

Elektronenüberschuss – Elektronenmangel

Gegenstand:

Die Anschlüsse von Netzgeräten und Batterien werden mit “plus” und “minus” gekennzeichnet. Im Zusammenhang mit der Diskussion des elektrischen Stromkreises, besonders in Schulbüchern, wird oft behauptet, am Pluspol herrsche Elektronenmangel, am Minuspol Elektronenüberschuss.

Mängel:

Wir haben es hier mit zwei Unstimmigkeiten zu tun, die aber eng miteinander zusammenhängen. Wir wollen zeigen, dass

- es ungeschickt ist, die Anschlüsse einer elektrischen Energiequelle durch “plus” bzw. “minus” zu kennzeichnen;
- meist unangebracht, oft aber auch falsch ist, von Elektronenüberschuss oder -mangel zu sprechen.

Das Plus- und Minuszeichen suggeriert, irgendeine physikalische Größe habe an den Anschlüssen einer Batterie einen positiven bzw. negativen Wert. Gibt es eine solche Größe?

Man könnte zunächst an die elektrische Ladung denken. Wie groß ist die Ladung, die auf den Anschlüssen einer Batterie einschließlich der entsprechenden Elektrode sitzt? Ihr Wert hängt ab zum einen von der Kapazität C_B der Batterie selbst. Man betrachtet also die Batterie als einen Kondensator. Die Ladung auf den beiden Polen (einschließlich den Leitern im Innern der Batterie) ist dann

$$Q = C_B \cdot U_B \tag{1}$$

U_B ist hier die Spannung der Batterie. Q wäre die gesamte Ladung der Pole, wenn sich die “Mitte” der Batterie gerade auf Erdpotenzial befände: der Pluspol müsste um $U_B/2$ über, der Minuspol um $U_B/2$ unter dem Erdpotenzial liegen. Dies ist natürlich ein Sonderfall, der fast nie realisiert ist. Im allgemeinen befindet sich die Batterie als ganzes auf einem anderen Potenzial, sodass sie noch eine Nettoladung trägt, deren Gegenladung auf der Erde sitzt. Diese Nettoladung berechnet sich nach

$$Q = C_{\text{plus}} \cdot U_{\text{plus}} + C_{\text{minus}} \cdot U_{\text{minus}}$$

wo C_{plus} und C_{minus} die Kapazität des Pluspols bzw. Minuspols der Batterie gegen Erde sind und U_{plus} und U_{minus} die Spannungen zwischen Plus- bzw. Minuspol und Erde. Die Kapazitäten C_{plus} und C_{minus} sind im Allgemeinen von derselben Größenordnung wie C_B . U_{plus} und U_{minus} hängen davon ab, in was für einen Stromkreis die Batterie eingebaut ist, ob der Stromkreis irgendwo geerdet ist oder ob der Stromkreis als ganzes elektrostatisch geladen ist. Jedenfalls kann man im Allgemeinen nicht sagen, der Pluspol sei positiv, der Minuspol negativ geladen.

Unsere Überlegung zeigt außerdem, dass ein anderer Kandidat, auf den sich das Plus- und das Minuszeichen beziehen könnte, auch ausfällt: das elektrische Potenzial. Der Pluspol muss sich nicht auf positivem und der Minuspol nicht auf negativem elektrischen Potenzial befinden. Und es gibt auch keine andere Größe, die am Pluspol einen positiven Wert und am Minuspol einen negativen annimmt.

Die Bezeichnungen Plus und Minus geben also sicher Anlass zu falschen Schlüssen.

Auch die Behauptung, am Pluspol herrsche Elektronenmangel, am Minuspol Elektronenüberschuss trifft im Allgemeinen nicht zu. Der Lernende wird ja die Aussage, am Pluspol herrsche Elektronenmangel, so verstehen, dass der Pluspol nicht elektrisch neutral, sondern positiv geladen ist. Wir haben gerade gezeigt, dass das nicht der Fall zu sein braucht.

Selbst wenn wir es aber so einrichten, dass sich der Pluspol auf positivem und der Minuspol auf negativem Potenzial befindet (der Potenzialnullpunkt ist das Erdpotenzial), sodass in der Tat der Pluspol positiv und

der Minuspol negativ geladen ist, so wäre es doch sehr ungeschickt, diese Tatsache heranzuziehen, um die Pole zu charakterisieren.

Die Kapazität C_B in Gleichung (1) ist von der Größenordnung 10^{-10} F. Da die Spannung größenordnungsmäßig 1 Volt ist, ergibt sich für die elektrische Ladung eine Größenordnung von 10^{-10} C. Wenn man von Elektronenüberschuss und -mangel spricht, so suggeriert man aber, dass dieser Überschuss bzw. Mangel mit der Ladung zu tun hat, die bei geschlossenem Stromkreis durch die Batterie fließt. Die Ladungen, die man dabei betrachtet, sind aber um viele Größenordnungen größer. Die Ladung, die durch die Batterie in einer Sekunde hindurchfließt, wenn etwa ein Glühlämpchen angeschlossen ist, ist um 10 Größenordnungen größer.

Wie unangebracht es ist, von Elektronenmangel und -überschuss zu sprechen, sieht man auch, wenn man die Batterie im elektrischen Stromkreis mit einer Wasserpumpe in einem Wasserstromkreis vergleicht. Einer Batterie, an die nichts angeschlossen ist, entspricht dann eine Pumpe, die zwar läuft, und die auch mit Wasser gefüllt ist, deren Eingang und Ausgang aber zugeflanscht sind. So wie man bei der Batterie von Elektronenüberschuss und -mangel an den beiden Polen spricht, müsste man bei der Pumpe von Wasserüberschuss und Wassermangel an den beiden zugeflanschten Anschlüssen sprechen. In der Tat wäre das bei der Pumpe, auf Grund der Kompressibilität des Wassers, noch eher gerechtfertigt. Nun hat aber dieser Wasserüberschuss bzw. -mangel nichts mit der Funktion der Pumpe zu tun. Die Pumpe würde genauso gut arbeiten wenn das Wasser ganz inkompressibel wäre. Und so ist es auch bei der Batterie. Es würde sich nichts Wesentliches an der Batterie ändern, wenn die Kapazität nicht 10^{-10} F, sondern 0 F betrüge. Mangel und Überschuss wären dann exakt null, die Batterie würde aber immer noch arbeiten.

Herkunft:

Von den meisten der von uns aufgespießten Altlasten kann man sagen, dass die entsprechenden Aussagen früher einmal eine positive Rolle gespielt haben. Hier haben wir ein Beispiel für eine Unstimmigkeit, die wohl von Anfang an existiert hat. Es ist irgendwann eine ungeschickte Festlegung getroffen worden ("Pluspol" und "Minuspol"), und es ist irgendwann ein nicht korrekter Lehrsatz formuliert worden ("Am Pluspol herrscht Elektronenmangel, am Minuspol Elektronenüberschuss."), und beide Fehlentscheidungen sind von Generation zu Generation weitergegeben worden.

Entsorgung:

Statt mit Plus und Minus bezeichnet man die Anschlüsse von Batterien und Netzgeräten mit "Hoch" und "Niedrig". Die Aussage bezieht sich auf das Potenzial der Quelle bei offenen Klemmen. In der Digitalelektronik ist diese Bezeichnungsweise auch anzutreffen (als H für high und L für low). Alternativ könnte man auch eine Aussage über die kurzgeschlossene Quelle machen. Dann wären die Bezeichnungen Eingang und Ausgang für die (positive) elektrische Ladung angebracht.

Die Aussage über Elektronenmangel und -überschuss sollte man vermeiden.

F. H.