

Sabrina Deisler

Der Strom macht's!

Vorstellungen 9-11jähriger Kinder
zum Thema Strom

Kassel, Juli 2003

kassel
university



Reihe Studium und Forschung, Heft 5
Herausgeber: Zentrum für Lehrerbildung der Universität Kassel

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar

ISBN 3-89958-015-X

© 2003, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

Vorwort

„Oh Gott!“ – das waren wohl meine ersten Gedanken, die mir durch den Kopf schossen, als ich mich eines unschuldigen Morgens mit dem Thema „Kindervorstellungen von Strom“ konfrontiert sah. Ich selbst hatte doch keinen blassen Schimmer von Strom geschweige denn, dass ich mich jemals auch nur ansatzweise mit diesem physikalisch– technischen Thema auseinandergesetzt hätte.

Zu diesen Voraussetzungen kamen noch die Kommentare „Echt? So ein schwieriges Thema willst du machen? Willst du dir das nicht lieber noch einmal überlegen?“ oder „Was ist Strom überhaupt?“ meiner Umwelt hinzu, allerdings waren es genau diese Fragen, die meine Neugier an dem Thema weckten. Und Interesse und Neugier sind wohl die besten Voraussetzungen für eine lange und intensive Auseinandersetzung mit einem Thema!

Die Literaturrecherche gestaltete sich im Bereich der Kindervorstellungen zu Strom in der Grundschule als schwierig, da es darüber bis jetzt kaum Untersuchungen zu geben scheint, so dass die Vergleichsmöglichkeiten verhältnismäßig gering bleiben.

Die für die Sachanalyse entlehene und dieser Arbeit zugrunde liegende Literatur ist zumeist schon etwas älter, jedoch ist die Erkenntnis über den Strom schon lange gegeben, so dass sich inhaltlich gesehen keine Schwierigkeiten ergeben.

Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Arbeit im Original getrennt von den Transkriptionen der Kinderinterviews gebunden wurde, so dass der Hinweis diesbezüglich in der Einleitung hinfällig ist.

Bedanken möchte ich mich bei all denjenigen, die mich bei der Fertigstellung meiner Arbeit unterstützt haben: Zunächst gilt mein besonderer Dank Frau Dr. Zolg für die Unterstützung bei der Themenfindung und Frau Prof. Dr. Wodzinski, die ihre freien Nachmittage für gemeinsame Literaturrecherchen geopfert und mir mit Material für die Schulinterviews ausgeholfen hat.

Ebenfalls ganz besonders herzlich möchte ich mich bei dem Zentrum für Lehrerbildung in Kassel bedanken, das durch seine finanzielle Unterstützung die Veröffentlichung meiner Arbeit überhaupt erst ermöglicht hat.

Herzlichen Dank auch an die Lehrer und Lehrerinnen der Grundschule, an der ich die Interviews mit den Kindern durchführen konnte, für die tolle Kooperation.

Des Weiteren danke ich meinem Freund Ehsan, der meine Defizite bezüglich meiner Computerkenntnisse nicht nur bei dieser Arbeit ausgleichen konnte, meiner Schwester Kristina und meiner Freundin Mareike für das Korrekturlesen, meinen Eltern, die mich in dieser Zeit besonders entlastet und unterstützt haben und zuletzt meiner Leidensgenossin Jenni, die immer ein offenes Ohr für meine Panikattacken hatte.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Zum Denken des Kindes	3
2.1. Das Denken im Allgemeinen	3
2.2. Die Entwicklung des Kausaldenkens	4
2.2.1. Das präkausale Denken des Kindes	5
2.2.2. Übergang zum realistischen Kausaldenkens.....	8
2.2.3. Der kritische Realismus	8
2.3. Zum technischen Denken des Kindes	9
2.4. Zum Begegnen mit physikalischen Phänomenen	10
3. Der Strom als Gegenstand der Untersuchung.....	12
3.1. Wichtige Etappen aus der Geschichte der Elektrizität	12
3.2. Sachanalyse	15
3.2.1. Was ist elektrischer Strom?	16
3.2.2. Die Richtung des Stroms	17
3.2.3. Leiter, Halbleiter und Nichtleiter	18
3.2.4. Der einfache elektrische Stromkreis	19
3.2.5. Stromformen.....	20
3.2.6. Die Wirkungen des elektrischen Stroms.....	23
3.2.6.1. <i>Die Wärmewirkung</i>	23
3.2.6.2. <i>Die Leuchtwirkung</i>	24
3.2.6.3. <i>Die magnetische Wirkung</i>	25
3.2.6.4. <i>Die chemische Wirkung</i>	26
4. Kind und Strom	28
5. Vergleichstexte zu Kindervorstellungen von Strom im Vorfeld der Untersuchung ...	31
5.1. Untersuchung von Elke Stork und Hartmut Wiesner.....	31
5.2. Untersuchung von Ernst Kirchner und Heidi Werner	34
5.3. Untersuchung von H. Asoko.....	36
5.4. Zusammenfassung der Vergleichstudien	38
6. Die Untersuchung: Vorstellungen 9 bis 11jähriger Kinder zum Thema „Strom“	39
6.1. Planung und Durchführung.....	39
6.1.1. Zielsetzung der Untersuchung	39
6.1.2. Die Methode	39
6.1.3. Die Leitfragen der Interviews	43
6.1.4. Die Materialien des Versuchsaufbaus	46
6.1.5. Durchführung der Interviews.....	47
6.1.6. Auswahl der Probanden.....	48
6.1.7. Pretest	49

6.2.	Auswertung der Untersuchung	50
6.2.1.	Auswertungskriterien der Einzelinterviews	50
6.2.2.	Auswertung und Diskussion der Ergebnisse der Einzelinterviews	50
6.2.2.1.	<i>Julian (9,11)</i>	51
6.2.2.2.	<i>Adrian (9,9)</i>	53
6.2.2.3.	<i>Christina (10,9)</i>	55
6.2.2.4.	<i>Nina (9,11)</i>	58
6.2.2.5.	<i>Tim (9,3)</i>	60
6.2.2.6.	<i>Marius (9,2)</i>	62
6.2.2.7.	<i>Ricardo (11,4)</i>	65
6.2.2.8.	<i>Jan (9,7)</i>	67
6.2.3.	Vergleich und Diskussion der Einzelinterviews	70
7.	Vergleich der Ergebnisse im Kontext der Vergleichstexte	77
8.	Schlussbetrachtung	80
9.	Literatur- und Quellenverzeichnis	81
10.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	85
11.	Anhang: Transkriptionen der Einzelinterviews	87
11.1.	David (10,2) (Pretest)	88
11.2.	Max (10,9) (Pretest)	91
11.3.	Julian (9,11)	94
11.4.	Adrian (9,9)	98
11.5.	Christina (10,9)	101
11.6.	Nina (9,11)	104
11.7.	Tim (9,3)	108
11.8.	Marius (9,2)	111
11.9.	Ricardo (11,4)	115
11.10.	Jan (9,7)	118

1. Einleitung

Elektrischer Strom ist ein Phänomen, das uns in unserem Umfeld alltäglich begegnet. Der Fernseher, das elektrische Licht, die Stereoanlage, die Küchenmaschine - kaum ein Gerät, das unser Leben angenehmer und leichter gestaltet, funktioniert heute noch ohne einen Anschluss an eine Steckdose oder Batterie.

Natürlich entgeht auch Kindern dieses bei der Wahrnehmung und der Beschäftigung mit ihrer Umwelt nicht, doch erkennen sie die Ursachen hierfür? Und wie erklären sie sich diese nicht sinnlich erfassbare Energie, die sie täglich wie selbstverständlich einsetzen? Können sie sich dieses Phänomen überhaupt erklären, und wenn ja, welche Vorstellungen besitzen sie über den Sachverhalt „Strom“?

Der Fokus dieser Arbeit soll sich zunächst darauf richten, die kognitive Entwicklung eines Kindes und den Sachverhalt Strom im Einzelnen zu beleuchten, um dann in einer Auseinandersetzung mit diesen Erkenntnissen die Möglichkeiten oder auch Grenzen einer Behandlung des Themas „Strom“ mit Kindern im Grundschulalter aufzugreifen. Ziel der theoretischen Auseinandersetzung soll eine Überprüfung im Realen sein, wobei Kinderaussagen, die im Rahmen einer Untersuchung entstanden sind, über das Phänomen Strom analysiert und ausgewertet werden.

Das erste Kapitel dieser Arbeit umfasst das Denken des Kindes im Grundschulalter, wobei der Schwerpunkt auf der Entwicklung seines Kausaldenkens bis zum Ende des Grundschulalters liegen soll. Entsprechend des Themas wird zusätzlich speziell das technische Denken aufgegriffen und im Anschluss mögliche Erklärungsansätze des Grundschulkindes bezüglich der Begegnung mit physikalischen Phänomenen beschrieben.

Das zweite Kapitel dieser Arbeit beschäftigt sich mit dem Sachverhalt Strom. Dafür wird zunächst ein kurzer, historischer Abriss über die Entwicklung der Elektrizität angeführt, bevor das Weiteren der Strom, der der Untersuchung zugrunde liegt, mit seinen wichtigsten Funktionen und Vorgängen vorgestellt wird.

Im dritten Teil dieser Arbeit wird unter Berücksichtigung der ersten beiden Kapitel die Bedeutung der Behandlung des Themas für Kinder betrachtet. Dem gegenüber steht, ob der Sachverhalt mit dem geistigen Stand des Kindes im Grundschulalter in Einklang gebracht werden kann.

Im vierten Kapitel werden Vergleichstexte im Vorfeld der eigenen Untersuchung herangezogen, in denen die wichtigsten Aussagen über Vorstellungen von Kindern zu Strom aufgezeigt werden. Dabei soll festgestellt werden, ob sich tendenziell Vorstellungen überschneiden. Die zusammengetragenen Ergebnisse sollen als Richtlinien der anschließenden Untersuchung gelten, um eine Basis für einen späteren Vergleich zu schaffen.

Die im fünften Teil beschriebene eigene Untersuchung thematisiert nochmals Vorstellungen von Kindern über den Sachverhalt Strom, die im Gespräch und im Experiment erlangt wurden. Zu diesem Zweck wurden acht Kinder im Alter zwischen 9 und 11 Jahren in die Studie einbezogen, in der sie über den Sachverhalt „Strom“ befragt wurden. Die dabei entstandenen und dokumentierten Kinderaussagen, deren Transkriptionen sich zur besseren Handhabung im separat gebundenen Anhang befinden, werden unter den Gesichtspunkten der vorangegangenen Kapitel ausgewertet und anschließend miteinander verglichen.

Das sechste Kapitel dieser Arbeit stellt die Ergebnisse der Vergleichstexte mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung gegenüber, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzuzeigen. Des Weiteren kann dabei gegebenenfalls eine Entwicklung in den Vorstellungen der Kinder in der Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt „Strom“ aufgezeigt werden.

Zum Abschluss dieser Arbeit wird ein Resümee bezüglich des Aufbaus und der Resultate dieser Arbeit gezogen, wobei diese kritisch beleuchtet werden sollen.

2. Zum Denken des Kindes

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit dem Denken des Kindes.

Dabei wird zunächst auf das Denken im Allgemeinen anhand von Definitionen eingegangen, um die Begrifflichkeit näher betrachten zu können. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt - im Hinblick auf die Untersuchung - auf dem Kausaldenken des Kindes bis zum Ende des Grundschulalters, welches das Verhältnis von Ursache und Wirkung eines Sachverhaltes thematisiert. Entsprechend des Themas dieser Arbeit wird zudem im Speziellen auf das technische Denken des Kindes und auf das Begegnen mit physikalischen Phänomenen eingegangen.

Dabei ist anzumerken, dass bei den zwei zuletzt angeführten Punkten im Wesentlichen nur auf die Sachverhalte eingegangen wird, die bei der Untersuchung eine Rolle spielen werden.

2.1. Das Denken im Allgemeinen

Da das Denken das zentrale Thema dieses Kapitels ist, ist es interessant, sich zunächst mit der Begrifflichkeit auseinanderzusetzen. Was ist Denken überhaupt und wie denken wir?

Der „Brockhaus“ gibt zum Denken folgende Definition:

„Denken [urspr. >empfinden<, >kennen<, >wissen<, >denken<, verwandt mit danken und dünken], psych. Vorgang, umfasst das vorsätzliche Bemühen und den psych. Prozess, Gegenstände zu finden, zu erfassen, zu erkennen, zu verstehen, zu unterscheiden, sie einzuordnen, zu beurteilen und als Themen zu behandeln; die spez. menschl. Fähigkeit zur Erfassung von Wirklichkeit, der problemlösenden Daseinsbewältigung, Erkenntnis von Möglichkeiten (Spontaneität) und Repräsentanz von Ereignissen oder Informationen durch ikon. Systeme (Sprache, Schrift, Zeichen, Bilder, Handlungen) [...]“ (Brockhaus, Bd. 5, 1997, S.222)

Im „Lexikon Sachunterricht“ wird dieser Komplex in eine Abfolge von verschiedenen Schritten gebracht. Dabei werden nach Dewey fünf Schritte eines Denkaktes beschrieben:

1. Bei der Begegnung mit einer Schwierigkeit wird man zunächst in einen Zustand des Zweifels, der Verwirrung oder der Frustration versetzt.
2. Nach der Lokalisation und Präzision der Schwierigkeit werden zunächst alle Variablen einbezogen, die zu einer Lösung des Problems beitragen könnten.
3. Es wird nach einem Lösungsansatz gesucht, indem zunächst die eigene kognitive Struktur nach möglichen Lösungen durchsucht wird. Bei diesem Prozess werden das bereits vorhandene Wissen und Können neu geordnet.
4. Nach der Entwicklung eines Lösungsansatzes wird dieser auf seine Eignung und eventuelle Unstimmigkeiten hin überprüft.

5. Die Problemlösung wird kritisch in die eigene kognitive Struktur eingegliedert und bei einer Bewahrung auf ähnliche Sachverhalte übertragen (vgl. Dewey nach Kaiser (Hrsg.), 2000, S. 28f).

Das Denken lässt sich also als einen kognitiven Prozess beschreiben, der es den Menschen erleichtert, sich im alltäglichen Leben zu orientieren, indem neue Erfahrungen mit alten in Verbindung gebracht werden.

Nach Piaget werden Denkstrukturen durch Assimilations- und Akkommodationsprozesse gebildet (vgl. Piaget nach Biester, 1991, S.30).

Bei der Assimilation (lat. Ähnlichmachung) werden Informationen, die aufgenommen werden, in bereits vorhandene Strukturen eingefügt, d.h. dass eine neue Erfahrung bzw. ein neuer Eindruck mit Hilfe von bereits bestehenden Strukturen interpretiert wird (vgl. Böhm, 2000, S. 36). Dabei werden Verhaltens-, Erklärungs- und Begriffsschemata ausgebildet (vgl. Biester, 1991, S. 28).

Wenn sich das bereits vorhandene Wissen nicht auf eine neue Information anwenden lässt, werden die Schemata selbst ergänzt, verändert oder sogar gänzlich verworfen, so dass sie nicht im Gegensatz zu den bereits vorhandenen Schemata stehen. Dabei spricht Piaget von der Akkommodation (Ebd.).

Bei einer selbstgesteuerten Wissenskonstruktion, die durch eine Interaktion mit der Umwelt ausgebildet wird, spricht man vom sog. Konstruktivismus. Dabei wird das Wissen nicht übernommen, sondern das bereits vorhandene Wissen wird durch neu gemachte Erfahrungen neu organisiert und strukturiert (vgl. <http://www.psyworx.de> [11.09.02]). Darauf wird hierbei nicht näher eingegangen, da dies nicht dem Interesse dieser Arbeit entspricht.

Wenn Gedanken geordnet, Strukturen zusammengefasst und Sachverhalte auf etwas Einfacheres zurückgeführt werden können, spricht man von ersten Ansätzen des Verstehens (vgl. Köhnlein In: Köhnlein (Hrsg.), 1998, S.75).

2.2. Die Entwicklung des Kausaldenkens

Das Kausaldenken spielt für die Darlegung des Themas dieser Arbeit eine bedeutende Rolle und wird daher besonders berücksichtigt.

Den folgenden Ausführungen liegen im besonderen Maße Möller, die sich an der älteren Entwicklungspsychologie orientiert, Roth, Biester, Zietz und - wegen des physikalischen Schwerpunkts dieser Arbeit - Wagenschein zugrunde.

Die Einteilung in das präkausale Denken, den Übergang zum realistischen Kausaldenken und den kritischen Realismus geschieht in Anlehnung an Möller.

Dabei steht im Vordergrund des Interesses, ob Grundschüler bei Vorstellungen zum Phänomen Strom bereits das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung erkennen können und inwieweit ihre Erklärungen und Deutungen bereits ausgereift sind.

2.2.1. Das präkausale Denken des Kindes

Die Stufe vor dem eigentlichen Kausaldenken wird nach Möller als präkausales Denken bezeichnet und wird in der älteren Entwicklungspsychologie bis zu einem Alter von 7 bis 8 Jahren angegeben (vgl. Möller, 1990, S. 55ff).

Diese Altersgruppe entspricht zwar nicht den Probanden dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung, dennoch ist eine ausführliche Behandlung gerade deshalb so wichtig, da Kinder - wie auch Erwachsene - bei schwierigen Fragen auf Erklärungsmuster zurückgreifen, die normalerweise schon längst überwunden zu sein scheinen (vgl. u.a. Möller, 1990, S. 58/ Wagenschein, 1976, S.60). Zudem ist die Altersgruppe der Probanden, die zwischen dem 9. und 11. Lebensjahr liegt, sehr nah an der Altersgruppe gelegen, denen man noch ein präkausales Denken zuschreibt.

So ist auch zu vermuten, dass Kinder in den Bereichen, in denen sie bereits viele konkrete Erfahrungen sammeln konnten und denen sie ein großes persönliches Interesse entgegenbringen, früher in eine „nächst höhere“ bzw. distanziertere Stufe des Erklärens und Denkens aufsteigen, als dies in Bereichen, die außerhalb ihrer Interessen oder der Reichweite ihrer Erfahrungen liegen, der Fall ist.

Natürlich lassen sich die Phasen der geistigen Entwicklung nicht exakt durch das Lebensalter eines Kindes abgrenzen, so dass alle aufgeführten Altersangaben kritisch gesehen werden müssen. Trotzdem ist es bemerkenswert, dass von vielen Psychologen ähnliche Beobachtungen innerhalb eines Alterabschnitts bezüglich des kindlichen Denkens gemacht wurden.

Das präkausale Denken ist durch eine Egozentrik des Kindes gekennzeichnet (vgl. Biester, 1991, S. 31/ Möller, 1990, S. 61) und wird durch magisch- animistische, magisch- mythische, anthropomorphe, finalistische und artifizielle Deutungen geprägt (vgl. Biester, 1991, S. 31f/ Möller, 1990, S.53ff/ Roth, 1974, S.155f/ Wagenschein, 1976, S. 60ff).

Die Egozentrik des Kindes zeichnet sich dadurch aus, dass das Kind noch nicht zwischen seiner Umwelt und dem eigenen „Ich“ unterscheiden kann, so dass diese beiden Faktoren als identisch gelten (vgl. Möller, 1990, S. 61). So werden sowohl die Ursachen als auch die Wirkungen, die für das Kind selbst gelten, auf die Außenwelt übertragen (vgl. Biester, 1991, S. 31) und jegliche Dinge werden nur aus der eigenen Perspektive betrachtet (vgl. Möller, 1990, S. 61).

Eine **praktische Kausalität** erlangt ein Kind bereits ab etwa 2 Jahren, wobei Zweckrelationen und Motivationszusammenhänge im Vordergrund stehen. Dabei werden Kausalzusammenhänge praktisch bzw. handelnd erkannt, damit der gewünschte Zweck erreicht werden kann und somit eintritt (vgl. Biester, 1991, S.33).

Die **magisch- animistische Phase des Denkens** zeichnet sich dadurch aus, dass leblose Dinge beseelt werden, d.h. sie werden mit einem Bewusstsein und einem eigenen Willen ausgestattet (vgl. Möller, 1990, S. 57). *„Die Dinge handeln wie Menschen aus Gründen, zu diesem oder jenem Zweck und mit mehr oder weniger Macht.“* (Wagenschein, 1976, S.65)

Werner begründet dieses Denken durch eine noch undifferenzierte Auffassung des Kindes über das Organische und Unorganische (vgl. Werner nach Roth, 1974, S.156). Wagenschein dagegen sieht die Gründe hierfür in der Sprache des Menschen, die in untrennbaren Zusammenhang mit dem Denken steht. So sind in der Muttersprache magisch- animistische Äußerungen fest verankert (z.B. „Der Wind weht.“), die durch Erwachsene weitergegeben werden (vgl. Wagenschein, 1976, S. 66f).

Nach Piaget findet bei diesem Denken mit zunehmendem Alter eine Differenzierung statt, so dass bis etwa 7 Jahren allen Dingen, die sich bewegen oder bewegen lassen, ein Bewusstsein zugeschrieben wird, während ab etwa 7 bis 10 Jahren nur noch den Gegenständen ein Bewusstsein zugeordnet wird, die sich von selbst bewegen und die sich ständig in Bewegung befinden (z.B. Wolken). Leblose, sich bewegende Dinge, die aus der Erfahrungswelt des Kindes stammen, werden bereits realistisch gesehen. Ab ca. 10 bis 11 Jahren wird nur noch den Dingen ein Bewusstsein zugeschrieben, die sich zwar bewegen, deren Antriebsquelle jedoch nicht erschließbar ist. Ab ca. 11 Jahren werden nur noch Tiere und Pflanzen als lebendig angesehen (vgl. Piaget nach Roth, 1974, S.156).

Dabei ist sicherlich eine Verschiebung der Phasen ineinander zu vermuten, da Gegenstände, die den Alltag des Kindes betreffen, wahrscheinlich früher realistisch eingeschätzt werden können, während diejenigen Dinge, die durch eine zu große Entfernung unerschließbar bleiben, länger als lebendig gelten.

Beim **magisch- mythischen Denken** werden leblosen Dingen unsichtbare Willensmächte zugeschrieben (vgl. Möller, 1990, S. 57), die nach Roth zwei zentrale Funktionen haben: Zum einen kann die Realität uminterpretiert werden, so dass sie den Wünschen des Denkenden entsprechen und zum anderen kann bei Sachverhalten, die unbekannt sind und somit Ängste hervorrufen können, durch magisch- mythische Äußerungen ein Sinnzusammenhang hergestellt werden, so dass die Angst partiell durch das eigene Verhalten beeinflusst werden kann (vgl. Roth, 1974, S.159).

Wagenschein schreibt dem Magischen eine besonders große Bedeutung zu, da es fester Bestandteil des menschlichen Innenlebens ist. So sollten auch physikalische Phänomene vom Gesichtspunkt des Magischen aufgeschlossen werden, denn *„wenn wir die äußere Schicht stärken wollen, so müssen wir zuerst die innere anreden und anregen. Was außen anwachsen soll, müssen wir von innen heraus wachsen lassen. Das magische Denken bleibt also weiterhin eine schöpferische Potenz, von der her wir die äußeren Schalen des geistigen Wachstums aufbauen können.“* (Wagenschein, 1976, S. 67)

Ein weiteres Merkmal des präkausalen Denkens ist das **anthropomorphe Denken** des Kindes, wobei eine Personifizierung der leblosen Gegenstände vorgenommen wird.

Roth sieht die Personifizierung in Anlehnung an Piaget als einen Assimilationsprozess, bei dem zwischenmenschliche Interaktionsschemata auf leblose Gegenstände übertragen werden. Dies wird spielerisch in Rollenspielen durchgeführt, bei denen das Kind neben seiner eigenen Funktion zudem die Rolle des Gegenstandes übernimmt. Als extremste Form hierfür wird der imaginäre Spielkamerad eines Kindes angesehen (vgl. Roth, 1974, S.156).

Nach Bühler werden anthropomorphe Äußerungen insgesamt immer seltener und auch Zietz schreibt Kindern in Bereichen mit Erfahrungen im realen Leben bereits sehr sachliche Äußerungen zu (vgl. Bühler, Zietz nach Möller, 1990, S.58).

Bei **finalistischen Deutungen** wird auf die Nützlichkeit und den Zweck eines Gegenstandes eingegangen, d.h. den leblosen Dingen wird ein bestimmter Sinn als Legitimation ihrer Existenz zugeschrieben, wobei der Zweck eines Zusammenhangs und nicht die Wirkungsursache im Vordergrund steht (vgl. Möller, 1990, S.57). Das Empfinden des Kindes spielt im Zusammenhang mit dem Phänomen eine große Rolle (vgl. Biester, 1991, S.31), so werden die Dinge meist mit dem Wort „damit“ verbunden, so dass sie zum Wohl des Denkenden gedeutet werden können (z.B. „Die Sonne scheint, damit uns warm ist.“) (vgl. Roth, 1974, S.157), denn *„[...] nach wie vor ist es nicht so sehr das Warum, sondern das Wozu der Dinge, was dem Kinde den Sinnzusammenhang in der Welt garantiert. Das Dasein der Dinge wird für das Kind erschöpfend erklärt durch den Zweck, den sie in der Welt des Menschen zu erfüllen haben.“* (Zietz, 1955, S.28)

Das **artifizialistische Denken** ist ein weiteres Merkmal des präkausalen Denkens. Dabei werden die Dinge als Ergebnis menschlicher Tätigkeit aufgefasst und somit von Werner und Hansen auch als die „Kausalität des Machens“ bezeichnet (vgl. Werner, Hansen nach Möller, 1990, S.59).

Nach Piaget lassen sich dabei 4 Stadien erkennen, die über die Altersgruppe, der das präkausale Denken zugeschrieben wird, hinausgehen (vgl. Piaget nach Möller, 1990, S. 59ff):

1. Im **diffusen Artifizialismus** ergänzen sich die Notwendigkeit der Naturerscheinung und die Vorstellung der menschlichen Tätigkeit als Ursache. Diese Phase schreibt Piaget Kindern bis etwa 7 bis 8 Jahren zu.
2. Im **mythologischen Artifizialismus** wird Gott die Erschaffung und Erscheinung von Naturgegebenheiten zugeschrieben.
3. Im **technischen Artifizialismus** vermischen sich natürliche mit artifiziellen Erklärungen. Die Natur wird nicht mehr ausschließlich als von Menschenhand konstruiert angesehen, sondern auf das beschränkt, was realisierbar ist. Diese Phase beginnt ab etwa 6 bis 7 Jahren und dauert bis etwa 9 bis 10 Jahren an.
4. Im **immanenten Artifizialismus** werden ab etwa 9 bis 10 Jahren die menschlichen Tätigkeiten auf die Natur übertragen, so dass der Natur die Funktion des Machenden zugeschrieben wird. Dabei stehen natürliche Erklärungen im Vordergrund, während auf menschliche und technische fast vollständig verzichtet wird.

2.2.2. Übergang zum realistischen Kausaldenken

Im Verlauf der Grundschulzeit und mit zunehmender Erfahrung beginnt sich die Einstellung des Kindes zu seiner Außenwelt zu ändern. Die Egozentrik des Kindes beginnt abzunehmen, so dass eine größere Distanz zu den Dingen entsteht, die es ermöglicht, dass eine größere Trennung als zuvor zwischen der inneren und der äußeren Welt stattfindet (vgl. Biester, 1991, S.35).

Weiter gelingt dem Kind die Trennung der Phänomene in eine belebte und unbelebte Welt. *„Das Kind kommt zu der Einsicht, daß die Dinge mechanisch wirkenden Kräften unterliegen und nicht nach Kategorien aufgefaßt werden dürfen, die für das Lebendige gelten.“* (Zietz, 1955, S.37)

Die Einstellung zu den Dingen beginnt demnach stetig realistischer sowie sachlicher zu werden, da das Kind in dieser Phase bereits das eigene Erlebte von seinen Beobachtungen trennen kann (vgl. Biester, 1991, S.35). Allerdings dringt das Kind in der Regel nur zu den Bedingungen und nicht zu den Ursachen eines Phänomens vor. So stehen nicht die „weil“-Zusammenhänge, sondern die „wenn“-Zusammenhänge im Vordergrund des Denkenden (vgl. Möller, 1990, S.63).

Meist stellt das Kind Beziehungen zwischen den Teilbedingungen in Form von „wenn, dann“-Konstruktionen her, die nach Wagenschein als erste Ansätze des Kausaldenkens gesehen werden, da das Kind versucht, zu dem Phänomen vorzudringen und es sich zu erklären (vgl. Wagenschein, 1976, S.74).

2.2.3. Der kritische Realismus

Nachdem das Kind eine Distanz zu seiner äußeren Welt entwickelt hat, nimmt es mit etwa 10 bis 11 Jahren eine kritische und distanzierte Stellung zu seiner Umwelt ein.

Der kritische Realismus zeichnet sich dadurch aus, dass die Phänomene, denen ein Kind begegnet, hinterfragt werden. Dabei wird zunehmend in Wesentliches und Unwesentliches unterschieden. Es wird nach Beweisen gesucht und die Erklärungen des Kindes beziehen sich auf das Phänomen selbst, wobei erste Theorien gebildet werden, die nach einer Prüfung eventuell verworfen und neu überdacht werden (vgl. Biester, 1991, S.35/ Möller, 1990, S.66).

Hierbei können einzelne Aspekte aus komplexen Geschehnissen herausgelöst und gesondert betrachtet werden, und zunehmend steht die Frage nach dem „Warum“ der Dinge im Vordergrund (vgl. Biester, 1990, S.35f).

Dabei ist nach Zietz das Denken des Kindes noch fest an anschauliche, konkret-gegebene Sachverhalte gebunden (vgl. Zietz nach Möller, 1990, S.70). Biester erweitert aus der heutigen Sicht die Aussage Zietz', indem er darauf hinweist, *„[...] daß Zehn- und Elfjährige häufig in der Lage sind, auch für das Nichtsichtbare Vorstellungen zu aktivieren, auszuwählen, kausal aufeinander zu beziehen und zu überprüfen.“* (Biester, 1991, S.38), sofern es sich um solche Bereiche handelt, denen das Kind ein großes Interesse entgegenbringt.

Nach den Ausführungen über die Entwicklung des Kausaldenkens lässt sich als Ausblick auf die Untersuchung folgendes vermuten: Kinder sind zum Ende der Grundschulzeit bereits in der Lage, einzelne Teilaspekte eines Komplexes zu beleuchten und außerdem nach dessen Ursachen zu fragen und diese gegebenenfalls zu erkennen.

Da der Strom jedoch in den Bereich des Nichtsichtbaren fällt, lassen sich in der zugrunde liegenden Altersgruppe ferner auch Elemente des präkausalen Denkens als Erklärungs- und Deutungsansätze vermuten.

2.3. Zum technischen Denken des Kindes

Das technische Denken des Kindes spielt in Bezug auf das Thema „Strom“ und im Speziellen für den Aufbau eines einfachen Stromkreises, der bei der Untersuchung zur Anschaulichkeit benutzt wird, eine bedeutende Rolle.

Die zentrale Frage hierbei ist, ob Kinder im Grundschulalter die Einzelteile eines elektrischen Gerätes bereits in einen funktionalen Zusammenhang bringen können. Dafür werden im Folgenden das technisch- konstruktive und das technisch- funktionale Denken näher beleuchtet.

Ullrich geht dabei davon aus, dass sich die Entwicklung des technischen Denkens als ein Prozess der Differenzierung darstellt. Damit ist konkret das technisch- konstruktive Denken gemeint, bei dem das Kind immer mehr Einzelteile eines Gegenstandes wahrnimmt und erfasst, diese allerdings noch nicht in einen funktionalen Zusammenhang bringen kann (vgl. Ullrich, 1994, S. 16).

Bereits Neubauer stellte 1928 fest, dass Kinder bis 9 Jahren die Elemente eines Gegenstandes in den Vordergrund stellen, denen sie besondere Gefühle entgegenbringen. Diese Phase bezeichnete er als „Primitivstadium“ (vgl. Neubauer nach Möller, 1990, S. 71).

Auch Piagets Untersuchung an Fahrradzeichnungen zeigte, dass Kinder zunächst nur diejenigen Teile zeichnen, die für sie selbst von großer Bedeutung sind. Erst ab 8 Jahren gelingt es Kindern einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Einzelteilen herzustellen, obwohl ab 7 Jahren bereits Versuche dahingehend unternommen werden (vgl. Piaget nach Möller, 1990, S. 74). Hierbei spricht Neubauer von einem „Übergangsstadium“, das bis zum 12. Lebensjahr anhält. Ab dem Ende der Grundschulzeit sind seiner Meinung nach Kinder in der Lage, bei einfachen Maschinen funktionsgerechte Konstruktionen zu erfassen, aber erst im „Endstadium“ ab 12 Jahren ist das Denken so weit ausgereift, dass komplizierte technische Funktionen realisiert werden können (vgl. Neubauer nach Möller, 1990, S. 71).

Im Gegensatz dazu stellte Schaal 1963 bei einer Untersuchung über die Funktionsweisen von technischen Geräten fest, dass Kinder bereits ab dem ersten Schuljahr, also ab etwa 6 Jahren, sehr sachliche Äußerungen über technische Sachverhalte liefern können. Dabei sei auch das Verhältnis zu komplizierten Maschinen sehr analytisch. Personifizierungen, Anthropomorphisierungen und magisch- mythische Äußerungen seien weitgehend ausgeblieben, was in anderen Bereichen nicht der Fall sei (vgl. Schaal nach Möller, 1990, S. 73).

Nach Resag ist das technisch- konstruktive Denken des Kindes an das bereitliegende Material gebunden, denn dabei können Kinder zwischen 9 und 11 Jahren durch Ausprobieren ihre Auswahl mit der Funktion in Verbindung setzen (vgl. Resag nach Möller, 1990, S. 72). Dies bestätigt auch Stückrath, der dem Handeln eine große Bedeutung zuschreibt, da dadurch konkret die Ursachen und Wirkungen erfahren werden können (vgl. Stückrath nach Möller, 1990, S. 72).

Biester stellt in diesem Zusammenhang die Wahrnehmung in den Vordergrund, die seiner Meinung nach nur selten vom Handeln selbst trennbar ist, da durch die Verbindung Beziehungen zu anderen Sachverhalten hergestellt werden können. Des Weiteren spielen die bei einer Handlung entstehenden Bewegungen und Geräusche eine große Rolle, da die Wahrnehmung dadurch auf die verschiedenen Sinne projiziert wird (vgl. Biester, 1991, S. 24f).

Das technisch- funktionale Denken sieht Ullrich als einen Prozess der Integration, d.h. die zuvor nur wahrgenommenen Einzelteile werden in einen Zusammenhang gestellt und Beziehungen zwischen ihnen werden erkannt. Das technisch- funktionale Denken grenzt Ullrich gegenüber dem technisch- konstruktiven Denken durch eine langsamere Entwicklung und eine niveaureichere Denktätigkeit ab (vgl. Ullrich, 1994, S. 16f).

Während Neubauer, Resag, Piaget und Schaal die Entwicklung des technischen Denkens bestimmten Alterstufen zuordnen, besagt Ullrichs Theorie, dass in jeder Altersstufe erhebliche Unterschiede anzutreffen sind, die von individuellen Faktoren beeinflusst werden (vgl. Ullrich, 1994, S.17ff).

Dabei ist auch anzumerken, dass die erstgenannten Angaben schon einige Zeit zurückliegen und sich die technische Umgebung der Kinder in den letzten Jahrzehnten drastisch verändert hat. Weiter muss die Einteilung in Stufen, die einem bestimmten Alter zugeordnet sind, kritisch gesehen werden, da jedes Kind durch verschiedene Vorerfahrungen, Förderungen durch sein Umfeld und die eigene Entwicklung als Individuum angesehen werden muss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Kinder zunächst die Teile eines Gegenstandes berücksichtigen, die für sie eine große Bedeutung haben. Durch einen aktiven und handelnden Umgang sind Kinder in der Lage, Funktionsweisen zu erkennen und schließlich zu verinnerlichen. Dies kann bereits bei Kindern am Anfang der Grundschulzeit angetroffen werden. Bei Kindern gegen Ende der Grundschulzeit wurde von allen oben angeführten Personen ein technisch- funktionales Denken bei zumindest einfachen technischen Sachverhalten angetroffen, so dass bei der Untersuchung davon ausgegangen werden kann, dass die Kinder beim Ausprobieren, den funktionalen Zusammenhang des einfachen Stromkreises erkennen können.

2.4. Zum Begegnen mit physikalischen Phänomenen

Die Behandlung des physikalischen Denkens des Kindes ist in dieser Arbeit besonders wichtig, um seine Gedankenvorgänge in Bezug auf die Erklärung physikalischer Phänomene, die in dieser Arbeit durch die Stromvorstellung repräsentiert werden, nachvollziehen zu können.

Wie begegnen Kinder physikalischen Phänomenen und welche Erklärungsansätze bilden sie?

Unter dem Begriff des Phänomens soll nach Wagenschein alles verstanden werden, „was man unmittelbar sehen, hören, fassen, riechen, kurz was „man vorzeigen“ kann, was „vorhanden“ ist und was man deshalb „behandeln“ kann.“ (Wagenschein, 1976, S.55) Er beschreibt also Sachverhalte, mit denen ein Kind konkret umgehen kann, die es also im aktiven Umgang erfahren kann.

Werden Kinder durch ein Phänomen in einen Zustand des Staunens versetzt, beginnen sie, nach einer Erklärung für das Phänomen zu forschen, indem sie beobachten, komparativ vorgehen, repetieren, Vermutungen äußern oder sogar Veränderungen vornehmen. Dadurch bilden sie erste Ansätze des physikalischen Verstehens, da sie versuchen, Unbekanntes mit bereits Vertrautem zu verbinden (vgl. Wagenschein, 1990, S. 10f). Diese Auseinandersetzung mit neuen Phänomenen findet bereits lange vor dem Grundschulalter statt (vgl. Köhnlein In: Köhnlein, 1998, S.68).

Kinder bilden also Analogien, d.h. sie vergleichen neue Erfahrungen mit denen, die sie bereits in ihrer Alltagswelt gemacht haben. In diesem Zusammenhang werden zwei unterschiedliche Arten der Analogiebildung unterschieden:

Die **phänotypische Analogiebildung** bezieht sich auf das äußere Erscheinungsbild eines Phänomens, d.h. es werden äußerliche Gemeinsamkeiten eines bereits vertrauten Phänomens zur Erklärung eines neuen Phänomens herangezogen (vgl. Stuckmann, 1990, S.13f).

Die **genotypische Analogiebildung** bezieht sich bei einem Erklärungsversuch auf gleiche bzw. ähnliche Funktionsweisen zweier unterschiedlicher Phänomene (Ebd.).

Dieser Erklärungsansatz ist sicherlich in allen Alterstufen anzutreffen, wenn ein Sachverhalt angetroffen wird, der noch unbekannt ist. Zu vermuten ist, dass dies besonders bei solchen Phänomenen der Fall ist, die nicht sichtbar sind. Daher ist es im Hinblick auf die Untersuchung interessant, ob Kinder Strom in Analogie zu bereits Erfahrenem setzen.

Wagenschein beschreibt für diese Arbeit zusätzlich zwei weitere bedeutsame Erklärungsansätze, die bei Kindern zum Ende der Grundschulzeit anzutreffen sind:

1. Eine Kausalfolge zeichnet sich dadurch aus, dass sie nicht umkehrbar ist, d.h. dass eine Ursache nicht zugleich die Wirkung sein kann. Tritt jedoch genau dies bei der Deutung eines Phänomens auf, spricht man von einem Denken in Kausalzirkeln. Nach Wagenschein schließt diese Phase das Kausaldenken nicht aus, allerdings sind Kausalzirkel nur durch Tatsachen und nicht durch bloßes Nachdenken des Kindes zu widerlegen (vgl. Wagenschein, 1976, S.79f).
2. Kinder denken in Substanzbegriffen, d.h. sie fassen Begriffe wie z.B. Wärme oder Elektrizität stofflich auf. Diese Begriffe nehmen also einen Raum ein, sie können sich fortbewegen und haben eine Masse (Ebd., S. 80ff).

Die vorgestellten Erklärungsansätze von Kindern lassen sich nicht nur auf das Zusammentreffen mit physikalischen Phänomenen beziehen, für diese Arbeit werden sie allerdings, dem Titel entsprechend, darauf beschränkt.

3. Der Strom als Gegenstand der Untersuchung

3.1. Wichtige Etappen aus der Geschichte der Elektrizität

Ein historischer Überblick steht zwar nicht im direkten Zusammenhang mit der eigenen Untersuchung, dennoch wird hier nicht auf einen knappen Abriss verzichtet, um aufzuzeigen, wie lange sich die Menschheit bereits mit dem Phänomen der Elektrizität auseinandersetzt und beschäftigt.

Was heutzutage für uns selbstverständlich erscheint, wurde in mehreren Jahrhunderten von vielen Menschen erforscht und weiterentwickelt. Diese Erkenntnisse ermöglichen heute nahezu allen Menschen der Erde ein Leben, in dem sie auf den Luxus der Elektrizität nicht verzichten müssen.

In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass bei Weitem nicht alle Forscher, die sich um Erforschung und Einsetzbarkeit der Elektrizität bemüht haben, in diesem Kapitel genannt werden. Des Weiteren wird auch nicht jede Erfindung und Erkenntnis genannt, da dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Vor mehr als 2000 Jahren erkennt bereits der griechische Philosoph Thales, dass Bernstein nach dem Reiben an einem Stück Stoff eine Kraft entwickelt, die kleine Teilchen anzieht (vgl. Jacoby, 2000, S.218).

1570 greift der britische Arzt und Physiker William Gilbert (1544-1603) diese Entdeckung wieder auf und stellt wiederum fest, dass einige Substanzen, vor allem Bernstein, kleine Körper nach dem Reiben mit einem Tuch anziehen. Dabei prägt Gilbert den Begriff „elektrisch“, da dies dem griechischen Wort für Bernstein „elektron“ entspricht (vgl. Breitsameter/ Burgwitz u.a., 2001, S.85).

1663 wird die erste Elektrisiermaschine von dem Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke (1602-86) gebaut, die durch Reibung Elektrizität erzeugt. Zudem erkennt Guericke, dass sich gleichnamige elektrische Ladungen abstoßen (vgl. Gulkin/ Notkin u.a., 1964, S. 48).



Abb. 1 Elektrisiermaschine

1734 erkennt der französische Physiker Charles-François de Cisternay Dufay bei Glas- und Bernsteinstäben die „2 Arten der Elektrizität“, die er „Glas- und Harzelektrizität“ nennt und somit die Erkenntnis von positiven und negativen Ladungen erhält (vgl. Breitsameter/ Burgwitz u.a., 2001, S. 115).

Der amerikanische Politiker, Schriftsteller und Naturforscher Benjamin Franklin (1706-90) greift die Erkenntnis Dufays auf und spricht erstmals von negativen und positiven Ladungen, die der Physiker und Schriftsteller Georg Christoph Lichtenberg 1778 mit den physikalischen Symbolen „-“ und „+“ kennzeichnet.

1752 erforscht Franklin die Natur des Blitzes, indem er an das Ende einer Drachenschnur einen metallischen Schlüssel bindet und den Drachen bei einem Gewitter steigen lässt. Bei einem Blitz leitete die nasse Drachenschnur die elektrischen Ladungen zum Schlüssel und Funken schlugen auf den Boden über. Aus dieser Beobachtung schließt Franklin, dass Blitze elektrische Ladungen sind (vgl. Ebd. S. 111).

Aus dieser Erkenntnis heraus erfindet Franklin den Blitzableiter. Sein eigenes Haus schützt er vor Blitzeinschlägen, indem er von außen Drähte vom Dach bis zum Boden legt, die die Blitze in die Erde leiten. Allerdings soll bereits der ägyptische Pharao Ramses III um 1170 v. Chr. Gebäude mit dieser Methode vor Blitzeinschlägen geschützt haben (Ebd.).

1785 stellt der französische Physiker Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) das Coulomb'sche Gesetz auf: „ Gleichnamige Elektrizität stößt sich ab, ungleichnamige zieht sich an und hat die Neigung sich gegenseitig aufzuheben, sich zu „neutralisieren“.“ (nach Gulkin/ Notkin u.a., 1964, S.5)

1789 macht Luigi Galvani (1737-98) die ersten systematischen Versuche mit der Elektrizität in Froschschenkeln und entdeckt bei diesen Versuchen den Froschschenkel-effekt (vgl. Gießler, 2000, S.11).

Dafür berührte er einen Muskel und einen entblößten Nerv des Frosches mit zwei verschiedenen Metallen, die über einen Leiter miteinander verbunden waren. Dieses Experiment rief ein Zucken des Froschschenkels hervor, was Galvani zunächst als tierische Elektrizität deutete (vgl. Breitsameter/ Burgwitz u.a., 2001, S.124).

Später erkannte er jedoch, dass die Elektrizität durch die Berührung mit zwei Metallen zustande kam. Nach Galvani wurde dieses Phänomen „galvanische Elektrizität“ benannt (vgl. Gulkin/ Notkin u.a., 1964, S.48).

1800 erfindet der italienische Physiker Graf Alessandro Volta (1745-1827) die erste Batterie. Die nach ihm benannte Voltasche Säule bestand aus beliebig vielen Zink- und Kupferplatten, die durch Filzstücke getrennt wurden, die entweder mit schwacher Säure oder mit Salzsäure getränkt waren. Verband man die oberste mit der untersten Platte, floss Strom. Diese Form der Batterie war die erste elektronische Energiequelle, sie konnte jedoch nicht wieder aufgeladen werden (vgl. Brentjes/ Richter u.a., 1978, S.258).

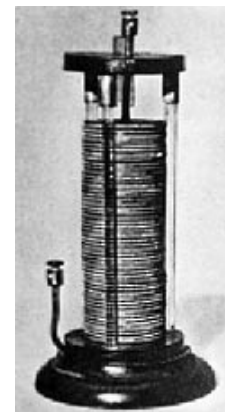


Abb. 2 Voltasche Säule

1820 findet der dänische Professor Hans Christian Oerstedt heraus, dass ein elektrischer Leiter, durch den Strom fließt, von einem Magnetfeld umgeben ist und begründet somit den Elektromagnetismus (vgl. Erfindungen, o.J., S.58).

1826 stellt der deutsche Professor und Physiker Georg Simon Ohm (1787-1854) das Ohm'sche Gesetz auf. Danach konnte mit der Formel Spannung durch Stromstärke gleich Ohm $\left(\frac{U}{I} = R\right)$ der Widerstand berechnet werden, der dem Strom widerfährt (vgl. Gulkin/ Notkin, 1964, S. 10).

1831 kommt durch Michael Faraday (1791-1867) der Begriff der elektromagnetischen Induktion auf, nachdem er die magnetische Wechselwirkung zwischen Strom und Magnetfeld entdeckte. Für diese Erkenntnis experimentierte er mit stromdurchflossenen Leitern und Magneten. Dabei hatte er zwei parallel geführte Drahtleiter, von denen nur einer an eine Batterie angeschlossen war und somit Strom führte. Beim An- und Ausschalten des Stroms, also bei einer Stromänderung, konnte auch im anderen Leiter eine Spannung festgestellt werden, die wiederum in einem Verbraucher Strom hervorrufen konnte. Faraday erwarb die Erkenntnis, dass die elektrische Energie von einem primären auf einen sekundären Leiter übertragen werden kann (vgl. Breitsameter/ Burgwitz u. a. , 2001, S. 214).

Auch der Faradaysche Käfig geht auf den englischen Naturforscher zurück. Dabei wird ein Raum mit einer Metallhülle umgeben, wodurch das Innere des Raumes gänzlich gegen Wechsel- oder elektrostatische Felder abgeschirmt ist. Dieses Prinzip liegt beispielsweise bei einem Kraftwagen vor, der die Insassen bei einem Gewitter vor Blitzen schützt (vgl. Lexikon-Institut Bertelsmann (Hrsg.), 1972, S.422).

1854 stellt Heinrich Göbel¹ (1818-93) die ersten praktisch einsetzbaren Glühlampen her. Bei diesen Glühlampen waren in einem Glasvakuum Kohlefäden aus Bambus eingeschmolzen (vgl. Brentjes/ Richter u.a., 1978, S. 329).

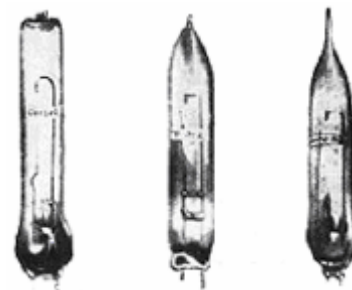


Abb. 3 Die ersten Glühlampen

1866 erfindet Werner von Siemens (1816-95) die Dynamomaschine. Mit diesem Generator ist eine unbegrenzte Stromerzeugung unter der Voraussetzung einer Kraftquelle möglich. Durch diese Erfindung wird die Elektrizität zum Wirtschaftsfaktor (vgl. König/ Weber, 1990, S. 318).

¹ Meist wird Edison als Erfinder der Glühlampe im Jahr 1879 angegeben, allerdings gilt Göbel als Gewinner eines Patentstreits und wird hier somit als Erfinder der Glühlampe genannt.

Darauffhin konnte 1879 die erste elektrische Lokomotive und 1881 die erste elektrische Eisenbahn der Welt in Berlin-Lichterfelde in Betrieb genommen werden (vgl. Gulkin/ Notkin u.a., 1964, S. 48).

1891 geht die erste Überlandleitung von Laufen am Neckar bis Frankfurt/Main über eine Strecke von 178 km. Sie wird von dem deutschen Ingenieur Oskar von Miller (1855-1934), dem Mitgründer und Direktor der AEG und der Berliner Elektrizitätswerke, erbaut (Ebd.).

Nachdem das erste Elektrizitätswerk Deutschlands in Berlin 1885 in Betrieb genommen wird und sich die Anzahl der Werke bis 1890 auf 30 Werke mit einer Gesamtleistung von 6 Megawatt vergrößert, gibt es bis 1900 bereits 651 Elektrizitätswerke mit einer Gesamtleistung von 191 Megawatt im gesamten Deutschen Reich (vgl. Gierspeck/ Weiß, 1998, S.5).

1927 nimmt schließlich das erste moderne Großkraftwerk seinen Betrieb in Berlin auf. Es wird nach seinem Erbauer Georg Klingenberg (1870-1925) benannt. Die Leistung dieses Werkes beträgt 270 Megawatt, so dass erstmals der Grundbedarf an Energie effizient genutzt werden kann (vgl. Gulkin/ Notkin u.a., 1964, S.48).

1954 nimmt das erste reguläre Atomkraftwerk seinen Betrieb in Moskau auf. Ein Jahr später folgt das erste Kernkraftwerk der USA. Bis 1973 sind es weltweit bereits über 100 (vgl. Brentjes/ Richter u.a.1978, S. 445). 1996 sind weltweit 429 Kernkraftwerke in Betrieb, davon stehen alleine 150 in Westeuropa (vgl. Humm/ Jehle, 1996, S. 20).

3.2. Sachanalyse

„Der hohe Lebensstandard der freien Bürger Roms im klassischen Altertum beruhte darauf, daß jedem durchschnittlich 3 bis 4 Sklaven zur Verfügung standen. Heute gibt es keine Sklaven mehr. An ihre Stelle traten die verschiedenen Energiearten, vor allem die Elektrizität. Jeder Bundesbürger verbraucht durchschnittlich 10 Kilowattstunden² pro Tag, das entspricht etwa dem Arbeitsvermögen von 20 Sklaven.“ (Gulkin/ Notkin, 1964, Vorwort S.2)

Aber was ist eigentlich elektrischer Strom, diese unsichtbare „Kraft“, die unsere Lampen zum Leuchten bringt und unser Frühstückstoast rösten lässt, der heutzutage für uns ganz selbstverständlich und allgegenwärtig ist, ohne den wir uns unser Leben wohl nur noch schwer vorstellen können, wenn man bedenkt, wie viele Bereiche unseres Lebens mit Strom angenehmer und leichter gestaltet werden? Und in welcher Form und zu welchen Zwecken wird er überhaupt eingesetzt?

² Diese Angabe bezieht sich wahrscheinlich auf das Erscheinungsjahr des Buches 1964. Der Verbrauch von 1994 wird nach einer Auskunft der Stadtwerke Konstanz mit ca. 17,88 Kilowattstunden angegeben. Dabei ist der Verbrauch der Industrie allerdings mit eingerechnet, was in der Angabe des Buches unersichtlich bleibt (s. a. Internetquellenverzeichnis).

Im Folgenden soll der elektrische Strom, der der Gegenstand der Untersuchung dieser Arbeit ist, und seine allgemeinen und wichtigsten Vorgänge behandelt werden.

3.2.1. Was ist elektrischer Strom?

Ein Atom besteht aus einem Atomkern, der eine positive Ladung enthält, und einem oder mehreren Elektronen, die eine negative Ladung enthalten (vgl. Heywang/ Schmiedel u.a., 1970, S.177). In jedem Körper gleicht die positive Ladung der Atomkerne die negative Ladung der Elektronen aus und der Körper ist somit elektrisch neutral (vgl. Raab/ Sexl u. a., 1980, S. 101).

In einem metallischen Leiter bleiben im Normalfall die Anzahl der Elektronen³, die ein Atom⁴ umgeben gleich. Allerdings sind die äußeren Elektronen, d.h. die Elektronen an der am schwächsten gebundenen Schale, nicht mehr fest an einzelne Atome gebunden (vgl. Orear, 1979, S.336).

Die Elektronen können sich also unter bestimmten Umständen frei in den Zwischenräumen der Atome bewegen. Protonen⁵ besitzen eine solche Beweglichkeit hingegen nicht (vgl. Leicht, 1967, S. 336).

Bei einer Abgabe von Elektronen entsteht eine positive elektrische Ladung, bei einer Aufnahme eine negative (vgl. Heywang/ Schmiedel u. a., 1970, S. 277f).

Zwischen zwei Punkten entsteht also ein Ladungsunterschied, den man als elektrische Spannung bezeichnet. Wenn zwei gleich starke und entgegengesetzt geladene Körper über einen metallischen Leiter miteinander verbunden werden, werden die Ladungen „neutralisiert“ bzw. ausgeglichen (vgl. Microsoft Encarta 99), so dass ein Ladungsausgleich und damit eine kontinuierliche oder schwingende Bewegung von Ladungsträgern stattfindet (vgl. Brauer/ Lehmann u.a., 1988, S. 15).

Man spricht also dann von elektrischem Strom, wenn ein Ladungsausgleich zwischen zwei Punkten, von denen der eine einen Elektronenüberschuss und der andere einen Elektronenmangel hat, stattfindet und die Elektronen in eine gemeinsame Richtung fließen (vgl. <http://www.klisch-online.de> [28.08.02]).

Aber nicht nur feste Körper, sondern auch bestimmte Flüssigkeiten können Strom leiten. Dabei bewegen sich allerdings nicht die Elektronen, sondern elektrisch geladene Atome oder Atomgruppen, die als Ionen bezeichnet werden. Ionen (griech. der Wandernde) entstehen aus Atomen, die entweder zu viele oder zu wenige Elektronen besitzen. Positiv geladenen Ionen (Kationen) entstehen dann, wenn ein Atom Elektronen abgibt und negativ geladene Ionen (Anionen), wenn von einem Atom Elektronen aufgenommen werden (vgl. Duenbostl/ Mathelitsch u.a., 2000, S. 38).

³ ein Elektron ist ein leichtes, negativ geladenes Elementarteilchen und neben Proton und Neutron ein Baustein eines Atoms

⁴ griech. kleinste, mit chem. Mitteln nicht weiter zerlegbare Einheit eines chemischen Elements, die aufgrund ihrer Struktur für die physikal. und chem. Eigenschaften des betreffenden Elements verantwortlich sind

⁵ ein Proton ist ein positiv geladenes, stabiles Elementarteilchen, das zusammen mit dem Neutron Baustein der Atomkerne ist

Allgemein gilt, dass sich die Stoffe in Lösungen zersetzen: Säuren zerfallen dabei in Wasserstoffionen und Säurerestionen, Basen in Metallionen und Hydroxidionen und Salze in Metallionen und Säurerestionen. Metall- und Wasserstoffionen sind stets positiv und Säurerest- und Hydroxidionen stets negativ geladen. Die Kationen wandern beim Anlegen einer Spannung zur Kathode und die Anionen zur Anode (vgl. Leicht, 1967, S.183).

Es findet also ein Ladungstransport in zwei Richtungen statt. An den Elektroden geben die Ionen ihre Ladung ab und werden wieder zu neutralen Atomen oder Atomgruppen, die dann mit den Stoffen der Elektrode oder mit den Lösungsmitteln chemisch reagieren können (Ebd.).

Flüssigkeiten, die Strom leiten können, werden als Elektrolyte bezeichnet (vgl. Fock/Weber, 1967, S.104).

Auch Gase können unter bestimmten Bedingungen Strom leiten, dabei wandern sowohl Elektronen als auch Ionen (vgl. Ebd., S. 111).

Allerdings ist dieser Vorgang äußerst kompliziert und für die Untersuchung dieser Arbeit ist sowohl die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten als auch die von Gasen unerheblich, so dass auf eine weitere Ausführung verzichtet werden kann.

Zusammengefasst ist Strom ein Fluss bzw. ein Strom von Ladungsträgern (Elektronen und/ oder Ionen), der nur unter zwei Bedingungen fließt:

1. Es muss eine Potentialkraft, d.h. eine Spannung zwischen zwei Punkten bestehen.
2. Diese zwei Punkte müssen durch einen Leiter miteinander verbunden sein.

3.2.2. Die Richtung des Stroms

Die Richtung des Stroms wird zweifach definiert. So gibt es einerseits die technische und andererseits die physikalische Richtung des Stroms.

Die Definition der Richtung des Stroms geht auf eine Festlegung im 19. Jahrhundert zurück, in dem man noch nicht erkannt hatte, dass die negativ geladenen Elektronen für den Stromfluss in einem Leiter verantwortlich sind (vgl. Raab/ Sexl u.a., 1980, S.133).

Daher versteht man auch unter der **technischen Stromrichtung**, die im Allgemeinen als die Stromrichtung bezeichnet wird, den Fluss der Ladungen von Plus nach Minus, da man von einem Fluss der positiven Ladungsträger ausging (vgl. Thome, 1986, S.38).

Diese Richtung geht also entgegen dem Fluss der Elektronen.

Die **physikalische Stromrichtung** und eigentlich richtige Stromrichtung ist die entgegengesetzte Richtung der technischen Stromrichtung. Sie beschreibt den Fluss der Elektronen vom negativen zum positiven Pol (vgl. Tipler, 1995, S. 748).

Da aber alle weiteren Gesetze auf die technische Stromrichtung ausgerichtet waren, behielt man die klassische Definition bei (vgl. Grimsehl, 1980, S. 69).

3.2.3. Leiter, Halbleiter und Nichtleiter

Es gibt Materialien, die Strom sehr gut leiten bis hin zu Materialien, die Strom gar nicht leiten. Daher werden alle Stoffe in 3 Kategorien eingeteilt: Leiter, Halbleiter und Nichtleiter bzw. Isolatoren (vgl. Heywang/ Schmiedel u.a., 1970, S. 276).

Bei **Leitern** stehen viele Elektronen für einen Ladungstransport zur Verfügung, die sich in Bewegung setzen, sobald eine Potentialkraft herrscht. Die besten und wichtigsten Leiter sind Metalle (vgl. Schramm, 1977, S. 196).

Allerdings gibt es auch zwischen Metallen einen qualitativen Unterschied der Leitfähigkeit, was sich auf den spezifischen Widerstand zurückführen lässt.

Dafür wird hierbei zunächst auf die Entdeckung Ohms eingegangen:

Georg Simon Ohm stellte 1826 das Ohmsche Gesetz auf, welches besagt, dass die Stromstärke (I) in einem Leiter der Spannung (U) zwischen den Leiterenden direkt proportional ist. Die Stromstärke in einem Leiter ist zu dem Widerstand (R) indirekt proportional (vgl. Jaros/ Nussbaumer u.a., 1991, S. 14).

Die Formel zur Berechnung eines Widerstandes lautet also: $R = \frac{U}{I}$

Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm (?) (vgl. Gulkin/ Notkin, 1964, S. 10).

Daraus lässt sich schließen, dass bei gleich bleibender Spannung die Stromstärke umso geringer wird, desto höher der Widerstand des Leiters ist und umgekehrt.

Das Ohm'sche Gesetz gilt allerdings nur für metallische Leiter, die einer konstanten Temperatur ausgesetzt sind (vgl. Berghof/ Goblet, 1976, S. 275).

Neben dem ohmschen Widerstand hat jedes Material auch einen spezifischen Widerstand, von dem das Verhalten des Materials bei einem Stromdurchfluss abhängt. So lassen sich Materialien mit einem geringen spezifischen Widerstand als gute Leiter beschreiben, während Materialien mit einem hohen spezifischen Widerstand schlechte Leiter sind (vgl. Gulkin/ Notkin, 1964, S. 10).

Ein Draht mit einem hohen spezifischen Widerstand erwärmt sich bei einer gleich bleibenden Stromstärke stärker als ein Draht mit einem geringen spezifischen Widerstand (Ebd.).

Aus dieser Erkenntnis heraus lässt sich das Einsetzen von Materialien für bestimmte Zwecke nachvollziehen und erklären: So wird Kupferdraht häufig als Stromleiter genutzt, da er Strom ohne einen hohen Verlust von elektrischer Energie (z.B. Wärme) schnell weiterleiten kann. Geräte, die dagegen der Wärmeerzeugung dienen, sind mit schlecht leitenden Drähten ausgestattet.

Halbleiter, die besonders in der Computertechnik eine große Rolle spielen (vgl. Duenbostl/ Mathelitsch u.a., 2000, S. 37), besitzen die gleichen Eigenschaften der Nichtleiter, auf die im Folgenden eingegangen wird, allerdings kann durch eine

Temperaturerhöhung, durch Lichteinfall oder durch den Einbau von Fremdatomen eine Leitfähigkeit erzeugt werden (vgl. Heywang/ Schmiedel u.a., 1970, S. 276).

Bei **Nichtleitern**, auch **Isolatoren** genannt, stehen dagegen keine freien Elektronen für einen Ladungstransport zur Verfügung, da alle zur Bindung der Atome benötigt werden (vgl. Wittmann/ Jena/ Mettenleiter, 1983, S. 77), so dass keine Leitfähigkeit hergestellt werden kann.

Beispiele für Nichtleiter sind Kunststoff, Quarz, Bernstein, Gummi und Porzellan. Sie werden beispielsweise in den Bereichen eingesetzt, in denen Leitungsvorgänge unterdrückt werden sollen oder in denen vor lebensgefährlichen Stromschlägen geschützt werden muss (vgl. Schramm, 1977, S.17).



Abb. 4 Elektrische Leiter und Nichtleiter

3.2.4. Der einfache elektrische Stromkreis

Ein Stromkreis ist eine Anlage, die durch eine ununterbrochene Drahtverbindung in sich geschlossen ist (vgl. Heywang/ Schmiedel u.a., 1970, S.275).

Den Antrieb für den Strom bildet eine sog. **Stromquelle** (z.B. Batterie, Steckdose), die einen Stromfluss ermöglicht. Zu dem Begriff der Stromquelle muss zusätzlich erklärt werden, dass in ihr nicht beim Einschalten der Strom aus dem Nichts erzeugt wird, sondern vielmehr ist bereits elektrische Ladung vorhanden, die durch einen geschlossenen Stromkreis in Bewegung gesetzt wird, so dass man bei einer Bewegung der Ladungsträger von Strom spricht (vgl. Schramm, 1977, S. 16).

Die Elektronen setzen sich mit einer Geschwindigkeit von 1mm/sec, d.h. 36 cm in einer Stunde, im gesamten Leiter gleichzeitig in Bewegung, so dass zwischen dem Einschalten eines Geräts und dessen Betrieb keine Zeitdifferenz festgestellt werden kann (vgl. Fock/ Weber, 1967, S. 125).

Die zwei Anschlussstellen der Spannungsquelle nennt man Pole, die in Plus- und Minuspol unterschieden werden. An diese Pole wird je eine Leitung angeschlossen, die mit dem **Verbraucher** (z.B. Glühlampe) verbunden ist (vgl. Heywang/ Schmiedel u.a., 1970, S.275).

In den an den Stromquellen angeschlossenen Geräten wird die elektrische Energie in andere Energieformen umgewandelt (z.B. Licht, Wärme), daher ist die Bezeichnung eines Gerätes als Verbraucher eigentlich ungenau (vgl. Berghof/ Goblet u.a., 1976, S. 234).

Mit einem **Schalter** kann der Stromkreis nach Bedarf geschlossen oder geöffnet werden (Ebd.).

Zusammengefasst bedeutet das, dass ein Gerät mit einer Quelle einen geschlossenen Stromkreis bilden muss, damit es mit Strom betrieben werden kann. In einem elektrischen Stromkreis wird elektrische Energie transportiert und in andere Energieformen umgewandelt.

In der Physik wird der Stromkreis durch die Symbolsprache dargestellt:

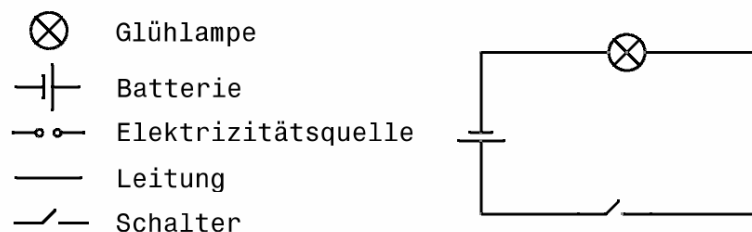


Abb. 5 Schaltsymbole und Schaltskizze eines einfachen elektrischen Stromkreis

3.2.5. Stromformen

Unsere Spannungsquellen liefern zwei unterschiedliche Arten des Stroms, den Wechsel- und den Gleichstrom. Der Drehstrom ist ebenfalls ein Wechselstrom. Im Folgenden sollen die unterschiedlichen Stromarten vorgestellt werden.

Unter einem **Wechselstrom** versteht man einen Strom, dessen Stromstärke und Stromrichtung veränderbar sind (vgl. Jaros/ Nussbaumer, 1991, S. 59), was besonders bei der Übertragung von Strom auf großen Strecken von großem Nutzen ist, so dass der Wechselstrom im Laufe der industriellen Entwicklung immer mehr an Bedeutung gewonnen hat (vgl. Grimsehl, 1980, S. 157).

Wechselströme werden in Kraftwerken durch **Generatoren** erzeugt, wobei sich das Magnetfeld um einen Draht dreht. Diese Entdeckung geht auf Michael Faraday zurück, der die Entdeckung Oerstedts, den Elektromagnetismus (Strom, der durch Metall fließt, erzeugt ein Magnetfeld), auf dem umgekehrten Wege zu erforschen begann (vgl. Junior Wissen, 1994, S.65).

Dabei entdeckte Faraday, dass durch das Auf- und Abbewegen eines Magneten in einer Drahtspule Strom erzeugt wird und je schneller der Magnet bewegt wird, desto mehr Strom fließt durch die Drahtspule. Denselben Effekt erzielt man auch dann, wenn sich die Drahtspule in einem feststehenden Magnetfeld bewegt (Ebd.).

Der **Wechselstromgenerator** besteht aus einem sog. Anker, bestehend aus einer Spule, und einem Ständer, der durch einen u-förmigen Magneten gestellt wird. Die Spule, an deren Enden je ein Schleifring befestigt ist, dreht sich in einem feststehenden Magnetfeld. Die Schleifringe, die voneinander isoliert sind, sitzen auf dem Anker (vgl. Gulkin/ Notkin, 1964, S. 18).

Sobald die Spule nach einer halben Drehung im rechten Winkel zum Magneten steht, entsteht in der Spule eine Spannung, die sog. Induktionsspannung, die über die zwei Schleifringe von zwei Kohlebürsten an den Stromkreis abgegeben wird. Der Strom fließt nun in eine bestimmte Richtung. Die nächste halbe Drehung der Spule erfolgt in die entgegengesetzte Richtung und auch der Strom ändert bei dem sonst identischen Vorgang seine Richtung (Ebd.).

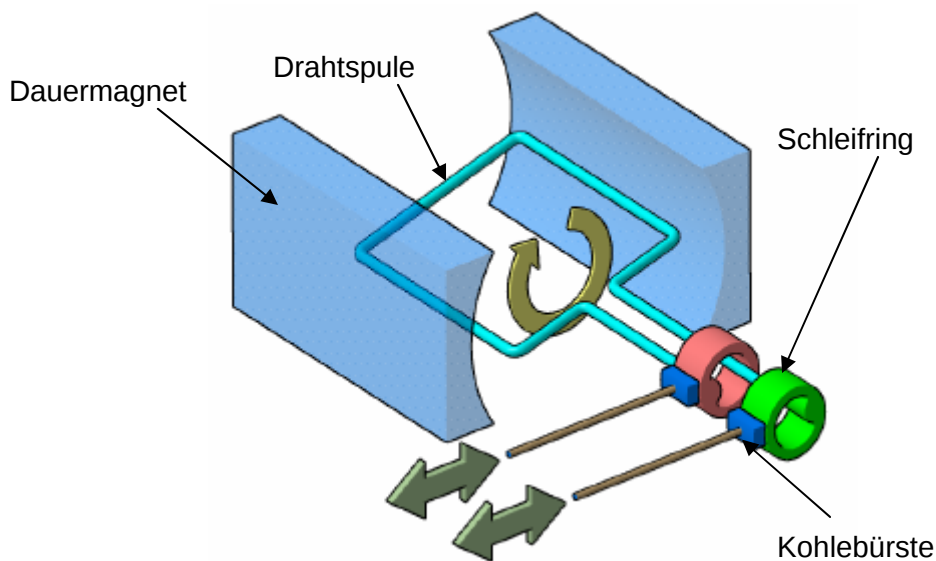


Abb. 6 Wechselstromgenerator

Durch die abwechselnden Bewegungen der Spule steigt die Stromstärke ständig vom Nullpunkt auf ein Maximum, den Scheitelwert, und sinkt danach wieder auf den Nullpunkt ab (vgl. Junior Wissen, 1994, S.67).

Die Zahl der Hin- und Herschwingungen der Elektronen hängt von der Drehgeschwindigkeit des Ankers ab. Der Haushaltstrom der Bundesrepublik Deutschland hat eine Frequenz von 50 Hertz (Hz), d.h. die Spule dreht sich in einer Sekunde 50 Mal um ihre eigene Achse, was 100 Richtungswechsel zur Folge hat (vgl. Leicht, 1967, S. 232).

Ein **Gleichstrom** ist ein elektrischer Strom, dessen Stromrichtung, also der Fluss der Ladungsträger, ständig dieselbe bleibt (vgl. Tipler, 1995, S.781).

Dabei fließen in jeder Sekunde gleich viele Ladungen durch einen elektrischen Leiter, so dass bei Gleichstrom auch von einem stationären elektrischen Strom gesprochen wird (vgl. Jaros/ Nussbaumer, 1991, S.8).

Galvanische Elemente und Batterien liefern Gleichstrom, wenn sie sich in einem geschlossenen Stromkreis befinden (vgl. Leicht, 1967, S.232).

Der Gleichstrom kann aber auch durch einen Generator erzeugt werden, dem sog. **Gleichstromgenerator**. Dieser ist dem Wechselstromgenerator im Wesentlichen ähnlich, allerdings wird hierbei der Strom über einen geteilten Schleifring, dem Kommutator oder Wender, abgenommen (vgl. Steve Parker, 1992, S.145).

Sobald die Spannung nach einer halben Umdrehung der Spule im feststehenden Magnetfeld die Richtung wechselt, ändern auch die beiden Ringhälften ihre Richtung (Ebd.).

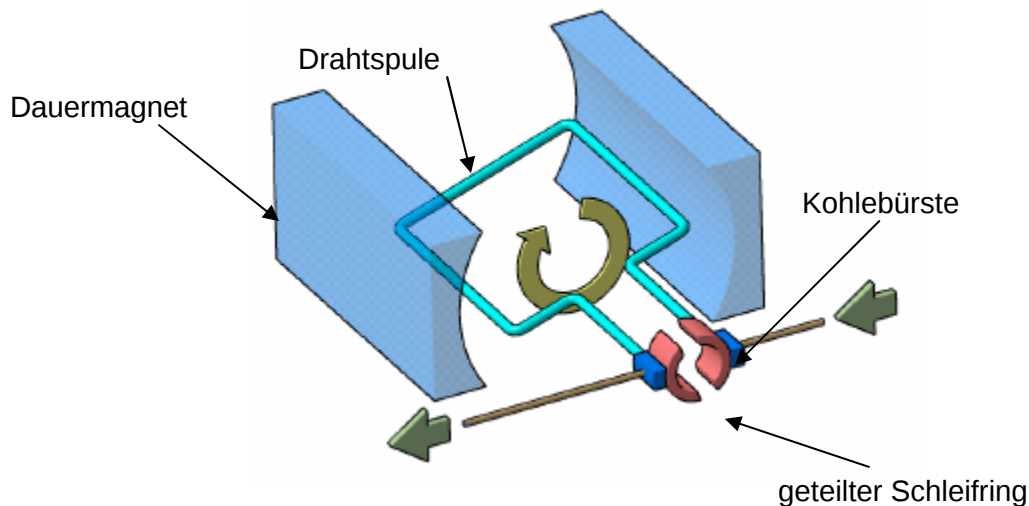


Abb. 7 Gleichstromgenerator

Sie gleiten von der einen Kohlebürste und berühren die andere, so dass der Kommutator mit dem Richtungswechsel umgespult wird. In dem angeschlossenen Leiter-system fließt demnach ein Gleichstrom, während im Generator ein Wechselstrom fließt (vgl. Gulkin/ Notkin, 1964, S. 19).

Der **Drehstrom**, auch Dreiphasenstrom genannt, wird heute fast ausschließlich in Kraftwerken eingesetzt.

Dies beruht darauf, dass in den Generatoren der Kraftwerke sehr hohe Wechselspannungen von mehreren Tausend Volt erzeugt werden. Diese können wegen der ständigen Funkenbildung und der damit verbundenen Verschmorungsgefahr nicht mehr durch Schleifringe abgenommen werden. Die felderzeugenden Spulen sind daher am Rotor angebracht, während die Induktionsspulen fest am Stator sitzen. Die felderzeugenden Spulen werden durch einen kleinen Generator versorgt (Hilfsereger), so dass Schleifkontakte überflüssig sind (vgl. Jaros/ Nussbaumer, 1991, S. 78).

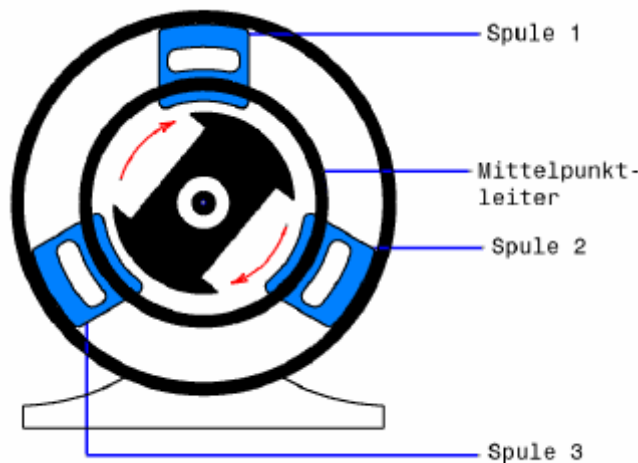


Abb. 8 Drehstromgenerator

In einem Drehstromgenerator befinden sich drei Induktionsspulen, die um 120° gegeneinander versetzt und fest in den Ständer eingebaut sind. Wenn ein Magnet bewegt wird, kommt es in jeder der drei Spulen zu einer Induktion und somit zu einer Wechselspannung. Die Induktionsvorgänge laufen zeitlich aufeinander ab, da der Magnet um die drei Spulen rotiert. Die Scheitelwerte der Spannungen werden ebenfalls zeitversetzt erreicht, was als Phasenverschiebung bezeichnet wird. Die Spannungen sind also voneinander getrennt, es handelt sich praktisch um drei gekoppelte Wechselströme (vgl. Boysen/ Glunde u.a., 1991, S. 361).

Drehstrom lässt sich besser als andere Stromarten erzeugen. Zudem kann er über große Strecken transportiert und verteilt werden, so dass er tendenziell mehr als andere Stromarten genutzt wird (vgl. Gulkin/ Nutkin, 1964, S. 20).

3.2.6. Die Wirkungen des elektrischen Stroms

Man kann den elektrischen Strom zwar nicht sehen, aber er ruft verschiedene Wirkungen hervor, die man beobachten kann.

3.2.6.1. Die Wärmewirkung

Wärme entsteht immer dann, wenn sich Elektronen durch einen metallischen Leiter bewegen. Dies entsteht nicht durch Reibung, sondern durch den Austausch der Elektronen zwischen den Atomen bei einem Stromfluss. Die dadurch entstehende Schwingung der Atome und Moleküle des Metalls nehmen wir als Wärmeentwicklung wahr (vgl. Leicht, 1967, S. 74).

Die Eigenschaft des Stroms, Wärme zu erzeugen, wird in allen möglichen Haushaltsgeräten ausgenutzt, die zum Heizen oder Trocknen dienen (z.B. Fön, elektrischer Herd, Toaster, Bügeleisen) (vgl. Heywang/ Schmiedel, 1970, S. 293).

Die Erwärmung eines Drahtes hängt von der Stromstärke und dem Material ab, so ist nicht jeder Draht für eine Einsetzung in einem elektrischen Heizgerät geeignet, da diese Drähte sehr hohen Temperaturen (über 800°C) über längere Zeitperioden ausgesetzt sind. Sie könnten schmelzen, verbrennen oder oxidieren, daher sind Heizdrähte keine reinen Metalle, sondern Metalllegierungen, die aus einem Metallgemisch (Chrom, Nickel und Eisen) bestehen, die Temperaturen von ca. 1100°C aushalten (vgl. Boysen/ Glunde, 1991, S.272).

Je mehr Spannung an einen Leiterdraht angeschlossen wird, desto heller leuchtet er. An der Leuchtkraft eines Drahtes kann man die Temperatur abschätzen, denn je heller der Draht ist, desto höher ist die Temperatur.

Farbe des Glühdrahts	Temperatur des Drahtes
dunkelrot	ca. 600°C
kirschrot	ca. 850°C
hellrot	ca. 1000°C
gelb	ca. 1100°C
weiß	über 1500°C

Tabelle 1 Zusammenhang zwischen Temperatur und Farbe eines Glühdrahts

3.2.6.2. Die Leuchtwirkung

Wenn ein Draht bis zu einer Weißglut erhitzt wird, entsteht eine Leuchtwirkung (vgl. Leicht, 1967, S. 87).

Dieses Beispiel lässt sich anhand einer handelsüblichen **Glühlampe** beschreiben:

Der Wolframdraht, der meist in Glühlampen verwendet wird, hat einen sehr hohen spezifischen Widerstand. Bei Stromzufuhr wird die elektrische Energie in Licht transformiert, nachdem sich der Wolframdraht auf ca. 2600 °C erhitzt hat und zu leuchten beginnt. Wolframdraht schmilzt erst bei einer Temperatur von 3380°C. Um das Verbrennen des Glühfadens zu vermeiden, beinhaltet der Glaskörper anstatt Sauerstoff ein Gas (z.B. Argon, Stickstoff oder Krypton) (vgl. Duenbost/ Mathelitsch u.a., 2000 S. 70 /Leicht, 1967, S. 87).

Der größte Teil der elektrischen Energie wird bei der Glühlampe in Wärme abgegeben, die als Energie verloren geht. Durch das im Glaskolben enthaltene Gas wird dieser Vorgang begünstigt, so dass der Glühfaden doppelt gewickelt ist. So erwärmt sich einerseits der Draht gegenseitig und andererseits wird die Oberfläche für die unerwünschte Wärmeabgabe verkleinert. Zudem wird der Draht durch das Wendeln von einer Länge von ca. 70 cm auf ca. 5,5 cm verkürzt (Ebd.).

Die durchschnittliche Brenndauer einer Glühlampe wird mit 1000⁶ Betriebsstunden angegeben, danach wird sie durch das Verdampfen von Metallteilchen und die dadurch hervorgerufene Beschlagung des Glaskolbens als unwirtschaftlich bezeichnet (vgl. Leicht, 1967, S. 91), so dass die Lampe unbrauchbar wird.

⁶ Diese Zahl wird auch nach einer Anfrage von der Firma Osram bestätigt. Allerdings bezeichnen sie die Glühlampe nach 1000 Stunden als kaputt und nicht als unwirtschaftlich (s.a. Internetquellenverzeichnis).

Bei **Leuchtstofflampen** kommt es durch eine elektrische Entladung in einem stark verdünnten Gas zu einer Leuchtwirkung (vgl. Ebd., S.87).

Dabei erhitzen sich zunächst zwei Glühdrähte, die jeweils an den Enden der Lampe sitzen, wodurch sich Elektronen in Bewegung setzen. Da das Gas kein guter Leiter für die Elektronen ist, sorgen zusätzliche Geräte für einen Spannungsstoß und somit für eine höhere Spannung, wodurch das Gas ionisiert wird (vgl. Ebd. S.95f).

Da eine Ionisierung oft nicht durch den ersten Spannungsstoß erreicht wird, geht dem Licht oftmals ein Flackern voraus. Die Elektronen stoßen mit den Quecksilbermolekülen zusammen, die dann eine unsichtbare, ultraviolette Strahlung aussenden. Dieses Licht trifft auf einen pulverigen Überzug⁷ an der Innenwand der Glasröhre und bringt ihn zum Leuchten (Ebd.).

Die Vorteile der Leuchtlampen gegenüber den Glühlampen bestehen darin, dass sie eine längere Lebensdauer, eine vierfache Lichtausbeute und ein nahezu schattenfreies und tagesähnliches Licht besitzen (Ebd., S. 96f).

3.2.6.3. Die magnetische Wirkung

Jeder elektrische Strom besitzt eine magnetische Wirkung. So wird zum Beispiel die Magnetnadel eines Kompasses durch Strom abgelenkt. Wenn also Strom über oder unter einer Magnetnadel entlang fließt, wirkt ein Drehmoment auf die Nadel, das versucht, die Magnetnadel senkrecht zum elektrischen Strom zu stellen (vgl. <http://www.weitenfelder.at> [09.08.02]).

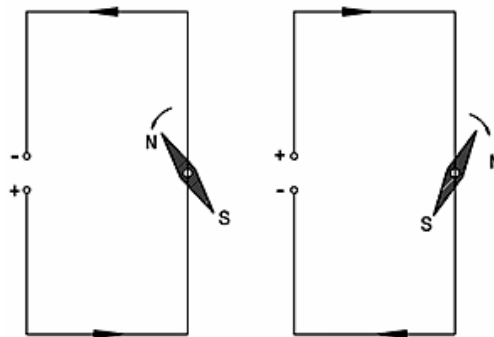


Abb. 9 Ablenkung einer Magnetnadel durch Strom

Durch die Ablenkung der Magnetnadel wird jedoch nicht nur das Vorhandensein eines Stroms angezeigt, sondern auch dessen Richtung, die man mit Hilfe der Rechtsschraubenregel bestimmen kann: Wenn eine Rechtsschraube in die Richtung des Stroms bewegt wird, zeigt die Drehrichtung der Schraube die Ablenkung des Nordpols der Magnetnadel an (Ebd.).

⁷ Die Zusammensetzung dieses Pulvers ist ein Geheimnis der Firmen und kann somit hier nicht erklärt werden.

Die Einsetzbarkeit der magnetischen Wirkung lässt sich an dem Alltagsbeispiel eines Gongs erläutern:

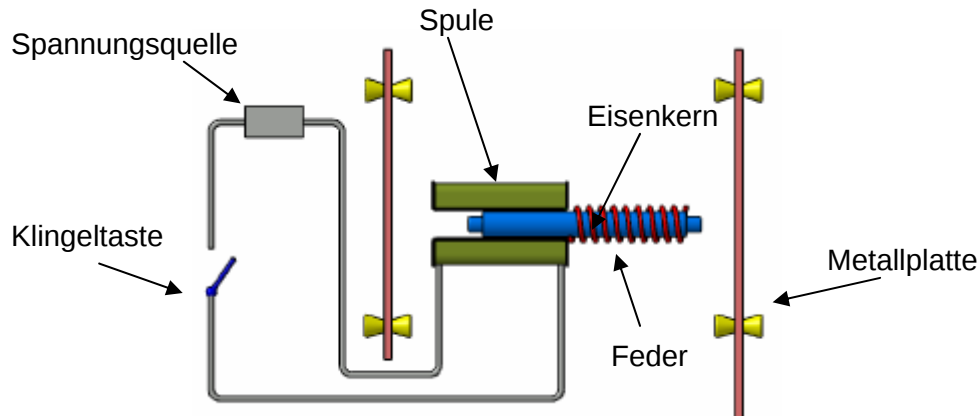


Abb. 10 Funktionsskizze eines Gongs

In einem Stromkreis befindet sich ein Elektromagnet, d.h. eine Spule mit einem Eisenkern, der magnetisch ist, solange Strom durch die Spule fließt. Der Stromkreis wird durch das Drücken eines Klingelknopfes einmal geschlossen und einmal geöffnet, so dass zwei Metallplatten nacheinander angeschlagen werden (vgl. Boysen/ Glunde, u.a., 1991, S.274).

Wenn der Klingelknopf gedrückt wird, wird der Stromkreis geschlossen und die stromdurchflossene Spule wird magnetisiert. Der bewegliche Eisenkern der Spule wird in die Spule hineingezogen und schlägt gegen die erste Metallplatte (= ding). Durch das Loslassen des Klingelknopfes öffnet sich der Stromkreis wieder und der entmagnetisierte Eisenkern wird durch die Feder aus der Spule herausgedrückt und schlägt gegen die zweite Metallplatte (= dong) (vgl. o.a. Skizze).

3.2.6.4. Die chemische Wirkung

Elektrischer Strom bewirkt in flüssigen Leitern chemische Veränderungen.

Dieser Ansatz wurde bereits im ersten Punkt dieses Kapitels angesprochen:

Elektrolyte zersetzen sich in Lösungen und es bilden sich sowohl negative als auch positive Ionen, die bei einer Spannung zu den Elektroden wandern. Dort neutralisieren sich die Ionen zu Atomen oder Atomgruppen und können danach chemisch reagieren.

Dieses Prinzip wird vor allem beim Galvanisieren, also beim Überziehen von Materialien mit einer Metallschicht, benutzt.

Wenn beispielsweise eine Kohleplatte verkupfert werden soll, taucht man diese in eine Kupfersulfatlösung, nachdem ein Kupferstab mit dem positiven Pol und die Kohleplatte mit dem negativen Pol verbunden wurden. Wenn eine Gleichspannung einige Minuten fließt, bildet sich eine Kupferschicht auf der Kohleplatte. Dieses Prinzip beruht darauf, dass sich das Kupfersulfat beim Auflösen in der Lösung in positiv geladene Kupferionen und negativ geladene Sulfurerestionen spaltet. Beim Anlegen einer

Spannung wandern die Ione zu den Elektroden: Die Kupferionen wandern zum negativen Pol und die Säurerestionen zur am positiven Pol angeschlossenen Kupferplatte. Dort findet eine Entladung und anschließend eine Verbindung mit den Kupferionen zu Kupfersulfatmolekülen statt (vgl. Leicht, 1967, S.193f).

4. Kind und Strom

Ist der elektrische Strom für Kinder nicht ein viel zu schwer zu fassendes Thema, bei dem selbst Erwachsene, wenn sie nicht gerade über ein großes physikalisches Interesse verfügen, kräftig ins Schleudern geraten?

Können und sollen sich Kinder daher überhaupt mit dem Thema „Strom“ befassen, das so abstrakt und unzugänglich erscheint? Und wenn ja, welche Gründe könnten hierfür angeführt werden?

Im Folgenden sollen Erklärungen für eine Rechtfertigung der Auseinandersetzung des Themas mit Kindern im Grundschulalter gefunden und vorgestellt werden.

Die laut weinende Lieblingspuppe, die elektrische Eisenbahn, ein Fingerdruck auf den Lichtschalter „zaubert“ Licht ins dunkle Zimmer, die ständigen Ermahnungen der Eltern, nicht mit den Fingern in die Steckdose zu fassen oder zu nah an die heiße Herdplatte zu kommen – dies sind wohl nur einige Dinge, die jedes Kind nur allzu gut kennt. Strom ist ein Phänomen, das Kinder alltäglich und ständig umgibt, das sie schon in frühester Kindheit erfahren, mit dem sie aufwachsen.

Daraus lassen sich auch die wichtigsten Begründungen für eine Beschäftigung mit dem Thema „Strom“ finden: Zum einen wachsen Kinder in einer technisierten Welt auf, sie haben also einen konkreten Alltagsbezug zum Strom. Zum anderen ist eine Behandlung des Themas gerade deshalb so wichtig und unumgänglich, da aus Unkenntnis im Umgang mit technischen Geräten Gefahren entstehen können (vgl. Hein, 1969, S. 9). Dabei sollen Kinder keinesfalls verunsichert oder gar verängstigt werden, aber ohne ein Wissen und Verstehen um die Gefährlichkeit des elektrischen Stroms, kann dieser auch nicht vorgebeugt werden (vgl. Schautmann, 1998, S. 42).

Des Weiteren spricht noch ein weiterer Grund für die Auseinandersetzung mit dem Thema: Kinder **wollen** sich mit der Technisierung ihrer Umwelt beschäftigen. Sie besitzen einen Forscherdrang und wollen hinter die Fassade der sie umgebenden und gegebenenfalls unerklärlichen Phänomene schauen (vgl. Möller, 1997, S. 42).

Neben den bereits genannten Gründen spricht der hessische Rahmenplan⁸ noch einen weiteren Aspekt an, der für die Beschäftigung mit dem Thema „Strom“ spricht. Die technisierte Welt kann auf Kinder nicht nur interessant und spannend, sondern auch bedrohlich wirken. Eine für die Kinder verständliche Auseinandersetzung mit der Technik soll zu einer realistischen Einschätzung führen (vgl. Hessisches Kultusministerium (Hrsg.), 1995, S. 24), so dass der elektrische Strom im Bereich der Technik im Sachunterricht als Themenkomplex vorgeschlagen wird (vgl. Ebd., S. 133).

⁸ andere Lehrpläne werden hierbei nicht miteinbezogen, vermutlich werden aber in neueren Ausgaben ähnliche Richtlinien vorgegeben

Aufgrund der angeführten Gründe scheint eine Beschäftigung mit dem Thema „Strom“ nicht nur sinnvoll, sondern unumgänglich zu sein, um die Interessen des Kindes sachgemäß zu fördern. Ist aber ein Kind im Grundschulalter in seiner Entwicklung bereits soweit fortgeschritten, dass es sich mit dem Sachverhalt „Strom“ auseinanderzusetzen kann?

Wie bereits zu Anfang dieser Arbeit beschrieben wurde, lösen sich Kinder im Grundschulalter zunehmend aus ihrem Ich– Bezug, d.h. dass nicht mehr alle Sachverhalte in Beziehung zu dem eigenen Ich gesetzt werden.

Ferner kommt es in dieser Phase zu einem Übergang zwischen dem präkausalen bis hin zu einem realistisch- kritischen Denken. Die Kinder wenden sich also dem Sichtbaren ihrer Umwelt zu und erklären Sachverhalte durch Sichtbares. Es werden erste Ansätze von Kausalzusammenhängen erkannt, indem „wenn, dann“– Verknüpfungen gebildet werden, die nicht auf Zufälle beruhen, so dass richtigerweise von „immer wenn, dann immer“– Verknüpfungen gesprochen werden muss (vgl. Wagenschein, 1976, S.69ff). Diese Verknüpfungen gelten solange bis sie zu einem distanzierten, kritischen Verhalten führen, das ein Erfassen der Zwischenglieder eines Ursache– Wirkungs- Zusammenhangs ermöglicht (vgl. Möller, 1990, S.66f).

Auch verbessern sich in diesem Alter die Wahrnehmungsleistungen des Kindes, so dass diese *„[...] zu entscheidenden Vermittlern zwischen der Umwelt und dem Individuum werden.“* (Nickel, 1975, S. 167)

Das Kind beginnt folglich, sich mehr seiner Umwelt zuzuwenden, wobei seine Wahrnehmung nicht mehr ausschließlich durch seine eigenen Wünsche geprägt ist, dennoch ist sie weitaus weniger durch Erfahrungen beeinflusst, wie dies bei Jugendlichen oder Erwachsenen der Fall ist. Dementsprechend sind Kinder besonders aufmerksam für Veränderungen im Detail und werden daher besonders vom neunten bis zehnten Lebensjahr als genaue und realistische Beobachter bezeichnet (vgl. Ebd., S. 172ff).

Das Kind nimmt außerdem eine kritische Haltung gegenüber Sachverhalten ein, d.h. es setzt sich intensiver mit einem Sachverhalt auseinander. Das gesteigerte Interesse an der Erforschung seiner Umwelt, sowie die verbesserte Wahrnehmungs- und Konzentrationsleistung ermöglichen es dem Kind, im handelnden Umgang mit den Dingen und durch eine genaue Beobachtung, Beziehungen und Zusammenhänge zu erkennen und gegebenenfalls zu verstehen (Ebd.).

Nach Wagenschein befinden sich Kinder in diesem Alter bereits auf dem „Wege zur Physik“, sie müssen nur an dem Erkenntnisstand abgeholt werden, an dem sie sich befinden (vgl. Wagenschein, 1976, S.73).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich das Kausaldenken des Kindes je nach Individuum bezüglich des abstrakten Themas auf sehr unterschiedlichen Niveaus befindet. Zudem nehmen Kinder in dieser Phase ihre Umwelt besonders über ihre Sinne wahr, dennoch sind sie gerade jetzt bereit und interessiert, sich mit den Phänomenen ihrer Umgebung auseinanderzusetzen. In Bezug auf das Thema „Strom“ heißt das, dass sich die Interessen hauptsächlich auf die Erscheinungen und Wirkungen des Stroms beziehen.

Aufgrund dieser Erkenntnis ist es wichtig, die technischen Anwendungen der Elektrizität, die dem Kind im Alltag begegnen und die dadurch die Grundlage des Wissens durch Erfahrungen bilden, als Ausgangspunkt einer Behandlung des Themas aufzugreifen (vgl. Hein, 1969, S. 23).

Im Fokus stehen also die Begriffe der Elektrizitätslehre, die von den Kindern beobachtet und ausprobiert werden können, die also durch aktive Tätigkeiten nachvollzogen werden können (z.B. Ausprobieren von Leiter, Nichtleiter/ Beobachten der Leuchtwirkung der Glühlampe etc.) Ob Schüler der Grundschule andere Begriffe, die die Ursachen von Vorgängen im Zusammenhang mit dem elektrischen Strom betreffen (z.B. die atomaren Vorgänge), verstehen, bleibt eher fraglich, da sie ein großes abstraktes Denkvermögen erfordern.

Der einfache elektrische Stromkreis, der in den meisten Schulen die Grundlage der Elektrizitätslehre bildet, scheint für die Ansprüche der Schüler in diesem Alter besonders geeignet. So wird durch die Flachbatterie, die zudem aus Sicherheitsgründen benutzt wird, der Anschluss an zwei Pole sehr deutlich, sowie die Bedeutung von zwei Zuleitungsdrähten für einen geschlossenen Stromkreis, die in einem Kabel nicht erkennbar sind (z.B. Stecker) und in Verbindung zum Stromfluss stehen. Weiter kann die Wirkung des Stroms am Wolframdraht der Glühbirne genauestens beobachtet werden, was bei anderen elektrischen Geräten durch die nicht durchschaubaren Isolierungen meist verwehrt bleibt.

Folglich müssen Situationen geschaffen werden, in denen sich Kinder mit der Technisierung beschäftigen können, denn nur so werden sie zur Selbstständigkeit und zu einem verantwortungsvollen Handeln mit den Dingen ihrer Umwelt erzogen (vgl. Möller, 1997, S. 12f).

Das eigene Handeln nimmt dabei eine bedeutende Funktion ein, die es dem Kind erlaubt, die Wahrnehmung in Bezug auf das Phänomen zu verstärken (vgl. Biester, 1991, S.24).

Eine freie Beschäftigungsphase mit der Möglichkeit zum Experimentieren vor der Einführung eines Themas ist dabei besonders gut für Kinder im Grundschulalter geeignet und unerlässlich, da sie den Kindern ermöglicht, Fragestellungen zu verfolgen und diese gegebenenfalls zu problematisieren, während sie sich konkret mit dem Sachverhalt auseinandersetzen (vgl. Unglaube In: Faust-Siehl/ Meier u.a., 1997, S. 231ff).

5. Vergleichstexte zu Kindervorstellungen von Strom im Vorfeld der Untersuchung

In dem folgenden Kapitel werden Vergleichstexte für die anschließende eigene Untersuchung herangezogen und in Auszügen beschrieben. Dabei werden nur die Teile der Studien⁹ vorgestellt, die im Zusammenhang mit der eigenen Untersuchung verglichen werden können.

Zudem wird kein Augenmerk auf die Methodik gelegt, sondern nur auf die Aussagen der Kinder, die sich konkret auf den Sachverhalt „Strom“ beziehen. Dabei ist des Weiteren wichtig, dass im Wesentlichen nur die Äußerungen der Kinder aufgegriffen werden, die **vor** einem Eingreifen durch den Lehrer oder der Betreuungsperson gemacht wurden, da andere Äußerungen durch korrigierende Aussagen oder durch herangezogene Analogien bereits stark beeinflusst sind.

Anzumerken ist noch, dass Kindervorstellungen zum Thema „Strom“ in der Grundschule kaum in neueren Untersuchungen behandelt wurden, so dass an dieser Stelle nur einige Vergleichstexte vorgestellt werden können. Die Vorstellung wird in chronologischer Reihenfolge vorgenommen, um keine Gewichtung der Studien vorzunehmen.

5.1. Untersuchung von Elke Stork und Hartmut Wiesner

In der 1981 vorgestellten Untersuchung von Elke Stork und Hartmut Wiesner (vgl. Stork/ Wiesner In: Sachunterricht und Mathematik der Primarstufe, 1981, S.218-230) wurden die Vorstellungen, die Kinder im Alltag gesammelt hatten, an 24 Kindern einer 3. Grundschulklasse betrachtet. Zu diesem Zweck wurden die Kinder einzeln von verschiedenen Studenten interviewt.

Ziel dieser Untersuchung war, anhand der Äußerungen der Kinder eine Unterrichtseinheit zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse der Kinder zugeschnitten ist und die Fehlkonzeptionen, die durch Schulbücher und Alltagssprache erlangt werden, zu verwerfen.

Anzumerken ist hierbei, dass nicht alle Ergebnisse und Antworten der Kinder vorgestellt wurden, da manche Äußerungen als unergiebig oder uninteressant beschrieben wurden, so dass nicht immer 24 Antworten dargestellt werden können.

Um einen besseren Überblick gewährleisten zu können, werden die Antworten der Schüler¹⁰ in tabellarischer Form dargestellt. Des Weiteren werden die Antworten der Schüler prozentual dargestellt, was an dieser Stelle ergänzt wurde. Dabei wurde nach der ersten Stelle hinter dem Komma eine Ab- bzw. Aufrundung vorgenommen.

⁹ Es handelt sich dabei auch teilweise um die Beschreibung von Unterrichtseinheiten. Hier werden die vorgestellten Artikel der Einfachheit halber unter den Begriffen „Untersuchung“ und „Studie“ zusammengefasst.

¹⁰ Der Einfachheit halber werden in der gesamten Arbeit männliche und weibliche Schüler unter dem Überbegriff „Schüler“ zusammengefasst, was keinesfalls eine Diskriminierung des weiblichen Geschlechts darstellen soll.

Frage: Was stellst du dir unter elektrischem Strom vor?

Antworten der Schüler	Anzahl der Schüler (von 24)	Angabe in %
gefährlich	6	25%
Bennennen von Anschlussteilen	7	29,2%
Wirkungen des Stroms	4	16,7%
Analogie zu Luft (unsichtbar/ überall)	4	12,5%
Analogie zu Metall (lang und dünn/ Zusammenstoß in der Lampe)	3	4,2%
Funken, die im Draht entlanglaufen	1	4,2%
Form von Licht, das man nicht sehen kann	1	4,2%
Ist dem Wasser entzogen	1	4,2%
Wird durch den Draht gepresst	1	4,2%

Dabei waren die ersten drei Antworten sehr allgemein gehalten, so dass die folgenden Antworten als besonders interessant beschrieben wurden.

**Frage: In Schulbüchern kannst du lesen: „Die Batterie ist unsere Stromquelle.“
Was stellst du dir unter einer Stromquelle vor?**

Antworten der Schüler	Anzahl der Schüler (von 24)	Angabe in %
In der Batterie ist Strom gespeichert	16	66,7%
Angabe von Bezugsobjekten (Steckdose, Aufbau der Batterie)	4	16,7%
Viele Batterien ergeben eine Batteriequelle	1	4,2%
Kleine Männchen sorgen für einen Stromfluss	1	4,2%

Als Grund für die in der Tabelle aufgeführten Antworten werden die Alltags-sprechweisen und auch Vermittlungen durch Schulbücher angegeben, die den Eindruck der Batterie als einen Stromvorratsbehälter zulassen (z. B.: Batterie ist verbraucht *oder* leer/ Batterie liefert Strom etc.)

Die beiden letzten Äußerungen fielen bei den Antwortgebungen aus dem Rahmen und besonders bei der letzten Äußerung wird explizit darauf hingewiesen, dass diese ernst gemeint war.

Auftrag: Anschluss einer Glühlampe an eine Flachbatterie

Dabei sollte zuerst eine Vermutung geäußert werden, ob der Anschluss mit einem Kabel genügt, um die Lampe zum Leuchten zu bringen. Des Weiteren sollten Begründungen für ein Nicht- Leuchten gefunden werden und warum der Anschluss mit zwei Kabeln das gewünschte Ergebnis hervorbringen kann.

Vorhersage: 18 Schüler waren der Meinung, dass für das Leuchten des Lämpchens ein Kabelanschluss ausreichend ist.

Nach der Demonstration Begründungen für ein Nicht- Leuchten mit einem Kabel:

Antworten der Schüler	Anzahl der Schüler (von 24)	Angabe in %
Batterie ist verbraucht oder kaputt	6	25%
Lämpchen ist kaputt	3	12,5%
Kabel ist verstopft	1	4,2%
Ein Kabel zu wenig	1	4,2%
Anschlussklemmen sind unterschiedlich lang	1	4,2%
Anschlussklemmen sind zu dünn	1	4,2%
Man muss etwas abwarten	1	4,2%
Lämpchen ist nicht fest genug ans Kabel gedrückt	1	4,2%
Stecker und Birnchen sind leer (kein Strom drin)	1	4,2%
Falscher Verwendungszweck (Batterie gehört in einen Kassettenrecorder)	1	4,2%

Die meisten Schüler waren also der Meinung, dass defekte Teile oder eine falsche Anordnung der Teile für ein Nicht- Leuchten des Lämpchens verantwortlich sind.

Wiesner und Stork sehen in den sehr unterschiedlichen Vermutungen große Probleme für den Unterricht, da sie zum einen sehr schwer widerlegbar und zum anderen sehr vielschichtig sind.

Nach der Demonstration mit zwei Kabeln (Lampe leuchtet):

Antworten der Schüler	Anzahl der Schüler (von 24)	Angabe in %
Durch ein Kabel kommt zu wenig Strom	17	70,8%
Explizit: es kommen durch beide Kabel der gleiche Strom zum Lämpchen hin	7	29,2%

Daraus lässt sich schließen, dass für die Schüler die Vorstellung des Stromflusses von einem Pol zum anderen keinesfalls nahe liegend ist und dass eine Zweiführungsvorstellung weit verbreitet ist, d.h. die Schüler gehen dabei von einem Stromfluss durch beide Kabel des Stromkreises aus.

Auf andere Ergebnisse dieser Studie wird im Weiteren nicht eingegangen, da diese nicht im direkten Zusammenhang zu der eigenen Untersuchung stehen. Festzuhalten gilt, dass Schüler den Strom zumeist in Analogien zu Bekanntem setzten, die Batterie als einen Strombehälter ansahen und statt eines Stromkreises eine Zweiführungsvorstellung innehatten.

Das Ergebnis dieser Untersuchung bestätigt Wiesner auch in seinem Artikel „Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre“ (vgl. Wiesner In: Sachunterricht und Mathematik der Primarstufe, 1995, S.50-58), bei dem 27 Schülern zunächst Sachverhalte über Strom erklärt wurden. Danach sollten die Erklärungen durch die Schüler selbst bewertet und anschließend wiederholt werden. Ein weiteres Ziel war es, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden, wobei Teilaspekte noch einmal detailliert bewertet wurden, um danach ein weiteres Beispiel zu finden.

Dabei wird den Schülervorstellungen durch eine Erklärung vorgegriffen, so dass sich ein Vergleich zu der eigenen Untersuchung nicht anbietet. Allerdings erklärt Wiesner in diesem Artikel, dass 52% der Schüler innerhalb der gesamten Versuchsreihe Zweiführungs- und/ oder Verbrauchsvorstellungen genannt haben. Bei einer anschließenden Abschlussprüfung besitzen nur noch 19% der Schüler (5 Schüler) eine solche Vorstellung, von der allerdings bis auf einen Schüler nach einer weiteren Diskussion alle abkamen.

5.2. Untersuchung von Ernst Kirchner und Heidi Werner

In diesem Bericht von Ernst Kirchner und Heidi Werner (vgl. Kirchner/ Werner In: Sachunterricht und Mathematik der Primarstufe, 1994, S.144-151), der 1994 veröffentlicht wurde, ging es in erster Linie mehr um die Beschreibung eines anthropomorphen Modells, in dem die Kinder den Strom „spielten“, als um die Analyse der Kinderaussagen zum Thema „Strom“.

Trotzdem sind einige Vorstellungen der Kinder zum Strom äußerst interessant und können mit den Ergebnissen der anschließenden Untersuchung verglichen werden.

Diese Untersuchung wurde in Anlehnung an eine Untersuchung der Sekundarstufe I gemacht. Dabei wurde nach einer Umstellung der Fragen ein Fragebogen vor und nach der Unterrichtseinheit ausgegeben, an dem zunächst die Vorstellungen der Kinder und anschließend ihr Lernerfolg überprüft werden sollte.

Die Unterrichtseinheit wurde am Ende eines 3. Schuljahres durchgeführt, nachdem bereits 5 Monate zuvor der Stromkreis anhand von Schülerversuchen behandelt worden war.

Nach dem ersten Durchgang des Fragebogens wurden die Antworten der Kinder im Gespräch diskutiert und gegebenenfalls berichtigt. Dabei sollten 6 Teilziele der Unterrichtseinheit mit Hilfe von Satzpuzzeln erreicht werden. Des Weiteren wurden die Vorgänge des Stroms spielerisch durch die Kinder selbst dargestellt (Elektronen, Lampe, Batterie, Schalter), was dazu beitrug, dass die Alltagsvorstellungen der Kinder durch fachlich relevantere Vorstellungen ersetzt werden konnten.

Die Antworten der Kinder werden hierbei nicht in tabellarischer Form aufgelistet, da aus dem Bericht nicht hervorgeht, wie viele Kinder an der Unterrichtseinheit teilnahmen und es keine Auflistung der Ergebnisse des ersten Fragebogens gibt. Vielmehr wurden die Vorstellungen der Kinder im Gespräch analysiert.

Frage: Wie stellst du dir elektrischen Strom vor?

1. Strom ist eine Flüssigkeit, die von der Batterie zur Lampe und wieder zurück fließt
2. Ergänzung: Flüssigkeit kann man nicht sehen
3. Die Flüssigkeit in der Batterie wird für den Strom gehalten
4. etwas, dass man nicht sieht (wie Luft, substanzlos)
5. Strom ist wie ein Blitz (auf Stromkästen zu sehen)
6. Strom wandert ganz schnell von der Steckdose zum Gerät (deswegen geht das Gerät gleich an)
7. Strom sind unsichtbare, winzige, bewegte Teilchen (man sieht keine Flüssigkeit, wenn man einen Draht aufschneidet)

Diese Antworten zeigen, dass in Antwort 1 bereits eine Stromkreisvorstellung verankert ist, die wahrscheinlich auf die bereits gehaltene Unterrichtseinheit zurückzuführen ist. Besonders die letzte Antwort ist sehr nah an der Elektronenvorstellung, nur dass die Elektronen noch als Teilchen bezeichnet werden. Alle anderen Antworten zeigen, dass die Kinder sich durch Alltagsgegenstände und ihre Erfahrungen den Strom erklären. Der Begriff „Elektronen“ wird im weiteren Verlauf der Einheit eingeführt, so dass dieser Begriff von den Kindern im Folgenden gebraucht wird.

Frage: Wann bewegen sich Elektronen und wo befinden sie sich?

1. Wenn eine Batterie angeschlossen ist, bewegen sich Elektronen.
2. Ergänzungen zur Batterie: Bei einer leeren Batterie sind die Elektronen draußen *oder* gestorben *oder* verbrannt (weil eine Lampe heiß wird) *oder* sie reiben sich ab

nach dem Spiel (Kind [Batterie] schubst Elektronen [restliche Schüler] an):

3. Batterie setzt Elektronen in Bewegung
4. Elektronen sind bereits in der Batterie enthalten
5. Elektronen fließen durch die Batterie
6. Batterie wird nicht leer, sondern die Elektronen wandern immer wieder durch den Draht
7. Ergänzung: Die Säure wird leer
8. Die Batterie wird nicht leer, sondern verbraucht

Vor dem Spiel zeigt sich, dass die Kinder die Batterie ebenfalls als Strombehälter sehen, der leer werden kann. Erst nach dem Spiel gelangen sie zu der Erkenntnis, dass Elektronen bereits in der Batterie enthalten sind und nicht verbraucht werden.

Auf weitere Ergebnisse der Unterrichtseinheit wird hierbei nicht mehr eingegangen, da nur sehr wenige Äußerungen vor einer Richtigstellung genannt werden. Zumal haben diese Kinder im Vergleich zu den Schülern der ersten vorgestellten Untersuchung den Vorteil, dass ihre Vermutungen durch die anderen Schüler direkt ergänzt und

somit richtige Ergebnisse relativ schnell gemeinsam erarbeitet und festgehalten werden. Außerdem können diese Schüler bei den weiteren Unterrichtsstunden auf ihr bereits erlerntes Wissen zurückgreifen.

Aber auch hier zeigte sich, dass die Schüler für das „Aussehen“ des Stroms Vergleiche zu ihnen bekannten Materialien fanden und sich die Batterie als einen Strombehälter vorstellten.

5.3. Untersuchung von H. Asoko

Diese Untersuchung von H. Asoko (vgl. Asoko In: G. Welford/ J. Osborne u.a., 1996, S.36-49), die 1996 vorgestellt wurde, wurde mit einer Klasse, deren Kinder 8 bis 9 Jahre alt waren, an einer Grundschule in Nordengland durchgeführt. Diese Schüler hatten bereits 3 Jahre zuvor erste Erfahrungen mit einfachen Stromkreisen gemacht.

Dabei ist anzumerken, dass das Schulsystem Englands Unterschiede zu dem in Deutschland aufweist, so dass sich diese Schüler bereits sehr früh mit dem Phänomen „Strom“ auseinandergesetzt haben. Dennoch ist die Altersgruppe sehr nah an der gelegen, die in den vorangegangenen Texten beschrieben wurde und somit auch mit den Kindern der eigenen Untersuchung kongruent.

Im Rahmen dieser Untersuchung, die speziell zum einfachen Stromkreis gemacht wurde, befand sich neben dem Lehrer ein sog. „Researcher“ im Unterricht, der den Lehrer beriet, ohne in den Unterricht einzugreifen. Zudem stellte er Beobachtungen an und half bei Kleingruppenarbeiten an den Tischen mit.

Die Ergebnisse der Schüler wurden durch Protokolle, Kopien der schriftlichen Schülerarbeiten, Audioaufnahmen der Diskussionen und Interviews, die einzeln oder in Gruppen durchgeführt wurden, festgehalten.

Die Schüler konnten während der Unterrichtseinheit zunächst ihre eigenen Experimente zum einfachen Stromkreis machen, bevor mit der sog. „String“- Analogie (Schnur– Analogie¹¹) zum besseren Verständnis nachgeholfen wurde.

Zur Auswertung des Verständnisses und dem Lernzuwachs der Kinder wurde ein Test direkt an die Unterrichtseinheit angeschlossen, ein weiterer folgte 6 Monate später.

Die Äußerungen der Kinder wurden in dieser Untersuchung nicht detailliert aufgelistet, aber es existierten folgende Gedanken zum Stromkreis:

1. die positive Lasche der Batterie ist für das Leuchten der Lampe im Stromkreis verantwortlich (die Schüler maßen der positiven Lasche der Batterie eine besonders große Bedeutung bei)
2. Zweiführungsvorstellung: Von beiden Enden der Batterie fließt die „Energie“, „Elektrizität“ oder „Kraft“¹² und trifft sich in der Mitte der Glühlampe wieder, was ein Leuchten der Lampe zur Folge hat.

¹¹ diese Analogie wird im Laufe der Beschreibung der Untersuchung noch vorgestellt

¹² die Schüler benutzten diese Begriffe anstatt des Begriffes „Strom“

3. Kreisvorstellung: die Energie fließt vom Pluspol zum Minuspol
darunter aber auch die Vorstellung vertreten: die positive Ladung wird im Laufe des Kreisflusses zur negativen Ladung

Wichtig hierbei sind vor allem die beiden letzten Äußerungen, denn die „Zweiführungsvorstellung“ ist auch bei diesen Kindern aus England eine gängige Erklärung für die Stromzufuhr im Stromkreis.

Die letzte Äußerung ist sicherlich schon auf Erfahrungen mit dem Stromkreis zurückzuführen, auch wenn hierbei die technische Richtung und nicht die Richtung der Elektronen benannt wurde. Die Schüler in dieser Studie schienen sich jedoch sehr auf den positiven Pol der Batterie zu konzentrieren.

Die Abweichung dieser Kreisvorstellung in eine Umwandlung der Ladungen bei einem Stromfluss von „+“ nach „-“ scheint durchaus eine logisch durchdachte Erklärung, die eventuell auf die genaue Bezeichnung der Pole der Batterie zurückgeführt werden kann. Auch ist beim Einlegen der Batterie in elektrische Geräte ein genaues Befolgen der Polrichtung für die Funktion des Gerätes wichtig, so dass dies eine große Bedeutung für Kinder einnimmt.

Vor der Einführung der „String“- Analogie existierten folgende Vorstellungen zur „Energie“:

1. sie hilft uns
2. sie hilft, dass die Geräte arbeiten

Diese Äußerungen zeigen, dass noch sehr undifferenzierte Vorstellungen der Kinder in diesem Zusammenhang existieren. Außerdem wurden hierbei noch keine Vermutungen über das „Aussehen“ der Energie gemacht, sondern nur ihr Zweck beschrieben.

Danach wurde mit den Schülern die „String“- Analogie durchgeführt. Dabei streckten alle Kinder ihre Hände, die die Drähte symbolisieren sollten, nach vorne aus. Als „Energie“ hielten die Kinder eine lange, dünne Schnur lose zwischen ihren Daumen und Zeigefingern. Die Lehrperson symbolisierte die Batterie, die den Strom bzw. die Energie, anschubste und in dem „Draht“ zirkulieren ließ. Dabei kehrte genauso viel Schnur, also Energie, zur Batterie zurück, wie weggeschubst worden war. Wenn ein Kind die Schnur leicht umfasste, wurde ein Widerstand im Kreis gebildet und die Energie wurde als Wärme an der Hand empfunden.

Nach diesem Experiment wurden folgende Aussagen der Kinder zum Stromkreis getroffen:

1. die Batterie sorgt für die Energie
2. die Energie geht zur Glühlampe
3. die Energie bringt die Glühlampe zum Leuchten
4. die Energie wird vom Strom getragen
5. der Strom geht kreisförmig und zur Batterie zurück

Daraus lässt sich schließen, dass die Analogie zu einem besseren Verständnis zu den Vorgängen in einem Stromkreis geführt hat, unklar bleibt allerdings der Begriff „Energie“, der nicht weiter differenziert wird.

5.4. Zusammenfassung der Vergleichstudien

Obwohl die Äußerungen der Kinder durch die zu geringe Anzahl der Probanden nicht repräsentativ sind und nicht in allen drei vorgestellten Untersuchungen auf die gleichen Sachverhalte eingegangen wurde, lassen sich dennoch folgende Tendenzen beschreiben und vermuten: Die Mehrheit der ca. 8 bis 11 Jahre alten Kinder erklärt sich den Strom in Analogien. Weiter wird die Batterie als ein Behälter, in dem Strom gelagert wird und beim Einsatz verbraucht wird, beschrieben. Die Vorstellungen des Stromflusses in einer Kreisform sind bei den Kindern erst sehr schwach verankert, auch wenn der Stromkreis in Ansätzen schon behandelt wurde. Vielmehr wird von einer Zweiführungsvorstellung ausgegangen, bei der der Strom gleichzeitig die beiden Laschen der Batterie verlässt und somit die zwei Ströme für ein Leuchten der Glühlampe verantwortlich sind.

Anzumerken hierbei ist, dass die ersten zwei Untersuchungen zeitlich sehr weit auseinander liegen. So wurde die erste 1981 und die zweite 13 Jahre später beschrieben. Trotzdem hat sich an den Erkenntnissen und Vermutungen der Kinder in diesem Zeitraum nichts geändert, was hier in Auszügen beschrieben werden konnte.

Die drei beschriebenen Aspekte sind besonders interessant für die im Anschluss beschriebene Untersuchung. Daher sollen sie auch die inhaltliche Basis für die eigene Untersuchung bilden.

Stellen sich die Schüler Strom immer noch als etwas eher Undefinierbares vor und wie denken sie über Batterien und den Stromfluss? Hat sich 6 Jahre nach der letzten beschriebenen Untersuchung etwas geändert?

6. Die Untersuchung: Vorstellungen 9 bis 11jähriger Kinder zum Thema „Strom“

6.1. Planung und Durchführung

6.1.1. Zielsetzung der Untersuchung

Anhand dieser Untersuchung soll herausgefunden werden, welche Vorstellungen zum Thema Strom bei Grundschulkindern im Alter von 9 bis 11 Jahren existieren.

Die Aussagen der Kinder sollen analysiert, ausgewertet und untereinander verglichen werden.

In Anlehnung an die bereits vorgestellten Vergleichstudien, deren Ergebnisse allerdings nur als Tendenzen verstanden werden dürfen, werden die Ergebnisse der eigenen Untersuchung mit denen der Vergleichstudien in Beziehung gesetzt und somit verglichen, wobei Kongruenzen und Abweichungen festgestellt werden sollen.

Wegen der zu geringen Probandenzahl von acht Kindern, die im Rahmen dieser Arbeit möglich war, kann bei der Auswertung der Ergebnisse ebenfalls nur von Tendenzen gesprochen werden.

6.1.2. Die Methode

Das einfachste und naheliegendste Mittel, um Auskünfte oder Vorstellungen über ein bestimmtes Thema zu bekommen, ist jemanden zu befragen.

Die geeignetste Methode, um sich über Kindervorstellungen zu Strom zu informieren, erschien hier eine mündliche Befragung, genauer ein sog. Leitfadeninterview, mit einem experimentellen Anteil, der durch die bereitstehenden Materialien gewährleistet werden soll.

Diese Methode wird zur qualitativen Forschung gezählt, da durch sie bestimmte Ereignisse beschrieben und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Daten hergestellt werden können, während bei einer quantitativen Methode die Ausprägung der Ereignisse, also das Messen einer Stärke eines bestimmten Merkmals, im Vordergrund des Forschenden steht (vgl. Rosemann In: Perleth/ Ziegler (Hrsg.), 1999, S.269f).

Befragungen an Kindern im Allgemeinen gewinnen seit den 70er Jahren immer mehr an Bedeutung (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzl (Hrsg.), 2000, S.60), da sie in der Forschung mittlerweile als eigenständige Personen gesehen werden, die als alleinige Experten ihrer Lebenswelt gelten (Fuhs In: Heinzl (Hrsg.), 2000, S.88). Die Expertenrolle kann demnach nicht auf Erwachsene übertragen werden, d.h. sie können nicht für die Welt der Kinder sprechen.

Befragungen bzw. Fragen sind das häufigste Mittel, sich im alltäglichen Leben seine Umwelt zu erschließen, da auf sie im Regelfall eine Antwort folgt (vgl. Friedrichs, 1990, S.207). Die Wissenschaftlichkeit einer Befragung grenzt sich von einer Befragung im Alltag davon ab, dass sie eine systematische Vorbereitung erfordert, zielgerichtet ist und vor allem einer theoriegeleiteten Kontrolle seitens des Forschers unterliegt (vgl. Atteslander, 1993, S.128f).

Das für die Untersuchung zugrunde liegende **Leitfadeninterview** zeichnet sich dadurch aus, dass der Forscher mit bereits vorformulierten Fragen in die Interview-situation geht, d.h. es hat bereits eine Strukturierung stattgefunden (vgl. Atteslander, 1993, S.158/ Friedrichs, 1990, S.224).

Im Gegensatz zum **stark strukturierten Interview**, das durch die starke Vorstrukturierung dem Fragebogen ähnelt, ist dem Forscher allerdings die Möglichkeit gegeben, den Inhalt, die Anzahl und die Reihenfolge der Fragen im Nachhinein dem Gegenüber anzupassen, so dass bei auftretenden Schwierigkeiten korrigierend in die Interviewsituation eingegriffen werden kann (vgl. Atteslander, 1993, S.157f). Der Forscher besitzt also einen Gesprächsleitfaden, der als Orientierung dient, so dass bei einem Leitfadeninterview auch von einem teilstrukturierten Interview gesprochen wird. Das Leitfadeninterview scheint besonders bei der Befragung von Kindern sinnvoll, die auf offene Fragen antworten müssen, wie dies in dieser Untersuchung der Fall sein wird.

Dem Interviewer bleibt bei dieser Art des Interviews ein größerer Freiraum, auch auf die Ergänzungen oder Fragen der Kinder einzugehen und er selbst hat die Möglichkeit, sich durch gezieltes Nachfragen Klärung zu verschaffen, was die Interpretation der Kinderaussagen im Gegensatz zum Fragebogen oder dem stark strukturierten Interview erleichtert (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.65).

Das **wenig strukturierte Interview** erscheint für diese Untersuchung ebenfalls nicht passend, da die im Vordergrund stehende Aufgabe des Forschers im Zuhören besteht und er sich daher kaum auf die Interviewsituation vorbereitet (vgl. Atteslander, 1993, S. 157). So können im Verlauf des Interviews ganz andere Themen angesprochen werden als zuvor erwartet wurde. Da die Untersuchung aber ein konkretes Ziel verfolgt, nämlich die Vorstellungen der Kinder zu Strom, entfällt das wenig strukturierte bzw. offene Interview als Methode.

Der **Fragebogen** scheidet ebenfalls als mögliche Methode für die Befragung aus, da - wie auch beim stark strukturierten Interview - kein individuelles Eingehen auf das Kind möglich ist. Während beim teilstrukturierten oder offenen Interview auf die unterschiedlichen kognitiven Möglichkeiten der Befragten eingegangen werden kann (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.66), ist dies beim Fragebogen durch die vorformulierten und fest strukturierten Fragen nicht mehr gegeben.

Ein weiterer Nachteil bei dieser Methode ist, dass Kinder in einigen Fällen aufgrund einer Lese- oder Rechtschreibschwäche nicht auf die Fragen antworten können (vgl. Ebd., S.65), so dass hieraus hervorgehend Ausfälle von Antworten, die somit nicht gewertet werden können, zu erwarten sind. Zudem ist eine Kontrolle der Befragungssituation kaum möglich (vgl. Atteslander, 1993, S.163f), da nicht immer evident ist, ob die Fragen mit Hilfe anderer beantwortet wurden.

Vorteile des Fragebogens sind hingegen die Anonymität des Befragten (Ebd.), so dass sich das Kind weniger gehemmt und kontrolliert fühlen könnte, die gestellten Fragen zu beantworten und die bessere Vergleichbarkeit der Antworten untereinander (vgl. Ebd., S.171), da zumeist ein Ankreuzen ausreicht, um eine Frage zu beantworten.

Des Weiteren ist auch der geringere Zeitaufwand zu nennen, da viele Kinder gleichzeitig denselben Fragebogen ausfüllen können. Es wird also nicht für jedes Kind ein Interviewer benötigt, der zudem während eines Gesprächs stets Einfluss nimmt und somit auch als Verzerrungsfaktor bezeichnet wird (vgl. Ebd., S.159). Durch den Einfluss des Interviewers gilt dieser zudem als Fehlerquelle (vgl. Ebd., S.163), da er durch Hilfe- und Zielvorstellungen Antworten suggerieren kann.

Beim Interview ist, wie auch beim Fragebogen, eine Totalkontrolle nie möglich, da die Umgebung, in der das Interview stattfindet, nicht vollständig beobachtbar ist und somit immer auf den Befragten wirkt. Es wirkt also nicht nur die gestellte Frage auf den Befragten, so dass seine Reaktion stets auf die gesamte Befragungssituation hin zu interpretieren ist (vgl. Atteslander, 1993, S. 130f).

Bei Kindern entsteht bei einem sog. „face-to-face“-Interview (Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.63) zusätzlich das Problem, dass sie aufgrund ihrer Erfahrungen im Alltag mit Eltern, im Kindergarten oder in der Schule, Erwachsene als Erziehende wahrnehmen und erfahren und dieses Bild mit in eine Interviewsituation bringen (vgl. Heinzel In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.25), sich somit nicht als einen gleichberechtigten Gesprächspartner sehen.

Durch dieses hierarchische Verhältnis zwischen den Generationen (vgl. Fuhs In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S. 92f) ist daher besonders bei Kindern die Vorstellung verankert, fehlerfreie Antworten geben zu müssen. Zudem neigen sie dazu, solche Antworten zu geben, die entweder ihren eigenen Wünschen entsprechen oder die sie seitens des Forschers als gewünscht interpretieren (vgl. Heinzel In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.28f).

Demzufolge gestaltet es sich immer als schwierig, die Aussagen der Kinder bezüglich ihrer Welt in dem Maße zu interpretieren, dass sie durch die Sicht der Erwachsenen nicht in Frage gestellt werden (Fuhs In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S. 92).

Ein weiterer Aspekt, der sich für die Durchführung eines Interviews als schwierig gestaltet, ist, dass es oftmals schwer fällt, Kinder zu einem Gespräch anzuregen (vgl. Heinzel In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.28), so dass hierbei hohe Erwartungen an den Interviewer gestellt werden, die zumeist nur durch Erfahrungen und Training (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.66) oder sogar gezielte Schulungen (vgl. Atteslander, 1993, S.171) erfüllt werden können, die in dieser Untersuchung nicht gegeben sind.

Bei Befragungen im Allgemeinen wird die Sprache als eines der größten Probleme gesehen, da sich Kompetenzen dahingehend bei Kindern stark unterscheiden und sie sich daher unterschiedlich gut artikulieren können. Als Gründe hierbei werden nicht nur die Individualität eines jeden Charakters angegeben, sondern auch der Status der

Familien, so dass Kindern aus höher situierten Familien eine größere Sprachkompetenz zugeschrieben wird als Kindern aus sozial schwächeren Familien. Des Weiteren wird Mädchen allgemein eine besserer Ausdrucksqualität zugesprochen als Jungen (vgl. Fuhs In: Heinzl (Hrsg.), 2000, S.90).

Die benannten Nachteile eines Interviews sind immer gegeben und müssen daher als Bedingungen und nicht als Störfaktoren einer Interviewsituation angesehen werden (vgl. Atteslander, 1993, S. 132), zumal es keine Forschungsmethoden gibt, die speziell nur für die Kindheitsforschung geeignet sind und somit die aufgeführten Nachteile vermeidbar werden lassen.

Die Sinnhaftigkeit von aktiven Handlungsphasen eines Kindes, die in der Untersuchung am Versuchsaufbau unternommen werden, wurde bereits in den vorherigen Kapiteln angesprochen: Durch das **Experimentieren** können Kinder nicht nur die Fragestellungen des Interviewers besser nachvollziehen (vgl. Unglaube In: Faust-Siehl/ Meier u.a. (Hrsg.), 1997, S.231f), sondern auch durch aktive Auseinandersetzung, die die Wahrnehmung auf die verschiedenen Sinne projiziert, die Funktionsweisen des Stromkreises erkennen und verinnerlichen (vgl. Biester, 1991, S.24f).

Bei Experimenten besteht zudem die Möglichkeit, dass Kinder durch eine Beobachtung, die nicht ihrer Erwartungen entspricht, in einen Konflikt versetzt werden, der sie zum Nachdenken und eventuell sogar zu einer Veränderung ihrer inneren Schemata anregt (vgl. Max In: Faust-Siehl/ Meier u.a., 1997, S.76f).

Das **Zeichnen** als Methode des Ausdrückens von Gedanken wird bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, obwohl dem Zeichnen technischer Sachverhalte eine große Bedeutung zukommt. So kann es Kindern helfen, Vorstellungen zu konkretisieren und dem Phänomen distanzierter und objektiver gegenüberzustehen. Des Weiteren können Vorstellungsmängel entdeckt werden und der Nachvollzug gestaltet sich für Außenstehende einfacher (vgl. Biester, 1991, S.60f).

Da aber der Stromkreis als Versuchsaufbau im Realen vorliegt und dadurch eine Veranschaulichung bereits gegeben ist, an der die Kinder ihre Verbalisierung unterstützen können, erschien eine zusätzliche Zeichnung überflüssig.

Das Leitfadeninterview liegt also der Untersuchung zugrunde, da es dem Interviewer erlaubt, auf jedes befragte Kind individuell einzugehen, zusätzlich aber auch ein konkretes Ziel zu verfolgen. Dies ist gerade deshalb so wichtig, da unterschiedliche Antworten und Begründungen der Kinder auf die Fragen der Interviewerin zu erwarten sind, die z.B. in einem Fragebogen eventuell nur unter „Sonstiges“ zu fassen sind, da sie als mögliche Antwort nicht bedacht wurden. Auch bietet diese Form des Interviews dem Forscher stets die Möglichkeit, die Gedankengänge der Kinder durch Nachfragen oder Wiederholen abzuklären und/ oder zu vertiefen.

Zudem kann auf den Versuchsaufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises, der Bestandteil des Interviews sein wird, im Verlauf des Gesprächs ständig Bezug genommen werden.

6.1.3. Die Leitfragen der Interviews

Die Interviewfragen, die im Folgenden vorgestellt werden, orientieren sich zum Teil an der bereits in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchung von Elke Stork und Hartmut Wiesner (vgl. Stork/ Wiesner In: Sachunterricht und Mathematik der Primarstufe, 1981, S. 218- 230.). Des Weiteren sind die Fragen hier in einer Reihenfolge aufgelistet, die, entsprechend des Konzepts eines Leitfadeninterviews, nicht unbedingt der Reihenfolge des Interviews entspricht. Auch müssen die Fragen nicht genau dem Wortlaut nach gestellt werden, der unten angeführt wird, und Fragen, die im Verlauf des Gesprächs bereits ohne eine Fragestellung beantwortet wurden, müssen nicht zusätzlich explizit gestellt werden.

Durch das gegebene Material ist den Kindern durchgängig die Möglichkeit gegeben, ihre Aussagen durch eine unterstützende Gestik zu konkretisieren.

1. Einführungsphase

Zu Beginn jedes Interviews steht eine kurze Einführung, in der die Interviewerin die Materialien, die zur Veranschaulichung des Stromkreises bereitstehen, vorstellt. Dabei ist den Kindern die Möglichkeit gegeben, die Materialien näher zu betrachten und gegebenenfalls Fragen zu stellen.

2. **Leuchtet die Glühlampe, wenn die Batterie und die Glühlampe durch ein Kabel verbunden werden?**

Diese Frage soll den Einstieg in das eigentliche Interview geben, so dass sie bei jedem Interview am Anfang stehen soll. Dabei haben die Kinder den Aufbau des Stromkreises mit nur einem Kabel konkret vor sich, so dass sie ihre Aussage im Realen überprüfen können.

Anhand dieser Frage lässt sich herausfinden, ob das befragte Kind bereits den technisch- funktionalen Aufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises auch ohne ein eigenständiges Ausprobieren erkennt bzw. ob dieser Aufbau bereits in seinem kognitiven System verankert ist.

3. **Warum leuchtet die Glühlampe bei der Verbindung mit einem Kabel nicht?**

Durch diese Frage soll geklärt werden, ob diejenigen Kinder, die die vorangegangene Frage nicht richtig beantworten konnten, falsche oder defekte Bestandteile im Aufbau des einfachen elektrischen Stromkreises für ein Nicht- Leuchten der Glühlampe verantwortlich machen oder ob sie gegebenenfalls schon zu diesem Zeitpunkt den technisch- funktionalen Zusammenhang durchschauen, bevor ein Ausprobieren durch die Anleitung der Interviewerin mit einer Verbindung durch zwei Kabel stattfindet.

Dabei kann auch eine Überprüfung der Vermutungen stattfinden, indem die Materialien des Aufbaus durch andere ersetzt werden, allerdings können durch das Nicht-Leuchten der Lampe wegen des gleichen Aufbaus die Vorstellung von defekten Bestandteilen weiter bestehen bleiben.

Kinder mit einer richtigen Beantwortung der vorangestellten Frage können versuchen, ihre Antwort genauer zu rechtfertigen, indem sie auf den technisch- funktionalen Aufbau zurückkommen oder bereits auf den Stromfluss zu sprechen kommen. Dabei sind sowohl Zweiführungsvorstellungen, d.h. ein Fluss des Stroms durch beide Kabel, oder auch eine Kreisvorstellung zu vermuten.

4. Warum leuchtet die Glühlampe nur bei einer Verbindung mit zwei Zuleitungsdrähten?

Vor der Beantwortung dieser Frage steht zunächst die Handlung der Kinder, die Glühlampe mit der Verbindung durch zwei Kabel zum Leuchten zu bringen, so dass sie durch die aktive Handlung und durch das Sehen des Leuchtens der Lampe den Aufbau eines Stromkreises erkennen bzw. verinnerlichen können und somit die Möglichkeit haben, ihre Aussagen bezüglich der Vermutungen, die nach Frage 3 geäußert wurden, zu reflektieren.

Zudem zielt diese Frage auf das Verständnis des Stromflusses hin, so können Kinder beispielsweise vermuten, dass bei der Verbindung mit nur einem Kabel zu wenig Strom zur Glühlampe fließt, um diese zum Leuchten zu bringen, so dass von einer Zweiführungsvorstellung gesprochen wird. Aber auch die Kreisvorstellung des Stromflusses ist eine denkbare Erklärung der Kinder.

5. Fließt der Strom durch beide Zuleitungsdrähte?

Diese Frage kann dann gestellt werden, wenn sich ein Kind im vorherigen Verlauf der Befragung noch nicht zu seiner Vorstellung über den Stromfluss geäußert hat oder sich die Interviewerin über die Vorstellung des Kindes vergewissern möchte.

Hierbei sind erneut sowohl Zweiführungs- als auch Kreisvorstellungen des Stromflusses denkbar.

6. Wo befindet sich Strom im Stromkreis?

Diese Frage zielt auf das Verständnis der Kinder, ob die Batterie als ein Behälter angesehen wird, in dem Strom bis zum Einsatz der Batterie gelagert bzw. gespeichert ist, ab.

Dabei können die befragten Kinder bereits auf eine Verbrauchsvorstellung zu sprechen kommen, wenn sie davon ausgehen, dass der Strom beim Einsatz verbraucht wird, bis die Batterie „leer“ ist und somit der Verbraucher nicht mehr funktionieren kann.

7. Was passiert mit dem Strom in der Glühlampe?

Diese Frage zeigt in Verbindung mit Frage 5 noch einmal auf, ob beim befragten Kind eine Verbrauchsvorstellung vorliegt, die bis zu diesem Zeitpunkt eventuell noch nicht geäußert wurde.

Da durch die Fragestellung oftmals die Antwort des Leuchtens der Glühlampe zu erwarten ist, können dem Kind gleichzeitig verschiedene Alternativen geboten werden:

- **Fließt der Strom weiter?**
- **Bleibt der Strom in der Glühlampe stecken bzw. sammelt er sich dort an?**
- **Verschwindet der Strom bzw. wird er verbraucht?**

Auszüge dieser Alternativen werden dem Kind dann angeboten, wenn es die Interviewerin für den Verlauf des Interviews als wichtig erachtet oder das Kind ohne diesen Zusatz die Frage nicht zu beantworten weiß.

Bei der oben angeführten dritten Variante des Verschwindens kann auch von einer Verbrauchsvorstellung ausgegangen werden, da dieser Terminus ein „Kleinerwerden“ des Phänomens Stroms und somit einen Verbrauch impliziert.

Während die Variante des Verbrauchs des Stroms eine gängige und in sich schlüssige Erklärung ist, die nicht weiter ausgeführt werden muss, ist es für die Variante eines Weiterfließens des Stroms wichtig zu erfragen, ob dabei eine Kreisvorstellung verhaftet ist.

Für die Variante des Steckenbleibens bzw. des Sammelns des Stroms kann durch die Anregung der Interviewerin, ob durch eine Ansammlung des Stroms die Glühlampe nicht heller werden müsste oder eventuell explodieren könnte, eine neue Überdenkung der Aussage des Kindes stattfinden, so dass es eventuell auf eine andere Variante ausweicht oder aber das Kaputtgehen der Lampe nach 1000 Betriebsstunden (vgl. Der Strom als Gegenstand der Untersuchung, S.31) als Folge der Stromansammlung ansieht.

8. Was stellst du dir unter elektrischem Strom vor?

Hierbei wird im besonderen Maße auf das Thema dieser Arbeit „Kindervorstellungen von Strom“ eingegangen.

Dabei werden ganz unterschiedliche Erklärungsansätze von Seiten der Schüler erwartet, falls sie überhaupt über eine konkrete Vorstellung verfügen.

Zu erwarten ist, in Anlehnung an die Vergleichsstudien, dass die befragten Schüler den Strom in Analogie zu ihnen bereits vertrauten Phänomenen setzen, da der Strom nicht konkret sinnlich erfahrbar ist.

6.1.4. Die Materialien des Versuchsaufbaus

Um die Interviewsituation interessanter zu gestalten und um die Konzentrationsfähigkeit der Grundschüler über den zwar nur kurzen, aber wegen des abstrakten Themas schwierigen Zeitraum zu gewährleisten, werden Materialien bereitgestellt, an denen die Probanden ihre Aussagen selbst überprüfen können.

Des Weiteren fördert das aktive Teilnehmen des Kindes die Wahrnehmung in Bezug auf den Sachverhalt (vgl. Biester, 1991, S.24f).

Die Materialien ergeben, wenn sie richtig zusammengestellt werden, einen einfachen elektrischen Stromkreis. Dafür stehen 4,5 Volt– Flachbatterien, Glühlampen, die in Fassungen eingelassen sind und mehrere Kupferdrähte, deren eines Ende teilweise an Krokodilklemmen befestigt ist, zur Verfügung.

Das Einlassen der Glühlampen in Fassungen wird hier daher vorgenommen, da der Aufbau einer Glühlampe nicht im Interesse dieser Untersuchung steht: Um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen, muss ein Kabel an das Kontaktplättchen und das andere an das Gewinde der Glühlampe gehalten werden. Befindet sich die Glühlampe allerdings in einer Fassung, müssen die Kabel nur an die gut sichtbaren Schrauben, die sich auf der Fassung befinden, gehalten werden.

Zudem gewährleistet die Fassung eine bessere Handhabung in der Gesamtheit der Materialien.

Die 4,5 Voltbatterien, die auch aus Sicherheitsgründen Bestandteil der Materialien sind, zeigen durch die nicht zu übersehenden Laschen die zwei unterschiedlichen Pole, den Plus- und Minuspol, auf, die für einen Stromfluss benötigt werden.

So besteht für die Schüler die Möglichkeit, nach einer falschen Aussage durch das Beobachten der Materialien auf einen Anschluss mit zwei Kabeln zu kommen oder diesen sogar von Vorneherein zu erkennen.

Die Drähte bestehen aus Kupfer und sind handelsübliche und somit alltägliche Materialien, die sich in vielen Haushalten befinden, so dass manche Kinder eventuell bereits Erfahrungen damit gesammelt haben. Die Enden der Drähte liegen klar offen, d.h. die Isolierschicht wurde entfernt, um das Erkennen eines Metalls zu ermöglichen.

Der Anschluss einer Seite des Drahtes an eine Krokodilklemme ist zur einfacheren Handhabung gedacht, da die Drähte somit an den Laschen der Batterie festgeklemmt werden können und nicht über einen längeren Zeitraum gehalten werden müssen.

Falls die Schüler den Krokodilklemmen die Schuld für ein Nicht- Leuchten der Glühlampe zuschreiben sollten, liegen zudem Drähte ohne einen Anschluss an eine Krokodilklemme bereit.

Des Weiteren stehen von allen Materialien mehrere Exemplare zur Verfügung, um den Kindern bei der Vermutung von defekten Teilen eine Überprüfungsmöglichkeit bieten zu können und um wirklich defekte Teile während der Interviewsituation auswechseln zu können.

6.1.5. Durchführung der Interviews

Die Interviewerin war den befragten Kindern eine vollkommen fremde Person und auch umgekehrt war dies der Fall.

Um eine bessere Interaktion zwischen den Beteiligten zu ermöglichen, wurde daher vor jeder Interviewsituation ein persönliches Gespräch mit dem betreffenden Kind geführt, in dem der Zweck des Interviews abgeklärt wurde. Dabei wurde den Schülern ebenfalls vermittelt, dass ihr Wissen und ihre Vorstellungen zu dem ihnen noch unbekannten Thema wertvoll für die Erhebung einer Untersuchung ist (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.67), die aber keinesfalls als eine Wissensabfrage gesehen werden soll. Ziel dieses Gesprächs war, eine erste Vertrauensbasis zwischen Kind und Interviewerin zu schaffen und die Angst vor dem, eventuell als Prüfungssituation empfundenen, Gespräch zu nehmen.

Dies gelang in den meisten Fällen und die Motivation war allgemein sehr hoch, zumal die Kinder sich freiwillig an der Befragung beteiligen konnten.

Das Interview fand in einem Raum der Grundschule statt, der allen Kindern der Schule gleichermaßen als eine Art Aufenthaltsraum zugänglich ist, so dass hier von einer vertrauten Umgebung gesprochen werden kann.

Außer der Interviewerin und dem Kind befand sich eine dritte Person während der Befragung im Raum, die die Videoaufnahmen koordinierte und für die Namens- und Altersangaben des Kindes zuständig war. Diese Person war den Schülern ebenfalls fremd, da die Kinder durch die Anwesenheit ihnen bekannter Lehrpersonen hätten gehemmt sein können (vgl. Kränzl-Nagl/ Wilk In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.67).

Die Befragungen zu den Vorstellungen von Strom fanden in Form von Einzelinterviews statt.

Die Überlegung hierfür war, dass in Gruppengesprächen die Gefahr besteht, dass das leistungsschwächere oder einfach schüchternere Kind einen passiven Part darstellt, d.h. dass die Aussagen und Meinungen des Gruppenpartners übernommen werden, um nicht selbst in die Rolle des Agierenden schlüpfen zu müssen, so dass eigene und eventuell sogar richtige Gedanken gar nicht angesprochen werden können.

Für eine Gruppendiskussion spräche allerdings, dass durch sie Hemmschwellen abgebaut werden können (vgl. Atteslander, 1993, S.170), denn durch das Gefühl der Gemeinsamkeit mit einem vertrauten Partner kann die Schüchternheit gegenüber der fremden, erwachsenen Person eher abgebaut werden, so dass es eher zu einem Gespräch kommt. Zudem kann durch den Gedankenanstoß eines Kindes ein Dialog ins Fließen kommen, was gerade bei dem Thema „Strom“ eine Überlegung war, da das Thema sehr abstrakt erscheint.

Da das Ziel der Untersuchung aber konkret die Vorstellungen jedes einzelnen Kindes sein sollte ohne die Beeinflussung durch eine zweite Meinung, überwogen die Argumente für Einzelinterviews.

Um die Gespräche besser nachvollziehen zu können und um eine wortwörtliche Transkription und damit einen späteren Vergleich zwischen den Probanden zu ermöglichen, wurden sowohl Audio- als auch Videoaufnahmen während der Interviews gemacht.

Ein weiterer Aspekt, der für eine Aufzeichnung durch die Videokamera spricht, ist, dass sie die Möglichkeit bietet, die Komplexität und Dynamik der Kommunikation, die zeitlichen Abläufe und die Gestik des Interviewers und des Befragten im Nachhinein zu analysieren und auszuwerten (vgl. Dittrich, Dörfler u.a. In: Heinzel (Hrsg.), 2000, S.193).

Dabei war die Kamera fest an einen Ort gebunden, der die Beteiligten der Befragung seitlich aufzeichnete und somit den Blickwinkel auch auf die der Untersuchung zugrunde liegenden Materialien lenkte, die stets zur Veranschaulichung dienten.

Die Entscheidung für eine fest installierte Kamera beruhte zum einem auf der Verwacklungsgefahr und der daraus resultierenden schlechteren Bildqualität und zum anderen darauf, dass durch die Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit keine Einführungsphase mit der Kamera vorgenommen werden konnte. Dies hätte zur Folge haben können, dass die Schüler die wandernde Kamera als unangenehm, störend oder auch ablenkend empfunden hätten.

Da die Materialien der Untersuchung keinen größeren Platz einnahmen und die Kinder somit über den gesamten Verlauf der Befragung an einem Platz agieren konnten, erwies sich dies nicht als Nachteil.

6.1.6. Auswahl der Probanden

Entsprechend des Titels dieser Arbeit wurde die empirische Untersuchung an drei Tagen mit Grundschulkindern im Alter von 9 bis 11 Jahren durchgeführt. Das Alter hierfür resultiert aus den Beschreibungen zum Denken des Kindes, so hat sich das Kind in diesem Alter bereits aus seinem starken Ich- Bezug gelöst und somit das präkausale Denken meist überwunden und ist zudem in der Lage, sich realistisch mit dem Thema auseinanderzusetzen. Die Kinder stammen aus verschiedenen 4. Klassen derselben Grundschule aus dem Landkreis Kassel.

Alle teilnehmenden Schüler haben nach Auskunft der Klassenlehrer noch keine schulischen Erfahrungen mit dem einfachen Stromkreis gesammelt, so dass alle Schüler die gleichen Voraussetzungen mit in die Interviewsituation brachten.

Der auffallend größere Anteil an Jungen, nämlich sechs von insgesamt acht Kindern, lässt sich darauf zurückführen, dass die Beteiligung zum einen auf einer Freiwilligkeitsbasis der Schüler selbst beruhte und zum anderen das Einverständnis der Eltern wegen der Audio- und Videoaufnahmen, die während der Befragung liefen, eingeholt werden musste.

Obwohl das Geschlecht bei Auswertungen über technische Sachverhalte meist berücksichtigt wird, bleibt es hier völlig unberücksichtigt, da eine Ausführung diesbezüglich den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Demnach ergibt sich bei der Auswertung der Untersuchung durch die größere Anzahl an Jungen kein Nachteil. Keines der Kinder wurde über das Thema der Untersuchung informiert, um eine Informationssuche im Vorfeld, die eine Verfälschung des Ergebnisses zur Folge gehabt hätte, ausschließen zu können und um somit eine Chancengleichheit für alle Schüler zu gewährleisten.

6.1.7. Pretest

Ein Pretest ist ein wichtiges Instrument in der Forschung, um im Vorfeld der Hauptuntersuchung an einer begrenzten Anzahl von Probanden die gewählten Interviewfragen auf ihre Eignung zu prüfen und dabei auftretende Fehlerquellen zu korrigieren. Aber auch das in der Untersuchung eingesetzte technische Gerät und die Umgebung der Befragungssituation können dabei getestet und als geeignet oder ungeeignet erachtet und beurteilt werden (vgl. Friedrichs, 1990, S.221f).

Für die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung wurden zwei Pretests unter den gleichen Bedingungen der Einzelinterviews an zwei Jungen, David und Max (vgl. Anhang), durchgeführt.

Dabei ergab sich für die Hauptuntersuchung, dass die befragten Kinder alle von der Interviewerin gestellten Fragen beantworten konnten und somit die in den Leitfragen gewünschten Vorstellungen abgeklärt wurden, so dass in Bezug auf die Interviewfragen keine Veränderung vorgenommen wurde.

Positiv für die Befragung erwies sich das vorgegebene Material, da es den Kindern die Möglichkeit bot, ihre Verbalisierungen durch Gestiken am Versuchsaufbau zu ersetzen und sie zudem ihre Vermutungen selbstständig auf eine Eignung und Richtigkeit überprüfen konnten.

Auch der Einsatz einer Videokamera und eines Mikrofons, das zur Aufzeichnung der Audioaufnahme diente, erwies sich nicht als Störfaktor, was eventuell auch auf das vorhergehende Gespräch mit jedem Kind zurückzuführen ist.

Im Speziellen erwies es sich im Interview mit David als schwierig, dass es der Interviewerin nicht gelang, ihn zu einem Gespräch anzuregen, was sich wiederum insofern auf das Gespräch auswirkte, dass die Interviewerin eine zu starke Führung übernahm, was zur Folge hatte, dass David teilweise die Aussagen der Interviewerin ohne eine weitere Begründung übernahm (vgl. Z. 104- 119). Hier wäre eine intensive Schulung der Interviewerin von Nöten. Auch zeigte sich im Gespräch mit Max, dass durch gezieltere Nachfragen präzisere Antworten möglich gewesen wären (vgl. Z. 100- 119), die die Interpretation und das Begreifen der Vorstellung einfacher hätten gestalten können.

6.2. Auswertung der Untersuchung

6.2.1. Auswertungskriterien der Einzelinterviews

Bezug nehmend auf die vorangegangenen Kapitel werden die Einzelinterviews nach folgenden Kriterien untersucht und ausgewertet:

Hat das befragte Kind den technisch- funktionalen Zusammenhang des einfachen Stromkreises erkannt? Geschieht dies gegebenenfalls ohne das Zutun der Interviewerin?

Wo lassen sich Elemente des präkausalen Denkens in Bezug auf Erklärungsansätze zum Thema „Strom“ erkennen oder besitzt das befragte Kind bereits eine realistische Einschätzung zu dem ihm unbekannten Phänomen? Bildet es eigene Theorien, die es auf seine Eignung hin überprüft? Kann es die Teilbedingungen einzeln beleuchten und zieht es zu seiner Erklärung für dieses Alter typische „wenn- dann“- Konstruktionen heran?

Geht das Kind von einer Zweiführungsvorstellung des Stromflusses aus, d.h. besitzt es die Vorstellung, dass Strom aus beiden Laschen der Batterie zur Glühlampe fließt oder besitzt es eine Kreisvorstellung des Stromflusses?

Sieht das Kind die Batterie als einen Behälter an, in dem Strom gespeichert ist, der beim Leuchten der Glühlampe verbraucht wird?

Wie erklärt sich das befragte Kind das Phänomen „Strom“? Setzt es den Strom eventuell in Analogie zu bereits bekannten Phänomenen? Sieht es Strom als etwas Substanzartiges an?

6.2.2. Auswertung und Diskussion der Ergebnisse der Einzelinterviews

Die Auswertungen der Einzelinterviews finden in der Reihenfolge statt, in der sie geführt wurden, so dass hier keine Gewichtung vorgenommen wird. Die Transkriptionen zum Vergleich mit der Auswertung befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

6.2.2.1. Julian (9,11)

Auf die erste Frage der Interviewerin, ob eine Glühlampe bei einer Verbindung mit einer Batterie durch einen Zuleitungsdraht leuchte (vgl. Z. 13-16), vermutet Julian ein „Ja“ (vgl. Z. 17), auch wenn sein Nachsatz: „[...] ich glaube schon.“ (Ebd.) etwas Unsicherheit bezüglich seiner Aussage erkennen lässt.

Nach der eigenen Überprüfung seiner Aussage und der damit verbundenen Erkenntnis, dass die Glühlampe bei der Verbindung mit nur einem Zuleitungsdraht nicht leuchtet, vermutet Julian zunächst falsche Bestandteile im Aufbau des einfachen elektrischen Stromkreises als Ursache für ein Nicht- Leuchten. So äußert er zunächst die Vermutung, die Krokodilklemme leite keinen Strom (vgl. Z. 27) und, nachdem die Interviewerin ihn darauf hinweist, dass dies nicht der Grund für ein Nicht- Leuchten sei, da die Klemme gleichfalls aus Metall bestehe (vgl. Z. 28-30), die Schrauben auf der Fassung weisten keine direkte Verbindung zu der Glühlampe auf (vgl. Z. 31/ 32). Dieser Fehlvorstellung begegnet die Interviewerin dadurch, dass Julian den Zuleitungsdraht direkt an die Glühlampe hält (vgl. Z. 36/ 37) und somit nicht weitere falsche Bestandteile für ein Nicht- Leuchten verantwortlich macht.

Des Weiteren vermutet Julian einen technisch nicht korrekten Anschluss des Drahtes, d.h. er erkennt oder weiß bereits, dass die Batterie einen Minus- und Pluspol besitzt und vermutet diesbezüglich, der Zuleitungsdraht sei am falschen Pol, nämlich Minus, angeschlossen: „[...] weil da auf Minus- Strom gestellt ist.“ (vgl. Z. 44) Dies lässt zunächst die Vermutung zu, dass Julian zwei unterschiedliche Arten des Stroms an den zwei Polen der Batterie vermutet und dass daraus resultierend der „Minus- Strom“ keinen Strom liefert. Allerdings geht Julian in Zeile 89 von einem gleichen Strom aus, so dass diese Hypothese verworfen werden muss.

Auch der Fehlkonzeption des falschen Anschlusses kann durch ein Ausprobieren Julians begegnet werden, indem er den Zuleitungsdraht dementsprechend auf „Plus-Strom“ umstellt (vgl. Z. 47/ 48).

Diese Phase des Interviews zeigt, dass Julian eigene Theorien bildet, die er nach einer Überprüfung verwerfen muss. Dies zählt bereits zur Phase des kritischen Realismus, der Kindern ab etwa 10 Jahren zugeschrieben wird.

Nachdem Julian der Aufforderung der Interviewerin folgt, den Anschluss mit zwei Zuleitungsdrähten auszuprobieren (vgl. Z. 49/ 50), vermutet er beim Leuchten der Lampe sofort: „Aha! Weil zuwenig Strom käme...durch eins.“ (vgl. Z.51) Dies macht eine Zweiführungsvorstellung Julians bezüglich des Stromflusses deutlich und auch nach einer Nachfrage bestätigt er in Zeile 56 diese Vorstellung, da er davon ausgeht, ein Zuleitungsdraht könne nicht genügend Strom zur Lampe leiten, damit diese leuchte. Des Weiteren äußert er die Vermutung, der längere Draht im Stromkreis leite weniger Strom bzw. leite langsamer, da der Strom mehr Weg zurücklegen müsse, bevor er zur Lampe gelange (vgl. Z. 62- 65), allerdings verwirft Julian diese Theorie nach einer Überprüfung mit zwei Kabeln gleicher Länge (vgl. Z. 75- 77).

Obwohl auch die Länge eines Leiters den Widerstand und damit verbunden seine Leitfähigkeit beeinflusst, spielt es bei den im Versuchsaufbau gegebenen Größenunterschieden keine Rolle.

Diese Aussage zeigt auch bereits Julians Vorstellung, dass die Batterie ein Behälter sei, in dem der Strom gespeichert sei und bei Gebrauch in die Zuleitungsdrähte fließe, obwohl sich eigentlich die Elektronen im Leiterdraht beim Anlegen einer Spannung ebenfalls in Bewegung setzen. Die Vorstellung der Batterie als Strombehälter verfestigt sich im weiteren Verlauf, so antwortet Julian auf die Frage der Interviewerin, wo sich Strom befinde (vg. Z. 81/ 82): „Nur in der Batterie [...]“ (vgl. Z. 83) und begründet dies damit, sonst müssten bereits die Drähte alleine für einen Stromfluss sorgen (vgl. Z. 83-85).

Auf die Frage hin, was er sich unter Strom vorstelle, benennt Julian zunächst eine allgemeine Eigenschaft des Stroms, nämlich seine Gefährlichkeit: „Strom ist eigentlich sehr gefährlich, weil wenn man zuviel abkriegt, dann kann man verbrennen oder `n Schock kriegen.“ (vgl. Z. 91/ 92). Für seine Erklärung benutzt er eine typische wenn-dann- Konstruktion, die dem Übergang zum realistischen Kausaldenken zugeschrieben wird, da er versucht, sich das Phänomen durch die Betrachtung von Teilbedingungen zu erklären. Die Aussage Julians zeigt auch, dass er den Strom als etwas „Substanzartiges“ begreift, denn er macht die Menge des Stroms für seine Gefährlichkeit verantwortlich und nicht die an den Strom angelegte Spannung. Des Weiteren erklärt er sich in Zeile 96 den Strom in Analogie zu einem Blitz, der Gegenstand seiner Erfahrungswelt ist: „[...] Ganz viel Energie halt, so ganz schnell...blitzartig!“

Auf diese Analogiebildung bezieht sich Julian auch im weiteren Verlauf des Interviews als die Frage geklärt werden soll, was mit dem Strom in der Glühlampe passiert. Er weiß bereits, dass sich auch in der Glühlampe Drähte befinden: „[...] da sind solche Energiekabel und nur mit diesem kann das dann erleuchtet werden. Also das, weil der Strom ganz hell ist. Zum Beispiel, wenn ein Blitz vor dir einschlagen würde, wäre es auch ganz hell, weil halt so schnell ist und soviel Energie hat.“ (vgl. Z. 106- 109). Die Helligkeit der Lampe setzt Julian dabei wieder mit dem Blitz in Relation, dabei besitzt allerdings der Strom selbst die Helligkeit und nicht der Draht wird durch die starke Erwärmung zum Glühen gebracht. In Zeile 120/ 121 geht Julian allerdings dann von einer Leuchtkugel aus, was wahrscheinlich mit dem Wolframdraht gleichzusetzen ist. Die Schnelligkeit des Stroms kann eventuell auch deswegen genannt werden, da die Lampe nicht zeitverzögert zu leuchten beginnt, wenn eine Verbindung mit den Zuleitungsdrähten besteht.

Julian entscheidet sich in Zeile 127 für die Variante des Sammelns des Stroms in der Glühbirne, wieder mit einer wenn- dann- Konstruktion: „Nein, der bleibt dann da oben und dann, wenn man zum Beispiel aufhören würde, Strom dranzuhalten, dann würde es nicht mehr funktionieren.“ Die Vorstellung des Sammelns impliziert wiederum eine Auffassung des Stroms als Substanz, denn nur wenn er eine Masse besitzt, kann er sich an einer bestimmten Stelle häufen. Der wenn- dann- Zusammenhang seiner Ausführung bezieht sich dabei nicht auf eine Erklärung, die das Sammeln des Stromes stützen könnte, allerdings zeigt diese Aussage, dass er den technisch- funktionalen Aufbau eines Stromkreises verinnerlicht hat. Die Theorie des Sammelns kann durch eine genauere Nachfrage der Interviewerin verworfen werden, so dass Julian unsicher auf ein Abfließen des Stromes kommt: „[...]der fließt irgendwie ab, aber weiß ich selber nicht so genau.“ (vgl. Z. 131/ 132) Im nächsten Augenblick schwingt er dann auf die

Variante eines „Kleinerwerdens“ des Stroms um (vgl. Z. 132), was zunächst eine Verbrauchsvorstellung des Stroms durch das Leuchten der Lampe zulässt. Seine letztendliche, aber insgesamt unsichere Theorie ist, der Strom werde praktisch in Schüben der Glühlampe zugeführt. Dabei geht er wieder auf seinen bereits häufiger angeführten Vergleich mit Blitzen ein: „Der Strom ist blitzartig da und dann isser hört er auf einmal wieder auf, wenn man da keinen Strom mehr nachgeben würde...wie bei Blitzen. Die sind einmal kurz da und dann verschwinden sie wieder, weil kein Druck mehr nachkommt.“ (vgl. Z. 136-139) Das Verschwinden impliziert jedoch wieder eine Verbrauchsvorstellung von Seiten Julians, da er auch auf die Nachfrage der Interviewerin bestätigt, dass der Strom „verschwinde“ (vgl. Z. 140/ 141).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Julian von einer Zweiführungsvorstellung des Stromflusses ausgeht, sich den Strom in Analogie zu einem Blitz erklärt und unter Bedenken eine Verbrauchsvorstellung äußert, die von der Interviewerin als solche interpretiert wird. Er ist bereits in der Lage, Theorien zu bilden und diese nach Anleitung zu überprüfen und gegebenenfalls zu verwerfen und erkennt die Teilbedingungen des funktionalen Aufbaus des Stromkreises in Form von wenn- dann-Konstruktionen.

6.2.2.2. Adrian (9,9)

Adrian vermutet, wenn auch unsicher, der Anschluss mit einem Zuleitungsdraht bringe die Glühlampe im Versuchsaufbau zum Leuchten (vgl. Z. 20). Nach der eigenen Überprüfung seiner Aussage, erkennt Adrian ohne ein Zutun der Interviewerin sofort den technisch- funktionalen Zusammenhang für den Aufbau eines einfachen Stromkreises: „Brau man braucht zwei Kabel.“ (vgl. Z. 27), die zum Leuchten der Glühlampe benötigt werden. Er erkennt also die wirkliche Ursache für das Nicht- Leuchten der Lampe, was stark auf das Denken des kritischen Realismus hindeutet. Nach der Überprüfung seiner Theorie findet Adrian die Bestätigung für seine Aussage darin, dass er erklärt, dass „[...] diese ganze Voltzahl kann ja nicht auf ein Ding abgespannt sein, deswegen geht das nich.“ (vgl. Z. 32) Diese Erklärung weist bereits auf eine Zweiführungsvorstellung hin, die in den Zeilen 40- 43 noch einmal bestätigt wird, in denen er explizit zum Ausdruck bringt, die Voltzahl müsse durch beide Kabel fließen, da die Lampe eine bestimmte Menge benötige, um leuchten zu können: „...und die Lampe braucht `ne bestimmte Voltzahl deswegen braucht man zwei Kabel.“ (vgl. Z. 40/ 41) Diese Aussage impliziert aber auch, dass Adrian weiß, dass die Lampe eine bestimmte angelegte Spannung benötigt, um leuchten zu können. Auch in der Zusammenfassung des gesamten Interviews wird diese Zweiführungsvorstellung noch einmal bestätigt (vgl. Z. 84/ 85). Im Zusammenhang mit der Zweiführungsvorstellung geht Adrian auch davon aus, dass das Volt auf beide Kabel gleichmäßig verteilt sei (vgl. Z. 44-47).

Interessant ist dabei auch, dass Adrian sich auf die angelegte Spannung bezieht und nicht das Wort „Strom“ benutzt. Ein Grund hierfür könnte seine visuelle Wahrnehmung der Aufschrift der Batterie sein: „[...] hier ist ja sind ja bei die 4,5 Volt drauf...“, allerdings könnte auch vermutet werden, dass Adrian dahingehend keine

Unterscheidung der Begriffe „Volt“ und „Strom“ vornimmt, da er im weiteren Verlauf auf das Wort „Strom“ (vgl. Z. 54) zu sprechen kommt und dieses beibehält oder auch von einer Umwandlung des Volts in Strom ausgeht, denn „[...] dann fließt das [Volt] aus der Batterie und die Lampe braucht dann Strom und dann leuchtet se. [...]“ (vgl. Z. 54/ 55). Dass Adrian die Batterie als einen Behälter ansieht, in dem eine Substanz gespeichert ist, lässt sich in den Zeilen 48- 51 erkennen, da er die Batterie als den Ort benennt, in dem sich das Volt befindet.

In Zeile 54 beginnt Adrian die angefangene wenn- dann- Konstruktion der Interviewerin zu übernehmen, indem er aussagt, dass *wenn* die zwei Zuleitungsdrähte angeschlossen seien, dass *dann* etwas aus der Batterie fließe (vgl. Z. 52- 55). Mit diesem für seine Alterstufe typischen Erklärungsmuster, das in die Phase des Übergangs zum realistischen Kausaldenken fällt, stellt er die Teilbedingungen des Vorgangs her.

Des Weiteren nimmt Adrian einen Vergleich der Glühlampe des Stromkreises mit einer Deckenlampe vor: „[...] Genauso ist es mit den [zeigt auf die Deckenlampe]...Lampen.“ (vgl. Z. 55/ 56). Für ihn sind die zwei verschiedenen Lampen wahrscheinlich zwei unterschiedliche Phänomene, die eine gleiche Funktionsweise aufzeigen, so dass hier von einer genotypischen Analogiebildung ausgegangen wird (vgl. a. S.13).

Die Zeilen 65/ 66 lassen darauf schließen, dass sich Adrian bereits mit dem Aufbau von Glühlampen auseinandergesetzt hat, da er erklärt, es befänden sich Kabel in der Glühlampe, die für einen weiteren Stromfluss verantwortlich seien: „Der geht hier in die Fassung rein un und dann gehen hier glaub ich solche Kabel lang [...] deswegen leuchtet das.“ Damit könnte zwar auch der glühende Wolframdraht gemeint sein, allerdings lässt sein Gucken unter die Fassung die erstere Vermutung sinnvoller erscheinen. Die Beschäftigung Adrians mit Gegenständen seiner Umwelt zeigt sich auch in seiner Schilderung, bereits eine 9 Volt Batterie auseinander genommen zu haben (vgl. Z. 50/ 51).

Den Vorschlag der Interviewerin, ob sich der Strom eventuell in der Lampe ansammle (vgl. Z. 63- 69), weiß Adrian sofort durch seine Verbrauchsvorstellung des Stroms zu verwerfen: „Nee, da das der Strom von der Batterie nimmt die Lampe auf und dann verschwindet der also und geht in das Licht und deswegen leuchtet's leuchtet die Lampe.“ (vgl. Z. 70-72). Die Glühlampe verbraucht seiner Meinung nach den in der Batterie gelagerten Strom, da dieser ins Licht der Lampe gehe, was ein Leuchten hervorrufe. Diese Aussage zeigt wiederum seine Vorstellung der Batterie als Behälter, deren Strom benutzt bzw. gebraucht wird. Auch diese Schilderung Adrians ist der Konstruktion eines wenn- dann- Zusammenhangs ähnlich, da er die Teilbedingungen bis zum Vorgang des Leuchtens erörtert.

Seine Vorstellung über Strom schildert Adrian als nicht sinnlich erfahrbar: „Das kann man nicht sehen und auch nicht fühlen [...]“ (vgl. Z. 75), dabei nimmt er für den Sinn des Fühlens die Einschränkung vor, man könne ihn doch fühlen, „[...] wenn man in die Steckdose packt!“ (vgl. Z. 76/ 77). Adrian weiß also das Vorkommen des Stroms zu lokalisieren und weiß zudem um die Gefährlichkeit des elektrischen Stroms, was sich in seiner Bestätigung der Aussage der Interviewerin: „Das ist aber ganz schön gefährlich oder?“ (vgl. Z. 77) deutlich wird (vgl. Z. 78).

In der Aussage über das Fühlen des Stroms liegt wieder ein versteckter wenn- dann-Zusammenhang vor, da der Strom nur dann sinnlich erfahrbar ist, wenn in die Quelle des Vorkommens gefasst wird.

Zum Sehen des Stroms muss noch hinzugefügt werden, dass nicht ganz deutlich wird, ob der Strom unsichtbar ist oder ob er deswegen nicht sinnlich erfahrbar ist, da er durch Kabel fließt und ein Einblick dadurch verwehrt bleibt. Zwar stimmt Adrian in der Zusammenfassung des Interviews der Interviewerin in ihrer Aussage zu, der Strom sei unsichtbar (vgl. Z. 93), allerdings mit dem Nachdruck, man könne ihn nicht sehen (vgl. Z. 96).

In der Zusammenfassung der Aussagen des Interviews liegen zwar keine wenn- dann-Konstruktionen offen vor, allerdings sind mehrere solcher Konstruktionen bei einer Umstellung der Sätze oder durch eine Weiterführung der Aussagen der Interviewerin durch Adrian zu erkennen. So leuchte die Lampe, wenn beide Kabel angeschlossen seien und wenn der Strom in die Lampe fließe (vgl. Z. 81-85) und des Weiteren verschwinde der Strom dann, wenn er in der Lampe gebraucht bzw. in Licht umgewandelt werde (vgl. Z. 88-89).

Zurückblickend lässt sich festhalten, dass Adrian in der Lage ist, den technisch-funktionalen Zusammenhang eines einfachen elektrischen Stromkreises zu erkennen, dessen Teilbedingungen er über wenn- dann- Konstruktionen herstellt. Er besitzt die Vorstellung, dass der Strom gleichermaßen durch beide Zuleitungsdrähte aus dem „Strombehälter“ fließt und in der Lampe verbraucht wird und den Strom selbst definiert er über seine Sinne.

6.2.2.3. Christina (10,9)

Christina antwortet auf die Frage der Interviewerin hin, ob die Glühlampe mit der Verbindung eines Zuleitungsdrahtes leuchten werde, mit einem „Ja.“ (vgl. Z. 23) Nach der Erkenntnis, dass die Glühlampe bei der oben geschilderten Verbindung nicht leuchtet, erkennt Christina sofort die Ursache hierfür, indem sie einen weil- Zusammenhang schildert: „[...] Weil das muss noch so `ne Krokodilklemme hin [meint 2. Pol der Batterie] und dann mit dem anderen auch noch dran [meint 2. Kabel an 2. Schraube].“ (vgl. Z. 26- 28). Hier wird das Kausaldenken ihrerseits deutlich, da sie realistisch die Ursache erkennt, die nicht zur gewünschten Wirkung führt. Zudem zeigt diese Aussage, dass sie den technisch- funktionalen Aufbau des Stromkreises erfasst hat, was eventuell auf ihre in der Einführungsphase geäußerte Erfahrung mit dem Aufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises: „So was hatten wir auch schon mal.“ (vgl. Z. 1) und: „Hab ich auch schon mal zusammengebaut.“ (vgl. Z. 7) zurückzuführen ist.

Auf die Frage der Interviewerin, warum die Lampe nur bei der Verbindung mit zwei Kabeln leuchte (vgl. Z. 33), antwortet Christina mit einer wenn- dann- Konstruktion, bei der sie die Teilbedingungen für den gewünschten Erfolg aufzählt und nicht zu der

Ursache hierfür vordringt, was für den Übergang zum realistischen Kausaldenken typisch ist, da das „Warum“ noch nicht im Vordergrund ihres Denkens steht: „[...] und wenn wir das [Batterie und Kabel mit Lampe] mit so so so was solchen Teilen verbinden, dann leuchtet das. [...]“ (vgl. Z. 35/ 36)

In Zeile 40 wird die Zweiführungsvorstellung Christinas deutlich, da sie der Meinung ist, durch beide Kabel komme „Licht“ (vgl. Z. 40) in die Lampe und sie darin dann auch die Ursache für das Nicht- Leuchten mit einem Kabel sieht. Der Fluss durch beide Kabel wird des Weiteren in Zeile 51 bestätigt, nachdem Christina direkt mit einem „Ja“ auf die Frage der Interviewerin antwortet, ob der Strom durch beide Kabel fließe. Eine abermalige Bestätigung mit der anschließenden Begründung findet in Zeile 55 statt: „Und deswegen geht`s auch nicht nur mit einem Kabel.“ Hierbei vermutet Christina auch, durch ein Kabel werde zuwenig Strom in die Glühlampe geleitet, damit es zum Leuchten komme (vgl. Z. 56-58), auch wenn sie diesbezüglich etwas Unsicherheit zulässt.

In Zeile 41 fällt zum ersten Mal unglücklicherweise das Wort „Strom“ von Seiten der Interviewerin, so dass diesbezüglich von einer starken Beeinflussung der Interviewerin auf den weiteren Wortschatz und die Vorstellungen ausgegangen werden muss. Christina sprach im vorherigen Verlauf des Gesprächs von „Licht“ (vgl. Z. 40), so dass sie dabei wohl davon ausgegangen ist, nicht der Strom sei für die Wirkung des Lichts verantwortlich, sondern das Licht selbst, das über die Kabel zur Glühlampe fließe. Eventuell fehlte ihr bis zu diesem Zeitpunkt aber auch nur das Wort „Strom“, das sie für den folgenden Verlauf des Interviews übernimmt.

Dass Christina die Batterie als einen Strombehälter ansieht, wird in Zeile 43 deutlich zum Ausdruck gebracht: „Der is, der is, der is in der Batterie drin.“

Ab Zeile 46 rekonstruiert sie den Ablauf bis zum letztendlichen Leuchten der Glühlampe im Stromkreis. So geht der Strom ihrer Aussage nach durch die Klammern, Kabel und Schrauben in die Glühlampe, wo sie schließlich das „Plättchen“ und nicht den Wolframdraht für das Leuchten der Lampe verantwortlich macht. Da Christina bereits in Zeile 36 das Plättchen benennt, ist zu vermuten, dass sie bereits die Kenntnis von einem Kontaktplättchen als Bestandteil der Glühbirne besitzt und diesem eine besonders große Bedeutung zukommen lässt, da sie es benennen kann.

Im weiteren Verlauf des Interviews fallen häufiger wenn- dann- Konstruktionen in Christinas Aussagen auf, indem sie dabei teilweise die Ausführungen der Interviewerin weiterführt, so leuchte beispielsweise die Lampe, wenn eine Verbindung durch die Zuleitungsdrähte hergestellt werde (vgl. Z. 62/ 63). Durch diese Erklärungen wird deutlich, dass sie die Teilbedingungen bis zur Wirkung, nämlich dem Leuchten der Lampe, und zudem den funktionalen Aufbau des Stromkreises verinnerlicht hat. Auch auf die konkrete Frage der Interviewerin, was mit dem Strom in der Lampe passiere, antwortet Christina in einem wenn- dann- Zusammenhang: „Nee, wenn man das Kabel hier wieder abmacht [meint von der Fassung], dann geht das wieder äh in die Glühbirne äh in die Batterie [zeigt auf Batterie].“ (vgl. Z. 68) Auf die Vorstellung, dass der Strom, der sich zum Zeitpunkt des Abbrechens einer Verbindung im Draht befinde, wieder zurück in die Batterie fließe, kommt Christina im Verlauf des Gesprächs wieder zu sprechen, auch wenn sich die Verständigung in diesem Part des Interviews als schwierig erweist (vgl. Z. 69-85). So geht die Interviewerin ausgehend von der

vorangestellten Frage, was mit dem Strom in der Lampe passiere (vgl. Z. 61-65), davon aus, dass Christina das Zurückfließen des Stroms von der Glühlampe in die Batterie nach dem Abbruch der Verbindung annimmt und nimmt noch einmal eine genauere Nachfrage vor (vgl. Z. 72-75), während Christina wahrscheinlich den Fokus auf das Zurückfließen des Stroms legt, der sich noch in den Drähten befindet. Durch die Nachfrage der Interviewerin antwortet Christina: „Nee, weil das, hab ich mich jetzt vertan, weil dieser ähm der Strom ist noch da drinnen [meint in den Drähten] und wenn man jetzt da und hier an die Schraube dranmacht, dann kommt der wieder raus.“ (vgl. Z. 76- 78), so dass sie hier möglicherweise versucht, ihre vorangegangene Vermutung aufgrund der ungläubigen Frage der Interviewerin mit einer erneuten wenn- dann-Konstruktion zu revidieren. So könnte Christina bei dieser Ausführung von einem „Stillstand“ des Stroms beim Abnehmen der Drähte von der Fassung ausgehen, der sich dann wieder in Bewegung setzt, sobald wieder eine Verbindung hergestellt wird. Auch in Zeile 81 sagt Christina, es befinde sich Strom in den Kabeln, allerdings spricht sie dort auch wieder von einem Fluss: „Nee, der fließt dann...dann...der is noch in den Dingern [Kabeln] drinnen.“ Diese Aussage ist durch ihre schwierige Durchschaubarkeit schwer zu interpretieren, so dass eine erneute Nachfrage der Interviewerin stattfindet, ob der restliche Strom beim Abnehmen der Drähte wieder in die Batterie zurückfließe (vgl. Z. 83/ 84). Dabei kommt Christina auf ihre Anfangsaussage von den Zeilen 66- 68 zurück, indem sie die Frage bejaht (vgl. Z. 85). Diese letztendliche Vorstellung eines Rückflusses des Stroms durch das jeweilige Kabel muss jedoch kritisch aufgefasst werden, da eine zu starke Beeinflussung durch die mehrfachen Nachfragen der Interviewerin stattgefunden hat.

Der wenn- dann- Zusammenhang auf die Frage der Interviewerin, was mit dem Strom in der Glühlampe passiere, wenn eine durchgängige Verbindung bestehe (vgl. Z. 86-88), zeigt erneut Christinas Vorstellung der Batterie als einen Behälter, der mit Strom gefüllt sei: „[...] wenn die Batterie leer ist, dann kann es nicht mehr leuchten.“ (vgl. Z. 89/ 90). Die Vorstellung des Gebrauchs des Stroms und des damit verbundenen Verbrauchs bestätigt Christina noch einmal (vgl. Z. 94) auf die Nachfrage der Interviewerin. Hierbei wurde von Seiten der Interviewerin versäumt, explizit die Frage zu stellen, warum die Batterie trotz eines Rückflusses des Stroms „leer“ werde, allerdings kann dies durch die vorangegangene Verbrauchsvorstellung begründet werden, da ein Verbrauch des Stroms in der Lampe stattfindet und bei einem vorzeitigen Abbruch der Verbindung nur der „Reststrom“, der sich zu diesem Zeitpunkt in den Drähten befindet, zurückfließen kann.

Zu ihrer Vorstellung bezüglich des Phänomens Strom nimmt Christina eine Analogiebildung zu einem Blitz vor: „Eigentlich auch wie`n Blitz ungefähr“ (vgl. Z. 97), wobei sie eine weitere Differenzierung dieser Vorstellung dahingehend vornimmt, dass sie die Schnelligkeit und die gelbe Farbe des Blitzes übernimmt und auch eine möglich Folge eines Blitzeinschlages, nämlich einen Brand, angibt (vgl. Z. 99/ 100).

Zusammenfassend besitzt Christina eine Zweiführungsvorstellung des Stroms, die mit einem Rückflussprinzip gekoppelt ist. Des Weiteren geht sie bei der Batterie von einem Strombehälter aus, dessen Inhalt durch den Verbraucher, der hier durch die Glühlampe gestellt wurde, benutzt bzw. verbraucht wird. Den Strom selbst erklärt sie sich in

Anlehnung an das Alltagsphänomen „Blitz“. Sie ist bereits in der Lage, Theorien bezüglich des funktionalen Aufbaus des Stromkreises zu bilden und die Ursache für ein Nicht- Leuchten zu erkennen, wobei sie viele wenn- dann- Konstruktionen als Realisierung der Teilbedingungen vornimmt.

6.2.2.4. Nina (9,11)

Nina äußert in Zeile 15 durch ein Kopfnicken ihre Vermutung, die Verbindung mit einem Zuleitungsdraht bringe die Glühlampe zum Leuchten.

Nach dem eigenen Ausprobieren erlangt Nina die Erkenntnis, dass die Glühlampe nicht leuchtet und macht nach der Nachfrage der Interviewerin, warum die Glühlampe bei diesem Aufbau nicht leuchte (vgl. Z. 25), zunächst einen falschen Bestandteil im Stromkreis, nämlich den Zuleitungsdraht, dafür verantwortlich: „Weil's der falsche Draht is.“ (vgl. Z. 26) Dies zeigt, dass Nina bereits in der Lage ist, eine eigene Theorie für das Nicht- Leuchten der Lampe aufzustellen, die sie nach der Aufforderung der Interviewerin überprüft (vgl. Z. 31-33) und aufgrund ihrer Falschheit verwerfen muss.

Die Zeilen 36- 39 zeigen Ninas Verständnis bezüglich eines einfachen Stromkreises. So fällt ihrerseits in Zeile 36 zum ersten Mal im Verlauf des Interviews der Begriff „Strom“ und ihre Äußerung: „Hier fließt Strom durch.“ (vgl. Z. 36) lässt deutlich werden, dass sie bereits das Verständnis eines Stromflusses besitzt, diesen aber auch bei einem Anschluss mit nur einem Kabel vermutet. Dabei kann sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht erklären, warum die Lampe trotz eines ihrerseits vermuteten Stromflusses nicht leuchtet (vgl. Z. 41). Auch die Vorstellung der Batterie als einen Strombehälter ist bei Nina verankert, was in Zeile 38 und im späteren Verlauf des Interviews in Zeile 74 zum Ausdruck gebracht wird.

Nach einer Überprüfung des Anschlusses mit zwei Zuleitungsdrähten äußert Nina, dass „[...] Nur hier Energie drin war.“ (vgl. Z. 49), d.h. dass sie nur an dem Pol der Batterie „Energie“ erwartet, an dem das zweite Kabel angeschlossen wurde, so dass der Anschluss des ersten Kabels überflüssig erscheint, was ebenfalls die Vorstellung impliziert, dass Nina immer noch von einem Stromfluss bei nur einem Kabel ausgeht. Dieser Fehlkonzeption kann die Interviewerin dadurch entgegenwirken, indem sie Nina ihre Theorie überprüfen lässt und sie somit ihre Vermutung verwerfen muss (vgl. Z. 56-59). Die Theoriebildung Ninas und der Versuch die Ursache für das Nicht- Leuchten ausfindig zu machen, ist wiederum ein Anzeichen für den kritischen Realismus, allerdings lässt diese Phase des Gesprächs deutlich werden, dass sie den technisch-funktionalen Aufbau des Stromkreises noch nicht durchschauen konnte, obwohl eine Veranschaulichung durch das konkret vorgegebene Material besteht.

Unsicher stellt Nina dann die Theorie auf: „Weil's stärker is also der Strom?“ (vgl. Z. 64), was die Vorstellung eines Stromflusses durch beide Zuleitungsdrähte aufzeigt. Nina besitzt also eine Zweiführungsvorstellung, da sie davon ausgeht, ein Kabel allein sei nicht in der Lage, genügend Strom zur Glühlampe zu leiten, so dass diese zu leuchten beginne (vgl. Z. 64-72). Die Erkenntnis der Benötigung von zwei Kabeln zeigt, dass Nina den funktionalen Aufbau des Stromkreises schließlich verinnerlichen konnte.

Auch in den Zeilen 105- 109 wird die Vorstellung eines Stromflusses durch beide Kabel des Stromkreises verfestigt, allerdings ist sich Nina bei dieser Vermutung nicht sicher, ob durch ein Kabel mehr Strom geleitet werde, da sie darauf keine Antwort zu geben weiß (vgl. Z. 94- 97).

Ihre Vorstellung bezüglich des Phänomens Strom ist finalistisch, d.h. sie stellt bei ihrer Erklärung den Zweck des Stroms in den Vordergrund: „Damit läuft alles.“ (vgl. Z. 79). Diese Aussage wird dem präkausalen Denken des Kindes zugeordnet, was zumeist bis zu einer Alterstufe bis etwa 8 Jahren angegeben wird, so dass die Nützlichkeit des Stroms für den Menschen, nämlich die Betreibung von elektrischen Geräten, als Grund seiner Existenz benannt wird, was sich in diesem Fall wahrscheinlich darauf zurückführen lässt, dass der Strom in den Bereich des Nichtsichtbaren fällt und Nina daher auf dieses Erklärungsmuster zurückgreift, das sie in anderen Bereichen eventuell schon überwunden hat.

Bei der Frage der Interviewerin nach dem Aussehen des Stroms beginnt Nina ihn in Komparative ihr bereits vertrauter Dinge zu setzen, so ist Strom „Wie'n Wasser.“ (vgl. Z. 83) und „[...] so was wie 'ne Säure [...]“ (vgl. Z. 86). Eine zusätzliche Differenzierung findet dadurch statt, dass sie den Strom als „unsichtbar“ (vgl. Z. 86) beschreibt.

Nina geht zunächst von einer Sammelvorstellung des Stromflusses aus: „Der sammelt sich da und dann leuchtet das.“ (vgl. Z. 115), was die Vorstellung des Stroms als etwas, das eine Masse besitzt, beinhaltet. Somit denkt Nina über das Phänomen Strom in einem Substanzbegriff. Auf die Anregung der Interviewerin, ob bei einer Ansammlung des Stroms die Lampe nicht heller werden oder platzen müsse (vgl. Z. 117), geht Nina auf einen Weiterfluss des Stroms über: „Dann fließt es woanders hin [...]“ (vgl. Z. 121). Ein Rückfluss des Stroms nimmt Nina dann an, wenn sich genügend Strom in der Lampe angesammelt habe, um diese zum Leuchten zu bringen (vgl. Z. 132- 138).

Den Fluss des Stroms erklärt sich Nina durch eine nicht offenliegende wenn- dann-Konstruktion, so fließe er durch beide Kabel zur Glühlampe und anschließend wieder durch beide Kabel in die Batterie (vgl. Z. 140-143). Zum Zeitpunkt des Interviews ging die Interviewerin von einem Rückfluss durch dasselbe Kabel des Hinflusses aus, allerdings ist hierbei auch die Annahme zweier entgegengesetzter Stromflüsse in Kreisform in Ninas Denkweise vermutbar.

Die Frage der Interviewerin, warum die Batterie trotz eines Rückflusses des Stroms nach einem bestimmten Zeitraum „leer“ werde (vgl. Z. 144-152), begegnet Nina durch ihre Annahme, dass eine „Entkräftigung“ des Stromes in der Lampe stattgefunden habe (vgl. Z. 153), so dass ihre Aussage eine Verbrauchsvorstellung des Stromes durch das Leuchten der Lampe impliziert. Es fließe also ein schwächerer Strom bzw. weniger Strom in die Batterie zurück (vgl. Z. 156/ 157), als zuvor in die Lampe geleitet wurde, und dieser Vorgang könne solange vorgenommen werden, bis der in der Batterie gelagerte Strom gänzlich aufgebraucht sei. Diese Vorstellung nimmt Nina in einer wenn- dann- Erklärung vor, indem sie die Teilbedingungen bis zum Verbrauch des Stromes beschreibt.

Das Interview mit Nina zeigt, dass sie im Verlauf des Interviews Elemente des präkausalen Denkens bis hin zu Elementen des kritischen Realismus in ihre Aussagen mit einbringt. Des Weiteren besitzt sie die Imagination der Batterie als den Behälter, der den Strom beim Einsatz liefert, und einen Hin- und Rückfluss des Stromes gekoppelt mit einer Verbrauchsvorstellung. Bei ihren Ausführungen über das Aussehen des Stroms nimmt sie mehrere Analogiebildungen vor.

6.2.2.5. *Tim (9,3)*

Tim weiß bereits auf die Frage der Interviewerin hin, ob die Lampe im Versuchsaufbau bei der Verbindung mit einem Kabel leuchten werde: „Nein, das wird das funktioniert nicht, wenn man nur das eine [Kabel] hat, da braucht man zwei [Kabel] für.“ (vgl. Z. 21/22)

Somit ist deutlich, dass Tim bereits ohne ein konkretes Ausprobieren an den Materialien den technisch- funktionalen Aufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises erkennen kann.

Im Folgenden versucht er, seine aufgestellte Hypothese am Versuchsaufbau zu überprüfen, indem er die Kabel nicht mit den auf der Fassung befindlichen Schrauben verbindet, auf die die Interviewerin in keinem der Gespräche in der Einführungsphase hingewiesen hat, um das Augenmerk nicht zu sehr im Vornhinein auf zwei Anschlüsse zu lenken, sondern versucht, die Zuleitungsdrähte zwischen das Plastik der Fassung und das Gewinde der Glühlampe zu stecken, so dass einer zusätzlichen Stabilität durch eine Handhaltung vorgebeugt wird (vgl. Z. 25-33). Nach dem Anschluss der Kabel an die Schrauben der Fassung und der damit verbundenen Bestätigung seiner Theorie (vgl. Z. 36-38) gibt ihm daher die Interviewerin die Möglichkeit, die Kabel direkt an eine Glühlampe zu halten, so dass ihm die Nützlichkeit einer Fassung deutlicher wird (vgl. Z. 39-47).

Als Begründung für ein Nicht- Leuchten der Lampe mit nur einem Kabel kommt Tim auf seine Anfangstheorie zurück: „Denn da brauch man zwei Stromleitungen für.“ (vgl. Z. 49), was nochmals seine Kenntnis über den funktionalen Zusammenhang bestärkt und des Weiteren aufzeigt, dass Tim hierbei von einem Stromfluss ausgeht. Da er aber von zwei „Stromleitungen“ spricht, kann dies bereits als erstes Indiz für eine Zweiführungsvorstellung gelten.

So weiß er auch, dass zwei Pole für einen Stromfluss benötigt werden und bildet in diesem Zusammenhang einen Vergleich zu einem Magneten, dessen Pole er mit denen der Batterie vergleicht, allerdings kann er dabei die Pole nicht richtig benennen: „[...] einmal nör nor nördlicher Teil hat man westlichen oder östlichen.“ (vgl. Z. 53/ 54), so dass man hier davon ausgehen kann, dass er an die Magnetnadel eines Kompasses denkt und die vier Himmelsrichtungen benennen möchte.

Seine Kenntnis über einen Stromfluss bei einem Anschluss von zwei Kabeln geht nach Tims Aussage auf seine Erfahrungen und Experimente im häuslichen Umfeld zurück: „Das hab ich schon zu Hause auch mal ausprobiert [...]“ (vgl. Z. 56/ 57)

Besonders interessant ist der folgende Part des Interviews, in dem Tim seine Theorie des Funktionierens der Lampe ausschließlich mit dem Anschluss von zwei Zuleitungsdrähten dahingehend überprüft, dass er eine Gegenprobe unternimmt und den Anschluss mit einem Kabel testet (vgl. Z. 57/ 58), auf den die Interviewerin bis zu diesem Zeitpunkt der Befragung durch Tims sicheres Auftreten und seiner festen Meinung, der gewünschte Erfolg trete nur bei einem Anschluss mit zwei Zuleitungsdrähten auf und die damit implizierte Theorie eines Nicht- Funktionierens bei einem Kabel, noch gar nicht eingegangen ist. Dies zeigt deutlich Tims fortgeschrittenes Kausaldenken, indem er alleine Theorien aufstellt und diese auf ihre Eignung und Richtigkeit hin überprüft.

Dass Tim die Batterie als einen Behälter aufnimmt, in dem Strom gespeichert ist, zeigt sich zum ersten Mal in den Zeilen 61 und 62: „Der ist hier in der Batterie [...]“

Seine Äußerung in Zeile 62: „[...] eine Leitung reicht nicht.“ greift die Interviewerin auf, um nachzufragen, ob in ihm die Vorstellung verankert sei, ein Kabel leite zuwenig Strom, um die Glühlampe zum Leuchten zu bringen, was bereits durch die vorhin aufgeführte Äußerung, es müssten zwei „Stromleitungen“ (vgl. Z. 49) vorhanden sein, angenommen werden konnte. Dies bejaht Tim zunächst (vgl. Z. 65), allerdings vermutet er in Zeile 74 überhaupt keinen Stromfluss bei dem Anschluss von nur einem Kabel, was eventuell aber auch auf die zwei angebotenen Varianten der Interviewerin zurückzuführen ist (vgl. Z. 73). Die Vorstellung keines Stromflusses beim Anschluss eines Kabels schließt eine Zweiführungsvorstellung jedoch keinesfalls aus, so geht er in den Zeilen 78 bis 84 davon aus, der Strom müsse gleichermaßen durch die beiden Zuleitungsdrähte zur Glühlampe fließen. In diesem Zusammenhang kommt abermals seine Vorstellung der Batterie als Stromvorratsbehälter zum Ausdruck, da er nicht auf die Variante der Interviewerin eingeht, ob sich der Strom bereits in den Drähten befinde (vgl. Z. 78), sondern erklärt, dieser fließe durch die Laschen der Batterie in die Drähte (vgl. Z. 81).

Über das „Aussehen“ des Stroms erklärt Tim nach einiger Überlegung, er besitze keine Farbe (vgl. Z. 89), was hierbei eine Unsichtbarkeit des Stromes impliziert, allerdings nimmt Tim dabei die Einschränkung vor, der Blitz, bei dem er auch von einem Strom und nicht von einer elektrischen Entladung auszugehen scheint, sei gelb (vgl. Z. 89-92). Tims Vorstellung über Strom ist demnach sehr stark an seine visuelle Wahrnehmung gebunden und von seiner Seite wird zudem keine Analogiebildung zu einem ihm vertrauten Phänomen vorgenommen, denn er vergleicht den Strom nicht mit einem Blitz, sondern setzt diese beiden Phänomene gleich: „Ja, Blitz ist Strom.“ (vgl. Z. 92).

Im Folgenden wird der Ablauf der Teilelemente bis zum Leuchten der Lampe noch einmal aufgegriffen, indem Tim die Ausführungen der Interviewerin durch wenn- dann-Konstruktionen weiterführt, so leuchte die Glühlampe, wenn die Batterie und die Fassung durch zwei Zuleitungsdrähte verbunden seien. Diese wenn- dann- Konstruktionen sind typisch für einen Übergang zum realistischen Kausaldenken, da Tim hier die Teilbedingungen, die zum gewünschten Erfolg, dem Leuchten der Lampe, führen, noch einmal rekonstruiert und somit einzeln nachvollziehen kann.

In Zeile 103 geht Tim zunächst von einer Sammelvorstellung des Stroms in der Lampe aus, was allerdings nur bis zu dem Zeitpunkt fortgesetzt werden könne, an dem die Batterie „leergehe“ (vgl. Z. 107/ 108). Die Vorstellung eines Sammelns des Stroms impliziert immer die Auffassung des Stroms als etwas Stoffliches, denn nur wenn er eine Substanz besitzt, kann er sich auch anhäufen. Die Vorstellung des „Leergehens“ der Batterie beinhaltet zum einen erneut die Vorstellung der Batterie als ein Gefäß, in dem der Strom gelagert ist und zum anderen ist sie bereits das Indiz einer Verbrauchsvorstellung des Strom von Seiten Tims, die im folgenden Verlauf des Interviews nach der Anregung der Interviewerin, ob seine Sammelvorstellung nicht zu einer „Stapelung“ des Stroms führen müsse (vgl. Z.104- 106 u. 111/ 112), zum Tragen kommt: „Der verglüht [...]“ (vgl. Z. 113) Das in diesem Zusammenhang durch die Interviewerin angebotene Wort „verbrauchen“ (vgl. Z. 114) bejaht Tim in Zeile 116. Das „Verglühen“ des Stroms bringt Tim in einen Vergleich zu seiner Alltagserfahrung mit Lampen, deren Wolframdrähte mit zunehmender Hitze zu glühen beginnen, so dass er neben der Leuchtwirkung ebenfalls die Wärmewirkung einer Lampe wahrnimmt und somit von dem Terminus „verglühen“ anstatt „verbrauchen“ spricht (vgl. 116- 121). Seine Vorstellung des Gebrauchs des Stroms bis zum endgültigen Verbrauch wird im Folgenden noch einmal deutlich, da der Strom nur solange verglühen könne, bis die Batterie „leer“ sei (vgl. Z. 125/ 126).

Zusammenfassend über das Gespräch mit dem 9 Jahre alten Tim lässt sich sagen, dass er den technisch- funktionalen Aufbau eines einfachen Stromkreises bereits so stark verinnerlicht hat, dass er dahingehend keiner Überprüfung bedarf. Seine Theorie kann er bereits mit der nicht durch die Interviewerin angeleiteten Gegenüberprüfung kontrollieren, was Elemente des realistischen Kausaldenkens zulässt. Die Teilaspekte, die zu einem Leuchten der Lampe führen, erläutert Tim in Form von wenn- dann-Konstruktionen.

In Bezug auf den Stromfluss beinhaltet er eine Zweiführungsvorstellung, so fließt der in der Batterie gelagerte Strom durch beide Zuleitungsdrähte des Stromkreises bis er endgültig verbraucht und in der Lampe verglüht ist. Seine Vorstellung über das Phänomen Strom setzt Tim stark in Abhängigkeit seiner visuellen Wahrnehmung, so scheint Strom unsichtbar zu sein, wenn er nicht als Blitz vorliegt und somit gelb ist.

6.2.2.6. Marius (9,2)

Auffällig bei Marius` Einstieg in das eigentliche Interview ist, dass er zwar ein Leuchten der Lampe mit einem Zuleitungsdraht annimmt, dabei aber Zusatzbedingungen an die Bestandteile des Versuchsaufbaus stellt: „Nur wenn die Batterie voll ist und...wenn das Kabel richtig angeschlossen wird.“ (vgl. Z. 20/ 21). Für das Eintreten einer Leuchtwirkung schließt Marius also falsche bzw. defekte Bestandteile im Vorhinein aus.

Seine Aussage, die Batterie müsse „voll“ sein, beinhaltet bereits zu Anfang, dass Marius davon ausgeht, dass in der Batterie eine Substanz gelagert sein muss, die die Lampe zum Leuchten benötigt, was jedoch in der Batterie vorhanden ist, ist zu diesem Zeitpunkt noch unklar.

Nach der Erkenntnis eines Nicht- Eintretens der Leuchtwirkung geht Marius davon aus, für einen Stromfluss würden sowohl Plus- als auch Minuspol der Batterie benötigt: „Das es kein Plus und Minus gibt [...]“ (vgl. Z. 29). Den zweiten Pol der Batterie scheint er bei der sich zu diesem Zeitpunkt im Aufbau befindlichen Batterie nicht zu erkennen. Des Weiteren vermutet er jedoch auch, in Anlehnung an seine bereits oben angeführte Zusatzbedingung, dass die Batterie „[...] nit voll is [...]“ (vgl. Z. 29), so dass die Interviewerin ihn dazu anregt, eine zweite Batterie zur Überprüfung seiner Theorie heranzuziehen (vgl. Z. 31/ 32). An der zweiten Batterie erkennt Marius die zwei unterschiedlichen Pole, Plus und Minus, und vermutet nach dem Ausprobieren mit einem Kabel (vgl. Z. 34), der Anschluss eines zweiten werde benötigt (vgl. Z. 38): „...weil es muss noch `n Plus. Dann bräuchte man noch eins [Kabel] [...]“ (vgl. Z. 38/ 39). Zu diesem Zeitpunkt hat Marius den technisch- funktionalen Zusammenhang eines einfachen elektrischen Stromkreises erkannt, allerdings macht er im weiteren Verlauf des Interviews für das Nicht- Leuchten bei seinem Versuch mit der ersten Batterie wiederum ihr „Verbrauchtsein“ verantwortlich (vgl. Z. 46/ 47). Marius geht hier zudem sehr stark von seiner visuellen Wahrnehmung der beiden Batterien aus, da er bei der ersten Batterie zusätzlich einen fehlenden Pol vermutet (vgl. Z. 46), so macht er den Plus- und Minuspol nicht an den Laschen der Batterie aus, sondern an den Schriftzeichen „+“ und „-“, die neben den Polen aufgedruckt sind (vgl. Z. 51) und die er bei der ersten Batterie zunächst nicht wahrgenommen zu haben scheint.

Nachdem Marius die unterschiedlichen Pole auch bei der ersten Batterie bemerkt hat (vgl. Z. 53), verwirft er die These des „Leerseins“ der Batterie und mutmaßt nun auch ein Leuchten der Lampe bei dieser Batterie mit dem Anschluss an zwei Zuleitungsdrähte: „Aber da würd`s auch gehen, wenn man hier...auch zwei [Kabel] nimmt.“ (vgl. Z. 56- 59)

Dadurch wird deutlich, dass Marius den technisch- funktionalen Aufbau und zudem die Teilbedingungen, die zu einem Leuchten der Lampe führen, in Form von einer nicht offenliegenden wenn- dann- Konstruktion verinnerlichen konnte.

Seine Aussage in den Zeile 65- 67: „Dass es Plus und Minus, weil das muss immer Kontakt haben [...]“ bestätigt ebenfalls, dass er den funktionalen Zusammenhang erfassen konnte, was gleichermaßen die Begründung für die Notwendigkeit zweier Kabel ist.

In Zeile 70 kommt erneut seine Auffassung der Batterie als Strombehälter zum Tragen, da er sie konkret als Ort benennt, an dem sich Strom befinde (vgl. Z. 70), wobei sein Nachtrag: „[...] weil die ja aufgeladen is.“ noch einmal seine Vorstellung über „volle“ Batterien deutlich werden lässt, was für ihn in diesem Zusammenhang eventuell deswegen eine besonders große Bedeutung hat, da er im vorherigen Verlauf des Interviews ein Nicht- Leuchten der Lampe an einer „leeren“ Batterie festgemacht hat.

Marius bereits vorhandene Kenntnis, dass Metall ein Stromleiter ist, zeigt sich in Zeile 76, in der er die Kabel als Stromleiter betitelt: „[...] und weil das Metall ist, überträgt das wieder in die Glühbirne.“

Der folgende Part des Interviews, in dem Marius` Vorstellung des Stromflusses diskutiert wird, ist besonders beachtenswert: So nimmt er auf die Frage der Interviewerin, ob der Strom durch beide Zuleitungsdrähte fließe (vgl. Z. 78/ 79), an, dass derjenige Zuleitungsdraht, der an den Minus- Pol der Batterie angeschlossen sei,

zwar für den funktionalen Aufbau benötigt werde „[...] wenn das wieder ab is, dann geht`s nit, weil kein Minus da is.“ (vgl. Z. 85/ 86), aber durch dieses Kabel werde kein Strom geleitet (vgl. Z. 80). Bemerkenswert ist außerdem, dass Marius seine Verbalisierung diesbezüglich an den Materialien des Versuchsaufbaus überprüft, d.h. er entfernt das Kabel, das sich am Minuspol der Batterie befindet, um dann erneut den Anschluss mit beiden Kabeln zu probieren. Dies ist ein Zeichen für seine Fähigkeit, seine Theorien eigenständig bzw. ohne die Anleitung einer zweiten Person zu überprüfen. Bei dieser Aussage benutzt Marius eine für das mittlere Grundschulalter typische wenn- dann- Konstruktion, um sich die Teilbedingungen noch einmal vor Augen zu führen. Die Funktion, die dem Kabel, das keinen Strom zur Glühbirne hinführt, zukommt, ist nach Marius das Ableiten des Stroms: „Das andere [Kabel] ist fast so, dass das wieder ableitet.“ (vgl. Z. 98), „[...] dass das wie so`n Rundgang fließt das.“ (vgl. Z. 100) Zu diesem Zeitpunkt geht Marius also von der richtigen Vorstellung eines Kreisflusses des Stroms aus, auch wenn er dabei die technische Stromrichtung, also einen Fluss des Stroms von Plus zu Minus, annimmt.

Nach der Nachfrage der Interviewerin, die Marius` Worte zur Vergewisserung wiederholt (vgl. Z. 108- 110), kommt Marius von seiner Kreisvorstellung ab und geht zu einer Zweiführungsvorstellung über (vgl. Z. 111- 127). Erstaunlicherweise geschieht dies durch sein aktives Handeln mit den Materialien: So führt er sich den funktionalen Zusammenhang noch einmal vor Augen, indem er den Anschluss zunächst mit einem und anschließend wieder mit beiden Kabeln probiert (vgl. Z. 111/ 112). Die visuelle Wahrnehmung, die Leuchtwirkung könne nur bei einem Anschluss mit zwei Zuleitungsdrähten hervorgerufen werden, lässt ihn auf eine Zweiführungsvorstellung kommen: „[...]eigentlich müssten beide gehen,...dass beides durchfließt, weil sonst würde das gar nicht gehen.“ (vgl. Z. 111- 113) Die Begründung seiner neuen Theorie findet Marius in der für ihn aus seiner Wahrnehmung resultierenden logischen Erklärung: „[...] dass von beiden Seiten der Druck kommt, weil sonst wenn`s nur von einer is, dann geht`s nur dahin, also nur eins zur Glühbirne und das hat dann...zuwenig Kraft.“ (vgl. Z. 116-119) Hier findet Marius die Ursache für ein Nicht-Leuchten der Lampe mit nur einem Kabel in einer wenn- dann- Konstruktion, so dass er im Folgenden auf seiner zuletzt geäußerten Zweiführungsvorstellung bestehen bleibt (vgl. Z. 120- 127).

Dieser Part des Interviews zeigt, auch wenn Marius letztendlich zu einer Fehlvorstellung kommt, dass er seine Theorien auf ihre Eignung hin überprüft, verwirft und neue Theorien bildet, die er wiederum in Bezug auf ihre Tauglichkeit kontrolliert, so dass hier von einem realistischen Kausaldenken gesprochen werden muss.

Die Vorschläge der Interviewerin über das Geschehen des Stroms in der Glühlampe, nämlich das Sammeln, Abfließen und Verschwinden (vgl. Z. 128- 142), weiß Marius sofort zu verwerfen, indem er seine Verbrauchsvorstellung darlegt: „Nee, das wird ja immer wieder aufgebraucht und aus der Batterie und dann wird`s halt hier oben [zeigt auf Lampe] wieder ganz verbraucht...durch die Glühbirne.“ (vgl. Z. 143- 145)

Auch diese Aussage macht Marius` Vorstellung der Batterie als Behälter klar, dessen Strom durch die Wirkung des Lichts von der Glühlampe verbraucht wird.

Seine Vorstellung über das Phänomen „Strom“ definiert Marius, indem er eine Analogiebildung zu einem flüssigen Material vornimmt (vgl. Z. 152) und auf die Frage der Interviewerin, ob er dabei von einer Flüssigkeit spreche (vgl. Z. 153), bildet er eine Analogie zu einer Säure (vgl. Z. 154), die seine Vorstellung eines flüssigen Materials unterstützt. Auch hier wird durch Marius` Nachsatz „[...] in der Batterie.“ (vgl. Z. 152) deutlich, dass er den Strom in der Batterie vermutet.

Über das Gespräch mit Marius lässt sich festhalten, dass er die Batterie als einen Strombehälter ansieht, was durch die Verbrauchsvorstellung des Stroms durch die Glühlampe unterstützt wird. Des Weiteren ist zu bemerken, dass Marius letztendlich von einer Zweiführungsvorstellung des Stromflusses ausgeht, auf die er aber erst nach dem eigenen Überprüfen der Brauchbarkeit seiner Kreisvorstellung kommt. Im Verlauf zeigen sich zudem wenn- dann- Konstruktionen, die ihm die Teilbedingungen des funktionalen Aufbaus des Stromkreises demonstrieren. Somit sind in Marius` Erklärungen sowohl Züge des Übergangs zum realistischen Kausaldenken als auch des kritischen Realismus verankert.

Das Phänomen „Strom“ erklärt er sich, indem er es in Relation zu Erfahrungen aus seiner Alltagswelt setzt.

6.2.2.7. Ricardo (11,4)

Ricardo, der älteste der befragten Kinder im Rahmen dieser Untersuchung, vermutet auf die Frage der Interviewerin hin, ob bei der Verbindung mit einem Zuleitungsdraht die gewünschte Leuchtwirkung bei der Lampe einsetze: „Ja, dann leuchtet sie.“ (vgl. Z. 22)

Nach der Handlungsphase und der damit verbundenen Erkenntnis, dass die Lampe nicht leuchtet (vgl. Z. 23- 29), stellt Ricardo die These auf, dies liege an der Batterie (vgl. Z. 31), allerdings wird im folgenden Part des Interviews nicht ganz klar, ob Ricardo die Batterie als verbraucht ansieht, also einen defekten Bestandteil im Aufbau vermutet, oder ob er bei diesem Aufbau keinen Stromfluss vermutet. So erklärt er, dass die „richtige Lampe an der Decke“ an Strom „hängt“ (vgl. Z. 39) und somit vermutet er im konkret vorliegenden Fall, ein fehlender Strom sei für das Nicht- Leuchten der Lampe verantwortlich (vgl. Z. 41-44). Diese Phase des Interviews ist schwer interpretierbar, da sich Ricardo, Sohn italienischer Eltern, nicht immer sprachlich präzise und klar auszudrücken weiß und die Interviewerin nicht genügend Nachfragen stellt, um die Vorstellungen Ricardos besser nachvollziehen zu können.

Für die Annahme, dass kein Stromfluss beim Anschluss nur eines Zuleitungsdrahtes vorhanden ist, spricht Ricardos Wissen ohne ein vorheriges Erproben nach dem Vorschlag der Interviewerin, es mit zwei Kabeln zu versuchen: „Jetzt geht`s!“ (vgl. Z. 51). Damit hat er den technisch- funktionalen Aufbau des einfachen elektrischen Stromkreises erkannt und weiß den richtigen Anschluss auszuführen.

Für die Annahme, dass Ricardo keinem fehlenden Kabel, sondern der Batterie die Schuld für ein Nicht-Leuchten der Lampe zumisst, spricht der folgende Ablauf des Interviews, in dem Ricardo erklärt, nun sei Strom vorhanden (vgl. Z. 52- 55). Als Grund hierfür benennt er die Stromquelle, nämlich die Batterie (vgl. Z. 56/ 57), so dass man hier, wegen des starken Bezugs zur Batterie und nicht zum Anschluss der Lampe an zwei Pole, annehmen kann, dass er zu Beginn des Interviews doch von einer defekten Batterie ausgegangen ist, obwohl keine Auswechslung und damit eine Überprüfung stattgefunden hat.

Dass Ricardo die Batterie als einen mit Strom gefüllten Behälter ansieht, wird in Zeile 60 deutlich, in der er die Batterie als den Ort des Versuchsaufbaus benennt, in dem sich Strom befindet: „Der is in der Batterie drin.“ (vgl. Z. 60)

Die Teilbedingungen, die zum Leuchten der Lampe führen, expliziert Ricardo in einer für das Grundschulalter typischen wenn- dann- Konstruktion: „Wenn das verbindet [Kabel mit Schrauben auf der Fassung], dann kommt das zur Glühbirne mit den Draht.“ (vgl. Z. 63/ 64), die in ähnlicher Form noch einmal in Zeile 117 zum Ausdruck kommt und dadurch ein weiteres Mal verdeutlicht, dass er den funktionalen Aufbau des Stromkreises verinnerlichen konnte.

Auf die Frage der Interviewerin, warum die Leuchtwirkung nur bei der Verbindung mit zwei Zuleitungsdrähten und nicht mit der eines Zuleitungsdrahtes hervorgerufen werden könne (vgl. Z. 68), antwortet Ricardo in einem Zirkelschluss. So kann die Glühlampe nur mit zwei Kabeln leuchten, weil zwei Kabel angeschlossen werden müssen (vgl. Z. 69), was ebenfalls als geläufiges Erklärungsmuster im Grundschulalter anzutreffen ist, so dass der Sachverhalt für ihn hiermit vollständig geklärt ist.

Ricardo geht des Weiteren von einer Zweiführungsvorstellung des Stromflusses aus, so bestätigt er in Zeile 77, der Strom fließe durch beide Kabel des Stromkreises zur Glühlampe und auch in den Zeile 118 und 119 wird diese Vorstellung ein weiteres Mal seinerseits geklärt.

Der folgende Part des Interviews beschreibt Ricardos Vorstellung des Stroms in der Glühlampe: So greift er zunächst den Vorschlag des Ansammelns des Stroms in der Lampe von Seiten der Interviewerin auf (vgl. Z. 81-83), verwirft diese Theorie allerdings aufgrund der Anregung durch die Interviewerin (vgl. Z. 84/ 85) und geht im Folgenden davon aus, dass der Strom immer „gleich bleibt“ (vgl. Z. 86/ 87), was durch ein Weiterfließen des Stroms möglich erscheint: „Zur Batterie hoch. In den Drähten da innen drin.“ (vgl. Z. 91) Indes kommt Ricardo von dieser Vorstellung nach der Rekonstruktion seiner bis zu diesem Zeitpunkt geäußerten Aussagen (vgl. Z. 92- 100) wieder auf seine Sammelvorstellung zurück: „Dann sammelt der sich da oben.“ (vgl. Z. 101), was durch die Annahme eines Anhäufens des Stroms für eine stoffliche Auffassung seinerseits spricht. Von dieser Theorie kommt Ricardo erneut ab, indem er in einer versteckten wenn- dann- Konstruktion auf eine nochmalige Anregung der Interviewerin erklärt, die Glühlampe müsse kaputt gehen, wenn sich der Strom ansammle (vgl. Z. 106/ 107). So bietet ihm die Interviewerin in Anlehnung an seine im vorherigen Verlauf der Befragung genannten Variante des Weiterfließens diese noch einmal an und des Weiteren die Variante der Fehlkonzeption des Stromverbrauchs (vgl. Z. 110- 112), die Ricardo in Zeile 113 übernimmt und in Zeile 122 wiederholt bestätigt.

Ricardos Vorstellung über das Phänomen „Strom“ ist stark an seine visuelle Wahrnehmung seiner Umwelt gebunden, so bringt der Strom für ihn Lampen zum Leuchten (vgl. Z. 125- 127), was er zudem in dieser konkreten Interviewsituation vor sich hat, so dass er keine weiteren Strombenutzungen erläutert. Dabei ist von einer magisch-animistischen Äußerung auszugehen, da der Strom das Leuchten der Lampe „vollbringt“ bzw. er „macht“, dass eine Leuchtwirkung einsetzt, was impliziert, dass der Strom eigenständig handelt. Aber auch finalistische Züge sind in dieser Aussage zu erkennen, so existiert der Strom, um Licht in unsere Wohnungen zu bringen (vgl. Z. 125) und uns auch Tätigkeiten im Dunkeln zu ermöglichen. Diese präkausalen Erklärungsmuster werden in der Literatur bis zu einem Alter von etwa 8 Jahren angegeben, da der Strom aber zudem in den Bereich des Nichtsichtbaren fällt, sind Äußerungen dieser Art auch in höheren Alterstufen nicht ungewöhnlich.

Über das „Aussehen“ des Stroms gibt Ricardo keine konkrete Angabe an, allerdings weiß er den Strom auf einen bestimmten Ort zu lokalisieren: „[...] der Strommast d Strom leitet.“ (vgl. Z. 130). Auch durch seine Bestätigung der Ausführung der Interviewerin, ob der Strom durch Kabel geleitet werde (vgl. Z. 131/132), bezieht sich sicherlich nicht nur auf die Wahrnehmung der Drähte des Strommastes, sondern auch auf die konkret gegebenen Zuleitungsdrähte im Versuchsaufbau.

Reflektierend über das Gespräch mit Ricardo lässt sich festhalten, dass er sich den technisch- funktionalen Aufbau des einfachen elektrischen Stromkreises in Form von wenn- dann- Konstruktionen vor Augen führt, was bereist einem Übergang zum realistischen Kausaldenken entspricht.

Des Weiteren besitzt Ricardo die Vorstellung der Batterie als einen Strombehälter, dessen Strom durch beide Kabel des Aufbaus zur Glühlampe geleitet wird, so dass hier von einer Zweiführungsvorstellung gesprochen wird. Ricardos Vorstellung eines Verbrauchs des Stroms resultiert aus der Übernahme durch die von der Interviewerin angebotene Fehlkonzeption. Eine konkrete Vorstellung über Strom äußert Ricardo nicht, sondern er bezieht sich in seiner Erklärung auf die vorgegebene Interviewsituation.

6.2.2.8. Jan (9,7)

Jan stellt auf die Frage der Interviewerin, ob die Glühlampe bei der Verbindung mit einem Kabel leuchte, die Vermutung auf: „Könnte sein.“ (vgl. Z. 32), was in diesem Fall eher ein „Ja“ als ein „Nein“ impliziert.

Nach dem eigenen Ausprobieren des Anschlusses mit einem Zuleitungsdraht erkennt er sofort die Ursache für ein Nicht- Leuchten der Lampe: „Wenn man da noch ein zweites [Kabel] dranhält.“ (vgl. Z. 42), was deutlich werden lässt, dass Jan den technisch- funktionalen Aufbau des Stromkreises auch ohne ein vorheriges Ausprobieren erfasst hat, was eventuell auch auf seine sehr unsichere Mutmaßung zu Beginn des Interviews zurückzuführen ist.

Auf die Frage der Interviewerin, warum für die gewünschte Leuchtwirkung zwei Zuleitungsdrähte erforderlich seien, folgt eine Phase des Interviews, in der sich Jan sprachlich schwer auszudrücken weiß (vgl. Z. 51- 54), so dass er keine Antwort auf die Frage findet und die Interviewerin daher noch einmal die Teilbedingungen, die zu einem Leuchten der Lampe führen, darstellt (vgl. Z. 55- 58).

Daraufhin stellt Jan abermals keine Theorie des Gebrauchs von zwei Kabeln auf, sondern wiederholt die Teilbedingungen, die die Leuchtwirkung hervorrufen in Form einer wenn- dann- Konstruktion, die als Anzeichen des Kausaldenkens interpretiert wird: „Wenn das jetzt runtermacht [Kabel], dann geht's ja nicht...“ (vgl. Z. 59/ 60) „...und wenn das andere dranmacht [Kabel] und das und dann geht das, weil das zwei Anschlüsse geben [...]“ (vgl. Z. 62- 64). Dabei dringt Jan nicht zu einer möglichen Ursache des Leuchtens mit ausschließlich zwei Kabeln vor, sondern stellt nur fest, dass diese benötigt werden, was im Gegenzug als sicherer Nachweis dafür gesehen muss, dass er den funktionalen Aufbau des Stromkreises verinnerlichen konnte. Die Ausgangsfrage, warum für das Leuchten zwei Kabel benötigt werden, kann in diesem Zusammenhang nicht wirklich geklärt werden, so äußert er, dass beide Kabel gebraucht würden, weil eben zwei Anschlüsse erforderlich seien, was das Erklärungsmuster eines auch für das Grundschulalter typischen Zirkelschlusses beschreibt, so dass für ihn der Sachverhalt hiermit vollständig geklärt ist.

Auf die Frage der Interviewerin, ob im Versuchsaufbau irgendetwas fließe (vgl. Z. 66/ 67), fällt in Zeile 68 zum ersten Mal der Begriff „Strom“ durch Jan, den er in der Batterie vermutet, so dass an dieser Stelle des Gesprächs deutlich wird, dass er bei der Batterie von einem Strombehälter ausgeht. Allerdings findet in der Begriffsbildung „Strom“ während des gesamten Interviewverlaufs die Einschränkung: „[...] so was wie Strom [...]“ statt (vgl. a. Z. 112), was die These aufkommen lässt, dass Jan eine zu Strom ähnliche Energie vermutet oder sich bezüglich der Begrifflichkeit nicht sicher ist. Der folgende Verlauf des Gesprächs, in dem Jan den Fluss des Stroms von der Batterie über die Kabel zu den Schrauben bis hin zur Lampe beschreibt (vgl. Z. 70/ 71), spricht nochmals für seine Vorstellung der Batterie als Strombehälter und lässt sich bereits als erstes Indiz für eine Zweiführungsvorstellung seinerseits sehen, auch wenn er hier noch nicht explizit die zwei Zuleitungsdrähte benennt. Die Zweiführungsvorstellung wird aber im weiteren Gesprächsverlauf deutlich, so geht Jan in Zeile 74 davon aus, es fließe Strom gleicher Art und gleicher Menge durch beide Drähte des Stromkreises, was abermals in der Zusammenfassung der Interviewaussagen in Zeile 131 zum Tragen kommt.

Des Weiteren besitzt Jan die Vorstellung, der Strom sammle sich in der Glühlampe an, was zudem eine Vorstellung des Phänomens in Substanzbegriffen zulässt, da dem Strom dabei eine Masse zugeordnet wird, um dort das Licht zu erzeugen: „[...] das bleibt dann da drin, dass das Licht dann kommt.“ (vgl. Z. 83), allerdings schwenkt er nach der Anregung der Interviewerin, ob der Strom dann immer mehr werden müsse (vgl. Z. 84/ 85) und nach denen von ihr angebotenen Alternativen des Veränderns und Verschwindens des Stroms auf die Variante des Verschwindens um: „Ja so wie verschwinden.“ (vgl. Z. 90). Dies lässt auf eine Verbrauchsvorstellung des Stroms schließen, zumal Jan von „so wie verschwinden“ spricht. Allerdings verneint Jan das konkrete Wortangebot des Stromverbrauchs (vgl. Z. 94) zunächst, weil er den Einfall

eines Rückflusses des Stroms hat (vgl. Z. 95/ 96). Besonders interessant in dieser Phase des Gesprächs ist, dass Jan diese Theorie sowohl selbstständig entwickelt als auch auf seine Eignung hin überprüft und verwirft: „[...] vielleicht fließt das auch wieder zurück, wenn man die Drähte hier rausmacht [entfernt Kabel von Fassung]. Nee, das geht nicht, das geht nicht.“ (vgl. Z. 95/ 96). Jan überprüft seine Verbalisierung durch aktives Handeln am Versuchsaufbau und erkennt dabei, dass seine Theorie des Rückflusses des Stroms durch beide Kabel beim Abnehmen der Drähte von der Fassung nicht bestehen kann, da so keine Verbindung mehr zwischen Batterie und Glühbirne besteht. Das Aufstellen, Überprüfen und Verwerfen einer These spricht für Jans kritisches Denken gegenüber dem gegebenen Sachverhalt. Das Verwerfen seiner Theorie des Rückflusses behält Jan auch nach einer Nachfrage der Interviewerin bei (vgl. Z. 97- 100), so dass das Gespräch auf die Variante des Verschwindens des Stroms zurückkommt (vgl. Z. 101- 103), in deren Zusammenhang die Interviewerin ihm erneut konkret die Verbrauchsvorstellung anbietet, die Jan nun übernimmt (vgl. Z. 104- 110). Die Vorstellung des Verbrauchs des Stroms wird wiederum in Zeile 135 deutlich: „Nee, dann geht ja erstmal das Licht an und dann verschwindet er.“ So geht Jan hierbei davon aus, dass der Strom für das Leuchten der Lampe benötigt werde und danach „verschwinde“.

Auf die Frage nach seiner Vorstellung zum Phänomen Strom antwortet Jan in einer wenn- dann- Konstruktion: „[...] wenn man auf `n Schalter drückt auf irgendso`n und dann gibt`s ja auch Kabel und dann geht immer `n Licht an also manchmal, wenn das Kabel nicht unterbrochen ist.“ (vgl. Z. 115- 117) Diese Äußerung zeigt Elemente des präkausalen Denkens, so „macht“ der Strom das Licht, sobald wir einen Schalter betätigen, d.h. er ruft nicht eine Wirkung hervor, sondern er handelt menschenähnlich, was einer Zuordnung zum magisch- animistischen Denken entspricht. Auch könnte aus dieser Aussage ein finalistisches Denken hervorgehen, wenn man sie dahingehend interpretiert, dass der Strom Lampen zum Leuchten bringt und somit seine Existenz für den Menschen gerechtfertigt wird. Züge des präkausalen Denkens sind meist ab etwa 8 Jahren überwunden, allerdings werden sie immer auch im höheren - und sogar Erwachsenenalter eingesetzt, wenn Phänomene nicht einfach erklärbar sind, so dass diese Erklärungsansätze zumal des abstrakten Themas nicht ungewöhnlich erscheinen.

Des Weiteren bezieht sich Jan nicht auf das Aussehen des Stroms, sondern benennt eine mögliche Folge einer elektrischen Ladung, nämlich das Defektgehen eines Fernsehers durch einen Blitzeinschlag (vgl. Z. 119- 120). Diese Aussage greift die Interviewerin auf, um Jan die Möglichkeit zu einer Analogiebildung zu geben, allerdings ist sich Jan dahingehend unsicher, weil der Strom selbst nicht gesehen werden könne (vgl. Z. 123). Die Frage der Interviewerin, ob der Strom unsichtbar sei, wird von Jan zwar bejaht (vgl. Z. 124/ 125), allerdings geht durch seinen Nachsatz „[...] so in der Art.“ (vgl. Z. 125) nicht deutlich hervor, ob der Strom durch die Isolierungen und dem damit verbundenen Verwehren eines Einblicks nicht sinnlich erfahrbar ist.

Zusammenfassend lässt sich über das Interview sagen, dass Jan Elemente des präkausalen Denkens bis hin zu Elementen des kritischen Realismus in die Gesprächssituation mit einbringt. So kann er bereits eigene Theorien bilden, überprüfen und verwerfen, erklärt sich aber den Strom selbst magisch- animistisch und finalistisch und des Weiteren als nicht sinnlich erfahrbar.

Den funktionalen Aufbau des Stromkreises konstruiert er in für dieses Alter weit verbreiteten wenn- dann- Konstruktionen, um die Teilbedingungen zu beleuchten. Jan besitzt in Bezug zum Stromfluss eine Zweiführungsvorstellung und sieht die Batterie als einen Strombehälter an, dessen Strom durch die Glühlampe verbraucht wird.

6.2.3. Vergleich und Diskussion der Einzelinterviews

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der acht untersuchten Einzelinterviews miteinander verglichen werden, um Übereinstimmungen und Abweichungen der Aussagen untereinander aufzuzeigen.

Um die inhaltliche Ebene der Ausführungen darzustellen, wird in der Reihenfolge vorgegangen, die in den „Leitfragen zu den Interviews“ (vgl. 6.1.3.) vorgenommen wurde. Des Weiteren wird an den Stellen das Aufzeigen der unterschiedlichen Aussagen in tabellarischer Form vorgenommen, an denen viele verschiedene Ausführungen gegeben sind, um einen besseren Überblick zu gewährleisten.

1. Leuchtet die Glühlampe, wenn die Batterie und die Glühlampe durch ein Kabel verbunden werden?

Antworten der Kinder	Anzahl	Angabe in %
Ja	7	87,5%
davon mit Zusatzbedingung	1	
Nein	1	12,5%

Sieben der acht befragten Kinder vermuteten auf die Frage, ob die Glühlampe im Versuchsaufbau bei der Verbindung mit einem Kabel leuchte, ein „Ja“, wobei das „Könnte sein“ (vgl. Jan, Z. 32) mit in diese Kategorie gezählt wurde. Ein Junge (vgl. Marius) stellte zu seiner Zustimmung Zusatzbedingungen, so dass hierbei von ihm im Vorhinein defekte Bestandteile, die zu einem Nicht- Leuchten der Lampe führen könnten, ausgeschlossen waren. Lediglich eins der befragten Kinder (vgl. Tim) konnte ein Funktionieren der Lampe bei der Verbindung mit einem Kabel ohne ein Ausprobieren ausschließen, so dass es als einziges den technisch- funktionalen Aufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises bereits in seinem kognitiven System verankert hatte.

Die Fehlvorstellung der befragten Kinder könnte eventuell sehr stark von der visuellen Wahrnehmung ihres Alltagsumfelds mit technischen Geräten abhängen, so sind die zwei Zuleitungsdrähte der elektrischen Geräte durch **ein** Kabel abgedeckt.

2. Warum leuchtet die Glühlampe bei der Verbindung mit einem Kabel nicht?

Antworten der Kinder	Anzahl	Angabe in %
es werden zwei Kabel benötigt	4	50%
Batterie ist leer	1	12,5%
Anschluss des Kabels an den falschen Pol	1	12,5%
falsches Kabel angeschlossen	1	12,5%
Klammer leitet keinen Strom	1	12,5%
Schrauben weisen keine Verbindung zur Lampe auf	1	12,5%
kein Strom	1	12,5%

Bei der Beantwortung dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich, was durch die Überprüfung, das Verwerfen und das Aufstellen einer neuen Theorie möglich war, so dass diesbezüglich mehr als acht Antworten aufgelistet wurden.

Hierbei wird deutlich, dass sowohl defekte bzw. falsche Bestandteile im Aufbau für ein Nicht-Leuchten der Lampe verantwortlich gemacht wurden (vgl. Julian, Nina, Marius, Ricardo) als auch dass die Hälfte der befragten Kinder die wirkliche Ursache, nämlich einen fehlenden Zuleitungsdraht (vgl. Jan, Adrian, Marius, Christina), ohne die Anleitung der Interviewerin erkannte und somit der technisch-funktionale Aufbau des Stromkreises durchschaut wurde. So wurde lediglich Julian, Christina und Ricardo die Hilfestellung des Ausprobierens mit zwei Kabeln gegeben.

Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass Ricardos Vermutung, dass sich kein Strom im Aufbau befindet, gleichermaßen übernommen wurde, obwohl in dieser Aussage auch die Möglichkeit der Vorstellung einer defekten Batterie bestand (vgl. Auswertung).

3. Warum leuchtet die Glühlampe nur bei der Verbindung mit zwei Zuleitungsdrähten?

Antworten der Kinder	Anzahl	Angabe in %
durch ein Kabel kommt zuwenig Strom/ Druck/ Volt	6	75%
es funktioniert nur mit zwei Zuleitungsdrähten	2	25%
es muss Kontakt zwischen Plus- und Minuspol bestehen/ es fehlt eine Verbindung	2	25%
es fließt gar kein Strom bei einem Kabel	1	12,5%
Energie befindet sich nur an einem Pol der Batterie	1	12,5%

Hier ist evident, dass sehr unterschiedliche Antworten auf die Frage geäußert wurden, wobei abermals Mehrfachnennungen möglich waren.

Die in diesem Zusammenhang am häufigsten genannte Variante ist die des zu geringen Stromflusses bei nur einem Zuleitungsdraht (vgl. Julian, Christina, Tim, Marius, Adrian, Nina). Während Julian und Adrian gleich zu Anfang ihre Vorstellung definieren, dass zuwenig Strom (vgl. Julian, Z. 51/ 52) bzw. Volt (vgl. Adrian, Z.31/ 32 und 42) beim Anschluss eines Zuleitungsdrahtes zu der Lampe fließe, um diese zum Leuchten zu bringen, bestätigt Christina, wenn auch etwas unsicher, diese Auffassung,

nachdem sie noch einmal den funktionalen Aufbau verinnerlicht und erkennt, dass die Leuchtwirkung nur bei einem Anschluss mit zwei Kabeln hervorgerufen werden kann (vgl. Z. 50- 58). Besonders interessant ist Ninas Vermutung, die zu diesem Zeitpunkt noch davon ausgeht, dass die „Energie“ nur an dem Pol der Batterie vorzufinden ist, an den das zweite Kabel angeschlossen wurde (vgl. Z. 49), so dass sie die einzige der befragten Kinder ist, die nach der Handlungsphase den funktionalen Aufbau des Stromkreises noch nicht durchschauen konnte. Dies geschieht erst nach einer erneuten Handlungsphase, in der sie ihre Theorie überprüft und somit auf die These des zu geringen Stromflusses bei einem Kabel umschwenkt (vgl. Z. 64). Tim ist in dieser Tabelle drei Mal aufgeführt, so benennt er zunächst die Tatsache einer fehlenden Verbindung im Stromkreis (vgl. Z. 58/ 59) und daraus resultierend einen zu schwachen Stromfluss (vgl. Z. 65). Allerdings geht er im Verlauf des Interviews von einem nicht vorhandenen Stromfluss bei der Verbindung mit lediglich einem Zuleitungsdraht aus (vgl. Z. 74). Auch Marius geht von einem fehlenden Kontakt zwischen dem Minus- und Pluspol des Stromkreises aus (vgl. Z. 66/ 67) und ähnlich wie Christina kommt er auf die Variante des zu geringen Drucks, nachdem er den funktionalen Aufbau noch einmal verinnerlicht (vgl. Z. 116- 119), was hierbei aber auf seine eigenständige aktive Handlung am Versuchsaufbau zurückzuführen ist.

Die einzigen Kinder, die nicht die Variante eines zu geringen Stromflusses genannt haben, sind Ricardo und Jan, die beide eine zirkuläre Aussage vornehmen. So leuchtet die Lampe nur bei der Verbindung mit zwei Kabeln, da zwei Kabel angeschlossen werden müssen (vgl. Ricardo, Z. 69/ Jan, Z. 64).

Die von den meisten Kindern benannte These des zu schwachen bzw. zu geringen Stromflusses bei der Verbindung mit einem Zuleitungsdraht lässt bereits zu diesem Zeitpunkt auf eine Zweiführungsvorstellung des Stromflusses schließen. Festzuhalten gilt außerdem, dass zum Ende dieser Interviewphase alle Kinder den technisch-funktionalen Aufbau eines einfachen elektrischen Stromkreises verinnerlichen konnten, was durch das konkret gegebene Material ermöglicht wurde (vgl. Resaag/ Schaal nach Möller, 1990, S. 72).

4. Fließt der Strom durch beide Zuleitungsdrähte?

Alle der acht befragten Kinder gehen von einer Zweiführungsvorstellung, d.h. einem Fluss des Stroms durch beide Zuleitungsdrähte, aus, was zum größten Teil bereits durch die Vorstellung eines zu geringen Stromflusses bei dem Anschluss eines Zuleitungsdrahtes impliziert wurde, dennoch bestätigten alle Kinder auf Nachfrage der Interviewerin einen Fluss durch beide Kabel.

Besonders bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Christina und Nina gleichermaßen von einem Hin- und Rückfluss des Stroms durch beide Kabel ausgehen (vgl. Christina, Z. 66- 71/ Nina, Z. 139- 144), während Marius als einziges der befragten Kinder zunächst von einer Kreisvorstellung des Stromflusses ausgeht, von der er durch seine Erkenntnis, dass die Lampe nur bei einer Verbindung mit zwei Zuleitungsdrähten leuchtet, wieder abkommt, um die Theorie eines zu geringen Stromflusses bei einem Kabel und damit eine Zweiführungsvorstellung aufzunehmen (vgl. Z. 78- 127).

5. Wo befindet sich der Strom im Stromkreis?

Alle Kinder äußerten ihre Vorstellung, der Strom befinde sich in der Batterie. Dabei ist wichtig anzumerken, dass Christina in ihrer Begriffsbildung von der Interviewerin beeinflusst wurde, so dass sie von dem Begriff „Licht“ auf den Terminus „Strom“ umschwenkt, während Jan im gesamten Verlauf des Interviews die Einschränkung „so was wie Strom“ (vgl. Z. 68) vornimmt, so dass nicht ganz sicher ist, ob er von einer ähnlichen Substanz ausgeht. Adrian dagegen benutzt das Wort „Volt“ (vgl. Z. 48- 51), also die Spannung, statt des Wortes „Strom“. Allerdings wird auch bei diesen drei Kinderaussagen deutlich, dass sie von einer in der Batterie enthaltenen Substanz ausgehen, die für das Leuchten der Lampe benötigt wird.

Julian gab zu der Beantwortung dieser Frage zugleich eine Begründung ab, indem er erklärt, dass sonst die Drähte allein für eine Leuchtwirkung sorgen müssten (vgl. Z. 83- 85) und Marius' direkter Nachtrag „[...] weil die ja aufgeladen is.“ (vgl. Z. 70) zeigt, wie es durch die Alltagssprechweisen zu der Übernahme solcher Fehlvorstellungen kommen kann. So wird die Batterie als „voll“ oder „leer“ bezeichnet, was im Speziellen außer bei Marius (vgl. Z. 29) auch bei Christina in Zeile 90, bei Tim in Zeile 107 und bei Nina in Zeile 152 durch eine Anregung der Interviewerin und in Zeile 155 durch die Möglichkeit des Aufladens einer Batterie zum Tragen kommt.

6. Was passiert mit dem Strom in der Glühlampe?

Alle acht Kinder gehen zum Ende des Interviews von einer Verbrauchsvorstellung des Stroms durch die Glühlampe aus.

Dabei gehen fünf der befragten Kinder durch die angebotenen Alternativen der Interviewerin zunächst von einer Sammelvorstellung des Stroms aus, was immer die typische Vorstellung von Kindern des Stroms als etwas Stoffliches, das eine Masse besitzt (vgl. Wagenschein, 1976, S. 80ff), beinhaltet, denn nur dann kann er sich ansammeln. So gehen Julian (vgl. Z. 123), Ricardo (vgl. Z. 82/ 83 und Z. 101), Jan (vgl. Z. 83) Nina (vgl. Z. 115) und Tim (vgl. Z. 103) von der Variante des Sammelns aus, was stets durch die Anregung der Interviewerin, mit Einschränkung bei Nina, ob die Lampe bei einer Ansammlung des Stroms nicht heller leuchten oder explodieren müsste, verworfen wird, so dass auf andere Theorien übergegangen wird. So geht Julian zunächst von der Theorie eines Abfließens oder Kleinerwerdens des Stroms aus (vgl. Z. 131/ 132), seine letztendliche eigene entworfene These ist aber, der Strom werde in Schüben der Lampe zugeführt und verschwinde danach (vgl. Z. 138), was durch seinen Vergleich mit einem Blitz bestärkt wird. Die Termini des Verschwindens und Kleinerwerdens des Stroms wurden hierbei als ein Verbrauch interpretiert. Auch Ricardo geht zunächst wie Julian auf die Variante eines Weiterfließens über (vgl. Z. 89), allerdings führt er diese nicht aus, sondern geht wiederum auf die Sammelvorstellung zurück, um nach einer erneuten Anregung der Interviewerin die Verbrauchsvorstellung zu übernehmen (vgl. Z. 113). Ebenso äußert Jan die These eines Rückflusses des Stroms (vgl. 95/ 96), die er selbstständig verwirft, um seine vorangegangene Variante des Verschwindens wieder aufzunehmen (vgl. Z. 101/ 102) und letztendlich die Begrifflichkeit des Verbrauchs durch die Interviewerin zu

übernehmen (vgl. 107/ 108). Bemerkenswert ist auch Ninas These, die auf einer Sammelvorstellung bestehen bleibt, allerdings findet eine Ansammlung des Stroms nur solange statt, bis genügend vorhanden ist, um die Lampe zum Leuchten zu bringen (vgl. Z. 121- 133). Danach findet ein Rückfluss des Stroms nach einer Entkräftigung durch die Lampe statt (vgl. Z. 137- 158), d.h. es fließt schwächerer Strom in die Batterie zurück als aus ihr gekommen ist, was eine Benutzung bzw. einen Verbrauch des Stroms in der Lampe voraussetzt. Lediglich Tim geht von seiner Theorie des Sammelns sofort zu der Theorie des Verbrauchs über, indem er den Terminus des Verglühens des Stroms wählt (vgl. 114- 116).

Die restlichen drei befragten Kinder äußern sogleich eine Verbrauchsvorstellung des Stroms: Interessant ist hierbei, dass Christina, ähnlich wie Nina, von einem Rückfluss des Stroms ausgeht, der mit der Verbrauchsvorstellung gekoppelt ist. So ist in Christinas Ausführungen die Vorstellung verankert, dass beim Abnehmen der Zuleitungsdrähte von der Fassung der Reststrom, der sich zu diesem Zeitpunkt in den Drähten befindet, in die Batterie zurückfließe (vgl. Z. 83/ 84). Durch ihre Theorie des Leerwerdens der Batterie (vgl. Z. 89/ 90) wird jedoch deutlich, dass der Strom in der Lampe verbraucht wird, denn nur solange die Batterie voll ist, kann die Lampe leuchten (vgl. Ebd.).

Adrian und Marius wissen beide die angebotenen Alternativen der Interviewerin sofort durch ihre geäußerte Verbrauchsvorstellung zu verwerfen, so gehen die beiden Jungen von einem Verbrauch des Stroms durch die Lampe aus (vgl. Adrian, Z. 70- 72/ Marius, Z. 143).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Fehlkonzeptionen stark in den Vorstellungen der Kinder verankert sind, was wahrscheinlich, wie bereits in der vorherigen Frage vermutet wurde, durch die Alltagssprechweisen gefördert wird. So geht die Hälfte der Kinder sofort von einer Verbrauchsvorstellung aus, während die andere Hälfte die Fehlkonzeption des Verbrauchs akzeptiert und übernimmt oder selbst zu dieser Einschätzung gelangt.

7. Was stellst du dir unter elektrischem Strom vor?

Antworten der Kinder	Anzahl	Angabe in %
Analogie zu Blitz	2	25%
Analogie zu Flüssigkeit (Wasser, Säure)	2	25%
gefährlich	2	25%
mit Strom läuft alles / bringt Lampen zum Leuchten	3	37,5%
unsichtbar	4	50%
kann man nicht sehen	2	25%
kann man nicht fühlen	1	12,5%
Lokalisation (Steckdose/ Strommast)	2	25%

Zunächst ist bei einem Vergleich der Aussagen bezüglich dieser Frage anzumerken, dass eine Unterscheidung zwischen den Begrifflichkeiten „unsichtbar“ und „nicht sehen“ gemacht wurde, da bei der Analyse und Auswertung der Einzelinterviews nicht immer deutlich wurde, ob der Strom allgemein nicht sinnlich erfahrbar ist oder ob dies aufgrund eines durch die Isolierungen verwehrt Einblicks geschieht.

Julian und Christina nehmen bei der Beschreibung des Stroms eine Analogiebildung zu einem Blitz vor (vgl. Julian, Z. 96/ Christina, Z. 97), wobei auch die Eigenschaften eines Blitzes mit in ihre Erklärung einbezogen werden. So besitzt der Strom nach Julian Helligkeit, Schnelligkeit und viel Energie (vgl. Z. 107- 109), während Christina ihr Augenmerk ebenfalls auf die Schnelligkeit und zudem die gelbe Farbe legt (vgl. Z. 99). Zudem nimmt Christina eine Analogiebildung zu einem Feuer vor (vgl. 99- 100), die allerdings nicht mit in die Tabelle aufgenommen wurde, da sie dabei die Folgen eines Blitzeinschlages beschreibt. Wie Christina bezieht sich auch Tim auf die gelbe Farbe eines Blitzes, allerdings nimmt er dabei keine Analogiebildung zu einem Blitz vor, sondern sieht ihn selbst als Strom (vgl. 89- 90).

Eine weitere Analogiebildung wird von Nina und Marius vorgenommen, die den elektrischen Strom mit einer Flüssigkeit vergleichen. Dabei geht Nina von einem Vergleich mit Wasser (vgl. Z. 83) und des Weiteren mit einer Säure (vgl. Z. 86) aus, während Marius zunächst von einem flüssigen Material (vgl. Z. 152) und ebenfalls von einer Säure (vgl. Z. 154) spricht. Nina nimmt zusätzlich die Differenzierung des Unsichtbarseins des Stroms vor (vgl. Z. 86), wobei Adrian (vgl. Z. 93/ 94), Tim (vgl. Z. 89) und Jan (vgl. Z. 123- 125) die gleiche Vorstellung teilen, allerdings übernimmt Adrian lediglich den Vorschlag des Unsichtbarseins (vgl. 93/ 94), nachdem er den Strom zuvor als nicht sinnlich erfahrbar schildert, indem er das Sehen und das Fühlen des Stroms ausschließt (vgl. Z. 75) und auch Jan spricht im Zusammenhang mit dem Terminus „unsichtbar“ von einem „[...] so in der Art.“ (vgl. Z. 123- 125), wobei er auch im Speziellen das Nicht- Sehen des Stroms aufgreift.

Ricardo und Adrian wissen den Strom auf bestimmte Orte zu lokalisieren, so dass Ricardo den Strommast (vgl. Z. 130) und Adrian die Steckdose (vgl. Z. 76) benennt, in dessen Zusammenhang Adrian zudem die Eigenschaft der Gefährlichkeit des Stroms zum Ausdruck bringt (vgl. Z. 76- 78), die außer ihm nur noch Julian (vgl. 91/ 92) angibt. Die Wirkungen, die Strom hervorrufen kann, beschreiben drei der befragten Kinder, indem Nina darauf hinweist, alle technischen Geräte würden damit betrieben (vgl. Z. 79), während Ricardo und Jan im Speziellen die Leuchtwirkung des Stroms aufgreifen (vgl. Ricardo, Z. 125- 127/ Jan, Z. 115- 118).

Neben allgemeineren Beschreibungen, die die Wirkungen, das Vorkommen und die Eigenschaften des Stroms beschreiben, lässt sich rückblickend sagen, dass sich die Hälfte der Kinder den Strom in Analogie zu bereits vertrauten Phänomenen erklärt, wobei sie häufig in Erklärungen auftretende phänotypische Analogiebildungen vornehmen, die sich auf einen Vergleich des äußeren Erscheinungsbilds des Phänomens beziehen (vgl. Stuckmann, 1990, S. 13f). Des Weiteren sind Erklärungen, die sich auf die sinnliche Erfahrbarkeit des Stroms beziehen, häufig vertreten.

8. Vergleich in Bezug auf das Kausaldenken

Eine differenzierte Auflistung wie bei den vorangegangenen Vergleichungen ist in diesem Zusammenhang nicht möglich, da sich die Erklärungsmuster nicht auf bestimmte Bereiche des Interviews beschränken lassen.

Als bedeutsam ist aber festzuhalten, dass sich alle Kinder für das Grundschulalter ab etwa 8 Jahren typischer wenn- dann- Konstruktionen bedienten (vgl. 2.2.2.) und dieses Erklärungsmuster in besonderem Maße in Bezug auf den technisch- funktionalen Aufbau des Stromkreises anwandten, um dabei die Teilbedingungen, die zu einem Leuchten der Lampe führen, aufzugreifen.

Dieses Erklärungsmuster, das nach Wagenschein bereits als erster Ansatz des Kausaldenkens gesehen wird (vgl. Wagenschein, 1976, S.74), wird dem Übergang zum realistischen Kausaldenken zugeordnet, bei dem noch nicht die Ursachen, sondern die Bedingungen im Vordergrund des Denkens stehen (vgl. Möller, 1990, S. 63).

Besonders hervorzuheben sind Jan, Tim und Marius, die ihre eigenen konzipierten Theorien auf ihre Eignung überprüften und gegebenenfalls verwarfen. So nimmt Tim in den Zeilen 57 und 58 die nicht angeleitete Gegenprobe seiner Aussage vor, um dadurch die Bestätigung seiner Aussage des Leuchtens der Lampe mit ausschließlich zwei Zuleitungsdrähten zu erlangen. Jan verwirft seine Idee eines Rückflusses des Stroms (vgl. Z. 95/ 96) und auch Marius verwirft seine Theorie eines Kreisflusses des Stroms (vgl. Z. 111- 127), indem beide ihre Verbalisierungen an den Materialien des Versuchsaufbaus konkretisieren und überprüfen.

Das Aufstellen, Überprüfen und Verwerfen von Theorien sind Anzeichen des kritischen Realismus (vgl. Biester, 1991, S. 35/ Möller, 1990, S. 66), allerdings zeigen die benannten Fälle, dass das Denken der Kinder noch an das konkret gegebene Material gebunden ist (vgl. Zietz nach Möller, 1990, S. 35f).

Insgesamt können alle Kinder nach einer gestellten Frage Theorien zu einem Nicht-Leuchten der Lampe angeben und diese unter Anleitung überprüfen.

Elemente des präkausalen Denkens zeigten sich in den Ausführungen der verankerten Vorstellungen über das Phänomen „Strom“ bei Nina, Jan und Ricardo. So wird der Strom finalistisch interpretiert, indem sein Zweck für den Menschen offen gelegt wird (vgl. a. Roth, 1974, S. 157) und/ oder magisch- animistisch, indem der Strom menschenähnlich handelt bzw. etwas „macht“ (vgl. a. Möller, 1990, S. 57). Nina nimmt lediglich eine finalistische Deutung vor: „Damit läuft alles.“ (vgl. Z. 79), während Jan und Ricardo die Leuchtwirkung, die der Strom „vornimmt“, hervorheben (vgl. Ricardo, Z. 125- 127/ Jan, Z. 115- 117). Allerdings lassen sich in ihren Aussagen aber auch finalistische Züge in Bezug auf die Nützlichkeit des Stroms erkennen.

Erklärungsmuster des präkausalen Denkens sind meist ab etwa acht Jahren überunden, allerdings werden sie auch in höheren Altersstufen besonders bei schwierigen Fragen eingesetzt (vgl. u.a. Möller, 1990, S.58/ Wagenschein, 1976, S.60) und, wie in diesem Fall, bei Beantwortungen, die in den Bereich des Nichtsichtbaren fallen.

7. Vergleich der Ergebnisse im Kontext der Vergleichstexte

Bevor ein Vergleich der eigenen Untersuchung mit den in Kapitel 5 geschilderten Vergleichstexten stattfindet, ist nochmals wichtig zu bemerken, dass weder die im Vorfeld vorgestellten Vergleichstexte noch die hier durchgeführte und vorgestellte Untersuchung repräsentative Zahlen aufzeigen können, so dass die Ergebnisse nur als Tendenzen aufgefasst werden dürfen.

Der beste Vergleich lässt sich in der Auseinandersetzung mit den aufgeführten Ergebnissen von Stork und Wiesner (vgl. 5.1.) durch einen ähnlichen Aufbau der Untersuchungen erzielen, so dass hieraus resultierend die meisten Vergleiche gezogen werden können.

So waren 18 von insgesamt 24 Schülern in dem beschriebenen Artikel von Stork und Wiesner der Meinung, dass die Lampe beim Anschluss eines Zuleitungsdrahts leuchten wird und auch in der hier durchgeführten Untersuchung prognostizierte die große Mehrheit der Kinder, nämlich 7 von 8, ein Leuchten der Lampe. Davon stellten 3 der befragten Kinder bei Stork und Wiesner Zusatzbedingungen und auch hier gab ein Junge (vgl. Marius, 6.2.2.6.) die Bedingung einer vollen Batterie und eines richtigen Anschlusses für ein Leuchten der Lampe an. Lediglich ein Junge (vgl. Tim, 6.2.2.5.) konnte aufgrund seiner geschilderten Erfahrungen ein Funktionieren der Lampe beim Anschluss eines Kabels ausschließen, bei Stork/ Wiesner waren es 6 der befragten Kinder. Somit kann das Ergebnis von Stork und Wiesner durch die hier vorgestellte Untersuchung gestützt werden, dass Kinder aus ihrer Erfahrung heraus ein Kabel für eine Leuchtwirkung als ausreichend erachten.

Interessant ist, dass bei der Ergebnisauflistung von Stork und Wiesner fast ausschließlich defekte Bestandteile oder eine falsche Anordnung der Teile für ein Nicht-Leuchten der Lampe verantwortlich gemacht wurden, während bei der hier durchgeführten Untersuchung neben der Benennung von defekten Teilen die Hälfte der befragten Kinder einen fehlenden Zuleitungsdraht als Grund des Nicht-Leuchtens angaben und somit die wirkliche Ursache erkannten, so dass hieraus resultierend eine Entwicklung im Bezug auf das technisch- funktionale Denken bei einem konkret vorgegeben Material vermutet werden kann.

Eine große Übereinstimmung der Antworten lässt sich bei den Begründungen für einen Gebrauch von zwei Zuleitungsdrähten feststellen, so sind bei Stork und Wiesner nahezu 71% der befragten Kinder von einem zu geringen Stromfluss beim Anschluss eines Kabels überzeugt, in der hier durchgeführten Untersuchung sind es sogar 75% der Kinder, die diese Meinung vertreten. Allerdings ist in diesem Zusammenhang in Bezug auf die Prozentangabe zu erwähnen, dass die hier durchgeführte und vorgestellte Untersuchung nur 1/3 der Probanden stellen konnte, die in der Untersuchung von Stork und Wiesner befragt wurden.

Aus der Angabe der Kinder lässt sich schließen, dass die meisten von einer Zweiführungsvorstellung des Stromflusses ausgehen, in der hier vorgestellten Untersuchung gaben sogar alle acht Kinder nach einer genaueren Nachfrage eine solche Vorstellung an. Auch der Bericht von Asoko (vgl. 5.3.) zeigt auf, dass eine Zweiführungsvorstellung bei der in diesem Zusammenhang befragten Kinder verankert ist, allerdings geht aus diesem Artikel nicht hervor, wie viele Kinder diese Meinung neben einer Kreisvorstellung vertraten. Die geschilderte Ausführung bei Asoko, dass eine Lasche der Batterie für ein Leuchten der Lampe verantwortlich ist, lässt sich zunächst mit Ninas Vermutung (vgl. 6.2.2.4.) vergleichen, die ein Leuchten der Lampe durch den alleinigen Anschluss des zweiten Pols der Batterie angab, bei einer Überprüfung ihrer Aussage allerdings auf die Theorie eines zu schwachen Stromflusses kam. Es ist nicht ersichtlich, ob bei der von Asoko beschriebenen Ausführung eine ähnliche Überprüfung stattgefunden hat. Ob in dem beschriebenen Vergleichstext von Stork und Wiesner auch Kreisvorstellungen oder andere Rückflussprinzipien wie bei Christina (vgl. 6.2.2.3) und Nina (vgl. 6.2.2.4) in den Vorstellungen der Kinder verankert sind, wird aus dem Artikel nicht ersichtlich und auch bei Asoko wird nicht explizit eine Zahl derjenigen Kinder genannt, die eine Kreisvorstellung vertreten.

Dass die Batterie von Kindern als Strombehälter gesehen wird, lässt sich nicht nur in der in diesem Rahmen durchgeführten Untersuchung bestätigen, in der alle der acht befragten Kinder diese Meinung äußerten, auch wenn dabei nicht immer von dem Terminus „Strom“ (vgl. Adrian, 2.2.2.2./ Christina, 6.2.2.3./ Jan, 6.2.2.8.) gesprochen wurde, sondern auch bei Stork und Wiesner, wobei sich die Schüler bezüglich des Wortes „Stromquelle“ äußern sollten und fast 67% in der Batterie gelagerten Strom vermuteten. In dem Artikel von Kirchner und Werner (vgl. 5.2.) sprechen die Schüler im Zusammenhang mit der Batterie von einer „leeren“ Batterie, deren Elektronen verbrannt, abgerieben, gestorben oder sich außerhalb befinden, was auch die Vermutung der Batterie als Elektronenbehälter zulässt, wobei der Begriff „Elektronen“ bereits eingeführt wurde.

Die Vorstellung lässt auch auf eine Verbrauchsvorstellung der Schüler schließen, auf die in den Artikeln nicht explizit eingegangen wird, so dass hieraus resultierend kein Vergleich mit der eigenen Untersuchung möglich ist. Festzuhalten gilt jedoch, dass Wiesner in einem weiteren Artikel (vgl. Wiesner In: Sachunterricht und Mathematik der Grundschule, 1995, S.50- 58/ vgl. a. 5.1.), in dem er die Schwierigkeiten einer Behandlung von Elektrizitätslehre in der Grundschule, die in verschiedenen Artikeln geschildert werden, aufgreift - unter anderem auch seine Untersuchung mit Stork – und dabei feststellt, dass eine Verbrauchsvorstellung bei Kindern stark verankert ist, da sie sich ein unverändertes Weiterfließen des Stromes trotz einer hervorgerufenen Leuchtwirkung nicht vorstellen können (vgl. Ebd., S.50). In der hier vorgestellten Untersuchung äußerten alle acht Schüler nach einer genaueren Nachfrage seitens der Interviewerin letztendlich eine Verbrauchsvorstellung, so dass das Ergebnis Wiesners hier bestätigt wird.

Die Vorstellungen über das Phänomen sind, wie aus den Vergleichstexten und der hier durchgeführten Untersuchung ersichtlich wird, sehr breit gefächert. So äußern sich die Schüler aus England in präkausalen Elementen des Denkens, indem sie auf die Nützlichkeit des Stroms für den Menschen hinweisen, was allerdings auch durch das jüngere Alter, nämlich 8 bis 9 Jahre zu erklären ist. Auch in der hier vorgestellten Untersuchung sind diese Erklärungsmuster noch anzutreffen (vgl. Nina, 6.2.2.4./ Ricardo, 6.2.2.7./ Jan, 6.2.2.8.). Auch bei Stork und Wiesner werden die Wirkungen des Stroms benannt, allerdings werden hier die genaueren Äußerungen der Kinder diesbezüglich nicht aufgelistet, so dass nicht ersichtlich wird, ob es sich dabei auch um präkausale Erklärungsmuster handelt. Interessant ist, dass bei Kirchner/ Werner, Stork/ Wiesner und in der eigenen Untersuchung eine große Anzahl von Analogiebildungen seitens der befragten Kinder vorgenommen wird, wobei eine große Übereinstimmung der in diesem Rahmen befragten Kinder mit denen bei Kirchner und Werner vorgefunden wird, da der Vergleich mit Flüssigkeiten und Blitzen vorgenommen wird. Aber auch die sinnliche Wahrnehmung des Stroms wird häufiger benannt, so werden bei Stork und Wiesner Analogien zu Luft gebildet, die eine Unsichtbarkeit des Stroms implizieren und auch bei Kirchner und Werner wird auf die Unsichtbarkeit des Stroms hingewiesen. In der hier vorgestellten Untersuchung schildert die Hälfte der befragten Kinder eine Nicht- Wahrnehmbarkeit des Stroms. 25% der Schüler bei Stork und Wiesner benennen die Eigenschaft der Gefährlichkeit des Stroms und auch in der eigenen Untersuchung benennen zwei der befragten Kinder diese Eigenschaft, was sicherlich auf eine tägliche Konfrontation mit dem Strom und der daraus resultierenden Ermahnung zur Vorsicht im Umgang mit Strom durch Erwachsene zurückzuführen ist. Die beschriebene Äußerung bei Kirchner und Werner, dass es sich bei Strom um unsichtbare, winzige, bewegte Teilchen handelt, ist sicherlich nur bei Schülern zu erwarten, die sich bereits fachlich mit dem Phänomen auseinandergesetzt haben, da diese Vorstellung bereits sehr nah an einer Elektronenvorstellung gelegen ist.

Zusammenfassend lässt sich im Vergleich der Einzelinterviews mit den Ergebnissen der Vergleichstexte festhalten, dass die Vermutungen, die resultierend aus dem Vergleich der Vergleichstexte untereinander gezogen wurden, im großen Maß bei den hier befragten Kindern eintrafen. So sehen in der eigenen durchgeführten Untersuchung sogar alle acht befragten Schüler die Batterie als einen Strombehälter an, dessen Strom durch die Leuchtwirkung der Lampe verbraucht wird. Des Weiteren äußern sie eine Zweiführungsvorstellung des Stromflusses, während sie sich den Strom selbst in Analogie zu bereits vertrauten Phänomenen erklären oder dabei ihre sinnliche Wahrnehmung schildern.

8. Schlussbetrachtung

Obwohl das Phänomen Strom in unserer Welt allgegenwärtig ist und wir es tagtäglich in den verschiedensten Bereichen unseres Lebens einsetzen, sind wir uns über den Sachverhalt nur eingeschränkt bewusst.

Der wahrscheinlich wichtigste Grund für die Existenz bestehender Fehlvorstellungen lässt sich wohl auf das unkritische Übernehmen von in unserer Sprache fest verankerten Alltagsformulierungen zurückführen, die bei keiner genaueren Beschäftigung mit dem Thema geradezu zwangsläufig Fehlvorstellungen aufkommen lassen – und das nicht nur bei Kindern!

So verstehen wir Strom häufig als eine Substanz, die an dafür gedachten Orten aufbewahrt wird, um sie dann für die Betreibung elektrischer Geräte einzusetzen, so dass ein Verbrauch des Stroms stattfindet.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung mit der zugrunde liegenden Methodik eines Leitfadeninterviews beinhaltet stets einen Probanden- und Untersuchererwartungseffekt, so dass bei der Interpretation der Ergebnisse keine vollständige Objektivität gewährleistet werden kann, dennoch zeigen sich deutlichst Übereinstimmungen von geäußerten Fehlkonzeptionen, die Kinder heranziehen, um für sich logische Erklärungen zu schaffen, so dass die oben angeführte These bekräftigt werden kann.

Eine Generalisierbarkeit der Untersuchungsergebnisse kann durch die zu geringe Probandenzahl, die im Rahmen dieser Arbeit nur möglich war, nicht vorgenommen werden, allerdings konnten dabei Tendenzen resultierend aus dem Heranziehen von Vergleichstexten unterstützt werden, so dass es weiteren Untersuchungen zur Überprüfung der Benutzung von Fehlvorstellungen bezüglich des Sachverhalts Stroms bedarf.

Die einzige Möglichkeit, um dem entgegenzuwirken, erscheint eine genaue und gezielte Beschäftigung mit dem Thema, soweit dies in den verschiedenen Alterstufen als realisierbar erscheint. Die hier vorgestellte Untersuchung zeigte jedoch, dass sich Kinder zum Ende der Grundschulzeit bereits kritisch mit dem abstrakten Phänomen auseinandersetzen können, so dass dies als Möglichkeit eines Anknüpfungspunktes für eine Beschäftigung mit dem Thema Strom gesehen werden sollte.

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Asoko, H.: Developing scientific concepts in the primary classroom: Teaching about electric circuits. In: Welford, G./ Osborne, J./ Scott, P.: Research in science education in Europe. London: The Falmer Press 1996. S.36-49.
- Atteslander, Peter: Methoden der empirischen Sozialforschung. 7. Auflage. Berlin, New York: Walter de Gruyter 1993.
- Bergof, Norbert/ Goblet, Jakob u.a.: Gross Berhag. Physik für die Sekundarstufe I. Stuttgart: Ernst Klett 1976.
- Biester, Wolfgang: Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1991.
- Böhm, Winfried: Wörterbuch der Pädagogik. 15. Auflage. Stuttgart: Alfred Körner 2000.
- Boysen, Gerd/ Glunde, Hansgeorg u.a.: Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Berlin: Cornelsen 1991.
- Brauer, Dr.-Ing. Hans/ Lehmann, Dr.-Ing. Constans u.a.: Elektrotechnik – Elektronik. Formeln und Gesetze. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1988.
- Breitsameter, Dr. Florian/ Burgwitz; Andreas u.a.: Wissen aktuell- Technik. Wann war? Was war? Wer war? München: Compact 2001.
- Brentjes, Burchard/ Richter, Siegfried u.a.: Geschichte der Technik. Hg. v. Rolf Sonnemann. Leipzig: Aulis 1978.
- Dittrich, Gisela/ Dörfler, Mechthild u.a.: Videografieren als Beobachtungsmethode in der Sozialforschung. In: Friederike Heinzel: Methoden der Kindheitsforschung. Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive. Weinheim, München: Juventa 2000. S.185-204.
- Duenbostl, Theodor/ Mathelitsch, Leopold u.a.: Physik erleben 3. Wien: Hölder – Pichler – Tempsky 2000.
- Erfindungen. Die 65 großen Erfindungen der Weltgeschichte. o.O.: o.V. o.J.
- Fock, Ernst/ Weber, Karl: Lehrbuch der Physik für Gymnasien. Elektrizitätslehre und Atomphysik. 2. Auflage. Frankfurt/Main, Hamburg: Otto Salle 1967.
- Friedrichs, Jürgen: Methoden empirischer Sozialforschung. 14. Auflage. Opladen: Westdeutscher Verlag 1990.
- Fuhs, Burkhard: Qualitative Interviews mit Kindern. Überlegungen zu einer schwierigen Methode. In: Friederike Heinzel (Hrsg.): Methoden der Kindheitsforschung. ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive. Weinheim, München: Juventa 2000. S.87-104.
- Gießler, Christoph: Deutsches Museum: Spurensuche in der Welt der Technik. München: Bertelsmann Jugendbuchverlag 2000.
- Gierspeck, Axel/ Weiß, Michael: 100 Jahre Strom für Pirmasens. Göttingen: Göttinger Festschriften – Verlag 1998.
- Grimsehl, : Lehrbuch der Physik. Bd.2. Elektrizitätslehre. 19. Auflage. Leipzig: Teubner Verlagsgesellschaft 1980.
- Gulkin, Sidney/ Notkin, Jerome J. u.a.: Elektrizität. Ein WAS IST WAS Buch. Hamburg: Tessloff 1964.
- Hein, Friederike: Elektrizitätslehre in der Grundschule. Möglichkeiten und Grenzen einer Grundlegung. München: Franz Ehrenwith 1969.

- Heinzel, Friederike: Methoden und Zugänge der Kindheitsforschung im Überblick. In: Friederike Heinzel (Hrsg.): Methoden der Kindheitsforschung. Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive. Weinheim, München: Juventa 2000. S.21-36.
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.): Rahmenplan Grundschule. Frankfurt/ Main: Moritz Diesterweg 1995.
- Heywang, Dr. Fritz/ Schmiedel, Dr. Hans u.a.: Physik für technische Berufe. 20. Auflage. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik GmbH 1970.
- Humm, Othmar/ Jehle, Felix: Strom optimal nutzen. Effizienz steigern und Kosten senken, in Haushalt, Verwaltung, Gewerbe und Industrie. Staufen bei Freiburg: ökobuch 1996.
- Internet: <http://klisch-online.de> (28.08.02)
- Internet: <http://psyworx.de> (11.09.02)
- Internet: <http://www.weitensfelder.at> (09.08.02)
- Jacoby, Edmund: Das visuelle Lexikon der Technik. Hildesheim: Gerstenberg 2000.
- Jaros, Albert/ Nussbaumer, Alfred u.a.: Basiswissen3. physik-compact. Wien:
- Hölder – Pichler - Tempsky 1991.
- Jena, Horst/ Wittmann, Josef: Physik. Elektrizitätslehre. München: Bayrischer Schulbuch – Verlag 1983.
- Junior Wissen Technik. Stuttgart: Unipart 1994.
- Kaiser, Astrid (Hrsg.): Lexikon Sachunterricht. 2. Auflage. Hohengehren: Schneider 2000.
- Kircher, E./ Werner, H.: Anthropomorphe Modelle im Sachunterricht der Grundschule am Beispiel „Elektrischer Stromkreis“. In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe, 22 (1994). S.144-151.
- Köhnlein, Walter: Martin Wagenschein, die Kinder und naturwissenschaftliches Denken. In: Walter Köhnlein (Hrsg.): Der Vorrang des Verstehens. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1998. S.66-86.
- König, Wolfgang/ Weber, Wolfhard: Netzwerke Stahl und Strom. 1840 bis 1914. Frankfurt/ Main, Berlin: Propyläen 1990.
- Kränzle-Nagl, Renate/ Wilk, Liselotte: Möglichkeiten und Grenzen standardisierter Befragungen unter besonderer Berücksichtigung der Faktoren soziale und personale Wünschbarkeit. In: Friederike Heinzel (Hrsg.): Methoden der Kindheitsforschung. Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive. Weinheim, München: Juventa 2000. S.59-76.
- Leicht, Walter H.: Physik exemplarisch. Handbuch für den Lehrer 5.-9. Klasse. Magnetismus und Elektrizitätslehre. München: Franz Ehrenwirth 1967.
- Lexikon – Institut Bertelsmann (Hrsg.): Das moderne Lexikon in zwanzig Bänden.
- Bd 5.Gütersloh, Berlin, München, Wien: Bertelsmann Lexikon 1972.
- Max, Charel: Verstehen heißt Verändern. `Conceptual Change` als didaktisches Prinzip des Sachunterrichts. In: Gabriele Faust-Siehl/ Richard Meier u.a. (Hrsg.): Sachunterricht in der Grundschule. Frankfurt/ Main: Der Grundschulverband e.V. 1997. S.62-89.
- Möller, Kornelia: „Geht dir ein Licht auf?“ Entdeckendes Lernen am Beispiel „Elektrischer Strom“. In: Die Grundschulzeitschrift 108 (1997). S.12-16.

- Möller, Kornelia: Handeln, Denken und Verstehen. Untersuchungen zum naturwissenschaftlich – technischen Sachunterricht in der Grundschule. Essen: Westarp Wissenschaften 1990.
- Microsoft Encarta 99 Enzyklopädie
- Nickel, Horst: Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters. Bd 2. Schulkind und Jugendlicher. 2. Auflage. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber 1975.
- Orear, Jay: Physik. München, Wien: Carl Hanser 1982.
- Parker, Steve: Technik im Alltag. So funktionieren die 222 wichtigsten Geräte, Dinge und Vorgänge. München: ars edition 1992.
- Raab, Ivo/ Sexl, Roman u.a.: Der Weg zur modernen Physik. Eine Einführung in die Physik Bd.2. Berlin, Frankfurt/ Main, München: Moritz Diesterweg 1980.
- Rosemann, Bernhard: Statistische Grundbegriffe und Forschungsmethoden. In: Christoph Perleth/ Albert Ziegler (Hrsg.): Pädagogische Psychologie: Grundlagen und Anwendungsfelder. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Hans Huber 1999.
- Roth, Wolfgang K.: Entwicklung des technischen Verständnisses. Studien zum technisch- naturwissenschaftlichen Unterricht. Ravensburg: Otto Maier 1974.
- Schlautmann, Herbert: Vorsicht Strom! Elektrizität und andere technische Risiken im Handlungsfeld von Kindern. In: Sache – Wort – Zahl, 26 (1998). 16, S. 41-46.
- Schramm, Herbert: Physikalisches Grundwissen. Elektrizitätslehre für den mittleren Bildungsabschluss. München: Hueber – Holzmann 1977.
- Stork, E./ Wiesner, H.: Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre und Sachunterricht. In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 9 (1981). S.218-230.
- Struckmann, Christiane: Wie Grundschüler sich physikalische Phänomene erklären. Kassel: Gesamthochschulbibliothek 1990.
- Thome, Klaus (Hrsg.): Wie funktioniert das? Die Technik im Leben von heute. 3. Auflage. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut 1986.
- Tipler, Paul A.: Physik. Hg. v. Dieter Gerlich / Götz Jerke. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag 1995.
- Ullrich, H.: Mein Fahrrad – Zur Entwicklung des technischen Denkens beim Kind. In: Grundschule 9 (1994). S.16-19.
- Unglaube, Henning: Experimente im Sachunterricht. In: Gabriele Faust-Siehl/ Richard Meier u.a. (Hrsg.): Sachunterricht in der Grundschule. Frankfurt/ Main: Der Grundschulverband e.V. 1997. S.224-236.
- Wagenschein, Martin: Die pädagogische Dimension der Physik. 4. Auflage. Braunschweig: Georg Westermann 1976.
- Wagenschein, Martin: Kinder auf dem Wege zur Physik. Weinheim, Basel: Beltz 1990.

- Wiesner, H.: Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre. In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 23 (1995), 2. S. 50-58.
- Zietz, Karl: Kind und psychische Welt. Psychologische Voraussetzungen der Naturlehre in der Volksschule. München: Kösen 1955.

10. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

- **Abb. 1 Elektrisiermaschine**
aus: <http://www.physik.uni-muenchen.de> (30.09.2002) [s. Internetquellen]
- **Abb. 2 Voltasche Säule**
aus: <http://home.t-online.de> (30.09.2002) [s. Internetquellen]
- **Abb. 3 Die ersten Glühlampen**
aus: <http://www.heinrich-goebel-realschule.de> (06.11.2002) [s. Internetquellen]
- **Abb. 4 Elektrische Leiter und Nichtleiter**
d. Verf. In Anlehnung an: Bredthauer, Wilhelm/ Klar, Gunter u.a.: Impulse Physik 1 für die Mittelstufe der Gymnasien. Stuttgart: Ernst Klett Schulbuchverlag 1993. S.69.
- **Abb. 5 Schaltsymbole und Schaltskizze eines einfachen elektrischen Stromkreises**
d. Verf. In Anlehnung an: Bredthauer, Wilhelm/ Klar, Gunter u.a.: Impulse Physik 1 für die Mittelstufe der Gymnasien. Stuttgart: Ernst Klett Schulbuchverlag 1993. S.69.
- **Abb. 6 Wechselstromgenerator**
d. Verf. In Anlehnung an: Steve Parker: Technik im Alltag. So funktionieren die 222 wichtigsten Geräte, Dinge und Vorgänge. München: ars edition 1992. S.145.
- **Abb. 7 Gleichstromgenerator**
d. Verf. In Anlehnung an: Steve Parker: Technik im Alltag. So funktionieren die 222 wichtigsten Geräte, Dinge und Vorgänge. München: ars edition 1992. S.145.
- **Abb. 8 Drehstromgenerator**
d. Verf. In Anlehnung an: Gulkin, Sidney/ Notkin, Jerome J. u.a.: Elektrizität. Ein WAS IST WAS Buch. Hamburg: Tessloff 1964. S.20.
- **Abb. 9 Ablenkung einer Magnetnadel durch Strom**
d. Verf. Übernommen aus: Dorn: Dorn Physik. 21. Auflage. Hannover: Hermann Schroedel KG 1973. S.238.

- **Abb. 10 Funktionsskizze eines Gongs**

d. Verf. In Anlehnung an: Boysen, Gerd/ Glunde, Hansgeorg u.a.: Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Berlin: Cornelsen 1991. S.274.

Tabellen:

- **Tab.1 Zusammenhang zwischen Farbe und Temperatur eines Glühdrahts**

Übernommen aus: Boysen, Gerd/ Glunde, Hansgeorg u.a.: Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Berlin: Cornelsen 1991. S.272

11. Anhang: Transkriptionen der Einzelinterviews

Die Transkriptionen der Einzelinterviews sind so gestaltet, dass jede Zeile eines Interviews durchnummeriert wurde, um für den Vergleich mit der Auswertung einen besseren Überblick zu gewährleisten.

Die Beteiligten der Interviews werden jeweils durch einen Buchstaben abgekürzt. Dabei wird die Interviewerin stets durch den Buchstaben „I“ dargestellt, während das befragte Kind durch den ersten Buchstaben seines Vornamens abgekürzt wird. Dabei werden jedoch in jeder Kopfzeile der Name und das Alter des Kindes aufgeführt, um dem Leser die Möglichkeit zu bieten, zu jedem Zeitpunkt das Alter und gegebenenfalls das Geschlecht zu überprüfen. Das Alter wird so aufgeführt, dass die Zahl vor dem Komma, das Alter in Jahren angibt, während die Zahl nach dem Komma die zusätzlichen Monate aufweist (z.B. 10,6= 10 Jahre, 6 Monate).

Des Weiteren wurde der Versuch unternommen, die Aussagen der Interviewpartner möglichst genau zeitlich aufeinander abzustimmen, d.h. dass zum Beispiel ein Kopfnicken genau an der Stelle einer Aussage aufgelistet wird, an der es stattfand.

Kleine Pausen inmitten eines Satzes und Aussagen, die durch einen Einwurf des Gesprächspartners nicht vervollständigt wurden, danach aber eventuell weitergeführt wurden, werden in der Transkription durch drei aufeinander folgende Punkte (...) gekennzeichnet.

Längere Pausen, wichtige Gestiken und Ausführungen, die nicht direkt benannt wurden, die sich aber inhaltlich durch die Interviewsituation ergeben oder durch Gestiken, die direkt Teile des Aufbaus eines elektrischen Stromkreises betreffen, ableiten lassen, werden zum besseren Verständnis in eckigen Klammern und zudem in kursiver Schriftart aufgeführt.

Zwei Aussagen eines Einzelinterviews (vgl. Christina, Z.78 u. Z.90), die aufgrund ihrer schlechten akustischen Qualität nicht in der Transkription mit aufgeführt werden konnten, sind durch eckige Klammern mit drei aufeinander folgenden Punkten gekennzeichnet ([...]).

11.1. David (10,2) (Pretest)

- 1 I: Ja und zwar hab ich ´n paar Materialien mitgebracht, wie du ja schon gesehen
2 hast...´ne Batterie, die kannst du auch gerne mal anfassen oder dir
3 angucken...
- 4 D: *[nimmt Batterie in die Hand, betrachtet sie]*
- 5 I: ...und dann hab ich ´n Glühbirnchen mitgebracht...
- 6 D: *[nimmt sie in*
7 *die Hand; betrachtet sie]*
- 8 I: ...das hab ich in so ´ne Fassung eingedreht, kannst du auch mal gerne
9 ausschrauben und dir angucken, wenn du möchtest...
- 10 D: *[schraubt Lampe aus der*
11 *Fassung; versucht sie in die falsche Richtung wieder einzudrehen]*
- 12 I: Andere Richtung...
- 13 D: *[schraubt Lampe wieder in Fassung]*
- 14 I: Ja. Und dann hab ich
15 noch mehrere Drähte mitgebracht, an ´n paar von denen hab ich so
16 Krokodilklemmen...
- 17 D: *[Kopfnicken]*
- 18 I: ...nennt man die gemacht und die hab ich nur da
19 drangemacht, damit man hier festklemmen kann *[befestigt Klemme an der*
20 *Batterie]*, das ist dann einfacher...für mich, sonst brauch man so viele Hände,
21 um das alles zu koordinieren. *[stellt alle Materialien in die Mitte]* Und zwar ist
22 meine erste Frage an dich, wenn ich hier die Batterie hab *[zeigt drauf]* und hier
23 das Glühlämpchen *[zeigt drauf]* und ich verbinde jetzt die beiden diese Kabel
24 *[zeigt drauf]*, meinst du das Glühbirnchen wird leuchten?
- 25 D: *[Kopfnicken]*
- 26 I: Ja? Möchtest du´s mal ausprobieren *[schiebt Materialien in seine Richtung]*?
27 Du musst es *[Kabel]* an eine von den beiden Schrauben *[auf der Fassung]*
28 halten.
- 29 D: *[probiert Anschluss, Lampe leuchtet nicht]*
- 30 I: Und leuchtet´s?
- 31 D: Mm (nein).
- 32 I: Warum könnte das denn nicht leuchten *[Schulterzucken]*? *[lange Pause, D*
33 *weiß keine Antwort]* Meinst du denn, da ist was drin in der Batterie oder in den
34 Drähten?
- 35 D: Da is nichts drin.
- 36 I: Da is nichts drin? Okay. Und ähm, wenn ich das jetzt mit zwei *[Kabeln]* mache
37 *[befestigt 2. Kabel an Batterie]*, möchtest du´s dann mal ausprobieren?
38 Geht das? Ich halte es mal hier dran *[hilft, das 2. Kabel an die 2. Schraube zu*
39 *halten]*.
- 40 D: *[lacht als er sieht, dass Lampe leuchtet]*
- 41 I: So und jetzt leuchtet das Glühbirnchen, ne?...
- 42 D: *[Kopfnicken]*
- 43 I: ...Woran könnte das denn liegen?
- 44 Warum hat das denn mit einem Kabel nicht geleuchtet, aber mit zwei?
- 45 D: *[längere Pause; fasst sich an den Mund]*

- 46 I: Also vorhin hatte ich ja nur ein Kabel, ne und das hat ja nicht geleuchtet
 47 *[entfernt ein Kabel aus dem Stromkreis]* ...und jetzt nehm ich aber noch ´n
 48 zweites Kabel dazu *[führt richtigen Anschluss vor]* und da fängt das
 49 Glühbirnchen an zu leuchten. Is ja komisch, oder?
 50 D: Weil du hier nur ein Ding drangemacht hast *[ein Kabel an Batterie]*...
 51 I: Ja.
 52 D: ...also nur ein Teil *[zeigt auf Batterie]* ein Kabel an so ´n Teil.
 53 I: Ja, es war ja nur ein Kabel, ne und dann hat´s ja nicht geleuchtet und wenn
 54 ich zwei anschließe, dann leuchtet´s. *[lange Pause; David sagt nichts]* Ja was
 55 meinst du denn, ist denn in der Batterie irgendwas drin *[zeigt drauf]*, was das
 56 Glühbirnchen zum Leuchten bringt oder ist in den Drähten was drin *[zeigt*
 57 *drauf]*, irgendwas was das Glühbirnchen zum Leuchten bringt oder warum hab
 58 ich...
 59 D: Ich mein in der Batterie is was drin...doch *[zeigt auf Batterie]*.
 60 I: Da is doch was drin. Und was ist da drin?
 61 D: ...Weiß nich so genau.
 62 I: Also da is was drin und das, was macht das? Kommt das irgendwie hoch und
 63 fließt durch die Drähte oder...? Kommt es aus den Laschen raus und fließt
 64 durch die Drähte oder wie ist das?...Irgendwas muss ja zu dem Glühbirnchen
 65 hinkommen, dass das leuchtet, oder?
 66 D: Mhm.
 67 I: Und wie kommt das da hin?
 68 D: Der Strom geht dann hier durch *[zeigt auf die Kabel]*.
 69 I: Ah ja. Also der Strom geht hier durch. Also du meinst, dass das hier *[Batterie]*
 70 ist was drin und das kommt da raus *[Laschen]* und dann wird der Strom hier
 70 durch durch beide Kabel geläu geleitet und dann fängt das *[Lampe]* an zu
 71 leuchten *[führt Anschluss vor]*?
 72 D: *[nickt]*
 73 I: Wie stellst du dir denn Strom vor? Was ist denn Strom? Wie könnte der denn
 74 aussehen?
 75 D: *[lange Pause; spielt mit Händen; überlegt]* So Blitze.
 76 I: Wie ´n Blitz? Also auch ganz hell oder ganz schnell oder...oder genau wie ´n
 77 Blitz...
 78 D: Net so...schnell, sieht man aber nich so richtig.
 79 I: Sieht man nicht so richtig.
 80 D: Nicht so gut.
 81 I: Und du hast ja gesagt, der Strom is in der Batterie, ne...
 82 D: *[Kopfnicken]*
 83 I: ...oder is der nur in
 84 den Drähten?
 85 D: Auch in der Batterie.
 86 I: Auch in der Batterie? Aber in den Drähten auch?
 87 D: *[Kopfnicken]*
 88 I: Und durch durch beide Drähte kommt Strom zum Glühbirnchen...
 89 D: Ja.
 90 I: ...oder wie?
 91 D: Mhm.

- 92 I: Weil weil bei einem *[Kabel]* leuchtet's ja nich, ne?
93 D: Nee, nur bei dem *[zeigt auf ein Kabel]*... und dem *[zeigt auf das andere Kabel]*
94 I: Bei beiden gemeinsam, okay. Und was passiert dann mit dem Strom?
95 D: Es geht dann in des in die Lampe rein und in das kleine Stromding *[meint*
96 *Schraube]* und dann fängt's an zu leuchten
97 I: Ja und was ist dann mit dem Strom? Wird das dann immer mehr, weil du hast
98 ja gesagt, der fließt hier von der Batterie durch die beiden Kabel in die
99 Glühbirne... Sammelt sich der Strom da oder verschwindet der wieder oder
100 fließt der wieder ab oder... wie stellst du dir das vor?
101 D: Es geht rein und dann kommt er wieder dann geht's wieder raus.
102 I: Und wie geht der wieder raus?
103 D: Wenn du die beiden Kabel abmachst.
104 I: Dann geht der Strom wieder raus? Wenn ich die Kabel abmache, dann geht
105 der Strom wieder raus. *[längere Pause]* Wenn ich die beiden Kabel abmache,
106 also du hast ja gesagt, wenn ich so mache *[führt Anschluss vor]*, dann geht
107 der Strom da rein. Und und was macht der da? Der sammelt sich, hast du
108 gesagt und dann fängt das Glühbirnchen an zu leuchten und wenn ich's
109 wegmache *[beide Kabel]*, dann fließt der Strom wieder ab, so hast du's ja
110 gesagt. Und ähm aber wenn ich jetzt das Glühbirnchen jetzt ganz lang sich da
111 leuchten lasse, dann würde sich der Strom, du hast ja gesagt, der sammelt
112 und dann müsste das Glühbirnchen immer heller leuchten oder irgendwann
113 einfach explodieren, weil immer mehr Strom da ist, oder? Ich weiß auch nicht.
114 *[längere Pause]* Weil du hast ja gesagt, er *[Strom]* fließt erst ab, wenn die
115 beiden Kabel wieder weg sind.
116 D: Ja. *[längere Pause]* Dann wird's immer heller?
117 I: Immer heller wird das Lämpchen?
118 D: Nee, doch nicht, irgendwann geht das dann kaputt.
119 I: Irgendwann geht das dann kaputt. Okay. Also du, jetzt fass ich das noch mal,
120 zusammen, hast gesagt, hier ist Strom *[Batterie]* und in den Drähten auch,
121 ne?...
122 D: *[Kopfnicken]*
123 I: ... Und wenn ich das *[Kabel]* verbinde mit der Glühlampe *[führt*
124 *Anschluss vor]*,...
125 D: *[Kopfnicken]*
126 I: ...dann fängt die an zu leuchten...
127 D: *[Kopfnicken]*
128 I: ...Der Strom
129 sammelt sich da, bis die Lampe kaputt ist,...
130 D: *[Kopfnicken]*
131 I: ...aber wenn ich die Kabel
132 vorher wegmache, dann kann der Strom abfließen.
133 D: *[Kopfnicken]*
134 I: Okay, dann vielen Dank.

11.2. Max (10,9) (Pretest)

- 1 I: Ja, ich hab ein paar Materialien mitgebracht...
- 2 M: Ja.
- 3 I: Das is ´ne Batterie *[nimmt sie in die Hand und legt sie auf seine Seite]*, die
- 4 kannst du auch ruhig anfassen oder dir genauer angucken, wenn du willst...
- 5 das is ´ne Glühlampe...
- 6 M: Ja.
- 7 I: ...ne ganz normale, die hab ich in so ´ne Fassung
- 8 eingedreht *[nimmt sie in die Hand, dreht sie aus und wieder in die Fassung]*,
- 9 das kennst du ja bestimmt von zu Hause...
- 10 M: *[Kopfnicken]* Ja.
- 11 I: ...und dann hab ich hier so Kabel
- 12 mitgebracht *[nimmt eins in die Hand]*...
- 13 M: *[Kopfnicken]* Mhm.
- 14 I: ...das sind so Drähte und an
- 15 manche Drähte hab ich so ´ne Klemme gemacht *[zeigt sie ihm]*, die nennt man
- 16 Krokodilklemme...
- 17 M: *[Kopfnicken]* Ja.
- 18 I: ...und das hab ich deswegen gemacht, damit ich
- 19 das hier besser festklemmen kann *[befestigt Kabel an Batterie]*.
- 20 M: Mhm.
- 21 I: Und meine erste Frage an dich ist,...
- 22 M: Ja.
- 23 I: ...ob wenn ich jetzt hier die Batterie
- 24 hab *[zeigt drauf]* und hier die Glühlampe *[zeigt drauf]* und das beides durch
- 25 das Kabel verbinde *[zeigt drauf]*, ob die Glühlampe leuchtet?
- 26 M: *[längere Pause]* Mhm. *[Kopfschütteln]* Nein.
- 27 I: Und warum nicht?
- 28 M: Weil es muss ja einen Minus- und einen Pluspunkt geben *[fasst sich ans*
- 29 *Kinn]*, wo dann die äh die Glühlampe leuchten kann.
- 30 I: Mhm. Also was meinst du, wie sie leuchten wird? *[kurze Pause]* Also du
- 31 kannst ja erstmal ausprobieren *[schiebt Materialien in seine Richtung]*.
- 32 M: Ja.
- 33 I: Also du meinst ja, mit einem Kabel leuchtet es nicht, ne?
- 34 M: *[probiert; weiß erst nicht, wo das Kabel an der Fassung befestigt werden soll]*
- 35 Ja.
- 36 I: Du musst das *[zeigt aufs Kabel]*...
- 37 M: *[hält Kabel an Schraube]*
- 38 I: ...genau, an so ´ne
- 39 Schraube halten. *[Lampe leuchtet nicht]* Ja, du hattest Recht...
- 40 M: Ja.
- 41 I: ...es leuchtet
- 42 nicht.
- 43 M: Ja.
- 44 I: Und du hast gesagt, dafür muss ein Plus- und ein Minuspol da sein...
- 45 M: Ja. Mhm.

- 46 I: ...und wie bekomme ich den? Wie mache ich es denn dann?
- 47 M: Ja noch ´n Draht.
- 48 I: Möchtest du´s mal ausprobieren?
- 49 M: Also noch ´n Draht *[greift zu den Drähten]*.
- 50 I: Ja.
- 51 M: So *[versucht, Kabel an Batterie zu befestigen]*. Klemmt *[hat Kabel befestigt]*.
- 52 I: Ja so dranklemmen.
- 53 M: ...und dann an beide hält *[meint Schrauben auf der Fassung, I hilft]*. Einmal
- 54 an die und einmal an die andere *[Schraube; Lampe leuchtet]*.
- 55 I: Ja du hattest Recht...
- 56 M: Ja.
- 57 I: ...so leuchtet´s. Und wie kommst du da drauf?
- 58 M: *[kurze Pause]* Weil bei anderen Sachen, wo man ´ne Taschenlampe braucht,
- 59 ist macht man ja eine so andersrum also eine mit dem Stoppen dran nach
- 60 nach oben zeigt...
- 61 I: Mhm.
- 62 M: ...und die andere nach manchmal nach unten und das sind
- 63 Minus- und Pluspol dran ist an beiden Seiten.
- 64 I: Ah ja mhm, ich weiß was du meinst, diese Batterien *[macht längliche*
- 65 *Handbewegung, um damit übliche 1,5 Volt Batterien zu demonstrieren]* , diese
- 66 Batterien, ne?
- 67 M: Ja.
- 68 I: Ja okay. Und wie stellst du dir das vor, also mit dem...mit dem Strom? Wo ist
- 69 der oder kommt da irgendwas...wo ist der und wie wie bringt der das
- 70 Glühbirnchen zum Leuchten? *[längere Pause]* Was meinst du denn, wo sich
- 71 der Strom befindet?
- 72 M: Bei Minus- und Pluspol, weil beide zusammen ´ne Stromenergie geben.
- 73 I: Aha. Also du meinst...
- 74 M: Ja.
- 75 I: ...also wo is denn der Strom erstmal ganz allgemein, ist
- 76 der in der Batterie oder ist der schon in den Drähten oder...
- 77 M: Nee, der geht erst hier äh, erstmal isser in Batterie und dann geht es hier ins
- 78 Kabel, wo man an der Glühbirne das hinmacht dann geht äh, is ja der dieser
- 79 ähm Strom is ja dann da drinnen.
- 80 I: In der Glühbirne?
- 81 M: Jo.
- 82 I: Mhm. Und wie stellst du dir das vor? Fließt der Strom durch diese Laschen
- 83 durch beide Kabel *[Veranschaulichung am Aufbau]* oder...
- 84 M: Ja.
- 85 I: Also der fließt durch beide Kabel...
- 86 M: Ja.
- 87 I: ...zum Glühbirnchen hin?
- 88 M: Ja.
- 89 I: Und was passiert dann mit dem Strom, wenn der jetzt hier ist *[meint Lampe;*
- 90 *führt richtigen Anschluss vor]*?
- 91 M: Dann ähm bringt der das zum Leuchten. Also also das äh, das *[Pause]* , jetzt
- 92 hab ich´s wieder vergessen *[fasst sich an die Stirn]*. Das da is äh so ´n

93 Plättchen oder so ´n äh Draht drinne und wenn die Glüh Glühbirne kaputt ist,
 94 dann geht das nicht, weil da ist so ´n ganz feines Draht drin und das das zum
 95 Leuchten bringt.
 96 I: Ja, du hast Recht.
 97 M: Ja.
 98 I: Da is ´n ganz kleiner Draht drin [*hält ihm Lampe entgegen*]...
 99 M: Ja genau.
 100 I: ...der
 101 leuchtet wenn...
 102 M: Ja.
 103 I: ...da Strom hinkommt...Und wie stellst du dir das vor? Ähm,
 104 sammelt sich der Strom da vielleicht oder ähm ich meine der fließt ja immer
 105 nach, oder [*zeigt auf Lampe*]?
 106 M: Ja.
 107 I: Und der sammelt sich im Glühlämpchen? Aber...
 108 M: Mhm. Dann gibt das so ´ne ganz
 109 große Energie gibt das denn.
 110 I: Mhm. Genau! Wenn du sagst, es gibt ´ne ganz große Energie, dann ähm,
 111 und der Strom der sammelt sich da, meinst du nicht, dass es dann irgendwann
 112 heller leuchten müsste oder sogar explodieren,...
 113 M: Nee.
 114 I: ...weil ´s vielleicht zu heiß
 115 wird?
 116 M: Mm. [*Kopfschütteln*] Weil ´s wird die Batterie geht ja auch alle irgendwann...die
 117 Batterie wird heiß und es könnte sein, dass es explodiert die...
 118 I: Lampe?
 119 M: Mhm.
 120 I: Ah ja. Also du meinst, dass der Strom sich hier befindet [*zeigt auf Batterie*]
 121 und...
 122 M: Ja.
 123 I: ...und durch beide Kabel da reinfließt [*Glühbirne*]...
 124 M: Ja.
 125 I: ...und der
 126 sammelt sich solange bis die Batterie leer ist?
 127 M: Ja genau.
 128 I: Ah ja okay. Und was stellst du dir unter Strom überhaupt vor?...Hast du da ´ne
 129 Vorstellung? Wie sieht der aus? Was macht der?
 130 M: Der ist unsichtbar.
 131 I: Ah ja. Der Strom ist unsichtbar. Okay das war ´s schon. Vielen Dank.

11.3. Julian (9,11)

- 1 I: Hier liegen ein paar Materialien auf dem Tisch, die kannst du ruhig auch
2 anfassen. Das sind, ähm, Batterien...
- 3 J: ...Ja *[fasst Batterien an]*
- 4 I: ...ganz normale, und das sind Glühbirnchen,
5 die hab ich in so ´ne Fassung gedreht *[dreht Lampe aus der Fassung, zeigt*
6 *sie ihm und dreht sie wieder rein]*...
- 7 J: Ja.
- 8 I: ...und das sind ganz normale Kabel *[nimmt eins in die Hand]*...
- 9 J: Ja.
- 10 I: ... und diese Klemmen habe ich dazu benutzt, damit das einfacher, dass
11 damit ich das da dranklemmen kann *[meint die Batterie; macht Anschluss*
12 *vor]*. Also die haben keine besondere Funktion sonst *[rückt Materialien*
13 *zurecht]*. Ja und zwar ist meine erste Frage, ich mach das erstmal zur Seite
14 *[meint die Materialien, die im Moment nicht benötigt werden; klemmt*
15 *Krokodilklemme an Batterie]*, ob das Birnchen leuchten wird, wenn ich ähm,
16 das Kabel damit verbinde mit dem Birnchen.
- 17 J: Ja, ich glaube schon.
- 18 I: Möchtest du´s mal ausprobieren?
- 19 J: Ja *[nimmt Kabel in die Hand]*.
- 20 I: Du musst es *[Kabel]* dann an so ´ne Schraube halten *[weist auf die Schrauben*
21 *auf der Fassung hin]*.
- 22 J: *[nimmt das Kabel in die Hand; Batterie fällt um]* Uuups! *[hält Kabel an*
23 *Anschluss; sieht, dass Lampe nicht leuchtet]*
- 24 I: Nö, es leuchtet nich...
- 25 J: Ah.
- 26 I: Warum leuchtet es denn nicht, ähm *[Schulterzucken]*?
- 27 J: Weil wahrscheinlich, weil die Klammer keinen Strom leitet.
- 28 I: Doch die leitet Strom *[fasst Klammer an]*...
- 29 J: Ja?
- 30 I: Die ist auch aus Metall.
- 31 J: Ach weil ähm die Schrauben *[auf der Fassung]* nicht direkt hiermit verbunden
32 sind *[meint die Glühlampe]*.
- 33 I: Doch also sind sie. Du könntest das *[Kabel]* auch jetzt direkt ans Glühbirnchen
34 halten *[dreht Lampe aus der Fassung]*, wenn du möchtest *[hält ihm die*
35 *Glühbirne hin]*.
- 36 J: *[probiert Anschluss mit Kabel; sieht, dass Lampe auch so nicht leuchtet,*
37 *beginnt zu murmeln]*
- 38 I: Guck, das leuchtet auch nicht. Ich hab das *[Lampe]* einfach hier *[Fassung]*
39 reingedreht, damit es einfacher is *[meint Handhabung; dreht Lampe wieder in*
40 *Fassung]*
- 41 Ja wie stellst du dir denn das vor, wenn ich das jetzt hier dranhalte *[Kabel an*
42 *Schraube]*, was passiert denn? Kommt da irgendwie was raus aus, ähm, der
43 Lasche?
- 44 J: Vielleicht weil da auf Minus-Strom gestellt ist *[Kabel ist an Minus-Pol*
45 *angeschlossen; vermutet Nicht- Leuchten liegt an falscher Polung]*.

- 46 I: Möchtest du's mal auf Plus-Strom umstellen?
- 47 J: *[polt um; probiert]* Nee...*[erstaunt über Nicht- Leuchten; fasst sich unsicher an*
48 *den Mund]*
- 49 I: Das leuchtet auch nicht. So wenn ich jetzt zwei Kabel nehme,
50 möchtest du es mal dann ausprobieren *[befestigt 2. Kabel an der Batterie]?*
- 51 J: *[probiert aus; Lampe leuchtet]* Aha! Weil zuwenig Strom käme...durch eins
52 *[Kabel].*
- 53 I: Aha, also du meinst, es kommt irgendwie aus einem, ähm, der Strom läuft
54 durch beide Kabel ins Glühbirnchen *[unterstützende Handbewegung am*
55 *Aufbau]?*
- 56 J: Ja, das einer halt nich so viel Strom leiten kann, damit das Lämpchen
57 anspringt.
- 58 I: Aha und wie ist es, leiten beide Kabel gleich viel Strom oder...
- 59 J: Mhm...
- 60 I: ...oder eins
61 mehr?
- 62 J: Ich glaube eher, das grüne *[Kabel]* bringt ein bisschen mehr, weil durch
63 dieses,durch das grüne *[meint nun eigentlich das rote]* ist ein bisschen
64 weniger Strom kann da durchfließen...und immer viel schneller *[spricht nun*
65 *wieder vom grünen]* als durch das rote, weil bei dem rot das ist auch so lang.
- 66 I: Du meinst, weil das das Kabel länger is *[das rote Kabel ist etwas länger als*
67 *das grüne]?*
- 68 J: Ja. Das das...*[Strom]* viel zu lange...brauchen würde.
- 69 I: Aha, wir können`s ja auch mal mit gleich langen Kabel ausprobieren *[entfernt*
70 *ein Kabel; nimmt ein anderes, hält es an das Kabel, das sich noch im*
71 *Stromkreis befindet]*. Die sind ungefähr gleichlang, ne *[klemmt Kabel an*
72 *Batterie]?*
- 73 J: Ja.
- 74 I: Jetzt kannst du's noch mal ausprobieren, ob's trotzdem leuchtet.
- 75 J: *[probiert Anschluss mit dem neuen Kabel aus, nimmt allerdings nur ein Kabel]*
- 76 I: Ja, aber *[verunsichert]* du musst es mit beiden Kabeln ausprobieren *[hält ihm*
77 *das 2. Kabel des Stromkreises hin]*.
- 78 J: *[probiert aus; Lampe leuchtet]* Ja.
- 79 I: Ja, es leuchtet auch.
- 80 J: Ja, also daran liegen kann's nicht.
- 81 I: Also du meinst, dass aus beiden Laschen Strom da reinfließt *[ins Kabel]* oder
82 ist der Strom schon in den Kabeln drin oder ist der Strom in der Batterie?
- 83 J: Nur in der Batterie und wird dann erst übergeleitet, sonst könntes ja auch
84 schon so klappen, wenn man das abmachen würde *[Kabel von der Batterie]*
85 und dann hier dranhaltan würde *[nur Kabel an Lampe halten]*.
- 86 I: Mhm. Okay. Und ähm *[längere Pause; macht richtigen Anschluss vor]*. Also
87 so leuchtet es ja. Und kommt denn aus beiden Laschen das gleiche raus? Der
88 gleiche Strom?
- 89 J: Das is ´ne gute Frage von mir aus glaube ich schon.
- 90 I: Ja und was stellst du dir überhaupt unter Strom vor?
- 91 J: Strom ist eigentlich sehr gefährlich, weil wenn man zuviel Strom abkriegt,
92 dann kann man entweder verbrennen oder ´n Schock kriegen.

93 I: Mhm.
94 J: Und...*[fasst sich nachdenklich ans Kinn]*
95 I: Und wie sieht Strom aus? Wie stellst du dir das denn vor?
96 J: Mhm...Ganz viel Energie halt, so ganz schnell...blitzartig!
97 I: Ja? Ganz schnell läuft der durch *[meint Stromkreis]*.
98 J: Ja.
99 I: Okay. Mhm...Ja und was passiert denn mit dem Strom, wenn ich das jetzt hier
100 *[führt erneut richtigen Anschluss vor]*, wenn das leuchtet?
101 Der fließt ja jetzt hier, hast du gesagt, der fließt durch die beiden Kabel fließt
102 der Strom zur Glühbirne.
103 J: Ja.
104 I: Und was passiert dann?...Bleibt der *[Strom]* stecken *[in der Lampe]*, wird der
105 immer mehr immer mehr oder...?
106 J: Nein, da sind solche Energiekabel *[in der Lampe]* und nur mit diesem Strom
107 kann das dann erleuchtet werden. Also das, weil der Strom ganz ähm hell is.
108 Zum Beispiel wenn ein Blitz vor dir einschlagen würde, wäre es auch ganz
109 hell, weil er halt so schnell ist und soviel Energie hat.
110 I: Mhm. Also der Strom is wie'n Blitz und weil der so schnell ist, fängt das
111 Glühbirnchen an zu leuchten?
112 J: Ja und weil halt diese anderen Sachen noch da drin sind *[zeigt auf Lampe]*...
113 Hätten die sich da irgendwie verheddert oder so, würde die Glühbirne gar
114 nicht leuchten, selbst wenn man 5 Kabel dranhäl...halten würde.
115 I: Was hätte sich verheddert? Das hab ich nicht verstanden.
116 J: Ja, diese Kabel...Käbelchen da oben drin, in dieser Glühbirne.
117 I: Ah ja und ja da fließt ja jetzt der Strom rein *[in die Lampe]*, hast du gesagt...
118 J: Ja.
119 I: ...ganz schnell...
120 J: *[fällt ins Wort, weil er Einfall hat]* Und dann dazwischen wird dann so so 'ne
121 Leuchtkugel...sozusagen *[meint Wolframdraht in Lampe]*.
122 I: Ja? Und was passiert dann mit dem Strom? Fließt...fließt der weiter?
123 J: Nein, der bleibt dann da oben und dann, wenn man zum Beispiel aufhören
124 würde, Strom dranzuhalten, dann würde es dann nicht mehr funktionieren.
125 I: Dann leuchtet's nicht mehr, genau, weil ich keinen Strom mehr dranhalte.
126 J: Ja!
127 I: Aber wenn sich der Strom da oben *[in der Lampe]* sammelt, dann wird's ja
128 immer mehr immer mehr...Leuchtet das Glühbirnchen dann irgendwann
129 stärker oder fließt der Strom...*[erneutes Vorführen des Anschlusses]*, du hast
130 ja gesagt...
131 J: Nein, der fließt dann irgendwie ab, das weiß ich selber nicht ganz so
132 genau. Aber der muss ja dann irgendwie... kleiner... werden oder so...aber
133 weil da ja immer wieder mehr Strom nachkommt, kann der ja irgendwie gar
134 nicht ausgehen.
135 I: Ja...
136 J: Der Strom ist blitzartig mit einmal da und dann isser hört er auf
137 einmal auf wieder, wenn man da keinen Strom mehr nachgeben würde...wie
138 bei Blitzen. Die sind einmal kurz da und dann verschwinden sie wieder, weil
139 kein Druck mehr nachkommt.

- 140 I: Ah ja. Also der Strom geht einfach weg?
141 J: Ja...Ich weiß selber noch nicht wie.
142 I: Okay also super. Das war sehr nett von dir, dass du mir geholfen hast.

11.4. Adrian (9,9)

- 1 I: Ja und zwar hab ich ´n paar Materialien mitgebracht wie du bestimmt schon
2 gesehen hast...
- 3 A: Mhm.
- 4 I: ...und zwar ´ne Batterie, die kannst du auch ruhig anfassen,
5 wenn du möchtest...
- 6 A: Mhm. Ja.
- 7 I: ...und dann hab ich ´ne Glühbirne mitgebracht, die hab ich
8 in ´ne Fassung eingedreht [*dreht Glühbirne aus und wieder in die Fassung*] ...
- 9 A: Ja.
- 10 I: ...und dann hab ich mehrere solche Kabel mitgebracht, so Drähte und manche
11 Kabel hab ich hier an so ´ne, die nennt man Krokodilklemme...
- 12 A: Ja.
- 13 I: ...drangemacht,
14 das hab ich aber nur deswegen gemacht, darf ich bitte mal kurz? [*A gibt I die
15 Batterie zurück, die er in den Händen hält*] , damit man das hier besser
16 dranklemmen kann [*befestigt Klammer an Batterie*].
17 Und meine erste Frage an dich is, wenn ich jetzt hier die Batterie und hab und
18 hier die Glühbirne und die beiden Sachen mi durch das Kabel verbinde, ob die
19 Glühbirne dann leuchten wird.
- 20 A: Jo [*unsicher*] denk ich schon.
- 21 I: Möchtest du´s mal ausprobieren [*schiebt Materialien in seine Richtung*]? Du
22 musst es [*Kabel*] an eine von den Schrauben halten.
- 23 A: [*probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht*]
- 24 I: Und leuchtet´s?
- 25 A: Mm (nein) [*Kopfschütteln*].
- 26 I: Nee.
- 27 A: Brau man braucht zwei Kabel.
- 28 I: Möchtest du das mal ausprobieren?
- 29 A: [*probiert Anschluss mit 2 Kabeln; Lampe leuchtet*] Jetzt leuchtet se.
- 30 I: Ja super. Und warum meinst du denn ähm, leuchtet es mit einem Kabel nich?
- 31 A: Weil da da sind ja so 2 Dinger dran [*meint Laschen*] und ähm und diese ganze
32 Voltzahl kann ja nicht auf ein Ding abgespannt sein, deswegen geht das nich.
- 33 I: Mhm also du meinst, dass die Voltzahl zwei Kabel braucht?
- 34 A: Ja [*Kopfnicken*].
- 35 I: Und dann? Also wie stellst du dir das denn vor? Ist denn irgendwas in der
36 Batterie oder ist da irgendwas in den Drähten, was das Glühbirnchen zum
37 Leuchten bringt?
- 38 A: Nee, hier ist ja hierbei sind hier ja bei die 4,5 Volt drauf ...
- 39 I: Ja.
- 40 A: ...und die Lampe braucht ja
41 ´ne bestimmte Voltzahl deswegen braucht man zwei Kabel.
- 42 I: Mhm. Also du meinst, dass die Voltzahl durch beide [*Kabel*]...fließen muss?
- 43 A: Ja fließen muss.
- 44 I: Durch beide Kabel flie fließen muss. Und ähm ist es denn dann auf beide
45 Kabel gleichmäßig verteilt, also fließt durch beide Kabel gleich viel Volt?

46 Oder...

47 A : Ja ich denke schon.

48 I : Ja okay. Und ähm...und wo wo befindet sich das Volt? Das befindet sich...

49 A : Hier

50 drinne in der Batterie hier in der Batterie. Hab ich schon mal auseinander

51 genommen so ´ne 9 Volt Batterie *[lacht]*.

52 I : Ja? Und ähm also es verbindet sich in der Batterie und wenn ich hier die

53 beiden Kabel anschließe dann dann fließt das aus der Batterie oder wie?

54 A : Ja dann fließt das aus der Batterie und die Lampe braucht dann Strom und

55 dann leuchtet se. Genauso ist es mit den *[zeigt auf die Deckenlampe]* ...

56 Lampen.

57 I : *[guckt an die Decke]* Ah ja. Also die Batterie braucht äh die Lampe braucht

58 Strom...

59 A : Ja.

59 I : ...zum Leuchten. Und ähm der Strom, der fließt dann, wie wie fließt

60 der denn dann zu dem Lam Lämpchen , also du hast ja gesagt, der fließt hier

61 lang zum Lämpchen und dann leuchtet´s, ne...

62 A : Ja.

63 I : ...und dann sammelt sich der Strom

64 da oder...

65 A : Der geht hier in die Fassung rein un und dann gehen hier glaub ich

66 solche Kabel unten lang, die sieht man jetzt nur nich und deswegen leuchtet

67 das *[guckt unter die Fassung]*.

68 I : Mhm. Und ähm wird das dann immer mehr Strom und bringt das das

69 *[Lämpchen zum Leuchten]*...

70 A : Nee, da das den Strom von der Batterie nimmt die

71 Lampe auf und dann verschwindet der also und geht in das Licht und

72 deswegen leuchtet´s leuchtet die Lampe.

73 I : Ah ja mhm und ähm ...was stellst du dir denn unter Strom vor oder unter Volt,

74 wie du gesagt hast. Wie sieht das aus?

75 A : Das kann man nicht sehen und das kann man auch nicht fühlen, doch, wenn

76 man in die Steckdose packt *[lachend]*!

77 I : *[lacht]* Das is aber ganz schön gefährlich oder?

78 A : Ja.

79 I : Also jetzt erklär mir das noch mal ganz genau. Also du meinst in der Batterie...

80 A : ...ist der Strom.

81 I : Is Strom und wenn ich ich die beiden Kabel anschließe...

82 A : Dann leuchtet die

83 Lampe.

84 I : Ja dann fließt der Strom...

85 A : In die Lampe rein.

86 I : Durch durch beide Kabel?

87 A : Ja.

88 I : Und dann in der Lampe, was passiert mit dem Strom?

89 A : Verschwindet er.

90 I : Der verschwindet, weil du gesagt hast, dass die Lampe leuchtet und

91 deswegen verschwindet der...

11.5. Christina (10,9)

- 1 C: *[sieht die Materialien auf dem Tisch]* So was hatten wir auch schon mal.
 2 I: Ja?
 3 C: *[Kopfnicken]*
 4 I: Hast du dich damit schon mal beschäftigt?
 5 C: Ja.
 6 I: Mhm.
 7 C: Hab ich auch schon mal zusammengebaut.
 8 I: Aha. Also hier hab ich ´ne Batterie mitgebracht *[zeigt sie und legt sie auf C´s*
 9 *Seite]*, dann hab ich hier ´nen Glühlämpchen, das hab ich in so ´ne Fassung
 10 eingedreht, das kennst du ja bestimmt von zu Hause, ne *[nimmt Lampe, dreht*
 11 *sie aus und wieder in die Fassung]*, dass man Lampen in so Fassungen
 12 eindreht...
 13 C: *[Kopfnicken]*
 14 I: ...und dann hab ich hier so Kabel *[nimmt eins in die Hand]*
 15 mitgebracht, und ´n paar von denen hab ich an so ´ner Krokodilklemme, nennt
 16 man die, festgemacht, das hab ich aber nur deswegen gemacht, damit ich das
 17 hier dranklemmen kann und nicht die ganze Zeit festhalten muss *[befestigt*
 18 *Klammer an Batterie]*.
 19 C: *[Kopfnicken]*
 20 I: Und meine erste Frage an dich ist, wenn ich hier die Batterie hab *[zeigt drauf]*
 21 und hier die Glühlampe *[zeigt drauf]* und die beiden Sachen durch das Kabel
 22 *[zeigt auf das befestigte Kabel]* hier verbinde, ob die Glühlampe leuchtet.
 23 C: *[Kopfnicken]* Ja.
 24 I: Ja. Möchtest du´s mal ausprobieren *[schiebt Materialien hin]*? Du musst es
 25 *[Kabel]* an eine von den beiden Schrauben halten *[auf Fassung]*.
 26 C: *[probiert; lacht, als es nicht leuchtet]* Nein...nich ganz. Weil das hier muss
 27 noch so ´ne Krokodilklemme hin *[meint 2. Pol der Batterie]* und dann mit dem
 28 anderen da auch noch dran *[meint 2. Kabel an 2. Schraube]*.
 29 I: Möchtest du´s mal ausprobieren?
 30 C: *[Kopfnicken; unsicher, ob sie sich noch ein Kabel nehmen soll]*
 31 I: Ja, nimm dir noch eins.
 32 C: *[nimmt sich ein Kabel; probiert neuen Anschluss; I hilft ihr; Lampe leuchtet]*
 33 I: Ja du hattest Recht, jetzt leuchtet´s. Woran könnte das denn liegen?
 34 C: ...Weil das...ähm, das sind solche Kabel *[meint Wolframdraht]* und wenn wir
 35 das *[Batterie und Kabel mit Lampe]* mit so so so was solchen Teilen
 36 verbinden, dann leuchtet das. Dann geht das an das Plättchen und dann
 37 leuchtet die Lampe, an das Plättchen an das untere *[meint, wenn Kabel mit*
 38 *Kontaktplättchen der Lampe verbunden wird]*.
 39 I: Und warum funktioniert das nur mit 2 Kabeln und nicht mit einem?
 40 C: ...Weil das beide sein müssen. Damit das von beiden Licht hochkommt.
 41 I: Mhm. Also wie stellst du das denn vor? Wo ist denn Strom? Ist der denn in der
 42 Batterie oder ist der Strom schon in den Kabeln?
 43 C: Der is, der is, der is in der Batterie drin.
 44 I: Aha und wenn ich das jetzt anschließe *[führt richtigen Anschluss vor]*, was
 45 passiert dann mit dem Strom?

- 46 C: Dann geht er durch die dann geht er erst durch die Klammern [*rekonstruiert*
47 *alles am Aufbau*], dann geht er hier das Kabel und dann geht's durch die
48 Schrauben und dann geht das durch diese Sachen [*meint das Verborgene in*
49 *der Lampe*] geht das dann an das Plättchen. Das Plättchen leuchtet dann.
50 I: Aha und dann geht der Strom durch beide Kabel?
51 C: [*überlegt*] Ja.
52 I: Ja? Geht durch beide Kabel?
53 C: [*nickt*]
54 I: Okay.
55 C: Und deswegen geht's auch nicht mit nur einem Kabel.
56 I: Ach so, du meinst, dass mit einem Kabel vielleicht zuwenig Strom ist oder gar
57 kein Strom?
58 C: Ja [*etwas unsicher*], weil müssen alle beide verbunden sein.
59 I: Aha okay. Du stellst dir also vor, dass hier Strom is [*zeigt auf Batterie*] und
60 wenn ich das anschließe [*Kabel von Batterie an Fassung*], dann fließt der
61 Strom durch beide Kabel zum Glühbirnchen [*zeigt drauf*], ne? Und dann? Was
62 passiert mit dem Strom, wenn ich das hier anschließe [*führt Anschluss vor*]?
63 C: Dann leuchtet die das Lämpchen.
64 I: Ja und ...ähm, sammelt sich der Strom vielleicht oder verschwindet der oder
65 fließt der vielleicht weiter oder...wie stellst du dir das vor?
66 C: Nee, wenn man das den das Kabel hier wieder abmacht [*meint von der*
67 *Fassung*], dann geht das wieder äh in die Glühbirne äh in die Batterie [*zeigt*
68 *auf Batterie*].
69 I: Mhm. Also wenn ich jetzt wieder so mach [*entfernt Kabel von Fassung*], dann
70 fließt der Strom wieder zurück oder wie?
71 C: Jetzt isser wieder in der Batterie...drin.
72 I: Aha, aber ich hab doch jetzt gar keine Verbindung mehr [*zwischen Lampe und*
73 *Batterie*]. Wenn ich so mache [*führt richtigen Anschluss vor*] und jetzt wieder
74 wegnehme [*entfernt Kabel von Fassung*] dann dann isser jetzt plötzlich wieder
75 in der Batterie?
76 C: Nee, weil das, hab ich mich jetzt vertan, weil dieser das ähm der Strom ist
77 noch da drinnen [*meint in den Drähten*] und wenn man den jetzt da und hier
78 an die andere Seite noch dranmacht, dann kommt der wieder raus. [...]
79 I: Also du meinst der Strom befindet sich der Strom, der in den Kabeln ist, der
80 fließt wieder zurück oder wie?
81 C: Nee, der fließt dann...dann...der is noch in den Dingern [*Kabeln*] drinnen [*zeigt*
82 *auf die Kabel*]
83 I: Und fließt dann, wenn ich's nich mehr angeschlossen hab wieder zurück in die
84 Batterie?
85 C: Jo.
86 I: Mhm...Und was ist mit dem Strom, aber wenn ich jetzt hier die ganze Zeit
87 angeschlossen hab, ne [*führt Anschluss vor*], was passiert denn dann mit dem
88 Strom?
89 C: Dann dann fließt er immer weiter hier [*Kabel*] durch und dann, wenn die
90 Batterie leer ist, dann kann es nicht mehr leuchten. [...]
91 I: Aha, also meinst du praktisch, dass der Strom verbraucht wird?
92 C: Ja.

- 93 I: Aha. Und meine letzte Frage an dich ist ähm, was stellst du dir denn unter
94 Strom vor?...
- 95 C: *[überlegt]*
- 96 I: Wie sieht der denn aus oder was macht der?
- 97 C: Eigentlich auch so wie ´n Blitz ungefähr.
- 98 I: Mhm. Wie ´n Blitz. Wie meinst du das?
- 99 C: Also...der is auch schnell...und...und so gelb...ja und er ist halt wie Feuer, weil
100 wenn der jetzt in ´n Baum einschlägt dann...ist das...dann brennt der Baum.
- 101 I: Mhm. Also der Strom der ist wie wie ´n Blitz...praktisch?
- 102 C: Ja.
- 103 I: Okay. Dann vielen Dank für deine Hilfe.

11.6. Nina (9,11)

- 1 I: Ja und zwar hab ich ´n paar Materialien mitgebracht, die kannst du auch gerne
2 mal anfassen oder dir angucken. Das is´ne Batterie *[legt sie auf N´s Tisch]*.
3 Das is ´n Glühbirnchen, möchtest du´s mal anfassen?...
- 4 N: *[nimmt es in die Hand]*
5 I: ...das hab ich in so ´ne Fassung reingeschraubt , aber das kann man auch
6 rausschrauben und dann hab ich ähm mehrere Drähte mitgebracht und und´n
7 paar von den Drähten hab ich mit so´ner Krokodilklemme ähm befestigt, das
8 hab ich aber nur gemacht, damit ich das hier besser befestigen kann,...
- 9 N: *[Kopfnicken]*
10 I: *[befestigt Kabel an Batterie]*...sonst haben die eigentlich gar keine Funktion.
11 So und jetzt hab ich die Frage an dich, wenn wir jetzt hier die Batterie *[zeigt*
12 *drauf]* haben und hier die Glühlampe *[zeigt drauf]* und ähm die Batterie und die
13 Glühlampe mit dem Draht verbinden *[zeigt drauf]*, meinst du, dass die
14 Glühlampe dann leuchten wird?
- 15 N: *[Kopfnicken]*
16 I: Möchtest du´s mal ausprobieren?
- 17 N: Ja.
18 I: Du musst es *[Kabel]* hier an eine der Schrauben *[auf der Fassung]* dranhaltten,
19 wenn du´s machst.
- 20 N: Ach so *[hält Kabel an Plastik]*.
21 I: Nee, an an so ´ne Schraube.
- 22 N: *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht]*
23 I: Und leuchtet´s?
24 N: Nee.
25 I: Warum leuchtet das denn wohl nich?
- 26 N: Weil´s der falsche Draht is.
27 I: Nö, du kannst es gerne mal mit ´nem anderen Draht ausprobieren, wenn du
28 möchtest. Sind alles die gleichen Drähte.
- 29 N: *[entfernt Draht; guckt zu den anderen Drähten]*
30 I: Nimm dir irgendeinen.
31 N: *[probiert neuen Draht aus]*
32 I: Und leuchtet´s?
33 N: *[Kopfschütteln]*
34 I: Nee. Und wie stellst du dir das denn vor? Ist denn jetzt irgendwie was im
35 Draht oder in der Batterie, fließt da irgendwas oder?...
- 36 N: Hier fließt Strom durch *[zeigt auf die Kabel]*.
37 I: Mhm und wo is der Strom?
38 N: Hier drin *[zeigt auf Batterie]*.
39 I: Der is in der Batterie und der fließt durchs Kabel äh durch den Draht. Aber das
40 leuchtet ja nich.
- 41 N: *[Schulterzucken]*
42 I: Jetzt machen wir das mal anders, jetzt machen wir das mal mit zwei Drähten
43 *[klemmt 2. Kabel an Batterie]*. Möchtest du´s jetzt mal ausprobieren?
- 44 N: Mhm.
45 I: Willst du´s *[das Kabel]* mal an die eine Schraube halten und ich halt ´s mal da

46 dran. *[Lampe leuchtet]* Und leuchtet's?
 47 N: Mhm.
 48 I: Und warum könnte es denn diesmal leuchten?
 49 N: Ja weil hier nur Energie drin war *[in nur einer Lasche]*.
 50 I: Also nur in dem Kabel is Energie und in dem gar nich?
 51 N: Nee, ich meinte hier drin *[zeigt auf Batterie]*, also hier.
 52 I: In der Lasche?
 53 N: Ja.
 54 I: Und in der is keine Energie *[in der 2. Lasche]*?
 55 N: Nein.
 56 I: Möchtest du's dann nur mal mit einer Lasche ausprobieren *[klemmt das Kabel von der Lasche ab, in der keine Energie vermutet wird]*?
 55 N: Mhm.
 56 I: Probier's jetzt mal aus... ob's leuchtet.
 57 N: *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht]*
 58 I: Und leuchtet's?
 59 N: Mm (nein).
 60 I: Aber wenn ich's ja mit zwei mache *[befestigt 2. Kabel wieder an Batterie]*,
 61 dann leuchtet's ja *[führt Anschluss vor]*.
 62 N: Mhm.
 63 I: Woran könnte das denn liegen, dass es nur mit zwei *[Kabeln]* leuchtet?
 64 N: Weil's stärker is also der Strom *[fragend]*?
 65 I: Meinst du mit einem Kabel kommt zuwenig Strom...
 66 N: Ja.
 67 I: ...zum Lämpchen und
 68 wenn ich beide anschließe dann kommt genügend Strom,...
 69 N: Ja.
 70 I: ...so dass das
 71 Glühlämpchen leuchtet?..
 72 N: *[Kopfnicken]*
 73 I: ...Und wo ist der Strom?
 74 N: Hier drin *[zeigt auf Batterie]*.
 75 I: Der is in der Batterie...
 76 N: Ja.
 77 I: ...Und was is Strom überhaupt? Wie stellst du dir
 78 Strom vor?
 79 N: *[überlegt; setzt sich zurück]* Damit läuft alles.
 80 I: Damit läuft alles...
 81 N: Ja.
 82 I: ...Und wie sieht der aus?
 83 N: *[Stuhlrücken, daher sehr unverständlich]* Wie'n Wasser.
 84 I: Wie bitte?
 85 N: Das is so was wie 'ne Säure und is unsichtbar.
 86 I: Ah ja. Unsichtbar und wie 'ne Säure...Also hier is Strom drin...
 87 N: Ja.
 88 I: ...und wenn ich
 89 zwei Kabel anschließe...

- 90 N : Mhm.
- 91 I : ...dann fließt der Strom zum Glühlämpchen hin,
- 92 hast du gesagt, ne *[führt richtigen Anschluss vor; N hilft]*. So ist es richtig.
- 93 Und kommt aus beiden Laschen denn gleich viel Strom zum Lämpchen hin?
- 94 Oder unterschiedlich viel? Ist in einem Kabel mehr oder weniger?
- 95 N : *[überlegt; lange Pause]*
- 96 I : Was denkst du denn?
- 97 N : *[lange Pause; scheint keine Antwort zu wissen]*
- 98 I : Is auch nich so wichtig... Also hier...
- 99 N : Mhm.
- 100 I : meintest du is Strom drin *[zeigt auf*
- 101 *Batterie]* und der fließt durch beide Laschen äh hier durch beide Kabel hin, so
- 102 dass... *[Lehrer kommt rein, um zu fragen wie viele Kinder noch interviewt*
- 103 *werden sollen, dadurch kurze Unterbrechung des Interviews]*...Ja und dann
- 104 ähm leuchtet das Glühbirnchen ja, ne hatten wir gesagt...
- 105 N : Ja.
- 106 I : ...und wie ist das
- 107 wie fließt denn der Strom da hin, also das leuchtet ja dann, du hast ja gesagt,
- 108 es *[Strom]* kommt aus der Batterie und fließt durch die Kabel...
- 109 N : Ja.
- 110 I : ...und dann, dann
- 111 is es hier *[Lampe]* und was macht es denn?
- 112 N : Dann geht's hier hoch dann is es da in der Glühbirne und dann leuchtet's.
- 113 I : Und was macht der Strom da? Sammelt der sich da oder fließt der
- 114 irgendwie weiter?
- 115 N : Der sammelt sich da und dann leuchtet das.
- 116 I : Und aber wenn da immer mehr Strom fließt, muss das Glühbirnchen dann
- 117 nicht irgendwann heller leuchten oder platzen oder so, weil da immer mehr
- 118 Strom hinkommt?
- 119 N : Mm (nein) *[Kopfschütteln]*.
- 120 I : Mm. Aber wenn's doch immer mehr hier wird?
- 121 N : Dann fließt es woanders hin *[rutscht auf Stuhl hin und her; überlegt]*. Mh.
- 122 I : Ja, sag ruhig was du denkst. Also du meinst, dass er *[Strom]* sich hier
- 123 *[Glühbirne]* sammelt...
- 124 N : Mhm.
- 125 I : ...und dann, also wenn jetzt nich immer mehr...
- 126 N : Dann,
- 127 dass er, dass er dann da drin bleibt und wenn dann genug Strom is *[in der*
- 128 *Lampe]*, dann fließt er wieder da rein *[Batterie]*, also wenn man da keinen
- 129 mehr brauch.
- 130 I : Mhm und wo flie fließt d der *[Strom]* zurück? Fließt der durch die Kabel
- 131 dann wieder zurück?
- 132 N : Nee, ich glaub, wenn denn, dass wenn das Licht kommt, dann da is, dass das
- 133 die Batterie das dann aufnimmt *[zögert]*. Nee. *[überlegt; längere Pause]*
- 134 I : Also du hast gerade gesagt, der der sammelt sich da und fließt dann wieder
- 135 zurück, ne?...
- 136 N : Mhm.

- 137 I: ...Und wohin fließt der wieder zurück?
- 138 N: In die Batterie.
- 139 In die Batterie. Und wie? Durch beide Kabel, durch ein Kabel?
- 140 N: *[längere Pause]* Mhm *[Pause]* Mhm ich glaube durch die beiden, das denn das
- 141 denn da wieder was drin is und das das dann wieder da reingeht *[in die*
- 142 *Batterie]*.
- 143 I: Mh. Also durch beide Kabel fließt Strom wieder hin und Strom wieder zurück?
- 144 N: Mhm.
- 145 I: Mhm. Und ähm wie lange kann denn das Glühbirnchen leuchten?
- 146 N: ...Eigentlich so lange wie man will, wenn man's als dran hält also mit dem
- 147 Draht da *[Lampe leuchtet so lange die richtige Verbindung aufrecht erhalten*
- 148 *wird]*.
- 149 I: Aha. Und ähm du hast ja gesagt, der Strom fließt immer wieder zurück in die
- 150 Batterie, ne?...
- 151 N: Ja.
- 152 I: ...Aber die Batterie is ja irgendwann leer, wie kommt denn
- 153 das dann, wenn doch immer wieder der Strom zurückfließt.
- 154 N: Na...weil weil der Strom is dann entkräftet weil weil das ja der Strom war ja
- 155 schon dann da drin *[in Lampe]* und dann hat er nicht mehr genügend Kraft
- 156 und dann muss man die aufladen *[Batterie]* wieder mit mehr Strom.
- 157 I: Ah ja. Also fließt vielleicht schwächerer Strom wieder zurück?
- 158 N: Mhm.
- 159 I: Ah ja, also vielen Dank.

11.7. Tim (9,3)

- 1 I: Ja auf dem Tisch hab ich ´n paar Materialien...
- 2 T: Mhm.
- 3 I: ...zu stehen, und zwar ist
- 4 das zum einen so ´ne Batterie *[nimmt sie in die Hand]*, die kannst du auch
- 5 ruhig anfassen und dir angucken, wenn du möchtest...
- 6 T: Und das ist ´ne Lampe
- 7 I: ...Genau das ist ´ne Glühlampe *[nimmt sie in die Hand]* und die hab ich ...in
- 8 so ´ne Fassung eingedreht *[dreht Lampe aus und wieder in die Fassung]*
- 9 T: Mhm.
- 10 I: ...das kennst du bestimmt von zu Hause, ne von den Glühlampen, die werden
- 11 ja auch in so ´ne Fassung eingedreht...und dann hab ich noch verschiedene
- 12 Kabel mitgebracht *[nimmt eins in die Hand]* und ´n paar von denen hab ich mit
- 13 so ´ner Krokodilklemme verbunden, das habe ich aber nur deswegen
- 14 gemacht, damit ich das hier dranklemmen kann *[befestigt Kabel an Batterie]*,
- 15 das ist einfacher das ist einfach einfacher, sonst haben die aber keine
- 16 Bedeutung. Und meine erste Frage an dich ist jetzt, wenn ich hier die Batterie
- 17 *[zeigt drauf]* hab und hier die Glühlampe *[zeigt drauf]* und die beiden mit dem
- 18 Kabel verbinde *[zeigt drauf]*, ob die Glühlampe leuchten wird?
- 19 T: Nur die beiden?
- 20 I: Ja, ich verbinde jetzt Batt...
- 21 T: Nein, das wird das funktioniert nicht, wenn man nur
- 22 das eine *[Kabel]* hat, da braucht man zwei *[Kabel]* für.
- 23 I: Mhm. Möchtest du´s mal ausprobieren?
- 24 T: Mhm *[greift zu Kabeln; befestigt 2. Kabel an der Batterie]*.
- 25 I: Du musst es *[Kabel]* an die Schrauben machen.
- 26 T: Schrauben?
- 27 I: Ja ich hab deswegen hab ich das *[Lampe]* in die Fassung eingedreht, damit es
- 28 einfacher ist *[Handhabung]*.
- 29 T: Warum nich so hier *[T hat Kabel zwischen Fassung und Gewinde der Fassung geklemmt]*?...
- 30
- 31 I: Ja, das muss man...
- 32 T: Damit´s hält so *[Kabel muss so nicht mit den*
- 33 *Händen festgehalten werden]*.
- 34 I: Nee, das funktioniert so nicht. Du musst es an die Schrauben halten, sonst
- 35 müssen wir das Glühbirnchen ausschrauben.
- 36 T: *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet]* Mhm.
- 37 I: Leuchtet`s?
- 38 T: Mhm.
- 39 I: Kannst es jetzt auch noch mal so ausprobieren *[hält eine Glühbirne in der*
- 40 *Hand, die nicht in eine Fassung eingedreht ist]*. Dann helf ich dir mal, weil
- 41 sonst brauchst du so viele Hände.
- 42 T: *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet]*
- 43 I: Genau so leuchtet`s auch, ne ich hab das *[Lampe]* da *[Fassung]* nur
- 44 eingefasst äh eingeschraubt, damit`s...
- 45 T: Damit`s einfacher funktioniert.

- 46 I: ...einfacher...
- 47 genau, damit man nicht so viele Hände braucht. Und warum funktioniert das
- 48 denn mit einem Kabel nicht?
- 49 T: Denn da brauch man zwei Stromleitungen für.
- 50 I: Aha. Und wie stellst du dir das denn vor? Wo ist der Strom?
- 51 T: Da da muss jetzt kann`s nicht funktionieren, weil ähm da braucht man zw zwei
- 52 Kabel für, genau wie`s beim Magnet ist, einmal glaub ich, ich glaub `s is wie
- 53 beim Magnet, einmal nördlich nör nor nördlicher Teil hat man westlichen oder
- 54 östlichen.
- 55 I: Mhm. Also du meinst, dass das...
- 56 T: Das das kann einfach nicht funktionieren. Das
- 57 hab ich schon zu Hause auch mal ausprobiert [*probiert Anschluss mit nur*
- 58 *einem Kabel*] und da hab ich das auch benutzt und davon fehlt die
- 59 Verbindung.
- 60 I: Ah ja, da fehlt die Verbindung. Also du meinst, wo ist denn Strom, ist der...
- 61 T: Der
- 62 ist hier in der Batterie [*zeigt auf Batterie*] und da eine Leitung reicht nicht.
- 63 I: Mhm. Also du meinst, dass der Strom durch eine Leitung, dass das einfach zu
- 64 wenig Strom is?
- 65 T: Mhm. Man könnte`s auch so machen, zum Beispiel, dass hier noch dran und
- 66 das hier, dann könnte man die zwei Lampen anmachen [*meint weitere Kabel*
- 67 *von Fassung zu Fassung*].
- 68 I: Mhm. Ja, das könnte man probieren. Ähm aber wenn jetzt, du hast ja
- 69 gesagt, hier is Strom drin [*zeigt auf Batterie*]...
- 70 T Ja.
- 71 I: ...und der fließt...
- 72 T: Eine Leitung reicht dafür nit.
- 73 I: Weil dann zuwenig Strom fließt oder fließt dann gar kein Strom?
- 74 T: Ich glaub da fließt gar keiner.
- 75 I: Ah ja, da fließt gar keiner. Also es fließt nur Strom, wenn ich beide [*Kabel*]
- 76 anschließe [*führen gemeinsam Anschluss vor*]?
- 77 T: Mhm.
- 78 I: Und ähm, wie ist es, fließt der Strom dann durch beide Laschen hier in die
- 79 Drähte oder oder is schon Strom in den Drähten drin oder wie stellst du dir das
- 80 vor [*zeigt auf die benannten Sachen*]?
- 81 T: Des läuft durch die Laschen hier in die Drähte [*Veranschaulichung am*
- 82 *Aufbau*].
- 83 I: In die Drähte rein. Und durch beide Drähte gleich viel Strom?
- 84 T: Ja [*Kopfnicken*], glaub schon.
- 85 I: Gleich viel Strom. Wie stellst du die eigentlich Strom vor?
- 86 T: [*Schulterzucken*] Mh...wie ich mir das halt vorstellen soll. Keine Ahnung, wie
- 87 man sich das vorstellen kann.
- 88 I: Wie sieht der aus?
- 89 T: Farbe hat der nich. Aber der hat nur Farbe, wenn der als Blitz vom Himmel
- 90 kommt, dann isses gelb.
- 91 I: Ah ja. Also meinst du, Strom ist so ähnlich wie`n Blitz.
- 92 T: Ja, Blitz ist Strom.

93 I: Ist Strom. Okay. Also du hast gesagt, hier ist Strom drin *[zeigt auf Batterie]*
 94 und wenn ich das *[Batterie mit Fassung]* mit den beiden Kabeln verbinde,
 95 dann...
 96 T: Dann leuchtet`s. Ja.
 97 I: ...fließt Strom.
 98 T: Ja.
 99 I: Gleich viel durch beide Kabel zur Glühbirne. Und dann?
 100 T: Dann leuchtet die Lampe.
 101 I: Und...ja, dann leuchtet die Lampe. Und dann ähm sammelt sich da der Strom
 102 oder was passiert dann?
 103 T: Der sammelt sich.
 104 I: Der sammelt sich. Aber wenn der sich sammeln würde, würde dann nicht
 105 immer mehr Strom nachfließen und dann irgendwann, weiß ich nich, ob dann
 106 die Batterie *[meint Lampe]*...
 107 T: Wenn die Batterie leer leergeht, dann funktioniert das hier nich mehr,
 108 dann is die leer.
 109 I: Aha. Aber solange die Batterie noch voll is...
 110 T: Da funktioniert das.
 111 I: Ja, aber dann würde ja trotzdem immer mehr Strom da hin *[in die Lampe]*
 112 kommen, oder? Solange die Batterie noch voll ist.
 113 T: Das verglüht, glaube ich.
 114 I: Aha, das verglüht. Also das wird praktisch verbraucht oder wie stellst du dir
 115 das vor?
 116 T: Mhm. Ja. Ich hab auch schon zu Hause mal an so `ne an die so `ne Lampe,
 117 die schon länger an war an die war heiß.
 118 I: Ach, der Strom macht die Lampe heiß.
 119 T: Mhm.
 120 I: Mhm. So, dass die anfängt zu glühen, oder...?
 121 T: Der der Draht da drinne glüht *[zeigt auf Lampe]*.
 122 I: Ach, der glüht. Mhm. Und dann verglüht das, also d der Strom der
 123 verschwindet.
 124 T: Mhm.
 125 I: Und das passiert so lange...bis die Batterie leer ist *[unterstützende Gestik]*.
 126 T: Die Batterie leer ist.
 127 I: Okay, dann vielen Dank.

11.8. Marius (9,2)

- 1 I: Okay, Marius. Ich hab hier ´paar Materialien mitgebracht, wie du ja schon
2 gesehen hast.
- 3 M: Ja.
- 4 I: Kannst du dir auch mal gerne angucken, das is ´ne Batterie...
- 5 M: *[nimmt Batterie in*
6 *die Hand; betrachtet sie von allen Seiten]*
- 7 I: ... dann hab ich ´n Glühbirnchen
8 mitgebracht, das hab ich in so ´ne Fassung eingedreht, kannst du dir auch
9 gerne mal angucken oder rausschrauben, wenn du möchtest...
- 10 M: *[nimmt Lampe in*
11 *die Hand]*
- 12 I: ...Dann hab ich hier Drähte mitgebracht, ´n paar von den Drähten,
13 siehste, hab ich an so Krokodilklammen nennt man die gemacht, aber das
14 hab ich nur deswegen gemacht, damit man das hier leichter festklemmen
15 kann *[befestigt Klammer an Batterie]*. Sonst haben die gar keine Funktion.
16 Ja und meine erste Frage an dich is, wenn ich hier die Batterie hab *[zeigt*
17 *darauf]* und hier das Glühbirnchen *[zeigt darauf]* in meiner Fassung und die
18 Batterie und das Glühbirnchen mit dem Kabel verbinde, ob das Glühbirnchen
19 dann leuchten wird?
- 20 M: Nur wenn die Batterie voll ist und... wenn das Kabel richtig angeschlossen
21 wird.
- 22 I: Möchtest du´s mal ausprobieren *[schiebt Materialien in seine Richtung]*? Du
23 musst es *[Kabel]* an eine von den beiden Schrauben *[auf der Fassung]* halten,
24 die da draußen sind.
- 25 M: *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht]*
- 26 I: Und... leuchtet´s?
- 27 M: Nö.
- 28 I: Woran könnte das denn liegen, dass es nicht leuchtet?
- 29 M: Dass es kein Plus und Minus gibt, also entweder dass die Batterie nit voll is
30 oder...
- 31 I: Du kannst es gerne mal mit ´ner anderen Batterie ausprobieren, wenn du
32 möchtest.
- 33 M: *[befestigt das Kabel an einer anderen Batterie]* Ja hier is auch Plus und Minus
34 dran, deswegen *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht]*.
- 35 I: Ja, es leuchtet nicht.
- 36 M: Das liegt an dem Plus und Minus...
- 37 I: Mhm.
- 38 M: ...weil es muss auch noch ´n Plus. Dann
39 bräuchte man noch eins *[Kabel]* und es dann an den anderen Schrauben.
- 40 I: Möchtest du´s mal ausprobieren?
- 41 M: Ja. *[greift zu den Kabeln; befestigt 2. Kabel; Lampe leuchtet]*
- 42 I: Und leuchtet das Glühbirnchen?
- 43 M: Ja.
- 44 I: Ja und warum hat das jetzt mit einem Kabel nicht funktioniert? Erklär mir das
45 noch mal.

- 46 **M** : Weil das da kein Plus oder weil weil bei der Batterie da äh die war
 47 anscheinend leer [*meint 1. Batterie*] und hier gab's 'n Plus und 'n Minus
 48 [*meint 2. Batterie*].
- 49 **I** : An der Batterie gibt's aber auch 'n Plus und 'n Minus [*nimmt 1. Batterie in die*
 50 *Hand*]
- 51 **M** : Ja, da steht aber nicht [*an den Polen der Batterie steht jeweils ein „+“- oder*
 52 *ein „-“-Zeichen, das M bei der 1. Batterie nicht gesehen hat; betrachtet 1.*
 53 *Batterie noch einmal*] Doch, da steht Minus und Plus aber ganz klein und hier
 54 ist deutlich [*2. Batterie*]...
- 55 **I** : Aha.
- 56 **M** : ...Aber da würd's auch gehen [*nimmt 1. Batterie*],
 57 wenn man hier...
- 58 **I** : Kannst es gerne ausprobieren.
- 59 **M** : ...auch zwei [*Kabel*] nimmt.
 60 [*klemmt Kabel der Batterien um*]
- 61 **I** : Du kannst auch mehrere [*Kabel nehmen; er hat schon Kabel der einen*
 62 *Batterie an der anderen befestigt*].
- 63 **M** : [*probiert Anschluss; Lampe leuchtet*]
- 64 **I** : Dann leuchtet's auch. Also war die Batterie nicht leer, sondern 's lag daran.
- 65 **M** : Dass es Plus und Minus, weil das muss immer mit dem anderen Kontakt
 66 haben, weil das ist wie so zwei Klammern, wo das dann halt zwei Kontakte
 67 haben muss.
- 68 **I** : Aha, und wie meinst du das denn jetzt? Wo befindet sich denn der Strom
 69 oder...
- 70 **M** : In der Batterie, weil die ja aufgeladen is.
- 71 **I** : Der Strom ist in der Batterie. Und dann? Wenn ich das jetzt hier verbinde...
- 72 **M** : Weil da ist ein und dann wird das damit weitergeleitet durch das Kabel, denn
 73 da ist auch ein.
- 74 **I** : Also der Strom meinst du, wird durch diese Laschen in die Kabel weitergeleitet
 75 zur Glühbirne?
- 76 **M** : Ja, und weil das Metall ist, überträgt das wieder in die Glühbirne [*probiert*
 77 *Anschluss mit nur einem Kabel*].
- 78 **I** : Ah ja, und meinst du denn, dass der Strom aus beiden Laschen hochkommt
 79 und durch beide Kabel fließt?
- 80 **M** : Äh ja, weil oder...oder nee, weil das eine braucht Minus, also kein Strom, aber
 81 muss trotzdem weiter dran also drangehalten werden...dann geht's [*führt*
 82 *Anschluss vor*].
- 83 **I** : Ah ja, also du meinst, dass muss zwar beide Kabel...
- 84 **M** : Zwei Pole muss er haben.
 85 Also irgendwie, wenn das jetzt wieder ab is, dann geht's nit, weil kein Minus
 86 da is [*entfernt ein Kabel*].
- 87 **I** : Ja, aber du meinst, dass also der Strom also dass ähm zwar beide Drähte
 88 angeschlossen werden muss, aber dass der Strom nur durch ein Kabel fließt
 89 [*Veranschaulichung am Aufbau*]?
- 90 **M** : Ja.
- 91 **I** : Mhm. Okay. Und wenn der [*Strom*] jetzt ähm die Glühbirne zum Leuchten
 92 bringt, was passiert dann?

- 93 M : Erzeugt das wieder Licht durch...äh den Strom.
- 94 I : Ja, also der Strom der fließt, wie du hast gesagt, durch beide Kabel [*meint ein*
- 95 *Kabel*] zur Glühbirne, ne?
- 96 M : Ja.
- 97 I : Und dann?
- 98 M : Das andere [*Kabel*] ist fast so, dass das wieder ableitet.
- 99 I : Ach, das leitet den Strom wieder ab [*führt Anschluss vor*]?
- 100 M : Ja, dass das wie so`n Rundgang fließt das [*kreisende Handbewegung*].
- 101 I : Ah ja, also du meinst, es ist Strom in der Batterie...
- 102 M : Ja.
- 103 I : ...und der fließt durch ein
- 104 Kabel in die Glühbirne [*zeigt auf die benannten Sachen*]?
- 105 M : ...Nee, das muss so da langgehen [*führt Anschluss vor*] und hier unten ist
- 106 auch noch so`n kleines Plättchen drin [*hebt Glühbirne hoch*], das hilft dann
- 107 auch wieder, aber das ist eigentlich nur für die Glühbirne.
- 108 I : Mhm. Also du meinst also, dass der Strom in der Batterie ist und durch ein
- 109 Kabel zur Glühbirne fließt und dann durch das andere Kabel wieder zurück in
- 110 die Batterie [*Veranschaulichung am Aufbau*]?
- 111 M : [*probiert Anschluss mit einem Kabel*] Nee, eigentlich nit, eigentlich müssten
- 112 beide gehen [*führt richtigen Anschluss vor*],...dass beides durchfließt, weil
- 113 sonst würde das gar nit gehen.
- 114 I : Also fließt doch der Strom durch beide Kabel in die Batterie äh in die
- 115 Glühbirne?
- 116 M : Ja, dass hier so weitergeht...gleich [*führt Anschluss vor*], also, dass von
- 117 beiden Seiten der Druck kommt, weil sonst wenn`s nur von einer is, dann
- 118 geht`s nur dahin, also nur hier eins zur Glühbirne und das hat dann...zuwenig
- 119 Kraft.
- 120 I : Mhm. Also jetzt meinst du, dass der Strom durch beide Kabel zur Glühbirne
- 121 fließt.
- 122 M : Ja.
- 123 I : Und vorhin hast du gesagt, dass der [*Strom*] nur durch eine ein Kabel zur
- 124 Glühbirne fließt und durch das andere Kabel wieder abfließt [*zeigt auf die*
- 125 *benannten Sachen*]...Aber das meinst du, ist doch nicht richtig und zwar fließt
- 126 der Strom durch beide Kabel in die Glühbirne.
- 127 M : Ja.
- 128 I : Und was was macht der Strom dann [*führt Anschluss vor*]...also ähm...
- 129 M : Der
- 130 wird hochgeleitet...
- 131 I : Ja.
- 132 M : ...hier zu der Glühbirne.
- 133 I : Ja und dann sammelt der sich dort oder...fließt der wieder ab oder
- 134 verschwindet der?...
- 135 M : Nee, der kriegt dann hier oben das weil die wird dann in die
- 136 beiden kleinen Eisenteilchen und das wie so `ne Verbindung und das erzeugt
- 137 das Licht.
- 138 I : Aber wenn da immer mehr Strom da hinfließt, müsste die Glühbirne nicht
- 139 irgendwann heller leuchte oder explodieren,...

- 140 M : Nee [*Kopfschütteln*].
141 I : ...wenn sich der Strom da
142 irgendwie sammelt?
143 M : Nee, das wird ja immer wieder aufgebraucht und aus der Batterie und dann
144 wird's halt hier oben [*zeigt auf Glühlampe*] wieder ganz verbraucht...durch die
145 Glühbirne.
146 I : Ah ja, also der Strom der Batterie wird verbraucht in der Glühbirne [*zeigt auf*
147 *die benannten Sachen*]?
148 M : Ja.
149 I : Mhm. Und wie stellst du dir Strom vor?
150 M : Mh pff [*lehnt sich zurück*].
151 I : Wie sieht der denn aus oder...?
152 M : Ja eigentlich so wie so'n flüssiges Material...in der Batterie.
153 I : Ach so, also is `ne Flüssigkeit.
154 M : ...So wie `ne Säure.
155 I : Ach wie `ne Säure. Okay dann vielen Dank.

11.9. Ricardo (11,4)

- 1 I: Und zwar hab ich hier mehrere Ma...Materialien mitgebracht. Das sind zum
 2 einen eine Batterie *[nimmt sie in die Hand, legt sie auf seinen Tisch]*, dann das
 3 is ´ne Glühlampe, ´ne ganz normale, die hab ich in so ´ne Fassung eingedreht
 4 *[dreht Lampe aus und wieder in die Fassung]*, kennst du ja bestimmt auch von
 5 zu Hause, ne...
- 6 R: *[Kopfnicken]* Ja.
- 7 I: ...dass man die in so Fassungen eindreht...und dann hab ich
 8 noch mitgebracht...Kabel *[nimmt eins in die Hand]*...
- 9 R: *[Kopfnicken]*
- 10 I: ...und an manche Kabel
 11 hab ich so ´ne Klemme ...
- 12 R: Mhm.
- 13 I: ...drangemacht, die nennt man Krokodilklemme *[macht*
 14 *Klemme auf und zu]* und das hab ich nur deswegen gemacht, damit ich das
 15 hier dranklemmen kann *[befestigt Klemme an Batterie]*,...
- 16 R: *[Kopfnicken]*
- 17 I: ...sonst müsst ich das
 18 hier immer festhalten *[meint das Kabel an die Batterie]* und das wär so
 19 kompliziert. Und meine erste Frage an dich is, wenn ich jetzt hier die Glühlam
 20 äh hier die Batterie *[zeigt auf Batterie]* und hier die Glühlampe habe und diese
 21 beiden Sachen durch dieses Kabel verbinde, ob die Glühlampe leuchtet?
- 22 R: Ja, dann leuchtet sie.
- 23 I: Möchtest du´s mal ausprobieren *[schiebt Materialien auf seine Seite]*?
- 24 R: Ja.
- 25 I: Du musst es *[Kabel]* an eine von den Schrauben halten *[zeigt auf die*
 26 *Schrauben auf der Fassung]*.
- 27 R: *[probiert aus; sieht, dass Lampe nicht leuchtet; guckt fragend]*
- 28 I: Und leuchtet´s?
- 29 R: Nein.
- 30 I: Warum könnte es denn nicht leuchten?
- 31 R: *[kurze Pause]* Weil´s an der Batterie hängt *[fragend]*?
- 32 I: Wie bitte? Weil's an der Batterie hängt?
- 33 R: hängt.
- 34 I: Was meinst du damit?
- 35 R: Also, wenn man die Krokodilklemme an der an dieses also die Lampe hängt ja
 36 nich an der Batterie an Strom.
- 37 I: Mhm. Das hab ich jetzt überhaupt nicht verstanden. Also du meinst...mit der
 38 Krokodilklemme *[zeigt auf die Klemme]*?
- 39 R: Da also bei der richtigen Lampe an der Decke, das hängt an Strom dran *[zeigt*
 40 *auf die Lampe]*.
- 41 I: Ja. Und wie stellst du dir das denn vor? Ist hier denn gar kein Strom?
- 42 R: Nein.
- 43 I: Also auch...is überhaupt nirgends Strom da?
- 44 R: *[Kopfschütteln]*
- 45 I: Mhm. Und jetzt ähm zeig ich dir mal was anderes und zwar jetzt machen wir

46 das jetzt mal mit 2 Kabeln [nimmt 2. Kabel, klemmt es an Batterie].
47 R : [lacht] Jetzt geht's [greift zu dem Aufbau]!
48 I : Aha. Du musst es an beide...[Schrauben halten].
49 R : [hat richtigen Anschluss; Lampe leuchtet]
50 I : So und jetzt?
51 R : Geht das Licht!
52 I : Und jetzt leuchtet's. Und? Du hast ja gesagt, es wär gar kein Strom da. Ist
53 denn jetzt Strom da?
54 R : [beschäftigt sich ab diesem Zeitpunkt über den gesamten Verlauf des
55 Interviews mit dem Versuchsaufbau] Ja.
56 I : Und woran liegt das?
57 R : An der Batterie.
58 I : Aha und wie stellst du dir das vor? Wo ist denn der Strom? Ist der in den
59 Drähten oder ist der in der Batterie oder wo?
60 R : Der is in der Batterie drin.
61 I : Der is in der Batterie. Und wie stellst du dir das jetzt vor, ich mein, also fängt
62 der dann...wie kommt der denn ähm zur Glühlampe?
63 R : Wenn das verbindet [Kabel mit Schrauben auf Fassung] , dann kommt das zur
64 Glühlampe mit den Draht.
65 I : Durch den Draht. Also du meinst, dass ähm aus der Batterie Strom durch die
66 Drähte zum zur Glühlampe fließt?
67 R : [Kopfnicken] Ja.
68 I : Und warum ist dann mit einem Kabel kein Strom da? Nur mit 2?
69 R : Weil man immer an alle zwei Kabel dranmachen muss.
70 I : Also man muss immer zwei Kabel haben, damit Strom fließt?
71 R : Ja [sehr leise, beschäftigt sich weiter mit Aufbau und Anschluss]
72 I : Aha. Und ähm [kurze Unterbrechung durch Schulgong] wenn man jetzt, du
73 hast ja gesagt hier ist Strom drin, ne [zeigt auf Batterie]...
74 R : Ja.
75 I : ...und der fließt jetzt wie?
76 R : Durchs Kabel.
77 I : Durch beide?
78 R : Ja.
79 I : Aha. Und dann fließt der zur Glühlampe.
80 R : [Kopfnicken]
81 I : Und dort? Sammelt sich dort der Strom oder fließt der weiter oder...
82 R : der sammelt sich
83 dann da oben [meint die Glühlampe].
84 I : Aha, aber was meinst du, wenn der Strom sich da sammeln würde, müsste
85 das dann nicht immer mehr Strom werden, so dass...
86 R : Nein [bestimmt], denn der
87 Strom bleibt immer gleich.
88 I : Aber du hast doch gerade eben gesagt, der sammelt sich da [zeigt auf Lampe].
89 R : Der fließt weiter.
90 I : Aha und wo fließt der hin?
91 R : Zur Batterie hoch. In den Drähten da innen drin.
92 I : Erklär mir das mal genauer! Also du meinst ja, der Strom fließt von der

93 Batterie durch beide Kabel zur Glühlampe...

94 R : Und dann lauf d das Strom weiter durch

95 dieses Eisen *[zeigt auf Schrauben]* bis hoch zur Glühbirne ins Draht...hier

96 oben *[meint Wolframdraht]*.

97 I : In den Draht...genau ja. Und dort?

98 R : Kommt dann Licht!

99 I : Ja und dann, was passiert dann mit dem Strom? Du hast ja gesagt, der fließt

100 irgendwie weiter und du meinstest der fließt...

101 R : Dann sammelt der sich da oben.

102 I : Ja und dann? Müsste die Glühlampe nicht irgendwann heller werden, wenn

103 immer mehr Strom nachkommt?

104 R : Nein.

105 I : Und warum nicht? Wie kommt das?

106 R : Sonst hätt das wär das ja immer mehr Strom in der Glühlampe und die dann

107 geht ja irgendwann kaputt.

108 I : Also kann er sich ja eigentlich nich in der Glühlampe sammeln, ne...

109 R : Nee.

110 I : ...Sonst würde die ja kaputtgehen. Was könnte der denn sonst machen,

111 verschwindet der vielleicht oder fließt der weiter? Wird der vielleicht

112 verbraucht?

113 R : Der wird verbraucht.

114 I : Okay. Also wiederhol das noch mal für mich. Wo meinst du wo Strom ist?

115 R : In der Batterie.

116 I : Und wie bringt der das Glühlämpchen zum Leuchten?

117 R : Wenn man jetzt 2 Kabels an...die 2 Schrauben hängt *[zeigt drauf]*.

118 I : Genau. Also der Strom fließt durch beide Kabel...

119 R : Ja.

120 I : ...zum Glühlämpchen und

121 der dort wird er verbraucht.

122 R : Ja.

123 I : Mhm. Und meine letzte Frage an dich ist, was du dir überhaupt unter Strom

124 vorstellst. Wie sieht der denn aus oder was macht der?

125 R : Der gleitet Glühbirnchen im Zimmer oder Wohnung.

126 I : Also du meinst der bringt Glühbirnen zum Leuchten...

127 R : Ja.

128 I : ...oder was? Und wie

129 sieht der aus? Hast du da irgendwie ´ne Vorstellung?

130 R : *[kurze Pause]* Nur, dass der Strommast d Strom leitet.

131 I : Mhm. Also Strom...wird durch durch Kabel oder so geleitet?

132 R : Ja.

133 I : Okay. Dann vielen Dank für deine Hilfe.

11.10. Jan (9,7)

- 1 I: Ja, ich hab ´n paar Materialien mitgebracht, wie du hier bestimmt schon
2 gesehen kannst...
- 3 J: Ja.
- 4 I: ...und zwar ist das ´ne Batterie...
- 5 J: Ja.
- 6 I: ...die kannst du auch
7 gerne mal angucken.
- 8 J: *[nimmt Batterie in die Hand]* Die sieht aus wie ´n Akku.
- 9 I: Ja, die gibt ´s heute auch nicht mehr so einfach zu kaufen.
- 10 J: Mhm.
- 11 I: Dann des is ´ne Glühbirne...
- 12 J: Mhm.
- 13 I: ...die hab ich in ´ne Fassung eingedreht...
- 14 J: Ja.
- 15 I: ...kannst du auch gerne mal rausschrauben, wenn du möchtest und dir
16 angucken...
- 17 J: *[nimmt Lampe in die Hand; schraubt sie aus und wieder in die*
18 *Fassung]*
- 19 I: ...und dann hab ich mehrere von diesen Drähten mitgebracht...
- 20 J: Mhm.
- 21 I: ...und an manche Drähte hab ich so ´ne die nennt man Krokodilklemme...
- 22 J: Ja.
- 23 I: ...drangemacht, aber das hab ich nur deswegen gemacht, damit ich das hier
24 besser festklemmen kann *[befestigt Klammer an Batterie]*...
- 25 J: Ja.
- 26 I: ...sonst haben die
27 eigentlich gar keine Funktion.
- 28 J: Ja, diese Dinger gibt´s auch in groß.
- 29 I: Ja? Mhm. Okay und meine erste Frage an dich ist, wenn ich jetzt hier die
30 Batterie *[zeigt drauf]* hab und hier die Glühlampe *[zeigt drauf]* und das beides
31 mit diesem Kabel *[zeigt drauf]* verbinde, wird die Glühbirne dann leuchten?
- 32 J: Mh *[betrachtet den Aufbau aufmerksam]* Könnte sein.
- 33 I: Könnte sein. Dann probier´s mal aus.
- 34 J: *[nimmt Fassung in die Hand]*
- 35 I: Du musst es *[Kabel]* an an eine von den beiden Schrauben *[auf der Fassung]*
36 halten.
- 37 J: Ach so *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet nicht]*.
- 38 I: Und leuchtet´s?
- 39 J: Nö.
- 40 I: Nö. Warum funktioniert das denn wohl nicht? Oder wie stellst du dir das denn
41 vor? Fließt da irgendwas? Fließt da nichts oder...?
- 42 J: Wenn man da noch ein zweites *[Kabel]* dranhält.
- 43 I: Ein zweites Kabel? Möchtest du das mal ausprobieren?
- 44 J: Ja.
- 45 I: Dann nimm dir eins.

- 46 J: *[greift zu einem Kabel ohne Krokodilklammer]*
 47 I: Nimm dir am Besten so eins mit so ´ner Klemme *[hebt eins vom Tisch]*.
 48 J: *[ein Kabel fällt auf den Tisch]* Huch! *[probiert Anschluss; Lampe leuchtet]* Jetzt
 49 geht´s!
 50 I: Jetzt geht´s. Und warum hat es mit einem Kabel nicht funktioniert?
 51 J: Oh...weil...weil mit einem wie bei so bei diesen großen Dingen also da an der
 52 Batterie also da ähm...also wie soll ich das erklären *[lange Pause; guckt in die*
 53 *Luft]* ähm...pff...ähm *[lange Pause]* oh...*[schlägt Kopf auf die Arme, die auf*
 54 *dem Tisch liegen]*
 55 I: Na ja, also ich verbinde die Batterie mit der Glühlampe und wenn ich es nur
 56 mit einem *[Kabel]* mache *[führt Anschluss vor]*, dann funktioniert´s nich,
 57 sondern nur wenn ich´s mit beiden *[Kabeln]* mache *[führt richtigen Anschluss*
 58 *vor]*.
 59 J: Nur mit einem Anschluss, da ähm bei einem Anschluss da is es so, wenn jetzt
 60 die runtermacht *[Kabel]*, dann geht´s ja nicht...
 61 I: Ja.
 62 J: ...und wenn man das andere
 63 dranmacht *[Kabel]* *[führt richtigen Anschluss vor]* und das und dann geht das,
 64 weil das zwei Anschlüsse geben, weil nur mit zwei Anschlüssen geht´s nur.
 65 I: Also fun funktioniert´s nur mit zwei Anschlüssen. Und warum funktioniert das
 66 nur mit zwei Anschlüssen? Wie stellst du dir das vor? Fließt da irgendwie...
 67 irgendwas, kommt da irgendwas hoch?
 68 J: Ja da is so so was so was wie Strom drin oder so in der Batterie.
 69 I: Und dann? Was macht der?
 70 J: Ja das das geht dann da rüber so und dann geht das hier dran *[Schrauben]*
 71 und ja hier hinten geht´s in die Birne und dann kommt dann halt Licht raus.
 72 I: Also du meinst in der Batterie ist so was wie Strom?
 73 J: Ja.
 74 I: Und der fließt dann durch beide Drähte zur Glühlampe oder nur durch eins
 75 oder?
 76 J: Durch beide.
 77 I: Durch beide. Und durch beide gleich viel und das gleiche?
 78 J: Ja *[führt Anschluss vor]*.
 79 I: Also gleich viel Strom oder so was wie Strom und das gleiche. Und ähm,
 80 wenn das jetzt so hier is *[führt richtigen Anschluss vor]*, was macht denn das
 81 ähm was da fließt? Sammelt sich das in der Glühbirne oder...fließt das
 82 irgendwie weiter oder is da irgendwie verändert?
 83 J: Nee, das bleibt da drin, dass das Licht dann kommt.
 84 I: Aber wenn wenn hier immer das weiter in die Glühlampe fließt, müsste
 85 das dann nicht immer mehr werden...
 86 J: Eigentlich nicht.
 87 I: ...in der Glühlampe.
 88 Sondern? Verschwindet das einfach? Oder...oder verändert sich das? Oder
 89 verschwindet das?
 90 J: Ja so wie verschwinden.
 91 I: Das verschwindet...
 92 J: Mhm.

- 93 I: ...und das löst sich dann einfach in Luft auf oder wird
94 das vielleicht verbraucht?
- 95 J: Nee, vielleicht fließt das auch wieder zurück, wenn man das die Drähte hier
96 rausmacht [*entfernt Kabel von Fassung*]. Nee, das geht nicht, das geht nicht.
- 97 I: Also es könnte auch sein, dass es wieder durch ein Kabel zurückfließt? Oder
98 geht das nicht?
- 100 J: Nee, das geht nicht.
- 101 I: Mhm. Also verschwindet das...
- 102 J: Ja.
- 103 I: ...der Strom. Und wohin verschwindet der? Der
104 löst sich einfach auf ...oder? [*lange Pause; J probiert den Anschluss*] Benutzt
105 die Glühlampe den Strom?
- 106 J: Ja.
- 107 I: Und deswegen wird der verbraucht oder so?
- 108 J: Ja.
- 109 I: Also das könnte sein.
- 110 J: Ja.
- 111 I: Also du hast, also du meinst, dass hier der Strom drin ist [*Batterie*] ja?
- 112 J: Ja müsste sein. So was in der Art.
- 113 I: So was in der Art. Und was ist Strom oder so was, was da drin ist? Wie stellst
114 du dir das vor?
- 115 J: Ja, da drin ist so wie...ähm...äh...Strom oder so was wie bei wenn man auf ´n
116 Schalter drückt auf irgendso´n und dann gibt´s ja auch Kabel und dann geht
117 immer ´n Licht an also manchmal, wenn das Kabel nicht unterbrochen ist.
- 118 I: Aha, also Strom erzeugt immer Licht?
- 119 J: Ja und wie beim Fernsehn, wenn da ´n da ´n Blitz einschlägt in die Schüssel
120 dann ist ja auch manchmal der Fernseher der krisselt dann manchmal.
- 121 I: Mhm. Also du meinst Strom is is...weiß nich... wie sieht der denn aus? Wie ´n
122 Blitz?
- 123 J: Mh. Weiß nich, den sieht man irgendwie nicht.
- 124 I: Also der ist unsichtbar?
- 125 J: Ja, so in der Art.
- 126 I: Mhm. Und wo, jetzt erklär mir das noch mal, also du meintest, wo ist der
127 Strom?
- 128 J: Da [*zeigt auf Batterie*].
- 129 I: Der is in der Glühbirne [*meint Batterie*] und dann? Wie bringt der diese
130 Glühbirne zum Leuchten?
- 131 J: Ja durch die beiden Kabel [*zeigt drauf*].
- 132 I: Durch die beiden Kabel. Und das der Strom der...
- 133 J: Geht dann hier hoch [*Glühbirne*].
- 134 I: Geht da hoch und dann verschwindet er.
- 135 J: Nee, dann geht ja erstmal das Licht an und dann verschwindet er.
- 136 I: Okay. Dann vielen Dank.