

Energieversorgung im Niedrigstenergiebau: Von der Abluftwärmepumpe mit Solarkopplung zum Brennstoffzellen-Heizgerät

Dr.-Ing.
Andreas Bühring
Fraunhofer ISE
buehring@ise.fhg.de

Dr. Angelika Heinkel
a.heinkel@uni-duisburg.de
Fraunhofer ISE

Prof.
Joachim Luther *
Fraunhofer ISE
luther@ise.fhg.de

* Vortragender auf der
FVS-Jahrestagung 2001 in
Potsdam

Ing. VDI
Hans-Lorenz Fritz
fritz@maico.de
Maico-Haustechnik-
Systeme,
VS-Schwenningen

Kurzfassung

Energieoptimierte Wohngebäude bieten die Möglichkeit, einen hohen Anteil des Energieverbrauchs durch regenerative Energien zu decken. Die effiziente Deckung des verbleibenden Wärmeverbrauchs kann in Solar-Passivhäusern durch Lüftungs-Kompaktgeräte erfolgen.

Kleine, dezentrale Wärmeerzeuger mit gleichzeitiger Stromerzeugung (dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung KWK) bieten durch neue technische Entwicklungen zum Beispiel bei Brennstoffzellen-Heizungen die Möglichkeit zu einer zukunftsweisenden Veränderung der Versorgungsstrukturen in Deutschland.

etwa drei Viertel des Endenergieverbrauchs. Der Energieaufwand in Gebäuden wiederum verursacht über 40% des Endenergieeinsatzes Deutschlands. Diese Energieumsätze zu senken, einen relevanten Anteil regenerativ zu decken und die restliche Wärme mit einer hohen Effizienz bereitzustellen, sollte ein wichtiges Element jeder zukunftsfähigen Energiestrategie sein.

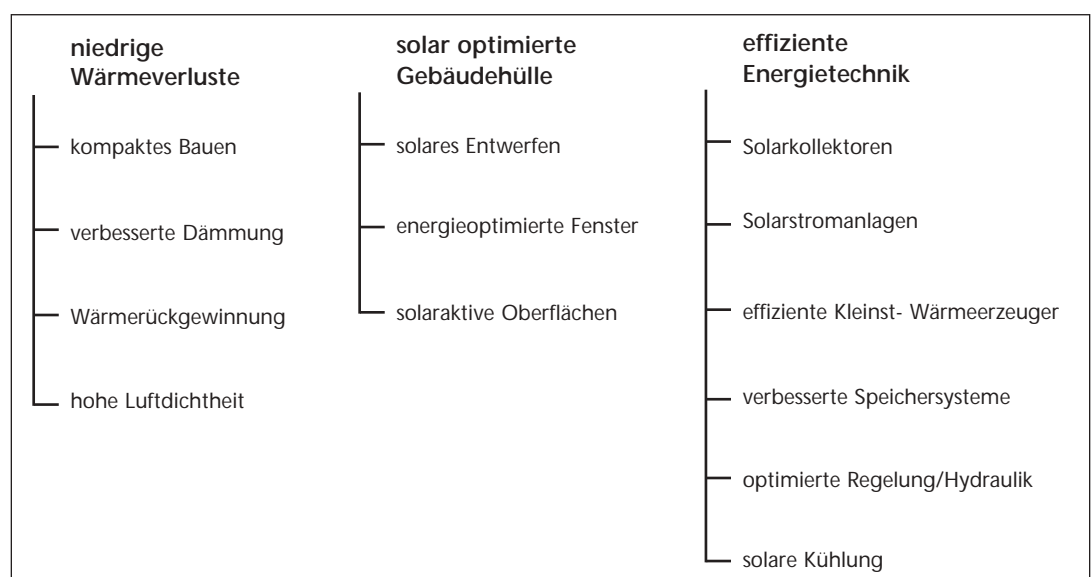
2. Solare Niedrigstenergiegebäude

Die thermische Qualität neuer Wohngebäude hat sich durch technologische Weiterentwicklungen, Verbesserungen der Bauqualität und schrittweise Verschärfungen der Anforderungen durch die Wärmeschutzverordnungen in den letzten Jahrzehnten stark verbessert. Mit der Energieeinsparverordnung wird ab 2002 die Effizienz der Wärmeversorgung primär-energetisch bewertet und in die Anforderungen an den maximal zulässigen Jahres-Primär-

1. Einleitung

In Wohngebäuden wird ein großer Teil des Energieeinsatzes für die Raumheizung verwendet - beim Gebäudebestand sind das im Schnitt

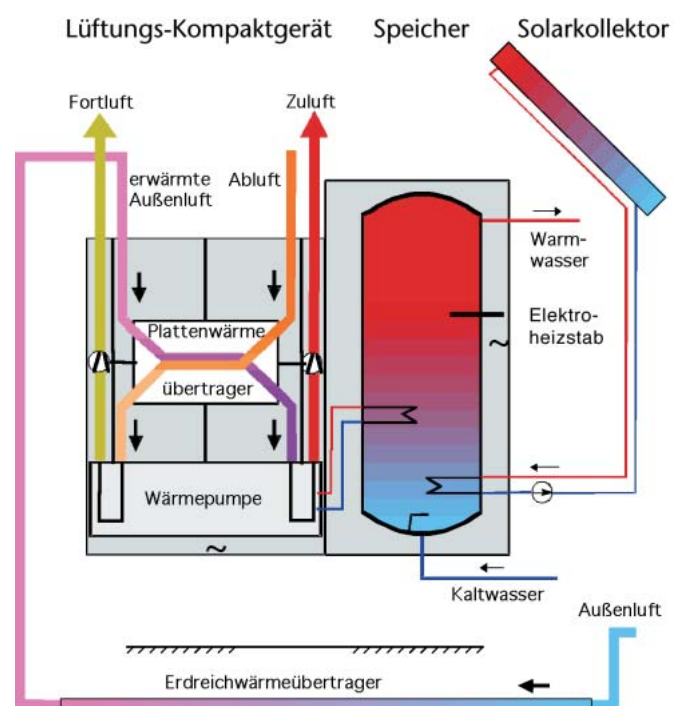
Abbildung 1
Technologien für
das solare Niedrigst-
energiehaus



energiebedarf einbezogen. Dadurch können Verbesserungen der Gebäudehülle ökonomisch und ökologisch mit Investitionen in aktive Solartechnik verglichen und die jeweils effektivste Maßnahme gewählt werden. Neubauten werden deshalb in Zukunft vermehrt mit thermischen Solaranlagen ausgestattet sein [1].

Eine sehr gute Wärmedämmung, Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und hohen Solargewinnen (hoher g-Wert) sowie eine Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sind wesentliche Bausteine, um die Qualität eines Wohngebäudes bis hin zum Passivhaus zu verbessern (Abb 1). Diese Gebäude haben einen extrem geringen maximalen spezifischen Heizleistungsbedarf/Heizlast von weniger als 10 W/m^2 . Durch die hohe Qualität der Gebäudehülle ist die thermische Behaglichkeit ohne direkte Wirkung eines Heizkörpers auch an sehr kalten Tagen sicher gewährleistet. Deshalb kann auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet und die Rest-Heizwärme mit der Zuluft der Lüftungsanlage eingebracht werden. Diese zusätzliche Nutzung der Lüftungsanlage erspart sonst notwendige Investitionskosten bei der Heizwärmeverteilung. Diese Ersparnis kann einen Teil der Mehrkosten der Gebäudehülle ausgleichen. Dadurch ist es gelungen, den Weg von ersten Experimentalhäusern in einen breiteren Markt zu ebnen. Bis Ende des Jahres 2001 werden weit über 1000 Passivhaus-Wohneinheiten errichtet sein. Für viele Komponenten der Gebäudehülle und der Haustechnik hat sich bereits ein Anbietermarkt mit in Folge sinkenden Preisen entwickelt.

Der Haushaltsstromverbrauch ist in erster Linie nicht abhängig vom Gebäudedesign und sinkt nicht mit dem Heizwärmebedarf. Deshalb bewegen sich die Wärmeverbräuche und der Haushaltsstromverbrauch in Neubauten in Richtung der gleichen energetischen Größenordnung. Das bildet die Basis für den Einsatz von KWK-Anlagen mit einer hohen Stromkennzahl – dem Verhältnis von geliefertem Strom zu abgegebener Wärme. Gerade Brennstoffzellen-Heizungen können eine hohe Stromkennzahl aufweisen und sind deshalb besonders für den Einsatz in sehr gut wärmedämmten Gebäuden geeignet.



3. Effiziente Haustechnik

3.1. Lüftungs-Kompaktgeräte

Für den Einsatz in Solar-Passivhäusern wurde von der Industrie mit Unterstützung durch das Fraunhofer ISE eine neue Klasse haustechnischer Anlagen entwickelt, die Lüftungs-Kompaktgeräte. Diese Lüftungsgeräte sind dadurch gekennzeichnet, dass sie neben der passiven Wärmerückgewinnung mittels Luft-Luft-Wärmeübertrager zusätzlich noch eine Abluftwärmpumpe beinhalten, die der Abluft die Restwärme entzieht und diese zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung nutzt [2].

Über einen Speicher sind die Geräte meist mit einer thermischen Solaranlage zu verbinden, die im Sommer möglichst vollständig die Warmwassererzeugung übernehmen kann (Abb. 2). Lüftungs-Kompaktgeräte haben in der Versorgung von Passivhäusern bereits einen Marktanteil von rund 30% erreicht [3].

Eine relevante solare Heizungsunterstützung in Passivhäusern würde wegen der sehr kurzen Heizperiode von drei bis vier Monaten mit geringen Solargewinnen eine extrem große Dimensionierung der Solaranlage oder einen effizienten, großen Wärmespeicher erfordern.

Abbildung 2
Prinzip von Lüftungs-Kompaktgeräten für Solar-Passivhäuser
Quelle: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Sorptive Speicher könnten dies mit einem geringeren Volumen erreichen.

In Pilot- und Demonstrationsprojekten hat das Fraunhofer ISE die mögliche Effizienz der Wärmeversorgung von Solar-Passivhäusern mit Lüftungs-Kompaktgeräten am Beispiel des Gerätes Aerex der Firma Maico Haustechnik Systeme nachgewiesen. In einem freistehenden Solar-Passivhaus in Büchenau/Bruchsal mit 120 m² Wohnfläche wird der Einsatz des Gerätes mit einem vorgeschalteten Erdreichwärmeübertrager zusammen mit einem Solar-Kollektor seit dem Frühjahr 1999 vermessen. Der Heizwärmeverbrauch liegt mit 22 kWh/m²a um 40% über dem rechnerischen Wert. Verursacht wird dies durch eine durchschnittliche Raumtemperatur in der Heizperiode von 22 °C gegenüber der Annahme von 20 °C in der Berechnung. Der Energieverbrauch zur Wassererwärmung liegt bei 15 kWh/m²a (Abb. 3).

Die passiven und aktiven Solargewinne decken 40% des gesamten Wärmeverbrauchs des Hauses. Bis auf 230 kWh/a für Elektroheizstab im Speicher und elektrische Reserveheizung

im Wohnzimmer (5% des Gesamtwärmeverbrauchs) wird der verbleibende Wärmeverbrauch vollständig durch die Abluftwärmepumpe gedeckt. Die Jahresarbeitszahl, also das Verhältnis gelieferter Wärme zum aufgewendeten Strom, liegt über 3. Einschließlich der Umwandlungsverluste bei der Stromproduktion im deutschen Kraftwerksmix beträgt der Primärenergieverbrauch des Hauses für Heizen, Wassererwärmung und Lüftung inklusive aller Nebenaggregate und Regelung ca. 40 kWh/m²a. Dieser Stromverbrauch der Haustechnik könnte im Jahresmittel durch eine rund 13 m² große Solarstromanlage gedeckt werden. Damit würde das Haus zu einem Null-Emissionshaus.

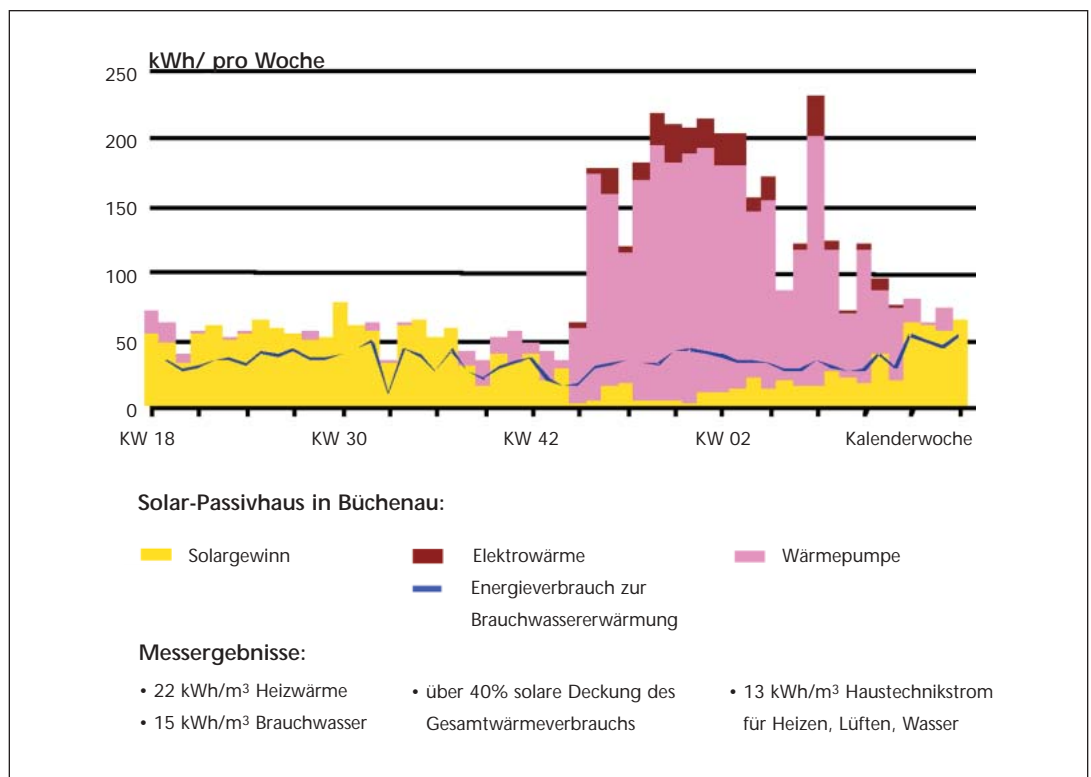
In einer Reihenhauseinheit in Neuenburg am Rhein konnten die gleichen Geräte in sieben vermessenen Gebäuden mit im Durchschnitt sogar nur 30 kWh/m²a Primärenergieverbrauch den Wärmeverbrauch decken und die Lüftung sicherstellen.

Das Fraunhofer ISE erfasst im Auftrag der Energie Baden-Württemberg EnBW in bis zu 100 Solar-Passivhäusern, die von der EnBW

Abbildung 3
Messergebnisse aus dem Solar-Passivhaus in Büchenau/Bruchsal mit 120 m² Wohnfläche.

Energieerzeugung durch:

- Maico Aerex (Komfortlüftung)
- 8m² Solarkollektor
- Erdreichwärmetauscher



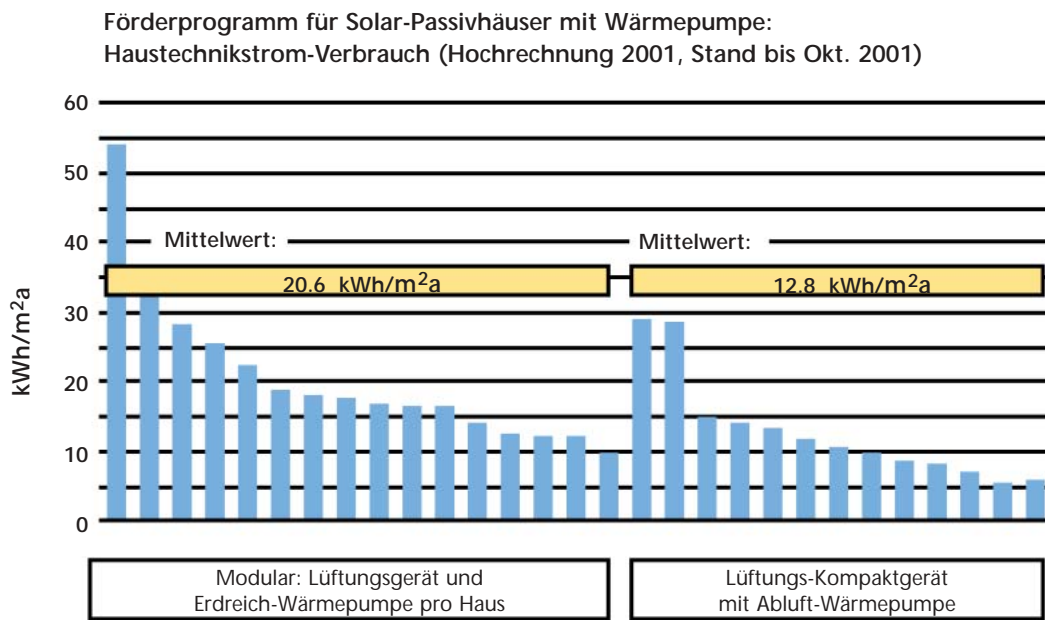


Abbildung 4
Vergleich des Einsatzes einzelner Komponenten zur Versorgung von Solar-Passivhäusern mit der Wärmeversorgung durch integrierte Lüftungs-Kompaktgeräte. Jeder Balken steht für ein erfasstes Versorgungssystem eines Passivhauses.

finanziell gefördert werden, den Endenergieverbrauch der Haustechnik. Neben dem häufigen Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten gibt es auch eine Anzahl von Häusern, die mit einer einheitlichen Kombination aus sehr gutem Lüftungsgerät und erdreichgekoppelter Wärmepumpe versorgt werden. Diese Kombination guter Einzelkomponenten verbraucht allerdings im Mittel der bisher 16 untersuchten Objekte rund 60% mehr Strom als die 13 bisher ausgewerteten Lüftungs-Kompaktgeräte (Abb. 4). Unter anderem wird dies durch mangelnde Abstimmung der Einzelregelungen verursacht, durch die ein unnötig hoher Einsatz des Heizstabs verursacht wird. Nach gegenwärtigem Erkenntnisstand sind Lüftungs-Kompaktgeräte in Kombination mit Solaranlagen daher eine technisch optimale Lösung zur Versorgung von Solar-Passivhäusern.

Die Weiterentwicklung dieser neuen Klasse von haustechnischen Anlagen wird von mehreren Geräteherstellern betrieben. Auf der letzten Passivhaustagung konnten bereits acht Hersteller von Lüftungs-Kompaktgeräten präsentiert werden [4]. Viele Hersteller sehen die Geräte als Basis zur Weiterentwicklung, hin zur Versorgung von Wohngebäuden mit einem thermischen Standard zwischen Passivhaus und 3-Liter-Haus (mit rund 30 kWh/m²a Heizwärmebedarf) an. Dafür werden teilweise zusätzliche Wärmequellen erschlossen: ein zusätzlicher

Außenluftstrom, ein geschlossener Luftstrom durch einen zusätzlichen Erdreichwärmeübertrager oder ein zusätzlicher Flüssiggasheizter. Die Firma Maico HaustechnikSysteme prüft zur Zeit auf dem Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte des Fraunhofer ISE ein neu entwickeltes Etagengerät für Mehrfamilienhäuser. Es soll erstmals im Frühjahr 2002 in einem Mehrfamilien-Passivhaus in Freiburg eingesetzt werden.

3.2 Brennstoffzellen-Heizungen

In Brennstoffzellen wird die chemische Energie eines Brennstoffs (z. B. Wasserstoff) ohne den Umweg der Wärmeerzeugung teilweise in Strom gewandelt. Deshalb kann der elektrische Wirkungsgrad und damit die Stromkennzahl höher sein als in motorischen Blockheizkraftwerken. Brennstoffzellen-Heizungen sind daher besonders geeignet zur Wärme- und Stromversorgung von sehr gut wärmegeprägten Wohngebäuden bis hin zum Passivhaus. Dort kann auf den gegenwärtig in Brennstoffzellen-Heizungen noch vorgesehenen Zusatzbrenner verzichtet werden (Abb. 5). Dadurch wird ein größerer Teil der Brennstoffenergie in Strom gewandelt. Um die unterschiedlichen Bedarfsprofile für Wärme und Strom abzugleichen, ist der Einsatz von ausreichend großen Wärmespeichern (z. B. Sorptionsspeicher) notwendig.

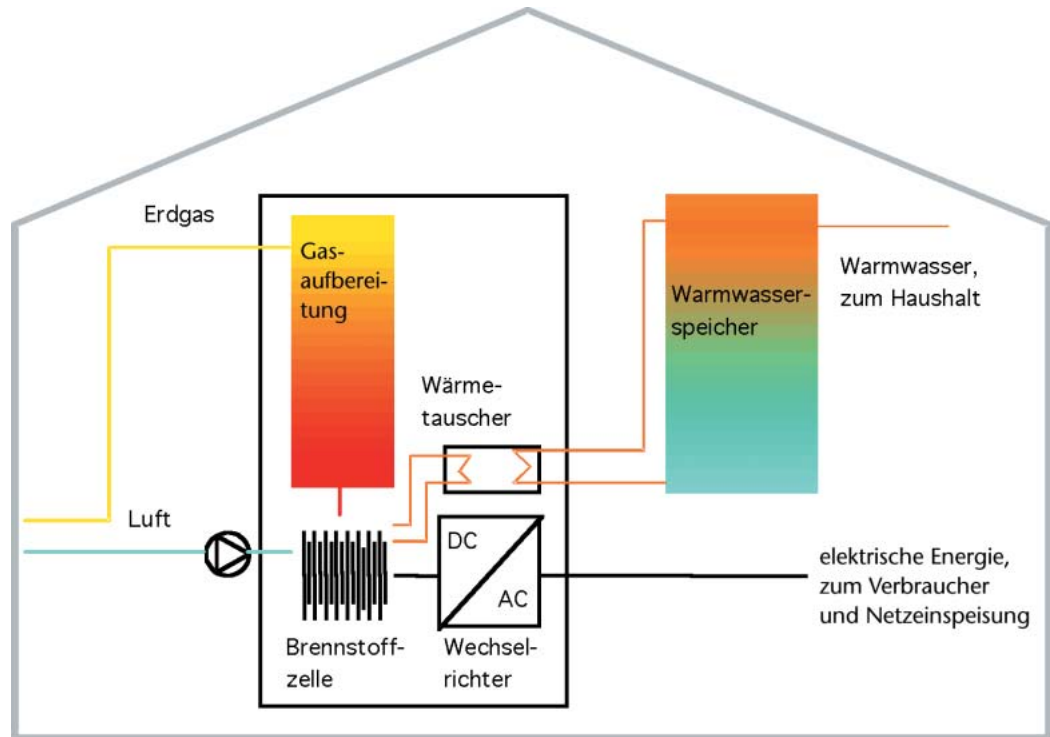
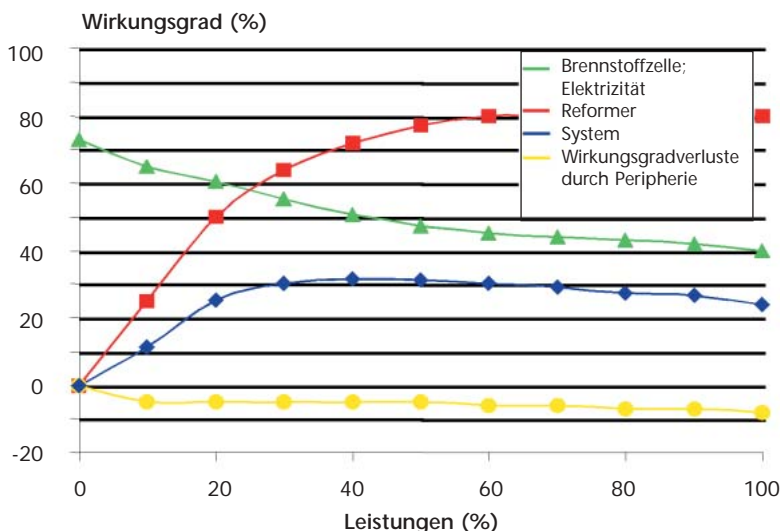


Abbildung 5
Prinzipisches Schema einer Brennstoffzellen-Heizung in einem Wohngebäude

Damit kann ein stromgeführter, nur durch die Kapazität des Wärmespeichers begrenzter Betrieb vorgesehen werden. Dieser ermöglicht eine optimale Deckung des Eigenverbrauchs bei minimaler Einspeisung ins Netz, die sich bei der gegenwärtig vorgesehenen Vergütung wirtschaftlich nicht rechnet.

Abbildung 6
Projektierte Daten einer PEM-Brennstoffzelle

In Abb. 6 sind Daten einer Polymer Elektrolyt Membran (PEM) Brennstoffzelle dargestellt, wie sie nach dem heutigen Stand der Entwicklungen erreichbar sind. Im Nennbetriebspunkt (Teillast) werden ca. 35% der Brennstoffener-



gie in Strom gewandelt. Angenommen wurden zunächst noch relative hohe Verluste des Reformers im Teillastbereich. Ein besonderes Augenmerk ist auf den Stromverbrauch der Peripherie zu richten.

4. Wärme und Strom im Netzverbund

Von besonderem Interesse ist in Zukunft die enge Kopplung von Wärme- und Stromproduktion. Aus den oben beschriebenen veränderten Randbedingungen wird die Integration neuer Haustechniken sowohl in Wärmenetze als auch gleichzeitig in Stromnetze von steigender Bedeutung werden.

In Abb. 7 werden mögliche Vernetzungen der Energieflüsse in Wohngebäuden dargestellt. Links werden die geforderten Energiedienstleistungen und rechts die, vorrangig zu nutzenden, regenerativen Energiebereitstellungen beispielhaft benannt. Die monodirektionale Verknüpfung des elektrischen und des thermischen Teils des Energiesystems mittels einer Wärmepumpe kann durch den Einsatz von KWK-Einheiten zu einer wechselseitigen Verbindung erweitert werden. Für ein gutes Wärmemanagement sind Langzeit-Wärmespeicher hilfreich.

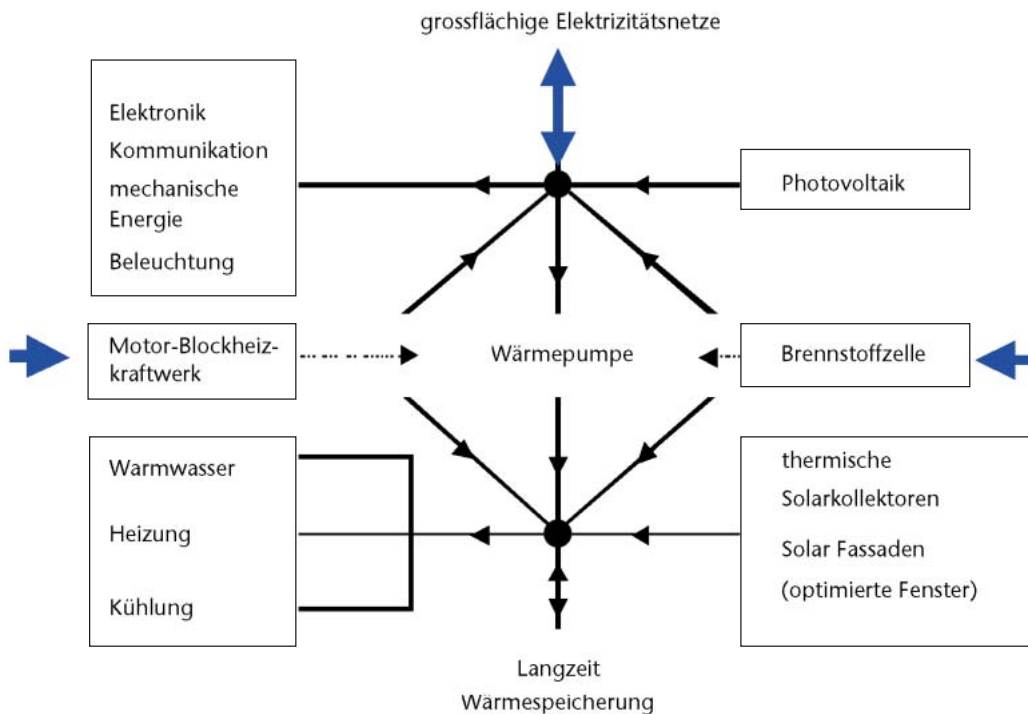


Abbildung 7
Energieflüsse im Gebäude der Zukunft. Die Restwärmeerzeugung durch kleine Wärmepumpen kann in Zukunft durch den Einsatz kleiner KWK-Einheiten (Motor-BHKW, Mini-Gasturbine oder Brennstoffzellen-Heizung) ersetzt werden. Auf das Verbrennen hochwertiger chemischer Energieträger ohne Stromauskoppelung sollte soweit möglich verzichtet werden.

Welchen Anteil später die lokale Deckung des Eigenverbrauchs und welchen Anteil die Netzeinspeisung haben werden, hängt wesentlich von den energiewirtschaftlichen Randbedingungen ab. Contractingmodelle ermöglichen Stromnetzbetreibern, viele kleine KWK-Einheiten zu verteilten Kraftwerken zu verbinden. Damit kann sowohl hochwertiger Spitzenlaststrom produziert werden als auch "Quality Power" zur Verbesserung der Netzqualität auf der untersten Spannungsstufe.

Das Zusammenwirken von Brennstoffzellen-Heizungen mit solaren Energietechniken wird in einem noch in diesem Jahr anlaufenden Projekt u.a. am Fraunhofer ISE untersucht werden. Oft wird thermische Solartechnik durch Nahwärme und KWK-Anlagen verdrängt. Brennstoffzellen-Heizungen kleiner Leistungen, die stromgeführt werden, benötigen jedoch thermische Speicher, deren Vorhandensein wiederum die Investition in eine zusätzliche thermische Solaranlage senken kann. Hochtemperatur-Brennstoffzellen (z. B. Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)) haben im sommerlichen Teillastbetrieb schlechte Wirkungsgrade und sollten deshalb möglichst in den Kern-

Sommermonaten abgeschaltet werden. Da sie derzeit noch nicht für kurzzeitigen Betrieb geeignet sind, sollten sie in dieser Zeit durch eine thermische Solaranlage abgelöst werden.

Der Einstieg in die dezentrale Brennstoffzellentechnik muss langfristig auch der Einstieg in die Nutzung regenerativ erzeugten Wasserstoffs werden. In den nächsten Jahren wird es aber bei den Brennstoffzellensystemen zunächst einmal um die Entwicklung hin zu einem Energiewandler mit hoher Effizienz und die optimale Einbindung regenerativer Techniken gehen.

Die Betriebsweise im Contracting durch Energieversorger kann zu einer umfassenderen Verknüpfung der Wärme- und Stromversorgungsstrukturen führen. Die Einspeisung von Strom direkt durch viele dezentrale Betreiber wird aus den Kunden der Energieversorger die Stromlieferanten der Zukunft machen. Die Heizungsanlagenhersteller von heute werden in Zukunft die Produzenten von Stromerzeugungsanlagen. In vielen Bereichen können also die beschriebenen Techniken zu starken Veränderungen in der Wärmeversorgung und der Stromerzeugung führen.

5. Literatur

- [1] Luther, Joachim; Wittwer, Volker;
Voss, Karsten
Energie für Gebäude - solare Technologien
und Konzepte, Physikalische Blätter 57
(2001) Nr.11

- [2] Bühring, Andreas,
Theoretische und experimentelle
Untersuchungen zum Einsatz von
Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter
Kompressionswärmepumpe, Dissertation
an der TU Hamburg Harburg,
Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2001

- [3] Feist, Wolfgang,
Das Passivhaus 2001: Fakten,
Entwicklungen, Tendenzen,
Tagungsband der 5. Passivhaustagung,
Böblingen, 2001

- [4] Bühring, Andreas; Russ, Christel,
Lüftungs-Kompaktgeräte: Messergebnisse,
Erfahrungen, Hersteller,
Tagungsband der 5. Passivhaustagung,
Böblingen, 2001