

Betavoltaik

In betavoltaischen Systemen wird die kinetische Energie beim radioaktiven Betazerfall entstehender Elektronen in elektrische Energie umgewandelt. Das geschieht in geeignet präparierten Halbleitern, wie sie in ähnlicher Form zur Nutzbarmachung der Energie von Photonen auch in photovoltaischen Solarzellen eingesetzt werden. Nach jüngsten Erfolgen bei der Erforschung derartiger Systeme scheint es möglich, dass sie in Zukunft verbreitet zur Energieversorgung insbesondere von über lange Zeiträume nicht zugänglichen Klein- und Kleinstverbrauchern einsetzbar werden. Im Gegensatz zu Solarzellen, die ja das Licht von der Sonne brauchen, ist der Primärenergieträger in betavoltaischen Zellen Teil des Systems. Neben dem geeigneten Halbleiter müssen sie also auch die benötigte radioaktive Substanz in sich tragen. Damit gehören sie zu den Radionuklidbatterien und sind als sogenannte Primärzellen nicht wiederaufladbare Batterien. Wie bei allen Radionuklidbatterien beruht ihre Wirkung auf radioaktivem Zerfall und nicht etwa auf einer Kernspaltung mit nachfolgender Kettenreaktion. Sie sind also keine Kernreaktoren. Während aber konventionelle z. B. in der Raumfahrt bereits seit langer Zeit eingesetzte Radionuklidbatterien meist auf der Umwandlung der beim Zerfall von Plutonium entstehenden thermischen Energie basieren, werden für betavoltaische Systeme v. a. Radionuklide untersucht, die einem reinen Betazerfall unterliegen und insbesondere keine Gammastrahlung erzeugen. Damit können sie mit relativ einfachen Mitteln radiologisch nach außen abgeschirmt werden, z. B. mit einer dünnen Kunststoffummantelung. Außerdem sollen sie im Gegensatz etwa zu Plutonium oder anderen Schwermetallen auch unter biochemischen Gesichtspunkten zumindest nicht akut giftig sein.

Gleichzeitig sind mit betavoltaischen Zellen die vielfältigen Vorteile allgemeiner Radionuklidbatterien realisierbar. Weil die Halbwertszeit der Nuklide im Allgemeinen hoch ist und sie damit über lange Zeiträume insgesamt sehr viele Elektronen abstrahlen, ist ihre Energiedichte (Wattstunden pro Gewicht oder

Volumen) relativ hoch. Deshalb können sie klein und kompakt sein und trotzdem über Jahre bis Jahrzehnte hinweg elektrische Energie liefern. Außerdem kommen sie ohne bewegliche Teile aus und sind in einem sehr großen Temperaturbereich von weit unter Null bis weit über 100 Grad Celsius einsetzbar. Dabei arbeiten sie autonom und wartungsfrei. Allerdings ist die Energiewandlungseffizienz von betavoltaischen Zellen heute noch relativ weit von der photovoltaischen Systeme entfernt, sodass sie eine relativ geringe Leistungsdichte (Watt pro Gewicht oder Volumen) haben. Geeignet sind sie damit vor allem für Anwendungen mit niedriger Leistungsaufnahme (Milliwatt/Mikrowatt) bei (extrem) langer Laufzeit, wo man die eingesetzten Energiespeicher nur mit großem Aufwand oder gar nicht wieder austauschen kann. Damit scheinen sie prädestiniert z. B. für den Einsatz in implantierten medizinischen Geräten wie z. B. Herzschrittmachern (wo übrigens früher bereits einmal die auf Plutonium basierenden thermoelektrischen Systeme eingesetzt wurden). Gegenüber heute in Herzschrittmachern genutzten Batterien könnten die avisierten betavoltaischen Zellen eine um den Faktor 10 längere Lebensdauer aufweisen. Weitere mögliche Anwendungen nicht zuletzt im militärischen Bereich lägen bei der Energieversorgung elektronischer Geräte wie von Kommunikations- oder (verteilten) Sensorsystemen sowie von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) in schwer zugänglichen Umgebungen wie unter Wasser oder im Weltraum.

Die Kernkomponenten betavoltaischer Systeme sind die eingesetzten Radionuklide und die Halbleiter zur Erzeugung der elektrischen Energie. Auf beide konzentrieren sich die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen und bei beiden sind weitere Fortschritte zu erwarten. Als Träger der eingesetzten Primärenergie kommt dem Betastrahler dabei eine besondere Bedeutung zu. Idealerweise sollte dieser eine Reihe bestimmter Eigenschaften haben. Seine Halbwertszeit z. B. bestimmt die Zeit, in der genügend elektrischer Strom geliefert werden kann, und damit die Lebensdauer der

Batterie. Der erreichbare Anreicherungsgrad des Radioisotops im Material sollte möglichst groß sein, damit möglichst viele Elektronen emittiert und zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden können. Die kinetische Energie der Elektronen sollte möglichst hoch sein, aber nicht so hoch, dass sie Strahlenschäden im Halbleitermaterial verursachen könnten. Außerdem sollte es sich um einen reinen Betastrahler handeln, und auch sein Zerfallsprodukt sollte keine Gammastrahlung emittieren.

Interessante Radionuklide für den Einsatz in betavoltaischen Systemen sind Tritium (H-3) und Nickel-63. Tritium hat eine Halbwertszeit von ca. zwölf Jahren, entweicht im gasförmigen Zustand aber leicht aus dem System. Deshalb wird insbesondere an geeigneten Metallhydriden geforscht, in denen das Tritium chemisch gebunden ist. Nickel-63 mit einer Halbwertszeit von 100 Jahren ist da wesentlich unkomplizierter, muss aber als künstlich hergestelltes Isotop im Material möglichst hoch angereichert werden. Hier hat es in letzter Zeit bemerkenswerte Fortschritte gegeben. Untersucht wird auch der Einsatz von Strontium-90 (Halbwertszeit 28,5 Jahre), das Elektronen in einem Energiespektrum emittiert, welches sich mit aus der Photovoltaik bekannten Halbleiterstrukturen mit relativ hohem Wirkungsgrad ausnutzen lässt.

Für das Halbleitermaterial kommt z. B. monokristallines Silizium infrage. Von besonderem Interesse sind die besonders strahlungsfesten Halbleiter mit großem Bandabstand wie Siliziumcarbid. Bemerkenswerte Entwicklungserfolge konnten hier bereits mit speziell strukturiertem Diamant in Kombination mit dem Betastrahler Nickel-63 erzielt werden.

Insgesamt bietet die Betavoltaik große Chancen für die zukünftige elektrische Energieversorgung insbesondere von Kleinverbrauchern in spezifischen Einsatzszenarien. Es sind aber auch noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen richten sich vor allem auf Verbesserungen bei Sicherheit, Kosten und elektrischer Leistung.

Jürgen Kohlhoff