



Wärmeerzeugung im Gebäudebestand mit erneuerbaren Energien

Brennstoffzellenheizung

Die Brennstoffzelle nutzt Wasserstoff oder Erdgas und wird mit einem Gas-Brennwertkessel kombiniert

Brennstoffzellen wandeln wasserstoffreiche Gase in Strom und Wärme um (siehe Abbildung 1). In der Regel ist der Brennstoffzelle eine Gasumwandlung vorangestellt, sodass ein Betrieb mit Erdgas aus dem öffentlichen Netz möglich ist. Einzelne Systeme erlauben auch die Nutzung von Flüssiggas. Damit die Brennstoffzelle ökonomisch und verschleißarm arbeitet, wird sie zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Als zweiter Wärmeerzeuger deckt ein Brennwertkessel die darüber hinaus benötigte Leistung ab. Die Kombination der einzelnen Komponenten wird als vollständige Einheit auf dem Markt angeboten.

Funktionsweise

In Ein- und Zweifamilienhäusern kommen zwei Arten von Brennstoffzellen zum Einsatz: die Niedertemperatur-PEMFC

(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) und die Hochtemperatur-SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Die PEMFC benötigt einen vorgeschalteten Reformer, dort entstehen aus Methan (Erdgas) und Wasserdampf durch chemische Reaktionen Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff. Eine Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden, die durch eine Elektrolytmembran voneinander getrennt sind. Wird der Anode Wasserstoff zugeführt, so entstehen positiv geladene Wasserstoffionen und Elektronen. Die Ionen wandern durch die Membran zur Kathode und die Elektronen fließen als Strom über einen Leiter, der die Elektroden verbindet. An der Kathode reagieren Luft, Wasserstoffionen und Elektronen zu Wasser. Um die Leistung zu erhöhen, werden mehrere Brennstoffzellen zu einem Stack zusammengeschaltet. Bei dem Prozess der Stromerzeugung entsteht Wärme, die für die Gebäude- und Trinkwassererwärmung genutzt wird.

Brennstoffzellenheizung

Aufbau

Die Brennstoffzellenheizung besteht aus den folgenden Hauptbestandteilen:

- Gasanschluss
- Reformer (bei PEMFC)
- Brennstoffzellen-Stack
- Speicher
- Gas-Brennwertgerät zur Spitzenlastdeckung
- Abgassystem (feuchtebeständig)
- Zähler: Erzeugungszähler und Netzanschluss mit Zweizeige-Stromzähler

Brennstoffzellenheizungen können mit Erdgas oder (aufbereitetem) Biogas betrieben werden. Eine Zumischung von Wasserstoff ist systemabhängig möglich. Der reine Wasserstoffbetrieb ist aktuell nur bei einer getrennten Installation von Brennstoffzelle und Zusatzheizung möglich.

PEMFC und SOFC sind dafür geeignet, die Wärme zur Gebäudebeheizung auf einem Temperaturniveau von bis zu 60 °C bereitzustellen. Die SOFC hat einen etwas höheren elektrischen Wirkungsgrad als die PEMFC, wobei der Gesamtwirkungsgrad für beide Systeme bei circa 90 Prozent liegt, abhängig von der Rücklauftemperatur des Heizkreises. Es ist zu beachten, dass die Leistung der Brennstoffzelle aufgrund von Degradation über die Lebensdauer sinkt.

Typische Brennstoffzellen für den Einsatz in Ein- oder Zweifamilienhäusern haben folgende Nennleistungen:

- PEMFC 1 kW_{th}, 0,7 kW_{el}
- SOFC 0,85 kW_{th}, 0,5 – 1,5 kW_{el}

Die erzeugte Wärme wird direkt an den Heizkreis übergeben oder in einem Puffer- bzw. Warmwasserspeicher gespeichert. Über die Einbindung eines zweiten Wärmeerzeugers wird die notwendige Leistung bereitgestellt.

Die Effizienz von Brennstoffzelle und Gas-Brennwertkessel steigt mit geringerer Rücklauftemperatur. Die Rücklauftemperatur muss bei PEMFC in der Regel unter 50 °C liegen. In Bestandsgebäuden ist das deutliche Absenken der Systemtemperaturen häufig nur mit einem (teilweisen) Heizflächenaustausch möglich. Es sind in jedem Fall eine Heizlastberechnung und ein hydraulischer Abgleich durchzuführen.

Die Brennstoffzellenheizung wird wärmegeführt betrieben. Moderne Regelungen können den Eigenverbrauch des erzeugten Stroms optimieren und beeinflussen die Laufzeit der Brennstoffzelle. Die Wirtschaftlichkeit des Systems verbessert sich, je mehr des produzierten Stroms im Haus direkt verbraucht wird.

Sollte überschüssiger Strom erzeugt werden, so kann er ins Stromnetz eingespeist und vergütet werden. Häufig ist ein Zähleraustausch erforderlich: Ein Zweizeigezähler stellt sicher, dass Verbrauch und Einspeisung korrekt ermittelt werden. Rückwärtslaufende Zähler sind zum aktuellen Stand verboten.

Brennstoffzellenheizungen werden im Gebäudeinneren aufgestellt und benötigen neben der Gasversorgung ein Abgassystem mit Kondensatablauf. Die benötigte Aufstellfläche variiert je nach System und liegt bei circa 1 und 2 m².

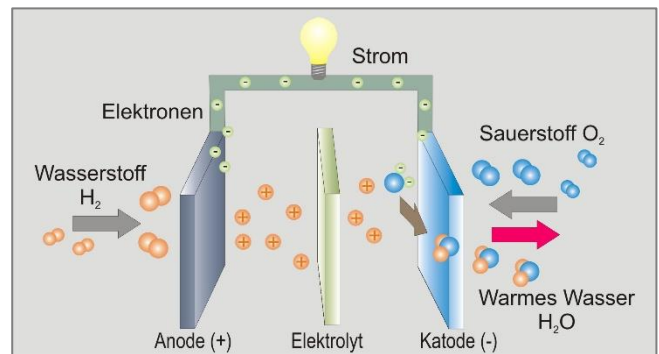


Abbildung 1: Funktionsprinzip PEM-Brennstoffzelle

Betrieb und Kombinationsmöglichkeiten

Die Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzelle ist aufgrund der relativ hohen Investitions- und der geringeren Betriebskosten bei langen Laufzeiten gegeben. Daher ist sie eher für Gebäude, die einen kontinuierlichen Grundbedarf an Wärme und Strom haben (mehrere Bewohnerinnen und Bewohner und/oder mittlerer bis schlechter Wärmeschutz), geeignet.

Die Wartung der Brennstoffzelle muss entsprechend den jeweiligen Herstellerangaben etwa alle fünf bis sechs Jahre erfolgen. Nach etwa zehn Jahren, abhängig von den tatsächlichen Betriebsstunden, ist in der Regel ein Austausch des Brennstoffzellen-Stacks notwendig. Das Gas-Brennwertgerät erfordert eine jährliche Wartung. Hersteller bieten teilweise Vollwartungsverträge für das Gesamtsystem an, die auch eine Leistungsgarantie beinhalten.

Es ist möglich, anstatt des Gas-Brennwertkessels eine Wärmepumpe einzusetzen. Dann deckt die Brennstoffzelle die Grundlast des Wärmebedarfs und die Wärmepumpe ist individuell angepasst auszuliegen.

Brennstoffzellenheizung

Umweltwirkung

Wird die Brennstoffzellenheizung mit Erdgas betrieben, entstehen Treibhausgase bei der Umwandlung in Wasserstoff und bei der Verbrennung. Bei der Verarbeitung und beim Transport entstehen ebenso klimawirksame Stoffe wie Kohlenstoffdioxid und Methan.

Der Einsatz von Biogas oder Wasserstoff reduziert die Treibhausgasemissionen bilanziell. Nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) gelten folgende Emissionsfaktoren (Bezug Heizwert):

- Erdgas 0,24
kg CO₂-Äq./kWh
- Flüssiggas 0,27
kg CO₂-Äq./kWh
- Biogas 0,14
kg CO₂-Äq./kWh
- Biogas, gebäudenah erzeugt 0,075
kg CO₂-Äq./kWh



Abbildung 2: Brennstoffzellenheizung

Effizienz und Erfüllung der Vorgabe zum Betrieb mit 65 Prozent erneuerbarer Energie

Neu eingebaute oder aufgestellte Heizungsanlagen müssen im Regelfall entsprechend Gebäudeenergiegesetz (GEG) (ab 01.01.2024) mindestens 65 Prozent der von der Anlage bereitgestellten Wärme (Erzeugernutzwärmeabgabe) mit erneuerbarer Energie oder unvermeidbarer Abwärme erzeugen. Für den Einbau und Betrieb einer Brennstoffzellenheizung gibt es verschiedene Erfüllungsoptionen:

- Betrieb mit mindestens 65 Prozent grünen Gasen
- Kombination mit einem oder mehreren Wärmeerzeugern, die die Vorgabe von 65 Prozent erneuerbaren Energien ganz oder anteilig erfüllen – Berechnung notwendig
- Kombination mit Solarthermie und Betrieb mit 60 bis 65 Prozent grünen Gasen (abhängig von Aperturfläche)

- Übergangslösung: Einsatz einer auf 100 Prozent H₂-ready umrüstbaren Anlage in Kombination mit einer Ausweisung als Wasserstoffnetzausbaugbiet und verbindlichem Fahrplan des Netzbetreibers

Der Bezug des grünen Gases, das den Anforderungen des GEG genügt, muss über Herkunftsnachweise oder eine Massebilanz nachgewiesen werden (Bestätigung mit Abrechnung). Zur Erfüllung sind folgende Gase zulässig:

- Biomethan
- Biogenes Flüssiggas
- Grüner Wasserstoff (Produktion aus Wasser mittels Elektrolyse, Strom aus erneuerbaren Energien)
- Blauer Wasserstoff (Wasserstoffproduktion aus Erdgas mit Speicherung/Bindung von Kohlenstoffdioxid)

Liegt das Gebäude in einem Wasserstoffnetzausbaugbiet und werden die Anforderungen an die Transformation zu einem Wasserstoffnetz durch den Netzbetreiber erfüllt (Prüfung durch Bundesnetzagentur), darf temporär eine neue Anlage, die sowohl Erdgas als auch nach Umrüstung einzelner Bauteile 100 Prozent Wasserstoff verbrennen kann, eingesetzt und ohne Einhaltung der 65-Prozent-Anforderung betrieben werden. Der Nachweis zur Umrüstbarkeit muss über den Hersteller oder eine Handwerkererklärung erbracht werden. Wenn die Umstellung oder der Bau des Gas- bzw. Wasserstoffnetzes abgebrochen wird, so muss die Heizungsanlage innerhalb von drei Jahren so angepasst werden, dass sie die Anforderung an 65 Prozent erneuerbare Energien erfüllt. Dadurch entstehende Mehrkosten muss der Gasverteilnetzbetreiber erstatten, wenn er sie zu vertreten hat.

Brennstoffzellenheizungen, an die zum Einbauzeitpunkt keine Anforderung an 65 Prozent erneuerbare Energien gestellt wird und die nicht im Ausbaugbiet für Wasserstoff oder Wärmenetze liegen (siehe Hintergrund-Factsheet), müssen schrittweise auf den Betrieb mit grünen Gasen umgestellt werden:

- ≥ 15 Prozent ab 01.01.2029
- ≥ 30 Prozent ab 01.01.2035
- ≥ 60 Prozent ab 01.01.2040

Unabhängig von den oben beschriebenen aktuellen Vorgaben muss vor dem Einbau eine Beratung durch eine zur Ausstellung von Energieausweisen berechnete Person oder eine Person mit Fachkunde für Heizungsprüfungen (Fachkraft aus Schornsteinfeger-, Installateur- oder Heizungsbaubetrieben, Energieeffizienz-Expertinnen und -Experten) zur möglichen Unwirtschaftlichkeit erfolgen. Zudem ist ab 31.12.2044 der Betrieb von Heizkesseln mit fossilen Brennstoffen, auch anteilig, untersagt.

Brennstoffzellenheizung

Kennwerte und Kosten

Brennstoffzellen ($\eta_{el} \geq 0,32$ und $\eta_{ges} \geq 0,82$), die vollständig mit grünem oder blauem Wasserstoff oder Biomethan betrieben werden, sind im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) – Zuschuss: Anlagen zur Wärmeerzeugung förderfähig. Die Förderrichtlinie wurde 2023 überarbeitet und trat am 01.01.2024 in Kraft (weitere Informationen siehe Hintergrund-Factsheet).



Abbildung 3: Brennstoffzelle

Bei Einbau ist eine Vollwartung über zehn Jahre zu vereinbaren. Die Grundförderung beträgt 30 Prozent.

Zusätzliche Förderkomponenten, abhängig vom Ambitionsniveau und der persönlichen Situation, sind im Hintergrund Factsheet übersichtlich dargestellt. Die Obergrenze einer Förderung liegt bei 55 Prozent, selbstnutzende Eigentümer können bis zu 70 Prozent Förderung erhalten. Wird keine Investitionskostenförderung in Anspruch genommen, können folgende Zuschüsse gewährt werden:

- Erstattung der Energiesteuer nach EnergieStG, wenn Jahresnutzungsgrad > 70 Prozent: 5,5 ct/kWh Erdgas (nur Brennstoffzelle) über 10 Jahre (EnergieStG)
- Zuschlag nach KWKG (auf jährlich begrenzte, sinkende Vollbenutzungsstunden, insgesamt maximal 30.000 VBH)
 - bei Einspeisung 8 ct/kWh
 - bei Eigenverbrauch 4 ct/kWh Strom

Für eingespeisten Strom wird ausgezahlt:

- Börsenstrompreis für Einspeisung (EEX-Baseloadpreis)

Der Stromeigenverbrauch ist, unabhängig von der Förderung nach StromStG, von der Stromsteuer und dem Netzentgelt befreit und reduziert die Kosten für den Strombezug.

Brennstoffzellenheizung	
Energieverbrauch (Gas)	
geringer Verbrauch	wenig geeignet
hoher Verbrauch	34.200 kWh/a
Energiekosten	
geringer Verbrauch	wenig geeignet
hoher Verbrauch	6.300 €/a
Vergütung und eingesparte Strombezugskosten	- 2.100 €/a
Investitionskosten	
Brennstoffzelle und Kessel inkl. Abgassystem und Speicher	37.000 €
Zusatzkosten Heizflächen austausch	6.000 €
Instandsetzungsaufwand	1,5 % der Investitionskosten
Wartungskosten / sonstige jährliche Kosten	in Abhängigkeit vom Wartungsumfang individuell verschieden
Lebensdauer (Gesamtsystem, inkl. einmaliger Austausch Brennstoffzellen-Stack innerhalb der Lebensdauer)	18 Jahre



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

Kontakt:
 Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
 Arne Höllen
 Seniorexperte, Klimaneutrale Gebäude
 Chausseestraße 128 a
 10115 Berlin
 Tel.: +49 30 66 777-641
 E-Mail: arne.hoellen@dena.de
 E-Mail: info@dena.de / info@gebaeudeforum.de
 Internet: www.dena.de / www.gebaeudeforum.de
 Alle Rechte sind vorbehalten.
 Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.