

nerstaat seinen Anteil am Kuchen erhält, aber das ist nicht Zweck eines auf Exzellenz zielenden Forschungsprogramms.

Stark grundlagenorientierte Programme wie das Quantum Technologies Flagship brauchen zündende Ideen, vor allem in der ersten Phase. Solche Ideen kommen von einzelnen Forschern oder kleineren, eng zusammenarbeitenden Forschungsgruppen. Ihnen direkt Mittel zu geben, ist sparsamer und verantwortungsbewusster, als sie in Konsortien hineinzuzwingen.

Wenn aus der „Idee“ ein verifiable Projekt geworden ist, kann die Zusammenarbeit mit Partnern durchaus sinnvoll sein. Welche Partner jedoch benötigt werden, stellt sich dann heraus – nicht zu Beginn der Förderung.

Dieter W. Pohl

## ■ Strapazierfähiger Apparat

Zu: *Physik Journal*, Mai 2018, S. 27

Im linken Bild aus Abb. 2 ist die Dichte der Elektronen vor und hinter dem Verbraucher unterschiedlich gezeichnet. Dazu im Text: „sorgt die Batterie im didaktisch vereinfachten Elektronengasmodell für eine Ungleichverteilung der Elektronen im Kupferleiter.“

Nun ist es eine selbstverständliche Aufgabe des Physikunterrichts zu vermitteln, dass die Stromstärke in einem unverzweigten Stromkreis, wie er hier vorliegt, überall gleich groß ist. In Verbindung mit dem von den Autoren vorgestellten Modell müssten dann die Schülerinnen und Schüler folgern, dass die (Drift-)Geschwindigkeit der Elektronen vor dem Verbraucher geringer ist als dahinter. Also müsste der Verbraucher die Leitungselektronen beschleunigen, also an den Elektronen Beschleunigungsarbeit verrichten. Genau das Gegenteil ist der Fall: Im Verbraucher wird Arbeit frei. Eine inkompressible Flüssigkeit würde einen besseren Vergleich mit den Elektronen liefern.

Ich habe während meiner Zeit als Physiklehrer die Erfahrung gemacht, dass viele Erklärungs-

modelle nur begrenzt tauglich sind, weil sie leicht zu Fehlschlüssen führen. Mir war stattdessen wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler nicht für jeden Aspekt der E-Lehre ein neues Modell lernen mussten, sondern einen strapazierbaren Begriffsapparat entwickelten, auf den sie in den Folgejahren mit gutem Gewissen aufbauen konnten.

Felix Schumacher

## Erwiderung von Jan-Philipp Burde und Thomas Wilhelm

Ein Experte könnte tatsächlich aus einer angenommenen Ungleichverteilung der Leitungselektronen im Stromkreis auf eine unterschiedliche Driftgeschwindigkeit vor bzw. nach einem Widerstand schließen. Um den Lernenden eine solche Vorstellung nicht nahezulegen, verwenden wir die unterschiedlichen Teilchendichten nur zur Einführung des elektrischen Drucks bzw. Potentials an offenen Stromkreisen und greifen für die Betrachtungen geschlossener Stromkreise auf die Farbcodierung des elektrischen Potentials zurück. Dieses Vorgehen scheint nach unserer Studie nicht zu Verständnisschwierigkeiten zu führen. Die Oberflächenelektronen im am Minuspol angeschlossenen Draht haben eine größere Dichte als in dem Draht, der am Pluspol angeschlossenen ist [1].

Eine Analogie mit einer inkompressiblen Flüssigkeit ist zwar fachlich korrekter, jedoch konnten mehrere Studien zeigen, dass das Modell des ebenen, geschlossenen Wasserkreislaufs für Schüler nicht hilfreich ist [2]. Denn sie haben keine Erfahrungen mit Wasserdruck in geschlossenen Rohrsystemen. Zudem unterscheidet sich Wasser unter hohem Druck nicht sichtbar von Wasser unter geringem Druck. Bei einem kompressiblen Gas ist der Druck proportional zur Teilchendichte besser vorstellbar und ein darauf aufbauendes Modell deshalb lernförderlicher.

[1] R. W. Chabay und B. A. Sherwood, *Matter and Interactions*, Wiley (2015)

[2] J.-P. Burde und T. Wilhelm, In: *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht*, Aulis (2018)