stellt man z.B. besonders bei Aufgabe 5 erheblich bessere Resultate der Sokoloffschen Gruppe im Nachtest fest. Dies ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß dort der Unterrichtsteil zum Ohmschen Gesetz erheblich intensiver mit Stütz- und Hilfsfragen versehen war, aber natürlich auch mehr Zeit dafür zur Verfügung stand. Es soll an dieser Stelle nicht jede Aufgabe einzeln in ihren Resultaten verglichen werden. Es läßt sich aber zusammenfassend sagen, daß das erreichte, über alle Fragen gemittelte Niveau aller drei Kurse am Ende des jeweiligen Unterrichts etwa gleich war.

²⁸Die entsprechenden Unterrichtsmaterialien finden sich in [Sokoloff 91].

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit steht unter dem Titel „Vorgänge in Gleichstromkreisen verstehen lernen“. Dabei wurde zunächst analysiert, inwieweit Schüler im herkömmlichen Physikunterricht ein Verständnis entwickeln. Weiterhin wurde ein Unterrichtsversuch vorgestellt, der basierend auf dem Medium Computer, dynamische Pfeildiagrammdarstellungen und Schülerversuche, die Schüler zur selbständigen Erarbeitung eines Verständnisses animieren sollte. Das Ziel, den Unterricht so zu gestalten, daß Schüler ein Verständnis für die Vorgänge in Gleichstromkreisen entwickeln, wurde bisher (auch durch diese Arbeit) nicht erreicht. Es bleibt somit eine Herausforderung für alle Beteiligten. Diese Arbeit ist aber erkennbar ein Schritt in die richtige Richtung. Sie brachte zum einen neue Einblicke in Schüler-schwierigkeiten und auf der anderen Seite einen Unterrichtsansatz, der zumindest in Teilen zu kleinen Erfolgen führt und ausbaufähig ist.

Im folgenden werden die wichtigsten, aus dem Feldtest mit 316 Schülern gewonnenen Erkenntnisse zusammengefaßt:

- Die Fehlvorstellungen mit denen die Schüler in der 10. Klasse, der 11. Klasse und in der Kursphase 12/1 des Physikleistungskurses arbeiten, unterscheiden sich weder in der Qualität noch in der Quantität. Dies ist bisher in dieser Form noch nicht berichtet worden.
- Im Gegensatz zu dem, was man in der einschlägigen Literatur¹ immer wieder lesen kann, haben die hier getesteten Schüler bei einfachsten Stromkreisen praktisch überhaupt nicht mit der Stromverbrauchsvorstellung argumentiert. Diese wird vielmehr erst bei etwas komplexeren Schaltungen eingesetzt.²
- Eine bisher in diesem Ausmaß noch nie beschriebene und auch nicht erwartete Problematik ergab sich beim Vergleich der Gesamtstromstärken der in Abbildung 6.1 auf Seite 181 dargestellten Stromkreise (1) und (2). Hier

¹siehe z.B. [Shipstone 88a]

²siehe Abschnitt 2.3.1.

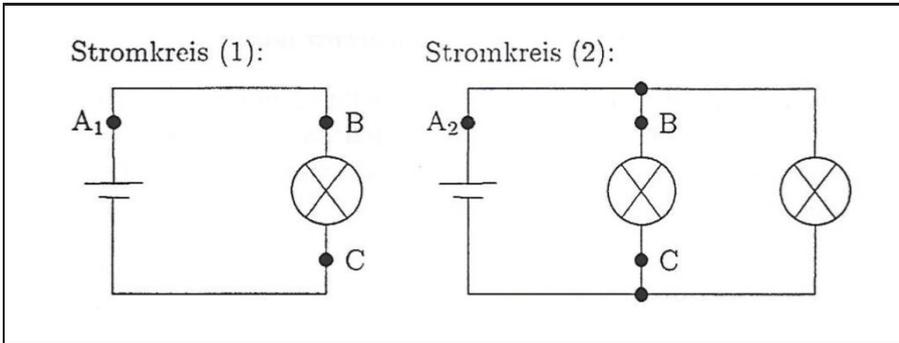


Abbildung 6.1: Schaltskizzen der Stromkreise (1) und (2) des Testbogens

haben nur etwa 16 Prozent der Testschüler die richtige Antwort gegeben, nämlich daß die Gesamtstromstärke in Punkt A_2 des Stromkreises (2) doppelt so groß ist wie in Punkt A_1 des Stromkreises (1). Die Mehrheit (sie liegt in den Leistungskursen sogar bei 73 Prozent!) glaubt vielmehr, daß die Gesamtstromstärke in beiden Stromkreisen exakt gleich groß ist!³

- Die Tatsache, daß eine Glühlampe kein Ohmscher Widerstand ist, ist weder als solche geläufig, geschweige denn ihre Auswirkungen z.B. auf die Stromstärke in einer Reihenschaltung.⁴
- Offenbar neigen gerade in Leistungskursen im Ausbildungsabschnitt 12/1 einige Schülern dazu, folgendes für richtig zu halten: Der Spannungsabfall an einer Parallelschaltung, bestehend aus zwei identischen Glühlampen, ist größer als der an einer gleichen, dazu in Reihe geschalteten Glühlampe.⁵

Nun werden die wichtigsten aus der Beantwortung des Fragebogens gewonnenen Erkenntnisse zusammengestellt:

- Die Pfeildiagrammdarstellung wurde von den Schülern als sehr anschaulich empfunden. Eine Reihe von ihnen glaubt, auf diese Weise neue Erkenntnisse über die Spannungsabfälle im Stromkreis gewonnen zu haben.⁶ Dies hat sich bisher allerdings nur sehr begrenzt auf die Testergebnisse im Nachtest ausgewirkt. Allein die Anschaulichkeit und der subjektive Verständnisgewinn der Schüler lassen es gerechtfertigt erscheinen, die Pfeildiagramme für weiterführende Unterrichtsversuche, auch über einen längeren Zeitraum als

³vgl. Abschnitt 2.3.2.

⁴siehe Abschnitt 2.3.5.

⁵siehe Seite 169

⁶siehe Seite 136f

Unterrichtsgrundlage zu empfehlen. Nur so ließe sich das zweifellos darin vorhandene Potential wirklich erfolgreich nutzen.

- Sowohl während der Schülerversuche als auch bei der Testauswertung und der Durchsicht der Praktikumsprotokolle hat sich gezeigt, daß vorhandene oder fehlende Computererfahrung der Schüler (im Gegensatz zu einem alten Vorurteil) praktisch keine positiven oder negativen Auswirkungen hatte. Voraussetzung dabei ist allerdings ein einfach zu bedienendes Programm, wie es z.B. hier verwendet wurde. Unterschiedliche Erfahrung im Umgang mit Computern hat sich kaum die Zeit ausgewirkt, die zur Einarbeitung in das System benötigt wurde.⁷ Mit Sicherheit kann zudem ausgeschlossen werden, daß sie den „Erfolg“ des Unterrichts beeinflußt hat. Dies läßt sich z.B. an dem knappen Drittel der Schüler belegen, das praktisch keinerlei Erfahrungen mit Computern aufweisen konnte, denn die Resultate im Nachtest weichen in keiner Weise von denen der anderen Schüler ab.

Schließlich werden die wichtigsten Ergebnisse des Nachtests der Unterrichtsgruppen aufgeführt. Sie geben in gewissen Grenzen Auskunft über „Erfolg“, bzw. „Mißerfolg“ des hier durchgeführten Unterrichts.

- Bei Schülern, die die Spannung unabhängig vom Schaltungstyp immer und überall im Stromkreis für gleich groß halten, hat der Unterricht erkennbar nichts bewirkt. Sie antworten nämlich in dieser Beziehung im Vor- und Nachtest völlig analog.⁸ Diese Spannungsvorstellung deutet darauf hin, daß die Schüler die Spannung in keiner Weise als Differenz auffassen. An dieser Stelle müßte wohl in zukünftigen Unterrichtsversuchen explizit gearbeitet werden.
- Die im Schülerversuchsteil des im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Unterrichts gewonnenen, praktischen Erfahrungen scheinen sich positiv auf das Antwortverhalten der Schüler im Nachtest ausgewirkt zu haben. Dies liegt wahrscheinlich unter anderem daran, daß sie ihre Meßergebnisse aufgrund der übersichtlichen grafischen Darstellung überblicken und verstehen konnten. Auf diese Weise war die Konfrontation mit ihren Fehlvorstellungen deutlicher.⁹
- Als Erfolg des Unterrichts ist zu verbuchen, daß die Schüler die im Vortest noch die Spannungskonzepte für Serien- und Parallelschaltung vertauscht haben, dies im Nachtest nicht mehr tun.¹⁰

⁷Die Bedienung des Programms bereitete praktisch keine Probleme (vgl. Seite 143).

⁸siehe Seite 162

⁹siehe Seite 155

¹⁰siehe Seite 161

- Am deutlichsten sind die Auswirkungen des Unterrichts bei der als „lokales Denken“ bezeichneten Fehlvorstellung. Sie kommt zwar im Vortest vor, ist aber im Nachtest völlig verschwunden.¹¹ Dies läßt sich auch deshalb so gut belegen, weil alle Testantworten, die in der Faktoranalyse (siehe Tabelle 2.2 auf Seite 59) dem Faktor 2 zugeordnet wurden, also auf „lokales Denken“ zurückzuführen sind, im Nachtest von keinem der Schüler mehr angekreuzt wurden. Gerade auf diesem Gebiet führt der Unterricht also zum Erfolg.

Vor dem Hintergrund der hier gesammelten Erfahrungen scheint es angebracht zu sein, mit den Elementen des im Rahmen dieser Arbeit gehaltenen Unterrichts weitergehende Untersuchungen durchzuführen, die sich über mehrere Unterrichtseinheiten erstrecken sollten. Sie scheinen durchaus Aussicht auf Erfolg zu haben. Allerdings stellt sich die Frage, ob man, wie hier geschehen, fast ausschließlich auf die kognitive Einbeziehung der Schüler in den Unterricht bauen sollte. Es ist in der Tat zu bedenken, inwieweit man für einige Schüler mehr auf intuitive Bilder setzen sollte. Vielleicht wären durch ein besseres Gleichgewicht der anschaulich-intuitiven Ebene und der kognitiven Ebene im Unterricht bessere Ergebnisse zu erzielen. Zusätzlich wäre zu überlegen, ob man nicht einige wesentliche Punkte, die sich hier als schwierig erwiesen haben, direkt anspricht, statt sie ausschließlich von den Schülern selbst erarbeiten zu lassen.¹² Dies macht die Notwendigkeit deutlich, daß jeder Lehrer regelmäßig das bisher in seinem Unterricht von den Schülern erreichte Verständnis (nicht Wissen) überprüfen sollte. Nur so kann man adäquat auf noch vorhandene Problemschwerpunkte eingehen. Gerade zu diesem Zweck eignet sich der hier verwendete Test recht gut.

Abschließend läßt sich festhalten, daß diese Arbeit durchaus ein Etappenziel erreicht hat, die Herausforderung, die die Entwicklung eines echten Verständnisses der Vorgänge in Gleichstromkreisen an Schüler und ihre Lehrer stellt, aber unvermindert bestehen bleibt.

¹¹vgl. z.B. Seite 164

¹²In diesem Fall wäre es z.B. günstig, die Tatsache explizit zu behandeln, daß es sich bei der Spannung um eine Differenz handelt. Im Hinblick auf das unerwartet schlechte Ergebnis von Testaufgabe 2 könnte man z.B. intensiv darauf eingehen, daß man bei einer Parallelschaltung die Summe der Teilstromstärken betrachten muß, um die Gesamtstromstärke zu erhalten.

Anhang A

Quelltexte der im Unterricht eingesetzten Computerprogramme

A.1 Das Programm „E-Kette-Pot“

```
0010 USE PAKMA
0020 USE PAKMES
0030 DIM u_n(9), u_nalt(9), du_n(9)
0040 name("E-Kette-Pot")
0050
0060
0070 //***** KERNPROGRAMM *****
0080
0090
0100 PROC kern
0110
0120 //***** Definition der Variablen *****
0130
0140 dt:=0.1 //.....Zeit (in Sek.) zw. 2 Messungen
0150 t:=0 //.....Absolutwert der Laufzeit (in Sek.)
0160 s_y:=1.5*13/7 //..Vertikale Ausdehnung der Schaltskizze
0170 r:=1 //.....Wert (in kOhm) eines einzelnen
0180 //.....Widerstandes im Grundstromkreis
0190 n_max:=8 //.....Anzahl der benutzten Eingangskanäle
0200 FOR t:=1 TO n_max DO
0210     u_nalt(t):=0 //.....Alter Wert der zwischen dem
0220     //.....Meßpunkt t und der Referenz
0230     //.....anliegenden Spannung.....
0240 ENDFOR t
0250 t_alt$:="" //.....Zuletzt vom Benutzer gedrückte Taste
0260 t$:="" //.....Aktuell vom Benutzer gedrückte Taste
0270
0280 //*****
0290
0300
```

```

0310      //***** Vorbereitung (Skalierung) der Grafiken *****
0320
0330      grafik("b")
0340      skaliere_grafen("1,3,5,7:nr,ur")
0350      skaliere_grafen("2,4,6,8,10,12:ni,i")
0360      skaliere_pfeile("4,12:ik")
0370      pfeil_länge(4,20,2)
0380      pfeil_länge(3,20,2)
0390      pfeil_länge(12,20,2)
0400      graf_farbe(12,1)
0410
0420      //*****
0430
0440
0450      //***** Vorbereitung der Messung *****
0460
0470      u_meter //.....Computer wird als Voltmeter benutzt
0480      vorb(1) //.....Ablagedatei für die Meßwerte
0490      h_aufl //.....Hochauflösende Messung
0500      def_mb(5,1) //.....Definition des Meßbereichs 0 bis 5V
0510      m_bereich(5,0) //.....Auswahl des 5V-Meßbereichs
0520      //.....für alle Kanäle.....
0530      s_folg("i",0.5) //.....Festlegung der Meßweise
0540
0550      //*****
0560
0570
0580      //***** Eigentliche Programmschleife *****
0590
0600      REPEAT
0610
0620          //***** Bei Bedarf können hiermit die *****
0630          //***** Befehlstasten in die Grafik *****
0640          //***** eingeblendet werden *****
0650
0660          // signal("/i//u//b//ESC/",4)
0670
0680          //*****
0690
0700

```

```

0710      //***** Neudefinition der Variablen *****
0720
0730      t:=t+dt
0740      na%:=0 //.....Parallelzweig von Meßpunkt
0750      ne%:=0 //.....na% bis Meßpunkt ne% .....
0760      mes_p(n_max) //.....Anzahl der parallelen Meßkanäle
0770      ab$:=key$ //....Abfrage: Welche Taste wurde gedrückt?
0780      IF ab$<>" " THEN t$:=ab$
0790      FOR j:=1 TO n_max DO
0800          u_n(j):=mes_wp(j) //.....Auf Kanal j gemessenes
0810              //.....Potential.....
0820      ENDFOR j
0830      u_n(7):=u_n(7)-0.0375
0840      u_n(8):=u_n(8)-0.0375
0850      FOR t:=1 TO n_max DO
0860          du_n(t):=u_n(t)-u_n(t+1)
0870      ENDFOR t
0880      sum_dif:=abs(u_n(n_max-1)-u_nalt(n_max-1))
0890
0900      //*****
0910
0920
0930      //***** Grafikausgabe *****
0940
0950      IF sum_dif>0.05 OR t$<>t_alt$ THEN
0960
0970          lösch_fenster(0)
0980
0990          //***** Ausgabe der Schaltskizze *****
1000
1010          IF t$<>"o" THEN
1020              kette //.....Prozedur
1030              animation(1)
1040              verzweigung //.....Prozedur
1050          ENDIF
1060
1070          //*****
1080
1090

```

```

1100      //***** Ausgabe des Pfeildiagramms *****
1110      //*****      für die Stromstärke      *****
1120
1130      IF t$="i" OR t$="b" THEN
1140
1150
1160          //***** Zeichnen der Leitungen des *****
1170          //***** angedeuteten Stromkreises *****
1180
1190          punkt(2,(1)*r,-2.5)
1200          linie(2,(n_max+1+1)*r,-2.5)
1210          strecke(2,(n_max+1)*r,-2.5-1.5,
1220                  (n_max+1+1)*r,-2.5)
1230          strecke(2,0*r,-2.5-1.5,(3/7)*r,-2.5-1.5*4/7)
1240          strecke(2,(4/7)*r,-2.5-1.5*3/7,(1)*r,-2.5)
1250          strecke(2,0*r,-2.5-1.5,(n_max+1)*r,-2.5-1.5)
1260
1270          //*****
1280
1290          //***** Einzeichnen der Spannungsquelle *****
1300
1310          IF u_n(1)>0 THEN
1320              strecke(12,(-0.375+4/7)*r,-2.5-1.5*3/7,
1330                      (0.37+4/7)*r,-2.5-1.5*3/7)
1340              strecke(12,(-0.1875+3/7)*r,-2.5-1.5*4/7,
1350                      (0.64057)*r,-2.5-1.5*4/7)
1360          ELSE
1370              strecke(12,(-0.1875+4/7)*r,-3.1428571,
1380                      (0.212+4/7)*r,-2.5-1.5*3/7)
1390              strecke(12,(-0.375+3/7)*r,-2.5-1.5*4/7,
1400                      (0.37+3/7)*r,-2.5-1.5*4/7)
1410          ENDIF
1420
1430          //*****

```

```

1420      //***** Definition der Stromstärken und *****
1430      //***** Ausgabe der Stromstärkepfeile *****
1440
1450      FOR t:=1 TO n_max DO
1460          IF t<7 THEN
1470              IF abs(u_n(t+1))<0.05 THEN
1480                  ir:=0
1490              ELSE
1500                  IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
1510                      ir:=0
1520                  ELSE
1530                      ir:=-((u_n(t)-u_n(t+1))/r)
1540                  ENDIF
1550              ENDIF
1560          ELSE
1570              IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
1580                  ir:=0
1590              ELSE
1600                  ir:=-((u_n(t)-u_n(t+1))/r)
1610              ENDIF
1620          ENDIF
1630          anf_pkt(4, (t+1.25)*r, -2.5)
1640          IF ir<>0 THEN
1650              IF u_n(1)<0 THEN
1660                  breit_pfeil(4, -1, 0, ir)
1670              ELSE
1680                  breit_pfeil(4, 1, 0, ir)
1690              ENDIF
1700              strecke(2, (n_max+1)*r, -2.5,
1710                      (n_max+1+1)*r, -2.5)
1720          ELSE
1730              strecke(2, 0*r, -2.5-1.5, (n_max+1)*r, -2.5-1.5)
1740              strecke(2, (n_max+1)*r, -2.5,
1750                      (n_max+1+1)*r, -2.5)
1760          ENDIF
1770
1780      //*****
1790      ergänzung //.....Prozedur
1800
1810
1820      ENDFOR t
1830      ENDIF
1840
1850      //*****
1860
1870
1880

```

```

1890      //***** Ausgabe des Potentialfelddiagramms *****
1900
1910      IF t$="u" OR t$="b" OR t$="g" OR t$="o" THEN
1920
1930
1940          //*** Einzeichnen der Potentiallinie (Gerade) **
1950          //*** über den sieben Widerständen des . **
1960          //*** "Grundstromkreises" als (Hilfs- bzw.) **
1970          //*** Vergleichslinie **
1980
1990      IF t$="g" THEN
2000          punkt(5,1.75,u_n(1)+s_y)
2010          linie(5,(n_max-1+1.75)*r,s_y)
2020      ENDIF
2030
2040          //*****
2050
2060
2070      FOR t:=1 TO n_max DO
2080
2090
2100          //***** Einzeichnen der Potentialfeile *****
2110
2120          anf_pkt(1,(t+0.75)*r,s_y)
2130          d_vektor(1,0,u_n(t))
2140
2150          //*****
2160
2170
2180          //***** Einzeichnen der angedeuteten *****
2190          //***** Schaltskizze *****
2200
2210          farbe(2)
2220          strecke(1,0*r,0,(3/7)*r,s_y*3/7)
2230          farbe(2)
2240          strecke(1,(4/7)*r,s_y*4/7,1*r,s_y)
2250
2260

```

```

2270          //***** Einzeichnen der Spannungsquelle *****
2280
2290          IF u_n(1)>0 THEN
2300              strecke(1, (3/7-0.1875)*r, s_y*3/7,
2310                  (3/7+0.1875)*r, s_y*3/7)
2320              strecke(1, (4/7-0.375)*r, s_y*4/7,
2330                  (4/7+0.37)*r, s_y*4/7)
2340          ELSE
2350              strecke(1, (3/7-0.375)*r, s_y*3/7,
2360                  (3/7+0.37)*r, s_y*3/7)
2370              strecke(1, (0.383929)*r, s_y*4/7,
2380                  (4/7+0.1875)*r, s_y*4/7)
2390          ENDIF
2400          //*****
2410          farbe(2)
2420          strecke(1, 1, s_y, (n_max+2)*r, s_y)
2430          farbe(2)
2440          strecke(1, (n_max+1)*r, 0, (n_max+2)*r, s_y)
2450          farbe(2)
2460          strecke(1, 0, 0, (n_max+1)*r, 0)
2470          //*****
2480
2490          ENDFOR t
2500
2510          //***** Einzeichnen der Potentiallinie *****
2520
2530          strecke(7, 1*r, u_n(1)+s_y, 1.75*r, u_n(1)+s_y)
2540          strecke(7, 4/7*r, u_n(1)+s_y*4/7, 1*r, u_n(1)+s_y)
2550          strecke(7, 3/7*r, s_y*3/7, 4/7*r, u_n(1)+s_y*4/7)
2560          strecke(7, 0*r, 0, 3/7*r, s_y*3/7)
2570
2580          //***** Einzeichnen der (gestrichelten) *****
2590          //***** Hilfslinien zur räumlichen *****
2600          //***** Darstellung der Potentiallinie *****
2610
2620          anf_pkt(7, 4/7*r, s_y*4/7)
2630          fluchtlinie(7, 0, u_n(1))
2640          anf_pkt(7, 1*r, s_y)
2650          fluchtlinie(7, 0, u_n(1))
2660          anf_pkt(7, (n_max+2)*r, s_y)
2670          fluchtlinie(7, 0, u_n(8))
2680          anf_pkt(7, (n_max+1)*r, 0)
2690          fluchtlinie(7, 0, u_n(8))
2700          anf_pkt(7, 5*r, 0)
2710          fluchtlinie(7, 0, u_n(8))
2720
2730          //*****

```

```

2770
2780
2790     IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
2800         strecke(7,0*r,0,4*r,0)
2810         strecke(7,5*r,u_n(8),(n_max+1)*r,u_n(8))
2820         strecke(7,(n_max+1)*r,u_n(8),
                (n_max+2)*r,s_y+u_n(8))
2830         strecke(7,8.75*r,s_y+u_n(8),10*r,s_y+u_n(8))
2840         punkt(7,1.75,u_n(1)+s_y)
2850         FOR t:=1 TO (n_max-1) DO
2860             linie(7,(t+1.75)*r,u_n(t+1)+s_y)
2870         ENDFOR t
2880     ELSE
2890         strecke(7,0*r,0,(n_max+1)*r,0)
2900         strecke(7,(n_max+1)*r,0,(n_max+2)*r,s_y)
2910         strecke(7,(n_max+1.25)*r,s_y,(n_max+2)*r,s_y)
2920         punkt(7,1.75,u_n(1)+s_y)
2930         FOR t:=1 TO n_max DO
2940             linie(7,(t+1.75)*r,u_n(t+1)+s_y)
2950         ENDFOR t
2960     ENDIF
2970
2980     //*****
2990
3000     ENDIF
3010
3020     //***** Ende Spannungsausgabe *****
3030
3040     FOR t:=1 TO n_max DO u_nalt(t):=u_n(t)
3050     animation(0)
3060
3070     ENDIF
3080
3090     //***** Ende Grafikausgabe *****
3100
3110     t_alt$:=t$
3120
3130     UNTIL t$="q" OR t$=chr$(27)
3140
3150     //***** Ende Programmschleife *****
3160
3170 ENDPROC kern
3180
3190 //***** Ende Kernprogramm *****
3200
3210
3220

```

```

3230 //*****
3240 //***** Prozeduren *****
3250 //*****
3260
3270
3280 //***** Erzeugung des Parallelzweiges *****
3290 //***** in der Schaltskizze *****
3300
3310 PROC verzweigung
3320
3330
3340 //***** Feststellung von Beginn und Ende *****
3350 //***** des Parallelzweiges *****
3360
3370 FOR n%:=1 TO n_max DO
3380     IF abs(du_n(n%)-du_n(n%+1))>0.05 THEN
3390         IF na%=0 THEN na%:=n%+1
3400         IF n%>na%-1 AND ne%=0 THEN ne%:=n%+1
3410     ENDIF
3420 ENDFOR n%
3430 IF abs(u_n(1))<0.5 THEN
3440     i_ver:=0.005
3450 ELSE
3460     i_ver:=(abs(du_n(na%-1))-abs(du_n(na%)))/r
3470 ENDIF
3480 IF i_ver<0 THEN ne%:=1
3490 IF i_ver>0 AND ne%=0 THEN ne%:=9
3500
3510 //*****
3520
3530
3540 //***** Zeichnen des Parallelzweiges *****
3550
3560 IF na%<8 THEN
3570     IF (u_n(8))<0.5 THEN
3580         IF abs(u_n(1))>0.5 AND abs(u_n(2))>0.5
3590             AND abs(u_n(3))>0.5 THEN
3600             IF abs(u_n(4))>0.5 AND abs(u_n(5))>0.5
3610                 AND abs(u_n(6))>0.5 THEN
3620                 IF abs(u_n(7))>0.5 THEN
3630                     anf_pkt(6,(na%-1+2+0.05-0.25)*r,0.2)
3640                     linie(6,(na%-1+1.75+0.05-0.6)*r,-0.6)
3650                     linie(6,(ne%-1+1.75+0.05-0.6)*r,-0.6)
3660                     linie(6,(ne%-1+1.75+0.05)*r,0.2)
3670                     anf_pkt(6,(na%+ne%)/2-1+2+0.05-0.6-0.25,-0.8)
3680                     balken(6,0.6,0.4)
3690                 ENDIF
3700             ENDIF
3710         ENDIF
3720     ENDIF
3730 //*****

```

```

3740
3750 ENDPROC verzweigung
3760
3770 //*****
3780
3790
3800
3810
3820 //***** Erzeugung des Parallelzweiges im *****
3830 //***** Stromstärkefelddiagramm *****
3840
3850 PROC ergänzung
3860 IF abs(u_n(8))>0.5 THEN i_ver:=0
3870 IF na%<8 THEN
3880 IF abs(u_n(1))>0.5 AND abs(u_n(2))>0.5
AND abs(u_n(3))>0.5 THEN
3890 IF abs(u_n(4))>0.5 AND abs(u_n(5))>0.5
AND abs(u_n(6))>0.5 THEN
3900 IF abs(u_n(7))>0.5 THEN
3910 farbe(5)
3920 anf_pkt(12,((na%+ne%)/2-1+2+0.05-0.6-0.25)*r,-3.4)
3930 PRINT (i_ver)
3940 IF u_n(1)<-0.5 THEN
3950 farbe(5)
3960 breit_pfeil(12,-1,0,abs(i_ver))
3970 ELSE
3980 farbe(5)
3990 breit_pfeil(12,1,0,abs(i_ver))
4000 ENDIF
4010 IF u_n(8)<0.5 THEN
4020 farbe(5)
4030 anf_pkt(12,(na%-1+2+0.05-0.25)*r,-2.5)
4040 farbe(5)
4050 linie(12,(na%-1+1.75+0.05-0.6)*r,-3.4)
4060 farbe(5)
4070 linie(12,(ne%-1+1.75+0.05-0.6)*r,-3.4)
4080 farbe(5)
4090 linie(12,(ne%-1+1.75+0.05)*r,-2.5)
4100 ENDIF
4110 ENDIF
4120 ENDIF
4130 ENDIF
4140 ENDIF
4150 ENDPROC ergänzung
4160
4170 //*****
4180
4190
4200
4210

```

```

4220 //***** Erzeugung der Schaltskizze *****
4230
4240 PROC kette
4250
4260 //***** Zeichnen der Leitungen *****
4270
4280 punkt(2,1*r,0.2)
4290 linie(2,(n_max+2)*r,0.2)
4300 strecke(2,(0)*r,-1.3,(n_max+1)*r,-1.3)
4310 strecke(2,(n_max+1)*r,-1.3,(n_max+2)*r,0.2)
4320 strecke(2,(0)*r,-1.3,(1-4/7)*r,0.2-1.5*4/7)
4330 strecke(2,(1-3/7)*r,0.2-1.5*3/7,(1)*r,0.2)
4340
4350 //*****
4360
4370
4380 //***** Einzeichnen der Spannungsquelle *****
4390
4400 IF u_n(1)>0 THEN
4410     strecke(12,(0.625-3/7)*r,0.2-1.5*3/7,
4420             (1.37-3/7)*r,0.2-1.5*3/7)
4430     strecke(12,(0.8125-4/7)*r,0.2-1.5*4/7,
4440             (1.1875-4/7)*r,0.2-1.5*4/7)
4450 ELSE
4460     strecke(12,(0.8125-3/7)*r,-0.44285,
4470             (1.1875-3/7)*r,0.2-1.5*3/7)
4480     strecke(12,(0.625-4/7)*r,0.2-1.5*4/7,
4490             (1.37-4/7)*r,0.2-1.5*4/7)
4500 ENDIF
4510 //*****
4520
4530 //***** Einzeichnen der Widerstandsbalken *****
4540
4550 FOR t:=1 TO n_max-2 DO
4560     IF abs(u_n(t+1))>0.5 THEN
4570         anf_pkt(10,t+1.25,0)
4580         balken(10,0.6,0.4)
4590     ELSE
4600         IF abs(u_n(t))<0.5 THEN
4610             anf_pkt(10,t+1.25,0)
4620             balken(10,0.6,0.4)
4630         ENDIF
4640     ENDIF
4650 ENDFOR t
4660 anf_pkt(10,n_max-1+1.25,0)
4670 balken(10,0.6,0.4)
4680
4690 //*****

```

```

4700 //***** Einzeichnen der Meßpunkte *****
4710
4720 FOR m:=1 TO n_max DO
4730     markel(2,m+0.75,0.2)
4740 ENDFOR m
4750 markel(6,1.5/7,0.2-1.5*5.5/7)
4760
4770 //*****
4780
4790 ENDPROC kette
4800
4810 //*****

```

A.2 Das Programm „E-Kette-U“

```

0010 USE PAKMA
0020 USE PAKMES
0030 DIM u_n(9), u_nalt(9), du_n(9)
0040 name("E-Kette-U")
0050
0060
0070 //*****
0080 //***** Dieses Programm und das Programm *****
0090 //***** E-KettePot sind in wesentlichen *****
0100 //***** Teilen identisch. Letzteres wurde *****
0110 //***** bereits ausführlich kommentiert. *****
0120 //***** Deshalb werden hier nur noch die *****
0130 //***** davon abweichenden Programmteile *****
0140 //***** kommentiert. Da das Umpolen der *****
0150 //***** Spannungsquelle hier nicht *****
0160 //***** vorgesehen ist, wurde bei den *****
0170 //***** Ausgaben des "Batteriesymbols" *****
0180 //***** generell auf eine Fallunterscheid- *****
0190 //***** ung verzichtet. Alle sonstigen *****
0200 //***** Änderungen beschränken sich auf *****
0210 //***** die Ausgabe des Pfeildiagramms *****
0220 //***** für die Spannungen und werden *****
0230 //***** dort kommentiert. *****
0240 //*****

```

```

0250
0260
0270 PROC kern
0280   dt:=0.1; mt:=30; t:=0; s_y:=1.5*13/7
0290   n_max:=8; r:=1 // kOhm
0300   FOR t:=1 TO n_max DO u_nalt(t):=0
0310   t$:=""; t_alt$:="" // alte Taste
0320
0330   grafik("b")
0340   skalriere_grafen("1,3,5,7:nr,ur")
0350   skalriere_grafen("2,4,6,8,10,12:ni,i")
0360   skalriere_pfeile("4,12:ik")
0370   pfeil_lEnge(4,20,2)
0380   pfeil_lEnge(3,20,2)
0390   pfeil_lEnge(12,20,2)
0400   graf_farbe(12,1)
0410
0420   u_meter
0430   vorb(1)
0440   h_auf1
0450   def_mb(5,1)
0460   m_bereich(5,0)
0470   s_folg("i",0.5)
0480
0490   REPEAT
0500     // signal("/l://u://b://ESC/".4)
0510     t:=-t+dt
0520     sum_dif:=0; na%:=0; ne%:=0
0530     mes_p(n_max)
0540     ab$:=key$ // abfrage
0550     IF ab$(<)" THEN t$:=ab$
0560     FOR t:=1 TO n_max DO u_n(t):=mes_wp(t)
0570     u_n(7):=u_n(7)-0.0375
0580     u_n(8):=u_n(8)-0.0375
0590     FOR t:=1 TO n_max DO
0600       du_n(t):=u_n(t)-u_n(t+1)
0610     ENDFOR t
0620     sum_dif:=abs(u_n(n_max-1)-u_nalt(n_max-1))
0630
0640     IF sum_dif>0.05 OR t$(<)t_alt$ THEN
0650       löschr_fenster(0)
0660       IF t$(<)"o" THEN
0670         kette
0680         animation(1)
0690         verzweigung
0700       ENDIF

```

```

0720     IF t$="i" OR t$="b" THEN
0730         punkt(2, (1)*r, -2.5)
0740         linie(2, (n_max+1+1)*r, -2.5)
0750         strecke(2, (n_max+1)*r, -2.5-1.5,
                   (n_max+1+1)*r, -2.5)
0760         strecke(2, 0*r, -2.5-1.5, (3/7)*r, -2.5-1.5*4/7)
0770         strecke(2, (4/7)*r, -2.5-1.5*3/7, (1)*r, -2.5)
0780         strecke(2, 0*r, -2.5-1.5, (n_max+1)*r, -2.5-1.5)
0790         strecke(12, (-0.375+4/7)*r, -2.5-1.5*3/7,
                   (0.37+4/7)*r, -2.5-1.5*3/7)
0800         strecke(12, (-0.1875+3/7)*r, -2.5-1.5*4/7,
                   (0.64057)*r, -2.5-1.5*4/7)
0810     FOR t:=1 TO n_max DO
0820         IF t<7 THEN
0830             IF abs(u_n(t+1))<0.05 THEN
0840                 ir:=0
0850             ELSE
0860                 IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
0870                     ir:=0
0880                 ELSE
0890                     ir:=- (u_n(t)-u_n(t+1))/r
0900                 ENDIF
0910             ENDIF
0920         ELSE
0930             IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
0940                 ir:=0
0950             ELSE
0960                 ir:=- (u_n(t)-u_n(t+1))/r
0970             ENDIF
0980         ENDIF
0990         anf_pkt(4, (t+1.5)*r, -2.5)
1000         IF ir(<>)0 THEN
1010             IF u_n(1)<0 THEN
1020                 breit_pfeil(4, -1, 0, ir)
1030             ELSE
1040                 breit_pfeil(4, 1, 0, ir)
1050             ENDIF
1060             strecke(2, (n_max+1)*r, -2.5,
                       (n_max+1+1)*r, -2.5)
1070         ELSE
1080             strecke(2, (0)*r, -2.5-1.5,
                       (n_max+1)*r, -2.5-1.5)
1090             strecke(2, (n_max+1)*r, -2.5,
                       (n_max+1+1)*r, -2.5)
1100         ENDIF
1110         ergaenzung
1120     ENDFOR t
1130 ENDIF
1140
1150

```

```

1170 //*****
1180 //***** Ausgabe des Spannungspfeildiagramms *****
1190 //*****
1200
1210 //***** Hier wird auf eine dreidimensionale *****
1220 //***** Ausgabe verzichtet. Deshalb fehlen *****
1230 //***** die Befehle zum Einzeichnen der *****
1240 //***** angedeuteten Schaltskizze und auch *****
1250 //***** die für die Ausgabe der Potential- *****
1260 //***** linien. Das aus E-Kette-Pot *****
1270 //***** bekannten Pfeildiagramm wird nur *****
1280 //***** noch im Bereich der 7 Widerstände *****
1290 //***** des "Grundstromkreises" ausgegeben. *****
1300 //***** Aus diesem Grund und weil das *****
1310 //***** Umpolen der Spannungsquelle nicht *****
1320 //***** vorgesehen ist, steht in vertikaler *****
1330 //***** Richtung mehr Platz für die Ausgabe *****
1340 //***** der Potentialpfeile zur Verfügung. *****
1350 //***** Da dieser natürlich genutzt wird, *****
1360 //***** Endern sich die Positionierungs- *****
1370 //***** befehle entsprechend. Zusätzlich *****
1380 //***** wurde eine Grundlinie in der Farbe *****
1390 //***** des Referenzmeßpunkts eingezeichnet.*****
1400
1410 IF t$="u" OR t$="b" OR t$="g" OR t$="o" THEN
1420
1430
1440 //*** Einzeichnen der Potentiallinie (Gerade) **
1450 //*** über den sieben Widerständen des **
1460 //*** "Grundstromkreises" als (Hilfs- bzw.) **
1470 //*** Vergleichslinie **
1480
1490 IF t$="g" THEN
1500 . punkt(5,1,u_n(1))
1510 . linie(5,(n_max)*r,0)
1520 ENDIF
1530
1540 //*****
1550
1560
1570 //***** Einzeichnen der Potentialpfeile *****
1580
1590 FOR t:=1 TO n_max DO
1600 . anf_pkt(1,(t)*r,0)
1610 . d_vektor(1,0,u_n(t))
1620 ENDFOR t
1630
1640 //*****
1650
1660

```

```

1670          //***** Einzeichnen der Grundlinie *****
1680
1690          strecke(6,1,1,(n_max+2)*r,1)
1700
1710          //*****
1720
1730
1740          //***** Einzeichnen der Potentillinie *****
1750
1760          IF abs(u_n(8))>0.5 THEN
1770              punkt(7,1,u_n(1))
1780              FOR t:=1 TO (n_max-1) DO
1790                  linie(7,(t+1)*r,u_n(t+1))
1800              ENDFOR t
1810          ELSE
1820              punkt(7,1,u_n(1))
1830              FOR t:=1 TO (n_max-1) DO
1840                  linie(7,(t+1)*r,u_n(t+1))
1850              ENDFOR t
1860          ENDIF
1870
1880          //*****
1890
1900          ENDIF
1910
1920          //*****
1930
1940
1950
1960          FOR t:=1 TO n_max DO u_nalt(t):=u_n(t)
1970          animation(0)
1980          ENDIF
1990          t_alt$:=t$
2000          UNTIL t$="q" OR t$=chr$(27)
2010      ENDPROC kern
2020
2030      PROC verzweigung
2040          FOR n%:=1 TO n_max DO
2050              IF abs(du_n(n%)-du_n(n%+1))>0.05 THEN
2060                  IF na%=0 THEN na%:=n%+1
2070                  IF n%>na%-1 AND ne%=0 THEN ne%:=n%+1
2080              ENDIF
2090          ENDFOR n%
2100          IF abs(u_n(1))<0.5 THEN
2110              i_ver:=0.005
2120          ELSE
2130              i_ver:=(abs(du_n(na%-1))-abs(du_n(na%)))/r
2140          ENDIF

```

```

2150 IF i_ver<0 THEN ne%:=1
2160 IF i_ver>0 AND ne%=0 THEN ne%:=9
2170 IF na%<8 THEN
2180     IF (u_n(8))<0.5 THEN
2190         IF abs(u_n(1))>0.5 AND abs(u_n(2))>0.5
                AND abs(u_n(3))>0.5 THEN
2200             IF abs(u_n(4))>0.5 AND abs(u_n(5))>0.5
                AND abs(u_n(6))>0.5 THEN
2210                 IF abs(u_n(7))>0.5 THEN
2220                     anf_pkt(6, (na%-1+2+0.05)*r, 0.2)
2230                     linie(6, (na%-1+2+0.05-0.6)*r, -0.6)
2240                     linie(6, (ne%-1+2+0.05-0.6)*r, -0.6)
2250                     linie(6, (ne%-1+2+0.05)*r, 0.2)
2260                     anf_pkt(6, (na%+ne%)/2-1+2+0.05-0.6, -0.8)
2270                     balken(6, 0.6, 0.4)
2280                 ENDIF
2290             ENDIF
2300         ENDIF
2310     ENDIF
2320 ENDIF
2330
2340 ENDPROC verzweigung
2350
2360 PROC ergänzung
2370     IF abs(u_n(8))>0.5 THEN i_ver:=0
2380     IF na%<8 THEN
2390         IF abs(u_n(1))>0.5 AND abs(u_n(2))>0.5
                AND abs(u_n(3))>0.5 THEN
2400             IF abs(u_n(4))>0.5 AND abs(u_n(5))>0.5
                AND abs(u_n(6))>0.5 THEN
2410                 IF abs(u_n(7))>0.5 THEN
2420                     farbe(5)
2430                     anf_pkt(12, ((na%+ne%)/2-1+2+0.05-0.6)*r, -3.4)
2440                     PRINT (i_ver)
2450                     IF u_n(1)<-0.5 THEN
2460                         farbe(5)
2470                         breit_pfeil(12, -1, 0, abs(i_ver))
2480                     ELSE
2490                         farbe(5)
2500                         breit_pfeil(12, 1, 0, abs(i_ver))
2510                     ENDIF
2520                 IF u_n(8)<0.5 THEN
2530                     farbe(5)
2540                     anf_pkt(12, (na%-1+2+0.05)*r, -2.5)
2550                     farbe(5)
2560                     linie(12, (na%-1+2+0.05-0.6)*r, -3.4)
2570                     farbe(5)
2580                     linie(12, (ne%-1+2+0.05-0.6)*r, -3.4)
2590                     farbe(5)
2600                     linie(12, (ne%-1+2+0.05)*r, -2.5)
2610                 ENDIF
2620             ENDIF
2630         ENDIF
2640     ENDIF
2650 ENDIF

```

```
2670
2680 PROC kette
2690     punkt(2,1*r,0.2)
2700     linie(2,(n_max+2)*r,0.2)
2710     strecke(2,(0)*r,-1.3,(n_max+1)*r,-1.3)
2720     strecke(2,(n_max+1)*r,-1.3,(n_max+2)*r,0.2)
2730     strecke(2,(0)*r,-1.3,(1-4/7)*r,0.2-1.5*4/7)
2740     strecke(2,(1-3/7)*r,0.2-1.5*3/7,(1)*r,0.2)
2750     strecke(12,(0.625-3/7)*r,0.2-1.5*3/7,
                (1.37-3/7)*r,0.2-1.5*3/7)
2760     strecke(12,(0.8125-4/7)*r,0.2-1.5*4/7,
                (1.1875-4/7)*r,0.2-1.5*4/7)
2770     FOR t:=1 TO n_max-2 DO
2780         IF abs(u_n(t+1))>0.5 THEN
2790             anf_pkt(10,t+1.5,0)
2800             balken(10,0.6,0.4)
2810         ELSE
2820             IF abs(u_n(t))<0.5 THEN
2830                 anf_pkt(10,t+1.5,0)
2840                 balken(10,0.6,0.4)
2850             ENDIF
2860         ENDIF
2870     ENDFOR t
2880     anf_pkt(10,n_max-1+1.5,0)
2890     balken(10,0.6,0.4)
2900     FOR m:=1 TO n_max DO
2910         markel(2,m+1,0.2)
2920     ENDFOR m
2930     markel(6,1.5/7,0.2-1.5*5.5/7)
2940 ENDPROC kette
```

A.3 Das Programm „Stromkreis“

```
0010 USE PAKMA
0020 USE PAKMES
0030 verstecken
0040 name("Stromkreis")
0050
0060 PROC kern
0070 /
0080   r:=0.1 // Ohm
0090   u1:=0; u2:=0; u3:=0; u4:=0
0100   i1:=0; i2:=0; i3:=0; i4:=0
0110   t:=0; dt:=0.1
0120
0130   page
0140   grafik("a")
0150
0160   u_meter
0170   vorb(1)
0180   s_folg("i",dt)
0190   mitt(200)
0200   auto_bereich
0210
0220   REPEAT
0230     mes_p(4)
0240     u1:=mes_wp(1)
0250     u2:=mes_wp(2)
0260     u3:=mes_wp(3)
0270     u4:=mes_wp(4)
0280     i1:=u1/r
0290     i2:=u2/r
0300     i3:=u3/r
0310     i4:=u4/r
0320     zeichne("u1,u2,u3,u4,i1,i2,i3,i4,t")
0330     t:=t+dt
0340   UNTIL t>10
0350
0360 ENDPROC kern
```

Anhang B

Tastenfunktionen von „E-Kette-U“ & „E-Kette-Pot“

Taste	Tastenfunktion
I	<p style="text-align: center;">Stromstärke I</p> <p>Das Pfeildiagramm zu den durch die jeweiligen Widerstände fließenden Stromstärken wird zusammen mit der aktuellen Schaltskizze ausgegeben.</p>
U	<p style="text-align: center;">Spannung U</p> <p>Das Pfeildiagramm zu den im Kreis anliegenden Spannungen wird zusammen mit der aktuellen Schaltskizze ausgegeben.</p>
O	<p style="text-align: center;">Ohne Schaltskizze</p> <p>Das Pfeildiagramm zu den im Kreis anliegenden Spannungen wird <i>ohne</i> die aktuelle Schaltskizze ausgegeben.</p>
G	<p style="text-align: center;">Gerade</p> <p>In das Pfeildiagramm zu den im Kreis anliegenden Spannungen wird zusätzlich eine Hilfslinie eingezeichnet, die den Potentialverlauf ohne Nebenschluß kennzeichnet. Sie wird zusammen mit der aktuellen Schaltskizze ausgegeben</p>
B	<p style="text-align: center;">Beide Pfeildiagramme</p> <p>Die Pfeildiagramme für Spannung und Stromstärke werden zusammen mit der aktuellen Schaltskizze ausgegeben.</p>
Q bzw. ESC	<p style="text-align: center;">Quit</p> <p>Das Programm wird beendet. Nach anschließendem (nochmaligen) Drücken der Taste ESC befindet sich der Benutzer im „Amiga Comal Command Window“ der Pakma-Umgebung.</p>

Tabelle B.1: Zusammenstellung der Tastenfunktionen für die Programme „E-Kette-Pot“ und „E-Kette-U“.

Anhang C

Die verwendeten Fragebögen

Auf den folgenden Seiten finden sich Kopiervorlagen für die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebögen.

TEST ZUM THEMA (GLEICH-)STROMKREISE

HINWEISE ZUM TEST:

- Schreiben Sie bitte Ihren Namen oben auf das Antwortblatt.
- Lesen Sie zu jeder Aufgabe alle Antwortvorschläge durch.
- Beantworten Sie die Fragen 1 bis 12, indem Sie auf dem gesonderten Antwortblatt zu jeder Aufgabennummer den Buchstaben eintragen, der zur richtigen Antwort gehört.
- Bitte schreiben Sie bei den Aufgaben 2, 4, 5 und 6 kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind.
Benutzen Sie dazu die Kästen auf dem Antwortblatt.

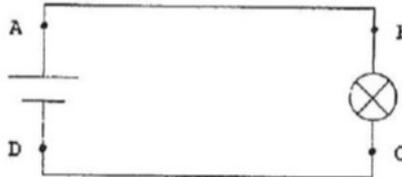
WICHTIG:

- Bitte nicht auf die Blätter mit den Aufgaben schreiben!
- ALLE VORKOMMENDEN BATTERIEN SIND IDEALE SPANNUNGSQUELLEN (SIE BESITZEN KEINEN INNEREN WIDERSTAND). DIE VERBINDUNGSDRAHTE HABEN KEINEN WIDERSTAND.

AUFGABEN:

- (1) Eine Glühbirne ist, wie in der Schaltskizze dargestellt, mit einer Batterie verbunden.

Stromkreis (1):



Welche Aussage über die Stromstärke I an den verschiedenen Punkten im oben skizzierten Stromkreis ist richtig?

Die Stromstärke I ist

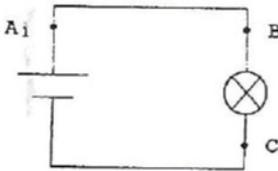
- (A) im Punkt A am größten.
- (B) im Punkt B am größten.
- (C) im Punkt C am größten.
- (D) im Punkt D am größten.
- (E) überall gleich groß.
- (F) in den Punkten A,B gleich und kleiner als in den Punkten C,D. ($I_A = I_B < I_C = I_D$)
- (G) in den Punkten A,B gleich und größer als in den Punkten C,D. ($I_A = I_B > I_C = I_D$)
- (H) außer in der Glühbirne überall gleich groß.
- (I) außer in der Batterie überall gleich groß.
- (J) Keine der Antworten ist richtig.

- 2 -

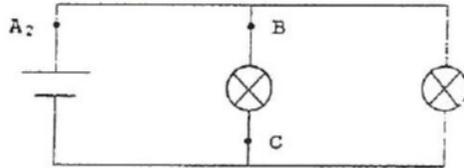
AUFGABEN:

Für die Aufgaben 2 bis 4 wird dem Stromkreis (1) eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (2) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (2):



- (2) Vergleichen Sie jetzt die Stromstärke in Punkt A_2 des Stromkreises (2) mit der Stromstärke im Punkt A_1 des Stromkreises (1).

Die Stromstärke im Punkt A_2 ist

- (A) doppelt so groß wie in A_1 .
- (B) ist größer aber nicht doppelt so groß wie in A_1 .
- (C) ist genau so groß wie in A_1 .
- (D) halb so groß wie in A_1 .
- (E) kleiner aber nicht halb so groß wie in A_1 .

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

- (3) Vergleichen Sie die Helligkeit der Glühbirne zwischen den Punkten B und C in Stromkreis (2) mit ihrer Helligkeit in Stromkreis (1).

Die Glühbirne leuchtet in Stromkreis (2)

- (A) heller als in Stromkreis (1).
- (B) genauso hell wie in Stromkreis (1).
- (C) schwächer als in Stromkreis (1).

- (4) Vergleichen Sie die an der Glühbirne zwischen den Punkten B und C anliegende Spannung U_{BC} im Stromkreis (2) mit der Spannung U_{BC} im Stromkreis (1).

Die Spannung U_{BC} ist in Stromkreis (2)

- (A) doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
- (C) genau so groß wie in Stromkreis (1).
- (D) halb so groß wie in Stromkreis (1).
- (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in Stromkreis (1).

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

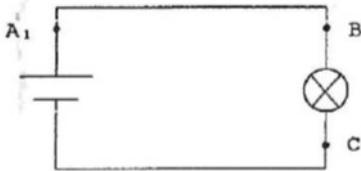
Auf der nächsten Seite geht es weiter.

- 3 -

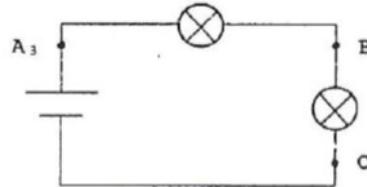
AUFGABEN:

Für die Aufgaben 5 bis 7 wird dem Stromkreis (1) eine zweite, identische Glühbirne so hinzugefügt, wie es in der Schaltskizze zu Stromkreis (3) dargestellt ist.

Stromkreis (1):



Stromkreis (3):



- (5) Vergleichen Sie jetzt die Stromstärke in Punkt A_3 des Stromkreises (3) mit der Stromstärke im Punkt A_1 des Stromkreises (1).

Die Stromstärke im Punkt A_3 ist

- (A) doppelt so groß wie in A_1 .
 (B) größer aber nicht doppelt so groß wie in A_1 .
 (C) genau so groß wie in A_1 .
 (D) halb so groß wie in A_1 .
 (E) kleiner aber nicht halb so groß wie in A_1 .

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

- (6) Vergleichen Sie die an der Glühbirne zwischen den Punkten B und C anliegende Spannung U_{BC} im Stromkreis (3) mit der Spannung U_{BC} im Stromkreis (1).

Die Spannung U_{BC} ist in Stromkreis (3)

- (A) doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
 (B) größer, aber nicht doppelt so groß wie in Stromkreis (1).
 (C) genau so groß wie in Stromkreis (1).
 (D) halb so groß wie in Stromkreis (1).
 (E) kleiner, aber nicht halb so groß wie in Stromkreis (1).

(F) Keine der Antworten ist richtig.

Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie zu Ihrer Antwort gekommen sind. Benutzen Sie dazu den Kasten auf dem Antwortblatt.

- (7) Vergleichen Sie die Helligkeit der Glühbirne zwischen den Punkten B und C in Stromkreis (3) mit ihrer Helligkeit in Stromkreis (1).

Die Glühbirne leuchtet in Stromkreis (3)

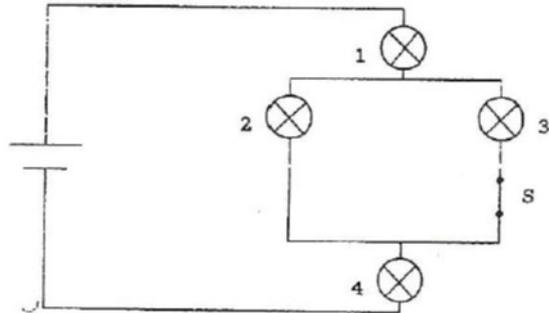
- (A) heller als in Stromkreis (1).
 (B) genauso hell wie in Stromkreis (1).
 (C) schwächer als in Stromkreis (1).

- 4 -

AUFGABEN:

Die Aufgaben 8 bis 12 beziehen sich auf den Stromkreis (4). Dort sind vier identische Glühlampen mit einer Batterie verbunden. (Der Schalter S ist zunächst, wie in der Schaltskizze dargestellt, geschlossen.)

Stromkreis (4):



(8) Ordnen Sie die Glühlampen nach ihrer Helligkeit H .

- (A) $H_1 = H_2 = H_3 = H_4$.
Alle Glühlampen sind gleich hell.
- (B) $H_1 > H_2 > H_3 > H_4$.
1 ist am hellsten, 2 am zweithellsten, 3 am dritthellsten und 4 am dunkelsten.
- (C) $H_1 > H_2 = H_3 > H_4$.
1 ist am hellsten, 2 und 3 sind gleich hell aber dunkler als 1. 4 ist am dunkelsten.
- (D) $H_1 = H_4 > H_2 = H_3$.
1 und 4 sind gleich hell. 2 und 3 sind gleich hell aber dunkler als 1 und 4.
- (E) $H_2 = H_3 > H_1 = H_4$.
2 und 3 sind gleich hell. 1 und 4 sind gleich hell aber dunkler als 2 und 3.
- (F) $H_1 > H_4 > H_2 = H_3$.
1 ist am hellsten, 4 am zweithellsten, 2 und 3 sind gleich hell aber dunkler als 4.
- (G) Keine der Antworten ist richtig.

Auf der nächsten Seite geht es weiter.

- 5 -

AUFGABEN:

- (9) Ordnen Sie die Glühlampen nach der durch sie fließenden Stromstärke I .

Für die Stromstärke I gilt:

- (A) $I_1 = I_2 = I_3 = I_4$.
Sie ist durch alle Glühlampen gleich.
- (B) $I_1 > I_2 > I_3 > I_4$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 2 am zweitgrößten, durch 3 am drittgrößten und durch 4 am kleinsten.
- (C) $I_1 > I_2 = I_3 > I_4$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als durch 1. Durch 4 ist sie am kleinsten.
- (D) $I_1 = I_4 > I_2 = I_3$.
Sie ist durch 1 und 4 gleich groß. Durch 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als durch 1 und 4.
- (E) $I_2 = I_3 > I_1 = I_4$.
Sie ist durch 2 und 3 gleich groß. Durch 1 und 4 ist sie gleich groß aber kleiner als durch 2 und 3.
- (F) $I_1 > I_4 > I_2 = I_3$.
Sie ist durch 1 am größten, durch 4 am zweitgrößten, durch 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als durch 4.

(G) Keine der Antworten ist richtig.

- (10) Ordnen Sie die Glühlampen nach der an ihnen liegenden Spannung U .

Für die Spannung U gilt:

- (A) $U_1 = U_2 = U_3 = U_4$.
Sie ist an allen Glühlampen gleich.
- (B) $U_1 > U_2 > U_3 > U_4$.
Sie ist an 1 am größten, an 2 am zweitgrößten, an 3 am drittgrößten und an 4 am kleinsten.
- (C) $U_1 > U_2 = U_3 > U_4$.
Sie ist an 1 am größten, an 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als an 1. An 4 ist sie am kleinsten.
- (D) $U_1 = U_4 > U_2 = U_3$.
Sie ist an 1 und 4 gleich groß. An 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als an 1 und 4.
- (E) $U_2 = U_3 > U_1 = U_4$.
Sie ist an 2 und 3 gleich groß. An 1 und 4 ist sie gleich groß aber kleiner als an 2 und 3.
- (F) $U_1 > U_4 > U_2 = U_3$.
Sie ist an 1 am größten, an 4 am zweitgrößten, an 2 und 3 ist sie gleich groß aber kleiner als an 4.

(G) Keine der Antworten ist richtig.

- (11) Wie verhält sich die Stromstärke durch Glühlampe 1, wenn man den Schalter S öffnet?

- (A) Sie wird größer.
- (B) Sie bleibt gleich.
- (C) Sie wird kleiner.
- (D) Läßt sich ohne weitere Information nicht entscheiden.

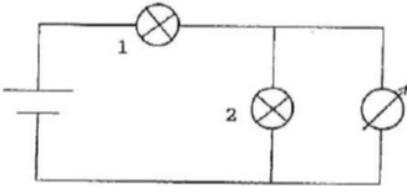
- 6 -

AUFGABEN:

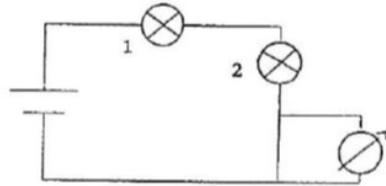
- (12) Wie verhält sich die Stromstärke durch Glühbirne 2, wenn man den Schalter S öffnet?
 (A) Sie wird größer.
 (B) Sie bleibt gleich.
 (C) Sie wird kleiner.
 (D) Läßt sich ohne weitere Information nicht entscheiden.

Die Aufgaben 13 und 14 beziehen sich auf die folgenden vier Schaltskizzen A, B, C und D. Sie zeigen alle den Stromkreis (3) mit einem, jeweils anders zugeschalteten Meßgerät.

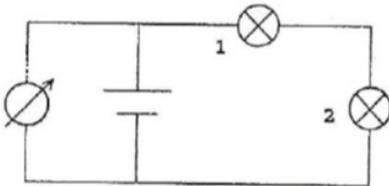
Schaltskizze A:



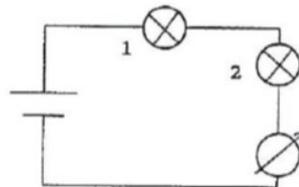
Schaltskizze B:



Schaltskizze C:



Schaltskizze D:



- (13) Wie muß man ein Amperemeter in den Stromkreis (3) schalten, um die durch Glühbirne 2 fließende Stromstärke messen zu können?

Die richtige Anordnung zeigt Schaltskizze

- (A) A
 (B) B
 (C) C
 (D) D

(E) Keine der gezeigten Schaltungen ist richtig.

- (14) Wie muß man ein Voltmeter in den Stromkreis (3) schalten, um die an Glühbirne 2 anliegende Spannung messen zu können?

Die richtige Anordnung zeigt Schaltskizze

- (A) A
 (B) B
 (C) C
 (D) D

(E) Keine der gezeigten Schaltungen ist richtig.

ANTWORTBLATT ZUM TEST

NAME: _____ KLASSE: _____

SCHULE: _____

Aufgabe (1) : _____ Aufgabe (2) : _____

Kasten zu Aufgabe (2):

Aufgabe (3) : _____ Aufgabe (4) : _____

Kasten zu Aufgabe (4):

Aufgabe (5) : _____

Kasten zu Aufgabe (5):

Aufgabe (6) : _____

Kasten zu Aufgabe (6):

Aufgabe (7) : _____ Aufgabe (8) : _____ Aufgabe (9) : _____

Aufgabe (10): _____ Aufgabe (11): _____ Aufgabe (12): _____

Aufgabe (13): _____ Aufgabe (14): _____

- 4 -

15) Die Bedienung des Programms fand ich...

	3	2	1	0	1	2	3	
einfach								kompliziert

16) Die Benutzeroberfläche fand ich...

	3	2	1	0	1	2	3	
übersichtlich								unübersichtlich

17) Die Einführung in das System fand ich...

	3	2	1	0	1	2	3	
zu lang								zu kurz

18) Wichtig bzw. bemerkenswert am selbständigen Arbeiten mit dem Computer fand ich...

Anhang D

Schülerübungsarbeitsblätter

Auf den folgenden Seiten sind die im Rahmen dieser Arbeit für den Schüler-versuchsteil des Unterrichts verwendeten Arbeitsblätter als Kopiervorlage abgedruckt.

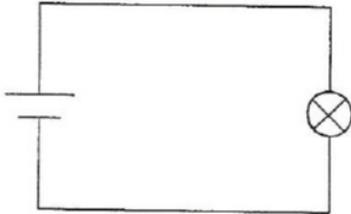
- Die folgenden Aufgaben sind in fünf Schritten zu bearbeiten:
- 1) Überlegen Sie sich eine Antwort auf die Frage, diskutieren Sie in Ihrer Gruppe darüber und notieren Sie Ihre Lösung unter dem Stichwort "Vorhersage" auf Ihrem Praktikumsprotokoll (PP).
 - 2) Bauen Sie die zugehörige Schaltung auf Ihrem Steckbrett nach. (Fragen zur Helligkeit lassen sich jetzt schon beantworten.)
 - 3) Zeichnen Sie in die Schaltskizze ein, wo Sie Ampere- bzw. Voltmeter einbauen wollen und zeigen Sie Ihre so vervollständigte Schaltskizze einem Betreuer.
 - 4) Bauen Sie jetzt Ihre Meßadapter gemäß Ihrer Skizze in Ihre Schaltung ein und führen Sie Ihre Messung(en) mit Hilfe des Programmes "Stromkreis" durch.
 - 5) Schreiben Sie die Meßergebnisse in ihr PP. Sollten Sie nicht mit Ihrer Voraussage übereinstimmen, dann diskutieren Sie in Ihrer Arbeitsgruppe darüber, welche Ihrer (Modell-) Vorstellungen fehlerhaft waren. Versuchen Sie anhand der Meßergebnisse allgemeine Strom- bzw. Spannungsregeln aufzustellen.

Aufgabe 1:

- 1a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen in Stromkreis 1a zueinander?

Stromkreis 1a:

Vorhersage:

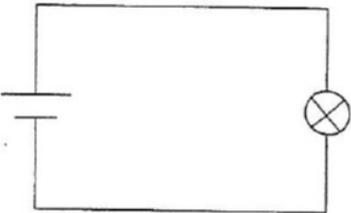


Meßergebnis:

- 1b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirne anliegenden Spannungen in Stromkreis 1b zueinander?

Stromkreis 1b:

Vorhersage:

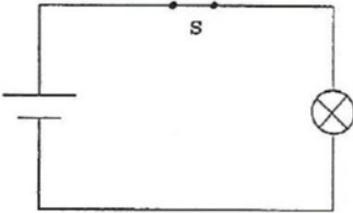


Meßergebnis:

1c) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirne anliegenden Spannungen und die Stromstärke in Stromkreis 1c, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?

Stromkreis 1c:

Vorhersage:



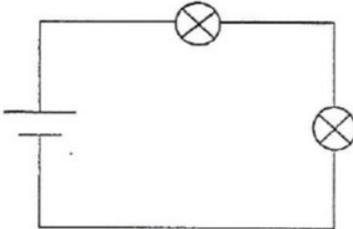
Meßergebnis:

Aufgabe 2:

2a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen in Stromkreis 2a zueinander? Ändern sich Helligkeit und durchfließende Stromstärke der Glühbirne in Stromkreis 1a, wenn man wie in Stromkreis 2a eine Glühbirne hinzufügt?

Stromkreis 2a:

Vorhersage:

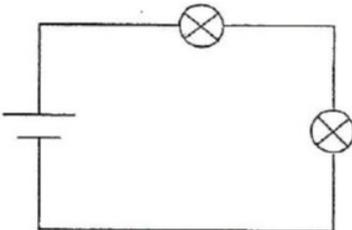


Meßergebnis:

2b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühbirnen anliegenden Spannungen in Stromkreis 2b zueinander? Ändern sich die an der Glühbirne bzw. der Spannungsquelle in Stromkreis 1b anliegenden Spannungen, wenn man wie in Stromkreis 2b eine Glühbirne hinzufügt?

Stromkreis 2b:

Vorhersage:



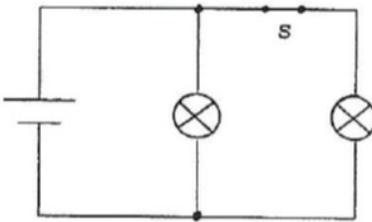
Meßergebnis:

Aufgabe 3:

3a) Wie verhalten sich die Stromstärken an verschiedenen Stellen in Stromkreis 3a zueinander? Ändern sich Helligkeiten und Stromstärken, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?

Stromkreis 3a:

Vorhersage:

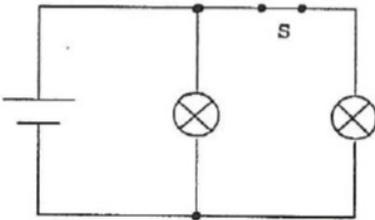


Meßergebnis:

3b) Wie verhalten sich die an Spannungsquelle bzw. Glühlampen anliegenden Spannungen in Stromkreis 3b zueinander? Ändern sich die an den Glühlampen bzw. der Spannungsquelle anliegenden Spannungen, wenn man den zunächst geschlossenen Schalter S öffnet?

Stromkreis 3b:

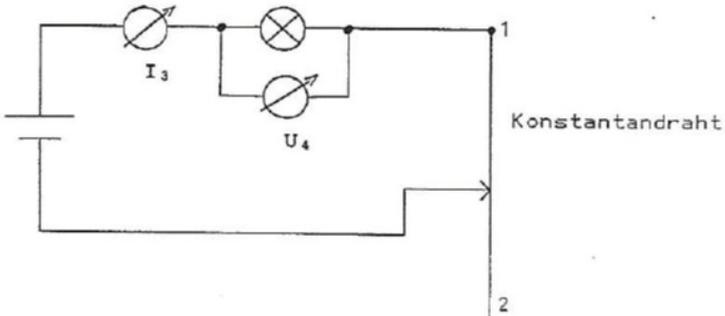
Vorhersage:



Meßergebnis:

Aufgabe 4:

Stromkreis 4:



In Stromkreis 4 ist ein Konstantendraht in Serie zu einer Glühbirne geschaltet. Was passiert, wenn man den variablen Abgriff von Stellung 1 nach Stellung 2 verschiebt und warum?

Antwort:

Bauen Sie den Stromkreis 4 nach und nehmen Sie ein U-I-Diagramm auf während Sie den Abgriff (Krokodilklemme) am Konstantendraht von 1 nach 2 verschieben. Tauschen Sie anschließend die Glühbirne gegen einen 10 Ohm - Widerstand aus und wiederholen Sie den Vorgang. Übertragen Sie nun den qualitativen Verlauf der Kurven auf Ihr PP und diskutieren sie das Ergebnis.

U-I-Diagramm einer Glühbirne (G) und eines Festwiderstandes (FW)

U/V



I/A

--- Meßergebnis:

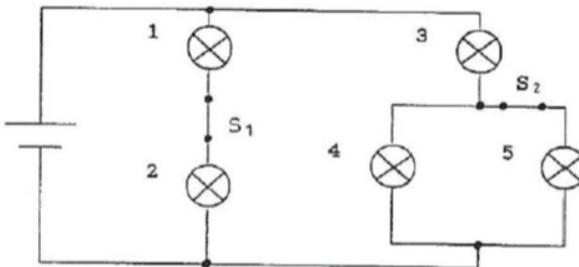
Praktikumsprotokoll: Einfache Stromkreise

Seite 5

Aufgabe 5:

In dieser Aufgabe geht es darum, die erarbeiteten Strom- und Spannungskonzepte anzuwenden. Sie werden nur nach den Helligkeiten der Glühlampen gefragt, sollten aber in der ausführlichen Begründung Ihrer Antwort jeweils mit den Spannungen und Stromstärken argumentieren. Zuletzt sollten Sie Ihre Argumentation mit Hilfe von Messungen überprüfen.

Stromkreis 5:



- 5a) Die Schalter S_1 und S_2 sind zunächst geschlossen. Wie verhalten sich die Helligkeiten der Glühlampen 1 bis 5 zueinander? Vergleichen Sie insbesondere die Glühlampen 1 und 3.

Antwort:

Begründung:

- 5b) Was ändert sich an den Helligkeiten, wenn man Schalter S_1 öffnet?

Antwort:

Begründung:

- 5c) Was ändert sich an den Helligkeiten, wenn man Schalter S_2 öffnet?

Antwort:

Begründung:

Anhang E

Materialliste für die Unterrichtsdurchführung

E.1 Materialliste für den Demonstrationsver- such zum Unterrichtsgespräch

E.1.1 Computer und Interface

- Amiga-Rechner (mind. 2000) mit Tastatur und Maus
- Fernseher mit großer Bildröhre
- Anschlußkabel Videoausgang Amiga (12-polig) ↔ Euro-AV-Eingang Fern-
seher (21-polig) und eventuell ein entsprechendes Verlängerungskabel
- 12bit-AD-Umsetzerkarte
- 8-Kanal-Vorsatz & Anschlußstück mit 9 Bananensteckerbuchsen
- Verbindungskabel AD-Umsetzerkarte ↔ 8-Kanal-Vorsatz
- Software auf beiliegender Diskette „E-Kette & Stromkreis“

E.1.2 Stromkreis und Anschlußkabel

- Rastersteckplatte bestehend aus 3 zusammengesteckten DIN A4-Steckplat-
ten und geeigneten Ständer
- 9 $1\text{k}\Omega$ -Steckwiderstände (Toleranz 2%)
- 1 – 2 $10\text{k}\Omega$ -Regelwiderstände (Steckwiderstände)
- $20\text{k}\Omega$ -Regelwiderstand (Steckwiderstand)

- 5V-Netzgerät (stabilisiert)
- 20 Brückenstecker (19mm)
- Experimentierkabel
 - 5 grüne, ca. 50cm lang
 - 3 grüne, ca. 100cm lang
 - 1 gelbes, ca. 100cm lang
 - 2 rote, ca. 15cm lang
 - 1 rotes, ca. 30cm lang
 - 1 blaues, ca. 30cm lang

E.2 Materialliste für die Schülerversuche

Die Mengenangaben beziehen sich jeweils auf einen Arbeitsplatz für zwei bis drei Schüler.

E.2.1 Computer und Interface

- Amiga-Rechner mit Bildschirm und Maus (*ohne* Tastatur)
- 4-Kanal-AD-Umsetzerkarte
- Software auf beiliegender Diskette „E-Kette & Stromkreis“ (Genügende Anzahl Kopien erstellen!)

E.2.2 Stromkreise und Meßadapter

- 2 Rastersteckplatten DIN A4
- 5 Glühbirnen (E10; 4,5V; 0,30A)
- 5 Schraubfassungen (für die Rastersteckplatte)
- 20 – 30 Brückenstecker (19mm)
- 2 Schalter (für die Rastersteckplatte)
- 5V-Netzgerät (stabilisiert)
- Experimentierkabel
 - 1 gelbes, ca. 100cm lang

- 1 grünes, ca. 100cm – 150cm lang
- 1 grünes, ca. 150cm – 200cm lang
- 1 rotes, ca. 30cm lang
- 1 blaues, ca. 30cm lang
- 1 Krokodilklemme
- 1 10Ω -Steckwiderstand
- $16\frac{\Omega}{m}$ -Konstantendraht, ca. 3m lang
- 2 Klemmstangen mit Steckbuchsen und passende Tischklemmen
- 4 Spannungsmeßadapter
- 4 Strommeßadapter (einer mit „integriertem Bezugspotentialabgriff“)

E.2.3 Sonstiges Unterrichtsmaterial

- Arbeitsblätter (für jeden Schüler ein Satz)

Falls die Bearbeitung der Arbeitsblätter gemeinsam durchgesprochen werden soll:

- Folienkopie der Arbeitsblätter
- Tageslicht-Projektor
- Folienstifte in mehreren Farben

Literaturverzeichnis

- [Aalst 85] H.F. van Aalst: THE DIFFERENTIATION BETWEEN CONNECTIONS IN SERIES AND IN PARALLEL FROM COGNITIVE MAPPING; IMPLICATIONS FOR TEACHING
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 115 – 128
- [Andereck 90] B.S. Andereck: USING CONTOUR MAPS TO TEACH ELECTRIC FIELD AND POTENTIAL
in: *The Physics Teacher*, Volume 28, Number 7, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1990, pp. 499 – 500
- [Andersson 84] B. Andersson: WIE SCHÜLER EINIGE ASPEKTE DES ENERGIETRANSFERS IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS VERSTEHEN
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 32 – 35
- [Arons 93] A.B. Arons: GUIDING INSIGHT AND INQUIRY IN THE INTRODUCTORY PHYSICS LABORATORY
in: *The Physics Teacher*, Volume 31, Number 5, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1993, pp. 278 – 282
- [Aufschnaiter 82] S. v.Aufschnaiter, W.-G. Dudeck, B. Gohmert, R. Prüm: „OHMA VOLTA“ UND ANDERE SPIELE ZUM ELEKTRISCHEN STROMKREIS
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 412 – 419
- [Aufschnaiter 91] H.E. Fischer, S. v.Aufschnaiter: BEDEUTUNGSENTWICKLUNG UND INTERAKTION IM HINBLICK AUF UNTER-

- SCHIEDLICHE UNTERRICHTSFORMEN IM UNTERRICHT
ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der
Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Hamburg, Sep-
tember 1991, Reihe GDCP, Band L12, Leuchtturm-
Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1991, S. 340 – 342
- [Barros 91] M.A.R.P. de Barros: APPLICATION OF THE SUPERPOSI-
TION PRINCIPLE
in: *The Physics Teacher*, Volume 29, Number 2, AAPT
(American Association of Physics Teachers) Publications,
College Park, 1991, p. 107
- [Bauer 86] F. Bauer, W. Richter: MÖGLICHKEITEN UND GREN-
ZEN DER NUTZUNG VON ANALOGIEN UND ANALOGIE-
SCHLÜSSEN
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 24, Nr. 10, Volk und
Wissen Verlag, Berlin, 1986, S. 384 – 389
- [Bauer 93] F. Bauer: SPANNUNG UND EMK (ELEKTROMOTORI-
SCHE KRAFT) — ZWEI NOTWENDIGE, UNTERSCHIED-
LICHE BEGRIFFE
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 42,
Heft 4, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 28
– 37
- [Baumann 90] R.P. Baumann, S. Adams: MISUNDERSTANDING OF
ELECTRIC CURRENT
in: *The Physics Teacher*, Volume 28, Number 5, AAPT
(American Association of Physics Teachers) Publications,
College Park, 1990, p. 334
- [Blume 90] F.-J. Blume, V. Richter: COMPUTEREINSATZ IM PHYSIK-
UNTERRICHT
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 28, Heft 10, Pädagogi-
scher Zeitschriftenverlag, Berlin, 1990, S. 391 – 395
- [Bortz 93] J. Bortz: STATISTIK FÜR SOZIALWISSENSCHAFTLER,
Springer-Verlag, Berlin, 4. vollständig überarbeitete Auf-
lage, 1993
- [Boyd 88] J.N. Boyd: PARALLEL CIRCUITS AND PROBABILITY
in: *The Physics Teacher*, Volume 26, Number 2, AAPT

(American Association of Physics Teachers) Publications,
College Park, 1988, p. 106

- [Bruns 92] K.G. Bruns: DIE GRUNDBEGRIFFE ELEKTRISCHER STROMKREISE — SKIZZE EINES UNTERRICHTSGANGES IN DER MITTELSTUFE
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 41, Heft 5, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1992, S. 8 – 12
- [Caillot 84] M. Caillot, E. Chalouhi: PROBLEMLÖSEN IM BEREICH DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 36 – 45
- [Caillot 85] M. Caillot: PROBLEM REPRESENTATIONS AND PROBLEM SOLVING PROCEDURES IN ELECTRICITY
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 139 – 152
- [Ciesla 90] E. Ciesla: COMPUTEREINSATZ IM PHYSIKUNTERRICHT – VORSCHLÄGE UND ANREGUNGEN
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 28, Heft 9, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1990, S. 343 – 345
- [Closset 84] J.-L. Closset: WOHER STAMMEN BESTIMMTE „FEHLER“ VON SCHÜLERN UND STUDENTEN AUS DEM BEREICH DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE? KANN MAN SIE BEHEBEN?
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 21 – 31
- [Closset 85] J.-L. Closset: USING COGNITIVE CONFLICT TO TEACH ELECTRICITY
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 267 – 273
- [Cohen 83] R. Cohen, B. Eylon, U. Ganiel: POTENTIAL DIFFERENCE AND CURRENT IN SIMPLE ELECTRIC CIRCUITS: A STUDY OF STUDENTS CONCEPTS
in: *American Journal of Physics*, Volume 51, Number 5,

AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1983, pp. 407 – 412

- [Cohen 85a] R. Cohen: CAUSAL RELATIONS IN ELECTRIC CIRCUITS: STUDENTS' CONCEPTS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 107 – 114
- [Cohen 85b] R. Cohen: USING COMPUTERS IN TEACHING ELECTRICITY
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 375 – 377
- [Cosgrove 85a] M. Cosgrove, R. Osborne, M. Carr: CHILDRENS' INTUITIVE IDEAS ON ELECTRIC CURRENT AND THE MODIFICATION OF THOSE IDEAS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 247 – 256
- [Cosgrove 85b] M. Cosgrove, R. Osborne, M. Carr: USING PRACTICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS TO PROMOTE CONCEPTUAL CHANGE
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 257 – 266
- [Dengler 93] R. Dengler: EINSTELLUNGEN GEGENÜBER PHYSIK BEI SCHÜLERN UND ERWACHSENEN
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1993, S. 413 – 418
- [Dreyfus 90] A. Dreyfus, E. Jungwirth, R. Eliovitch: APPLYING THE “COGNITIVE CONFLICT” STRATEGY FOR CONCEPTUAL CHANGE — SOME IMPLICATIONS, DIFFICULTIES AND PROBLEMS

in: *Science Education*, Volume 74, Number 5, John Wiley & Sons Inc., New York, 1990, pp. 555 – 569

- [Duit 74] R. Duit, H. Niederer: DER ELEKTRISCHE STROMKREIS
IPN Curriculum Physik Unterrichtseinheiten für die Ori-
entierungsstufe, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1974
- [Duit 83] R. Duit: STROM — EIN WORT DER ALLTAGSSPRACHE
UND DER FACHSPRACHE
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,
Jahrgang 31, Heft 10, Aulis Verlag Deubner & Co KG,
Köln, 1983, S. 344 – 347
- [Duit 85a] R. Duit: STUDENTS' REPRESENTATIONS OF THE TOPO-
LOGICAL STRUCTURE OF THE SIMPLE ELECTRIC CIR-
CUIT BEFORE AND AFTER INSTRUCTION
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects
of Understanding Electricity* Proceedings of an Inter-
national Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt &
Klaunig, Kiel, 1985, pp. 83 – 94
- [Duit 85b] R. Duit: THE MEANING OF CURRENT AND VOLTAGE IN
EVERYDAY LANGUAGE AND ITS CONSEQUENCES FOR UN-
DERSTANDING THE PHYSICAL CONCEPTS OF THE ELEC-
TRIC CIRCUIT
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects
of Understanding Electricity* Proceedings of an Inter-
national Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt &
Klaunig, Kiel, 1985, pp. 205 – 214
- [Duit 88] R. Duit: SPANNUNG ALS KENNGRÖSSE FÜR QUELLEN
UND VERBRAUCHER
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,
Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG,
Köln, 1988, S. 20 – 22
- [Duit 89] O.E. Berge, R. Duit: DER WIDERSTANDSBEGRIFF IM
PHYSIKUNTERRICHT
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,
Jahrgang 37, Heft 50, Aulis Verlag Deubner & Co KG,
Köln, 1989, S. 378 – 383
- [Duit 91a] R. Duit: ANALOGIEN UND LERNEN NATURWISSEN-
SCHAFTLICHER BEGRIFFE UND PRINZIPIEN
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und*

- Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Hamburg, September 1991, Reihe GDCP, Band L12, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1991, S. 247 – 249
- [Duit 91b] R. Duit: ON THE ROLE OF ANALOGIES AND METAPHORS IN LEARNING SCIENCE
in: *Science Education*, Volume 75, Number 6, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991, pp. 649 – 672
- [Duit 92a] R. Duit: ANALOGIEN UND LERNEN PHYSIKALISCHER BEGRIFFE UND PRINZIPIEN. — WAS ZUM LERNEN MIT ANALOGIEN AUS DER LITERATUR BEKANNT IST
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 30, Heft 7/8, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1992, S. 259 – 261
- [Duit 92b] R. Duit: VORSTELLUNGEN UND PHYSIKLERNEN — ZU DEN URSACHEN VIELER LERNSCHWIERIGKEITEN
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 30, Heft 9, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1992, S. 282 – 285
- [Duit 93a] R. Duit: SCHÜLERVORSTELLUNGEN UND NEUE UNTERRICHTSANSÄTZE
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen-Wieseck, 1993, S. 183 – 194
- [Duit 93b] R. Duit: SCHÜLERVORSTELLUNGEN — VON LERNDEFIZITEN ZU NEUEN UNTERRICHTSANSÄTZEN
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 4 – 10
- [Dykstra 92] D.I. Dykstra, Jr., C.F. Boyle, I.A. Monarch: STUDYING CONCEPTUAL CHANGE IN LEARNING PHYSICS
in: *Science Education*, Volume 76, Number 6, John Wiley & Sons Inc., New York, 1992, pp. 615 – 652
- [Evans 78] J. Evans: TEACHING ELECTRICITY WITH BATTERIES AND BULBS
in: *The Physics Teacher*, Volume 16, Number 1, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1978, pp. 15 – 22

- [Flick 91] L. Flick: WHERE CONCEPTS MEET PERCEPTS: STIMULATING ANALOGICAL THOUGHT IN CHILDREN
in: *Science Education*, Volume 75, Number 2, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991, pp. 215 – 230
- [Fredette 85] N.H. Fredette: THE CLINICAL INTERVIEW: A TOOL FOR INVESTIGATING STUDENT KNOWLEDGE AND IDEAS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 175 – 184
- [Girwidz 92a] R. Girwidz: ZANGENAMPERMETER — SENSOR FÜR STRÖME
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Berlin 1992, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1992, S. 106 – 109
- [Girwidz 92b] R. Girwidz: EINE NEUE MÖGLICHKEIT DER STROMMESSUNG IM PHYSIKUNTERRICHT
in: H. Behrendt (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Erfurt, September 1992, Reihe GDCP, Band L13, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1992, S. 256 – 258
- [Girwidz 93] R. Girwidz: NEUE MÖGLICHKEITEN DER STROMMESSUNG IM PHYSIKUNTERRICHT
in: *Physik und Didaktik*, Jahrgang 21, Heft 1, Bayerischer Schulbuch–Verlag, München, 1993, S. 65 – 74
- [Glaserfeld 91] E. v.Glaserfeld: A CONSTRUCTIVIST’S VIEW OF LEARNING AND TEACHING
in: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4 – 8, 1991, IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel), Kiel, 1991, pp. 29 – 39
- [Göbel 86] R. Göbel: METHODISCHE PROBLEME DER ERARBEITUNG UND FESTIGUNG QUALITATIVER MERKMALE VON BEGRIFFEN IM PHYSIKUNTERRICHT

in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 24, Nr. 7/8, Volk und Wissen Verlag, Berlin, 1986, S. 275 – 281

- [Göritz 85] G.-H. Göritz, H.-J. Scheffer: EINSATZ VON MIKROCOMPUTERN ZUR MESSWERTERFASSUNG UND STEUERUNG IM PHYSIK-UNTERRICHT
in: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, Jahrgang 38, Heft 2, Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn, 1985, S. 80 –87
- [Gott 85a] R. Gott: THE PLACE OF ELECTRICITY IN THE ASSESSMENT OF PERFORMANCE IN SCIENCE
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 49 – 62
- [Gott 85b] R. Gott: PREDICTING AND EXPLAINING THE OPERATION OF SIMPLE DC-CIRCUITS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 63 – 72
- [Groppe 91] J.A. Groppe: PHYSICS BY ANALOGY
in: *The Physics Teacher*, Volume 29, Number 6, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1991, p. 408
- [Härtel 80] H. Härtel, W. Walgenbach, W. Wolze: STROMSTÄRKE ALS GRUNDBEGRIFF; SPANNUNG ALS ARBEIT PRO LADUNG; WIDERSTAND ALS QUOTIENT — ES GEHT AUCH ANDERS.
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 14, Heft 4, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1980, S. 45 – 56
- [Härtel 85a] H. Härtel: THE ELECTRIC CIRCUIT AS A SYSTEM
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 343 – 352
- [Härtel 85b] H. Härtel: THE ELECTRIC VOLTAGE WHAT DO STUDENTS UNDERSTAND? WHAT CAN BE DONE FOR BETTER UNDERSTANDING?

- in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 353 – 372
- [Härtel 85c] H. Härtel: COMPUTERSIMULATION
in: *physica didactica*, Jahrgang 12, Heft 3, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1985, S. 19 – 34
- [Härtel 85d] H. Härtel: DIE ELEKTRISCHE SPANNUNG (MÖGLICHKEITEN DES EINSATZES VON COMPUTERSIMULATIONEN)
in: *physica didactica*, Jahrgang 12, Heft 3, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1985, S. 47 – 52
- [Härtel 88] H. Härtel: SPANNUNG ALS LADUNGSUNTERSCHIED
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1988, S. 36 – 37
- [Härtel 91] H. Härtel: ZUM DIDAKTISCHEN POTENTIAL DES COMPUTERS, Beitrag zur AEPF Tagung, Halle, 19./20.09.1991
- [Hammer 89] D. Hammer: TWO APPROACHES TO LEARNING PHYSICS
“I LOOK AT ALL THOSE FORMULAS...” “I’M TRYING TO IMAGINE...”
in: *The Physics Teacher*, Volume 27, Number 9, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1989, pp. 664 – 670
- [Hermann 73] F. Hermann: DIE ANALOGIE ZWISCHEN ENTROPIESTROM UND ELEKTRISCHEM STROM
in: G. Falk, F. Hermann (Hrsg.): *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts*, Heft 3, Hermann Schrödel Verlag KG, Hannover, 1973, S. 76 – 79
- [Heuer 86] D. Heuer mit Beiträgen von R. Treffer: ADAPTER UND INTERFACES ZUM C 64 – KONZEPTION UND EINSATZ
Band 1 von: Prof. Dr. D. Heuer (Hrsg.): *Handbuch Physik erfahren durch Experimente mit Heimcomputern*, Verlag Helga Heuer, Würzburg, 1986
- [Heuer 88] D. Heuer, R. Treffer: COMPUTER-VERSUCHS-ANALYSE — MESSEN, AUSWERTEN, DARSTELLEN MIT DER PROGRAMMIERUMGEBUNG: PAKMA AM BEISPIEL DES C 64
Band 2 von: Prof. Dr. D. Heuer (Hrsg.): *Handbuch Physik*

erfahren durch Computereperimente, Verlag Helga Heuer, Würzburg, 1988

- [Heuer 92a] D. Heuer: DYNAMISCHE PHYSIK–REPRÄSENTATION IN REALEXPERIMENTEN EIN BEITRAG ZUM QUALITATIVEN VERSTEHEN, Würzburg, 1992
- [Heuer 92b] D. Heuer: START UND LAUF EINES PAKMA–KERNPROGRAMMS AM AMIGA, Würzburg, 10.04.1992
- [Heuer 92c] D. Heuer: COMPUTERUNTERSTÜTZTES EXPERIMENTIEREN — EINE REALISTISCHE CHANCE, PHYSIK–VERSTEHEN ZU FÖRDERN
in: H. Behrendt (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie Probleme und Perspektiven* Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Erfurt, September 1992, Reihe GDCP, Band L13, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1992, S. 130 – 132
- [Heuer 92d] D. Heuer: ZIELSETZUNG VON COMPUTERUNTERSTÜTZTEN PRAKTIKUMSVERSUCHEN, CWd 9/92, Würzburg, 06.10.1992
- [Heuer 92e] W. Reusch, D. Heuer: EINFÜHRUNG DER KENNLINIE VON ELEKTRISCHEN LEITERN IN DER SEKUNDARSTUFE I
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 41, Heft 5, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1992, S. 13 – 16
- [Heuer 92f] D. Heuer, W. Reusch: DAS BELASTETE POTENTIOMETER — EIN BEISPIEL FÜR ABSCHÄTZUNGEN
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 41, Heft 5, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1992, S. 17 – 21
- [Heuer 93a] D. Heuer: DYNAMISCHE PHYSIK — REPRÄSENTATION ALS BRÜCKENSCHLAG ZWISCHEN REALEN EXPERIMENTEN UND INNEREN BILDERN
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1993, S. 367 – 370
- [Heuer 93b] D. Heuer: DYNAMISCHE PHYSIK — REPRÄSENTATION IN REALEXPERIMENTEN — BEISPIELE

- in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1993, S. 371 – 378
- [Heuvelen 91] A. van Heuvelen: LEARNING TO THINK LIKE A PHYSICIST: A REVIEW OF RESEARCH–BASED INSTRUCTIONAL STRATEGIES
in: *American Journal of Physics*, Volume 59, Number 10, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1991, pp. 891 – 897
- [Johsua 85a] S. Johsua, J.J. Dupin: SCHEMATIC DIAGRAMS, REPRESENTATIONS AND TYPES OF REASONING IN BASIC ELECTRICITY
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 129 – 138
- [Johsua 85b] J.J. Dupin, S. Johsua: TEACHING ELECTRICITY: INTERACTIV EVOLUTION OF REPRESENTATIONS, MODELS AND EXPERIMENTS IN A CLASS SITUATION
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 331 – 341
- [Johsua 89] J.J. Dupin, S. Johsua: ANALOGIES AND “MODELING ANALOGIES” IN TEACHING: SOME EXAMPLES IN BASIC ELECTRICITY
in: *Science Education*, Volume 73, Number 2, John Wiley & Sons Inc., New York, 1989, pp. 207 – 224
- [Jung 70] W. Jung: LEITFÄHIGKEIT, WIDERSTAND, OHMSCHES GESETZ
in: W. Jung: *Beiträge zur Didaktik der Physik — Ein Essay über ihre Probleme*, Kapitel 3.5.3., Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt a.M., 1970, S. 49 – 55
- [Jung 82a] H. Wiesner, W. Jung, I. Kiowski, E. Weber: ZUR EINFÜHRUNG VON STROMSTÄRKE UND SPANNUNG
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 388 – 394

- [Jung 82b] W. Jung, H. Wiesner, I. Kiowski, E. Weber: ZUM ANFANGSUNTERRICHT IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *physica didactica*, Jahrgang 9, Heft 5/6, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdettfurth, 1982, S. 257 – 272
- [Jung 85a] W. Jung: ELEMENTARY ELECTRICITY: AN EPISTEMOLOGICAL LOOK AT SOME EMPIRICAL RESULTS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 235 – 245
- [Jung 85b] W. Jung: STROM, STROMSTÄRKE, SPANNUNG, WIDERSTAND IM EINFÜHRENDE ELEKTRIZITÄTSLEHRE–UNTERRICHT
in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung München 1985, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1985, S. 283 – 287
- [Jung 86a] W. Jung, H.P. Voss: ZUM VERSTÄNDNIS DER ELEMENTAREN ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Gießen 1986, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1986, S. 257 – 263
- [Jung 86b] W. Jung: ALLTAGSVORSTELLUNGEN UND DAS LERNEN VON PHYSIK UND CHEMIE
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 34, Heft 13, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1986, S. 100 – 104
- [Jung 91] W. Jung: PROBING ACCEPTANCE, A TECHNIQUE FOR INVESTIGATING LEARNING DIFFICULTIES
in: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4 – 8, 1991, IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel), Kiel, 1991, pp. 278 – 295
- [Kärrqvist 85] C. Kärrqvist: THE DEVELOPMENT OF CONCEPTS BY MEANS OF DIALOGUES CENTRED ON EXPERIMENTS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects*

of Understanding Electricity Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 215 – 226

- [Kersten 90] E. Kersten: SYSTEMATISCHES ARBEITEN MIT ALLTAGSKENNTNISSEN — EINE NOTWENDIGKEIT BEI DER BEHANDLUNG PHYSIKALISCHER BEGRIFFE UND GESETZE in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 28, Heft 4, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1990, S. 135 – 142
- [Kircher 84] E. Kircher: ANALOGMODELLE FÜR DEN ELEKTRISCHEN STROMKREIS in: *Der Physik–Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 46 – 60
- [Kircher 85] E. Kircher: ANALOGIES FOR THE ELECTRIC CIRCUIT? in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 299 – 309
- [Kircher 86] E. Kircher: EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM SPANNUNGSBEGRIFF IN DER S I in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Oldenburg, September 1986, Reihe GDCP, Band L7, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1986, S. 242 – 244
- [Kunz 83] J. Kunz: DIE ABHÄNGIGKEIT DES WIDERSTANDES VON DICKE, LÄNGE UND MATERIAL in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 31, Heft 7, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1983, S. 231 – 233
- [Kunz 89] N. Kunz: DAS OHMSCHE GESETZ UND DIE ENTWICKLUNG DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE VON 1600 BIS 1850 in: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, Jahrgang 42, Heft 8, Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn, 1989, S. 482 – 487
- [Kutz 91] N. Kutz: DIE ENTWICKLUNG DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE IM SPANNUNGSFELD ALTERNATIVER WISSENSCHAFTLICHER POSITIONEN AM BEISPIEL VON OHMS ARBEITEN

- in: *Physik und Didaktik*, Jahrgang 19, Heft 1, Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1991, S. 7 – 16
- [Langensiepen 91a] F. Langensiepen: ENTWICKLUNG EINER VORSTELLUNG VOM ELEKTRISCHEN STROM
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 40, Heft 2, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1991, S. 5 – 11
- [Langensiepen 91b] F. Langensiepen: SPANNUNGSQUELLEN UND VERBRAUCHER
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 40, Heft 2, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1991, S. 14 – 23
- [Langensiepen 92] F. Langensiepen: ELEKTRIZITÄTSLEHRE ANDERS HERUM — EIN INTEGRIERTER KURS IN WÄRME- UND ELEKTRIZITÄTSLEHRE AUF DER BASIS DES ENERGIEBEGRIFFS
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 41, Heft 7, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1992, S. 5 – 13
- [Laux 84] G. Laux: EIN ZAUBERHAFTER LAMPENWÜRFEL
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 32, Heft 9, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1984, S. 311 – 314
- [Lecher 93] H. Lecher: VORUNTERRICHTLICHE VORSTELLUNGEN, ANGEEIGNETES WISSEN UND EIGENSTÄNDIGES LERNEN DER SCHÜLER — DARGESTELLT AM THEMA „ELEKTRISCHER WIDERSTAND VON BAUELEMENTEN“
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 34 – 38
- [Lehrplan] LEHRPLAN FÜR DAS BAYERISCHE GYMNASIUM FACHLEHRPLAN FÜR PHYSIK
in: *Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst Teil I*, Jahrgang 1991, Sondernummer 9, München, 29. November 1991
- [Leute 88] R. Leute: DIE EINFÜHRUNG DER ELEKTRISCHEN SPANNUNG

- in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 37, Heft 7, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1988, S. 39 – 43
- [Licht 91] P. Licht: TEACHING ELECTRICAL ENERGY, VOLTAGE AND CURRENT: AN ALTERNATIVE APPROACH
in: *Physics Education*, Volume 26, September 1991, IOP Publishing Ltd., Bristol, 1991, pp. 272 – 277
- [Liebers 86] K. Liebers: AUCH DAS GEHÖRT ZUR BEHANDLUNG VON BEGRIFFEN UND GESETZEN IM PHYSIKUNTERRICHT
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 24, Nr. 7/8, Volk und Wissen Verlag, Berlin, 1986, S. 282 – 290
- [Lightman 93] A. Lightman, P. Sadler: TEACHER PREDICTIONS VERSUS ACTUAL STUDENT GAINS
in: *The Physics Teacher*, Volume 31, Number 3, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1993, pp. 162 – 167
- [Linn] M.C. Linn: STUDENTS, MICROCOMPUTER BASED LABORATORIES, AND CURRICULUM, NATO conference
- [Lüder 92] B. Lüder: NEUE MÖGLICHKEITEN GRAPHISCHER UND NUMERISCHER AUSWERTUNGEN DURCH COMPUTERUNTERSTÜTZTES EXPERIMENTIEREN — AN BEISPIELEN AUS DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 30, Heft 9, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1992, S. 308 – 312
- [Maichle 80] U. Maichle: VERSTEHENS- UND LERNPROZESSE IM ELEKTRIZITÄTSUNTERRICHT DER SEKUNDARSTUFE I AUS KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER SICHT
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 14, Heft 4, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1980, S. 5 – 15
- [Maichle 82] U. Maichle: SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU STROMSTÄRKE UND SPANNUNG
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 383 – 387
- [Mandl 92] H.F. Friedrich, H. Mandl: LERN- UND DENKSTRATEGIEN — EIN PROBLEMAUFRISS
in: H. Mandl, H.F. Friedrich: *Lern- und Denkstrategien*

Analyse und Intervention, Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, 1992

- [Mandl 93] H. Mandl, H. Gruber, A. Renkl: LERNEN IM PHYSIK-UNTERRICHT — BRÜCKENSCHLAG ZWISCHEN WISSENSCHAFTLICHER THEORIE UND MENSCHLICHEN ERFAHRUNGEN
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen-Wieseck, 1993, S. 21 – 36
- [Manthei 90] W. Manthei: METAPHERN IM PHYSIKUNTERRICHT
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 28, Heft 11, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1990, S. 443 – 446
- [McDermott 85] L. McDermott, E. van Zee: IDENTIFYING AND ADDRESSING STUDENT DIFFICULTIES WITH ELECTRIC CIRCUITS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 39 – 48
- [McDermott 91] L.C. McDermott: MILLICAN LECTURE 1990: WHAT WE TEACH AND WHAT IS LEARNED — CLOSING THE GAP
in: *American Journal of Physics*, Volume 59, Number 4, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1991, pp. 301 – 315
- [McDermott 92a] L.C. McDermott, P.S. Shaffer: RESEARCH AS A GUIDE FOR CURRICULUM DEVELOPMENT: AN EXAMPLE FROM INTRODUCTORY ELECTRICITY. PART I: INVESTIGATION OF STUDENT UNDERSTANDING
in: *American Journal of Physics*, Volume 60, Number 11, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1992, pp. 994 – 1003
- [McDermott 92b] P.S. Shaffer, L.C. McDermott: RESEARCH AS A GUIDE FOR CURRICULUM DEVELOPMENT: AN EXAMPLE FROM INTRODUCTORY ELECTRICITY. PART II: DESIGN OF INSTRUCTIONAL STRATEGIES
in: *American Journal of Physics*, Volume 60, Number 11, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1992, pp. 1003 – 1013

- [McDermott 93] L.C. McDermott: GUEST COMMENT: HOW WE TEACH AND HOW STUDENTS LEARN — A MISMATCH?
in: *American Journal of Physics*, Volume 61, Number 4, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1993, pp. 295 – 298
- [Muckenfuß 80] H. Muckenfuß: WIE KÖNNEN SCHÜLER DIE GRUNDBEGRIFFE UND GESETZE DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE „VERSTEHEN“?
in: *Der Physik–Unterricht*, Jahrgang 14, Heft 4, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1980, S. 30 – 44
- [Muckenfuß 82] H. Muckenfuß: VORSCHLÄGE ZUR EINFÜHRUNG DER BEGRIFFE STROM, SPANNUNG UND WIDERSTAND
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 399 – 406
- [Muckenfuß 88] H. Muckenfuß: WIE PRÄZISE DÜRFEN PHYSIKALISCHE BEGRIFFE SEIN, DAMIT SCHÜLER SIE NOCH VERSTEHEN? — ERLÄUTERT AN DER BEGRIFFLICHKEIT DER ELEKTRIK
in: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, Jahrgang 41, Heft 7, Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn, 1988, S. 397 – 406
- [Muckenfuß 90] H. Muckenfuß: HANDGETRIEBENE GENERATOREN ALS HILFSMITTEL FÜR DIE BEGRIFFSBILDUNG IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER ELEMENTARISIERUNG DES SPANNUNGSBEGRIFFS
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie*, Weingarten, September 1990, Reihe GDCP, Band L11, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1990, S. 315 – 317
- [Muckenfuß 92] H. Muckenfuß, A. Walz: NEUE WEGE IM ELEKTRIKUNTERRICHT VOM TUN ÜBER DIE VORSTELLUNG ZUM BEGRIFF, Aulis Verlag Deubner, Köln, 1992
- [Muckenfuß 93] H. Muckenfuß: DER SINNGEHALT VON ALLTAGSVORSTELLUNGEN KONSEQUENZEN FÜR EIN NEUES GESAMTKONZEPT ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang

- 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 11 – 15
- [Müller 86] N. Müller: SCHÜLERVERSUCHE ZUM ANFANGSUNTERRICHT IN ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, Jahrgang 39, Heft 6, Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn, 1986, S. 352 – 354
- [Nestler 92] K.-H. Nestler: BRAUCHEN WIR AUCH KÜNFTIG NOCH SCHÜLEREXPERIMENTE IM PHYSIKUNTERRICHT?
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 30, Heft 7/8, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1992, S. 242 – 245
- [Niedderer 80] H. Niedderer: ZUR TRENNUNG DER BEGRIFFE STROMSTÄRKE UND SPANNUNG IM PHYSIKUNTERRICHT DER SI
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 14, Heft 4, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1980, S. 57 – 61
- [Niedderer 82] H. Niedderer, B. Gohmert: ZUR EINFÜHRUNG DES SPANNUNGSBEGRIFFS
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 394 – 399
- [Niedderer 91] H. Niedderer: EINE STUDIE ÜBER DENKEN UND LERNEN AM ELEKTRISCHEN STROMKREIS — MIT EINEM ELEKTRONENGASDRUCK MODELL (COMPUTER)
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie Probleme und Perspektiven* Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Hamburg, September 1991, Reihe GDCP, Band L12, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1991, S. 163 – 165
- [Niers 88] H. Niers: WAS BESAGT DAS OHMSCHE GESETZ UND WAS DAS KIRCHHOFFSCHE GESETZ
in: *Physik und Didaktik*, Jahrgang 16, Heft 2, Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1988, S. 161 – 162
- [Osborne 90] J. Osborne: SACRED COWS IN PHYSICS — TOWARDS A REDEFINITION OF PHYSICS EDUCATION
in: *Physics Education*, Volume 25, July 1990, IOP Publishing Ltd., Bristol, 1990, pp. 189 – 196

- [Otter 88] M. Otter: ZUR DEFINITION DER ELEKTRISCHEN SPANNUNG MIT HILFE DES ENERGIEBEGRIFFES
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1988, S. 27 – 35
- [Pines 86] A.L. Pines, L.H.T. West: CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND SCIENCE LEARNING: AN INTERPRETATION OF RESEARCH WITHIN A SOURCE-OF-KNOWLEDGE FRAMEWORK
in: *Science Education*, Volume 70, Number 5, John Wiley & Sons Inc., New York, 1986, pp. 583 – 604
- [Plappert 73a] D. Plappert: DIE STRUKTURGLEICHHEIT VERSCHIEDENER PHYSIKALISCHER GEBIETE GEZEIGT AM BEISPIEL HYDRAULIK — ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: G. Falk, F. Hermann (Hrsg.): *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts*, Heft 3, Hermann Schrödel Verlag KG, Hannover, 1973, S. 59 – 65
- [Plappert 73b] D. Plappert: DIE ANALOGIE ZWISCHEN DREHIMPULSSTROM UND ELEKTRISCHEM STROM
in: G. Falk, F. Hermann (Hrsg.): *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts*, Heft 3, Hermann Schrödel Verlag KG, Hannover, 1973, S. 66 – 75
- [Raabe 85] B. Raabe: ZUR UMSETZUNG EINIGER LEHRPLANANFORDERUNGEN DES STOFFGEBIETES ELEKTRIZITÄTSLEHRE KLASSE 8
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 23, Nr. 1/2, Volk und Wissen Verlag, Berlin, 1985, S. 47 – 62
- [Reif 83] F. Reif: WIE KANN MAN PROBLEMLÖSEN LERNEN? — EIN WISSENSCHAFTLICH BEGRÜNDETER ANSATZ —
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 17, Heft 1, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1983, S. 51 – 65
- [Rhöneck 80] C. v.Rhöneck: SCHÜLERÄUSSERUNGEN ZUM BEGRIFF DER ELEKTRISCHEN SPANNUNG BEIM ERKLÄREN REALER EXPERIMENTE
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 14, Heft 4, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1980, S. 16 – 29
- [Rhöneck 82] C. v.Rhöneck, B. Völker: EINFACHE ELEKTRIZITÄTSLEHRE ZWISCHEN PHYSIKALISCHEM ANSPRUCH UND LERN-SCHWIERIGKEITEN

in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 406 – 412

- [Rhöneck 84] C. v.Rhöneck, B. Völker: VORSTELLUNGEN VOM STROMKREIS UND IHR EINFLUSS AUF DEN LERNPROZESS
in: *Der Physik–Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 4 – 16
- [Rhöneck 85a] C. v.Rhöneck, B. Völker: SEMANTIC STRUCTURES DESCRIBING THE ELECTRIC CIRCUIT BEFORE AND AFTER INSTRUCTION
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 95 – 106
- [Rhöneck 85b] C. v.Rhöneck: THE INTRODUCTION OF VOLTAGE AS AN INDEPENDENT VARIABLE — THE IMPORTANCE OF PRECONCEPTIONS, COGNITIVE CONFLICT AND OPERATING RULES
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 275 – 286
- [Rhöneck 85c] C. v.Rhöneck: PROBLEMLÖSEN UND SCHÜLERVORSTELLUNGEN IM BEREICH DER EINFACHEN ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: H. Mikelskis (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Heidelberg, September 1985, Reihe GDCP, Band L6, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1985, S. 215 – 217
- [Rhöneck 85d] C. v.Rhöneck, B. Völker: LENKUNG VON LEHRER–SCHÜLER–INTERAKTIONEN BEI DER EINFÜHRUNG DES SPANNUNGSBEGRIFFS
in: H. Wiesner (Hrsg.): *Aufsätze zur Didaktik der Physik II Festschrift zum 65. Geburtstag von Walter Jung*, physica didactica, Sonderausgabe, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1985, S. 206 – 213
- [Rhöneck 86a] C. v.Rhöneck: PROBLEMLÖSEN UND SCHÜLERVORSTELLUNGEN IM BEREICH DER EINFACHEN ELEKTRIZITÄTS-

LEHRE

in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Gießen 1986, Gahmig Druck Gießen, Gießen-Wieseck, 1986, S. 264 – 266

- [Rhöneck 86b] C. v.Rhöneck: PROBLEMLÖSEN UND SCHÜLERVORSTELLUNGEN IN DER EINFACHEN ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: *physica didactica*, Jahrgang 13, Sonderheft, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1986, S. 87 – 96
- [Rhöneck 86c] C. v.Rhöneck: VORSTELLUNGEN VOM ELEKTRISCHEN STROMKREIS UND ZU DEN BEGRIFFEN STROM, SPANNUNG UND WIDERSTAND
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 34, Heft 13, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1986, S. 108 – 112
- [Rhöneck 87] C. v.Rhöneck, K. Grob: ASPEKTE DES LERNENS IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE UND DIE SIE BESTIMMENDEN FAKTOREN
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Nürnberg, September 1987, Reihe GDCP, Band L8, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1987, S. 322 – 326
- [Rhöneck 88a] C. v.Rhöneck, K. Grob: LERNERGEBNISSE IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE UND IHR ZUSAMMENHANG MIT PSYCHOLOGISCHEN VARIABLEN
in: *physica didactica*, Jahrgang 15, Heft 1, Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1988, S. 9 – 19
- [Rhöneck 88b] C. v.Rhöneck: WEGE ZUM SPANNUNGSBEGRIFF
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1988, S. 4 – 11
- [Rhöneck 88c] K. Grob, C. v.Rhöneck, B. Völker, K. Wettern: DIE GRAVITATIONSANALOGIE ZUR EINFÜHRUNG DES SPANNUNGSBEGRIFFS
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1988, S. 14 – 19

- [Rhöneck 88d] C. v.Rhöneck: AUFGABEN ZUM SPANNUNGSBEGRIFF
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,
Jahrgang 36, Heft 31, Aulis Verlag Deubner & Co KG,
Köln, 1988, S. 38 – 41
- [Rhöneck 89a] K. Grob, C. v.Rhöneck, V. Pollack: ANALYSE VON IN-
FORMATIONSVERRARBEITUNGSPROZESSEN IN DER ELEK-
TRIZITÄTSLEHRE MIT HILFE EINES EXPERTENSYSTEMS
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und
Chemie Probleme und Perspektiven* Vorträge auf der
Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Kassel, Septem-
ber 1989, Reihe GDCP, Band L10, Leuchtturm-Verlag,
Alsbach/Bergstraße, 1989, S. 254 – 256
- [Rhöneck 89b] C. v.Rhöneck, K. Grob: SCHÜLERVORSTELLUNGEN IM
ZUSAMMENHANG MIT DEM ELEKTRISCHEN WIDER-
STAND
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,
Jahrgang 37, Heft 50, Aulis Verlag Deubner & Co KG,
Köln, 1989, S. 384 – 388
- [Rhöneck 90a] K. Grob, C. v.Rhöneck: EINÜBEN VON BEGRIFFEN
UND REGELN AUS DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE MIT DEM
COMPUTER
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und
Chemie Probleme und Perspektiven* Vorträge auf der
Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Weingarten,
September 1990, Reihe GDCP, Band L11, Leuchtturm-
Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1990, S. 153 –155
- [Röhneck 90b] K. Grob, C. v.Rhöneck, V. Pollack: ANALYSE VON INFOR-
MATIONSVERRARBEITUNGSPROZESSEN IN DER ELEKTRI-
ZITÄTSLEHRE MIT HILFE EINES EXPERTENSYSTEMS
in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Phy-
sikertagung Gießen 1990, Gahmig Druck Gießen, Gießen-
Wieseck, 1990, S. 412 – 420
- [Rhöneck 90c] K. Grob, C. v.Rhöneck: ANALYSE VON INFORMATIONS-
VERRARBEITUNGSPROZESSEN IN DER ELEKTRIZITÄTS-
LEHRE MIT HILFE EINES EXPERTENSYSTEMS
in: *physica didactica*, Jahrgang 17, Heft 3/4, Verlag Bar-
bara Franzbecker, Bad Salzdettfurth, 1990, S. 76 – 87
- [Rhöneck 91a] C. v.Rhöneck: 10 JAHRE UNTERSUCHUNGEN VON
SCHÜLERVORSTELLUNGEN — ERTRAG UND PERSPEK-

TIVEN

in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Erlangen 1991, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1991, S. 90 – 108

[Rhöneck 91b]

K. Grob, V.L. Pollak, C. v.Rhöneck: COMPUTERIZED ANALYSIS OF STUDENTS' ABILITY TO PROCESS INFORMATION IN THE AREA OF BASIC ELECTRICITY

in: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4 – 8, 1991, IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel), Kiel, 1991, pp. 296 – 309

[Rhöneck 92a]

K. Grob, C. v.Rhöneck, B. Völker: SOZIALES UMFELD, PSYCHOLOGISCHE MOTIVE UND KOGNITIVE FÄHIGKEITEN ALS BEDINGUNGEN DES LANGZEITLERNENS IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

in: H. Behrendt (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Erfurt, September 1992, Reihe GDCP, Band L13, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1992, S. 280 – 282

[Rhöneck 92b]

K. Grob, C. v.Rhöneck: LERNEN IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE DURCH STRUKTURIERTE INFORMATION MIT HILFE EINES COMPUTERS

in: H. Behrendt (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Erfurt, September 1992, Reihe GDCP, Band L13, Leuchtturm–Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1992, S. 283 – 285

[Rhöneck 92c]

K. Grob, V.L. Pollak, C. v.Rhöneck: COMPUTERIZED ANALYSIS OF STUDENTS' ABILITY TO PROCESS INFORMATION IN THE AREA OF BASIC ELECTRICITY

in: A. Tiberghien, H. Mandl (Eds.): *Intelligent Learning Environment and Knowledge Acquisition in Physics*, Nato ASI Series, Series F: Computer and Systems Science, Volume 86, Springer Verlag Berlin, 1992, pp. 91 – 100

[Rhöneck 93a]

K. Grob, C. v.Rhöneck, B. Völker: SOZIALES UMFELD, PSYCHOLOGISCHE MOTIVE UND KOGNITIVE FÄHIGKEITEN ALS BEDINGUNGEN DES LANGZEITLERNENS IN DER

ELEKTRIZITÄTSLEHRE

in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1993, S. 197 – 202

[Rhöneck 93b]

K. Grob, C. v.Rhöneck: LERNEN IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE DURCH STRUKTURIERTE INFORMATION MIT HILFE EINES COMPUTERS

in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen–Wieseck, 1993, S. 203 – 208

[Rhöneck 93c]

K. Grob, C. v.Rhöneck, B. Völker: DIE ENTWICKLUNG VON VERSTEHENSSTRUKTUREN IM ANFANGSUNTERRICHT DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 24 – 29

[Rhöneck 93d]

K. Grob, C. v.Rhöneck, B. Völker: LERNEN AM COMPUTER IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 30 – 33

[Riley 85]

M.S. Riley: STRUCTURAL UNDERSTANDING AND PROBLEM SOLVING SKILL

in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN–Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 165 – 174

[Schwedes 84]

H. Schwedes, P. Schilling: WASSER UND STROM EINE SPIELORIENTIERTE UNTERRICHTSEINHEIT ZUM BEGRIFF DER ELEKTRISCHEN STROMSTÄRKE

in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 32, Heft 8, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1984, S. 263 – 273

[Schwedes 85]

H. Schwedes: THE IMPORTANCE OF WATERCIRCUITS IN TEACHING ELECTRIC CIRCUITS

in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects*

of Understanding Electricity Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 319 – 329

- [Schwedes 88] S. Menge, H. Schwedes: UNTERSUCHUNG VON LERN- UND TRANSFERPROZESSEN IM PHYSIKUNTERRICHT ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Münster/Westf., September 1988, Reihe GDCP, Band L9, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1988, S. 237 – 239
- [Schwedes 89] S. Menge, H. Schwedes, W.-G. Dudeck: FALLBEISPIELE VON SCHÜLERN IN DER AUSEINANDERSETZUNG MIT ALLTAGSVORSTELLUNGEN IM UNTERRICHT ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Kassel, September 1989, Reihe GDCP, Band L10, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1989, S. 244 – 246
- [Schwedes 90] W.-G. Dudeck, H. Schwedes: DER ELEKTRISCHE STROMKREIS ALS SYSTEM — KONZEPTERWERB MIT HILFE VON WASSERSTROMKREISEN IN DER SEK. I
in: W. Kuhn (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Gießen 1990, Gahmig Druck Gießen, Gießen-Wieseck, 1990, S. 456 – 461
- [Schwedes 91a] W.-G. Dudeck, H. Schwedes: DIE ROLLE VON ANALOGIEN BEIM ERWERB EINES BEGRIFFSSYSTEMS FÜR ELEKTRISCHE STROMKREISE. FALLBEISPIELE AUS EINEM ANALOGIE-ORIENTIERTEN PYSIKUNTERRICHT ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE SEK. I.
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Hamburg, September 1991, Reihe GDCP, Band L12, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1991, S. 343 – 345
- [Schwedes 91b] H. Schwedes, D. Schmitt: CONCEPTUAL CHANGE: A CASE STUDY AND THEORETICAL COMMENTS
in: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.): *Research in*

Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4 – 8, 1991, IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel), Kiel, 1991, pp. 188 – 202

- [Schwedese 92] W.-D. Dudeck, H. Schwedese: UND SIE LERNEN DOCH, WAS SPANNUNG IST! FALLBEISPIELE AUS EINEM ANALOGIEORIENTIERTEN PHYSIKUNTERRICHT DER SEK. 1 in: H. Behrendt (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Erfurt, September 1992, Reihe GDCP, Band L13, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1992, S. 253 – 255
- [Schwedese 93] H. Schwedese, W.-G. Dudeck: LERNEN MIT DER WASERANALOGIE EINE EINFÜHRUNG IN DIE ELEMENTARE ELEKTRIZITÄTSLEHRE in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Jahrgang 4, Heft 16, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1993, S. 16 – 23
- [Scott 91] P.H. Scott, H.M. Asoko, R.H. Driver: TEACHING FOR CONCEPTUAL CHANGE: A REVIEW OF STRATEGIES in: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4 – 8, 1991, IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel), Kiel, 1991, pp. 310 – 329
- [Shipstone 85a] D.M. Shipstone: ON CHILDRENS' USE OF CONCEPTUAL MODELS IN REASONING ABOUT CURRENT ELECTRICITY in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 73 – 82
- [Shipstone 85b] D.M. Shipstone, R.F. Gunstone: TEACHING CHILDREN TO DISCRIMINATE BETWEEN CURRENT AND ENERGY in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 287 – 297

- [Shipstone 88a] D.M. Shipstone, C. v.Rhöneck, W. Jung, C. Kärrqvist, J.J. Dupin, S. Johsua, P. Licht: A STUDY OF STUDENTS' UNDERSTANDING OF ELECTRICITY IN FIVE EUROPEAN COUNTRIES
in: *International Journal of Science Education*, Volume 10, London, 1988, pp. 303 – 316
- [Shipstone 88b] D. Shipstone: PUPILS' UNDERSTANDING OF SIMPLE ELECTRICAL CIRCUITS SOME IMPLICATIONS FOR INSTRUCTION
in: *Physics Education*, Volume 23, March 1988, IOP Publishing Ltd., Bristol, 1988, pp. 92 – 96
- [Sokoloff 91] D.R. Sokoloff, P.W. Laws, R.K. Thornton: REAL TIME PHYSICS: ACTIVE LEARNING LABORATORIES ELECTRICITY, University of Oregon, Tufts University, Dickinson College, 1991
- [Sokoloff 92] D.R. Sokoloff: TEACHING ELECTRIC CIRCUIT CONCEPTS USING MICROCOMPUTER-BASED CURRENT/VOLTAGE PROBES, NATO Advanced Research Workshop on Microcomputer-Based Laboratories, Amsterdam, November 9–13, 1992
- [Sorenson 90] R.A. Sorenson: THE RANDOM WALK METHOD FOR DC CIRCUIT ANALYSIS
in: *American Journal of Physics*, Volume 58, Number 1, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1990, pp. 1056 – 1059
- [Staver 84] J.R. Staver, D.A. Halsted: THE EFFECT OF REASONING ON STUDENT PERFORMANCE ON DIFFERENT SECTIONS OF A POSTTEST
in: *Science Education*, Volume 68, Number 2, John Wiley & Sons Inc., New York, 1984, pp. 169 – 177
- [Stühmer 88] H. Stühmer: ERFAHRUNGEN UND GEDANKEN ZUM NEUEN PRAKTIKUM KLASSE 9
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 26, Heft 6, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1988, S. 244 – 248
- [Teichmann 82] J. Teichmann: DIE HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER BEGRIFFSKONZEPTE VON SPANNUNG, STROMSTÄRKE UND WIDERSTAND
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*,

Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 380 – 383

- [Teichmann 89] J. Teichmann: BEGRIFF, EXPERIMENT UND VORURTEIL — DER LANGE WEG ZUM OHMSCHEN GESETZ
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 37, Heft 50, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1989, S. 372 – 377
- [Tenney 85] Y.J. Tenney, D. Genter: WHAT MAKES ANALOGIES ACCESSIBLE: EXPERIMENTS ON THE WATER-FLOW ANALOGY FOR ELECTRICITY
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhönneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 311 – 318
- [Thornton 93] R.K. Thornton: USING LARGE-SCALE CLASSROOM RESEARCH TO STUDY STUDENT CONCEPTUAL LEARNING IN MECHANICS AND TO DEVELOP NEW APPROACHES TO LEARNING, Chapter in book of NATO Science Series (Berlin-Heidelberg-New York, Springer Verlag, in preparation), May 1993
- [Tolle-Herlyn 85] A. Tolle-Herlyn: DER MÜHSAME WEG BIS ZUR AUSBILDUNG EINER EINFACHEN STROMKREISVORSTELLUNG
in: H. Mikelskis (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Heidelberg, September 1985, Reihe GDCP, Band L6, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1985, S. 218 – 222
- [Treffer 89] R. Treffer: FEHLKONZEPTE ERKENNEN DURCH FAKTORANALYSE VON MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN — EINE SCHNELLE MÖGLICHKEIT ZUR KONTROLLE VON LERNERFOLGEN
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Kassel, September 1989, Reihe GDCP, Band L10, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1989, S. 314 – 316
- [Voss 89] H.-P. Voss: DAS PROBLEM DER SPRACHE IN DER DIDAKTIK DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und*

- Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Kassel, September 1989, Reihe GDCP, Band L10, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1989, S. 248 – 250
- [Voss 93] H.-P. Voss: DIE BEDEUTUNG GENERELLER SCHEMATA FÜR DAS VERSTEHEN IM BEREICH DER ELEMENTAREN ELEKTRIZITÄTSLEHRE
in: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): *Didaktik der Physik* Vorträge Physikertagung Esslingen 1993, Gahmig Druck Gießen, Gießen-Wieseck, 1993, S. 209 – 214
- [Walla 91] W. Walla: EINFÜHRUNG DER ELEKTRONIK IN DER SCHULE — TEIL 2: SCHÜLERPRAKTIKUM „ELEKTRISCHE WIDERSTÄNDE“
in: *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, Jahrgang 40, Heft 1, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1991, S. 41 – 44
- [Walla 92] W. Walla: DER INNENWIDERSTAND VON MESSGERÄTEN – EINE PROBLEMSITUATION IM SCHÜLERPRAKTIKUM
in: *Physik in der Schule*, Jahrgang 30, Heft 1, Pädagogischer Zeitschriftenverlag, Berlin, 1992, S. 30 – 32
- [Waltner 93] S.A. Waltner, T.A. Lehmann: WHEN IS OHM'S LAW VALID?
in: *The Physics Teacher*, Volume 31, Number 2, AAPT (American Association of Physics Teachers) Publications, College Park, 1993, pp. 102 – 103
- [Walz 82] A. Walz: ZUR PHYSIK ELEKTRISCHER STROMKREISE
in: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Jahrgang 30, Heft 11, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, 1982, S. 375 – 380
- [Walz 84] A. Walz: E-FELDER UM STATIONÄRE STRÖME
in: *Der Physik-Unterricht*, Jahrgang 18, Heft 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1984, S. 61 – 68
- [Walz 85] A. Walz: FIELDS THAT ACCOMPANY CURRENTS
in: R. Duit, W. Jung, C. v.Rhöneck (Editors): *Aspects of Understanding Electricity* Proceedings of an International Workshop, IPN-Arbeitsberichte 59, Schmidt & Klaunig, Kiel, 1985, pp. 403 – 412

- [Winnenburg 89] W. Winnenburg: LERNWIRKSAME GESTALTUNG VON SCHALTSKIZZEN — EIN WEITERER BEITRAG ZUR INTEGRATION VON NATURWISSENSCHAFTLICHER DIDAKTIK UND PSYCHOLOGIE
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Kassel, September 1989, Reihe GDCP, Band L10, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1989, S. 251 – 253
- [Witschaß 91] G. Witschaß: GEDANKEN ZUR BEHANDLUNG DER ELEKTROSTATIK
in: K.H. Wiebel (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie* Probleme und Perspektiven Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Hamburg, September 1991, Reihe GDCP, Band L12, Leuchtturm-Verlag, Alsbach/Bergstraße, 1991, S. 334 – 336

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die Arbeit in allen Teilen selbständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Abbildungen und Tabellen habe ich selbst angefertigt und die Kernprogramme im in der Arbeit beschriebenen Umfang selbst programmiert.

Würzburg, den