

- ✚ **Wagenschein** > Mancher Lehrer wird vorziehen, die Untersuchung einer Wasserströmung vorzuverlegen oder ganz an den Anfang zu setzen. Die beste Reihenfolge wäre wohl die, dass - etwa im Rahmen des gesamtunterrichtlichen Themas „Wasser“ – die Beobachtung an Bächen und Wasserrohren abgeschlossen sind und eine Zeitlang zurückliegt, wenn mit der Elektrizitätslehre begonnen wird. Dann werden die Vorstellungen, die damals am Wasser begonnen worden sind, bereitstehen und ohne allzu aufdringliche Suggestion hier „einfallen“. <
- ✚ **Wagenschein** > Schließen wir einen *Auto-Akku* (der ja für kurze Zeit eine starke Belastung von einigen 10 A<sup>1</sup> ohne Probleme aushält) durch einen an Länge und Querschnitt geeigneten Draht „kurz“, so beginnt dieser Draht zu glühen. Die Glut kommt aber nun nicht etwa von der Seite her angekrochen. Sie wird gleichzeitig auf der ganzen Länge des Drahtes bemerkbar. Lassen wir die Kinder ganz nahe herangehen an dieses so anziehende rot glühende Phänomen. Sagen wir gar nichts. Erst wenn sie dann nicht selber fragen, so fragen wir: Sehr ihr was strömen? Nein, sie sehen nichts; beim besten Willen nicht. Sollen wir nun, oder müssen wir gar, den bequemen, aber nicht zum Denken erziehenden, sondern zum Nicht-Denken verführenden Notausgang wählen, ihnen, wie ein Märchen, zu erzählen: „Die Wissenschaftler haben herausgebracht, dass es kleine Teilchen, die so genannten Elektronen, in dem Draht fließen“?
- Warm wird dieser Weg so oft gewählt? Ich vermute, weil man es für zu schwierig und zu zeitraubend hält, das zu tun, was wir sonst für einzig richtig und redlich halten, nämlich: erst ansehen, dann nachdenken, und, Schritt für Schritt, Ordnung schaffen und sich so eine begründete Vorstellung zu machen, ein Bild, das man verteidigen kann. <sup>2</sup> <
- ✚ **Schülerproblem:** Der Strom fließt nicht im massiven Draht – sondern an der Oberfläche?  
→ Die Stromstärke ist bei gleicher Spannung und Temperatur direkt proportional zum Querschnitt und nicht zur Oberfläche des Leiters. Also bei doppeltem Radius vervierfacht sich die Stromstärke!
- ✚ **Schülerproblem:** Wie kommt man darauf, dass die Ladung erhalten bleibt?  
→ Y-Draht ... Knotenregel ... es glüht nur der „einfache Draht“ ...  
→ Analogie mit dem Wasserstromkreis → ABER nur wenn diese trägt!
- ✚ **Schülerproblem:** Welche Indizien für „elektrischen Strom“ habe ich:  
→ an dünnen Stellen glüht der Draht heller ... Analogie mit dem Wassermodell ... an „dünnen Stellen“ fließt das Wasser schneller ... ABER nur wenn das Wassermodell trägt ... UND ohne Übertragung auf ein „naiv hemmendes Elektronen-Teilchenbild!... ALSO VORSICHT: Es ist noch ein gewaltiger Sprung von dem schneller beim Wasser auf das Glühen beim Draht zu schließen ...  
→ Vorsicht vor folgender Falle: Bei gleicher Stromstärke glüht eine Doppelwendel wesentlich heller als ein Einfachwendel – oder als ein einfacher Draht! Wollte man an dieser Stelle gleichzeitig die Probleme des Stromkreises und den thermischen Energietransport in die Umgebung diskutieren könnte diese „Problemhäufung“ leicht zu Lernhindernissen mutieren ... Vor allem da hier das Wassermodell seine Grenzen hat!  
→ ... bei einem längeren Draht, lässt das Glühen nach, er wird nur noch warm, wenn man die anderen Randbedingungen konstant lässt ... Analogie mit dem Wassermodell ... aus einem langen Schlauch fließt auch wesentlich weniger Wasser heraus als bei einem kurzen Schlauchstück, wenn man die anderen Randbedingungen konstant lässt ... Trotzdem VORSICHT: Es ist noch ein gewaltiger Sprung von dem weniger beim Wasser auf die Temperatur beim Draht zu schließen ...
- ✚ **Schülerproblem:** Warum leuchten alle Lampen in einem unverzweigten Stromkreis gleich hell? → Analogie mit dem geschlossenen (dichten!) Wassermodell: Wenn sich das Wasser in

---

<sup>1</sup> Ein starker Akku kann nicht nur 10A ohne Problem aushalten! Der Kurzschluss-Strom liegt weit über 100A!

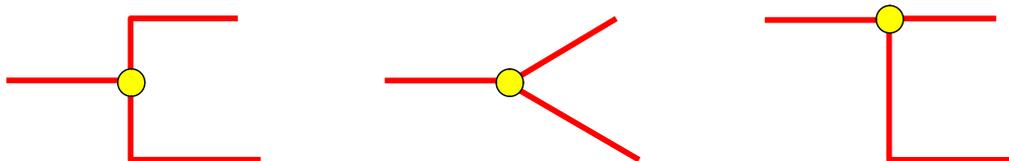
<sup>2</sup> Gänzlich unmöglich wird dieser Weg, wenn dann im Schulbuch eventuell steht: Bei einem Wasserstrom erzeugt die Pumpe an einem Ausgang einen höheren Druck – ein höheres Potenzial; am Eingang einen Unterdruck – ein tieferes Potenzial. Und das Wasser fließt vom höheren Potenzial zum tieferen Potenzial. Im elektrischen Stromkreis definiert dieses Buch, dass der Ladungsträgerstrom der Elektronen (siehe obige Einführung!) als elektrischer Strom bezeichnet wird, der aber genau entgegengesetzt zum Wasserstrom fließt, nämlich vom tieferen Potenzial zum höheren Potenzial. Auf diese Weise wird diese Analogie eventuell sogar zu einem Lernhindernis! ALSO, wenn man Ladungsstrom und Ladungsträgerstrom nicht beide unterrichten will, dann sollte man auf den Ladungsträgerstrom verzichten und diese wichtige Unterscheidung in „sauberer Weise“ in einer höheren Klassenstufe bringen – ganz im Sinne eines Spiralcurriculums – Pflichtvorgabe in den Bildungsstandards ...

einem geschlossenen Kreislauf nicht zusammendrücken lässt, das Wasser nicht ausweichen kann (nicht aus dem Schlauch heraus kann!), sich also auch nicht stauen kann, muss die Stromstärke an allen Stellen gleich groß sein. VORSICHT vor zwei Fallen:

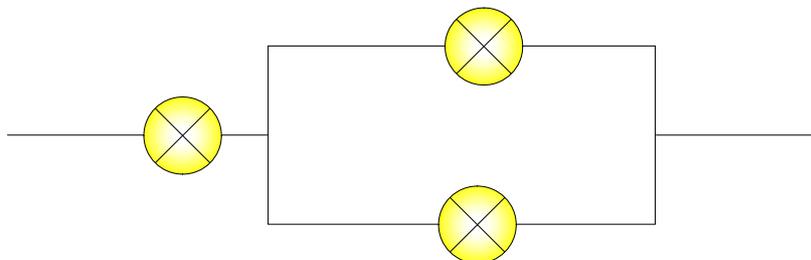
- (A) Die Schülerinnen und Schüler verwechseln „Geschwindigkeit“ und „Stromstärke“ auch – oder gerade – beim Wassermmodell ... denn eine hohe Strömungsgeschwindigkeit suggeriert eine große Stromstärke ...
- (B) Die Übertragung einer ungefestigten Wasservorstellung auf den elektrischen Stromkreis stiftet hier eventuell nur Verwirrung!
- (C) Es ist nicht einfach einzusehen, dass die Stromstärke bei einem Fluss an einer breiten Stelle genauso groß ist, wie die Stromstärke an einer schmalen Stelle ... wenn man von „aktuellen Stauvorgängen“ absieht ... dazu gehören Dialoge und eventuell Überzeugungskraft!
- (D) Es ist nicht selbstverständlich, dass zu einer Stromstärkenbestimmung immer eine Querschnittsfläche gehört ... aus zwei Gründen (D-1) wenn die Stromstärke überall gleich ist ... wozu muss man über die Querschnittsfläche sprechen ... (D-2) Wenn man die Stromstärke bestimmt, indem man mit einem Gartenschlauch einen 10l-Eimer in 100 Sekunden füllt, dann spielt im Blick der Schülerinnen und Schüler die Austrittsöffnung des Gartenschlauchs eine untergeordnete Rolle – vor allem wenn man die Austrittsöffnung auch noch ins Wasser hält ... also „unsichtbar“ macht!

✚ **Vorsicht:** Der Systemgedanke „... ein Eingriff an einer Stelle verändert notwendig die Stromstärke überall ...“ ist nicht selbstverständlich!

✚ **Vorsicht:** Die Knotenregel ist keine Selbstverständlichkeit ... PISA hat gezeigt, dass die Verteilung der Ströme in einem Knoten aus Schülersicht von der Knotenform abhängt ... ALSO darf man nicht „willkürlich“ ohne hinreichende Thematisierung ständig andere Knoten in Schaltbildern zeichnen ... Dieses Präkonzept ist in der Realität tragfähig – umso stärker werden sich die S dagegen wehren, wenn man über diese Problematik hinweggeht.



✚ **Typisches Vorurteil:**



Zeigt man die obige Schaltung zunächst ohne die untere Lampe, und fragt nach der Vorhersage, was passieren wird, dann erwarten die S, dass die linke Lampe nach dem Eindrehen der unteren Lampe dunkler leuchtet, denn der Strom muss doch jetzt auch noch die dritte Lampe versorgen ... genau das beobachten die Kinder eventuell zu Hause, wenn man einen Heizofen an die Steckdose anschließt ... (allerdings in einer Parallelschaltung ... mit einer Innenwiderstandsproblematik des Stromnetzes!) ... **Abhilfe:** Wassermmodell ... und jeder Vorgang „rückwärts“ ablaufen lassen ... die untere Lampe herausdrehen ... damit wird die Ladungserhaltung ... und indirekt die Knotenregel gestützt und tragfähig ...

Es wird klar, dass beim Herausdrehen der unteren Lampe die linke Lampe dunkler wird ... und gleich hell, wie die obere Lampe ... aber warum wird die obere Lampe heller?

Wider der verflixte Systemgedanke! Wenn ich den Widerstand an einer Stelle ändere, beeinflusst das den ganzen Stromkreis ... **Abhilfe:** Man überbrückt die untere Lampe durch ein Kabel ... und eventuell hilft eine Analogie mit den Menschenschlangen an den Einlasstoren von Fußballstadien ... Vorsicht – diese Analogien haben auch ihre Fallen ...

Und **noch ein Problem:** Schaltet man immer mehr Lampen in dem rechten Parallelkreis parallel zueinander, müsste man jetzt umgekehrt erwarten, dass die linke Lampe immer heller leuchtet ... bis sie schließlich durchbrennt ... Das könnte natürlich passieren, wenn man hier eine 3,5V Lampe verwendet und eine 9V Batterie ... wenn man aber eine 3,5V Lampe und eine

4,5V Flachbatterie benutzt, strebt die Helligkeit der linken Lampe gegen einen Grenzwert ... sie leuchtet nämlich so hell, wie wenn sie alle im Stromkreis wäre ...



**Richtungsproblematik:** Hier gibt es grundsätzlich zwei Wege:

- (A) ... man beschränkt sich auf dem Weg von der „Elektrizität“ die analog zum Wasser vom höheren Potenzial zum tieferen Potenzial strömt ... (und erläutert, wenn gewisse Schülerinnen und Schüler mit gewissen Vätern oder Müttern im Hintergrund die Elektronen daherbringen bei einer passenden Gelegenheit den Unterschied zwischen den Ladungen und den Ladungsträgern an Hand des Strafzettelmmodells ... )
- (B) ... man geht die Sache offensiv an – in einer guten Klasse möglich! – indem man beide Ströme – sowohl den Ladungsstrom als auch den Ladungsträgerstrom – thematisiert.

In keinem Fall sollte man die Elektronen (siehe Wagenschein) den Schülerinnen und Schülern aufzwingen und dann den Elektronenstrom als elektrischen Strom thematisieren. Das wäre fachsystematisch fragwürdig und aus meiner Sicht didaktisch nicht vertretbar – auch wenn es in Schülerbüchern immer noch geschieht. UND die Behandlung des Elektronenstromes alleine ist nach den Bildungsstandards nicht zulässig ...