

Hermann Härtel, Kiel

Zur Einführung des Spannungsbegriffs in der Sek. I

Auf der Hochschule wird der Spannungsbegriff im wesentlichen auf der Grundlage des mathematischen Ausdrucks $U = \int_1^2 E ds$ behandelt.

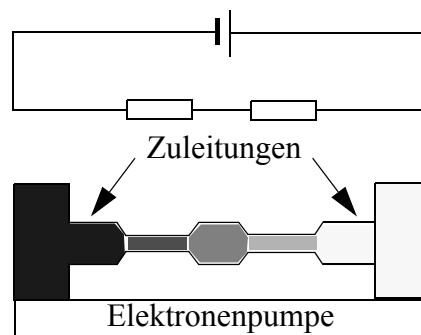
Dieser unanschaulichen Basis entsprechen die Probleme, die bei der Umsetzung dieses Spannungsbegriffes auf der Sekundarstufe 1 entstehen. Hier wird die Spannung als Voraussetzung für das Fließen eines Stromes, als elektrischer Zustand zwischen getrennten Ladungen, als Maß für die verrichtete Arbeit oder in Analogie zum Wasserdruck eingeführt. Diese verschiedenen Ansätze führen jedoch nicht zu einer zufriedenstellenden Lösung hinsichtlich des Lernerfolges.

Im folgenden soll eine Möglichkeit dargestellt werden, wie ausgehend von einem NUR-ELEKTRONEN-MODELL (IPN Curriculum 1975) eine anschauliche Grundlage weiterentwickelt werden kann.

In dieser Unterrichtseinheit, in der es vor allem um die Methode des

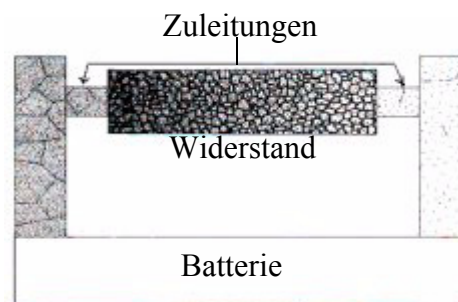
Modelldenkens geht, wird die Spannung zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis als unterschiedliche Ladungskonzentration gedeutet. Gleichzeitig werden als Ursache für den Ladungsausgleich die Abstoßungskräfte zwischen den Elektronen herangezogen. Es wird an dieser Stelle bewußt die Tatsache berücksichtigt, daß die Schüler keine Feldvorstellungen besitzen und von daher wird ihnen eine andere Erklärung angeboten.

In einer Weiterentwicklung dieses Gedankens läßt sich eine Vorstellung von der Spannung zwischen zwei Punkten entwickeln, wobei auf die bei einem stromdurchflossenen Leiter auftretenden Oberflächenladungen Bezug genommen wird. Diese Oberflächenladungen ergeben sich für einen geometrisch einfachen Fall (Sommerfeld) direkt aus den MAXWELL-Gleichungen. Diese Oberflächenladungen stehen im Zusammenhang mit der Tatsache, daß die senkrechte Komponente der Feldstärke an



der Oberfläche eines stromdurchflossenen Leiters einen Sprung aufweist. Auch wenn die Verteilung dieser Oberflächenladung für einen allgemeinen Fall nicht geschlossen berechnet werden kann, so läßt sich abschätzen, daß sich für einen einfachen Stromkreis in erster Näherung ein Bild entsprechend dem NUR-ELEKTRONEN-MODELL (NEM) ergeben wird. Diese Entsprechung bezieht sich nun jedoch nur auf die Oberfläche, während im Innern des Leiters eine konstante Ladungsverteilung vorherrscht. In dem Übergangsbereich Leiter/Widerstand bilden sich Raumladungen aus, die den ganzen Querschnitt durchziehen.

Das Zustandekommen dieser Oberflächen- bzw. Raumladungen läßt sich nun im Zusammenhang mit dem NEM folgendermaßen deuten: Nach Anlegen einer Spannung wird in einem "ersten



Schritt" in den Zuleitungen das Elektronengas etwas komprimiert und in den Rückleitungen etwas auseinandergezogen. In einem "zweiten Schritt" verteilen sich diese so erzeugten Raumladungen aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung auf die Oberfläche bzw. auf die Grenzfläche zum Widerstand. Die Einführung der Coulomb-Abstoßung führt somit dazu, daß das NEM in einem wichtigen Punkt erweitert werden muß. In diesem Modell waren kurzreichweitige, der mechanischen Elastizität entsprechende Abstoßungskräfte vorausgesetzt worden. Die weitreichenden Coulombkräfte und die hohe Beweglichkeit der Ladungsträger im elektrischen Fall führen zu einer konstanten Ladungsverteilung im Innern des Leiters. Somit kann an dieser Stelle die Notwendigkeit für die Einführung einer neuen Ursache für den Antrieb der Ladungsträger - das elektrische Feld - den Schülern einsichtig gemacht werden. Die Oberflächenladungen sind nicht die Ursache für die Spannung, aber sie stellen eine Hilfe für die Veranschaulichung dar. Zwei Punkte, zwischen denen eine Spannung herrscht, sind -mikroskopisch betrachtet - nicht identisch, sondern unterscheiden sich gerade durch die unterschiedliche Dichte der Oberflächenladungen.

Die Einsicht in die Notwendigkeit einer Feldvorstellung löst aber noch nicht die dabei auftretenden Probleme. Zum einen ist es erstaunlich, daß über ein Gravitationsfeld im Physikunterricht wie selbstverständlich hinweggegangen wird, von einem Magnetfeld mit der gleichen Selbstverständlichkeit gesprochen wird, während ein elektrisches Feld im allgemeinen als zu schwer und zu abstrakt für Schüler der Sekundarstufe 1 angesehen wird. Zum anderen ist die Frage zu klären, was unter einem elektrischen Feld von Schülern verstanden werden soll und auf welchen Realitätsbereich sich dieser Begriff bezieht.

In Physikbüchern finden sich verschiedene Deutungen:

- Den Raum, der Feldlinien enthält, nennt man ein elektrisches Feld (DORN/BADER)
- Das Feld ist eine Vektorfunktion des Raumes (Feynman-Lectures)
- Das elektrische Feld ist bloß eine andere Möglichkeit, ein Ladungssystem zu beschreiben (Berkeley-Physikkurs)
- Ein elektrisches Feld ist ein Raum, in dem auf geladene Körperkräfte ausgeübt werden (HARBECK, Physik Oberstufe).

Daraus ist zu folgern, daß zunächst eine Klärung des Feldbegriffes und seines Bedeutungsumfanges innerhalb der Fachdidaktik vorgenommen werden muß. Hierzu wird an dieser Stelle vorgeschlagen, das Feld als etwas Reales, Substanzartiges gleichberechtigt neben der Materie einzuführen. Das Potential (und die Spannung als Potentialdifferenz) ergeben sich dann als Eigenschaften dieses Feldes.

Die Frage, wann und in welcher Form ein solcher Feldbegriff einzuführen ist, kann nur im Laufe einer noch zu leistenden Entwicklungsarbeit beantwortet werden.

SOMMERFELD, A.: Elektrodynamik, Leipzig 1964, S. 113-117 IPN
Curriculum Physik: Modelle des Elektrischen Stromkreises, Klett 1975