

Regenerative Wärmeerzeuger

Im 1. Teil dieser Artikelserie (SBZ 5/07) wurde ein Muster-Einfamilienhaus mit Brennwerttechnik und verschiedenen Solarvarianten primärenergetisch untersucht. Denn nur primärenergetisch effiziente Anlagen haben künftig eine Chance, am Markt zu bestehen. Im folgenden werden Lösungen mit Wärmepumpen und Biomasse diskutiert. Am Ende dieses Artikels wird auf den Bereich Kühlung eingegangen. Zusammen mit Teil 1 der SBZ-Serie sind dann die für den Einfamilienhausbereich gängigsten Varianten erfasst.

Bei den technischen Lösungen mit Wärmepumpen (WP) sind Wassersysteme, die mit den Wärmequellen (Außen-)Luft bzw. Erdwärme arbeiten, am gängigsten. Der Endenergieverbrauch liegt bei der Sole-WP im Vergleich zum Brennwertgerät mit Solar rechnerisch nur bei ca. einem Drittel (Bild 1). Unter Beachtung des „teuren“ Wärmepumpenstroms – im Vergleich zu Öl oder Gas – dürften die Energiekosten immerhin bei ungefähr der Hälfte liegen.

Wärmepumpen im Vergleich

Bild 1 verdeutlicht, dass die Luft-WP nicht ganz so gut abschneidet, aber ebenfalls deutlich besser liegt als Öl oder Gas. Überraschenderweise ist die primärenergetische Bewertung eine ganz andere. Eine Sole-Wasser-WP liegt „nur“ in etwa auf dem Niveau „Brennwert + solare Heizungsunterstützung“. Eine Luft-Wasser-WP ist ungefähr wie „Brennwert + solare Warmwasserbereitung“ zu bewerten. Dies liegt an den hohen Umwandlungsverlusten, die bei der Erzeugung von Strom anfallen. Allerdings ist der Vergleich an dieser Stelle nicht ganz wirklichkeitsnah, denn sinnvollerweise wurden die Wärmepumpen mit einer Fußbodenheizung kombiniert. Das ist für den Neubau realistisch. Bei Sanierungen sind Fußbodenheizungen aber



Foto: Stiebel Eltron

Wärmepumpen-Boom: Rund 44000 Heizungs-WP wurden in 2006 in D abgesetzt; davon waren etwa 55 % Sole/Wasser-WP, 35 % Luft/Wasser-WP und 10 % Wasser/Wasser-WP

nur mit einem relativ hohen Aufwand nachzurüsten. Hätte man für den Sanierungsfall mit Heizkörpern statt mit einer Fußbodenheizung gerechnet, wäre das Ergebnis für die Wärmepumpen schlechter geworden.

Dadurch, dass „Brennwertgeräte ohne Solar“ im geschilderten Standard technisch unattraktiv sind, relativieren sich die Mehrkosten für eine Wärmepumpe. Denn der Vergleichspreis bezieht sich nicht mehr auf das Brennwertgerät alleine, sondern auf die Kombination mit Solar. Vor allem die Luft-Wasser-WP holt bei einem Investitionskostenvergleich deutlich auf. Allerdings bleibt insbesondere das Gas-Brennwertgerät deutlich günstiger in der Anschaffung.

Erschließung der Wärmequelle

Eine Erweiterung um eine Solaranlage zur WW-Bereitung wirkt sich auf den Endenergiebedarf nur relativ wenig aus. Das ist nachvollziehbar, weil die Wärmepumpe bestimmungsgemäß einen großen Anteil an Umweltwärme nutzt. Es kann nur noch der Stromanteil zur Erwärmung eingespart werden, der eben deutlich kleiner ist als der Energieverbrauch bei einem herkömmlichen Kessel. Dies wird finanziell ein wenig dadurch ausgeglichen, dass Wärmepumpen häufig

mit voluminösen Speichern arbeiten (Ausgleich von Sperrzeiten bei Sondertarifen). Der Aufpreis für einen Solarspeicher fällt entsprechend klein aus. Die Primärenergieeinsparung ist aber durch die verlustbehaftete Erzeugung des Stroms und die relativ schlechten Arbeitszahlen bei einer hygienischen Warmwasserbereitung auf „normalem“ Niveau. Mit jeder neuen Gerätegeneration ist eine weitere Verbesserung der Jahresarbeitszahlen zu erwarten. Hier macht sich u. a. der Wechsel des Kältemittels bemerkbar, der zurzeit von den Herstellern vollzogen wird.

Was nicht unterschätzt werden sollte, ist die Wärmequellenerschließung. So besitzen die Luft-Wasser-WP einen hörbaren Lärmpegel im Außenbereich. Hier ist Sorgfalt bei Planung und Ausführung notwendig. Sole-Wasser-WP benötigen Erdsonden bzw. Flächenkollektoren. Dies führt in bewohnten Gebäuden zu Problemen mit „verwüsteten“ Gärten. Zur Installation von Flächenkollektoren steht häufig nicht der notwendige Platz zur Verfügung. Die Stadt Berlin genehmigt aktuell keine Erdsonden in Wasserschutzgebieten mehr. Es wird eine Gefährdung des Grundwassers befürchtet durch die Verbindung von wasserführender Schicht und der Erwärmung bzw. Abkühlung des Grundwassers.

Bei Gebäuden mit einem schlechteren Standard machte sich bisher der Hilfsenergieverbrauch für Pumpen und Regelung nicht wesentlich bemerkbar. Anders bei den hier betrachteten Beispielen: Exemplarisch wurde in Bild 2 der bei Wärmepumpen ein – relativ gesehen – besonders hoher Hilfsenergiebedarf angenommen. Im Extremfall „Sole-WP mit solarer WW-Bereitung“ erreicht er über 20 % bezogen auf den Endenergiebedarf.

Lösungen mit Biomasse

Als gängige Lösungen im Biomassebereich bieten sich Pellet- und Scheitholzkessel an (Bild 1). Bei allen anderen Varianten (Weizen, Rapsöl, Holzhackschnitzel) ist im Einfamilienhausbereich noch keine ernsthafte Verbreitung festzustellen. Primärenergetisch sind Pellet- und Scheitholzkessel mit Abstand die beste Lösung in diesem Vergleich. Sie liegen bei weniger als der Hälfte der Brennwertlösungen. Dass sie nicht noch besser abschneiden, liegt daran, dass für Produktion und

Variante	PrimärE in kWh/a	EndE	Speicher	Kollektor F/R = Flach- / Röhrenkollektor	Anteil Solar	Platz/Sonstiges (ohne Bewegungsflächen)
		in kWh (WP), RM (Holz), t (Pellets) pro Jahr				
Sole-WP	15.000	5.000	250 l WW + 500 l Hz	nein	0 %	>3 m ² Hz, 2 x 99 m Sonde oder 300 m ² Kollektorfläche im Garten
Sole-WP Solar	13.000	4.400	350 l WW + 500 l Hz	F: 2 x 2,5 m ²	50 % WW	>3 m ² Hz, 2 x 99 m Sonde oder 300 m ² Kollektorfläche im Garten
Luft WP	17.200	5.700	250 l WW + 500 l Hz	nein	0 %	> 3 m ² Hz, > 1 m ² im Garten bei Außenaufstellung (alternativ Kellerfläche vergrößern)
Luft WP Solar	15.000	5.000	350 l WW + 500 l Hz	F: 2 x 2,5 m ²	53 % WW	> 3 m ² Hz, > 1 m ² im Garten bei Außenaufstellung (alternativ Kellerfläche vergrößern)
Pellet	7.300	5	250 l WW + 500 l Hz	nein	0 %	>3,5 m ² Hz, >5 m ² Brennstoffvorrat
Pellet Solar	6.800	4	350 l WW + 500 l Hz	F: 2 x 2,5 m ²	53 % WW	>3,5 m ² Hz, >4 m ² Brennstoffvorrat
Scheitholz	7.700	17	250 l WW + 500 l Hz	nein	0 %	>3,5 m ² Hz, >17m ² Brennstoffvorrat
Scheitholz Solar	7.000	15	350 l WW + 500 l Hz	F: 2 x 2,5 m ²	49 % WW	>3,5m ² Hz, >14,5m ² Brennstoffvorrat

Hinweise: PrimärE = Primärenergie, EndE = Endenergie/EndE ohne Hilfsenergie/RM für Buche/Scheitholz: Fläche zur Brennstofflagerung für Zweijahresvorrat berechnet

Bild 1 Wärmepumpen und Biomassekessel im Vergleich

Transport nach wie vor Primärenergie eingesetzt wird. Außerdem sind die Jahreswirkungsgrade schlecht, da es sich um NT-Kessel handelt. Die Anfahrverluste im Sommer sind im Vergleich zu einem Brennwertgerät deutlich höher.

Eine vernünftige Regelung der Vorlauftemperatur erfordert einen Pufferspeicher, insbesondere für Scheitholzkessel. Das macht sich im Endenergieverbrauch bemerkbar. So entsprechen 17 Raummeter Buche bzw. 5,1 t Pellets einer Endenergie von ca. 31 800 kWh bzw. 24 8000 kWh. Das Brennwertgerät mit solarer WW-Unterstützung benötigte „nur“ 17 400 kWh. Regenerativ oder nicht: hier kann man schon von Verschwendung sprechen. Die Entwicklung macht allerdings auch vor diesen Kesseln nicht Halt. So gibt es bereits die ersten Pellet-Brennwertgeräte.

Es ist davon auszugehen, dass sich in absehbarer Zeit diese technologisch bedingten hohen Verbräuche denen der konventionellen Technik annähern werden. Allerdings muss beim Vergleich der Brennstoffkosten der aktuell noch schlechtere Wirkungsgrad beachtet werden.

Bei den schlechten Wirkungsgraden im Sommer setzt die Solaranlage an. Das verlustreiche Start- und Auskühlverhalten kann im Sommer für die Warmwasserbereitung umgangen werden. Deswegen ist der Gewinn an Endenergie einer Solaranlage im Fall „Biomasse“ besonders hoch. Durch den guten Primärenergiefaktor bei Holz macht sich das in einer Berechnung des Primärenergiebedarfs allerdings nur wenig bemerkbar. Allerdings ist der Flächenbedarf enorm, um das benötigte Holz nachhaltig zu erzeugen. Könnte der komplette Holzzuwachs als Brennholz verwendet werden, würde für unser Musterhaus ca. 1 ha Wald benötigt. Da i. d. R. das Stammholz aber nicht verfeuert wird (Rohstoff für die Möbelindustrie etc.), wächst der Bedarf schon in eine Größenordnung von 10 ha, abhängig von der Holzsorte, den klimatischen Bedingungen und dem Energiebedarf des Gebäudes.

Einfluss einer Klimatisierung

Wie im 3. Teil dieser Serie noch beschrieben werden wird, wird die Klimatisierung von Wohngebäuden zunehmend zum Standard

werden. Allerdings decken die Rechenvorschriften der EnEV dies für den Wohnbereich noch nicht ab. Eventuell ändert sich dies, wenn die überarbeitete Fassung der EnEV vorliegt. Der aktuelle Referentenentwurf enthält hier noch Widersprüche. Dies sollte aber Anlass genug sein, wenigstens überschlägig zu ermitteln, wie sich eine Klimatisierung auf das beschriebene Musterhaus auswirkt (Bild 3).

Variante 1: Multi-Splitgeräte

Die meisten der in dieser Artikelserie beschriebenen Heizungssysteme können nicht gleichzeitig kühlen. Für die Klimatisierung des Gebäudes muss deshalb eine separate Anlage angeschafft werden; im vorliegenden Beispiel ist ein Multi-Splitgerät gewählt. Als „worst case“-Annahme wird eine Klimatisierung des kompletten Gebäudes unterstellt, wobei es sich in der Praxis auf die wichtigsten Räume beschränken dürfte. Ein durchschnittlicher COP von 3 soll für eine mittlere Qualität in der Bandbreite zwischen Baumarkt- und High-tech-Gerät stehen. Eine brauchbare Verschattung der Fenster unterstellt, dürften die Kühllasten bei max. 50 W/m² liegen.

Energieeffizienz

Sole/ Wasser WP	Luft/ Wasser-WP	Sole/ Wasser WP + WW Solar	Luft/ Wasser-WP + WW Solar
890 kWh/a	590 kWh/a	920 kWh/a	660 kWh/a

Bild 2 Hilfsenergiebedarf bei Wärmepumpen

Splitgeräte entfeuchten die Raumluft, wenn auch ungeregelt. In Deutschland liegt der Bedarf an Entfeuchtung mit 100 Tagen pro Jahr deutlich über dem Bedarf an Kühlung. Unter der Annahme, dass der Nutzer nicht den ganzen Tag zu Hause ist, sollten für den Wohnbereich im Jahr ca. 500 Volllaststunden erreicht werden.

Dies führt zu einem Endenergieverbrauch von über 1300 kWh/a und damit zu einer Erhöhung um über 37 % im Vergleich zum normalen Stromverbrauch. Im Vergleich dazu benötigten die Wärmepumpen für die Beheizung des Gebäudes etwa 5000 kWh/a.

Noch drastischer fällt der Vergleich aus, wenn man den Primärenergiebedarf für die Klimatisierung mit dem für die Beheizung mit Biomasse vergleicht. Hier stellen sich Erhöhungen in der Größenordnung von 50 % ein. Es ist allerdings nicht ganz fair, Vergleiche mit ständig wechselnden Anlagentypen durchzuführen. Allerdings gibt es kein Anlagenkonzept, das in allen Punkten Spitzenwerte erreicht. Es lässt sich aber leicht erkennen, dass die Klimatisierung mit Blick auf die Klimabelastung und den Energieverbrauch zunehmend bedeutender wird. Denn ein Teil der Einsparungen wird durch eine Klimatisierung

schnell wieder zunichte gemacht. Wichtig sind also eine effiziente Technik, eine ordentliche Planung und eine Begrenzung der Kühllasten im Vorfeld (z. B. durch eine bauliche Verschattung). Perspektivisch ist hierbei die Nutzung der Sonnenenergie notwendig und sinnvoll. Damit lassen sich dann die sommerlichen Wärmeüberschüsse nutzen, die insbesondere bei Solaranlagen zur Heizungsunterstützung entstehen.

Variante 2: Stille Kühlung

Einige Sole-Wasser-WP erlauben eine stille Kühlung über die FBH, wobei sich Hydraulik und Regelung nur relativ wenig von herkömmlichen Fußbodenheizungen unterscheiden. Die Kühlung über eine Fußbodenheizung geschieht aber mit relativ hohen Temperaturen. Im Prinzip reicht es deswegen aus, wenn allein die Erdkälte aus der Erdsonde ohne Einsatz des Kompressors in die Fußbodenheizung gepumpt wird. Diese Lösung kann, im Gegensatz zum Splitgerät, nicht entfeuchten, weil dies eine Kondensation auf dem Fußboden bedeuten würde.

Die Kühlleistung liegt bei ca. 20 W/m². Das reicht aber immerhin für einen spürbaren Effekt. Gekühlt wird an 35 Tagen pro Jahr. Wegen der geringen Leistung muss die Pufferwirkung des Estrichs ausgenutzt werden. Die Kühlung läuft also prinzipiell den ganzen Tag. Weil eine rasche Reaktion des Systems nicht möglich ist, müssen die Pumpen nahezu den ganzen Sommer arbeiten. Da hierfür lediglich der Pumpenstrom berücksichtigt werden muss, ergibt sich in der Summe eine Endenergie von 216 kWh/a. Daraus resultiert ein sehr niedriger Primärenergiebedarf von 583 kWh/a, der in der Jahresrechnung quasi verschwindet (schon die normale Wohnzimmerbeleuchtung verbraucht mehr). Mit der genannten Komforteinschränkung – im Vergleich zur Splitlösung – sinkt der Verbrauch um mehr als den Faktor 6. Leider ist diese Lösung nicht massenmarktauglich. Denn die aus dem Haus abgeführte Wärme wird an das Grundwasser übertragen, was aus hygienischen Gründen abzulehnen ist.

Im 3. Teil dieser Fachartikelserie werden in der nächsten SBZ die Schlussfolgerungen für die Zukunft dargestellt und diskutiert.

Variante 1: Kühlung über Multi-Splitgeräte, einschl. Entfeuchtung

gekühlte Fläche	160 m ²
Kühlleistung	5 h/d
Tage mit Kühlungs-/ Entfeuchtungsbedarf	100 d/a
mittlere Volllaststunden	5 h/d
Jahreskälteleistung	4000 kWh/a
Endenergie (COP 3)	1333 kWh/a
Primärenergie Kühlung	3599 kWh/a

Variante 2: Stille Kühlung über FBH/Sole-WP, keine Entfeuchtung

gekühlte Fläche	160 m ²
Kühlleistung	20 W/m ²
Pumpenstrom (Heizung + Sole)	100 W
Tage mit Kühlungsbedarf	35 d
tatsächliche Pumpenlaufzeit	90 d
tägliche Pumpenlaufzeiten	24 h/d
Jahreskälteleistung	2688 kWh/a
Endenergie (Pumpenstrom)	216 kWh/a
Primärenergie Kühlung	583 kWh/a

Hinweis: Gesicherte Vergleichswerte liegen nicht vor

Bild 3 Abschätzung des Einflusses der Klimatisierung



Unser Autor **Matthias Wagnitz** ist seit Oktober 2006 Referent für Energie- und Wärmetechnik in der Potsdamer ZVSHK-Geschäftsstelle. Der Diplom-Ingenieur für Gebäudetechnik hat seine beruflichen Wurzeln im SHK-Handwerk (E-Mail: m.wagnitz@shk-potsdam.de).