

Michael Nast

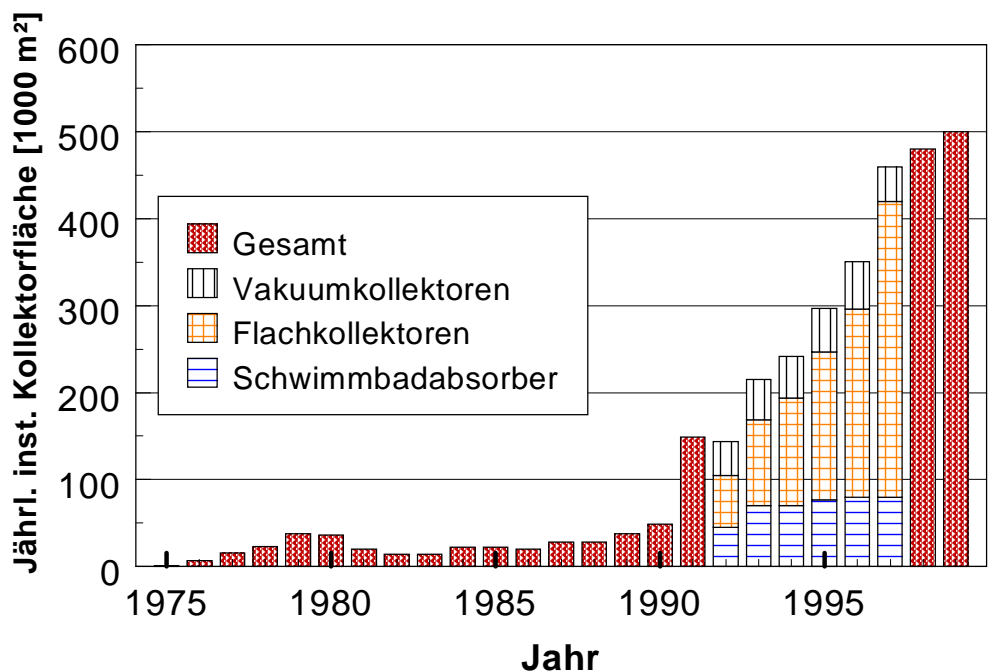
## Energiewirtschaftliche Bewertung integrierter Nahwärmesysteme auf der Basis von solarer Wärme und Kraft-Wärme-Kopplung

### Kurzfassung

Solarenergie ist heute noch zu teuer, um eine wirtschaftlich vorteilhafte Integration mit Blockheizkraftwerken (BHKW) zu erlauben. Unter zukünftigen Randbedingungen kann solare Nahwärme konkurrenzfähig werden. Systematische Untersuchungen zeigen die Bedingungen, unter denen der gleichzeitige Einsatz von Solarenergie und BHKW im selben Nahwärmenetz vorteilhaft ist. Dabei wird auch erkennbar, dass derartige integrierte Systeme auf absehbare Zeit nur eine untergeordnete energiewirtschaftliche Rolle spielen können.

### 1. Einleitung

Auf dem Kollektormarkt waren im Zeitraum von 1990 bis 1997 hohe jährliche Wachstumsraten von 35% zu beobachten. In den letzten beiden Jahren stagnierte der Markt (**Abb. 1**). Für 2000 wird aufgrund der inzwischen geklärten Förderbedingungen durch das neue 200 MioDM-Programm wieder mit einem starkem Wachstum gerechnet.

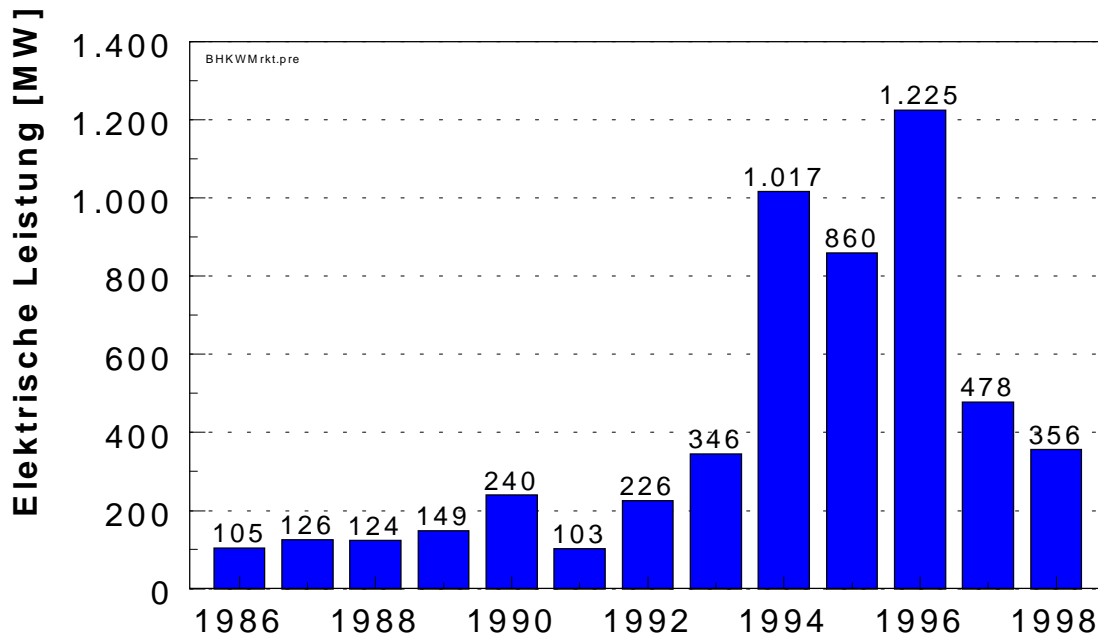


Quelle: DFS

instkoll.pre

**Abb. 1: Die Entwicklung des Kollektormarktes.**

Blockheizkraftwerke konnten bis 1994 hohe Zuwachsraten verzeichnen. Seitdem ist aufgrund der Änderungen und Unsicherheiten durch die unvermittelte Einführung des liberalisierten Strommarktes in Deutschland der Absatz dramatisch gesunken (**Abb. 2**). Die zukünftige Marktentwicklung wird stark von der Ausgestaltung der gesetzlichen Maßnahmen abhängen, welche derzeit zum Schutz der KWK vorbereitet werden.



**Abb. 2: Die Entwicklung des BHKW-Marktes (Motoren und Gasturbinen) /BHKW 1999/.**

Durch solare Wärme und durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) können wichtige Beiträge zur zukünftigen Wärmeversorgung und zum Umweltschutz geleistet werden. Daher wird häufig die naheliegende Frage gestellt, ob durch eine Kopplung dieser beiden Systeme zusätzliche Vorteile etwa bei der Brennstoffeinsparung erreichbar sind.

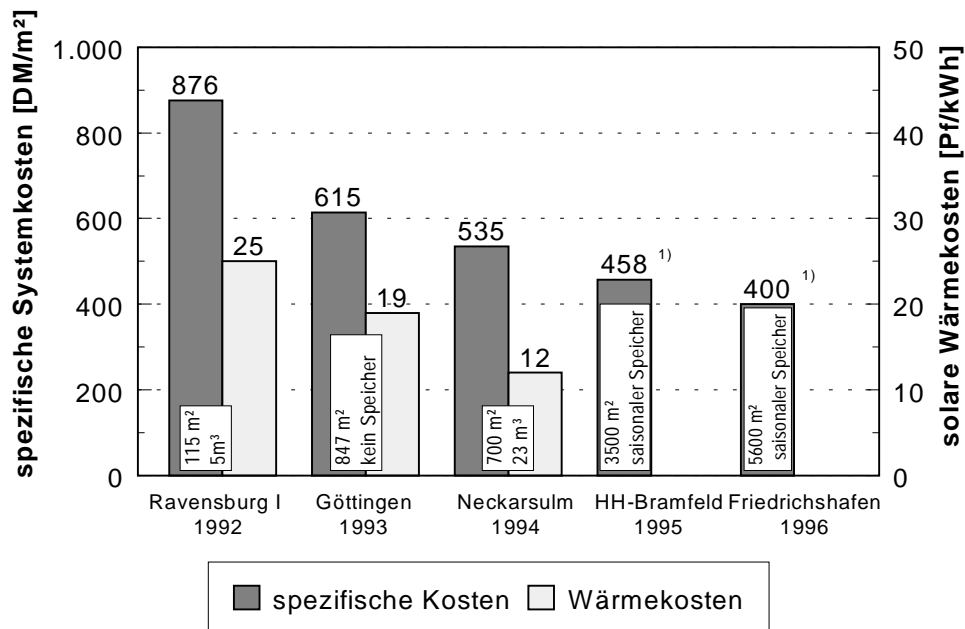
## 2. Solare Nahwärme

Sonnenenergie ist neben der Nutzung von Biomasse die wichtigste erneuerbare Energiequelle, mit der Wärme bereitgestellt werden kann. Derzeit beschränkt sich die thermische Nutzung von Solarenergie in Deutschland noch fast ausschließlich auf die Brauchwassererwärmung. Durch Solare Nahwärme, mit welcher auch große Teile des Raumwärmebedarf abgedeckt werden können, läßt sich noch ein weit höheres Potential erschließen.

Nachdem in Skandinavien die ersten Beispiele großer Kollektorfelder, zum Teil mit saisonaler Speicherung, realisiert wurden, wird nun auch in deutschen Projekten das Kostenreduktionspotential beim Bau großer Kollektorfelder nachgewiesen (**Abb. 3**). Bereits heute werden bei solaren Großanlagen Kosten erreicht, welche bei etwa einem Drittel der üblichen Kollektorsysteme für Brauchwasser liegen. Weitere Kostenreduktionen sind durch Massenfertigung und durch industriell vorgefertigte integrierte Kollektordächer möglich. Trotz der vergleichsweise günstigen Kosten der Großanlagen ist bisher ein Durchbruch am Markt ausgeblieben, da im Gegensatz zu Kleinanlagen hier wesentlich stringenter Forderungen an die Wirtschaftlichkeit gestellt werden. Durch innovative Förderinstrumente, z.B. durch eine Quotenregelung /BMU, UBA 1999/ kann diesem Mißstand abgeholfen werden.

Sollen große Anteile am Raumwärmebedarf solar gedeckt werden, so ist eine saisonale Speicherung der Wärme notwendig. Erste Demonstrationsprojekte hierzu wurden in Hamburg, Friedrichshafen, Neckarsulm und Chemnitz erstellt. Weitere sind im Bau. Die Entwicklung von Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung ist dennoch erst am Anfang. Es kann daher gegenüber dem heutigen Kostenstand zukünftig bei zunehmender Erfahrung auf diesen Gebie-

ten mit hohen Kostendegressionen gerechnet werden. **Abb. 4** zeigt eine Auslegungskurve für ein derartiges System für eine Siedlung mit ca. 500 Häusern. Die ebenfalls dargestellten Kosten setzen bereits Massenfertigung bei den Kollektoren und eine erfolgreiche Entwicklung kostengünstiger saisonaler Speicher voraus. Die solaren Gestehungskosten frei Einspeisepunkt in das Verteilnetz steigen von ca. 6 Pf/kWh bei geringen solaren Deckungsanteilen und entsprechend kleinem Speicherbedarf bis auf 13 Pf/kWh bei hohem solarem Anteil einschließlich saisonaler Speicherung an. Dies ist mit den konventionellen



<sup>1)</sup>nur Kosten des Kollektorfeldes

Quelle: ITW, Univ. Stuttgart  
ITW-Kos3.pre

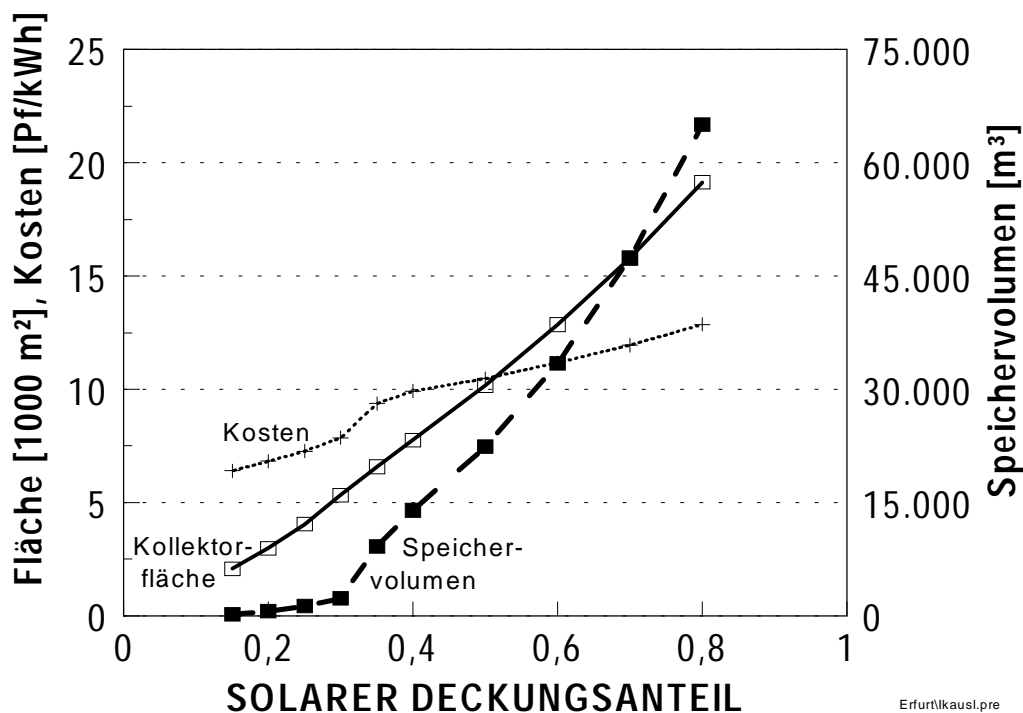
### Abb. 3: Kostendegression Solarer Nahwärme in Deutschland

Brennstoffkosten zu vergleichen, die heute bei ca. 4 Pf/kWh liegen. Solarenergie kann daher erst dann aus betriebswirtschaftlicher Sicht (d.h. ohne Berücksichtigung externer Kosten) konkurrenzfähig werden, wenn die auf die Dauer unvermeidliche Verteuerung fossiler Energien tatsächlich eingetreten ist, oder wenn nach dänischem (oder italienischem) Vorbild die Öko-Steuer auf Brennstoffe nochmals deutlich angehoben wird.

Unter diesen zukünftigen Randbedingungen wird auch ein Vergleich mit der Wärmeerzeugung aus BHKW interessant. Für ein integriertes System aus BHKW und Solarkollektoren ergeben sich auf den ersten Blick folgende Vorteile:

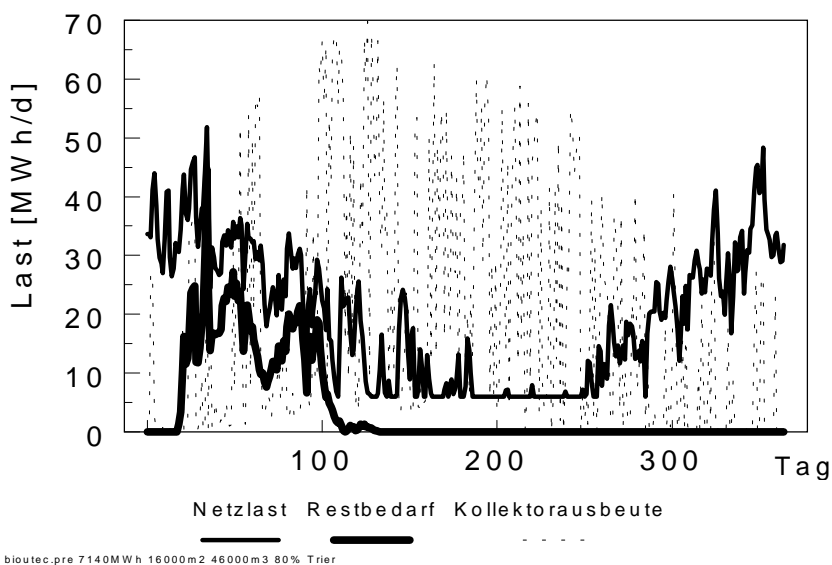
- Der ohnehin notwendige solare Speicher kann für einen stromgeführten Betrieb des BHKW genutzt werden und dadurch die erzielbare Stromvergütung erhöht werden.
- Der Spitzenkessel kann durch ein BHKW ersetzt werden und dadurch zusätzlich fossiler Brennstoff eingespart werden.
- Im Sommer kann der gesamte Wärmebedarf solar bereitgestellt werden. Das BHKW wird dann nur noch im Winterhalbjahr betrieben, wo höhere Stromvergütungen als im Sommer erzielt werden können.

Diesen Vorteilen stehen allerdings auch Nachteile gegenüber, welche im Folgenden mit Hilfe von Simulationsrechnungen quantifiziert werden.



**Abb. 4:** Kurve optimaler Auslegung und solare Wärmekosten für ein Solares Nahwärmesystem. (Kollektoren am Erdboden, zukünftige Kostenansätze, 4 % reale Diskontrate, einschließlich 0,5 Pf/kWh<sub>th</sub> für Pumpstrom)

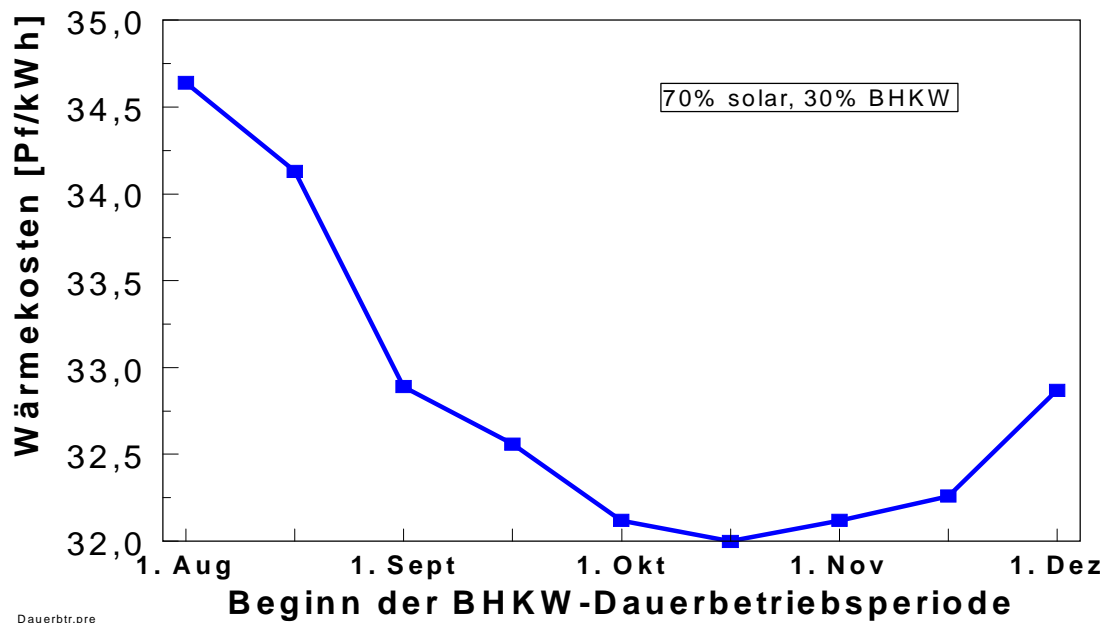
Für ein solares Nahwärmesystem mit einem solaren Deckungsanteil von 80 % ist der Restwärmebedarf, welcher durch einen Spitzenkessel oder ein BHKW gedeckt werden kann, in **Abb. 5** dargestellt. Nur in den Wintermonaten ist das Solarsystem für die Beheizung nicht ausreichend. Die verbleibende Höchstlast allerdings wird durch das Solarsystem kaum geringer, da am kältesten Tag des Winters die Temperatur im Speicher bereits soweit abgesunken ist, daß sie nur geringfügig über der (gleitenden) Rücklauftemperatur des Verteilnetzes liegt.



**Abb. 5:** Energieflüsse in einem Nahwärmesystem bei einem solaren Deckungsanteil von 80 % (Nutzlast 7140 MWh/a, Kollektorfläche 16 000m<sup>2</sup>, Speichervolumen 46 000 m<sup>3</sup>, Wetterdaten Trier)



angemessen, wobei zu berücksichtigen ist, dass ein Teil des erzeugten Stromes selbst genutzt wird und nur der verbleibende Rest in das öffentliche Netz eingeeist wird.



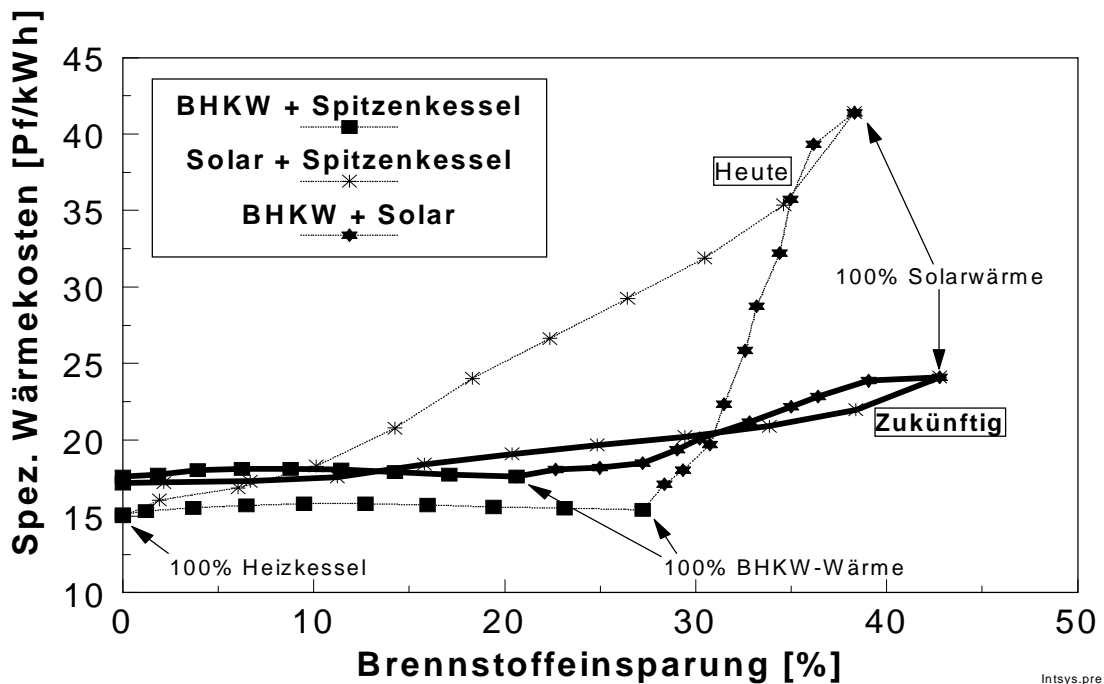
**Abb. 7:** Abhängigkeit der spez. Wärmekosten frei Hausverteilung vom Zeitpunkt des Beginns der Dauerbetriebsperiode des BHKW in einem integrierten System mit 30 % Solaranteil

**Tabelle 1:** Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagen zur Wärme und Stromerzeugung

Wirkungsgrad <sup>1)</sup>		Kosten <sup>1)</sup>	Anmerkung/ Geltungsbereich
BHKW-System	$\eta_{el} = 34 \%$	2.300 DM/kW <sub>el</sub>	Stromkennzahl 0,61 Leistung 200 kW <sub>el</sub>
Vergleichskraftwerk	42 % (50 %)		
Konv. Heizzentrale	95 %	250 DM/kW <sub>th</sub>	Auslegungsleistung 1.220 kW <sub>th</sub>
Kollektor	49 %	404 (242) DM/m <sup>2</sup>	bei $I = 500 \text{ W/m}^2$ , $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , $A = 10.000 \text{ m}^2$
Speicher	-	253 (102) DM/m <sup>3</sup>	$V = 10.000 \text{ m}^3$ , Wasserspeicher
Netz mit Hausstation	-	9.870 DM/Haus	14 % Netzverluste
Brennstoff	-	3,5 (5,25) Pf/kWh <sub>Ho</sub>	Erdgas
Stromvergütung		HT, Sommer 10 (11) Pf/kWh <sub>el</sub>	HT, Winter 14 (15,4) Pf/kWh <sub>el</sub>
		NT, Sommer 7 (7,7) Pf/kWh <sub>el</sub>	NT, Winter 9 (9,9) Pf/kWh <sub>el</sub>
<sup>1)</sup> Eingeklammerte Werte gelten für zukünftige Variante			

**Abb. 8** zeigt die Wärmekosten frei Hausverteilung für verschiedene Systemvarianten. Der Vergleich erfolgt auf Grundlage einer fest vorgegebenen Versorgungsaufgabe, welche die Wärmeversorgung der Siedlung von 2800 MWh<sub>th</sub> und eine Strombereitstellung von 1800 MWh<sub>el</sub> umfaßt. Dies ist die Stromerzeugung des BHKW, wenn der Wärmebedarf der Siedlung vollständig durch KWK gedeckt wird. Die dünn durchgezogenen Kurven beziehen sich auf heutige Technik und heutige Kosten. Die Wärmekosten aus einem konventionellen oder aus einem BHKW-System liegen bei 15 Pf/kWh<sub>th</sub>. Durch den Einsatz von Solarenergie steigen diese Kosten deutlich an. Die höchsten Brennstoffeinsparungen können allerdings nur mit dem Einsatz von Solarenergie erreicht werden. Der steile Anstieg der Kostenkurve bei Brennstoffeinsparungen oberhalb von 27% deutet darauf hin, dass der zusätzliche ökologische Gewinn durch den Ersatz von BHKW-Wärme durch Solarenergie teuer erkauft werden muß. Für sehr hohe Brennstoffeinsparungen sind integrierte Systeme sogar schon bei heutigen Kostenansätzen teurer als ein reines Solarsystem. Dies bedeutet, dass es bei hohen Deckungsanteilen nicht sinnvoll ist, den Spitzenkessel durch ein BHKW zu ersetzen bzw. zu ergänzen.

Solarenergie ist eine Zukunftsoption, die sich heute noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befindet. Für die Berechnung von zukünftigen Wärmekosten kann daher mit



**Abb. 8:** Heutige und zukünftige spez. Wärmekosten frei Hausverteilung für BHKW-Systeme, Solarsysteme und integrierte Systeme in Abhängigkeit von der Brennstoffeinsparung am Beispiel einer Niedrigenergiehaussiedlung

starken Kostendegressionen in diesem Bereich gerechnet werden (siehe Tab. 2). Die Kosten fossiler Brennstoffe werden langfristig unvermeidlich steigen. Es wird hier eine Verteuerung um 50 % angesetzt. Bei der Stromerzeugung ist der Anteil der Brennstoffkosten geringer und kann durch Verbesserungen beim Wirkungsgrad noch weiter verringert werden. Es wird daher die Stromvergütung nur um 10% erhöht. Bei den Vergleichskraftwerken wird mit einem wachsenden Anteil an GuD Kraftwerken und einem entsprechend höheren mittleren Jahresnutzungsgrad von 50 % gerechnet. Alle übrigen wirtschaftlichen und technischen Kennwerte bleiben unverändert, obwohl beispielsweise auch in der Solarenergie noch merkliche Verbesserun-

gen des Wirkungsgrades möglich sind. Die Ergebnisse der zugehörigen Simulationsrechnungen sind ebenfalls in Abb. 8 (dicke Linien) dargestellt.

Durch die Erhöhung des Gaspreises steigen die Wärmekosten der rein konventionellen Kesselvariante etwas an. Die Solarsysteme werden durch die Einsparungen bei den Investitionskosten deutlich günstiger. Insgesamt ergibt sich zukünftig ein flacherer Verlauf der Kostenkurve. Mit gut ausgelegtem BHKW (d.h. ca. 80 % des Wärmebedarfs werden durch das BHKW geliefert) läßt sich auch dann Brennstoff immer noch am kostengünstigsten einsparen. Allerdings wird aufgrund der verbesserten konventionellen Kraftwerkstechnik die maximal mögliche Einsparung durch BHKW-Systeme geringer. Werden sehr hohe Einsparraten gefordert, so ist jetzt ein reines Solarsystem am kostengünstigsten. Die maximal mögliche prozentuale Brennstoffeinsparung durch ein Solarsystem steigt gegenüber dem heutigen Wert an, da der für die Stromerzeugung benötigte Brennstoffmenge sinkt, und dementsprechend der Deckung des (konstanten) Wärmebedarfs eine größere Bedeutung zukommt.

Bei weiterer Erhöhung der fossilen Brennstoffpreise wird die Konkurrenzfähigkeit der Solarenergie weiter verbessert. Ab einem Brennstoffpreis von 8 Pf/kWh<sub>Ho</sub> sind die Wärmekosten aus integrierten Systemen günstiger als aus einer konventionellen Heizzentrale mit Brennwertkessel und BHKW (Abb. 9). Bis zu Brennstoffkosten von 16 Pf/kWh<sub>Ho</sub> liegt der optimale Anteil der Solarenergie an der Deckung des Wärmebedarfs bei etwa 20%, entsprechend dem sommerlichen Wärmebedarf des Netzes. Oberhalb dieses Wertes wird das BHKW dann vollständig durch Solarenergie verdrängt.

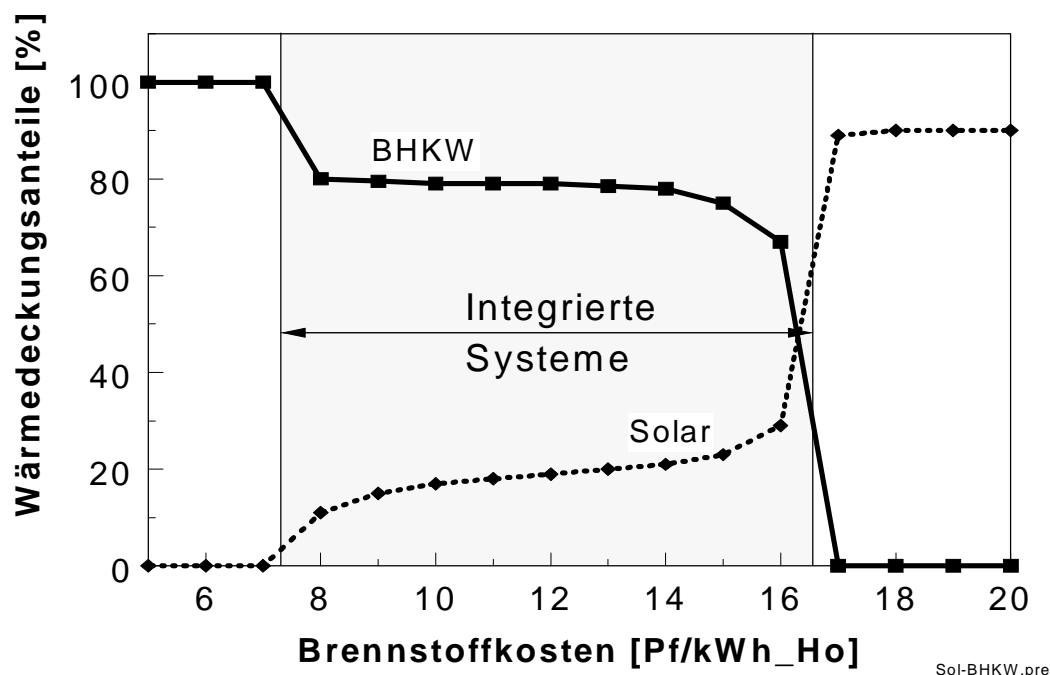


Abb. 9: Kostenminimale Wärmeanteile bei steigenden Brennstoffpreisen.

#### 4. Einkopplung von solarer Wärme in vorhandene Fernwärmenetze

Die Wärmegestehungskosten in den Heizzentralen von bestehenden Fernwärmenetzen sind i.a. sehr gering. Aus wirtschaftlicher Sicht ist daher die Einspeisung von solarer Wärme immer problematisch. Aus ökologischer Sicht sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Empfehlenswert ist die Einspeisung von Solarenergie, falls hierdurch Wärme aus einem fossil befeuerten Heizwerk verdrängt wird.
- Empfehlenswert ist die Einspeisung von Solarenergie, falls hierdurch Wärme aus einem wärmegeführten Heizkraftwerk (HKW) verdrängt wird, und das HKW nur einen geringen elektrischen Wirkungsgrad aufweist.
- Nicht empfehlenswert ist die Einspeisung von Solarenergie, falls das HKW stromgeführt betrieben wird. Dann führt eine Verdrängung von (fossiler) Wärme nur zu einem zusätzlichen Kondensationsbetrieb des HKW, d.h. es wird zusätzliche Wärme über den Kühlturm abgeführt.

Wird die Einspeisung von solare Wärme in vorhandene Netze in Erwägung gezogen, so ist darauf zu achten, daß die Rücklauftemperaturen im Netz gering sind. Ist dies nicht der Fall, so werden die Ausbeuten der Solaranlage enttäuschend gering sein.

## 5. Schluß

Bei heutigen Brennstoffpreisen und sonstigen Randbedingungen ist Wärme aus Solarenergie wesentlich teurer als aus KWK. Erst wenn die Möglichkeiten der KWK vollständig ausgeschöpft sind, aber dennoch eine weitere Brennstoffeinsparung erreicht werden soll, wird der zusätzliche Einsatz der Sonne z.B. in integrierten Systemen unvermeidbar.

Zukünftige Randbedingungen werden die Konkurrenzfähigkeit von Solarenergie deutlich verbessern. Für BHKW ist dies nicht der Fall, da voraussichtlich die Gaspreise schneller als die Stromvergütungen steigen werden. Solarenergie kann dann mit Wärme aus BHKW konkurrieren. Dann können sich auch Bereiche ergeben, wo eine Integration von solarer Nahwärme und BHKW ohne ökonomische Einbußen zum Nutzen der Umwelt möglich ist. Dies wird jedoch erst dann möglich, wenn mit reinen Solaranlagen hinreichend Erfahrungen gesammelt und die antizipierten Kostensenkungen erreicht wurden und außerdem die Brennstoffpreise deutlich ansteigen. Die energiewirtschaftliche Bedeutung integrierter Systeme wird daher auf absehbare Zeit gering bleiben.

Langfristig scheint eine Strategie am geeignetsten, welche Gebiete mit KWK-Vorrang ausweist. Insbesondere sind im Bereich der großen, bereits heute bestehenden Fernwärmenetze die Möglichkeit zur Stromerzeugung aus KWK bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Solarenergie wird dann ausschließlich in den verbleibenden Gebieten eingesetzt, bevorzugt im ländlichen Raum, wo im Verhältnis zum Wärmebedarf größere Stellflächen für Kollektoren zur Verfügung stehen.

Solare Nahwärme und BHKW stehen strenggenommen nicht notwendig im Widerspruch zueinander, jedoch werden sich nur selten solche Randbedingungen finden lassen, unter denen eine integrierte Wärmeerzeugung aus Sonne und BHKW merkliche Vorteile gegenüber anderen Möglichkeiten, die gesteckten ökologischen oder ökonomischen Ziele zu erreichen, aufweist. Eine wichtige Voraussetzung für den effektiven Einsatz sowohl von KWK als auch von Sonnenenergie ist die Verbreitung von Nahwärmesystemen. Anstrengungen in dieser Richtung, welche sich an dänischen Vorbildern orientieren sollten, können in jedem Fall zum Nutzen von Umwelt, erneuerbaren Energien und der rationellen Energienutzung empfohlen werden.

## 6. Literatur

/BHKW 1999/

Fördergemeinschaft BHKW, Pressemitteilung vom Juni 1999.

/BMU, UBA 1999/

J. Nitsch u.a.: „Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Dez. 1999.

/Entress 1997/

J. Entress: „Energiewirtschaftliche Bewertung integrierter Nahwärmesysteme auf der Basis von solarer Wärme und Kraft-Wärme-Kopplung.“ Dissertation, Tübingen 1997.

/KWK 1994/

Nitsch, J. u.a.: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg. Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums, DLR Stuttgart, 1994.

/Nast 1994/

Nast, M. und Nitsch, J.: Solare Wärmeversorgung einschließlich Großwärmespeicher in Baden-Württemberg. Teilstudie zum Projekt "Klimaverträgliche Energieversorgung in Baden-Württemberg" der Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart 1994.

Michael Nast

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik

Pfaffenwaldring 38-40

70569 Stuttgart