

„Betriebsweisen und Systemeinbindung von Brennstoffzellen-Heizgeräten aus Sicht eines EVU“

Dipl.-Ing. Heinrich Wilk

Energie AG

A-4020 Linz, Böhmerwaldstraße 3

Tel:0732 9000 3514 Fax: -3309

e-mail: heinrich.wilk@energieag.at

1) Einleitung

Im Jahr 1839 hat der englische Physiker Sir William Grove das Prinzip der Brennstoffzelle entdeckt. Er fand, daß bei der Umkehrung der Elektrolyse eine Zelle wie eine Batterie funktioniert und elektrischen Strom abgibt solange man ihr Sauerstoff und Wasserstoff zuführt. Das Reaktionsprodukt ist Wasser. Darüber hinaus entsteht Wärme. Die erste praktische Anwendung findet man 1963 in der US-Raumfahrt (Gemini). Auch heute befinden sich an Bord des Space-Shuttle sehr effiziente Brennstoffzellen. In Deutschland wurden die ersten Brennstoffzellen von Varta und Siemens entwickelt. Siemens liefert PEM-Brennstoffzellen für U-Boote der deutschen Marine.

Die bekannteste Anwendung wurde jedoch von Daimler-Chrysler im Versuchsfahrzeug NECAR demonstriert. Auf der Basis eines A-Klasse Mercedes wurden mit PEM-Brennstoffzellen viele erfolgreiche Testfahrten absolviert. Als Kraftstoff dient Methanol bzw. Flüssigwasserstoff.



Bild 1: Brennstoffzellen-Heizgerät,
 $P_{el} = 1 \text{ kW}$, Sulzer Hexis AG, Projekt Basel

2) Stationäre Brennstoffzellenanlagen

Die bisher größte stationäre Anlage hatte eine elektrische Leistung von 11 MW und wurde 1990 beim Energieversorger TEPCO in Tokio betrieben (PAFC). Mit stationären BHKW-Anwendungen von Brennstoffzellen begann 1989 die amerikanische Firma ONSI Corp.

Es entstand eine vorkommerzielle Serie von Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 200 kW. In den letzten Jahren wurden weltweit über 200 Stück dieses BHKW-Typs eingesetzt.

Die Phosphorsäure-Brennstoffzelle von ONSI wird in einem anschlussfertigen Container geliefert (siehe Bild 2). Erdgas wird zu Wasserstoff reformiert und mit Luftsauerstoff dem Zellenstapel zugeführt. Die thermische Leistung beträgt 220 kW. Die Wärme wird in einem Temperaturniveau von bis zu 100 °C ausgekoppelt. Die thermische Maximalleistung erreicht man jedoch nur wenn die Rücklauftemperatur nicht über 30 °C steigt.

Mit einigen Anlagen dieses Typs wurde eine Betriebsdauer von über 35.000 Stunden erzielt. Der elektrische Wirkungsgrad betrug anfänglich 41 % und sank dann auf 30 bis 35 % ab. Bild 3 zeigt die für Brennstoffzellensysteme typische Wirkungsgradkurve. Der Abfall des Wirkungsgrades bei Teillast ist durch den Energieaufwand für die Hilfsaggregate bestimmt.



Bild 2: Brennstoffzellen-BHKW, ONSI
Foto: EWAG Projekt Nürnberg

Im Bild 2 ist die ONSI-Anlage dargestellt, die in Nürnberg seit 3 Jahren eine Wohnsiedlung mit 763 Wohnungen mit Grundlastwärme und Strom versorgt. Die Auslegung erfolgte so, daß die Brennstoffzelle auch im Sommer zur Warmwasserbereitung voll ausgelastet ist. Im Winter werden zusätzliche Gaskessel zur Abdeckung der Heizlast eingesetzt.

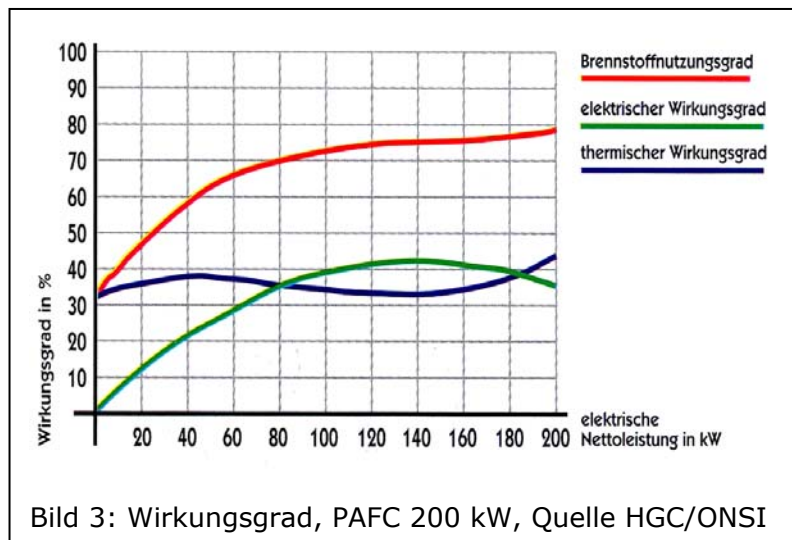


Bild 3: Wirkungsgrad, PAFC 200 kW, Quelle HGC/ONSI

In Versuchsprojekten werden ONSI-Anlagen mittlerweile auch mit Deponiegas bzw. Klär- gas betrieben. Der Methananteil beträgt hier etwa 50 %. Zur Gasreinigung muß ein erhöhter Aufwand betrieben werden (z.B. Projekt Köln, 2000).

Siemens wird heuer noch ein BZ-System mit einer elektrischen Leistung von 320 kW an RWE ausliefern. Diese Anlage enthält SOFC-Röhrenzellen von Westinghouse.

Im Sommer 2000 wurden erstmals große Brennstoffzellenanlagen auf PEM-Basis in Berlin und in Basel in Betrieb genommen. Die elektrische Nennleistung beträgt 250 kW. Der Lieferant ist Alstom-Ballard. Bisher konnte ein elektrischer Wirkungsgrad von maximal 35,1 % erreicht werden. Das Projekt bei der BEWAG in Berlin wird von der EU gefördert (Partner: EDF, HEW...). Die BZ-Abwärme wird in den Rücklauf des Fernwärmenetzes von Berlin beim Heizwerk Treptow eingespeist.



Bild 4: Berlin, 250 kW PEM von Alstom-Ballard

3) Kleinanlagen für Wohngebäude

Die amerikanische Firma Plug-Power hat schon vor 4 Jahren Versuchshäuser mit Strom aus PEM-Brennstoffzellen versorgt. Die Abwärme wurde nicht genutzt. Wesentlich war der Gedanke der zuverlässigen dezentralen Stromversorgung. Vaillant entwickelt nun in einer Partnerschaft mit Plug-Power und GE ein Brennstoffzellen-Heizgerät für den europäischen Markt. Im Jahr 2004 sollen die ersten Geräte in Kleinserie verfügbar sein.

Auch die Hamburger Firma HGC hat mit einem amerikanischen Partner eine Brennstoffzellen-Hausenergiezentrale auf PEM-Basis entwickelt. Sie wird bereits jetzt in kleinen Stückzahlen an Testkunden verkauft (Erdgashaus der VNG in Machern/Leipzig, 1999). Die thermische Einbindung erfolgt über den Rücklauf des Heizsystems. Um die großen Entwicklungsfortschritte aus der PKW-Forschung nutzen zu können werden auch hier Polymer-Membran-Brennstoffzellen eingesetzt. Das Temperaturniveau der ausgekoppelten Wärme ist auf etwa 70 °C begrenzt. Aus diesem Grund muß man bei Versuchshäusern ein Niedertemperatur-Heizsystem einbauen (Fußbodenheizung). Kritisch ist bei den meisten BZ-Anlagen die Höhe der Rücklauftemperatur. Optimal für die Wärmelieferung aus der BZ sind ganz niedrige RL-Temperaturen im Bereich um 30 °C.

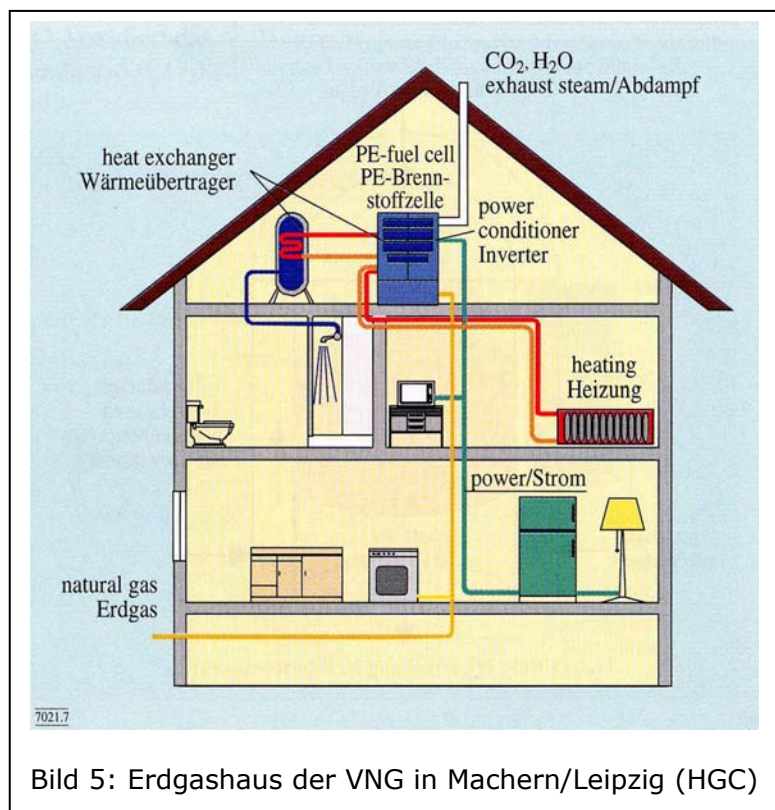


Bild 5: Erdgashaus der VNG in Machern/Leipzig (HGC)

4) Integration von Brennstoffzellen in Gebäude

Die Integration von Brennstoffzellen in das Energiesystem von Gebäuden wird als Option für die künftige Art der Energiebereitstellung gesehen. Brennstoffzellen eignen sich für die dezentrale Versorgung von Kundenanlagen mit Strom und Wärme. Neben den Bemühungen vieler Firmen BZ-Aggregate im Leistungsbereich von 200 bis 300 kW für Krankenhäuser, Schulen und Wohnblocks zur Serienreife zu bringen, gibt es auch Bestrebungen kleine Anlagen in Kilowattbereich für Wohnhäuser zu erproben (Sulzer Hexis AG, HGC, Vaillant).

Die BZ-Anlage muß sowohl mit dem Wärmeverteilsystem des Gebäudes als auch mit dem Stromnetz zusammenarbeiten können. Als Energielieferant ist das Erdgasnetz vorgesehen.

Bild 6 zeigt den rechnerisch ermittelten Wärmebedarf eines typischen Einfamilienhauses nach der aktuellen OÖ-Bauordnung (Heizlast 8 kW, laut ÖNORM B8135). Der Wärmebedarf beschränkt sich im Sommer auf die Warmwasserbereitung, wobei der Sommerurlaub noch nicht berücksichtigt ist. Weiters ist zu erwarten, daß in vielen Fällen solarthermische Warmwasserbereitungsanlagen diesen Teil übernehmen.

Im Folgenden gehen wir davon aus, daß die Brennstoffzelle, die Gleichstrom erzeugt mit einem Wechselrichter im netzparallelen Betrieb arbeitet. Die Verbraucher im Gebäude werden direkt versorgt und eventuelle Überschüsse ins Stromnetz gespeist. Übersteigt die Leistung der Verbraucher die Stromlieferung der Brennstoffzelle so wird Strom aus dem Netz bezogen.

In Bild 7 ist der saisonale Verlauf des Strombedarfs mehrerer Familien dargestellt. Obwohl der Jahresverbrauch recht verschieden ist, zeigt die relative Darstellung weitgehend ähnliche Verläufe.

Die Wirtschaftlichkeit jeder KWK-Anlage hängt von ihrer Betriebsstundenzahl ab. Ebenso wie Gasmotoraggregate werden auch Brennstoffzellenanlagen so ausgelegt, daß sie jahresdurchgängig Grundlast liefern können. Bei großen Wohnanlagen ist das leicht zu

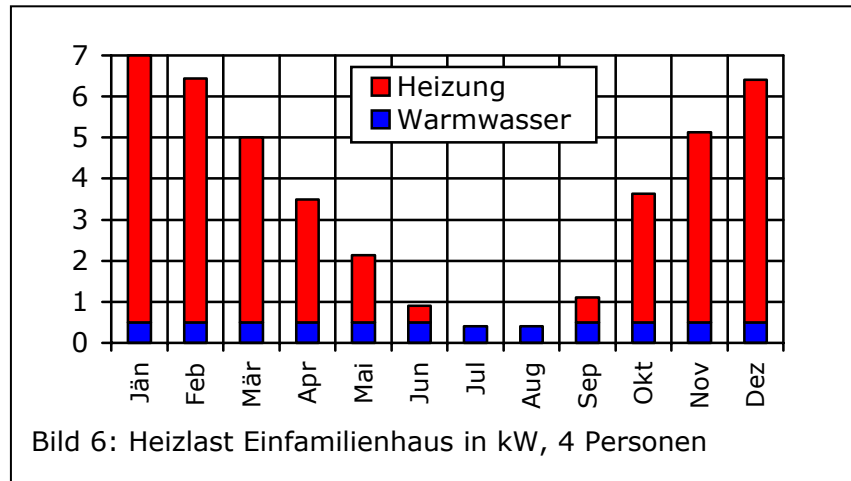


Bild 6: Heizlast Einfamilienhaus in kW, 4 Personen

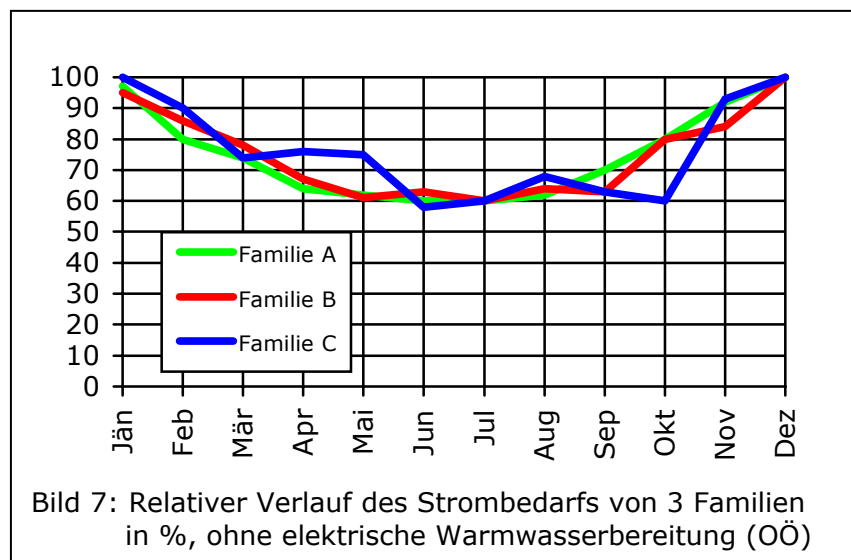


Bild 7: Relativer Verlauf des Strombedarfs von 3 Familien in %, ohne elektrische Warmwasserbereitung (OÖ)

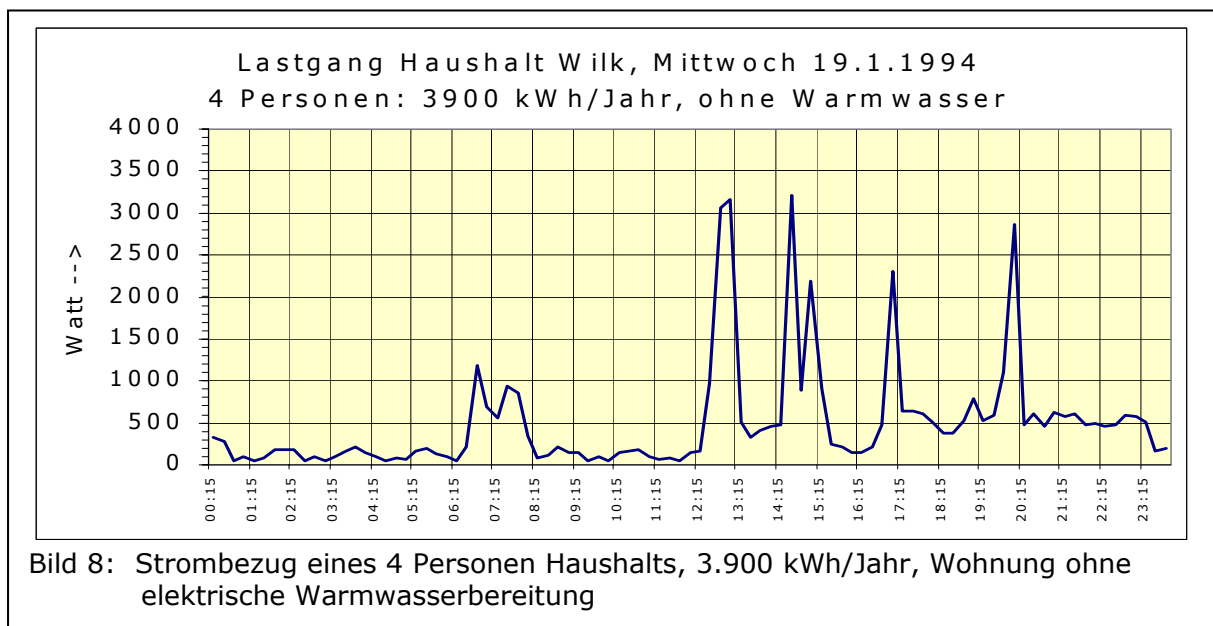
realisieren, wenn man die BZ-Anlage auf die Warmwasserbereitung auslegt und daher Vollastbetrieb möglich ist. Ein weiterer Faktor ist der Wert des ausgekoppelten Stromes. In großen Objekten kann der Strom meist zur Gänze im Objekt verbraucht werden. Man vermeidet dann die Kosten für den Netzbezug (ca. 2 ATS/kWh).

Bei der Einspeisung von Überschußstrom ins Netz hängt der Tarif vom Zeitpunkt der Lieferung ab:

- Winter Hochtarif 6h bis 22h 1.10. bis 31.3.
- Winter Niedertarif 22h bis 6h
- Sommer Hochtarif 6h bis 22h 1.4. bis 30.9.
- Sommer Niedertarif 22h bis 6h und Samstag 13h bis Montag 6h

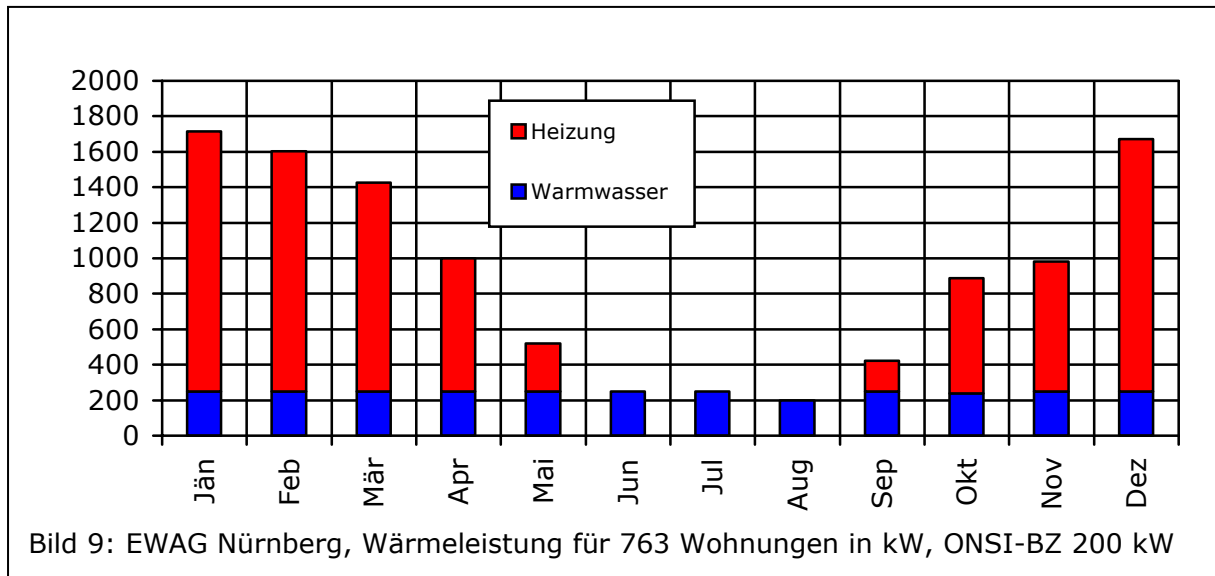
Der Wert des vermiedenen Strombezugs hat einen großen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit der Investition.

Mit der Abwärme aus der Brennstoffzelle kann man die Einsatzzeit des konventionellen Kessels reduzieren. Der Wert der Abwärme ist vom Brennstoff für das konventionelle Heizsystem abhängig. Das Verhältnis Gaspreis zu Strompreis ist ein wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Momentan bewegen sich beide Faktoren in die für KWK-Anlagen ungünstigere Richtung. Der Gaspreis steigt mit dem Ölpreis und die Strompreise sinken durch die Liberalisierung.



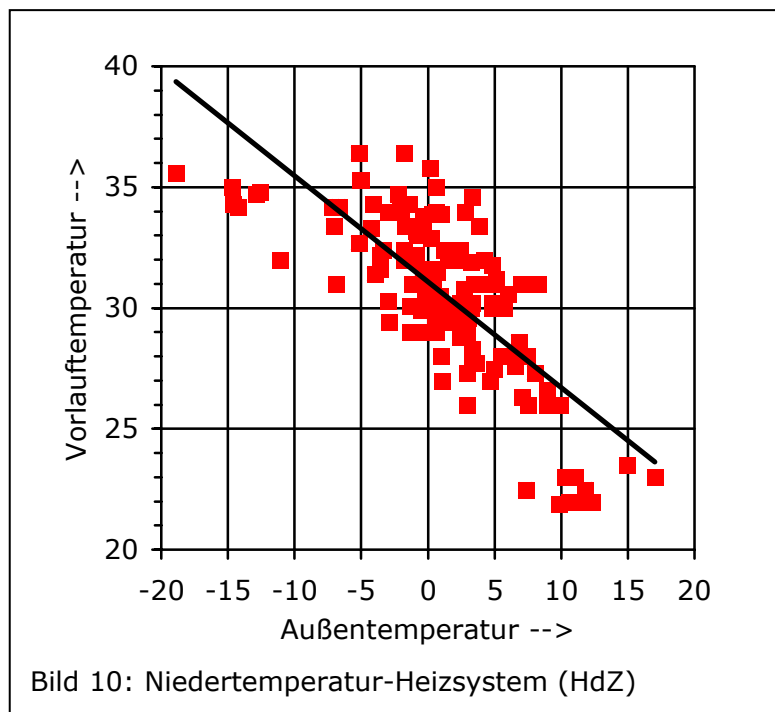
Beim stromgeführten Betrieb von BZ-Anlagen sollte über 8760 Stunden pro Jahr die gesamte Stromproduktion im eigenen Gebäude verbraucht werden. Bild 8 zeigt den Lastgang einer Wohnung. In den Nachtstunden sind nur der Kühlschrank, die Kühltruhe und einige kleinere Stand-By-Verbraucher in Betrieb. Die Leistung pendelt durch die Thermostate zwischen 50 W und 220 W. Wählt man eine kleine Brennstoffzelle mit einer elektrischen Leistung von 1 kW so sieht man, daß in den Nachtstunden und am Vormittag ein großer Teil der Stromproduktion nicht im Haus genutzt werden kann. Man könnte zwar die Brennstoffzelle auf Teillast laufen lassen, doch ist das wegen der div. Hilfsaggregate nicht optimal.

Nach einer Studie der TU-München [1] kann man mit einer 1 kW_{el.} - Brennstoffzelle beim stromgeführten Betrieb etwa 87 % des Jahresstrombedarfs und 20 % des Wärmebedarfs eines Einfamilienhauses abdecken. Beim wärmegeführten Betrieb werden 55 % des Stroms und 34 % der Wärme von der BZ geliefert.



Beim wärmegeführten Betrieb erreicht man die höchste Zahl an Betriebsstunden wenn die thermische Leistung der Brennstoffzelle auf den Energiebedarf für die Warmwasserbereitung abgestimmt ist. Für diese benötigt man auch im Sommer ca. 0,3 bis 0,5 kW pro Wohnung. Bild 9 zeigt den zeitlichen Verlauf der erforderlichen Wärmeleistung für die Wohnblocks in Nürnberg, die mit einer ONSI-Brennstoffzelle versorgt werden (siehe auch Bild 2 und 3, [2]). Wenn die Brennstoffzellen billiger werden, kann es sinnvoll sein die Anlage im Sommer stillzulegen.

Die Nutzwärme ist bei PEM-Brennstoffzellen nur auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau von ca. 70 °C verfügbar. Die Anwendbarkeit wird dadurch auf Gebäude mit Niedertemperatur - Heizsystemen eingeschränkt. Weiters ist es wegen des komplizierten Wasserhaushalts der PEM-Zellen erforderlich, daß die Rücklauftemperatur auf einem niedrigen Niveau bleibt (30 °C). Die Versorgung von Fernwärmesystemen ist deshalb mit diesem Typ nicht möglich weil dort die Vorlauftemperaturen 95 bis 130 °C betragen müssen. Bild 10 zeigt die Abhängigkeit der VL-Temp. von der Außenlufttemperatur beim „Haus der Zukunft“ in Schmiding OÖ.



Die Nutzwärme ist bei PEM-Brennstoffzellen nur auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau von ca. 70 °C verfügbar. Die Anwendbarkeit wird dadurch auf Gebäude mit Niedertemperatur - Heizsystemen eingeschränkt. Weiters ist es wegen des komplizierten Wasserhaushalts der PEM-Zellen erforderlich, daß die Rücklauftemperatur auf einem niedrigen Niveau bleibt (30 °C). Die Versorgung von Fernwärmesystemen ist deshalb mit diesem Typ nicht möglich weil dort die Vorlauftemperaturen 95 bis 130 °C betragen müssen. Bild 10 zeigt die Abhängigkeit der VL-Temp. von der Außenlufttemperatur beim „Haus der Zukunft“ in Schmiding OÖ.

5) Kosten

Derzeit ist es schwer Angaben über die Kosten von Brennstoffzellenaggregaten zu erhalten. Die meisten Informationen beziehen sich auf die Gesamtprojektkosten von Demo-Anlagen (Bild 11). Auf längere Sicht werden sich die spezifischen Systemkosten von Brennstoffzellen jenen von vergleichbaren Technologien annähern müssen wenn sie eine Marktchance haben wollen. Die Kosten der schon heute üblichen Gasmotor-BHKW's sind als Vergleichstechnologie in Bild 12 dargestellt.

Die spezifischen Kosten werden sich entsprechend der Lernkurve mit dem Produktionsumfang reduzieren. Experten geben einen Lernfaktor von 0,8 an. Das bedeutet, daß bei jeder Verdoppelung des Produktionsvolumens die Kosten um 20 % sinken. Zur Kostenreduktion ist es erforderlich in Demonstrationsprogrammen ein großes Volumen von geförderten Anlagen zu bauen.

6) Zusammenfassung

Heute sind erstmals kleine Brennstoffzellen-BHKW's für Pilotprojekte erhältlich. Die PEM-Technologie wird sich über die PKW-Forschung rasch entwickeln. Auch die planare SOFC-Technik von Sulzer Hexis ist im 1 kW_{el.} - Bereich verfügbar. Sie besticht durch den drucklosen Aufbau und den Betrieb ohne externen Reformer. Wesentlich für die Anwendung im Hausbereich wird es sein ob typgeprüfte Einheiten verfügbar sein werden. In Deutschland wurde im Herbst 2000 ein Brennstoffzellen-Förderprogramm initiiert (DM 100 Mio.). Dieses Programm wird die Entwicklung deutscher Brennstoffzellen-Aggregate beschleunigen. Weiters hat auch die EU einen Förderschwerpunkt für die Brennstoffzellen und die Wasserstofftechnologie gesetzt. Die österreichische Industrie sollte die Chance nutzen und sich bemühen an dieser Entwicklung teilzunehmen.

7) Literatur:

- [1] U. Wagner, C. Hutter, Th. Krammer, TU-München, Inst. für Energiewirtschaft, Simulation eines Einfamilienhauses mit einer Brennstoffzelle (1 kW_{el.})
- [2] EWAG-Bericht, Brennstoffzellen-Symposium, OTTI, Würzburg, Okt. 2000

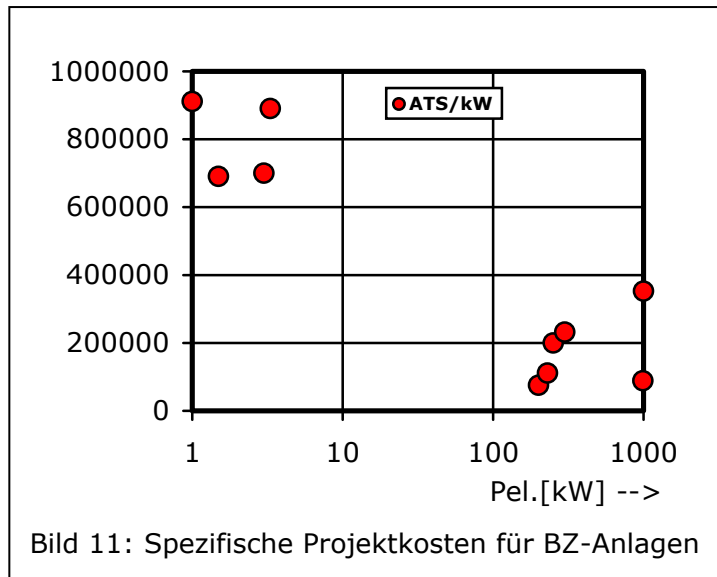


Bild 11: Spezifische Projektkosten für BZ-Anlagen

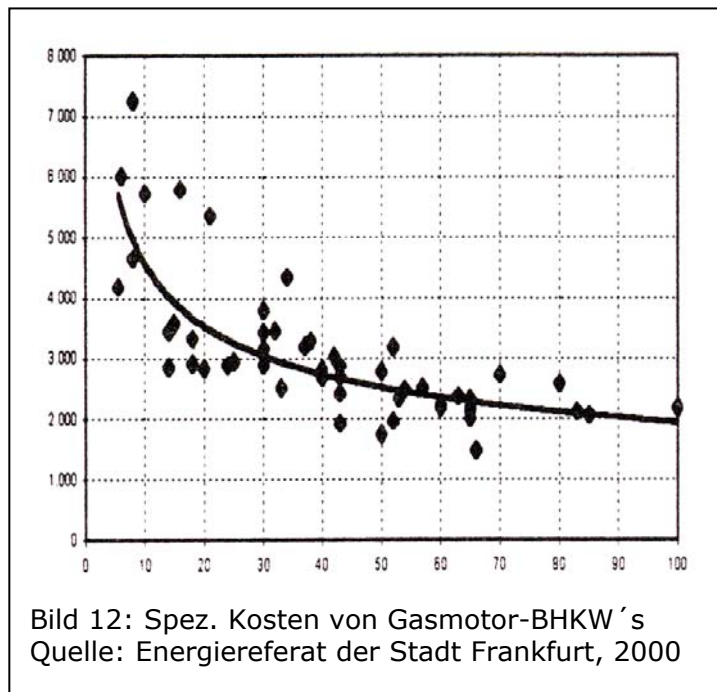


Bild 12: Spez. Kosten von Gasmotor-BHKW's
Quelle: Energierreferat der Stadt Frankfurt, 2000