

# ■ Energieversorgungssysteme

- Solarsiedlungen in NRW – Erfahrungen und Perspektiven
- Energieversorgung in Niedrigstenergie-Neubauwohnungen
- Solarisierung von Altbauten
- Dezentrale Wärmeeinspeisung – Integration in Wärmenetze
- Solarunterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Hybridsysteme im Trend

# Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen – Erfahrungen und Perspektiven

Andreas Gries  
Landesinitiative  
Zukunftsenergien NRW  
gries@energieland.nrw.de

Dr. Hartmut Murschall  
Ministerium für  
Wirtschaft, Mittelstand  
und Energie NRW  
hartmut.murschall@  
mwme.de

Prof. Dr.  
Hermann-Josef Wagner  
Universität Bochum  
lee@lee.ruhr-uni-bochum.de

Die Betrachtung des Endenergieverbrauches der Bundesrepublik Deutschland zeigt die Handlungsfelder für eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich auf. Ein besonders hohes Potenzial für Einsparmaßnahmen stellt die Raumwärme- und die Brauchwarmwasser-Erzeugung dar, die etwa ein Drittel des Endenergieverbrauchs ausmacht. Darüber hinaus ist im Bereich des Wohnungsbaus durch die turbulente Entwicklung der Energiepreise ein verstärktes Interesse für das energiesparende Bauen und die Nutzung erneuerbarer Energien zu verzeichnen. Hier setzt das Leitprojekt der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW an, das wichtige Maßnahmen der Energieeinsparung, der Energieeffizienz und die Nutzung der erneuerbaren Energien miteinander kombiniert.

## Projekt 50 Solarsiedlungen

Fünzig Solarsiedlungen in NRW sollen die Möglichkeiten der aktiven und passiven Solarenergienutzung für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden auf Siedlungsebene aufzeigen und somit die breite Einführung des solaren Bauens unterstützen. Da auch Verschattungen und Gebäudeorientierungen Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf haben, werden bei den Solarsiedlungen bereits städtebauliche Aspekte berücksichtigt und optimiert, um auf diese Weise günstige Voraussetzungen für die aktive und passive Nutzung der Solarenergie zu schaffen.

Abbildung 1  
Solarsiedlung  
Köln-Riehl

Photo Köln-Riehl





Abbildung 2  
Standorte der 50  
Solarsiedlungsprojekte  
in Nordrhein-Westfalen

Um die Projektkriterien zu erfüllen, sind mindestens zwei der drei nachfolgend aufgeführten Anforderungen im Neubaubereich zu erfüllen:

- Der Heizwärmebedarf darf maximal 35 kWh/m<sup>2</sup>a (3-Liter-Haus) oder 15 kWh/m<sup>2</sup>a (Passivhaus) betragen,
- solarer Deckungsgrad der Warmwasserbereitung mindestens 60 % und die
- solare Stromerzeugung über Photovoltaik mindestens 1 kW<sub>p</sub> pro Wohneinheit

Bei der Umsetzung der Solarsiedlungen bietet der Neubaubereich die größte Palette an Einflussmöglichkeiten. Aber das größte Einsparpotenzial kann durch die energetische Sanierung des Altbaubestandes erschlossen werden. Daher ist es besonders erfreulich, dass bereits sechs Solarsiedlungen im Bestand in Köln und Gelsenkirchen realisiert werden konnten.

## Gegenwärtiger Stand des Projektes 50 Solarsiedlungen

Mittlerweile konnten bereits dreizehn Siedlungen mit über 1.450 Wohneinheiten als Solarsiedlung im Neubau und im Bestand realisiert werden. Weitere 25 Projekte befinden sich im Bau und in der Planung. Allein im Zeitraum 2001 bis 2004 hat sich die Anzahl der Projekte mit dem Status Solarsiedlung von 16 auf 37 Projekte mehr als verdoppelt. Bemerkenswert ist zudem die realisierte Vielfalt. Diese reicht von Gebäuden aus den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts bis hin zu Passivhäusern mit Komfort-Lüftungen, von einem Langzeitwärmespeicher bis zu großflächigen fassadenintegrierten PV-Modulen.



sorgfältigen Einregulierung der Anlage die berechneten Erträge erbringen. Auch die Werte für den Heizwärmebedarf bestätigen in vielen Projekten die Planungswerte. Dies ist nicht selbstverständlich, sondern auf ein besonderes Engagement der am Bau Beteiligten zurückzuführen.

Besonders wichtig und erfreulich sind auch die positiven Rückmeldungen der Bewohner, die die Wohnqualitäten des solaren Bauens mit seinem guten Raumklima und den hellen Aufenthaltsräumen bestätigen.

## Ausblick

Zurzeit befinden sich 25 Projekte im Bau und in der Planung. Bis Ende 2006 werden davon sechs weitere Projekte fertig gestellt sein, sodass in den Solarsiedlungen insgesamt 1760 Wohneinheiten realisiert sein werden. Darüber hinaus gibt es weitere Projektvorschläge, die in Kürze in der Auswahlkommission zur Vergabe des Status Solarsiedlung anstehen. Diese positive Entwicklung lässt auch für die Zukunft zahlreiche weitere interessante Projekte erwarten, die das „Bauen mit der Sonne“ weiter verbreiten werden.

Mit seinem integrativen und siedlungsbezogenen Ansatz ist das Projekt 50 Solarsiedlungen einzigartig und stößt auch außerhalb Nordrhein-Westfalens auf sehr großes Interesse. Zahlreiche internationale Delegationen besuchten bereits die Siedlungen und somit trägt das Projekt auch dazu bei, Nordrhein-Westfalen als Energieland bekannt zu machen.

Abbildung 3  
Modell der im Bau befindlichen Solarsiedlung Düsseldorf-Medienhafen

Rund 80 % der realisierten Wohneinheiten entstanden durch Bestandssanierungen. Gerade die in jüngster Zeit stark gestiegenen Energiekosten bestätigen jene Wohnungsunternehmen in ihrem Handeln, die bereits durch energetische Sanierungen die Nebenkosten deutlich senken und den Wohnkomfort steigern konnten.

## Erfahrungen und Akzeptanz des Projekts

Neben der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes bietet die Nutzung der Solarenergie Vorteile, die über die rein energetischen Belange hinausgeht. Durch den Einsatz der Solarenergie ist es nicht nur möglich, das Erscheinungsbild positiv zu verändern, sondern einer Siedlung auch eine neue Identität zu verleihen. Dieser Aspekt führte z. B. in Köln-Bocklemünd zu einer deutlich verbesserten Vermietbarkeit. Während es hier früher Leerstände gab, existieren jetzt sogar Wartelisten.

Eine weitere interessante Erfahrung konnte mit solaren Garantieverträgen gewonnen werden, die die Wohnungsunternehmen in die komfortable Lage versetzt, die solaren Erträge zu sicher kalkulierbaren Größen werden zu lassen. Die vorliegenden Messwerte aus den Solarsiedlungen zeigen, dass die Solaranlagen nach einer

# Energieversorgung in Niedrigstenergie-Wohngebäuden

## Einleitung

Mit der Entwicklung neuer Technologien und Gebäudekonzepte stehen heute solare Passivhäuser als Einfamilienhäuser und mehrgeschossige Wohnbauten mit einem Heizwärmebedarf von  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  zur Verfügung. Die auf dem Markt verfügbaren neu entwickelten Baukomponenten (Fenster, Vakuumdämmung) und Versorgungssysteme (Lüftungskompaktgeräte) ermöglichen es, den für Gebäude notwendigen Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung drastisch zu reduzieren. Auch gut geplante Niedrigstenergiehäuser haben nur geringe Mehrkosten gegenüber den Gebäuden, die den gesetzlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) genügen. Durch die aktive Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere der Solarenergie, kann man vom Niedrigstenergie- und Passivhaus zum Nullemissionshaus gelangen.

In zahlreichen Demonstrationsgebäuden wurden in Abhängigkeit vom Baustandard (Niedrigstenergie- und Passivhaus) unterschiedliche Versorgungskonzepte untersucht und hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet. Dabei wird deutlich, dass der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in vergleichbarer Größenordnung wie der relativ geringe Heizwärmebedarf liegt. Deshalb sind die Haustechnikkonzepte bei Beibehaltung und Verbesserung des Nutzerkomforts diesen veränderten Anforderungen anzupassen. Weitere Entwicklungen zu intelligent geregelten Versorgungssystemen, z. B. auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung oder Wärmepumpen in Verbindung mit erneuerbaren Energien, können dazu beitragen, die Effizienz der Versorgungssysteme in diesem Leistungsbereich zu steigern.

## Wärmeversorgung von hocheffizienten Gebäuden

Hocheffiziente Gebäude vom Typ KfW Energiesparhaus 60<sup>1</sup> bis zu Passivhäusern benötigen schnell reagierende Heizungssysteme mit niedrigeren Anschlussleistungen als in Bestandsgebäuden. Geeignet sind solche Versorgungssysteme, die energetisch, ökologisch und ökonomisch die günstigsten Voraussetzungen bieten, eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung bei geringem Primärenergieverbrauch zu sichern. Hierzu sind in *Tab. 1* einige Beispiele für Versorgungstechniken in effizienten Gebäuden mit unterschiedlichem Wärmebedarf dargestellt.

Hocheffiziente Gebäude mit Heizlasten  $< 10 \text{ W/m}^2$  können direkt über die Zuluft der Lüftungsanlage beheizt werden, ohne dass dafür der Luftwechsel über das hygienisch notwendige Maß angehoben werden muss. Das führt zur Reduzierung der investiven Kosten für das Haustechniksystem. Dieses Wärmeübergabesystem wird bereits in vielen Passivhäusern [1, 2, 4, 9] genutzt, wobei die Zuluft entweder über ein Warmwasserheizregister oder durch eine Direktbeheizung mit einer Abluft-Wärmepumpe erwärmt wird. Damit erhalten Abluft-Wärmepumpen zur Beheizung von Niedrigstenergie- und Passivhäusern ein großes Marktpotenzial.

Werden Wohngebäude mit Nahwärme beheizt, treten neben den Wärmeverteilverlusten im Gebäude noch bis zu 16 % Übertragungsverluste auf [1, 6, 10]. Der Anschluss von Niedrigenergie- und Passivhäusern an eine zentrale Nahwärmeversorgung erscheint deshalb nur dann sinnvoll, wenn die Gebäude in ein bereits erschlossenes Fernwärmegebiet integriert werden.

Dr. Christel Russ  
Fraunhofer ISE  
christel.russ@ise.fraunhofer.de

Dr. Joachim Götsche  
Solar-Institut Jülich - FH Aachen  
goettsche@sj.fh-aachen.de

<sup>1</sup>Nach den Förderrichtlinien der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist der Standard eines KfW-Energiesparhauses 60 erreicht, wenn der Primärenergiebedarf nachweislich nicht mehr als  $60 \text{ kWh pro m}^2$  Nutzfläche und Jahr beträgt.

*Tabelle 1  
Wärmeversor-  
gungssysteme von  
hocheffizienten  
Wohngebäuden*

Demonstrationsprojekt	Versorgungssystem	Wärmeübergabe/ Verteilung
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel [11]	Fernwärme	Luftheizung Zentrale Warmwasserversorgung
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS [2]	Nahwärme aus Holzhackschnitzel BHKW, thermische Solaranlage Lüftungs-Kompaktgerät	Luftheizung dezentrale Warmwasserbereitung mit Logotherm
Mehrfamilien-Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg [7]	Gas-BHKW thermischen Solaranlage und PV	Plattenheizkörper, zentrale Warmwasserbereitung
Mehrfamilien-Solarhaus Gundelfingen [5]	Nahwärme aus KWK, Abluftwärmepumpe (Pufferspeicher), thermische Solaranlage	Plattenheizkörper, zentrale Wärmeversorgung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg [4]	Dezentrale Lüftungs-Kompaktgeräte, thermische Solaranlage	Luftheizung Warmwasserspeicher
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein [6]	Zentrale Wärmepumpe, thermische Solaranlage	Wandheizung aus zentraler Versorgung Zentrale Warmwasserbereitung
Solar-Campus Jülich [10] Studentenwohnungen: Reihenhauszeilen mit Bau- standard KfW 40 und Passivhaus	Nahwärmenetz	Plattenheizkörper Fußbodenheizung Zuluft; Warmwasserversorgung jeweils hausweise mit Speicher, Plattenheizkörper mit lokalem Netz
Gebäude Baustandard WschVO 95 <sup>2</sup>	Gas- Brennwerttechnik	

<sup>2</sup> Wärmeschutzverordnung 1995

Andererseits wird aus ökonomischen Gründen meist auf die Neuinstallation eines Nahwärmenetzes für Niedrigstenergie- und Passivhäuser verzichtet [1].

Die Nutzung der passiven Solarenergie trägt wesentlich zur Senkung des Heizwärmeverbrauchs bei, was mit so genannten Heizwärme-kennfeldern nachgewiesen wurde [1, 2, 3]. In einem Diagramm wird das Tagesmittel der flächenspezifischen Heizleistung ( $W/m^2$ ) des Gebäudes über der Außentemperatur in Abhängigkeit von der solaren Einstrahlung aufgetragen (Abb. 1b und 2b). Die solare Einstrahlung wird in drei typische Strahlungsklassen zwischen  $< 25 W/m^2$  und  $> 90 W/m^2$  eingeteilt. Je 25 % der Messwerte innerhalb der Heizzeit unter  $12^\circ C$  fallen in die niedrigste bzw. höchste Strahlungsklasse.

Am Beispiel des Solarhauses „Gundelfingen“ (Abb. 1b) und des Passivhauses „Kassel“ (Abb. 2b) ist sehr gut der Anteil der passiven solaren Gewinne an der Reduzierung des Heizwärmebedarfes des Gebäudes zu sehen. Im Solarhaus Gundelfingen können sie an den Tagen mit intensiver Einstrahlung über die großen Fenster der Südseite und über die transparente Wärmedämmung den Heizwärmebedarf wesentlich reduzieren.

Die Heizlasten liegen besonders bei Tagen mit guter Einstrahlung auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen weit unter dem maximal möglichen Wert.

Das in Ost-West Richtung orientierte Passivhaus „Kassel“ kann die passiven solaren Gewinne aufgrund der geringen Fensteranteile nach Süden nur wenig nutzen und die verbrauchte Heizwärme entspricht auch unter guten Einstrahlungsbedingungen nahezu dem berechneten Bedarf.



Abbildung 1a Solarhaus Gundelfingen [1, 2, 3]



Abbildung 2a Passivhaus Kassel [1,2,3]

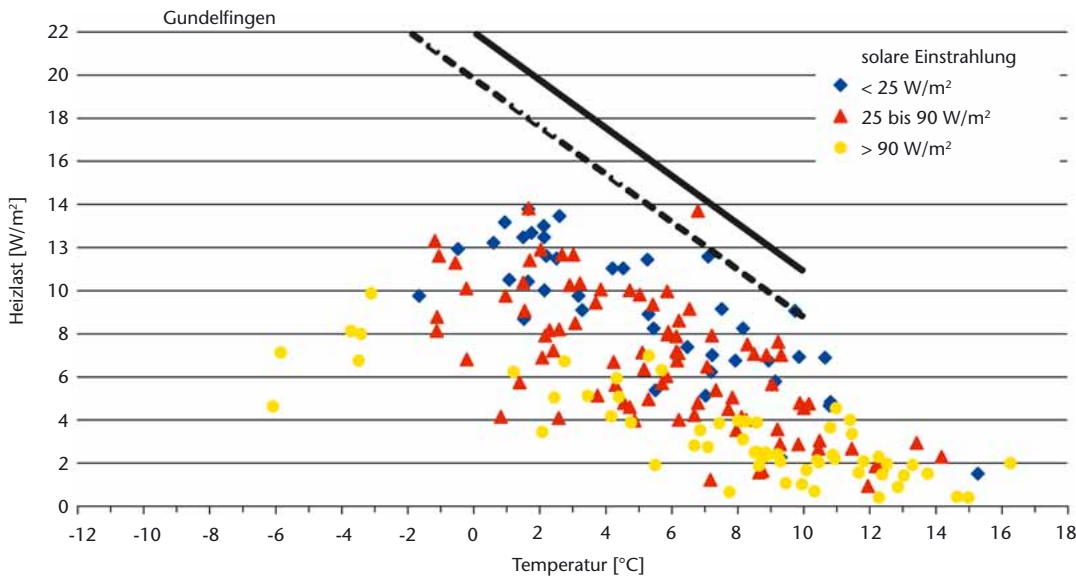


Abbildung 1b Heizkennfeld Solarhaus „Gundelfingen“: Durch gute passive Solarenergienutzung über die Fenster und transparente Wärmedämmung auf der Südseite des Gebäudes liegt der Heizwärmebedarf unter dem berechneten Wert.

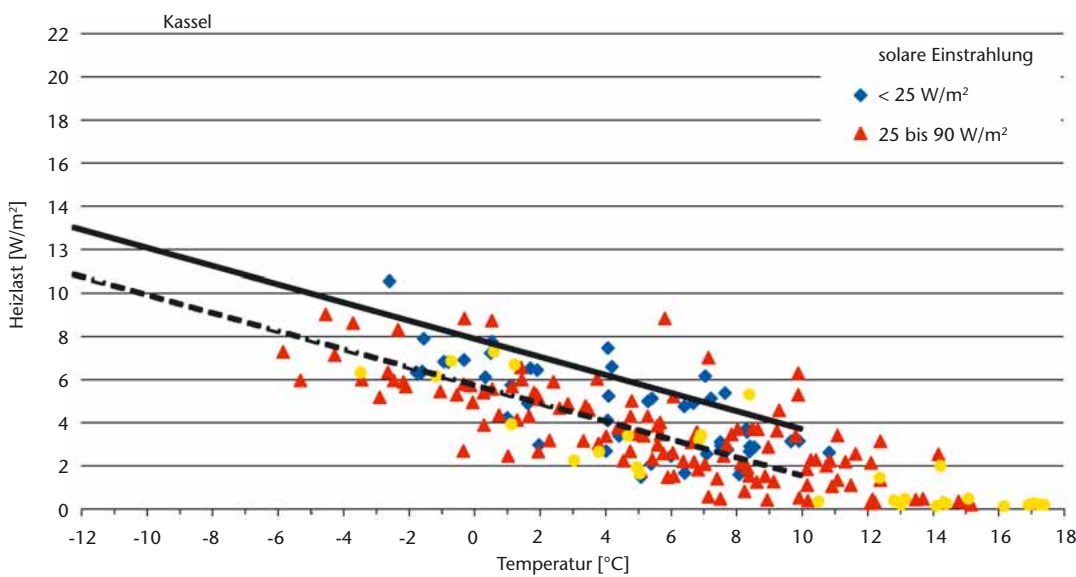


Abbildung 2b Heizkennfeld Passivhaus „Kassel“: Da die Hauptorientierung des Gebäudes in Ost-West liegt, tragen nur relativ wenige solare Gewinne zur Reduzierung des Heizwärmebedarfes bei.

Die Geraden stellen die Verlustkoeffizienten entsprechend der Transmission- und Lüftungsverluste ohne Berücksichtigung der inneren und solaren Gewinne (durchgezogene Gerade) bzw. nur ohne solare Gewinne (gestrichelte Gerade) dar.

*Tabelle 2  
Lüftungsanlagen  
in hocheffizienten  
Wohngebäuden*

Demonstrationsprojekt	Lüftungssystem
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel	semizentrale Lüftungsanlage: zentrale Zu- und Abluft mit WRG <sup>1</sup> , wohnungswise Nachheizregister (Warmwasser für Zuluftheizung)
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS	wohnungswise mechanische Lüftung mit WRG, Nachheizregister (Wasser) für Zuluftheizung
Mehrfamilien-Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg	zentrale Lüftungsanlage mit WRG für alle Wohneinheiten
Solarhaus Gundelfingen	dezentrale Zuluft (feuchtegeregelt), zentrale Abluft mit Wärmepumpe zur Speicherbeheizung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg	Erdwärmetauscher, Lüftungs-Kompaktgerät – Lüftungsanlage mit WRG, Nachheizen der Zuluft
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein	hausweise Lüftung mit Heizregister zur Luftvorwärmung
Solar-Campus Jülich - Studentenwohnungen Reihenhauszeilen mit Baustandard KfW 40 und Passivhaus	zentrale Lüftungsanlage mit WRG (z. T. geregelt mit Wettervorhersage) Erdwärmetauscher, zentrale Lüftungsanlage mit WRG dezentrale Lüftungsanlage mit WRG dezentrale Zuluft, zentrale Abluft (z. T. feuchtegeregelt)
Gebäude Baustandard WschVO 95	keine Lüftungsanlage

<sup>1</sup> WRG = Wärmerückgewinnung

## Lüftung

In Niedrigstenergie- und Passivhäusern sind die Anforderungen an die Wohnraumlüftung erhöht zur Sicherung des Wohnkomforts und zur Erreichung des niedrigen Heizwärmebedarfs. Die natürliche Fensterlüftung reicht nicht mehr aus, den bauphysikalisch und hygienisch notwendigen Luftwechsel zu sichern. Aus einer Studie [8] zur Entwicklung der Passivhäuser bis 2010 geht hervor, dass auch künftig 95–100 % der Passivhäuser mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) ausgestattet sind, bei 3-Liter-Häusern werden es etwa 70% sein. In den übrigen energieeffizienten Neubauten wird bis 2010 von jährlich 120.000 Lüftungsanlagen mit WRG ausgegangen. Diese Anlagen arbeiten nur dann effektiv, wenn der Stromverbrauch für Ventilatoren, Steuerung und Regelung gering ist.

Lüftungsanlagen mit WRG unterstützen durch die rückgewonnene Wärme die Heizung im

Gebäude. Durch den Einsatz eines vorgeschalteten Erdwärmetauschers wird neben dem Vermeiden des Vereisens des Wärmetauschers noch ein zusätzlicher Wärmegegewinn erreicht. Im Projekt Neuenburg [4] wurden mehr als 30 kWh/m<sup>2</sup> a Wärmegegewinne aus der WRG und dem Erdwärmetauscher erhalten.

Dezentrale Zuluft in Verbindung mit zentraler Abluftanlage sorgt für einen definierten Frischluftvolumenstrom<sup>3</sup>. Es fehlen jedoch die Wärmegegewinne aus der WRG im Gebäude, was zu höherem Heizwärmebedarf führt. Vorteilhaft ist dann z. B. der Einsatz einer Wärmepumpe in der Abluft wie im Solarhaus „Gundelfingen“ [5], wo die gewonnene Wärme dem Heizungssystem zugeführt wurde.

Untersucht und bewertet wurden unterschiedliche Lüftungskonzepte in folgenden Demonstrationvorhaben: (Tab. 2)

<sup>3</sup> Ein Frischluftvolumenstrom von 30 m<sup>3</sup>/h je Person wird durchschnittlich zur Entfeuchtung der Raumluft benötigt.

Projekt	Primärenergie Haustechnik <sup>4</sup> [kWh/m <sup>2</sup> a]	Anlagenaufwandszahl	Heizwärme [kWh/m <sup>2</sup> a]	Warmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	Verluste [kWh/m <sup>2</sup> a]
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel	43,9	0,59	17,1	28,0	nicht bestimmt
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS	36,7 (ohne Verluste Fernwärmenetz)	0,81	14,9	13,2	8,7 Verteilung/ Speicher 3,5 Fernwärme
Mehrfamilien Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg	30,3/ 3,5 mit Strom aus BHKW + PV	0,76	12,6	8,7	10,7 Verteilung/ Speicher 5,4 Umwandlung
Solarhaus Gundelfingen	40,7	1,12	21,0	15,3	7,9 Zirkulation, Speicher, Verteilung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg	19,7	0,41	2,9	10,8	9,5 Speicher
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein	38,3	0,94	24,2	10,6	13,5 Zirkulation, Speicher, Verteilung
Studentenwohnungen Solar-Campus Jülich <sup>5</sup>	56 (ohne Netzverluste)	0,90	23,6	12,6	3,0 Speicher, 5,8 (16%) Netz

*Tabelle 3  
Energetische Kennwerte von Demonstrationsgebäuden (alle Werte bezogen auf die beheizte Nutzfläche)*

<sup>4</sup> Umrechnungsfaktor 2,35 nach GEMIS 4.0 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) mit einem kumulierten Energieaufwand nach EU17 ohne erneuerbare Energien

<sup>5</sup> Beispiel Passivhaus mit Luftheizung der Reihenhauseinheit 2

In Mehrfamilienhäusern eingesetzte zentrale Lüftungsanlagen mit WRG erfordern eine sorgfältige, meist aufwändige Planung, besonders hinsichtlich der Steuerung- und Regelung, um den individuellen Bedürfnissen der Nutzer nach wohnungsweise regulierbaren Volumenströmen und Zulufttemperaturen gerecht zu werden. Auch der Material- und Installationsaufwand (Stellklappen zum hydraulischen Abgleich, dichte Gehäuse der Wärmetauscher, Dämmung der Kanäle) ist relativ hoch [1, 7]. Erhalten die Nutzer dezentrale (wohnungsweise) Lüftungsanlagen, ist eine individuelle Nutzung leichter zu gewährleisten. Ein wesentliches Entwicklungsfeld ist dabei die Verbesserung des Schallschutzes, ohne Abstriche bei der energetischen Effizienz der Anlagen machen zu müssen.

Abluftanlagen mit dezentraler Zuluft sind zwar einfach und kostengünstig zu installieren, bieten aber nicht den gleichen Wohnkomfort wie Anlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) [10].

## Ergebnisse und Schlussfolgerung

Zur Bewertung der Effizienz der Wärmeversorgungssysteme dient der Primärenergieverbrauch für die gesamte Haustechnik (Heizen, Warmwasserbereitung, Lüftung, Hilfsenergie und Verluste) und die Anlagenaufwandszahl<sup>6</sup>. Tab. 3 enthält die Zusammenstellung dieser Kennwerte für ausgewählte Gebäude. Mit einem Primärenergieverbrauch unter 50 kWh/m<sup>2</sup>a, bezogen auf die beheizte Wohnfläche, sind alle untersuchten Wärmeversorgungskonzepte in den Gebäuden als effizient einzustufen und die Nutzeranforderungen werden erfüllt. Das Verhältnis der eingesetzten Primärenergie zur genutzten Energie (Anlagenaufwandszahl) ist < 1 und zeigt das effiziente Arbeiten der Versorgungstechniken.

<sup>6</sup> primärenergetische Effizienzkennzahl

Besonders günstig erscheinen die Versorgungssysteme mit Lüftungs-Kompaktgeräten mit einer Anlagenaufwandszahl  $< 0,5$ . Diese Geräte haben eine abgeglichene Steuerung und Regelung. Probleme bei der Steuerung und Regelung führen zu einem erhöhten Primärenergieverbrauch und ihre Optimierung zur Verbesserung der Energiebilanzen ist nötig.

Befindet sich die Heizzentrale der zentralen Versorgungssysteme im thermisch vom Gebäude getrennten Keller, erreichen Leitungs-, Speicher- und Zirkulationsverluste mit 20 bis 40% der Wärmebereitstellung die Größe des Heizwärme- oder Warmwasserverbrauchs. Dezentrale Versorgungssysteme innerhalb der beheizten Hülle bieten hier den Vorteil geringerer und zum Teil „nutzbarer Verluste“ in der Heizzeit, die zur Deckung des Wärmebedarfs beitragen. Damit bleiben nur die Verluste außerhalb der Heizsaison relevant, die durch die Warmwasserbereitstellung (Zirkulation, Leitungs- und Speicherverluste) entstehen. Durch eine thermische Solaranlage kann ein Großteil davon gedeckt werden.

Strom aus erneuerbaren Energien kann genutzt werden, um den Energieverbrauch zu kompensieren und den Primärenergieverbrauch zu senken, vgl. Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ [7]. Damit wird ein weiterer Schritt zum Null-Primärenergie-Haus möglich.

## Literatur

- [1] Hoffmann, C., Hastings, R., Voss, K., Wohnbauten mit geringem Energieverbrauch, 2005, C. F. Müller Verlag, Hüttig GmbH & Co. KG Heidelberg
- [2] Russ, C., Reiß, J. Design Insights for the Analysis of 50 Sustainable Solar Houses; 2005, Technical Report zur IEA Task 28/38 „Sustainable Solar Housing“
- [3] Evaluierung energieeffizienter Wohngebäude, Projektinfo 04/05 BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe
- [4] Russ, C., u.a., Demonstrationsprojekt für ein innovatives Wärmeversorgungskonzept für Passivhäuser auf der Basis von passiver und aktiver Solarenergienutzung in Kombination mit Wärmepumpen, Abschlussbericht 2002, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [5] Voss, K., Solarhaus Gundelfingen, Endbericht, 2003, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [6] Russ, C., u.a., Monitoring der Passivhaus-siedlung Königsbach-Stein, Abschlussbericht 2002, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [7] Voss, K., Solar-Passivhaus „Wohnen & Arbeiten“ Freiburg, Vauban, Schlussbericht, 2001, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [8] Bühring, A.; Innovative Lüftung in Gebäuden – Zukunft der Wohnungslüftung, Otti Energiekolleg 2004
- [9] Bühring, A., u. a., Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten, 9. Europäische Passivhaustagung 2005, Ludwigshafen
- [10] Göttsche, J., u.a. 2004 Abschlussbericht Solar Campus Jülich
- [11] Pfluger, R., Feist, W., Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel-Marbachhöhe, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 15 und 16, 2001, Passivhaus-Institut Darmstadt

# Solarisierung von Altbauten

## 1. Einführung

Unter Solarisierung von Altbauten versteht man die optimierte energetische Sanierung bestehender Gebäude, die einen erheblichen Beitrag von Umweltwärme und -kälte sowie andere regenerative Energiequellen zur Energieversorgung einbezieht.

Im Vergleich zum Zeitpunkt des Erscheinens des FVS-Themenhefts 97/98 (Solare Gebäudetechniken [1]) ist die Entwicklung von passivhaus-tauglichen Bauelementen und von Komponenten zur technischen Gebäudeausrüstung (TGA) rasch vorangeschritten. In den vergangenen Jahren wurden einige Sanierungsprojekte durchgeführt, die den Einsatz dieser neuen Technologien bzw. Materialien bei der Gebäudesanierung erprobten.

Neben den passiven Maßnahmen spielt die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien mit Hilfe der Nahwärme eine weitere wichtige Rolle bei der Solarisierung von Altbauten. Unter den derzeitigen wirtschaftlichen Bedingungen, gekennzeichnet durch das EEG, den KWK-Bonus, den Bonus für nachwachsende Rohstoffe und kräftig steigende Ölpreise, ist die Nahwärmeversorgung im Gebäudebestand auf der Basis von

Biomasse bei gleichzeitiger Stromproduktion eine bereits heute konkurrenzfähige Alternative gegenüber der konventionellen Ölheizung.

Der Betreiber von kurz- bis mittelfristig realisierten Nahwärmesystemen auf Biomassebasis muss die nachträgliche Wärmedämmung der angeschlossenen Gebäude in seine strategischen und planerischen Überlegungen (Wirtschaftlichkeitsrechnung) einbeziehen.

- **Energetisches Potenzial**

Das energetische Einsparpotenzial im Gebäudebestand ist gewaltig (Abb. 1). Die Sanierungsrate bewegt sich in der Größenordnung von 1 % pro Jahr, die Abrissrate liegt bei ca. 0,5 % pro Jahr [4]. Eine Halbierung der zur Beheizung von Gebäuden benötigten Energie wird selbst bei vollständiger Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV) erst für das Jahr 2050 prognostiziert. Eine Beschleunigung dieser Entwicklung könnte durch den Bevölkerungsrückgang, eine Fortsetzung der Ölpreiserhöhung oder durch intensivierete politische Maßnahmen bewirkt werden.

Um das häufig genannte Ziel von 2,5 bis 3 % energetisch wirksamer Sanierungsrate zu

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
Solar-Institut Jülich - FH Aachen  
bernhard.hoffschmidt@sjj.fh-aachen.de

Helmut Böhnisch  
ZSW  
helmut.boehnisch@zsw-bw.de

Dr. Joachim Götsche  
Solar-Institut Jülich - FH Aachen  
goetsche@sjj.fh-aachen.de

Sebastian Herkel  
Fraunhofer ISE  
sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

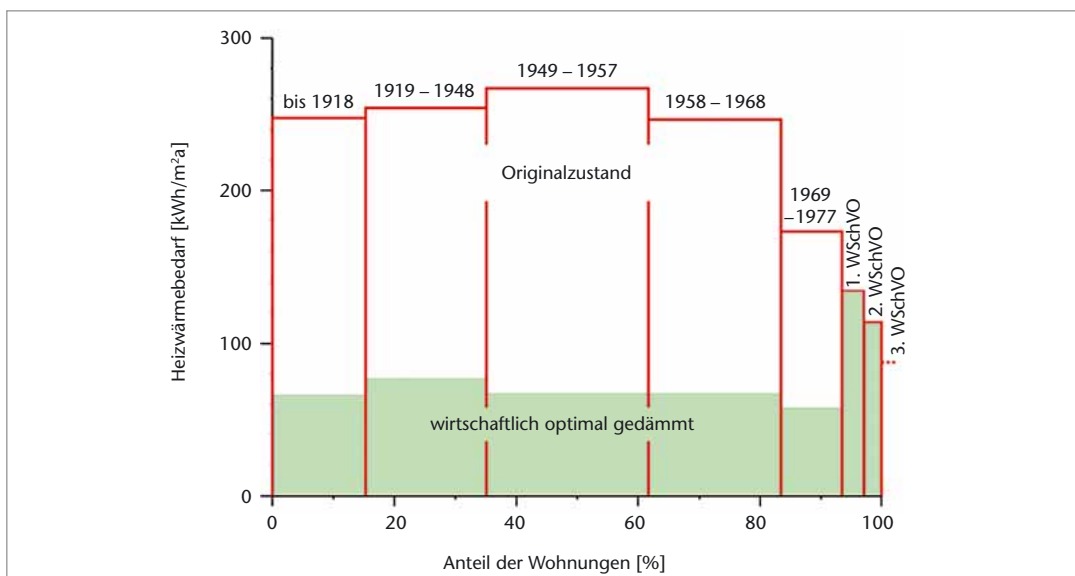


Abbildung 1  
Energieeinsparpotenziale im Gebäudebestand am Beispiel der Stadt Hannover: Heizwärmebedarf im Originalzustand (rot) und nach wirtschaftlich optimaler Dämmung (grün).

Quelle: Arenha, Bundesarchitektenkammer mit Förderung des BMU/UBA

erreichen, sind umfangreiche Erfahrungen und Kompetenzen im Bausektor nötig. Gut dokumentierte Standardlösungen müssen zur kostengünstigen Verbreitung bereitstehen.

- **Gründe für zögerliche Sanierungstätigkeit**  
Durch die Interessentrennung von Investor und Betreiber, bzw. aufgrund mangelnder Fachkompetenz bei den meisten der Einfamilien- und Reihenhauseigentümern werden in der Regel keine insgesamt kostenoptimierten Lösungen, geschweige denn energetisch optimierte Lösungen in die Tat umgesetzt. Gegenwärtiger Standard ist eine den gesetzlichen Regeln entsprechende nach Investitionskosten minimierte Ausführung. Es steht zu hoffen, dass ein qualitativ hoch angesetzter Energiepass Abhilfe schaffen kann.

Abbildung 2  
Solare Luftvorwärmung  
in der Balkonbrüstung,  
Freiburg Krozinger Str.

Foto: Fraunhofer ISE/ K. Voss

## 2. Solarisierung der Gebäudehülle

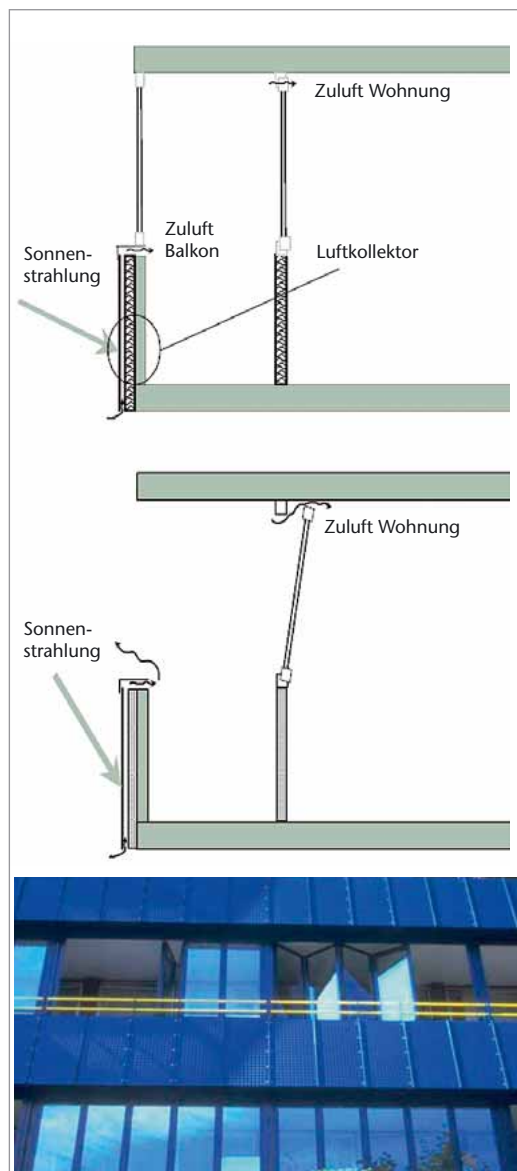
### 2.1 Vergrößerung der Solarapertur

- **Wärmebilanz durch Fensterflächen**  
Unter Solarapertur versteht man den Öffnungsgrad eines Gebäudes zur Nutzung des Sonnenlichts und der Wärmestrahlung. Moderne Fenster an südlich orientierten Fassaden weisen in der Heizperiode positive Energiebilanzen auf. Sie stellen also nicht wie früher Energiesenken, sondern Energiequellen dar, die noch zusätzlich für angenehm helle lichtdurchflutete Räume sorgen. Als interessanteste Maßnahmen kommen hierzu die Absenkung der Fensterbrüstung auf Fußbodenniveau oder der Einbau von Dachgauben in die Südseite in Betracht. Letztere vergrößern zwar zunächst die Wärmeverlustfläche, bieten aber durch die senkrechte Fensterfläche hohe winterliche Energiegewinne bei einer geringeren Überhitzungsproblematik im Sommer als sie Dachflächenfenster aufweisen.

- **Balkonverglasungen**  
Durch Balkonverglasungen lassen sich oft zwei Mängel gleichzeitig beheben: Kritische Wärmebrücken werden beseitigt und die Fensterfläche wird vergrößert, um mehr Sonne nutzen zu können [1].

### 2.2 Fassadenkollektor

Die Gebäudefassade spielt als Energiequelle zur dezentralen Versorgung eine zunehmende Rolle, denn gerade Südfassaden weisen im Jahresverlauf relativ gleichmäßige Erträge auf. Fassadenkollektoren können ideal im Brüstungsbereich (auch Balkonbrüstungen) eingesetzt werden, sie können aber auch ganze Fassaden überdecken. Umfangreiche Erfahrungen hierzu wurden insbesondere in Österreich erworben und auch in Deutschland bestehen erste Pilotvorhaben.



Am Beispiel eines Hochhauses in der Krozinger Straße in Freiburg wurde 1999 das Konzept der solaren Luftvorwärmung realisiert. Eine Ver-  
glasung des Balkons und eine Verkleidung der

Brüstung mit einem Metallabsorber führt zu einer solaren Vorwärmung von Luft: Die frische Luft wird durch den Luftspalt zwischen Absorber und Brüstung in den verglasten Balkon und dann in die Wohnräume geführt. Die Frischluftströmung in die Wohnungen wird durch die Absaugung der Abluftanlage gewährleistet. Durch diese Maßnahme wurde der Heizwärmeverbrauch von 93,3 kWh/m<sup>2</sup>a auf 48,1 kWh/m<sup>2</sup>a reduziert.



Die Entwicklung von farbigen selektiven Absorbieren erweitert gerade beim Einsatz in der Sanierung die Anwendungsmöglichkeiten von fassadenintegrierten Warmwasserkollektoren [5]. Bei dieser Maßnahme ist allerdings unbedingt auf die Feuchtebilanz in der dann dampfdichten Hülle zu achten.

### 2.3 Gesamtkonzepte

Eine der wesentlichen Herausforderungen bei der solaren Sanierung besteht darin, ein schlüssiges Gesamtkonzept zu entwickeln. Hierbei stellt die Integration von Photovoltaikmodulen in die Gebäudehülle eine ökologisch sinnvolle Ergänzung dar, da sich hierbei eine Kostenreduktion durch Mehrfachnutzung der physikalischen Eigenschaften von PV-Elementen ergibt.

Die im Jahr 2001 von der Stadtbau Freiburg abgeschlossene Sanierung der Gebäude an der Wilmersdorfer Straße (Abb. 4) setzt auf vier wesentliche Komponenten:

- thermische Kollektoranlage zur Deckung des Warmwasserbedarfs
- verglaste Balkone
- fassadenintegrierte Photovoltaikanlage
- erhöhter baulicher Wärmeschutz.

Durch das Maßnahmenpaket wird insgesamt eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Höhe von ca. 200 t/a bewirkt.



Abbildung 3 (links)  
Fassadenintegration farbiger Kollektoren

Foto: AEE INTEC

Abbildung 4 (rechts)  
Solare Sanierung in der Wilmersdorfer Str. in Freiburg mit 2 x 48 Wohneinheiten

Fotos: Fraunhofer ISE / S. Herkel

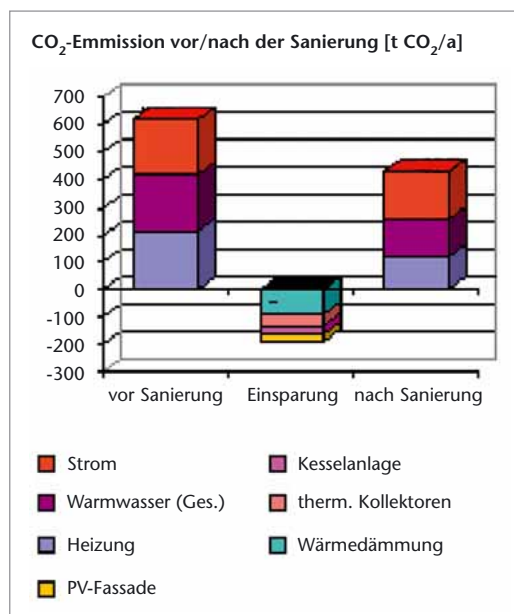


Abbildung 5  
CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Sanierungsmaßnahme in der Wilmersdorfer Straße

Quelle: Stahl + Weiß

### 2.4 Sanierung von Plattenbauten

Plattenbauten stellen einen erheblichen Anteil des deutschen Wohngebäudebestandes dar. Ein vorbildliches Sanierungskonzept wurde in der Eiselstraße in Gera umgesetzt (Abb. 6). Neben einer deutlichen architektonischen Umstrukturierung und Akzentuierung wurden Solarkollektoren in die Wärmeversorgung integriert. Die im Warmwasserspeicher

(ein spezieller Schichtspeicher) gesammelte Solarwärme wird über Wärmetauscher dem kalten Trinkwasser zugeführt, sodass eine solare Deckung von 35 % bei einem Systemnutzungsgrad von 40 % erzielt wird. Solarkollektoren wurden in die geneigte Dachhaut sowie in die vertikale Südfassade integriert. Die solaren Nutzwärmekosten belaufen sich ohne Förderung auf 0,14 €/kWh.



Abbildung 6a  
Solare Sanierung von Plattenbauten in der Eiselstraße in Gera

Quelle: TU Ilmenau 2004

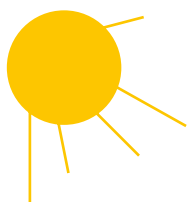
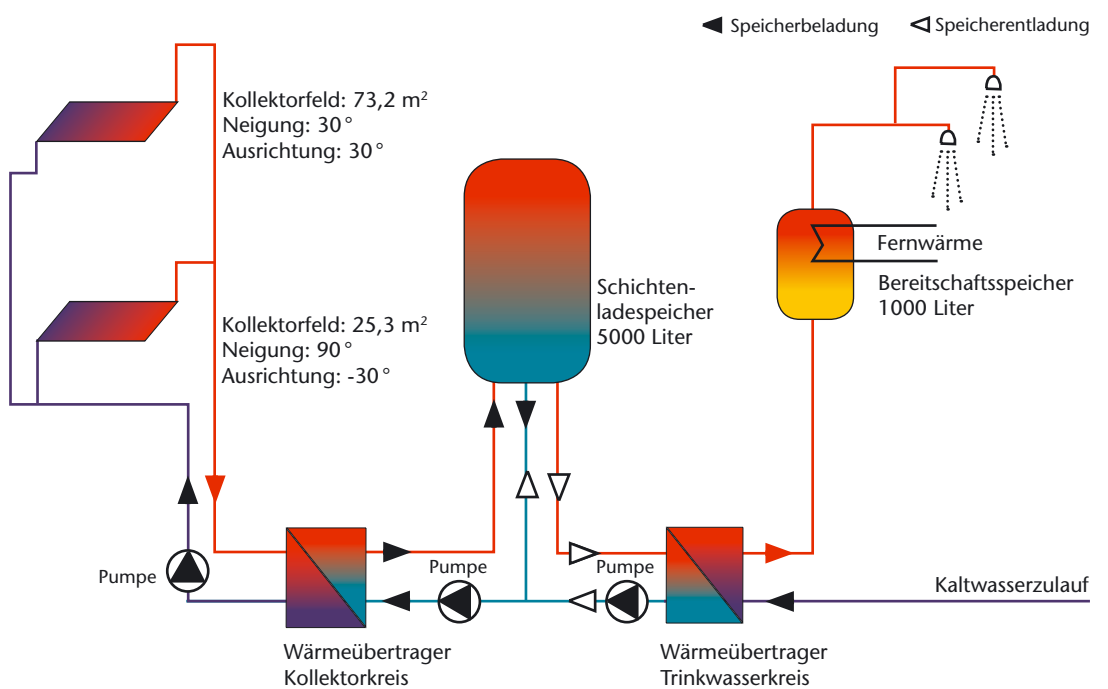


Abbildung 6b  
Vereinfachtes Schaltbild der Solaranlage Wohngelände Eiselstr. 141-163 in Gera



### 3. Grüne Nahwärme im Gebäudebestand

Es ist zu erwarten, dass Nahwärmesysteme, die auf der Nutzung von Biomasse aufbauen, in den nächsten Jahren auf Grund günstiger Randbedingungen im Gebäudebestand zunehmend realisiert werden. Demzufolge werden sich Planer und Betreiber bei der Auslegung zunächst an dem Wärmebedarf orientieren, der sich zum Zeitpunkt der Errichtung aus dem mittleren Wärmedämmstandard der Gebäude im Versorgungsgebiet ergibt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Teil der Wärmekunden zu einem späteren Zeitpunkt Wärmedämmmaßnahmen an ihren Häusern durchführen, vor allem dann, wenn eine Erneuerung der Gebäudehülle ansteht. Die damit verknüpfte Reduktion des Wärmebedarfs der wärmetechnisch sanierten Gebäude beeinflusst die Höhe der verkauften Wärmemenge insgesamt. Ein weitsichtiger Nahwärmebetreiber muss dies von Anfang an in seinen strategischen Überlegungen bzw. bei seiner Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigen.

#### 3.1 Auslegungsaspekte bei Kraft-Wärme-Kopplung mit Biogas und Holz

Den prinzipiellen Aufbau eines Nahwärmesystems zeigt beispielhaft *Abb. 7*.

Die Holzverbrennung (Holzhackschnitzel) bietet eine Reihe von technischen Möglichkeiten, Nahwärmesysteme mit gleichzeitiger Stromproduktion aufzubauen. Je nach Leistungsbe-reich können die Energiewandler Stirlingmotor (35-150 kW<sub>el</sub>), Dampfmotor (140-1.000 kW<sub>el</sub>), ORC-Turbine (450-1.500 kW<sub>el</sub>) und Dampftur-bine (1,5-20 MW<sub>el</sub>) für die Kraft-Wärme-Kopp-lung eingesetzt werden. Ein wesentliches Merkmal dieser Energiewandler ist jedoch ihr im Vergleich zum Biogas geringerer Strom-wirkungsgrad.

Eine weitere Technik, die thermochemische Gaserzeugung aus Biomasse (Holz, Stroh), wird in den nächsten Jahren, auf Grund eines inzwischen guten Entwicklungsstandes und der vielfältigen Möglichkeiten, die sie bietet (KWK, Auskopplung regenerativer Kraftstoffe), zunehmend an Bedeutung gewinnen.

#### 3.2 Vergleich der jährlichen Wärmekosten

Die jährlichen Kosten einer komplett erneuerten Öl-Zentralheizung werden den Jahreskosten beim Anschluss an ein Nahwärmenetz gegen-übergestellt. Der Vergleich erfolgt für ein durchschnittliches Ein- bzw. Zweifamilienhaus mit einem Ölbedarf von 3.300 Litern pro Jahr.

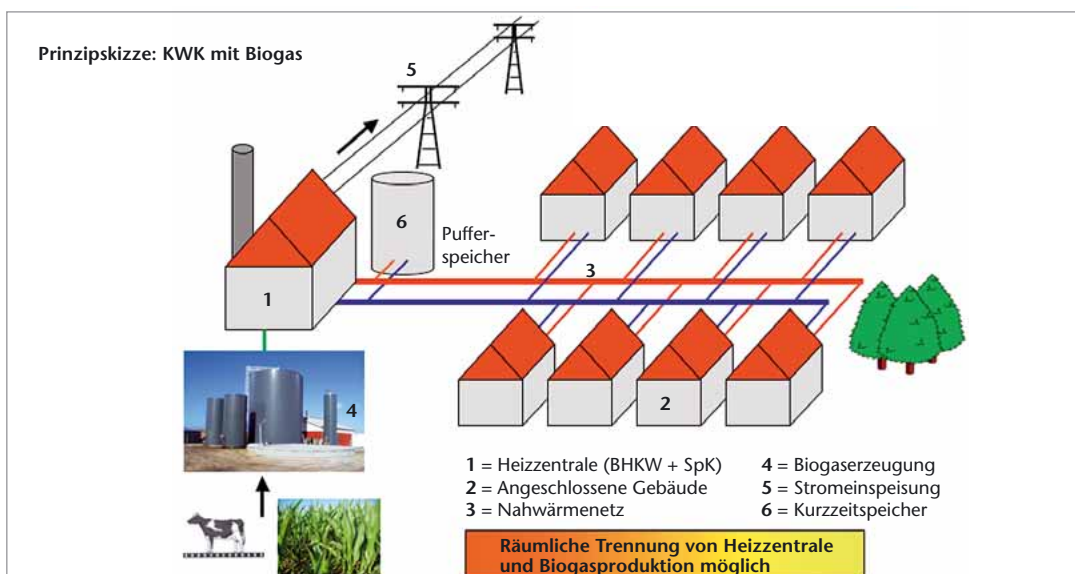


Abbildung 7  
 Prinzipische Skizze eines Nahwärmesystems mit Biogasnutzung und Kraft-Wärme-Kopplung

Quelle: ZSW

Die Nahwärmeversorgung entwickelt sich von einem anfänglichen Anschlussgrad von 25 %, auf 60 % sechs Jahre später. Nach 20 Jahren sind 75 % aller Gebäude angeschlossen. Bezogen auf den Anfangswert nimmt der Wärmebedarf durch verbesserte Wärmedämmung gleichverteilt über den gesamten Ort um 1 % pro Jahr ab.

Die Anschaffungskosten für die erneuerte Ölheizung betragen 7.400 € (Ölkessel, MSR-Technik, Öltank, Schornstein), die Hausanschlusskosten an die Nahwärme belaufen sich auf einmalig 7.500 €. Die Kostenrechnung erfolgt mit Hilfe der Kapitalwertmethode, der Kalkulationszinssatz beträgt 6 % und die Projektdauer 20 Jahre. (Abb. 8).

Die jährlichen Vollkosten variieren bei der Öl-Zentralheizung im vorgegebenen Ölpreisintervall von 40 bis 60 Ct/l zwischen 2.400 und 3.100 €/a. Zum Vergleich: Der Ölpreis für eine Einkaufsmenge von 3.000 Litern liegt Mitte September 2005 bei 0,52 € / l (netto). Obwohl die Nahwärmeversorgung auf der Basis von Holz im betrachteten Leistungsbereich teurer ist als bei Biogas, kann die Wärme derzeit günstiger bereitgestellt werden, als bei einer konventionellen Ölheizung. Die Jahreskosten belaufen sich auf rund 2.680 €/a.

Noch günstiger ist die Nahwärmeversorgung mit Biogas, trotz der deutlich höheren Investitionskosten gegenüber Holz. Mit Jahreskosten von knapp 2.300 € weist sie den günstigsten Wert auf. Hier macht sich die hohe Stromproduktion auf Grund des hohen Stromwirkungsgrades und damit höhere Stromerlöse positiv bemerkbar.

### 3.3 Nachträgliche Wärmedämmung

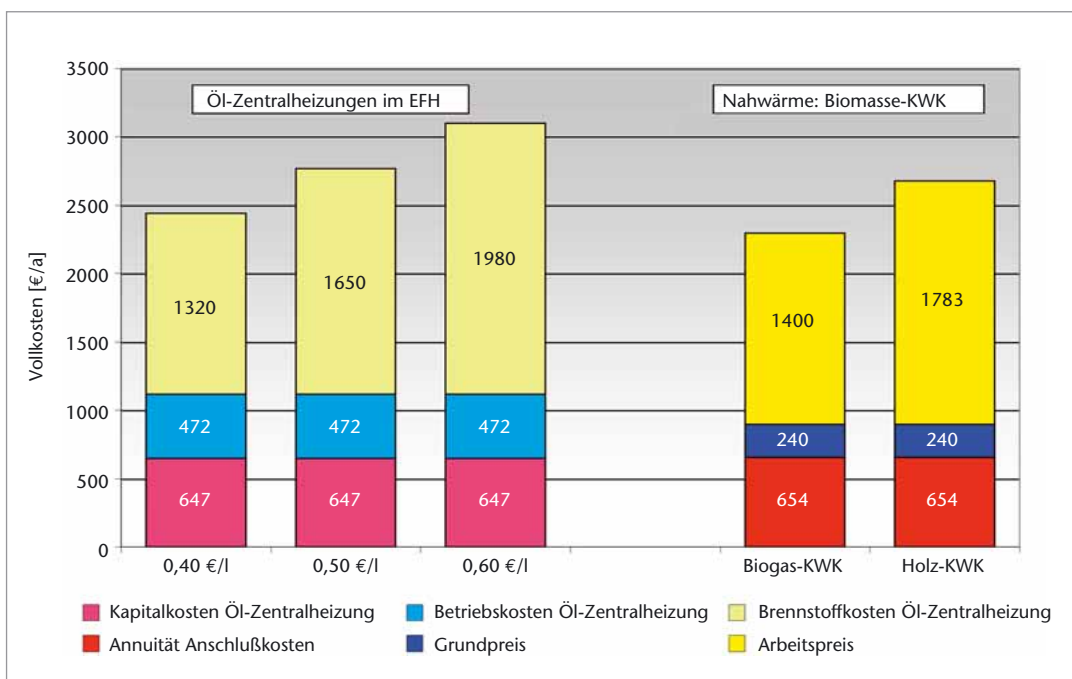
Die Auswirkungen nachträglicher Wärmedämmung auf die Rentabilität von Nahwärmesystemen mit Biomassenutzung wurden im Rahmen einer Konzeptstudie für die Nahwärmeversorgung einer Kleinstadt mit 5.000 Einwohnern untersucht. Die Nahwärmeversorgung baut auf Holzverbrennung mit nachgeschalteter ORC-Turbine (1 MW<sub>el</sub>) zur Stromerzeugung auf. Es wurden drei verschiedene Ausbauszenarien definiert. In jedem Szenario wird der Fall „keine Wärmedämmung“ dem Fall „gleichmäßig verteilte Wärmedämmung“ gegenübergestellt.

Die Eckdaten (Anschlussgrade) der Szenarien sind:

1. Grundvariante: 25 % zu Beginn – 60 % nach 6 Jahren – 75 % nach 20 Jahren
2. Langsame Entwicklung: 25 % zu Beginn – 50 % nach 20 Jahren
3. Nahwärmebegeisterung: 50 % zu Beginn – 75 % nach 6 Jahren – 90 % nach 20 Jahren

Abbildung 8  
Kostenvergleich  
zwischen konventioneller Öl-Zentralheizung und Wärmeversorgung mittels Nahwärme durch Nutzung von Biomasse. Jahresnettokosten ohne MWSt. EFH = Einfamilienhaus

Quelle: ZSW



Beim Fall „gleichmäßig verteilte Wärmedämmung“ ist der Wärmebedarf des gesamten Ortes nach 20 Jahren um 25 % geringer, als zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Nahwärme. Dies gilt in jedem Szenario. Den Einfluss der Wärmedämmung auf die Rentabilität der Nahwärmeversorgung (ausgedrückt im Kapitalwert) zeigt *Abb. 9*.

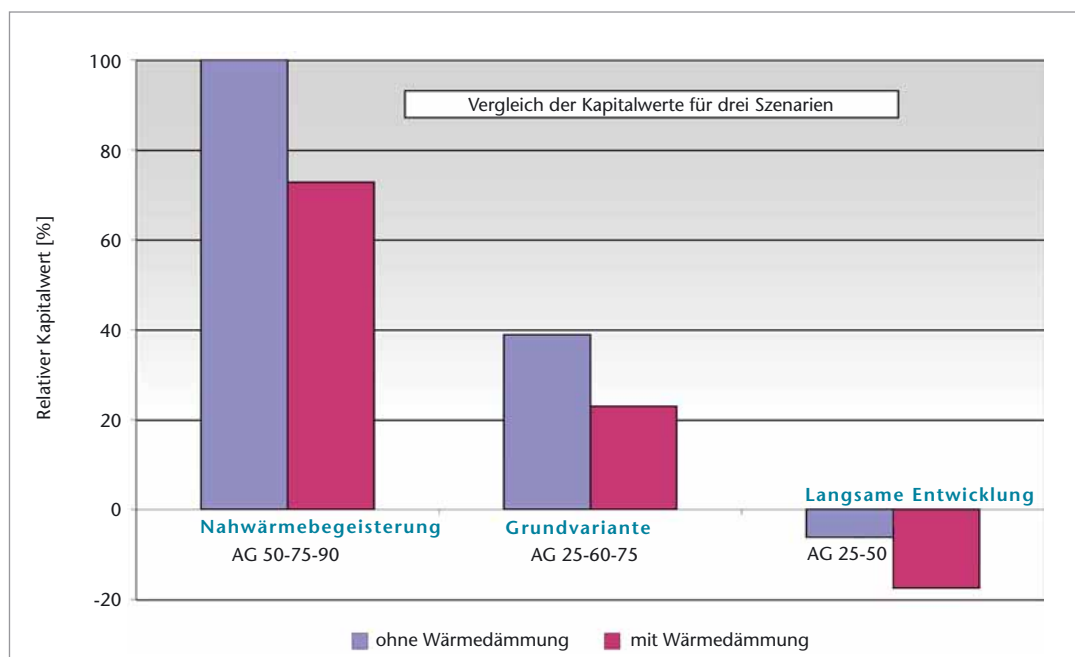
Die Variante „Langsame Entwicklung“ weist im Gegensatz zu den beiden anderen einen negativen Kapitalwert auf. Sie liegt somit aus Sicht des Betreibers unterhalb der Gewinnschwelle. Zunehmende Wärmedämmung der Häuser und damit zurückgehender Wärmeabsatz hat einen deutlichen Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis. Dieser Einfluss ist jedoch am geringsten, wenn sich der Anschlussgrad auf hohem Niveau befindet (Variante „Nahwärmebegeisterung“).

Auch beim mittleren Szenario führt zunehmende Wärmedämmung nicht zur Unwirtschaftlichkeit des Projekts. Stabilisierend wirken in jedem Fall die sich vergleichsweise geringfügig ändernden Stromerlöse bei Kraft-Wärme-Kopplung.

Die genannten Solaranlagen Wilmersdorfer Straße in Freiburg und Eiselstraße in Gera wurden mit Förderung des Bundes (BMU) im Programm Solarthermie2000 realisiert.

## Literatur

- [1] Voss K., Solarenergienutzung bei der Sanierung von Gebäuden, Forschungs-Verbund Sonnenenergie „Themen 97/98“, S. 87-94
- [2] Böhnisch H., Erbas K., Nast M., Schreitmüller K., Nahwärme im Gebäudebestand – Anlagenaspekte und Umsetzung, Forschungsverbund Sonnenenergie „Themen 2001“, S. 82-91
- [3] Böhnisch H., Klingebiel M., Nast M., Nahwärmefibel Baden-Württemberg, Nahwärmekonzepte Kraft-Wärme-Kopplung und Erneuerbare Energien, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2004
- [4] Kleemann M., Heckler R., Kolb G., Hille M., Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden – Szenarioanalysen mit dem IKARUS-Raumwärmemodell, Bericht im Auftrag des Bremer Energie-Instituts, April 2000
- [5] Müller T., Wagner W., Hausner R., Köhl M., Herkel S., Höfler K., Colourface – Farbige Fassadenkollektoren, Tagungsband Solartage Gleisdorf, 2004



*Abbildung 9*  
Die Auswirkung nachträglicher Wärmedämmung auf die Rentabilität eines Nahwärmesystems für eine Kleinstadt mit 5.000 Einwohnern, AG = Anschlussgrade entsprechend der drei Szenarien

Quelle: ZSW

# Dezentrale Wärmeeinspeisung – Integration in Wärmenetze

Michael Wigbels  
 Fraunhofer UMSICHT  
 Institut für Umwelt-,  
 Sicherheits- und  
 Energietechnik  
 michael.wigbels@  
 umsicht.fraunhofer.de

Michael Nast  
 DLR  
 michael.nast@dlr.de

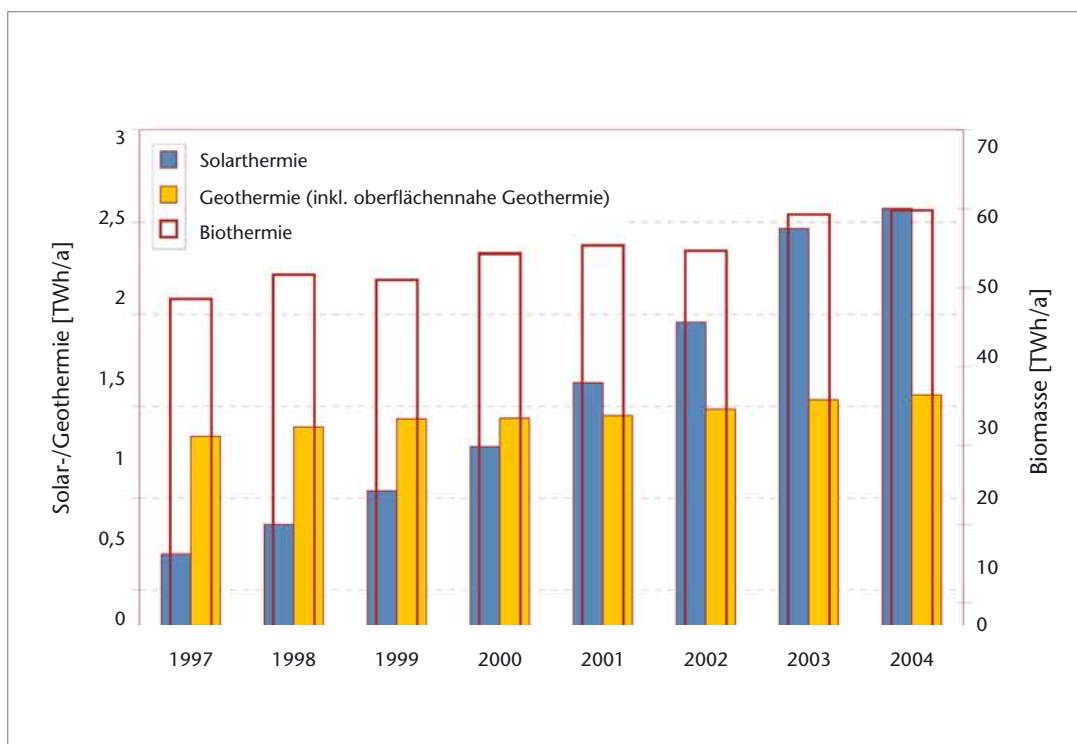
Der Einsatz regenerativer Energieträger gilt als ökologisch und energiewirtschaftlich vorteilhaft. Die mit der Verbrennung regenerativer Energieträger verbundenen Emissionen verhalten sich neutral im Bezug auf das Klima und die regenerativen Energiequellen stellen heimische Ressourcen dar, deren Einsatz eine Diversifizierung der Energieversorgung und damit eine geringere Abhängigkeit von Energieimporten erlaubt. Der Anteil regenerativer Energieträger an der Energieversorgung ist in den letzten Jahren gewachsen und wird voraussichtlich gemäß politischer Vorgaben und der gesellschaftlichen Akzeptanz zukünftig weiter steigen. Die verstärkte Integration der Solarthermie, Geothermie und Biomasse in die Versorgungssysteme der Zukunft erfordert neue technische Lösungen. Ziel dieser Technologien wird es sein, die Wirtschaftlichkeit von integrierten Versorgungssystemen mit unterschiedlichen regenerativen und konventionellen Primärenergieträgern zu verbessern.

## Daten und Prognosen

Der Anteil unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger an der Wärmeversorgung in Deutschland hat sich innerhalb der letzten Jahre erheblich vergrößert (Abb. 1). Zurzeit werden etwa 4,2% des deutschen Wärmebedarfs von ca. 1500 TWh/a mittels regenerativer Ressourcen gedeckt. Insbesondere die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse (Holz, Stroh, Gülle etc.) stellt einen erheblichen Beitrag. Seit 1997 hat sich dieser Anteil von 50 TWh/a um ca. 20% auf 60 TWh pro Jahr vergrößert [1].

Der Anteil der Solar- und Geothermie an der Wärmeversorgung ist zwar noch relativ gering, hat aber hohe Steigerungsraten. Der Beitrag solarthermischer Anwendungen zur Wärmeversorgung hat sich seit 1997 auf mehr als 2,5 TWh/a nahezu vervierfacht.

Abbildung 1  
 Anteil unterschiedlicher  
 erneuerbarer Energie-  
 träger in Deutschland



Für die weitere Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung Deutschlands reichen die derzeitigen Technologien nur schwerlich aus. Auch sind geeignete Versorgungsstrukturen zu entwickeln, die den speziellen Anforderungen regenerativer Wärmeherzeugung gerecht werden. In vielen Fällen ist eine wirtschaftliche Versorgung mit erneuerbaren Energien nur durch die Zusammenfassung einer begrenzten Anzahl von Wärmeabnehmern möglich. Das Optimum hinsichtlich eines ökonomischen Betriebs liegt dabei zwischen einem vollständig dezentralen und einem zentralen System mit ihren jeweiligen Vorzügen:

#### Dezentral

- Reduktion der Transportwege bei räumlich verteilter Nutzung regenerativer Ressourcen
- Effizienzsteigerung u. a. durch geringere Transportverluste
- Eine lokale Nutzung erfordert meist nur geringere Vorlauftemperaturen

#### Zentral

- Bündelung des Wärmebedarfs vieler Abnehmer
- Aufwand zur Erschließung bzw. Aufbereitung der Primärenergie sowie zur Abgasbehandlung (Biomasse) ist in größeren Anlagen wirtschaftlicher
- Saisonaler Energieanfall erfordert große, zentrale Speicher (Solarthermie)

Der Einsatz von Nahwärmesystemen vereint die Vorzüge beider Strategien. Dennoch sind zur effizienten Integration erneuerbarer Energiequellen noch Weiterentwicklungen vorzunehmen. Diese werden bei Betrachtung des derzeitigen Entwicklungsstandes dezentraler Nahwärmesysteme deutlich.

## Technologie der dezentralen Versorgung

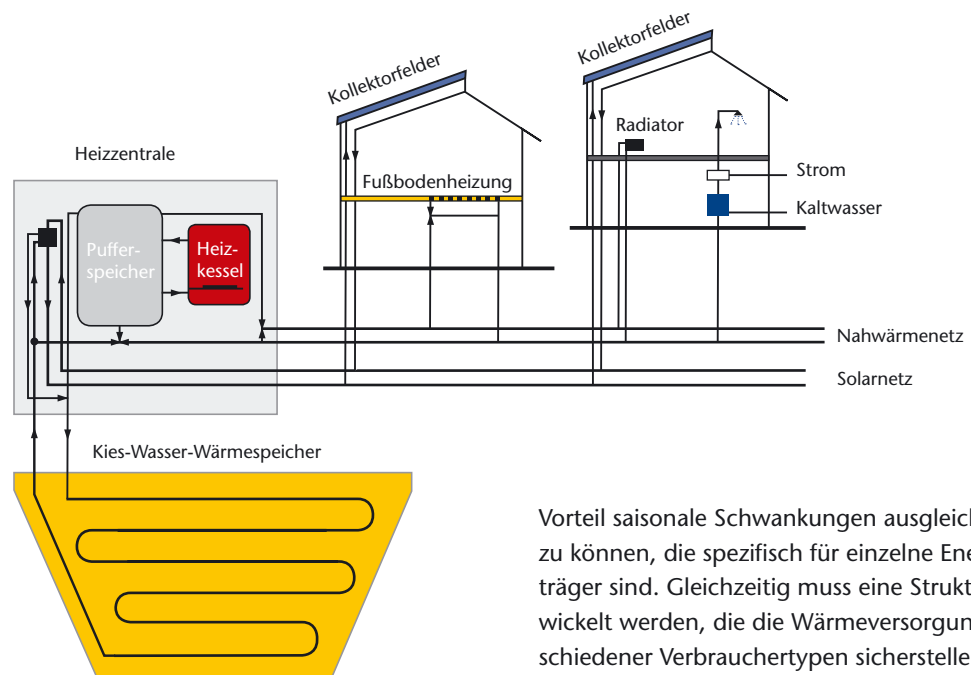
Abb. 2 zeigt die Struktur eines Wärmeversorgungssystems mit Einkopplung solarthermischer Energie. Zur Energieerzeugung werden dezentrale Solarkollektoren eingesetzt, die auf den Dächern der zu beheizenden Häusern montiert sind. Diese Wärme wird mittels eines ersten Verteilungssystems (Solarnetz) gesammelt und einer Heizzentrale zugeführt. Innerhalb dieser wird je nach Versorgungslage die Wärme in einem saisonalen Speicher geleitet oder in einem zweiten Rohrleitungssystem (Nahwärmenetz) wieder verteilt. Gegebenfalls erfolgt bei leerem Speicher oder zur Spitzenlastdeckung eine Wärmeherzeugung mittels Gaskessel.

Der entscheidende Vorteil dieser Integration von dezentralen Solarkollektoren in ein Wärmenetz besteht darin, dass durch die Möglichkeit zur zentralen Speicherung großer Wärmemengen der Heizungsbedarf und die Erzeugung regenerativer Energie zeitlich entkoppelt werden. Auf diese Weise kann die im Sommer im Überfluss vorhandene Solarenergie im Winter, zu Zeiten hohen Wärmebedarfs, genutzt werden.

Nachteil der Technologie ist die aufwändige Bauweise insbesondere des Verteilsystems. Aus diesem Grund lassen sich derartige Ansätze voraussichtlich nur in dicht bebauten Neubausiedlungen einsetzen, in denen die spezifischen Aufwendungen für die Rohrleitungssysteme geringer sind. Darüber hinaus sind die Vorlauftemperaturen im Nahwärmesystem verhältnismäßig gering, sodass in den Häusern zur Brauchwassererwärmung jeweils eine elektrische Nacherhitzung notwendig ist.

Nach dem beschriebenen Konzept wurde innerhalb des Programms „50 Solarsiedlungen in NRW“ in Steinfurt Borghorst in den Jahren 1998 bis 2000 eine solare Wärmeversorgung realisiert. Die zur Beheizung der 42 Wohneinheiten installierte Gesamtkollektorfläche beträgt 510 m<sup>2</sup>.

Abbildung 2  
Schema einer  
dezentralen Wärme-  
versorgung mit  
Solarkollektoren [2]



Zur Speicherung wurde ein Kies/Wasserspeicher mit einem Volumen von 1500 m<sup>3</sup> eingesetzt. Gemäß der bisherigen Betriebserfahrung lässt sich der Gesamtwärmebedarf der 21 Doppelhaushälften und Mehrfamilienhäuser zu 34 % durch Solarthermie decken. Der Großteil der Wärmemenge muss daher trotz der Möglichkeit zur Langzeitspeicherung vom einem 550 kW Gas-Brennwertkessel in der Heizzentrale bereitgestellt werden. Insgesamt betragen die zusätzlichen Kosten zum Aufbau der speziellen Wärmeversorgung 1,4 Mio. €. Die monatlichen Kosten für Heizung und Warmwasser liegen bei 0,77 €/m<sup>2</sup> – 0,97 €/m<sup>2</sup> [3].

## Zukünftige Anforderungen an dezentrale Systeme

Die weitere Integration von erneuerbaren Energieträgern wird eine Veränderung der Struktur zukünftiger Wärmeversorgungssysteme nach sich ziehen müssen. So sollte eine Entwicklung hin zu flexibleren Strukturen angestrebt werden. *Abb. 3* illustriert wie ein flexibles dezentrales Versorgungssystem aussehen könnte. Im optimalen Fall wäre es in zukünftigen dezentralen Systemen möglich, unterschiedliche regenerative Energieträger mit diversen Umwandlungstechnologien zu nutzen. Dieses bietet den

Vorteil saisonale Schwankungen ausgleichen zu können, die spezifisch für einzelne Energieträger sind. Gleichzeitig muss eine Struktur entwickelt werden, die die Wärmeversorgung verschiedener Verbrauchertypen sicherstellen kann. Auf diese Weise entsteht ein möglichst großer Absatzmarkt. Schließlich ist ein kostengünstiges Verteilsystem zu erstellen, da nur auf diese Weise Nahwärmekonzepte unter der Randbedingung eines zukünftig sinkenden Wärmeverbrauchs existieren können.

In diesem Zusammenhang existiert für dezentrale Wärmeversorgungssysteme noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf. So ist eine effiziente Einkopplung solarthermischer Energie und industrieller Abwärme mit meist schwankender oder niedriger Temperatur nur in Einzelfällen möglich.

Gleiches gilt für die Integration von Erzeugungsanlagen mit saisonal schwankender Brennstoff- bzw. Primärenergiezufuhr, wie beispielsweise die Solarthermie. Hier sind weitere Forschungsarbeiten auf dem Sektor großräumiger Speicher notwendig.

Die Integration vieler Kleinversorger (z. B. Mini-BHKW, Brennstoffzelle), in stark dezentralen Systemen wird darüber hinaus neue Konzepte zur Einkopplung der Wärmeerzeuger und innovative Regelstrategien erfordern. In diesem Zusammenhang erscheint eine zentrale Regelung sämtlicher KWK-Kleinversorger zur wirtschaftlich und ökologisch optimalen Bereitstellung von Strom und Wärme analog den komplexen Leitsystemen „virtueller Kraftwerken“ aussichtsreich.

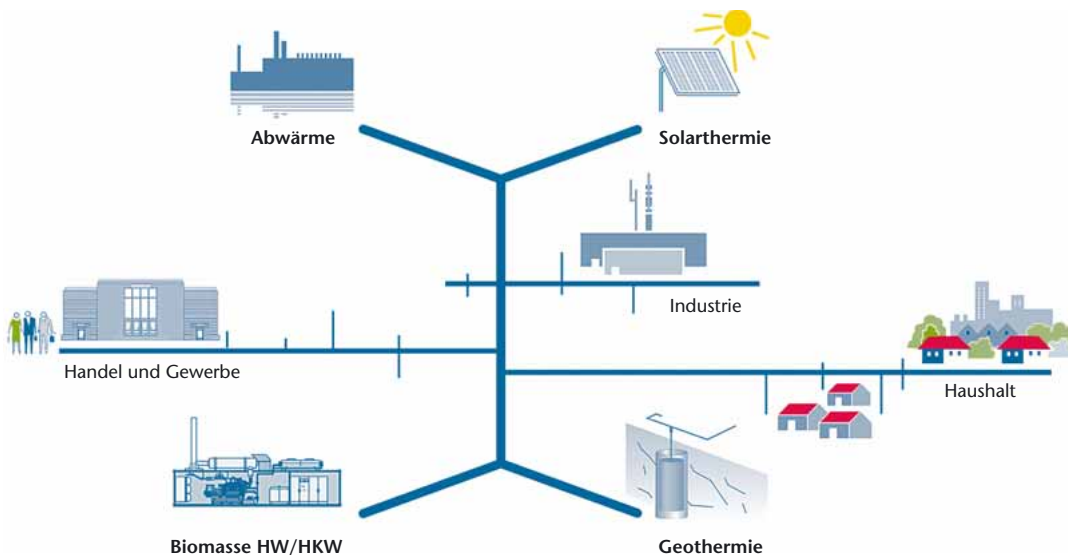


Abbildung 3  
Wärmeversorgung mit unterschiedlichen Erzeugungstechnologien und Verbrauchern

### Aktuelle Forschungsthemen

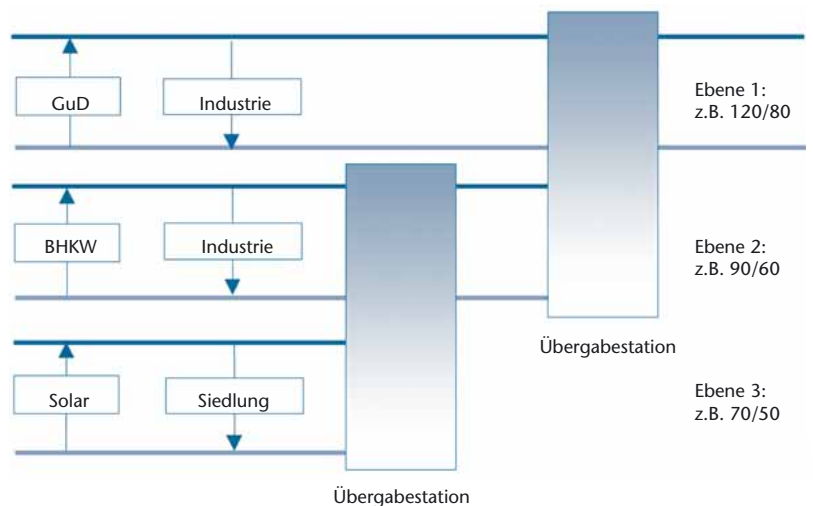
Derzeit werden „LowEx“-Technologien diskutiert, die sich mit der Nutzung von Wärme auf geringem Temperaturniveau befassen. Die Einspeisung in das Verteilungsnetz erfolgt dabei in Form einer Vorlauf- und Rücklauf-temperaturerhebung [4]. Beide Ansätze weisen allerdings noch Nachteile bezüglich einer universellen Anwendbarkeit auf. Letztendlich besteht immer noch kein geeignetes Konzept zur Einkopplung von Wärme relativ geringer Temperatur (< 50 °C).

Darüber hinaus ist die Integration vieler kleiner KWK-Komponenten in ein Wärmenetz ein Forschungsthema. Hierbei spielt insbesondere die Entwicklung eines effizienten Betriebs- und Regelungskonzepts eine große Rolle. Das Fraunhofer Institut UMSICHT hat unterschiedliche Regelungskonzepte für Pumpen und Erzeuger analysiert. Hierbei wurde sowohl die Umwälzung des Heizwassers in einer zentralen Pumpstation als auch mittels vieler dezentraler Pumpen beleuchtet. Des Weiteren wurden Regeln für die Einschaltreihenfolge der Versorger ermittelt. Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit überwiegend dezentraler Systeme zeigte, dass diese durchaus Vorteile gegenüber zentralen Strukturen aufweisen.

Am Fraunhofer Institut UMSICHT wurden darüber hinaus Überlegungen angestellt, Nahwärmenetze analog elektrischen Versorgungsnetzen aufzubauen. Die Unterteilung des elektrischen Energienetzes in unterschiedliche Spannungsebenen bietet den Vorteil, dass relativ problemlos Energiequellen mit unterschiedlichem Spannungsniveau eingekoppelt werden können. Auch dezentrale Kleinanlagen mit niedriger Spannung können effektiv genutzt werden. Eine Transformation führt dazu, dass die eingespeiste Energie quasi im gesamten Netzbereich wieder entnommen werden kann.

Ein Wärmenetz, das analog in unterschiedliche „Temperaturebenen“ unterteilt ist, bietet zum Teil ähnliche Vorteile. Abb. 4 stellt dieses beispielhaft dar.

Abbildung 4  
Analogie eines Wärmeverteilungssystems und mit einem Stromnetz



Problemlos wäre es auf diese Weise möglich, Energie von Erzeugern mit hohem Temperaturniveau innerhalb oder in untergeordneten Ebenen zu nutzen. Auch bietet sich die Chance regenerative Energieträger, die im Allgemeinen ein niedriges Temperaturniveau haben, innerhalb einer Ebene zu nutzen. Im Gegensatz zu elektrischen Netzen besteht hier allerdings nicht die Möglichkeit, Energie relativ verlustfrei in eine übergeordnete Ebene zu transportieren. Zu diesem Zweck müssten Wärmepumpen oder Wärmetransformatoren eingesetzt werden, denen Energie für die Transformation zugeführt werden muss. Auch dieses könnte in Einzelfällen zu wirtschaftlichen Ergebnissen führen. Dennoch ist die Nutzung der eingespeisten Energie innerhalb der jeweiligen Ebene bzw. in einer untergeordneten Ebene wirtschaftlich aussichtsreicher und liegt hinsichtlich der Erzeuger- und Verbraucherstruktur voraussichtlich häufiger vor. Ziel der Forschung ist es, die grundsätzliche Strategie zu konkretisieren und mögliche Einsatzgebiete zu formulieren.

## Literatur

- [1] Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft; BMU; 2004
- [2] Solarthermische Langzeit-Wärmespeicherung; Dipl.-Ing. M. Bodmann, Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch; Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig
- [3] Solarsiedlung Steinfurt Borghorst. 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen; Landesinitiative Zukunftsenergien NRW; 2004
- [4] [http://www.energiesystemederzukunft.at/edz\\_pdf/20050420\\_feet\\_02\\_projektergebnisse\\_streicher.pdf](http://www.energiesystemederzukunft.at/edz_pdf/20050420_feet_02_projektergebnisse_streicher.pdf)

# Solarunterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Hybridsysteme im Trend

## Einleitung

Seit Beginn der Menschheit wird Energie zur Steigerung der Lebensqualität und Produktivität eingesetzt. Die absolute Höhe des Energiebedarfs stieg nahezu kontinuierlich bis zum heutigen Tag an. Zusätzlich verschoben sich, als Spiegelbild der Gesellschaftsstruktur, die Anteile der einzelnen Bedarfssektoren am Gesamtbedarf. Der seit der industriellen Revolution hinzugekommene Bedarfssektor „Industrie“ hat aufgrund der damit sprunghaft gestiegenen Produktivität und der damit verbundenen materiellen Lebensqualität ebenfalls zu einem deutlich erhöhten Energiebedarf geführt.

Eine effizientere Nutzung der Energieträger mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) führt zur Reduzierung des Ressourcenbedarfs und des Emissionsausstoßes klimarelevanter Schadstoffe. Diese Technologien auf rein fossiler Basis zu nutzen, reicht jedoch langfristig nicht aus.

Eine intelligente Weiterentwicklung liegt in der solarunterstützten KWK und KWKK, wodurch der Bedarf fossiler Energieträger und dadurch die Schadstoffemissionen verringert werden.

Dieser Beitrag stellt beispielhafte Hybrid-Anlagenkonzepte und Anlagenkomponenten vor, die eine Energieversorgung von Gebäudekomplexen wie Hotelanlagen oder Krankenhäuser mit Wärme, Kälte und Strom durch solarunterstützte KWKK sicherstellen. Bei der gekoppelten Erzeugung lassen sich Energieverluste, die bei der getrennten Erzeugung entstehen, vermeiden.

## Anwendungen der KWKK-Anlagen

In den Sommermonaten sind die Nah- und Fernwärmenetze der regionalen Energieversorger, in die mittlerweile auch solarthermische Anlagen einspeisen, aufgrund des geringen sommerlichen Wärmebedarfes relativ wenig ausgelastet, was mit einer geringen Temperaturabsenkung verbunden ist. Zur besseren energetischen Nutzung dieser Netze können Wärmekraftmaschinen eingesetzt werden, die Strom aus der thermischen Energie gewinnen und diesen in das öffentliche Netz einspeisen. Der nicht in Strom konvertierbare Energieanteil kann in Prozesswärmeanwendungen mit Temperaturen bis 100 °C genutzt werden. Dieses Zusammenwirken fossiler und solarer Energiequellen wird als solarunterstützte KWK bezeichnet und trägt wesentlich zu einer wirtschaftlicheren Nutzung bei.

In den Sommermonaten wird allerdings gerade in vielen öffentlichen Gebäuden verstärkt Kälte für die Kühlung und Klimatisierung benötigt. Im Jahre 1996 wurden in Europa allein für kleine Klimaanlage mit Kühlleistungen von bis zu 12 kW insgesamt 11.000 GWh an Primärenergie verbraucht. EU-Studien sagen voraus, dass dieser Wert im Jahr 2020 auf das Vierfache, nämlich 44.000 GWh ansteigen wird [1].

Dieser Bedarf wird zurzeit noch überwiegend unter Verwendung von elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen (KKM) bereitgestellt. Der Ersatz von Kompressionskältemaschinen durch thermisch angetriebene Absorptionskältemaschinen (AKM) reduziert den Strombedarf. Die Wärmenetze und solarthermischen Anlagen werden durch die damit verbundene gleichmäßigere Verteilung des Wärmebedarfs über das ganze Jahr besser ausgelastet, wodurch die Wirtschaftlichkeit

Dr. Ahmet Lokurlu  
SOLITEM GmbH  
a.lokurlu@solitem.de

Dr. Reiner Buck  
DLR  
reiner.buck@dlr.de

Dr. Christian Dötsch  
Fraunhofer UMSICHT  
christian.doetsch@umsicht.fraunhofer.de

Dr. Hans-Martin Henning  
Fraunhofer ISE  
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

dieser Netze und der sie speisenden, fossil betriebenen und solarthermischen Anlagen enorm erhöht wird.

Zusätzlich zu dem ungleich verteilten Kältebedarf für Klimatisierungszwecke ist ein relativ konstanter Kältebedarf der Industrie für Kälteprozesse vorhanden. Auch dieser wird größtenteils noch mit KKM oder mit durch Industrieabwärme angetriebenen AKM gedeckt. Aufgrund des besseren Wärmeschutzes (Energieeinsparverordnung) ist ein zurückgehender Wärmebedarf an Nah- und Fernwärme zu verzeichnen, gleichzeitig wird ein größerer Kühlungsbedarf aufgrund unterschiedlicher Ursachen notwendig. Deshalb ist die Erzeugung von Kälte aus Wärme zunehmend wirtschaftlich bedeutender.

Durch die Systemeffizienz der solarunterstützten KWKK kann eine Senkung der Strombedarfs-  
spitzen im Sommer erreicht werden, wodurch die Betriebskosten signifikant gesenkt werden. Bei entsprechend großem Wärme- und Kältebedarf sind deshalb dezentrale KWKK-Anlagen zu empfehlen. Bei einigen Verfahren kann das Verhältnis von Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung in weiten Bereichen variiert werden, während bei anderen Verfahren eher ein festes Verhältnis vorgegeben ist. Anlagen, bei denen die Anteile von Strom, Wärme und Kälte nicht variiert werden können, sind besonders für eine am Wärme- bzw. Kältebedarf orientierte Betriebsweise geeignet. Mit der Einbindung von Wärme- und Kältespeichern bietet sich jedoch auch hier die Möglichkeit eines variablen Anlagenbetriebs, der auch an den aktuellen Strombedarf bzw. Strombezugspreis angepasst werden kann, um den Bedarf kostenoptimal zu decken.

## Wärme-Kraft-Maschinen

Prinzipiell können verschiedenste Arten von Maschinen, wie z. B. ORC<sup>1</sup>-Turbinen, Dampf- und Mikroturbinen sowie Stirling- und Dampfmaschinen für die Umwandlung von Solarwärme in elektrische Energie genutzt werden. Außerdem ist die Einbindung der Solarenergie auf höherem Temperaturniveau mittels Gasturbinen und Dampfturbinen möglich.

ORC- und Dampf-Turbinen gibt es ab einer elektrischen Leistung von 200 kW<sub>el</sub>. Für kleinere Leistungsbereiche bis etwa 150 kW<sub>el</sub> und damit dezentrale Versorgungskonzepte eignen sich auch Stirlingmotoren. Die Stirlingmotoren sind aufgrund der extern angeordneten Wärmequelle hervorragend für die Nutzung solarer Wärme geeignet. Stirlingmotoren im kleineren Leistungsbereich (5-25 kW<sub>el</sub>) sind in der Entwicklung und werden in Kombination mit Hochtemperaturwärme von Parabolspiegeln getestet [2]. Mikroturbinen werden derzeit im Leistungsbereich von 30 bis 200 kW<sub>el</sub> angeboten. Aufgrund der hohen Abgastemperatur eignen sie sich sehr gut für die Kombination mit Absorptionskältemaschinen.

Die Auswahl der Wärme-Kraft-Maschine ist vom Betriebstemperaturniveau, ihrer Effizienz im Teillastbetrieb und von den Wärmequellen bzw. -senken im KWKK-System abhängig. Sie kann erst nach einer genauen Analyse des gesamten Energieversorgungssystems vorgenommen werden.

## Kältemaschinen

Die Kälteerzeugung mit thermisch angetriebenen Kältemaschinen ist ideal zur besseren Auslastung von Wärmenetzen und solarthermischen Anlagen mit KWKK-Systemen geeignet. In Deutschland werden pro Jahr ca. 1000 Gebäude mit Vollklimaanlagen ausgestattet. Dies entspricht einer jährlich installierten Kälteleistung von 500 MW<sub>th</sub>. Die Haupteinsatzgebiete der Kältemaschinen liegen im Bereich von

<sup>1</sup> ORC = Der Organic-Rankine-Cycle (ORC) ist ein nicht-überhitzender thermodynamischer Zyklus, in dem eine organische Betriebsflüssigkeit Elektrizität erzeugt.

Büro-, Verwaltungs- und EDV-Gebäuden sowie Krankenhäusern, Hotels und sonstigen Zweckbauten. Schätzungen für die derzeit im Klimakältebereich installierte Kälteleistung einschließlich der Lebensmittelbranche und der Industrie gehen von ca. 20 GW<sub>th</sub> aus. [5]

Folgende Kältemaschinen werden im Allgemeinen eingesetzt:

- Absorptionskältemaschinen (Wasser-LiBr-AKM, Wasser-Ammoniak-AKM)
- Adsorptionskältemaschinen
- Kaltgasmaschinen
- Dampfstrahlkältemaschinen

Die aufgeführten Kältemaschinentypen unterscheiden sich hinsichtlich der Verfahren, des Antriebs und des zur Verfügung gestellten Temperaturniveaus des Kältebedarfs (Klimakälte > 6 °C, Prozesskälte < 0 °C). Die Wahl einer geeigneten Kältemaschine für ein solarunterstütztes KWKK-Konzept ist mit einer Kältebedarfsanalyse, den technischen Optionen zur Klima- und Prozesskältebereitstellung und einer gründlichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung verbunden. Beeinflusst wird dies sowohl durch die Anforderungen an die Qualität und Charakteristik der Kältebelastung als auch durch die lokalen geographischen Bedingungen für die Aufstellung der Kältemaschine und Rückkühlwerke.

Zu beachten ist außerdem, dass thermische Kältemaschinen eine hohe Sensitivität gegenüber den Antriebs-, Kühlwasser- und Rückkühl- bzw. Kühlturmtemperaturen aufweisen. Deshalb ist es notwendig, bei der Auslegung oder dem Betrieb die möglichen Optimierungspotenziale zusammen mit der Anwendung moderner Technologien zu erschließen.

## Solarkollektoren

Für einen effizienten Betrieb der Wärme-Kraft-Maschinen im mittleren Leistungsbereich sind Temperaturen von 200 °C bis 400 °C erforderlich. Die Kollektoren der bisher realisierten Solarkraftwerke in Kramer Junction (USA) und die verbesserten Parabolrinnenkollektoren vom Typ EuroTrough können Wärme auf diesem Temperaturniveau effizient bereitstellen.

Allerdings sind diese Kollektoren für kleinere Kollektorfelder mit Aperturflächen von einigen Hundert Quadratmetern nicht wirtschaftlich nutzbar. Diese Lücke schließen mittelgroße Parabolrinnenkollektoren, die von der Firma SOLITEM entwickelt und eingesetzt werden. Diese Kollektoren werden durch effizienzsteigernde Maßnahmen, wie z. B. Vakuumabsorber und hinreichend hohe Konzentrationsfaktoren der Solarstrahlung weiter verbessert. Die Parabolrinnenkollektoren der SOLITEM PTC-Reihe<sup>2</sup> stellen bereits heute Wärme mit Temperaturen von 250 °C und höher für Strom-, Prozesswärme- und Kälteerzeugung bereit.

Für Temperaturen über 400 °C werden punktkonzentrierende Systeme wie Parabolspiegel (bis 25 kW<sub>el</sub>) oder kleine Heliostatfelder (ab 100 kW<sub>el</sub>) eingesetzt. Verschiedene derartige Systeme wurden als Demonstrationsanlagen gebaut.

## Anlagenkonzepte der solarunterstützten KWKK

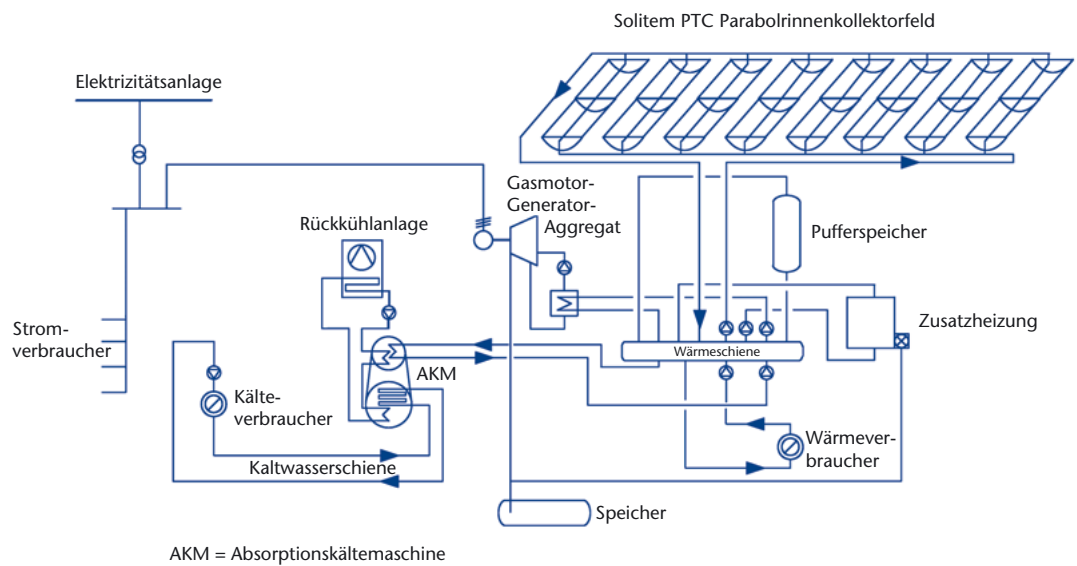
Eine Möglichkeit der solarunterstützten KWKK ist die Kopplung einer Absorptionskälteanlage mit einer solarunterstützten KWKK-Anlage (Abb. 1). Dabei nutzt die Kälteanlage die Abwärme der BHKW-Anlage und die Solarwärme.

Mit der gekoppelten Erzeugung der Nutzenergieformen Wärme, Kälte und elektrische Energie durch den Einsatz einer Absorptionskälteanlage und durch die Nutzung der Solarenergie als Wärmequelle wird Brennstoff eingespart. Das führt zu wirtschaftlichen Vorteilen und zu Schadstoffemissionsminderungen. Während die meisten Kompressionskälteanlagen als Arbeitsmittel FCKW verwenden, nutzen Absorptionsanlagen andere Kältemittel, wie z. B. Lithiumbromid (LiBr)-Wasser oder Ammoniak-Wasser.

Die Auslegung einer KWKK-Anlage richtet sich nach der Bedarfsstruktur des Verbrauchers. In der Kombination mit der BHKW-Technik wird deshalb oft ein Spitzenlastkessel eingesetzt.

<sup>2</sup> PTC = Parabolic Trough Collectors

Abbildung 1  
Energieversorgung  
eines Hotels mit  
Wärme und Elektro-  
energie aus dem  
BHKW, Zusatz- und  
Ersatzstromversorgung  
aus dem Netz und mit  
Solarwärme [3]



Bei dem System wird zusätzlich die Solarwärme in das System eingekoppelt. Ein Konzept mit Spitzenlastkessel bietet den Vorteil, dass Schwankungen im Solarstrahlungsangebot ausgeglichen werden können. Für solche Systeme bieten sich besonders in den Gebieten mit einem hohen Anteil an direkter Solarstrahlung gute Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie. So können z. B. in den Mittelmeerländern bis zu 70 % des für Kälteerzeugung benötigten Wärmebedarfs durch Solarenergie bereitgestellt werden [3]. Durch dieses Anlagensystem lassen sich gegenüber dem heutigen Stand der Technik erhebliche Mengen an fossilen Energieträgern und damit große Mengen an Schadstoffemissioneneinsparen.

Bei der Betrachtung der heutigen Energieversorgung von Hotelanlagen im Süden Europas, wo Milliarden von Kilowattstunden Strom nur für die Klimatisierung und für die Warmwasser- und Heizwassererwärmung verwendet werden, wird die Notwendigkeit deutlich, in diesem Bereich die ersten Schritte in Richtung auf eine energiesparende und emissionsarme Versorgungsstruktur zu verwirklichen. Mit der Einbindung der Solarenergie in KWKK-Anlagen können die Systemeffizienz weiter gesteigert, die Betriebskosten gesenkt und die Ressourcen geschont werden.

In Abhängigkeit von den Parametern der für die KWKK-Anlagen verwendeten Komponenten und Systemkonzepte gibt es weitere Möglichkeiten,

die Solarstrahlung einzuspeisen. Für eine hohe Effizienz der Anlagen sind Temperaturen von 200 °C bis 400 °C (Parabolrinnenkollektor) oder Temperaturen bis 900 °C (Solarturm) notwendig.

Das Anlagenkonzept (Abb. 2) weist drei deutlich zu unterscheidende Kreisläufe auf:

- Im **Solarkreislauf** wird die Solarstrahlung von Parabolrinnenkollektoren in Wärme umgewandelt und an ein Wärmeträgermedium übertragen.
- Der **Organic-Rankine-Kreislauf** (ORC-Kreislauf) entzieht dem Solarkreislauf über einen Verdampfer Energie. Der Dampfkessel wird bei Bedarf zugeschaltet. Der Dampf des organischen Arbeitsmediums durchläuft eine Turbine, die einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Das entspannte Arbeitsmedium wird in einem Regenerator (Kondensator) wieder verflüssigt und der Kreisprozess startet von neuem.
- Der **Kältekreislauf** besteht aus einer zwei-stufigen Absorptionskältemaschine (AKM), die den Satttdampf, der optional auch vom Dampfkessel bereitgestellt werden kann, bei ca. 4 bar der Dampfschiene als Energieinput in Kälteenergie überführt. Das erzeugte Kaltwasser wird über das Kaltwassersystem dem Kälteverbraucher zugeführt und strömt als aufgewärmtes Wasser wieder in die AKM zurück. Schließlich wird der AKM über einen Kühlturm die Restwärme entzogen.

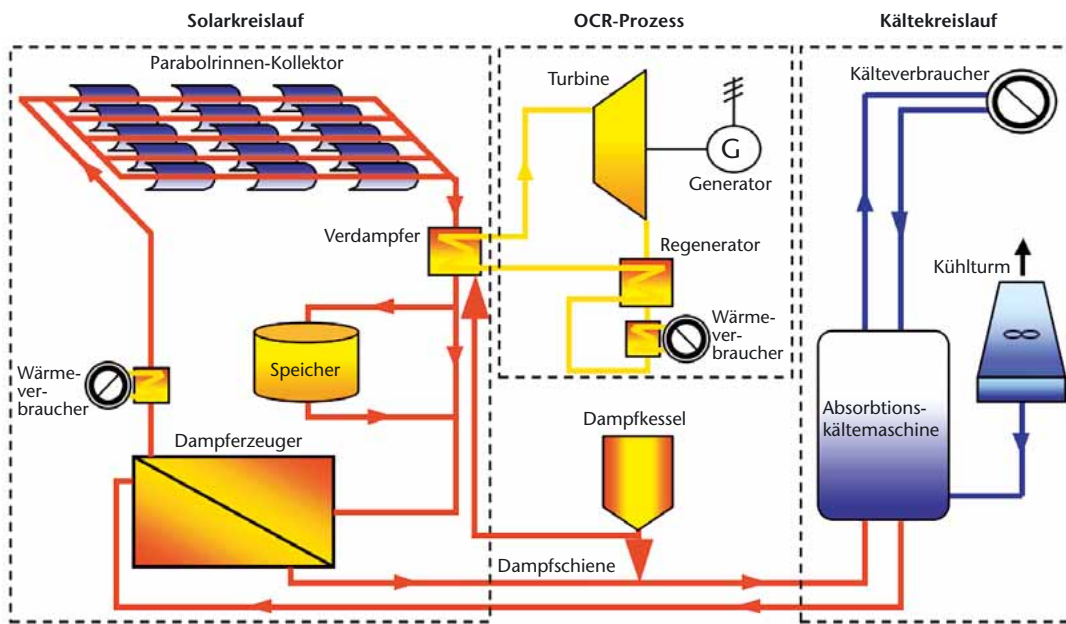


Abbildung 2 Konzept für eine KWKK-Anlage mit Parabolrinnenkollektorfeld, ORC-Prozess und Absorptionskältemaschine von SOLITEM

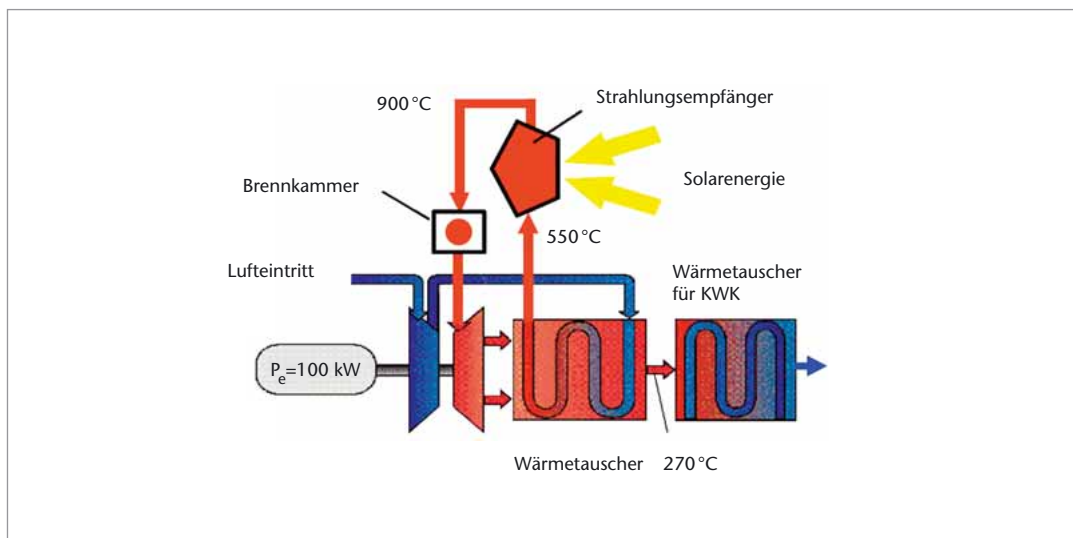


Abbildung 3 Funktionsprinzip einer solarunterstützten Mikroturbine

Bevor das Wärmeträgermedium erneut im Parabolrinnenkollektorfeld erwärmt wird, überträgt der Wärmetauscher die noch nutzbare Wärme an die Wärmeverbraucher für Wärme im Temperaturbereich unterhalb von 100 °C.

Ein weiteres Anlagenkonzept stellt die Kombination einer solarunterstützten Gasturbine mit einer Absorptionskältemaschine dar. In einer Solarturm-Anlage wird mittels vieler Heliostate (nachgeführte Spiegel) die Solarstrahlung auf einen Receiver (Strahlungsempfänger) konzentriert. Im Receiver wird damit die zugeführte Luft aus der Gasturbine auf bis zu 900 °C erhitzt. Abb. 3 zeigt schematisch die Einkopplung der

Solarenergie in einen Mikroturbinen-Prozess. Vom Receiver strömt die erhitzte Luft in die Brennkammer, wo sie durch Zufeuerung auf die erforderliche Turbineneintrittstemperatur von 950 °C gebracht wird. Nach Entspannung in der Turbine gibt das heiße Abgas einen Teil seiner Wärme im Wärmetauscher an die komprimierte Luft, die zum Receiver strömt, ab. Mit der verbleibenden Wärme kann Prozesswärme oder Kälte erzeugt werden. Abb. 4 zeigt die Leistungskennndaten einer Anlage auf Basis einer kommerziellen Mikroturbine mit 100 kW<sub>e</sub>. Im Abgas-Wärmetauscher wird Wasser erhitzt, das zum Antrieb einer Absorptionskältemaschine genutzt wird.

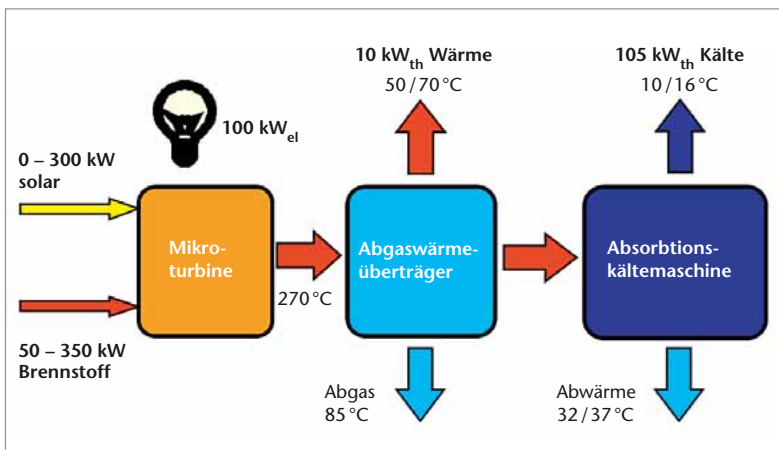


Abbildung 4 (rechts)  
Leistungsdaten einer  
Solarturm-KWKK-  
Anlage

Durch die Möglichkeit der Zufeuerung kann die Anlage jederzeit gesichert elektrische Leistung bzw. Kälte-Leistung liefern. Je nach Sonneneinstrahlung kann die Energiebereitstellung weitgehend über Sonne, durch Brennstoff oder entsprechende Anteile beider Quellen erfolgen. Ein Backup-System für Zeiten ohne Sonnenschein kann somit entfallen. Ein Prototyp einer derartigen Anlage befindet sich derzeit in Empoli (Italien), im Aufbau und soll nach Fertigstellung zur Strom-, Kälte- und Wärmeversorgung eines Krankenhauses beitragen [6].

### Kleine Anlagen für den elektrischen und thermischen Leistungsbereich von bis $5 \text{ kW}_{el}$ und $30 \text{ kW}_{th}$

Die solarunterstützte KWKK kann auch zur Deckung des Bedarfes von Ein- und Zweifamilien-Häusern dienen. Dies erfordert kleine Kollektoren, die auf geneigten Dächern installiert werden können. Die Firma SOLITEM steht kurz vor der Markteinführung der dafür geeigneten kleinen Parabolrinnenkollektoren SOLITEM PTC 1100. Des Weiteren sind kleine, hocheffiziente Kälte- und Wärmekraftmaschinen notwendig. Verschiedene Forschungsinstitute und kommerzielle Unternehmen entwickeln zurzeit kleine Absorptionskältemaschinen von 30 kW Kälteleistung und Stirling- sowie Dampfmaschinen von einigen Kilowatt elektrischer Leistung für die solarunterstützte KWKK von Kleinverbrauchern.

Der Bedarf für Mikro-KWKK-Anlagen, die einige Kilowatt Strom, Wärme und Kälte bereitstellen, hat ein enormes Potenzial, besonders in den Mittelmeerländern. Die solare Wärme, Kälte und Elektrizität kann durch Nutzung von thermischen Speichern auch nachts zur Verfügung gestellt werden. Dies ist besonders interessant für solare Siedlungen im Inselbetrieb.

### Zusammenfassung

Der Einsatz der KWKK-Technik in Hotels, Krankenhäusern, Verwaltungsgebäuden und kommunalen Einrichtungen ist bereits heute zu einer Selbstverständlichkeit geworden und kann als Stand der Technik bezeichnet werden. Bei einem Vergleich der  $\text{CO}_2$ -Emissionen fossil befeuerter und solarunterstützter KWKK-Anlagen zeigt sich die eindeutige Überlegenheit von solarunterstützten KWKK-Anlagen, besonders wenn diese mit dem Zusatzbrennstoff Erdgas betrieben werden und dadurch eine  $\text{CO}_2$ -arme Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung ermöglichen.

Die Wirtschaftlichkeit von KWKK-Systemen kann durch den bedarfsoptimierten Einsatz zur Erzeugung von Elektrizität, Wärme und Kälte und durch erhöhte Ressourcenausnutzung verbessert werden. Für solche Installationen werden sowohl leistungsstarke mittelgroße Parabolrinnenkollektoren als auch Wärmekraft- und Kältemaschinen im kleineren Leistungsbereich unter 100 kW benötigt.

Zurzeit gibt es Aktivitäten, den Bedarf an geeigneten Maschinen zu decken und dadurch den Markt für solarunterstützte KWKK-Anlagen im kleinen und mittleren Leistungsbereich zu beleben. Solche Anwendungen von Solar-Hybrid-Systemen sind sowohl im Wohn- als auch im Industriebereich interessant und werden dazu beitragen, die Kosten von solarunterstützten KWKK-Anlagen zu verringern. Für solare Turmsysteme mit Mikroturbinen müssen vor allem die Kosten der Heliostate und der Anlagenkomponenten weiter gesenkt werden.

Die solarunterstützte KWKK ist ein ganzheitlicher Ansatz im Rahmen eines Energiedienstleistungsangebots und für Contracting- oder Nutzenergiekonzepte innerhalb von kommunalen oder lokalen Energieversorgungssystemen geeignet.

## Literaturangaben

- [1] Henning, H.-M. (Ed.): Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings. A Handbook for Planners. Springer Wien New York. 2004.
- [2] Krüger, D., Mangold, D., Hennecke, K., Christmann, R., Dersch, J., Lüpfer, E., Riffelmann, K.-J.: Combined Solar Heat and Power. A Future Solar Option? Eurosun 2004. Freiburg: 2004.
- [3] Lokurlu, A., Richarts, F.: Klimatisierung durch solarbetriebene Absorptionskälteanlagen (AKM) und Integration von Blockheizkraftwerken (BHKW) am Beispiel von Hotelanlagen. In: AGIT GmbH (Hrsg.): Symposium für Rationelle Energienutzung in Kommunen, Industrie und Gewerbe. Ankara: 1998.
- [4] Pruschek, R., Lokurlu, A., Oeljeklaus, G., Vogelsang, H.: CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung durch Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie – Ist-Stand und Potentiale. S. 145-170. In Sauer, E., Kammann, H.: Jahrbuch 96. VDI Gesellschaft Energietechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1996
- [5] Schönberg, I., Noeres, P.: KWKK. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Profiinfo II/98. Fachinformationszentrum Karlsruhe. 1998.
- [6] Caselli, T. et. Al.: Solar-Hybrid Gas Turbine Power Plants for the new Hospital in Empoli, Proc. 12th SolarPACES Int. Symposium, October 6-8, 2004, Oaxaca, Mexico