

Biobrennstoffzellen

Das übergeordnete Prinzip des Energy Harvesting umfasst alle Ansätze, technische Geräte allein durch Nutzbarmachung der in der jeweiligen Umgebung vorhandenen Energie autark zu betreiben. Eine mögliche Technologie in diesem Zusammenhang ist die der sogenannten Biobrennstoffzellen, welche die chemische Energie eines vor Ort ohnehin vorhandenen natürlichen Substrats in direkt nutzbare elektrische Energie umwandeln können und nicht auf die Zufuhr externer „Brennstoffe“ angewiesen sind. Je nach Typ des dazu verwendeten Katalysators sind verschiedene Varianten von Biobrennstoffzellen möglich, die sich in unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungsstadien befinden. Anwendungsmöglichkeiten werden z.B. bei der Energieversorgung medizinischer Implantate oder bei energieautarken verteilten Sensorsystemen gesehen.

Die Technologie der Brennstoffzellen ist bereits seit über 150 Jahren bekannt und inzwischen auch in verschiedenen Versionen für den praktischen Einsatz realisiert. Wie Batterien sind sie aus zwei Elektroden mit einem dazwischen liegenden Elektrolyten aufgebaut. Auf der einen Seite einer solchen Zelle gibt der Brennstoff Elektronen ab. Diese fließen durch einen äußeren Stromkreis über einen Verbraucher auf die andere Seite, wo sie sich an den Oxidator (normalerweise Sauerstoff) anlagern. Durch die Abgabe bzw. Aufnahme von Elektronen entstehen Ionen. Im Gegensatz zu den neutralen Ausgangsstoffen können diese je nach Typ in vorbestimmter Weise durch den Elektrolyten wandern, sich verbinden und als Reaktionsprodukt austreten.

Brennstoffzellen haben besonders vorteilhafte Eigenschaften. So vermeidet die direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie den Umweg konventioneller Motor-Generator-Einheiten über Wärme- und kinetische Energie und ist außerdem nicht durch den sogenannten Carnot-Faktor eingeschränkt, der aus thermodynamischen Gründen den Wirkungsgrad aller Wärmekraftmaschinen begrenzt. Bei den Biobrennstoffzellen kommt als weiterer Vorteil die Unabhängigkeit von gesondert zuzuführenden externen Brennstoffen

hinzu, weil sie in der Umgebung vorhandene Biobrennstoffe wie z.B. Glukose umsetzen. Je nach dem für die Aktivierung der benötigten chemischen Reaktionen eingesetzten Katalysatortyp unterscheidet man zwischen abiotischen, enzymatischen und mikrobiellen Biobrennstoffzellen.

In abiotischen Biobrennstoffzellen werden wie in den bekannten konventionellen Wasserstoff-Brennstoffzellen abiotische Katalysatoren wie Platin oder andere Edelmetalle verwendet. Ihre Lebensdauer ist theoretisch unbegrenzt, weil sie während des Betriebs oder der möglicherweise notwendigen Sterilisation tolerant sind gegenüber Bedingungen wie extremen pH-Werten oder hohen Temperaturen. Abiotische Biobrennstoffzellen sind aus technischer Sicht schon seit längerem realisierbar. Allerdings ist die Verwendung von Edelmetallen mit hohen Kosten verbunden. Außerdem können komplexere organische Stoffe wie z.B. Glukose bisher nur bei relativ geringen Reaktionsraten und somit niedrigen Leistungsdichten umgesetzt werden.

Höhere Leistungen der Biobrennstoffzellen sind durch Einsatz natürlicher Katalysatoren, also von Enzymen, möglich. Im Vergleich zu abiotischen Katalysatoren ermöglichen diese eine deutlich höhere Reaktionskinetik komplexer organischer Moleküle. Dann spricht man von enzymatischen Biobrennstoffzellen. Enzyme sind wesentlich leichter verfügbar als z.B. Platin und haben außerdem eine hohe katalytische Selektivität, fördern also sehr gezielt nur die genau gewünschten chemischen Reaktionen. Dies ist besonders wichtig, wenn der biologische Brennstoff nur in Verbindung mit Sauerstoff auftritt oder anderweitig verunreinigt ist. Allerdings denaturieren Enzyme mit der Zeit und verlieren dann ihre katalytische Aktivität. Die Verlängerung der Lebensdauer steht deshalb im Fokus der aktuellen Forschungsanstrengungen zur Nutzbarmachung enzymatischer Biobrennstoffzellen. Ansatzpunkte liegen bei der Stabilisierung der Enzyme durch Immobilisierung z.B. mit Polymeren, bei der gentechnischen Optimierung der Enzymstruktur und bei der kontinuierlichen Nachlieferung frischen Enzyms an die Elektrode.

Signifikante Fortschritte hat es gerade in letzter Zeit beim Schutz der Enzyme durch Einbettung in bestimmte Polymere gegeben. Auch die Elektronenleitung zwischen Enzymen und Elektroden ist eine grundlegende Herausforderung bei enzymatischen bioelektrochemischen Systemen.

Bis zum prototypischen Einsatz zur Stromerzeugung aus organischem Material in Klärwerken haben es inzwischen die sogenannten mikrobiellen Biobrennstoffzellen gebracht. Diese nutzen das gesamte enzymatische System lebender Mikroorganismen als Katalysator. Sie umgehen so die geringe Lebensdauer der Enzyme, weil Mikroorganismen über Fähigkeiten zur Selbstregeneration verfügen. Der gleichzeitige Einsatz verschiedener Mikroorganismen ermöglicht zudem die Nutzbarmachung komplexer „Brennstoff“-Gemische, wie sie insbesondere in Abwässern auftreten. Ein Nachteil in Bezug auf die erzielbare Ausbeute ist die Tatsache, dass lebende Mikroorganismen naturgemäß den Teil des Brennstoffs, den sie für ihren eigenen Stoffwechsel benötigen, dem Stromerzeugungsprozess entziehen.

Wesentliche Triebfeder für die Erforschung und Entwicklung von Biobrennstoffzellen ist ihr großes Anwendungspotenzial. Besonders interessant wären z.B. implantierbare Glukosebrennstoffzellen auf abiotischer Basis. Für den klinischen Einsatz z.B. zur Stromversorgung von Herzschrittmachern muss allerdings insbesondere die Langzeit-Biokompatibilität erst noch sichergestellt werden. Umgekehrt könnte natürlich ein Gerät, dessen Stromerzeugungsrate von der vorhandenen Glukose-Konzentration abhängt, im Prinzip auch zur Messung dieser Konzentration eingesetzt werden. Ziel wäre hier die Realisierung eines energieautarken implantierbaren Systems zum kontinuierlichen Monitoring des Blutzuckerspiegels. Aber auch in nichtmedizinischen Anwendungen könnten Biobrennstoffzellen in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Die Überlegungen hier reichen von der Stromversorgung z.B. unter Wasser verteilter Sensornetze bis hin zur Realisierung von Kleinstrobotern, die sich von natürlichen Ressourcen quasi „ernähren“ können.

Jürgen Kohlhoff