

Naturphänomene  
und Technik

**Einführung in die  
Elektrizitätslehre**

Naturwissenschaft  
und Technik  
(NwT)

Mit einer Einführung in die  
Entwicklung, Konstruktion und  
Fertigung technischer Produkte

Autor

**Daniel Hasenauer**

Fichte-Gymnasium  
Sophienstr. 12-16  
76133 Karlsruhe

Staatliches Seminar  
für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasium)  
Quinckestr. 69  
69120 Heidelberg

Heidelberg / Karlsruhe

im August 2014

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	3
1 Vorbereitung und Vorbemerkungen.....	4
1.1 Fertigung des Experimentierbretts.....	4
1.2 Terminologie.....	7
2 Lehrgang zur Einführung in die Elektrizitätslehre.....	9
2.1 Einfacher elektrischer Stromkreis.....	9
2.2 Elektrische Leiter – elektrische Nichtleiter.....	10
2.3 Elektrische Schaltelemente.....	13
2.3.1 Taster: Schließer und Öffner.....	13
2.3.2 Einschalter (Ein–Aus).....	14
2.4 Elektrische Verbraucher.....	15
2.4.1 Arten von elektrischen Verbrauchern.....	15
2.4.2 Elektrische Verbraucher in Reihen– und Parallelschaltung....	16
2.5 Elektrische Energiequellen.....	18
2.5.1 Batterien in Parallel–und Reihenschaltung.....	18
2.5.2 Wichtiges Alltagswissen zu Batterien (fakultativ).....	20
2.6 Zusammenfassung elektrischer Bauteile und ihrer Schaltsymbole.	20
3 Entwicklung, Konstruktion und Fertigung eines elektrischen Geschicklichkeitsspiels.....	22
3.1 Der „Heiße Draht“.....	24
3.1.1 Anforderungsliste.....	25
3.1.2 Teilfunktionen und Funktionsstruktur.....	25
3.1.3 Lösungsprinzipien und Wirkstruktur.....	26
3.1.4 Komponenten, Module und Produktstruktur.....	27
3.1.5 Konstruktion.....	27
3.1.6 Fertigung und Montage.....	31
3.2 Die „Ruhige Hand“.....	33
Anhang Memory zur Festigung der Erkenntnisse aus dem Lehrgang.....	35
Literaturverzeichnis.....	37

## Einleitung

Die Elektrizitätslehre ist von der Unter- bis in die Oberstufe durchgehend im Bildungsplan für das allgemeinbildende Gymnasium in Baden-Württemberg verankert. Ihre Anfänge nimmt sie vielfach in der Unterstufe im Fach Naturphänomene und Technik. In der Mittel- und Oberstufe stellen vor allem die Fächer Physik, Naturwissenschaft und Technik (NwT) und Chemie an verschiedenen Stellen Bezüge zur Elektrizitätslehre her. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll und geboten, den Einstieg in die Elektrizitätslehre so zu gestalten, dass Vorstellungen generiert werden, auf denen der weiterführende Unterricht aufbauen kann.

Mit dieser Zielstellung werden im vorliegenden Heft Versuche vorgestellt, mit denen die Schülerinnen und Schüler die Merkmale der Begriffe *elektrischer Stromkreis*, *elektrischer Leiter* und *elektrischer Nichtleiter*, *elektrische Schaltelemente*, *elektrischer Verbraucher*, *elektrische Energiequelle* sowie *Reihen-* und *Parallelschaltung* erkunden können. Sie sind in Form eines Lehrgangs angeordnet, der den ersten Teil einer Unterrichtseinheit zur Einführung in die Elektrizitätslehre darstellt. Er ist für etwa vier bis fünf Doppelstunden konzipiert.

Gegenstand des zweiten Teils ist die Entwicklung, Konstruktion und Fertigung eines elektrischen Geschicklichkeitsspiels. Hier sollen die Schülerinnen und Schüler die zuvor im Lehrgang erworbenen Erkenntnisse nutzen. Die Vorgehensweise orientiert sich am Produktentstehungsprozess nach VDI 2221. Für diesen Teil sollten je nach Aufgaben- und Hilfestellung weitere vier bis fünf Doppelstunden angesetzt werden.

# 1 Vorbereitung und Vorbemerkungen

Die Versuche zum hier vorgeschlagenen Unterrichtsgang werden mithilfe eines Experimentierbretts durchgeführt, das zuvor gefertigt werden muss. Hinweise hierzu sowie einige grundsätzliche Bemerkungen zu seiner Verwendung und zur Terminologie finden sich in diesem Kapitel.

## 1.1 Fertigung des Experimentierbretts

Für den folgenden Lehrgang (s. Kapitel 2) wurde ein Experimentierbrett entwickelt, das ein Erkunden einführender Phänomene und einfacher Gesetzmäßigkeiten der Elektrizitätslehre durch die Schülerinnen und Schüler ermöglichen soll (s. Abbildung 1).

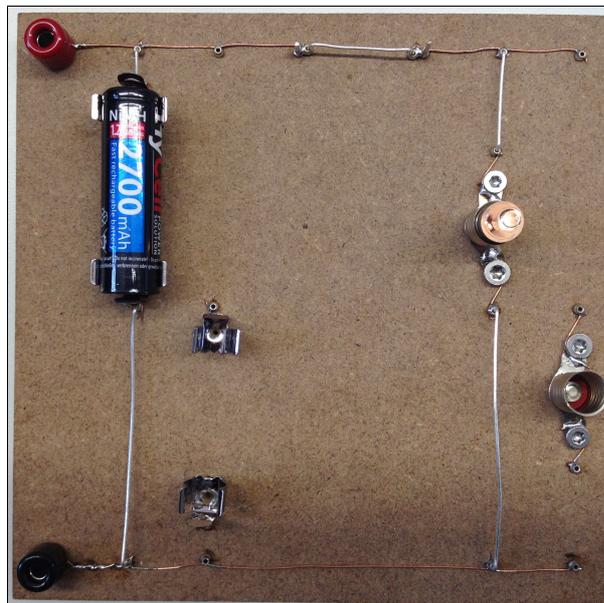
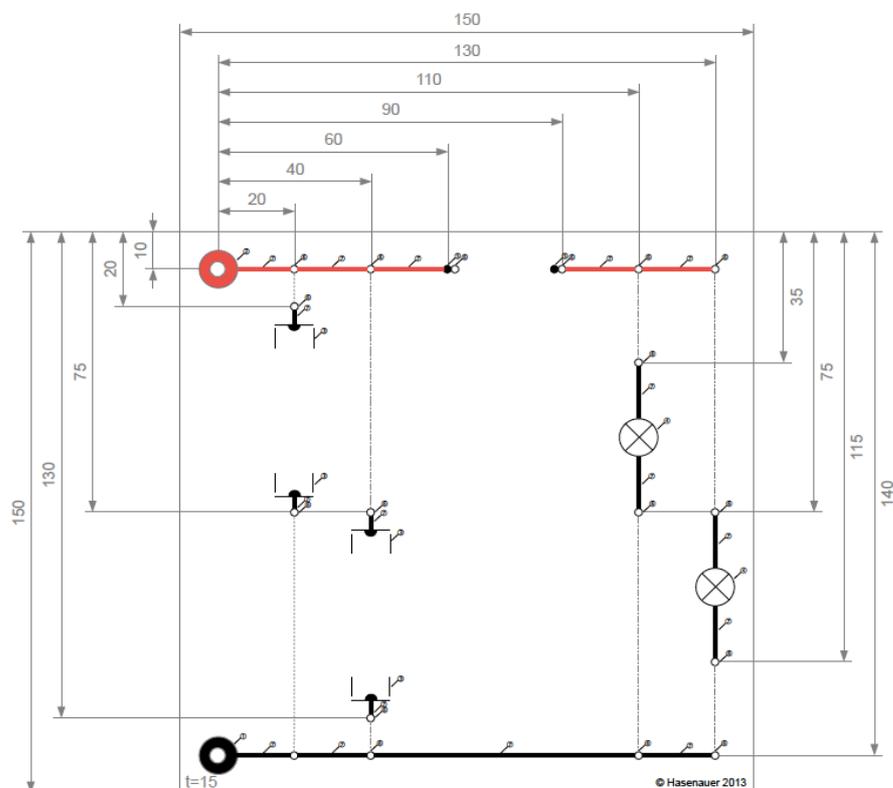


Abb. 1: Experimentierbrett zur Einführung in die Elektrizitätslehre

Quelle: eigene Darstellung

Ziel bei der Konstruktion des Experimentierbretts war eine weitgehende Transparenz der elektrischen Schaltungen: die leitenden Bauteile sollten

sichtbar und der elektrische Stromkreis damit nachvollziehbar sein. Außerdem sollte eine Verwendung handelsüblicher elektrischer Bauteile (wie etwa von Widerständen, LEDs etc.) für weitere Versuche über diesen Lehrgang hinaus möglich sein; dazu wurden 0,5mm-Buchsen (vgl. Abbildung 2, Position ⑥<sup>1</sup>) eingebaut. Als drittes Konstruktionsprinzip galt das Zulassen von Fehlermöglichkeiten beim Aufbau der elektrischen Schaltungen; daher wurden beispielsweise Universalklemmen für die Aufnahme der Batterien anstelle von Batteriefassungen verwendet, die die Polung bereits vorgeben (vgl. Abbildung 2, Position ③).



	Creator / intellectual property Daniel Hasenauer		Date of issue 2013-09-26		Approval person																																
	<b>Title</b> <b>Experimentierbrett zur Elektrizitätslehre</b>		<b>Item description</b> Experimentierbrett für einfache elektrische Schaltungen, einschließlich Reihen- und Parallelschaltung von Verbrauchern und Spannungsquellen		<b>Parts list</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>Amt.</th> <th>Part number</th> <th>Notes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>1</td> <td>930176-100</td> <td>Banana socket BIL 20, black</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>1</td> <td>930176-101</td> <td>Banana socket BIL 20, red</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>4</td> <td>Keystone THM Clip P/N 82</td> <td>Battery clip for mignon AA</td> </tr> <tr> <td>④</td> <td>2</td> <td>Bartheleme 00419012 ES1014</td> <td>Lightbulb socket for E10</td> </tr> <tr> <td>⑤</td> <td>2</td> <td>80-1353-01</td> <td>Soldering nail</td> </tr> <tr> <td>⑥</td> <td>18</td> <td>MM801-99-001-10-012000</td> <td>1-pin SIP socket, long insulat.</td> </tr> <tr> <td>⑦</td> <td>/</td> <td>/</td> <td>Copper wire, Ø0.5mm</td> </tr> </tbody> </table>		Pos.	Amt.	Part number	Notes	①	1	930176-100	Banana socket BIL 20, black	②	1	930176-101	Banana socket BIL 20, red	③	4	Keystone THM Clip P/N 82	Battery clip for mignon AA	④	2	Bartheleme 00419012 ES1014	Lightbulb socket for E10	⑤	2	80-1353-01	Soldering nail	⑥	18	MM801-99-001-10-012000	1-pin SIP socket, long insulat.	⑦	/	/
Pos.	Amt.	Part number	Notes																																		
①	1	930176-100	Banana socket BIL 20, black																																		
②	1	930176-101	Banana socket BIL 20, red																																		
③	4	Keystone THM Clip P/N 82	Battery clip for mignon AA																																		
④	2	Bartheleme 00419012 ES1014	Lightbulb socket for E10																																		
⑤	2	80-1353-01	Soldering nail																																		
⑥	18	MM801-99-001-10-012000	1-pin SIP socket, long insulat.																																		
⑦	/	/	Copper wire, Ø0.5mm																																		
<b>Revisions</b> A: built on drilled prototyping board without without copper solder pads B: re-designed on medium-density fibreboard (MDF) C: sockets countersunk into the MDF, copper wire soldered to sockets; soldering nails added for connection to resistors or further consumer loads (like, e.g., LEDs)		<b>Document state</b> Completed																																			
		Rev. C	Scale 1:2	Sheet 1/1																																	

Abb. 2: Technische Zeichnung für das Experimentierbrett

Quelle: eigene Darstellung

1 Alternativ können auch Buchsen mit einem Innendurchmesser von 0,8mm verwendet werden.

Das Experimentierbrett sollte in ausreichender Anzahl (je eines für zwei oder drei Schüler) gefertigt werden. Als Grundkörper wird eine mitteldichte Faserplatte (MDF-Platte) der Stärke 15mm verwendet.<sup>2</sup> In die Platte werden Sacklöcher mit folgenden Tiefen und Durchmessern gebohrt: für die 4mm-Buchsen zum Anschluss einer externen elektrischen Energiequelle<sup>3</sup> oder weiterer Experimentierbretter (Positionen ① und ②, fakultativ)  $\varnothing=6,0$  /  $T=10\text{mm}$ ; für die Federn der Batterieklemmen (Position ③)  $\varnothing=1,5$  /  $T=3\text{mm}$ ; für M3-Schrauben zur Befestigung der Batterieklemmen (Position ③) und Lampenfassungen (Position ④)  $\varnothing=3,0$  /  $T=6\text{mm}$ <sup>4</sup>; für die Lötnägel (Position ⑤)  $\varnothing=1,5$  /  $T=5\text{mm}$ ; für die 0,5mm-Buchsen (Position ⑥)  $\varnothing=1,5$  /  $T=9\text{mm}$ .<sup>5</sup>

Dann werden die Batterieklemmen und Lampenfassungen mit M3-Schrauben (Kreuzschlitz mit Zylinderkopf) auf der MDF-Platte befestigt. Die 0,5mm-Buchsen (Position ⑥) werden vorsichtig aus den Buchsenleisten nach oben herausdrückt; sie können auch dann verwendet werden, wenn dabei die Lötfeder auf der Unterseite abbricht. Die Buchsen und die Lötnägel werden in die MDF-Platte gesteckt (die Buchsen zu ca. einem Drittel). Von den 4mm-Buchsen (Positionen ① und ②) werden die Muttern, Unterlegscheiben und schwarzen bzw. roten Kappen entfernt und die Verjüngungen an der Unterseite abgekniffen. Dann wird Kupferdraht einfach um die Buchsen gewickelt und verdrillt, bevor die Buchsen etwa zur Hälfte in die 6mm-Bohrlöcher gedreht werden.

Entsprechend Abbildung 2 (rote und schwarze Linien) wird nun Kupferdraht zwischen die Buchsen, Lampenfassungen, Batterieklemmen und Lötnägel gespannt. Dazu werden die Buchsen und Lötnägel bzw. bei den Fassungen und Klemmen die Schraubenköpfe mit dem Kupferdraht einfach umwickelt und dann vorsichtig in die MDF-Platte hineingedrückt. Beim Löten ist darauf zu achten, dass kein Lötzinn in die 0,5mm-Buchsen läuft. Geschieht dies doch, kann das Lötzinn nach Erkalten mit einem 0,5mm-Bohrer entfernt werden.

---

2 Von einer Acrylplatte (wie auf den nachfolgenden Bildern zu sehen) wird abgeraten, zumindest was eine Verwendung durch Schülerinnen und Schüler anbelangt; die Fertigung ist ungleich aufwendiger und die Haltbarkeit geringer als bei MDF.

3 Das Experimentierbrett ist für eine Quellenspannung von maximal 3V ausgelegt. Diese Spannung darf nicht überschritten werden! **Achtung: Gefahr eines elektrischen Schlags durch die offen liegenden Leitungen!** Hinweis: Anstelle der 4mm-Buchsen können auch Lötnägel angebracht werden.

4 Die Bohrlöcher zur zusätzlichen Befestigung der Batterieklemmen und Lampenfassungen sind nicht auf der technischen Zeichnung (Abb. 2) angegeben, da sie vom jeweiligen Fabrikat der Klemmen bzw. Fassungen abhängen.

5 Die Löcher für Buchsen, Lötnägel und Schrauben können alternativ auch gefräst werden. Eine Fräsdatei kann unter <http://www.instructables.com/id/introduction-to-electricity/> heruntergeladen werden.

Die Herstellung leitender Verbindungen zwischen den elektrischen Bauteilen erfolgt durch Drähte mit einem Durchmesser von 0,5mm, die dazu in die 0,5mm-Buchsen gesteckt werden.<sup>6</sup> Sie können von den Schülerinnen und Schülern bedarfsgerecht abgelängt und verwendet werden. Bereits fertig abgelängte Drähte bergen den Nachteil, dass ihre Verwendung durch die Länge bereits ersichtlich sein kann und die Schülerinnen und Schüler weniger Anreiz haben, selbst herauszufinden, zwischen welchen Buchsen leitende Verbindungen hergestellt werden müssen. Alternativ zu Draht können auch *jumper wires* eingesetzt werden, die jedoch zum einen deutlich kostspieliger in der Anschaffung sind und bei denen zum anderen die Kabel (Litzen) isoliert und daher nicht sichtbar sind. Letzteres widerspricht dem Konstruktionsprinzip weitgehend transparenter Schaltungen, das der Gestaltung des Experimentierbretts zugrunde liegt (s.o.).

## 1.2 Terminologie

Das Wort „Strom“ sollte stets mit Artikel verwendet werden, denn mit dem *elektrischen Strom* ist nicht eine Menge, sondern ein Vorgang gemeint: das *Fließen elektrischer Ladung*.<sup>7</sup> Ausdrücke wie etwa „Stromverbrauch“ oder „der Strom fließt“ sollten daher vermieden werden. Schließlich ist es ebenso sinnlos, davon zu reden, dass das Fließen elektrischer Ladung fließt, wie davon, dass der Vorgang eines Fließens verbraucht wird.

Der Begriff *elektrischer Verbraucher* verleitet zu der Annahme, dass er „Strom verbraucht“. Dies ist schon in Bezug auf die Verwendung des Wortes Strom sinnlos (s.o.), und es ist mit Blick auf die Vorgänge im Verbraucher auch irreführend. In einem elektrischen Verbraucher (etwa einer Glühbirne, einem Elektromotor o.ä.) wird *elektrische Energie* in eine andere Energieform umgewandelt (etwa in Strahlungs-, Bewegungs- oder thermische Energie). Gemäß dem Energieerhaltungssatz wird aber keine Energie verbraucht. Der Begriff Verbraucher ist also ungünstig gewählt. Alternativ von einem „Energiewandler“ zu sprechen, kann jedoch auch nicht überzeugen, denn auch elektrische Energiequellen sind Energiewandler:

---

6 Bei Verwendung von Buchsen mit einem Innendurchmesser von 0.8mm müssen entsprechend 0.8mm-Drähte verwendet werden.

7 Die elektrische Ladung (auch *Elektrizität* genannt) befindet sich in einem Kreislauf von der elektrischen Energiequelle über den Verbraucher zurück zur Energiequelle. Er wird *elektrischer Stromkreis* genannt.

hier wird chemische (bspw. in der Batterie), Strahlungs- (z.B. in der Solarzelle) oder Bewegungsenergie (z.B. im Generator) in elektrische Energie umgewandelt. Weniger missverständlich wären möglicherweise Begriffe wie „Verwender“ (elektrische Energie wird zum Betrieb eines Motors, einer Lampe o.ä. verwendet) oder „Aktor“ (was allerdings erst in Abgrenzung zum Sensor vollends Sinn erhält). Etabliert hat sich indessen *Verbraucher*, und so gilt es, einem falschen Verständnis dieses Begriffs entgegenzuwirken.

Die Begriffe *elektrische Stromstärke* und *elektrische Spannung*<sup>8</sup> sollten im Fach Naturphänomene und Technik (NpT) noch nicht verwendet werden. Sie werden im Physikunterricht in der Mittelstufe eingeführt. Wird die vorliegende Unterrichtseinheit hingegen im Anfangsunterricht in Naturwissenschaft und Technik (NwT) durchgeführt, können und sollten die im Physikunterricht bereits eingeführten Begriffe natürlich verwendet werden. Im Folgenden orientiert sich die Terminologie am Unterricht für die Unterstufe.

---

8 Die *elektrische Stromstärke* ist ein Maß dafür, wie viel elektrische Ladung pro Zeiteinheit durch eine vorgegebene Fläche (z.B. den Querschnitt eines Kabels) fließt. Die *elektrische Spannung* gibt die Potenzialdifferenz zwischen den Polen der Spannungsquelle an und ist ein Maß dafür, wie stark die elektrische Ladung in der Spannungsquelle angetrieben wird.

## 2 | Lehrgang zur Einführung in die Elektrizitätslehre

In diesem Kapitel werden die einzelnen Lektionen des Lehrgangs vorgestellt. Sie entsprechen nicht einzelnen Unterrichtsstunden, sondern stellen Lerninhalte dar, die aufeinander aufbauen und gemeinsam einen Einstieg in die Elektrizitätslehre auf dem Niveau der Unterstufe zum Ziel haben.

### 2.1 Einfacher elektrischer Stromkreis

Die Schülerinnen und Schüler erhalten (je zu zweit oder zu dritt) ein Experimentierbrett, eine Batterie (Mignon, AA) und eine Glühbirne (E10, 2,2V). Sie haben den Auftrag, die Glühbirne zum Leuchten zu bringen (vgl. Abbildung 3). Der 0,5mm-Draht steht den Schülerinnen und Schülern stets zum Ablängen zur Verfügung. Dabei sollten sie jedoch ökonomisch vorgehen.



Im Anschluss an die Experimentalphase werden die Bedingungen für das Leuchten der Glühbirne mit den Schülerinnen und Schülern herausgearbeitet. Erforderlich ist, dass die Glühbirne vollständig in die Lampenfassung geschraubt ist (einen elektrischen Kontakt stellt das Gewinde der Fassung dar, der andere befindet sich am Boden der Fassung) und dass die Lampenfassung unter vollständigem Schließen der „Lücken“ auf dem Experimentierbrett mit je einem Anschluss der Batterie verbunden ist. (Dabei ist es zunächst unerheblich, wie die Batterie eingesetzt wurde.)

Abb. 3: Versuchsaufbau  
„Einfacher Stromkreis“

Quelle: eigene Darstellung

Auf der Grundlage dieses Versuchs wird der Begriff *elektrischer Stromkreis*

eingeführt (s. Abbildung 4).

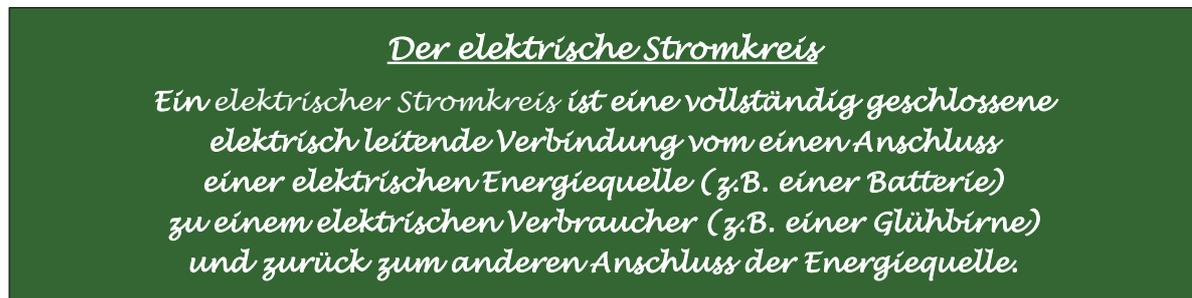


Abb. 4: Ergebnissicherung „Einfacher Stromkreis“

Quelle: eigene Darstellung

Außerdem lernen die Schülerinnen und Schüler, elektrische Schaltungen mithilfe von *Schaltzeichen* (auch *Schaltsymbole* genannt) durch *Schaltpläne* (*Schaltbilder*) darzustellen (s. Abbildung 5). Dabei werden Leitungen stets gerade und wo immer möglich nur waagrecht oder senkrecht gezeichnet. Ebenso sollten die Kabel auf dem Experimentierbrett nur waagrecht und senkrecht verlegt werden, indem der obere und untere Kupferdraht als Anschluss verwendet wird. Dadurch wird eine größtmögliche Ähnlichkeit zwischen Schaltung und Schaltbild gewährleistet.

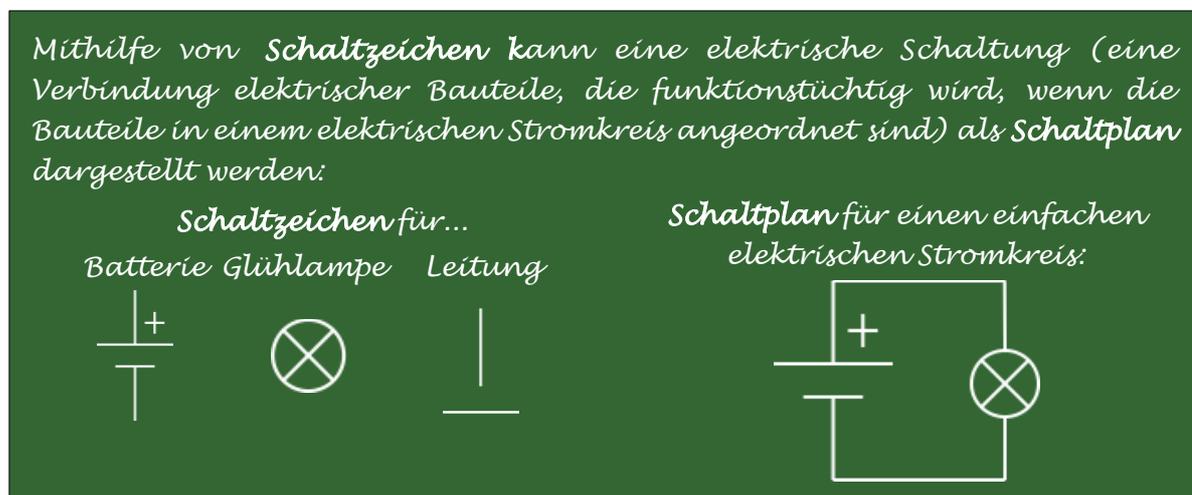


Abb. 5: Ergebnissicherung „Schaltzeichen und Schaltplan für einen einfachen Stromkreis“

Quelle: eigene Darstellung

## 2.2 Elektrische Leiter – elektrische Nichtleiter

Technisch und für den Erkenntnisgewinn der Schülerinnen und Schüler stellt der Leiter das einfachste Element des Stromkreises dar. Merkmale von Leitern und Nichtleitern werden daher im Anschluss an den elektrischen Stromkreis erarbeitet. Dazu erhalten die Schülerinnen und Schüler pro

Experimentierbrett je ein Paar Prüfkabel mit Krokodilklemmen, die mit je einem Lötnagel des Experimentierbretts verbunden werden. Mit den offenen Enden der Kabel untersuchen sie verschiedene Metalle (z.B. Kupfer, Eisen, Aluminium, auf keinen Fall aber Blei; vgl. Abbildung 7) und Nichtmetalle (z.B. Kunststoff, Papier, Holz; vgl. Abbildung 6) auf elektrische Leitfähigkeit. Dabei ist es sinnvoll, dass die Schülerinnen und Schüler eigene Gegenstände verwenden, z.B. ihr Geodreieck, ihren Bleistift, ihre Schere und so weiter. Bei den Leitern sollten aber auch einige Metalle ergänzend zur Verfügung gestellt werden, damit ein induktiver Erkenntnisschluss möglich ist.

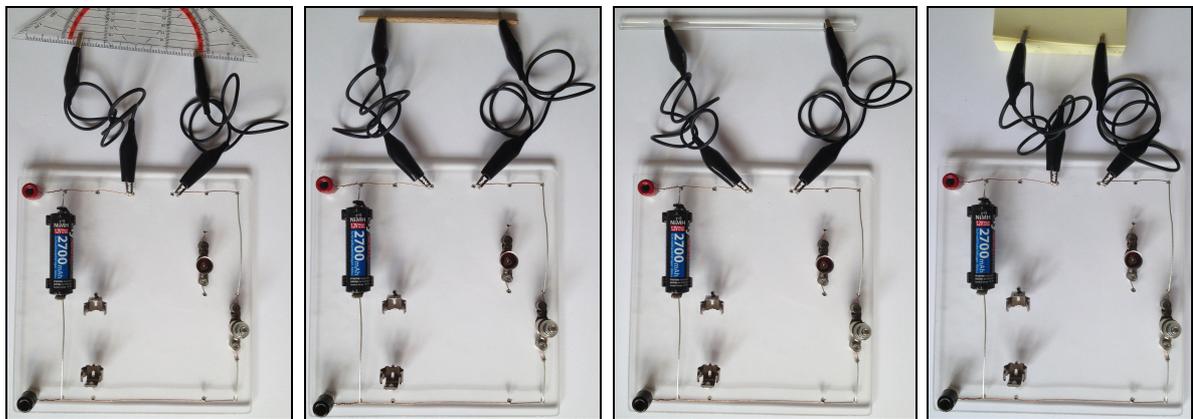


Abb. 6: Versuchsaufbauten „Nichtleiter“ (von links: Kunststoff, Holz, Glas, Papier)

Quelle: eigene Darstellung

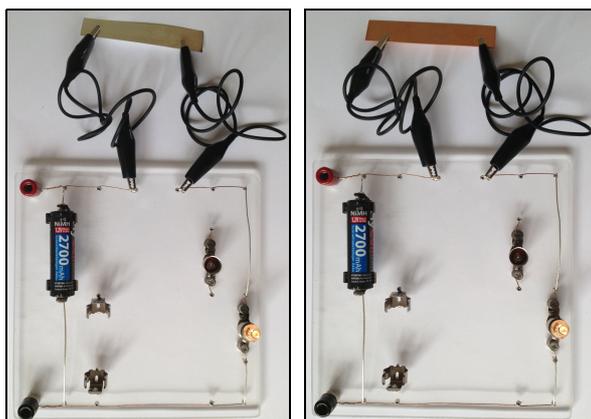


Abb. 7: Versuchsaufbauten „Leiter“  
(links: Silber, rechts: Kupfer)

Quelle: eigene Darstellung

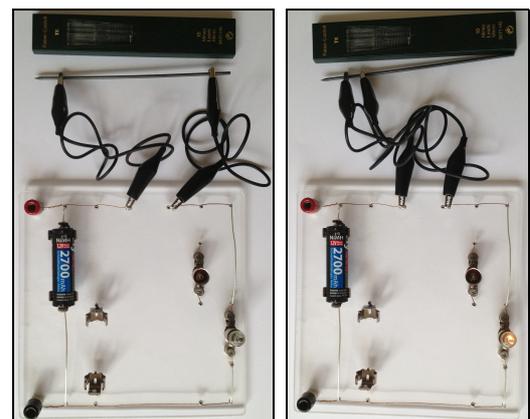


Abb. 8: Versuchsaufbauten „Halbleiter“  
(Bleistiftmine; links großer, rechts kleiner Widerstand)

Quelle: eigene Darstellung

Wenn die Schülerinnen und Schüler einen Druckbleistift besitzen, besteht die Möglichkeit, dass sie ihre Bleistiftmine auf elektrische Leitfähigkeit prüfen. Auch dies ist mit dem Experimentierbrett möglich (s. Abbildung 8). Sie sollten hierzu jedoch nicht angehalten werden. Denn die Begriffe

*Halbleiter* und *elektrischer Widerstand* sollten erst in der Mittelstufe im Physikunterricht erarbeitet werden. In diesem Lehrgang ebenso wie für die anschließende Produktentwicklung sind sie nicht von Bedeutung, und ein verfrühtes Einführen der Begriffe würde die hier zu thematisierende Abgrenzung von elektrischen Leitern und Nichtleitern nur erschweren.

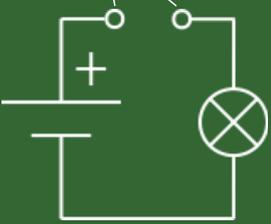
Die Schülerinnen und Schüler protokollieren tabellarisch die Ergebnisse ihrer Beobachtungen (vgl. Abbildung 9, Spalten 1 und 2). Dazu wird ihnen eine Tabelle vorgegeben. Die Auswertung (s. Abbildung 9, Spalte 3) sowie die Darstellung des Versuchsaufbaus in Form eines Schaltplans erfolgt in einem anschließenden Unterrichtsgespräch.

elektrische Leiter - elektrische Nichtleiter

□ Prüfung auf elektrische Leitfähigkeit □

1. Schaltplan:

lösbare Leitungsverzweigungen zum Anschließen von Stoffen



2. Beobachtungsergebnisse:

Material	Glühlampe leuchtet?	Material ist ein...
Kunststoff	nein	Nichtleiter
Holz	nein	Nichtleiter
Glas	nein	Nichtleiter
Papier	nein	Nichtleiter
Kupfer	ja	Leiter
Eisen	ja	Leiter
Silber	ja	Leiter
Aluminium	ja	Leiter

3. Erkenntnisse aus den Beobachtungsergebnissen:

Metalle sind elektrische Leiter; sie leiten den elektrischen Strom.  
 Nichtmetalle sind elektrische Nichtleiter;  
 sie leiten den elektrischen Strom nicht.

Abb. 9: Ergebnissicherung „elektrische Leiter - elektrische Nichtleiter“

Quelle: eigene Darstellung

Zur Vertiefung können folgende Fragen durch die Schülerinnen und Schüler beantwortet werden: Warum sind Kabel in der Regel mit Kunststoff beschichtet? Warum sind viele Batterien und Batteriefassungen an der Außenseite mit Kunststoff überzogen? Woraus sind die Kontakte von Batterien hingegen gefertigt und warum? Worauf muss beim Einsetzen von Batterien geachtet werden – wie dürfen sie dabei nicht angefasst werden?

## 2.3 Elektrische Schaltelemente

Bei den elektrischen Schaltelementen unterscheidet man zwischen jenen, die nach Betätigung in ihren Ausgangszustand zurückgehen (so genannte Taster) und solchen, die durch Betätigung ihren Zustand dauerhaft bis zur nächsten Betätigung verändern (so genannte Schalter).

### 2.3.1 Taster: Schließer und Öffner

Bei den Tastern werden Schließer und Öffner unterschieden. Bei Betätigung eines Schließers (etwa durch Drücken) wird ein elektrischer Stromkreis geschlossen. Endet die Betätigung, ist der Stromkreis wieder unterbrochen (Ausgangszustand des Schließers). Beim Öffner ist es umgekehrt: im Ausgangszustand ist der Stromkreis geschlossen, bei Betätigung geöffnet.

Das Prinzip eines Tasters kann mit einer Wäscheklammer veranschaulicht werden: im Ausgangszustand ist sie geschlossen, bei Betätigung (Zusammendrücken der Schenkel) geöffnet. Dementsprechend kann aus einer hölzernen Wäscheklammer ein elektrischer Öffner gefertigt werden. Dazu werden durch die Innenseiten der gewölbten Schenkel zwei Reißzwecken gedrückt (s. Abbildung 10, rechte Seite). Hieran können elektrische Leitungen angeschlossen und mit den Lötnägeln des Experimentierbretts verbunden werden (vgl. Abbildung 11).<sup>9</sup> Im Ausgangszustand haben die Leitungen einen elektrischen Kontakt, im betätigten Zustand (Öffnen der Wäscheklammer) nicht.



Abb. 10: Taster aus einer Wäscheklammer

Quelle: eigene Darstellung



Abb. 11: Öffner im Ausgangs- (links) und betätigten Zustand (rechts)

Quelle: eigene Darstellung

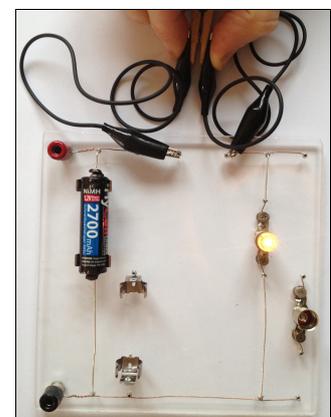


Abb. 12: Schließer im Ausgangs- (links) und betätigten Zustand (rechts)

Quelle: eigene Darstellung

<sup>9</sup> Achtung: Verletzungen durch überstehende Nagelspitzen müssen ausgeschlossen werden!

Werden die Reißzwecken hingegen in die Innenseiten der ebenen Schenkel gedrückt (s. Abbildung 10, linke Seite), funktioniert die Wäscheklammer als elektrischer Schließer (vgl. Abbildung 12).

### 2.3.2 Einschalter (Ein–Aus)

Das wohl bekannteste und zugleich einfachste Beispiel eines Schalters ist der Einschalter. Er kann durch Betätigen entweder Ein oder Aus gestellt werden, wodurch ein elektrischer Stromkreis bis zur nächsten Betätigung entweder geschlossen oder unterbrochen wird. Zur Veranschaulichung der Funktionsweise eines Einschalters erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Druckschalter, wie er auch für die zweite, produktorientierte Phase dieser Unterrichtseinheit verwendet werden kann (vgl. Kapitel 3)<sup>10</sup>. Der Mechanismus des Druckschalters ähnelt dem Federmechanismus eines Kugelschreibers: durch Drücken werden die Kontakte stets um 90° gedreht. Dadurch wird zwischen den Kontakten eine elektrische Verbindung abwechselnd hergestellt oder unterbrochen (vgl. Abbildung 13).

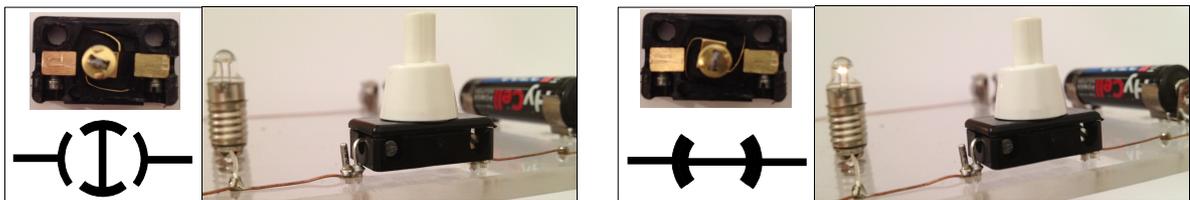


Abb. 13: Funktionsweise des Druckschalters (links: aus, rechts: ein)

Quelle: eigene Darstellung

Die Ergebnissicherung erfolgt analog zu Abbildung 14.

Einfache elektrische Schaltelemente

*Elektrische Schaltelemente dienen dem Schließen oder Öffnen eines elektrischen Stromkreises. Man unterscheidet:*

<p style="text-align: center;"><i>Taster</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><i>Öffner</i></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><i>Schließer</i></p>  </div> </div> <p style="text-align: center;"><i>öffnen bzw. schließen den Stromkreis nur, solange sie betätigt werden</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Schalter</i></p> <p style="text-align: center;"><i>z.B. Einschalter</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>schließen (Ein) bzw. öffnen (Aus) den Stromkreis durch Betätigung dauerhaft bis zur nächsten Betätigung</i></p>
--	---

Abb. 14: Ergebnissicherung „Schaltelemente“

Quelle: eigene Darstellung

<sup>10</sup> Der hier verwendete Druckschalter hat gegenüber den meisten herkömmlichen Schaltern den Vorteil, dass er über Lüsterklemmen (und nicht Lötverbindungen) angeschlossen wird und daher leicht ein- und ausgebaut werden kann.

Komplexere Typen von Schaltern wie beispielsweise Umschalter sollten im Zuge dieser Unterrichtseinheit nicht eingeführt werden.

## 2.4 Elektrische Verbraucher

### 2.4.1 Arten von elektrischen Verbrauchern

In einem Unterrichtsgespräch werden verschiedene Beispiele für elektrische Verbraucher nach ihrem Zweck in einer kleinen Mindmap angeordnet (vgl. Abbildung 15). Dabei sollte je ein Beispiel in einem Demonstrationsversuch veranschaulicht werden. Für die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme kann Konstantendraht verwendet werden.

Im Anschluss wird der *elektrische Verbraucher* definiert (s. Abbildung 15). Dabei werden Begriffe wie Strahlungs-, Bewegungs- oder thermische Energie vermieden. Außerdem wird vernachlässigt, dass auch eine Umwandlung in chemische Energie (z.B. in Elektrolyseanlagen) erfolgen kann.

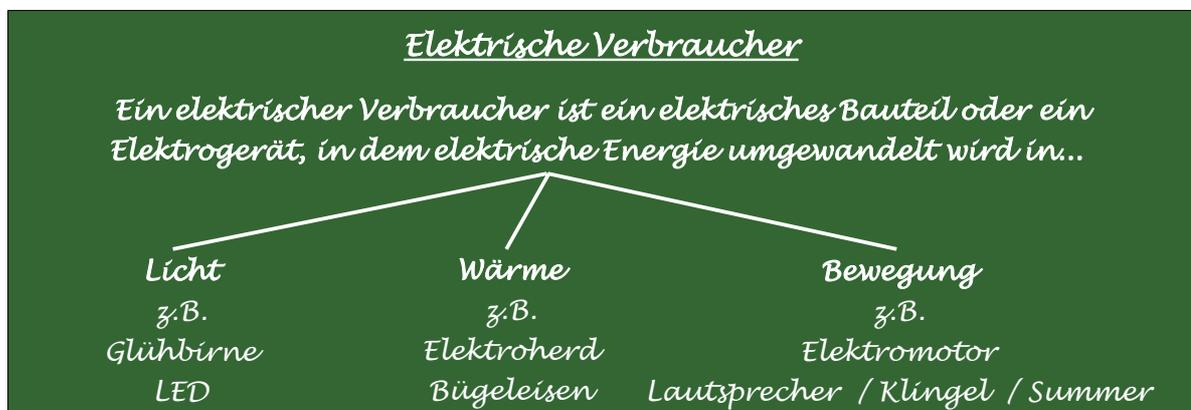


Abb. 15: Ergebnissicherung „Arten von Verbrauchern“

Quelle: eigene Darstellung

Dass auch Lautsprecher elektrische Energie in Bewegungsenergie umwandeln (wobei eine tonerzeugende Bewegung der Membran des Lautsprechers bezweckt wird<sup>11</sup>), wird den meisten Schülerinnen und Schülern nicht ohne weiteres einleuchten. Hier kann es sinnvoll sein, die Bewegung einer Lautsprechermembran erfühlen zu lassen und auf andere Phänomene zu verweisen, bei denen eine Lautentwicklung durch Bewegung

<sup>11</sup> Dies gilt auch für Piezolausprecher (oder Piezosummer), wo ein Quarzkristall (Piezokristall) durch das Anlegen von elektrischer Spannung zum Schwingen gebracht wird: diese Bewegung wird auf eine kleine Membran übertragen, wodurch eine Amplitude im Hochtonbereich erzeugt wird.

erfolgt. Beispiele hierfür sind die Fahrradklingel (auch hier kann die Bewegung der Metallglocke mit dem Fingernagel erspürt werden) oder etwa das Summen durch die Flügelbewegung bei den Insekten.

Die Leuchtdiode (LED) sollte wegen ihrer hohen Bekanntheit genannt werden (oder zumindest in das Schema aufgenommen werden, wenn sie genannt wird). Ihre Verwendung ist hingegen im Rahmen dieser Unterrichtseinheit nicht vorgesehen, weshalb auch ihr Schaltsymbol nicht zwingend eingeführt werden muss. Dasselbe gilt für die elektrische Klingel. Der Summer wird hingegen in der zweiten Phase verwendet (s. Kapitel 3), weshalb er bereits hier sinnvoll eingeführt werden kann.

#### 2.4.2 Elektrische Verbraucher in Reihen- und Parallelschaltung

Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag, nun zwei Glühbirnen zum Leuchten zu bringen. Sie bekommen nach wie vor nur eine Batterie. Sie sollten gegebenenfalls angehalten werden, die Verbindungen stets nur horizontal oder vertikal anzubringen und nicht „kreuz und quer“. Dies erhöht die Übersichtlichkeit der immer komplexeren Schaltungen (und Schaltpläne) und vermeidet Kurzschlüsse<sup>12</sup>.

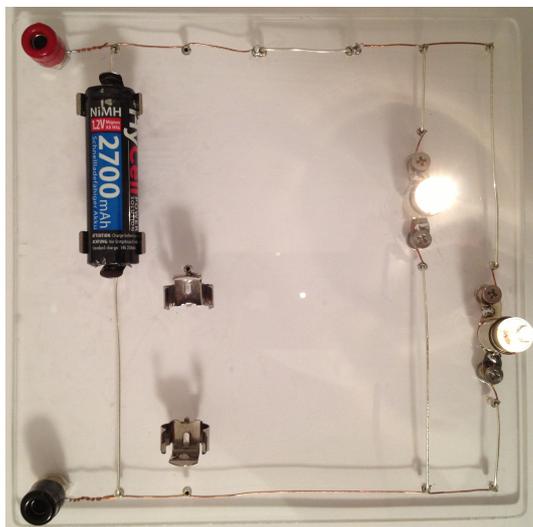


Abb. 16: Versuchsaufbau „Parallelschaltung zweier Glühbirnen“

Quelle: eigene Darstellung

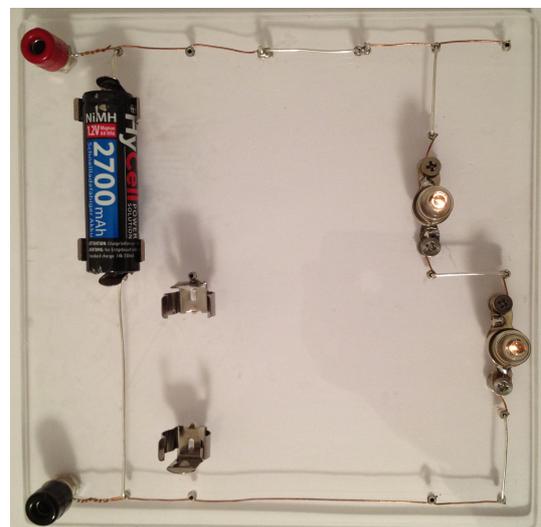


Abb. 17: Versuchsaufbau „Reihenschaltung zweier Glühbirnen“

Quelle: eigene Darstellung

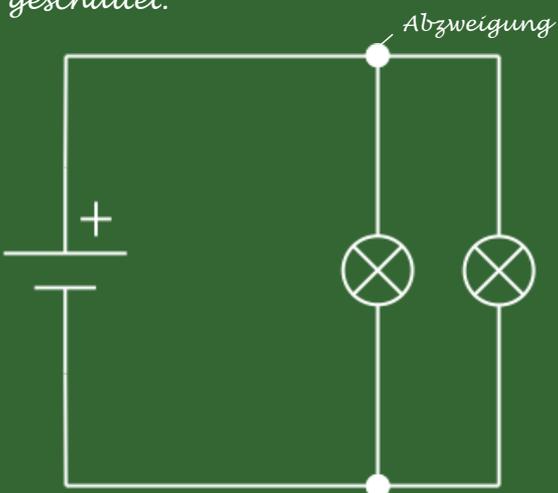
Während einige Schülerinnen und Schüler die zwei Glühbirnen in Reihe (seriell) schalten, werden andere sie parallel schalten (vgl. Abbildungen 16 und 17). Am Ende überwiegt häufig die Parallelschaltung, weil die

<sup>12</sup> Ein Kurzschluss ist eine direkte Verbindung der beiden Pole einer elektrischen Energiequelle, die nahezu widerstandslos ist. Dadurch fließt zwischen den beiden Anschlüssen ein hoher Strom, der ein Vielfaches des Betriebsstroms beträgt und Schäden durch Überhitzung in den elektrischen Bauteilen hervorrufen kann.

Schülerinnen und Schüler den Eindruck haben, es sei die „richtige“ Lösung, da die Glühbirnen so heller leuchten. Dies soll Anlass sein, Aufbau und Merkmale der Reihen- und Parallelschaltung von elektrischen Verbrauchern zu untersuchen.

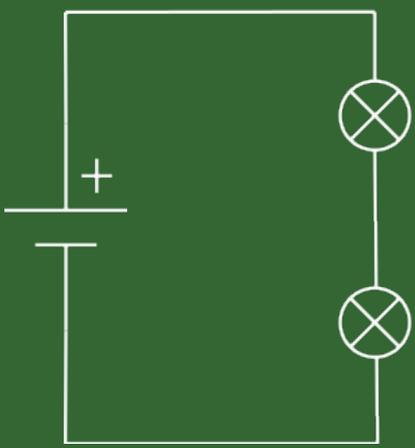
Reihen- und Parallelschaltung von elektrischen Verbrauchern

*Werden zwei Glühbirnen unabhängig voneinander mit der elektrischen Energiequelle verbunden, sind sie parallel geschaltet.*



*Zwei parallel geschaltete Glühbirnen leuchten hell. Jede leuchtet so hell, wie eine einzelne Glühbirne an derselben elektrischen Energiequelle. Außerdem leuchten sie unabhängig von einander, denn jede Glühbirne bildet einen eigenen Stromkreis mit der elektrischen Energiequelle.*

*Werden zwei Glühbirnen miteinander leitend verbunden, sind sie in Reihe geschaltet.*



*Zwei in Reihe geschaltete Glühbirnen leuchten nur schwach und nur abhängig von einander: wird eine Glühbirne entfernt oder ist eine kaputt, leuchtet die andere nicht mehr, denn der Stromkreis ist dann nicht mehr geschlossen.*

**Abb. 18:** Ergebnissicherung „Reihen- und Parallelschaltung von elektrischen Verbrauchern“

Quelle: eigene Darstellung

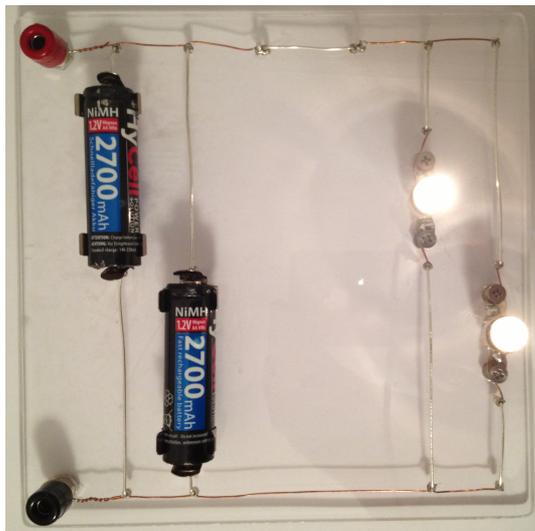
Dabei ist festzustellen, dass die Glühbirnen in Parallelschaltung deutlich heller leuchten als in Reihenschaltung, nämlich genauso hell, wie wenn nur eine Glühbirne an die Spannungsquelle angeschlossen ist. Außerdem leuchten sie in Parallelschaltung anders als in Reihenschaltung unabhängig von einander (s. Abbildung 18), wie leicht ersichtlich ist, wenn eine der Glühbirnen entfernt wird. Aus diesen Gründen sind beispielsweise Vorder-

und Rücklicht am Fahrrad oder auch die Lampen in einem Gebäude parallel geschaltet. In der Regel können die Schülerinnen und Schüler darauf schließen, dass die Batterie bei einer Parallelschaltung der Glühbirnen im Vergleich zur Reihenschaltung allerdings auch weniger lange "hält", also schneller keine elektrische Energie mehr bereit stellen kann.

Auf der Grundlage des einfachen Stromkreises (s. Kapitel 2.1) werden die Schaltpläne für die Parallel- und Reihenschaltung zweier Glühbirnen entwickelt und die erarbeiteten Merkmale festgehalten (s. Abbildung 18). Dabei wird als neues Schaltsymbol die Abzweigung (feste Leitungsverzweigung,  $\text{---}\overset{\uparrow}{\text{---}}$ ) eingeführt.<sup>13</sup>

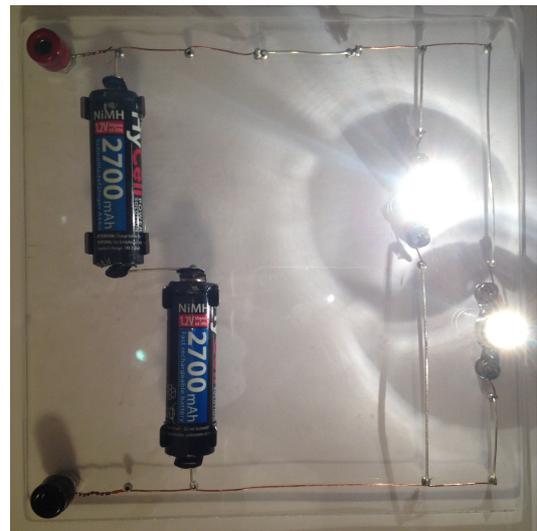
## 2.5 Elektrische Energiequellen

### 2.5.1 Batterien in Parallel- und Reihenschaltung



**Abb. 19:** Versuchsaufbau „Parallelschaltung von zwei 1,5V-Batterien“

Quelle: eigene Darstellung



**Abb. 20:** Versuchsaufbau „Reihenschaltung zweier 1,5V-Batterien“

Quelle: eigene Darstellung

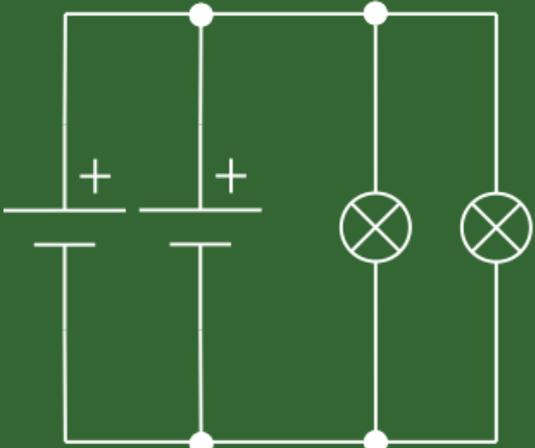
Nun erhalten die Schülerinnen und Schüler zusätzlich zu den zwei Glühbirnen auch zwei 1,5V-Mignonbatterien. Sie haben den Auftrag,

<sup>13</sup> Hinweis: Einigen Schülern fällt es nicht leicht zu verstehen, dass die Glühbirnen im Schaltplan nicht versetzt wie auf dem Experimentierbrett (vgl. Abbildungen 16 und 17) sondern im Falle der Parallelschaltung neben- bzw. bei der Reihenschaltung untereinander angeordnet werden (können). Hier hilft die Überlegung, dass die räumliche Anordnung von Glühbirnen, etwa bei einer sternförmigen Weihnachtsbeleuchtung, ja nichts darüber aussagt, ob diese in Reihe oder parallel geschaltet sind; entscheidend ist vielmehr der Verlauf der Leitungen, also ob die Glühbirnen alle miteinander verbunden (Reihenschaltung) sind oder ob jede ihre eigenen Anschlüsse zur elektrischen Energiequelle hat und mit ihr einen eigenen elektrischen Stromkreis bildet (Parallelschaltung).

Unterschiede bei der Reihen- und Parallelschaltung zweier Batterien zu untersuchen.

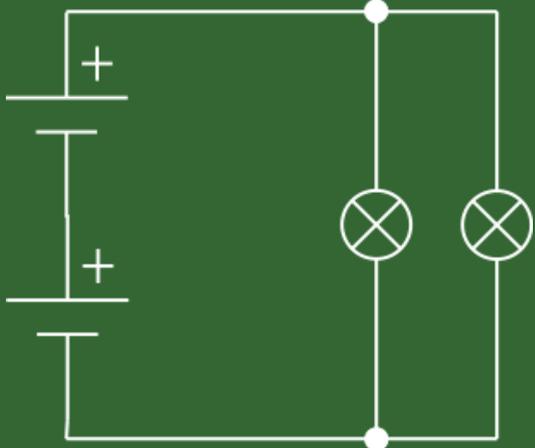
Reihen- und Parallelschaltung von elektrischen Energiequellen

*Werden zwei Batterien unabhängig von einander in den Stromkreis angeschlossen, sind sie parallel geschaltet.*



*Bei zwei parallel geschalteten 1,5V-Batterien leuchten die Glühlampen genauso hell, wie wenn nur eine 1,5V-Batterie angeschlossen ist. Dafür „halten“ sie doppelt so lange (solange die gleichen elektrischen Verbraucher angeschlossen sind).*

*Werden zwei Batterien miteinander leitend verbunden in den Stromkreis angeschlossen, sind sie in Reihe geschaltet.*



*Bei zwei in Reihe geschalteten 1,5V-Batterien leuchten die Glühlampen deutlich heller, als wenn nur eine 1,5V-Batterie angeschlossen ist. Die beiden Batterien werden durch die Reihenschaltung zu einer „3V-Batterie“ kombiniert.*

**Abb. 21:** Ergebnissicherung „Reihen- und Parallelschaltung von elektrischen Energiequellen“

Quelle: eigene Darstellung

Auf der Grundlage ihrer Erfahrungen mit der Reihen- und Parallelschaltung zweier Glühlampen (s. Kapitel 2.4.2) erwarten viele Schülerinnen und Schüler, dass die Glühlampen bei einer Parallelschaltung der Batterien heller leuchten als bei einer Reihenschaltung. Im Widerspruch dazu zeigt der Versuch, dass die Glühlampen deutlich heller leuchten, wenn die Batterien in Reihe geschaltet werden (vgl. Abbildungen 19 und 20).

Dies lässt sich damit erklären, dass zwei 1,5V-Batterien durch Reihenschaltung zu einer „3V-Batterie“ kombiniert werden. Genauso sind auch 4,5V-Flachbatterien (3 x 1,5V in Reihe) oder 9V-Blockbatterien

(6 x 1,5V in Reihe) aufgebaut. Eine Möglichkeit zur Ergebnissicherung veranschaulicht Abbildung 21.

### 2.5.2 Wichtiges Alltagswissen zu Batterien (fakultativ)

Nicht selten gibt es Schülerinnen und Schüler, die durch direkte Verbindung von Plus- und Minuspol einer Batterie einen elektrischen Kurzschluss (s. Fußnote 11) verursachen. Die dadurch verursachte Wärmeentwicklung veranschaulicht selbst bei einer 1,5V-Mignonbatterie sehr deutlich das Phänomen und die Folgen des Kurzschlusses. Die Schülerinnen und Schüler sollten im Umgang mit elektrischen Energiequellen darauf hingewiesen werden, dass ein Kurzschluss in jedem Fall vermieden werden muss. Dies gilt auch bereits für das Einlegen einer Batterie: hierbei darf sie nicht am Plus- und Minuspol angefasst werden (außer mit Handschuhen), sondern an den isolierten, nichtleitenden Seiten. Denn auch der menschliche Körper leitet den elektrischen Strom – wenn auch schlecht, so doch ausreichend, um einen Kurzschluss und infolgedessen einen Spannungsabfall an der elektrischen Energiequelle zu verursachen.

Desweiteren sollte die Entsorgung von Batterien mit den Schülerinnen und Schülern thematisiert werden. Die fachgerechte Entsorgung erfolgt über den Fachhandel. Dabei ist der Verbraucher zur Rückgabe und der Handel (jede Stelle, die Batterien verkauft) zur Rücknahme gesetzlich verpflichtet! Im Handel finden sich üblicherweise Sammelboxen, in die die Batterien gegeben werden dürfen. Eine ordnungsgemäße Entsorgung von Batterien ist nicht nur wichtig, um Belastungen der Umwelt zu vermeiden. Sie dient auch der Nutzung von Rohstoffen, die zur Herstellung neuer Batterien und Akkus genutzt werden können.

## 2.6 Zusammenfassung elektrischer Bauteile und ihrer Schaltsymbole

Die nachfolgend genannten elektrischen Bauteile und ihre Schaltsymbole wurden in diesem Lehrgang eingeführt. Ein Memory-Spiel zur Festigung und Systematisierung der Schaltsymbole und der eingeführten elektrischen Schaltungen befindet sich im Anhang.

## Elektrische Energiequellen:

- allgemein 

- Batterie 

## Leitungen:

- Leitung 

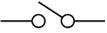
- Leitungsverzweigung, lösbar 

- Leitungsverzweigung, fest 

## Schaltelemente:

- Schließer 

- Öffner 

- Einschalter (Ein-Aus) 

## Verbraucher:

- Glühbirne 

- Piezosummer 

### 3 Entwicklung, Konstruktion und Fertigung eines elektrischen Geschicklichkeitsspiels

Ziel dieses zweiten Teils der Unterrichtseinheit zur Einführung in die Elektrizitätslehre ist die Entwicklung, Konstruktion und Fertigung eines elektrischen Geschicklichkeitsspiels auf der Grundlage der im Lehrgang erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten (s. Kapitel 3). Zwei Beispiele, „Heißer Draht“ und „Ruhige Hand“ genannt, werden in diesem Kapitel vorgestellt.

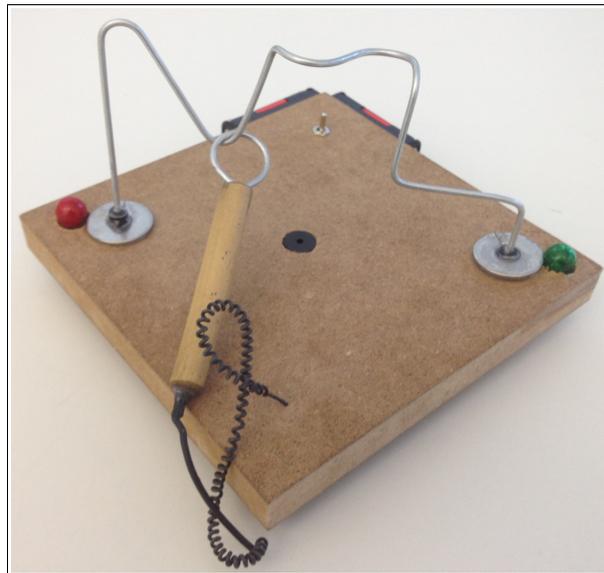


Abb. 22: Demonstrationsmodell „Heißer Draht“ mit auf der Unterseite angebrachten elektronischen Leitungen

Quelle: eigene Darstellung

Mit Blick auf die Motivation und Zielorientierung der Schülerinnen und Schüler ist es sinnvoll, ihnen schon vor Beginn des Lehrgangs einen Ausblick auf das zu fertigende Produkt zu geben (vgl. Abbildung 25<sup>14</sup>).

<sup>14</sup> Das von Ausbildern der Seminare Heidelberg und Tübingen sowie Fachberatern am Regierungspräsidium Stuttgart (Hasenauer, D./ Späth, C./ Trittlar, F./ Wegenast, J.: Bad Wildbad, 18.–21.12.2013) entwickelte AQuARea-Modell für den gymnasialen Technikunterricht schlägt eine Struktur von Unterrichtseinheiten aus Ausblick, Qualifizierung, Auftrag und Realisierung vor. Dabei ist die Realisierung die Umsetzung des Auftrags durch Entwerfen, Konstruieren, Fertigen und/ oder Montieren. Bei komplexeren Aufträgen können zusätzlich so genannte PEP-begleitende Prozesse sinnvoll sein, insbesondere ein Projekt- und Risikomanagement.

Dazu eignet sich ein Demonstrationsmodell (vgl. Abbildung 22), mit dem die Funktion des Spiels veranschaulicht werden kann (s. Abbildungen 23 und 24), bei dem die elektrische Schaltung jedoch „versteckt“ bleibt.

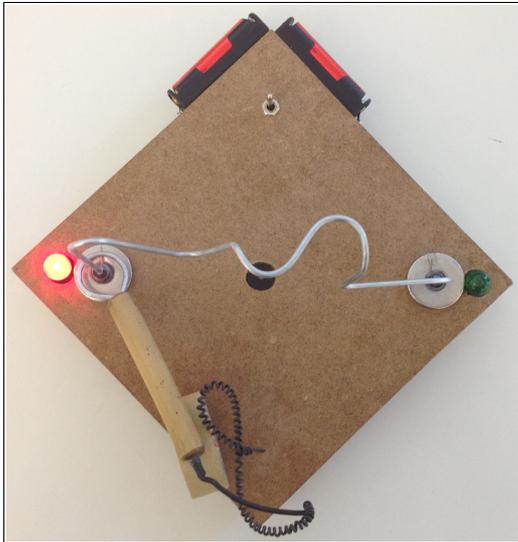


Abb. 23: Funktion des Demonstrationsmodells „Heißer Draht“ – Start

Quelle: eigene Darstellung



Abb. 24: Funktion des Demonstrationsmodells „Heißer Draht“ – Ende

Quelle: eigene Darstellung

Die Entwicklung des Spiels kann in einer zweiten Phase erfolgen oder auch in den Lehrgang integriert sein. In letztgenanntem Fall wird nach jeder Lektion (gemeinsam oder in Kleingruppen) überlegt, inwieweit die neu gewonnenen Erkenntnisse für das Geschicklichkeitsspiel von Nutzen sein können. Hierfür spricht neben der Komplexität der Aufgabe (alle Lektionen des Lehrgangs sind relevant) auch die Altersstufe. Auf der anderen Seite kann das Spiel erst am Ende des Lehrgangs und auf der Grundlage des Auftrags vollständig entwickelt werden, von der Konstruktion und Fertigung ganz zu schweigen. Außerdem erleichtert eine Trennung der Phasen (vgl. Abbildung 25) die Hinführung der Schülerinnen und Schüler an den Produktentstehungsprozess (PEP, vgl. Abbildung 26). Möglich ist es aber auch in diesem Fall, schon während des Lehrgangs nach Abschluss einer Lektion den Blick auf das anvisierte Produkt zu lenken, allein schon um „das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren“.

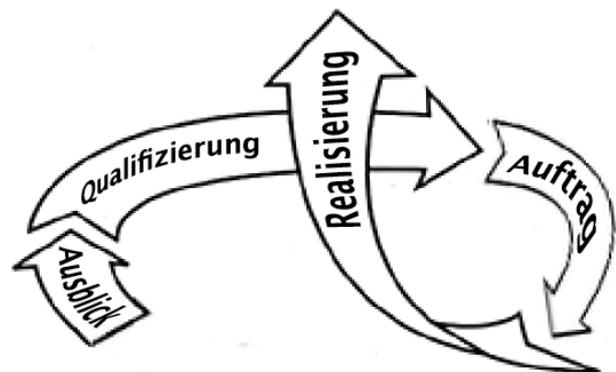


Abb. 25: Strukturmodell einer gymnasialen Technik-Unterrichtseinheit (AQuARea-Modell)

Quelle: eigene Darstellung

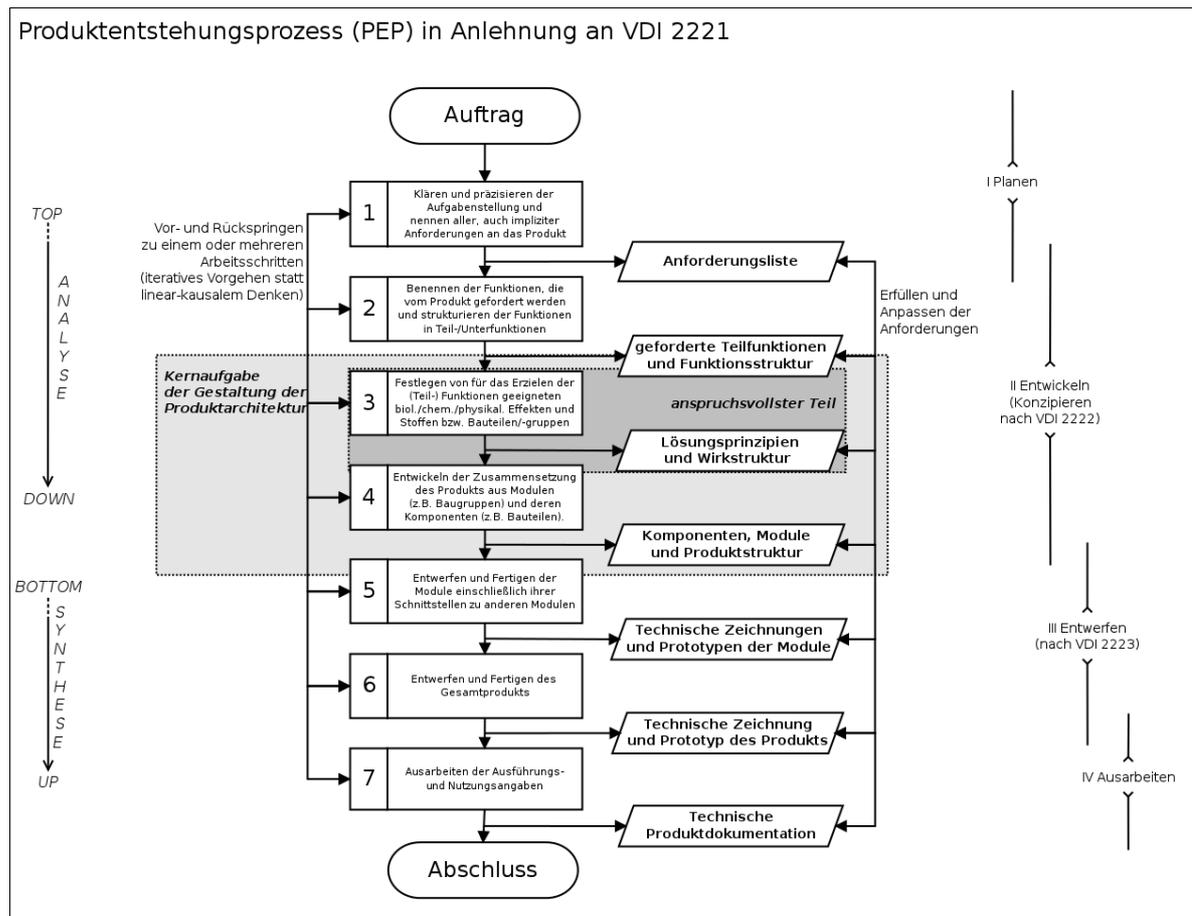


Abb. 26: Der Produktentstehungsprozess in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2221 (VDI 1995)

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1 Der „Heiße Draht“

Der Einstieg in den Produktentstehungsprozess für den „Heißen Draht“ erfolgt auf der Grundlage eines Auftrags analog zu Abbildung 27. In didaktischer Hinsicht handelt es sich dabei um eine Entwicklungs-, Konstruktions- und Fertigungsaufgabe. Dabei ist allerdings nicht beabsichtigt, dass die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe selbständig lösen. Vielmehr dient sie der Einführung in das Entwickeln, Konstruieren und Fertigen technischer Produkte.

Entwickle, konstruiere und fertige das elektronische Geschicklichkeitsspiel „Heißer Draht“. Dabei soll nicht nur eine Berührung des Heißen Drahts, sondern auch das Erreichen von Start und Ziel zur Ausgabe geeigneter Signale führen, damit die Zeit für das Bestehen des Spiels eindeutig gemessen und verglichen werden kann.

Abb. 27: Entwicklungs-, Konstruktions- und Fertigungsaufgabe für den „Heißen Draht“

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1.1 Anforderungsliste

Der erste Schritt besteht in einer Klärung und Präzisierung des Auftrags (vgl. Abbildung 26). Ziel ist die Festlegung der an das Produkt gestellten Anforderungen in Form einer Anforderungsliste (s. Abbildung 28). Anforderungen werden aus *Bedingung - Subjekt - Anforderungswort (darf/ muss / soll /...)* - *Objekt - Aktion* in flexibler Reihenfolge formuliert.

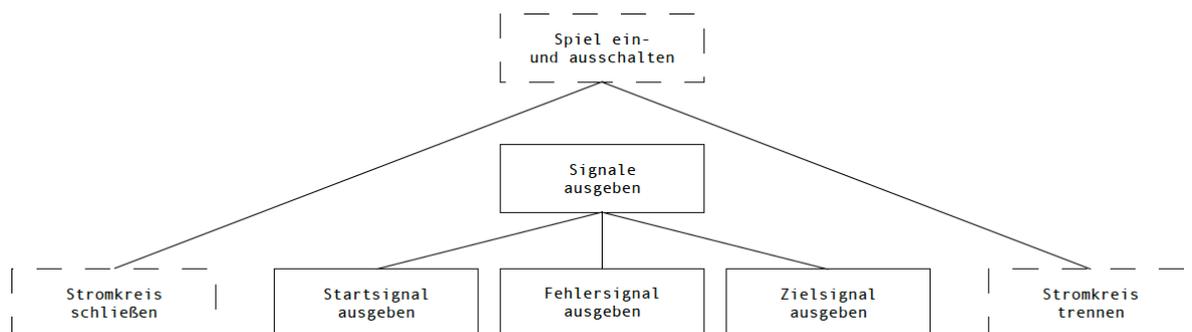
1. Wenn der Heiße Draht durch die Metallschleufe berührt wird, muss ein Signal ausgegeben werden.
2. Sobald die Metallschleufe das Ende des Heißen Drahts erreicht hat, soll ein Signal ausgegeben werden.
3. Solange die Metallschleufe auf der Startposition liegt, soll ein Signal ausgegeben werden.
4. Die drei Signale müssen unabhängig voneinander ausgelöst werden.
5. Das Spiel soll ein- und ausgeschaltet werden können.
6. Der Spieler muss die Metallschleufe so halten können, dass er nicht mit dem elektrischen Strom in Kontakt kommt.

**Abb. 28:** Beispiel einer Anforderungsliste für den „Heißen Draht“

Quelle: eigene Darstellung

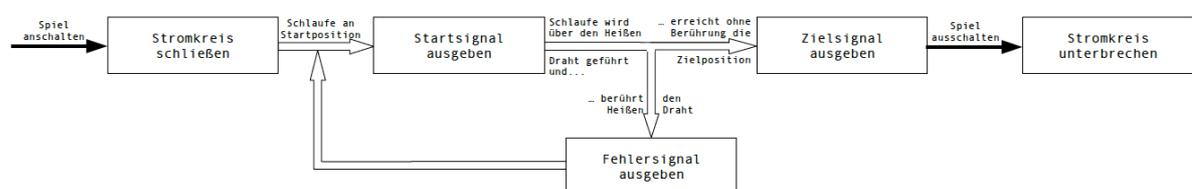
### 3.1.2 Teilfunktionen und Funktionsstruktur

Im zweiten Schritt des PEP werden Funktionen des Produkts genannt und in einer Funktionsstruktur angeordnet (vgl. Abbildungen 29 und 30). Sie veranschaulicht die Funktionsweise des Produkts.



**Abb. 29:** Beispiel einer Funktionsstruktur für den „Heißen Draht“ nach dem Substantiv-Verb-Modell

Quelle: eigene Darstellung



**Abb. 30:** Beispiel einer Funktionsstruktur für den „Heißen Draht“ nach dem Input-Output-Modell

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1.3 Lösungsprinzipien und Wirkstruktur

Der dritte Schritt im Produktentstehungsprozess besteht in der Festlegung der Komponenten, mit denen die Teilfunktionen bewirkt werden können. Sie werden zu einer Wirkstruktur angeordnet. Im Fall elektrischer Produkte handelt es sich bei den Komponenten in erster Linie um elektrische Bauteile, und die Wirkstruktur wird in Form eines Schaltplans festgelegt (Feldhusen/ Grote 2013, S. 249).

Die Teilfunktionen „Stromkreis schließen“ und „Stromkreis unterbrechen“ können mit einem elektrischen Schaltelement bewirkt werden. Da der elektrische Stromkreis nach Betätigung des Schaltelements und bis zur nächsten Betätigung seinen Zustand (geschlossen oder unterbrochen) beibehalten soll, ist ein Einschalter (Ein–Aus,  $\text{---}\circ\text{---}$ ) geeignet.

Zur Signalausgabe eignen sich Ton- oder Lichtsignale. Die Ausgabe eines Fehlersignals im Fall einer Berührung des „Heißen Drahts“ kann durch einen Piezo-Summer ( $\text{---}\text{---}\text{---}$ ) bewirkt werden. Start- und Zielsignal können durch Glühlampen ( $\text{---}\otimes\text{---}$ ) ausgegeben werden.

Der eigentliche „Heiße Draht“ ist eine elektrische Leitung ( $\text{---}$ ). Die Metallschleufe, die berührungsfrei um den „Heißen Draht“ geführt werden muss, kann durch eine lösbare elektrische Leitung ( $\text{---}\text{---}\text{---}$ ) realisiert werden. Ein Kontakt des Spielers mit dem elektrischen Strom kann durch eine Isolierung des Griffs durch ein nichtleitendes Material (Holz oder Kunststoff) ausgeschlossen werden.

Die elektrische Energiequelle muss so dimensioniert werden (s. Kapitel 3.1.5), dass die elektrischen Verbraucher betrieben werden können. Dies kann durch eine Reihenschaltung von Batterien ( $\text{---}\text{---}\text{---}$ ) bewirkt werden.

Die Batterien müssen mit dem Schalter, den elektrischen Verbrauchern, dem „Heißen Draht“ und der Metallschleufe einen elektrischen Stromkreis bilden. Dabei müssen der Piezo-Summer, die Start- und die Ziel-Glühlampe parallel geschaltet sein, damit sie unabhängig voneinander Signale ausgeben können. Der Piezo-Summer muss wiederum mit dem „Heißer Draht“ in Reihe geschaltet sein, damit er einen Ton ausgibt, sobald der

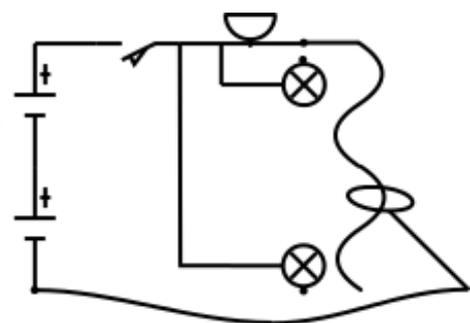


Abb. 31: Beispiel einer Wirkstruktur für den „Heißen Draht“

Quelle: eigene Darstellung

elektrische Kontakt zwischen Metallschleufe und „Heißem Draht“ geschlossen wird (vgl. Abbildung 31).

### 3.1.4 Komponenten, Module und Produktstruktur

Im vierten Schritt des PEP wird die Zusammensetzung des Produkts aus Modulen und Komponenten entwickelt. Diese Komposition wird durch die Produktstruktur dargestellt (s. Abbildung 32).

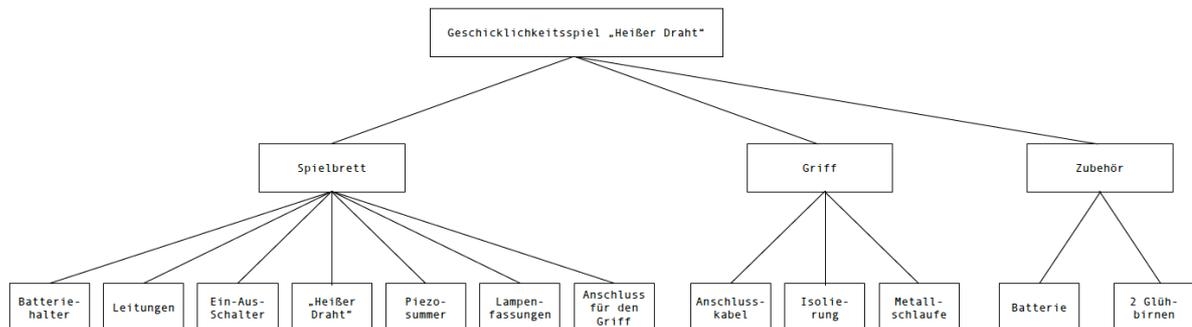


Abb. 32: Beispiel einer Produktstruktur für den „Heißer Draht“

Quelle: eigene Darstellung

Das Geschicklichkeitsspiel „Heißer Draht“ besteht aus drei Modulen: dem Spielbrett, dem Griff und Zubehör. Ersteres ist aus sieben Komponenten zusammengesetzt: einem Batteriehalter, elektrischen Leitungen, einem Einschalter (Ein–Aus), dem eigentlichen „Heißer Draht“, einem Piezosummer, zwei Lampenfassungen für Glühbirnen sowie einem Anschluss für den Griff. Der Griff ist aus einem Anschlusskabel, einer Isolierung zum Festhalten und der Metallschleufe komponiert, die um den „Heißer Draht“ geführt werden muss. Das notwendige Zubehör bilden Batterien und zwei Glühbirnen.

### 3.1.5 Konstruktion

Der fünfte Schritt im Produktentstehungsprozess besteht im Konstruieren der Module und des Gesamtprodukts. Ziel ist die Festlegung von Maßen und physikalischen Eigenschaften (so genanntes Dimensionieren oder Bemessen). Beim „Heißer Drahts“ etwa muss die elektrische Energiequelle so dimensioniert werden, dass der Piezo–Summer betrieben werden kann. Dazu müssen zwei 1,5V–Batterien in Reihe geschaltet und so zu einer 3V–Energiequelle kombiniert werden; sinnvoll sind Mignon–Batterien (AA). Die Glühbirnen müssen wiederum so ausgewählt werden, dass sie mit der 3V–Energiequelle betrieben werden können. Dazu eignen sich 2,5V–Glühbirnen (E10). Der Heiße Draht ist so zu dimensionieren, dass er einerseits von den

Schülerinnen und Schülern verformt werden kann, andererseits seine Form bei bestimmungsgemäßem Gebrauch behält. Geeignet ist ein Messingdraht mit  $\varnothing=1,5\text{mm}$ . Dieser Durchmesser erlaubt es ferner, den „Heißen Draht“ in einen 2,5mm-Bananenstecker zu schrauben und mittels einer passenden Buchse mit dem Spielbrett zu verbinden. Durch diese Schnittstelle können auch unterschiedlich geformte und schwer nachzufahrende Drähte ausgetauscht werden (vgl. Abbildung 36). Dieselbe Steckverbindung ist auch zur Verbindung von Griff und Spielbrett geeignet.

Die Konstruktion wird in Form von technischen Zeichnungen dokumentiert. Diese sind zugleich Grundlage der Fertigung. Eine *technische Zeichnung* wird von Hand oder rechnergestützt mit einem CAD-Programm<sup>15</sup> nach den Vorgaben zahlreicher Normen, u.a. DIN EN ISO 128-20 (DIN 2002), erstellt. Diese sollten schrittweise und anlassbezogen eingeführt werden. Für die vorliegende Aufgabe genügen folgende Regeln: Für sichtbare Kanten und Umriss sowie für die Bemaßung wird eine Volllinie verwendet (idealerweise mit 0,7mm- und 0,5mm-Druckbleistiften: ). Für die Bemaßung werden stets die Originalmaße des dargestellten Körpers angegeben. Dabei werden die Maßzahlen mittig über dem Maßpfeil angebracht, und zwar so, dass sie von unten oder von rechts lesbar sind. Durchmesser werden mit dem Symbol „ $\varnothing$ “ direkt vor der Maßzahl angegeben. Die Maßeinheit ist mm und wird in der Zeichnung nicht angegeben. Maßhilfslinien ragen etwa 2mm über die Maßpfeile hinaus. Kettenbemaßung ist unzulässig.<sup>16</sup> Der verwendete Maßstab (sinnvoll ist hier ein natürlicher Maßstab, M 1:1) wird in der Zeichnung stets angegeben, und zwar im *Schriftfeld*. Das Schriftfeld enthält darüber hinaus neben dem Produktnamen und Zweck auch den Namen des Erstellers, das Datum und eine Stückliste mit allen verwendeten Bauteilen.

Verschiedene Ansichten ermöglichen die Darstellung von Körpern. Das Spielbrett kann durch eine *Draufsicht* hinreichend dargestellt werden; seine technische Zeichnung besteht daher aus einem Eintafelbild (s. Abbildung 33). Seine Konstruktion bezweckt eine möglichst große Analogie zum Experimentierbrett (vgl. Abbildungen 36 und 1). Im Unterricht ist zu erwägen, die Konstruktion durch das Auflegen der elektrischen Bauteile auf das Spielbrett herzuleiten. In diesem Fall kann es sinnvoll sein, auch den

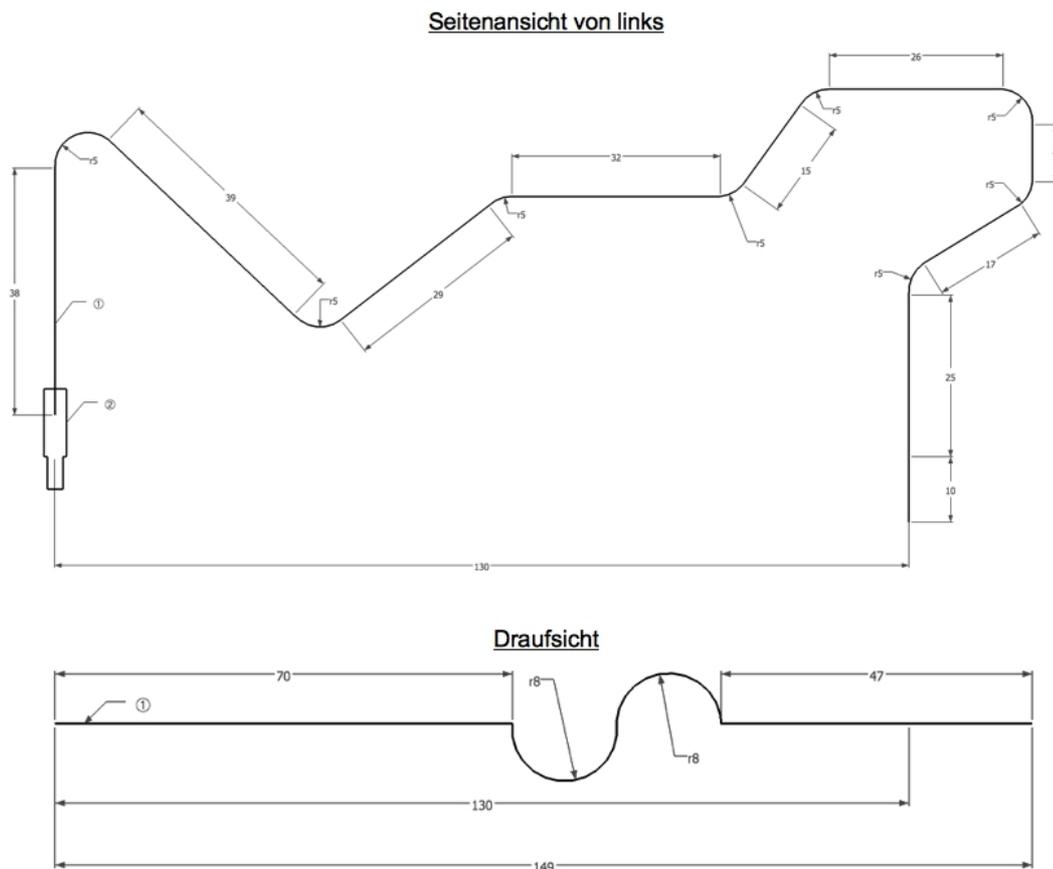
---

<sup>15</sup> Eine Einführung in das 3D-CAD SketchUp etwa gibt das Themenheft „Der Produktentstehungsprozess am Beispiel eines Anspitzers“ (Hasenauer 2014).

<sup>16</sup> Die Vermeidung von Überbemaßung und Überbestimmung sollte an dieser Stelle nicht thematisiert werden.

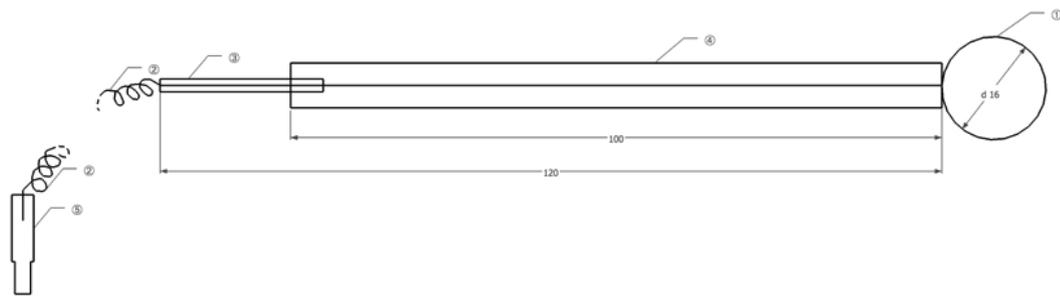


Auch für den Griff kann die technische Zeichnung auf eine Draufsicht beschränkt werden (s. Abbildung 35). Zur zeichnerischen Darstellung des „Heißen Drahts“ sind hingegen in der Regel mehrere Ansichten erforderlich, beispielsweise eine *Seitenansicht* und eine *Draufsicht* (Zweitafelbild), da er in verschiedene Richtungen gebogen sein kann (s. Abbildung 34). Die technischen Zeichnungen können als Biegeschablone zur Fertigung des „Heißen Drahts“ verwendet werden.



Verantwortliche Abt.  Sophienstr. 12-16 D-76133 Karlsruhe	Erstellt durch <b>Daniel Hasenauer</b>	Ausgabedatum <b>2014-05-02</b>	Genehmigt von	
Titel <b>„Heißer Draht“ zum Einstecken in das Spielfeld für das elektrische Geschicklichkeitsspiel „Heißer Draht“</b>	Verwendungszweck <b>Fertigung und Montage</b>	Stückliste		Montage kraftschlüssige Verbindung mit dem Spielfeld mittels 2,6mm-Buchse
	Lizenz <b>© CC BY-NC-SA</b>	Pos.	Menge	
		①	1	Messingdraht, Ø1,5mm, um 16mm-Rundholz biegen
		②	1	2,6mm-Bananenstecker entsorgen, dazu Schraube vollständig lösen; mit ① durch Verschrauben kraftschlüssig verbinden
Dokumentstatus <b>abgeschlossen</b>		Änd.	Maßstab	Blatt
		<b>A</b>	<b>1:1</b>	<b>1/1</b>

**Abb. 34:** Beispiel für eine technische Zeichnung des „Heißen Drahts“, Zweitafelbild (verkleinerte Darstellung)



Verantwortliche Abt.  Sophienstr. 12-16 D-76133 Karlsruhe	Erstellt durch <b>Daniel Hasenauer</b>	Ausgabedatum <b>2014-05-02</b>	Genehmigt von		
Titel <b>Griff für das elektrische Geschicklichkeitsspiel „Heißer Draht“</b>	Verwendungszweck <b>Fertigung und Montage</b>	Stückliste			
		Pos.	Menge	Fertigung	Montage
		①	1	Messingdraht, Ø1,5mm, um 16mm-Rundholz biegen; nicht gebogenes Ende durch Löt stoffschlüssig verbinden mit...	
	1	Litze, Ø0,14mm			
	1	Schrumpfschlauch, Ø2mm, über die Lötverbindung führen und über Teilicht erwärmen			
	1	Bambusstab, Ø7mm, über ① ② und ③ führen und durch Kleben stoffschlüssig verbinden			
	1	2,6mm-Bananenstecker; mit ④ durch Verschrauben kraft- schlüssig verbinden	kraftschlüssige Verbindung mit dem Spielbrett mittels 2,6mm- Buchse		
Lizenz <b>© CC BY-NC-SA</b>		Dokumentstatus <b>abgeschlossen</b>			
		Änd. <b>A</b>	Maßstab <b>1:1</b>	Blatt <b>1/1</b>	

Abb. 35: Beispiel für eine technische Zeichnung des Griffs für den „Heißer Draht“, Eintafelbild (verkleinerte Darstellung)

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1.6 Fertigung und Montage

Auf der Grundlage der technischen Zeichnungen werden die Module und das Gesamtprodukt schließlich gefertigt (vgl. Abbildung 36). Dabei ist zu bedenken, dass in der Unterstufe die meisten Fertigungsverfahren (vgl. DIN 2003) noch eingeführt werden müssen.<sup>17</sup> Von Bedeutung sind hier:

- Trennen durch Bohren, und zwar für Sacklöcher im Spielbrett zum...
  - Einlegen von Aderendhülsen ( $\text{Ø}=3\text{mm}$  /  $T=5\text{mm}$ ),
  - Befestigen von Batteriehalter und Glühbirnenfassungen durch M3-Schrauben ( $\text{Ø}=2,5\text{mm}$  /  $T=10\text{mm}$ ),
  - Einsetzen von 2,6mm-Buchsen für Bananenstecker zur Verbindung zwischen Spielfeld und Griff bzw. „Heißem Draht“ ( $\text{Ø}=5\text{mm}$  /  $T=10\text{mm}$ ),
  - Fixieren des offenen Endes des „Heißer Drahts“ ( $\text{Ø}=1,5\text{mm}$  /  $T=10\text{mm}$ );

<sup>17</sup> Achtung: Für die Fertigungsverfahren gelten bestimmte Erlaubnis-, Sicherheits- und Aufsichtsvorschriften (s. etwa [www.nwt-bw.de/sicherheit.html](http://www.nwt-bw.de/sicherheit.html))! Der Umgang mit Maschinen und Werkzeugen im gymnasialen Technikunterricht ist Gegenstand von LS-Heft NwT-2 (Müller 2007).

- Trennen durch Feilen, und zwar zum...
  - Anfasen der Ecken und Kanten des Spielbretts;
- Trennen durch Schneiden, und zwar zum...
  - Ablängen des Drahts entsprechend der Abstände der Aderendhülsen voneinander bzw. von den elektrischen Bauteilen zuzüglich je 5mm an den Enden zum Einführen in die Hülsen bzw. in die Lüsterklemmen des Schalters;

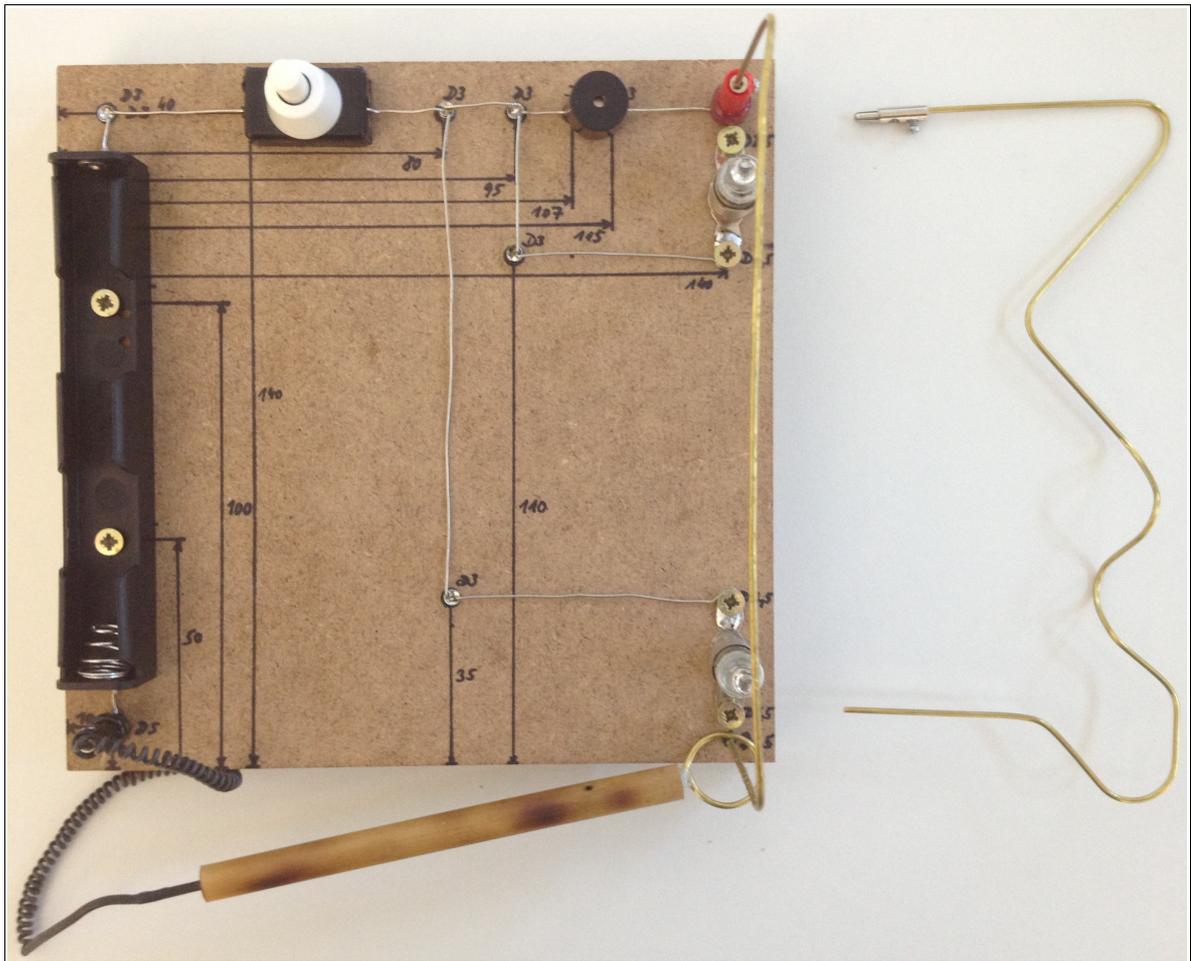


Abb. 36: Beispiel eines „Heißen Drahts“ nach den Vorgaben aus den Abbildungen 33–35

Quelle: eigene Darstellung

- Fügen durch Verschrauben, und zwar zur kraftschlüssigen Verbindung...
  - des Spielbretts mit den Glühbirnenfassungen und dem Batteriehalter sowie der Lüsterklemmen des Schalters mit Drähten;
  - des „Heißer Drahts“ sowie des Anschlusskabels am Griff mit je einem 2,6mm-Bananenstecker;
- Fügen durch Löten, und zwar zur stoffschlüssigen Verbindung...
  - von Drähten mit den Aderendhülsen, den Glühbirnenfassungen, dem

Batteriehalter, den 0,5mm-Buchsen (in die der Piezo-Summer eingesteckt wird)<sup>18</sup> sowie den 2,6mm-Buchsen für den „Heißen Draht“ und das Anschlusskabel des Griffs<sup>19</sup>;

- Fügen durch Kleben, und zwar zur stoffschlüssigen Verbindung...
  - des Einschalters mit dem Spielbrett.
- Umformen (Erzeugen einer bleibenden Gestalt), und zwar durch...
  - Biegen des „Heißen Drahts“ sowie der Metallschleife des Griffs.

### 3.2 Die „Ruhige Hand“

Die „Ruhige Hand“ ist ein weiteres elektrisches Geschicklichkeitsspiel, bei dessen Entwicklung in ähnlicher Weise wie beim „Heißen Draht“ die Lektionen des Lehrgangs (s. Kapitel 2) technisch umgesetzt werden (vgl. Abbildung 37).

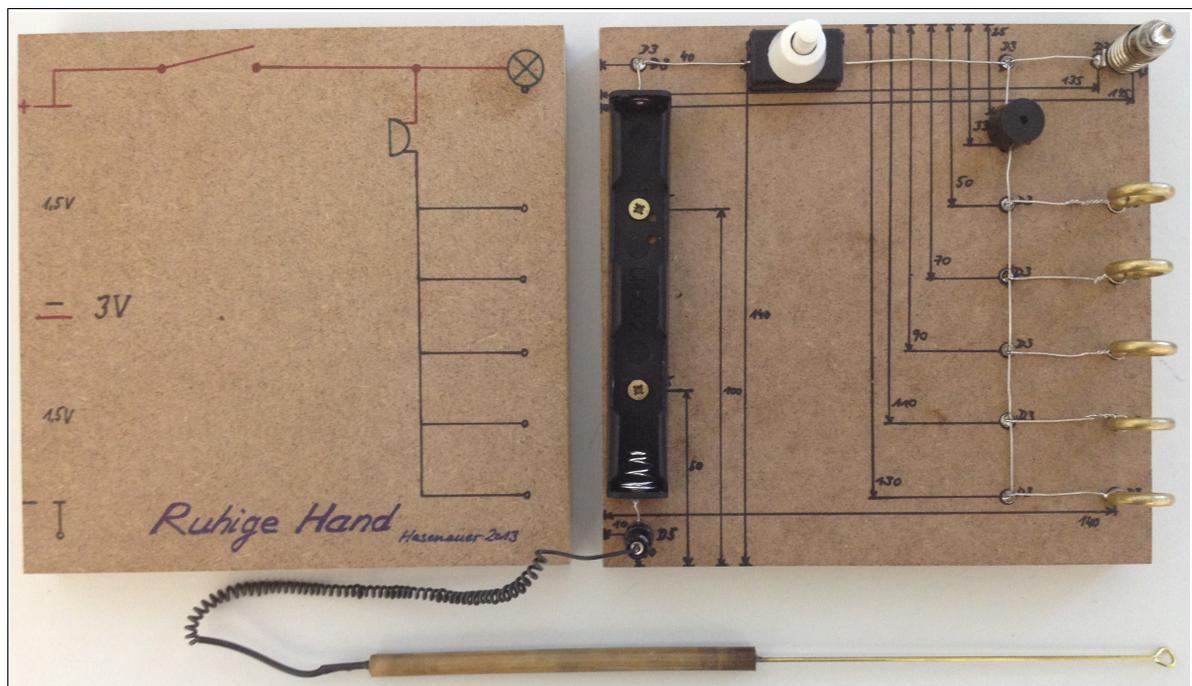


Abb. 37: Das elektrische Geschicklichkeitsspiel „Ruhige Hand“ (links: Schaltplan auf das Spielbrett gezeichnet; rechts: fertiges Produkt)

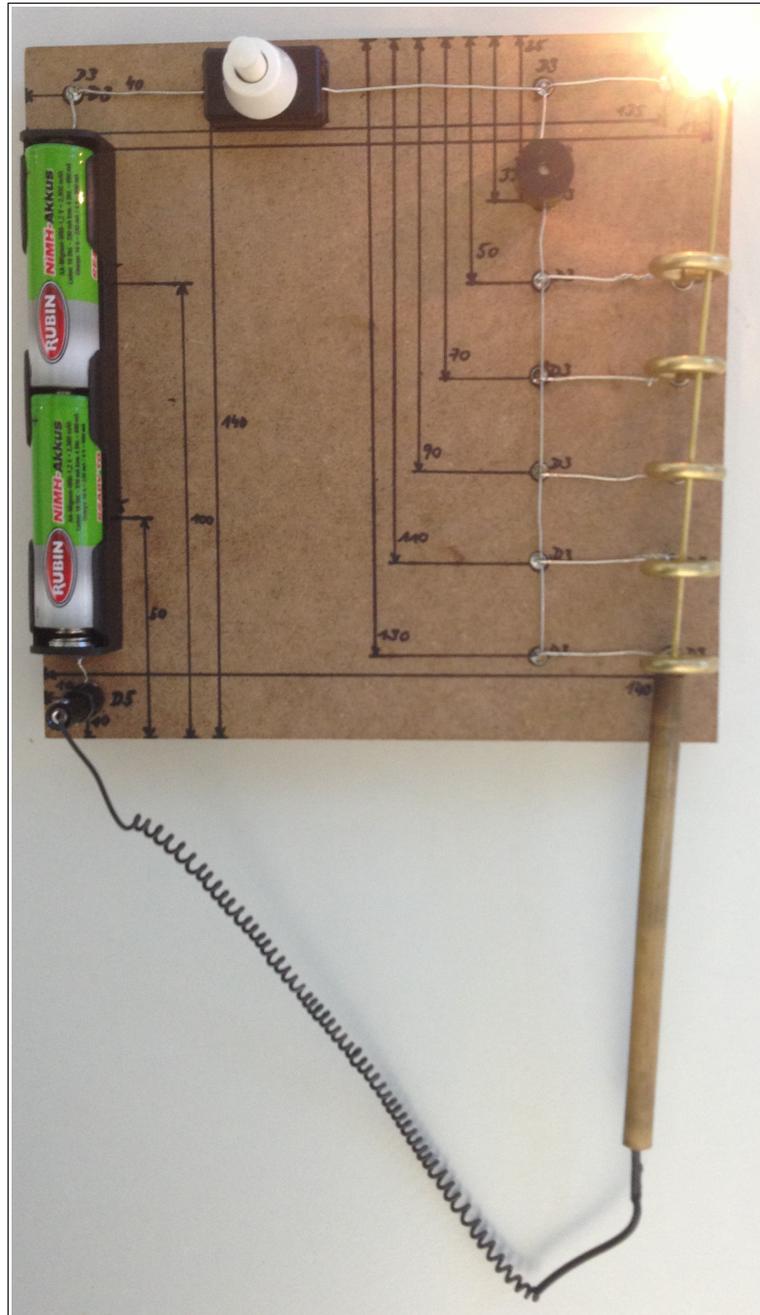
Quelle: eigene Darstellung

Bei diesem Spiel geht es darum, eine Glühbirne zum Leuchten zu bringen, und zwar dadurch, dass die Glühbirnenfassung durch einen elektrischen

<sup>18</sup> Alternativ kann auch ein Piezo-Summer mit angeschlossenen Kabeln verwendet werden, der dann durch Schrauben kraftschlüssig mit dem Spielbrett verbunden wird.

<sup>19</sup> Ohne Verwendung von Bananensteckern werden der „Heiße Draht“ und das Anschlusskabel des Griffs in eine Aderendhülse eingeführt und verlötet.

Kontakt am Ende des Griffs berührt wird. Dabei muss der Draht am Griff berührungsfrei durch die Ösen geführt werden. Eine Berührung würde ein Fehlersignal durch einen Piezo-Summer auslösen (s. Abbildungen 38). Der Produktentstehungsprozess für die „Ruhige Hand“ kann analog der Kapitel 3.1.1 – 3.1.6 erfolgen.

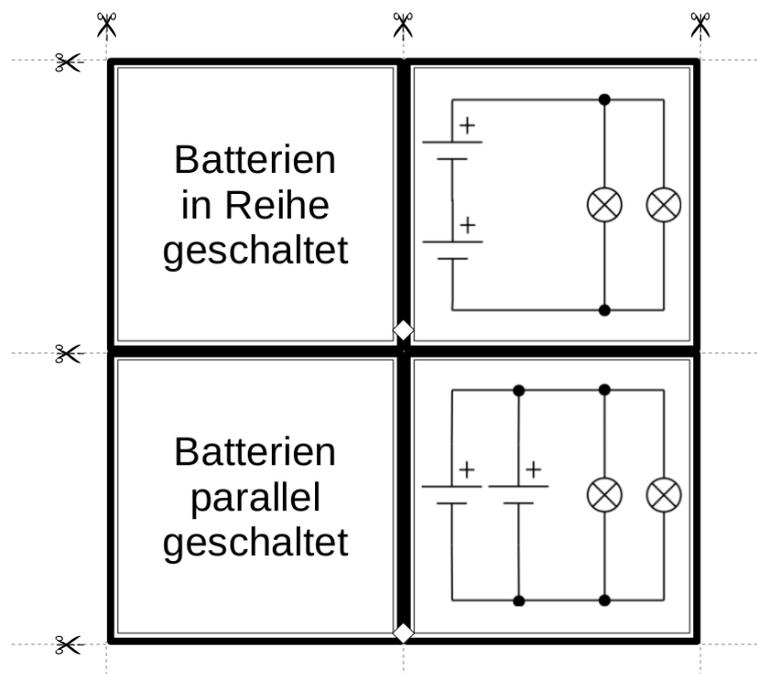


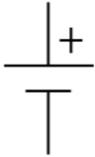
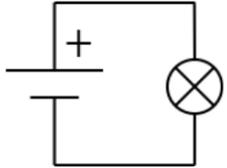
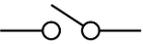
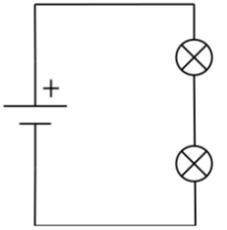
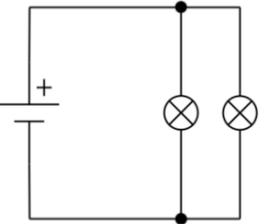
**Abb. 38:** Das elektrische Geschicklichkeitsspiel „Ruhige Hand“ in Betrieb

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang | Memory zur Festigung der Erkenntnisse aus dem Lehrgang

Nach Abschluss des Lehrgangs ist es sinnvoll, dass die Schülerinnen und Schüler wichtige Erkenntnisse systematisieren und festigen. Je mehr ihnen die Namen, Funktionen und Zeichen der eingeführten elektrischen Bauteile und Schaltungen geläufig sind, umso mehr werden sie in der Lage sein, Komponenten zur Erfüllung bestimmter Funktionen zu benennen und in einem Schaltplan sinnvoll anzuordnen. Zum Einüben (Automatisieren) der Schaltzeichen und Schaltpläne kann folgendes Memory-Spiel dienen. Es kann allein oder zu zweit gespielt werden. Die Dreiecke an den Kartenrändern ermöglichen eine Kontrolle: mit dem zugehörigen Blatt bilden eine Raute.



Batterie		einfacher elektrischer Stromkreis	
Glühlampe		lösbare Leitungsverzweigung (Anschluss)	
Leitung		feste Leitungsverzweigung (Knoten)	
Einschalter		Piezosummer	
Schließer		Reihenschaltung von Verbrauchern	
Öffner		Parallelschaltung von Verbrauchern	

## Literaturverzeichnis

Bruner, Jerome (1960): The Process of Education; Cambridge Massachusetts / London: Harvard University Press

Deutsches Institut für Normung (Hrsg., 2002): DIN EN ISO 128-20. Technische Zeichnungen – Allgemeine Grundlagen der Darstellung – Teil 20: Linien, Grundregeln; Berlin: Beuth-Verlag

Deutsches Institut für Normung (Hrsg., 2003): DIN 8580. Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung; Berlin: Beuth-Verlag

Feldhusen, Jörg / Grote, Karl-Heinrich (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung; 8. Aufl., Berlin / Heidelberg: Springer-Vieweg

Hasenauer (2014): Der Produktentstehungsprozess am Beispiel eines Anspitzers. Mit einer Einführung in das reverse engineering, das CAD-gestützte Konstruieren mit SketchUp und in das rapid prototyping im 3D-Druck; Heidelberg / Karlsruhe: in prep.

Hüttner, Andreas (2009): Technik unterrichten. Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht; Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel

Müller, Roland (2007): Technisches Arbeiten. Raumplanung – Sicherheit – Werkzeuge; Stuttgart: Landesinstitut für Schulentwicklung

Verein Deutscher Ingenieure, VDI (Hrsg., 1995): VDI-Richtlinie 2221. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; Berlin: Beuth-Verlag