Weniger Brennstoff – mehr Leistung

Umweltfreundlich: Wärme und Strom aus KWK-Anlagen

Mit dem Verfahren der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) lassen sich Gebäude energieeffizient mit Wärme und Strom versorgen. Zu solchen Anlagen zählen Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen-Heizgeräten (BZH).

Das elementare Merkmal von KWK-Anlagen ist die im Vergleich zu konventionellen Energieerzeugern bessere Brennstoffausnutzung. Diese kommt dadurch zustande, dass der Umwandlung der chemisch gebundenen Energie eines Brennstoffs in heißes Rauchgas (Brennstoffkonversion) und der sich anschließenden Stromerzeugung ein dritter Schritt folgt, nämlich die Nutzung der Abwärme zu Heizzwecken oder anderen Wärmeanwendungen. Damit wird der Gesamtwirkungsgrad wesentlich erhöht, ein wichtiger Aspekt im Bemühen, den Einsatz von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Der folgende Beitrag behandelt nicht nur motorgetriebene BHKW, sondern auch Brennstoffzellen (BZ), die ebenfalls zur Gruppe der KWK-Technologien zählen, zur Erzeugung von Strom und Wärme aber keine Motoren, sondern einen chemischen Prozess nutzen.

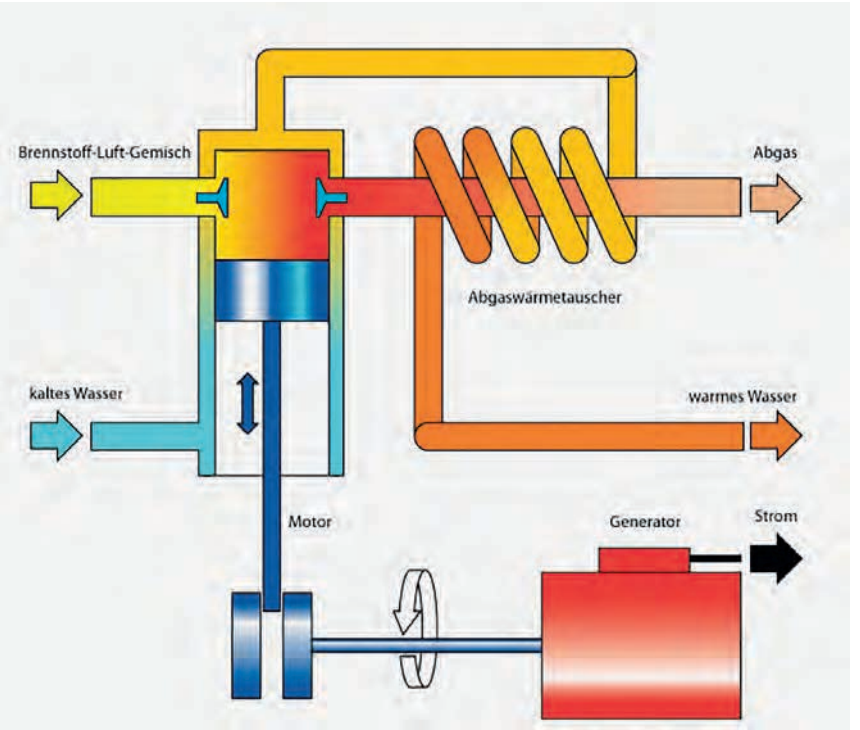

Bild 1 • BHKW-Prozess zur gleichzeitigen Bereitstellung von Wärme und Strom. Grafik: Peter Lehmacher

Motorgetriebene KWK-Technologien

In Blockheizkraftwerken (BHKW) kommen als Antriebsmaschinen für die Generatoren in den meisten Fällen Otto- beziehungsweise Diesel- oder auch Stirlingmotoren zum Einsatz, darüber hinaus Dampfmotoren und Gasturbinen. Motorgetriebene Blockheizkraftwerke erreichen elektrische Wirkungsgrade von etwa 35 % bei kleineren Motoren, bis 42 % bei Großmotoren, die thermischen variieren zwischen etwa 56 % bei kleinen und etwa 42 % bei großen Motoren. Die Mehrzahl der auf dem Markt angebotenen Systeme erreicht einen Gesamtwirkungsgrad von über 90 %. Sie sind mit Antriebsleistungen von rund 1 kW bis 14 MW erhältlich und lassen sich technisch mit den meisten verfügbaren flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen betreiben, und zwar sowohl mit handelsüblichen Treibstoffen wie Erdgas, Biomethan, Biogas, Propan, (Bio-)Diesel, (Pflanzen-)Öl als auch mit Sondergasen wie Gruben-, Deponie- oder Klärgas. Der Einsatz von Erdgas und Biomethan verspricht eine Reduzierung von Schadstoffemissionen in Höhe von fast 60 % im Vergleich zu den Emissionen konventioneller Energieversorgungsanlagen. Beide verbrennen staubfrei und setzen kaum Schwefeldioxid frei. KWK-Anlagen – und damit auch Nano- und Mikro-BHKW – können entweder nach dem Strombedarf eines Objekts (stromgeführt) oder nach dem Wärmebedarf (wärmegeführt) ausgelegt werden. Die Abstimmung auf den Wärmebedarf ist die häufigste Form und bei der Energieversorgung von Gebäuden weitgehend üblich. Dabei geht die KWK-Anlage nur bei Wärmenachfrage in Betrieb und produziert dann auch Strom, der direkt verbraucht oder ins öffentliche Netz eingespeist werden muss. Eine Orientierung nach dem Strombedarf ist seltener und eher in Produktionsbetrieben zu finden.

Bild 2 • BHKW SenerTec Dachs Pro 20 für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden. Bild: BHKW-Infothek, Louis-F Stahl

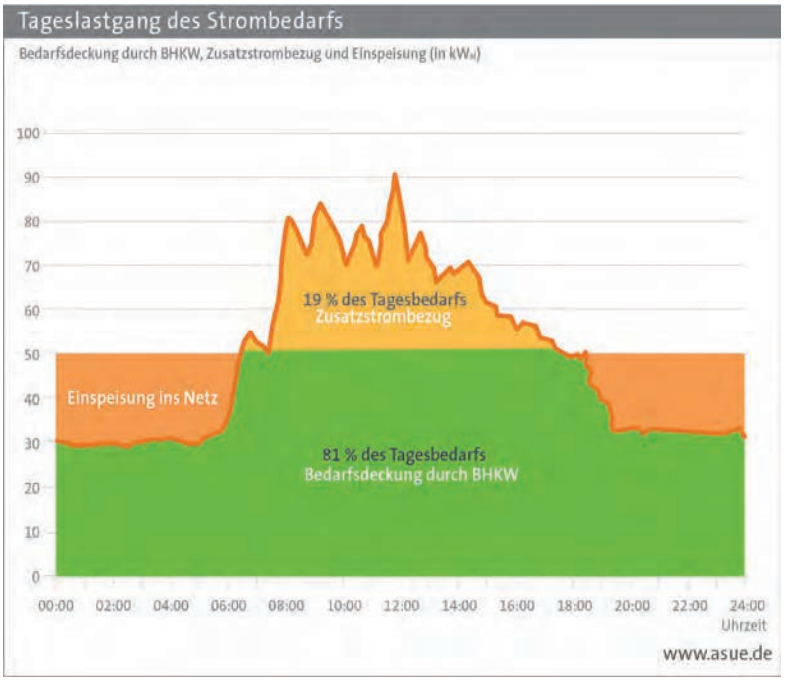

Bild 3 • Die Grafik zeigt beispielhaft einen Tageslastgang des Strombedarfs in einem Hotel. Grafik: ASUE

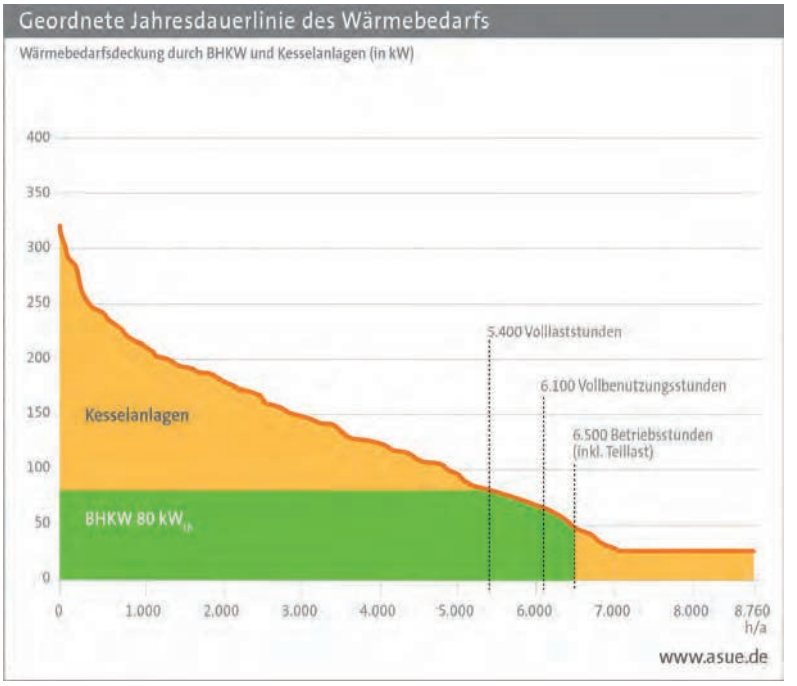

Bild 4 • Ebenso wichtig wie der Tageslastgang ist für die Auslegung die geordnete Jahreskennlinie des Wärmebedarfs. Im Beispiel ergibt sich eine Spitzenlast von etwa 200 bis 320 kWth in etwa 1.300 Stunden im Jahr. Die Grundlast liegt bei etwa 30 kWth in 1.700 Stunden. Für diese Wärmebedarfsstruktur könnte der Planer ein typisches BHKW mit einer thermischen Leistung von 80 kW wählen, das durchschnittlich auf 6.100 Vollbenutzungsstunden im Jahr käme. Grafik: ASUE

Meist geht es in solchen Fällen darum, teuren Fremdstrombezug zu ersetzen. Die gleichzeitig erzeugte Wärme lässt sich – wie bei der wärmegeführten Variante der Strom – vor Ort nutzen oder aber in Pufferspeichern für eine spätere Verwendung einlagern. Effizient einzusetzen sind Blockheizkraftwerke nur dort, wo eine relativ hohe thermische Grundlast zu bedienen ist und elektrischer Strom sinnvoll genutzt werden kann. Zu typischen Anwendungsfällen zählen unter anderem Wohn- und Bürogebäude, Schulen und Krankenhäuser, ferner Hotels und Schwimmbäder sowie Gewerbe- und Industriebetriebe.

Beispiel: BHKW für ein Hotel

Zunächst muss sich ein Planer einen Überblick über die gesetzlichen Vorgaben der Energie-Einsparverordnung (EnEV), des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) sowie einschlägigen Richtlinien, Normen und Vorschriften verschaffen und sie berücksichtigen. Das ist wichtig, weil nur durch eine fachmännische und vorschriftenkonforme Planung die maximal mögliche Energieeffizienz eines BHKWs möglich und ferner nur so die Zuteilung attraktiver Fördergelder sicher ist. Bei komplexen Anlagen dürfte der Bauherr gut beraten sein, auf die Unterstützung spezieller Beraterfirmen zu setzen. Eine wesentliche Zielsetzung bei der Realisierung eines BHKWs besteht darin, eine hohe Anlagenauslastung, das heißt, lange, unterbrechungsfreie Laufzeiten mit hoher Laststufe zu erreichen. Im Mittelpunkt der Planung und Dimensionierung steht daher zunächst die Ermittlung der richtigen Leistungsgröße. Hierzu ist eine detaillierte Analyse der wärme- und stromseitigen Randbedingungen bei jedem Anwendungsfall erforderlich, um die Wärme- und Stromerzeugung in einem BHKW an die jeweiligen Bedarfswerte anzupassen. Für Hotels bietet sich eine wärmegeführte Einbindung des BHKWs in die Heizwärme- und Trinkwarmwasserversorgung an. Charakteristisch für den Verlauf des außentemperaturabhängigen Heizwärmebedarfs sind hohe Leistungswerte an nur wenigen kalten Tagen eines Jahres und erheblich kleinere Leistungswerte während der meisten Stunden eines Jahres. Eine übliche Darstellung dieses Verlaufs der Heizwärme ist die geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs. Das BHKW übernimmt

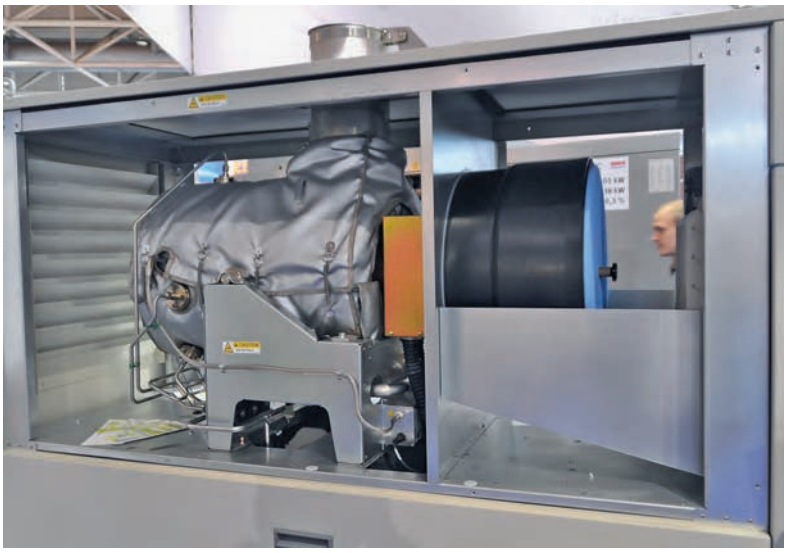

Bild 5 • Mikro-Gasturbine. Bild: Ra Boe, Wikimedia Commons

dabei in erster Linie die Grundlastversorgung und speist in Zeiten mit geringem Wärmebedarf in einen Wärmespeicher ein. Auf diese Weise können die Wärmelastspitzen, die in Hotels üblicherweise in den Morgenstunden auftreten, bedient werden. Übertrifft der Wärmebedarf die Leistung des BHKWs und des Speichers, müssen zusätzliche Wärmemengen aus einem Spitzenlastkessel einfließen.

Nachfrage nach Mikro-Gasturbinen

Neben Ottomotoren und Brennstoffzellen kommen in BHKWs immer öfter auch Mikro-Gasturbinen zum Einsatz. Funktion und Aufbau sehen folgendermaßen aus: Ein in speziellen Brennkammern verbrennendes Gas erhitzt Verbrennungsluft, die ihrerseits ein auf einer Welle montiertes Schaufelrad rotieren lässt. Mit dieser Schaufelradwelle ist ein E-Generator gekoppelt, der Strom erzeugt. Für die Nutzung der rund 250 °C heißen Abwärme gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, vor allem in gewerblichen und industriellen Prozessen. Marktreife Mikro-Gasturbinen sind mit Leistungen von 3,2 kWel/15,6 kWth bis zu 400 kWel/500 kWth verfügbar. Bei der Wahl des Brennstoffs ist es zunächst unerheblich, ob dieser flüssig oder gasförmig vorliegt. Für einen optimalen Anlagenwirkungsgrad wird aber meist auf gasförmige Brennstoffe zurückgegriffen, da bei diesen keine zusätzliche Energie zum Verdampfen aufgewendet werden muss. Mit der Möglichkeit, in Zukunft „grüne Gase" wie zum Beispiel Biomethan sowie Wasserstoff und andere Gase aus Power-to-Gas-Anlagen zu nutzen, sind Mikro-Gasturbinen bestens geeignet, die Energiewende zu unterstützen.

Einsatzmöglichkeiten für Mikro-Gasturbinen sind überall dort zu finden, wo ein Wärmebedarf auf hohem Temperaturniveau und in schwankender Menge vorliegt und zudem mit selbsterzeugtem Strom die betrieblichen Kosten reduziert werden können. Vor allem die erstrebenswerte Unabhängigkeit von steigenden und aufgrund von häufigen, gesetzlichen Änderungen wenig planbaren Strompreisen kann potentielle Kunden zum Einsatz von Mikro-Gasturbinen motivieren. Studien sehen jedenfalls für den europäischen Markt ein erhebliches Potential und gehen davon aus, dass neben Immobilienwirtschaft sowie Gewerbe- und Industriebetrieben auch Energieversorgungsunternehmen in Zukunft solche Aggregate zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung nutzen werden.

Bild 6 • Modell eines Stirlingmotors mit Flamme am Glaskolben. Bild: Claudio Minonzio, Wikimedia Commons

Stirlingmotor nutzt unterschiedliche Wärmequellen

Relativ neu und bei Herstellern zum Teil erst in der Probephase sind BHKW mit Stirlingmotor, einer Maschine, die Wärmequellen unterschiedlicher Temperatur, also ein Wärmegefälle, in mechanische Rotationsenergie umwandelt. Dabei wird die thermische Energie von außen an die Zylinder des Motors herangeführt, muss also nicht wie beim Benzin- oder Dieselmotor im Innern durch Verbrennung von Brennstoffen erzeugt werden. Damit öffnet sich eine Reihe von Möglichkeiten: Der Stirlingmotor, auch Heißluftmotor genannt, kann mit beliebigen Wärmequellen arbeiten, zum Beispiel mit Sonnenenergie, mit der Abwärme technischer Prozesse oder mit Wärme aus der Verbrennung von Bio- oder Deponiegas, um nur einige zu nennen. Stirlingmotoren verursachen verhältnismäßig geringe Emissionen. Sie zeichnen sich durch einen geräuscharmen und vibrationsfreien Lauf sowie einen nahezu verschleißfreien Betrieb aus, was die Wartungskosten stark reduziert. Den geringen elektrischen Wirkungsgraden von etwa 15 Prozent stehen dank geringer Wärmeverluste hohe thermische Wirkungsgrade gegenüber, sodass sich Gesamtwirkungsgrade von über 90 Prozent einstellen können.

Brennstoffzellen-Heizgeräte

Die ebenfalls zur Gruppe der KWK-Technologien zählenden Brennstoffzellen-Heizgeräte kommen ohne einen motorgetriebenen Generator aus; sie nutzen zur Erzeugung von Strom und Wärme vielmehr chemische Prozesse. Eine Brennstoffzelle besteht aus zwei getrennten Kammern für den Brennstoff (beispielsweise Wasserstoff) und für den Sauerstoff (Luft). Weiterhin aus einem Elektrolyten, der die Kammern gasdicht voneinander trennt, um den direkten Kontakt von Sauerstoff und Wasserstoff zu vermeiden; aus Anode und Kathode, die porös ausgeführt sind, um eine möglichst große Oberfläche zu erreichen und aus einer Vorrichtungen zur Abführung von Wasser und von nicht genutztem Brennstoff und Sauerstoff.

Zum besseren Verständnis der Funktion zunächst ein Blick auf die bekannte konventionelle Energieerzeugung, die in Wärmekraftwerken über drei Stufen abläuft: Zunächst wandelt man die chemische Energie des Brennstoffs durch Verbrennung in thermische Energie um,

die einen Motor oder eine Turbine antreibt und damit zu mechanischer Energie wird. Dieser zweiten folgt die dritte Konversionsstufe, in der sich die mechanische Energie mit Hilfe eines Elektrogenerators in elektrische umformt. Eine Brennstoffzelle dagegen ermöglicht die Umwandlung der chemisch gebundenen Energie des Brennstoffs in elektrische Energie ohne Zwischenstufen; der Umweg über die thermische und mechanische Energie entfällt also, was zur Folge hat, dass der elektrische Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle erheblich höher ist als der herkömmlicher Energieerzeuger. Nach langen Entwicklungs- und Erprobungsphasen mit einigen Rückschlägen, sind Brennstoffzellen-Heizgeräte seit kurzem im Markt verfügbar. Die Leistungsgrößen reichen von weniger als 1 kWel bis zu mehr als 1 MWel. Insbesondere die durch Förderprogramme unterstützte Anwendung in Ein- und Zweifamilienhäusern hat dieser hocheffizienten Lösung vermehrt Aufmerksamkeit verschafft. Ein Beispiel zum technischen Konzept: Der Heizungsbauer Viessmann setzt auf ein kompaktes System, das neben einer Brennstoffzelle (750 Wel) und (1 kWth) einen Gas-Brennwert-Spitzenlastkessel sowie einen Speicher für die Warmwasserbereitung in einem Gehäuse zusammenführt (Bild 8).

Trends

Zum Schluss noch ein Blick auf interessante Entwicklungen, die Jürgen Stefan Kukuk, Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE), auf Anfrage mitteilte. Demnach arbeiten in der Branche die meisten namhaften Hersteller an BHKW, die zu 100 Prozent reinen Wasserstoff verarbeiten können. Dazu gehört die Firma 2G aus Heek, außerdem die Firma Sokratherm aus Hiddenhausen, dessen BHKW in Haßfurt eine Brauerei mit Wärme und Strom versorgt. Ebenfalls mit einem bisher kaum eingesetzten Brennstoff, nämlich mit synthetischem Methan, läuft eine BHKW-Anlage in Augsburg. Das Methan stammt aus einem Elektrolysesystem, das „grünen" Strom aus einer Photovoltaikanlage bezieht. Der Betreiber kann das produzierte Gas für den Winter zwischenspeichern. Mit den Abgasen anfallendes CO_2 wird dem Methanisierungsprozess zugeführt.

Die Firma Lion aus Olsberg stellte letztens ein BHKW vor, das nach dem Prinzip eines Dampf-Kreislaufes funktioniert. Der Vorteil ist eine besonders robuste Bauweise, einen Nachteil hat das Gerät allerdings auch: einen recht niedrigen Wirkungsgrad. Und nicht zuletzt dieser Hinweis: In zunehmendem Maße finden sich unter den BHKW-Anlagen auch Mikro-Gasturbinen, zum Beispiel solche der kalifornischen Firma Capstone oder der Firma Ansaldo Energia aus Genua. In den folgenden zwei Beispielen geht es nicht wie bei den oben genannten um einen untypischen Kraftstoffeinsatz oder einen bisher nicht erprobten thermischen Kreislauf, sondern um etwas aus dem Rahmen fallende Maßnahmen im Sinne der Energiewende. So ersetzten in Kiel 20 BHKW mit einer elektrischen Leistung von 10.000 kW ein Kohlekraftwerk. In einem vergleichbaren Projekt betreiben die Kraftwerke Mainz Wiesbaden 20 BHKW als KWK-Anlage. Ferner sei ein Wohnprojekt in Langweid in der Nähe von Augsburg genannt, in dem 30 Häuser standardmäßig eine Brennstoffzelle von Viessmann nutzen. Damit glänzt das Neubaugebiet unter Einrechnung der Stromerzeugungsgutschrift mit einem besonders niedrigen Primärenergieverbrauch.

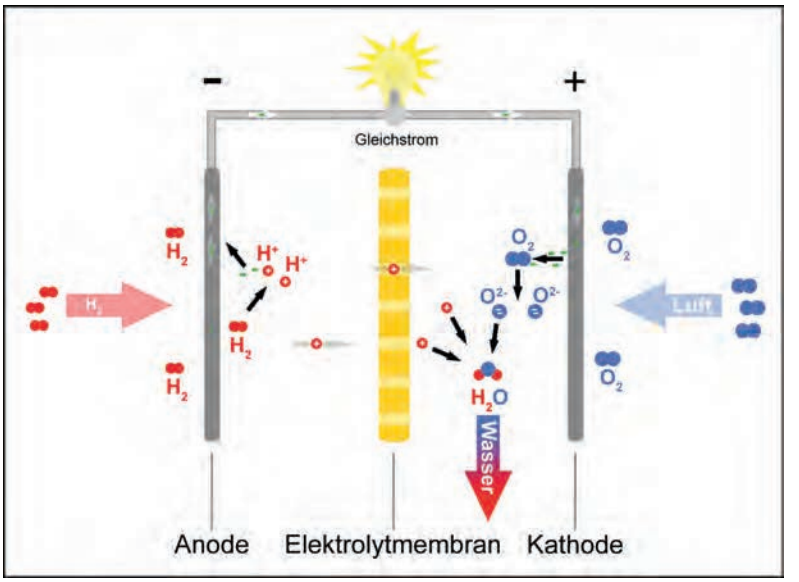

Bild 7 • Darstellung des Funktionsprinzips einer Brennstoffzelle. Grafik: Christoph Lingg, Wikimedia Commons

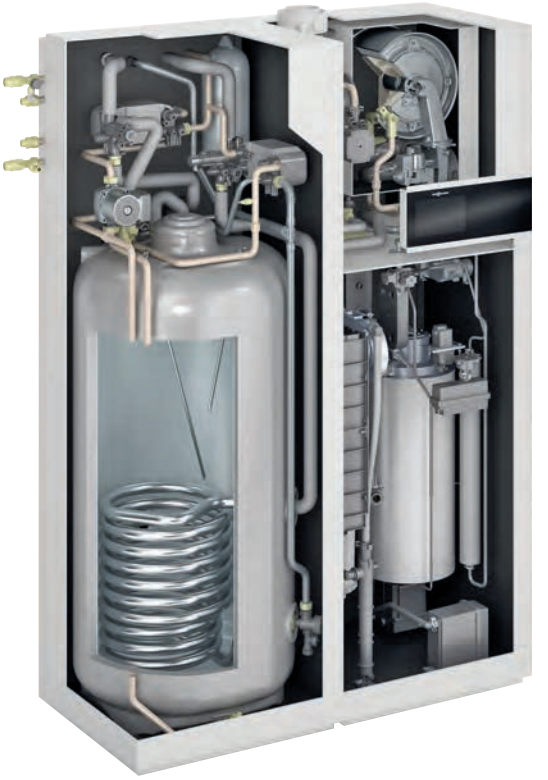

Bild 8 • Brennstoffzellen-Heizgerät PT2 von Viessmann für Wärme- und Stromerzeugung.
Bild: Viessmann Werke