



## Solar unterstützte Nahwärme

Abb 1



- ▶ Solarenergie deckt in Pilotanlagen mit saisonaler Speicherung 40 - 60% des Wärmebedarfs
- ▶ Die Effizienz hängt entscheidend von der Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes ab
- ▶ Weitere Effizienzsteigerungen sind mit Niedertemperatur-Heizsystemen zu erwarten

*Pilotanlage in Steinfurt-Borghorst*

**F**ür die Energieversorgung von Wohnsiedlungen wurden in den vergangenen Jahren Konzepte entwickelt, die bei möglichst geringen Mehrkosten den fossilen Brennstoffbedarf zur Wärmeversorgung um 50% und mehr reduzieren. Die Nutzung solarthermischer Energie in Nahwärmesystemen ist ein wichtiger Baustein dieser Versorgungskonzepte.

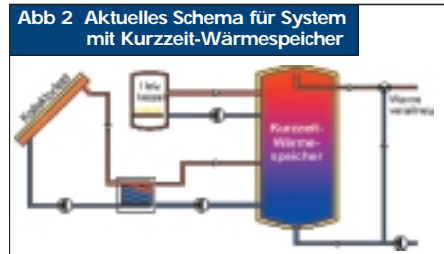
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung kommt vorrangig bei der Planung von Neubaugebieten in Frage. Wichtig ist ein von Anfang an abgestimmtes integrales Konzept, das sowohl den verbesserten Wärmeschutz der Gebäude als auch die energieeffiziente Wärmeerzeugung und -verteilung umfasst und von allen beteiligten Akteuren gemeinsam entwickelt und umgesetzt wird.

Anfang der 90er Jahre begann die Entwicklung in Deutschland mit vier solaren Nahwärmeanlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher und Großflächenkollektoren. Seit 1993 sind in dem Programm Solarthermie 2000 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sieben Pilotanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher realisiert

worden. Alle Anlagen werden unter realen Betriebsbedingungen erprobt und im Rahmen der wissenschaftlichen Programmbegleitung detailliert vermessen. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen auch dazu, für die Weiterentwicklung der Technik noch vorhandene Schwachstellen zu analysieren und zu überwinden. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen die Erfahrungen mit den verschiedenen Speicherkonzepten und den Großflächenkollektoren, eine Reduzierung der Investitionskosten, der Betrieb des Nahwärmenetzes und die Regelungstechnik. Bei den aktuell in Betrieb gehenden Anlagen ist durch die Verwendung von Niedertemperaturheizungen ein deutlicher Entwicklungsfortschritt zu erwarten. Bereits heute sind große Solaranlagen mit mehr als 100 qm Kollektorfläche und solare Nahwärmesysteme mit Kurz- oder Langzeit-Wärmespeicher die effektivsten Ansätze, um die thermische Nutzung der Solarenergie und die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Verringerung des Verbrauchs fossiler Energieträger zu forcieren.

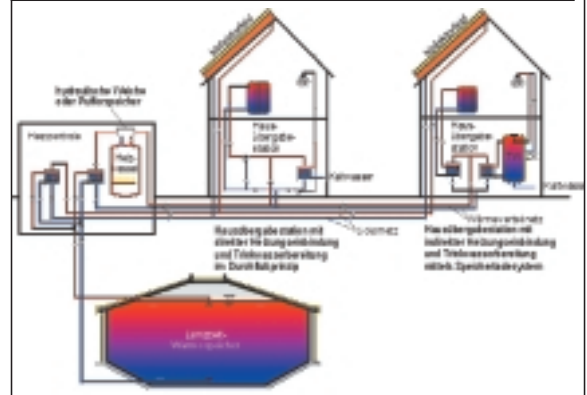
## ► Systemkonzepte

Solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Kurzzeit-Wärmespeicher sind auf einen solaren Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf für Raumheizung und Trinkwassererwärmung von ca. 10 – 20% ausgelegt (Abb 2). Ziel einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher ist



die Nutzung der im Sommerhalbjahr gespeicherten solaren Wärme zur Trinkwassererwärmung und zur Raumheizung im Winter. Aus wirtschaftlichen Gründen sind die Pilotvorhaben auf einen solaren Beitrag von 40 - 60 % am Gesamtwärmebedarf für Raumheizung und Trinkwassererwärmung ausgelegt. **Abb 3** zeigt das Schema einer Pilotanlage mit unterschiedlichen Möglichkeiten der Einbindung des Nahwärmenetzes in die Gebäudetechnik.

**Abb 3** Schema für solarunterstützte Nahwärmesysteme mit saisonalem Wärmespeicher (TW: Trinkwasserspeicher, ZK: Zirkulation)



## ► Auslegung und Wirtschaftlichkeit

Auslegungsrichtwerte für solar unterstützte Nahwärmesysteme sind **Abb 4** zu entnehmen. Zum Vergleich ist eine Kleinanlage aufgeführt, die ausschließlich der Trinkwassererwärmung dient. Die solaren Wärmekosten gelten für deutsche Marktpreise und geben die zur Einsparung von einer kWh aufzuwendenden, annuierten Investitionskosten an (Basis: Marktpreise 1997/98, ohne MWSt., Zinssatz: 6 %). Für die Planung eines saisonalen Wärmespeichers sind ein genaues Verbrauchsprofil und detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich.

Der Vergleich der solaren Wärmekosten (**Abb 4**) zeigt, dass das Kosten-Nutzen-Ver-

**Abb 4** Auslegungsrichtwerte für solar unterstützte Nahwärmanlagen

Anlagentyp	Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung	Solare Nahwärme mit Kurzzeit-Wärmespeicher	Solare Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher
Mindestanlagengröße	-	ab 30 bis 40 WE oder ab 60 Personen	ab ca. 100 WE (je 70 m <sup>2</sup> )
Kollektorfläche	1 - 1,5 m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> pro Person	0,8 - 1,2 m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> pro Person	1,4 - 2,4 m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> pro MWh jährl. Wärmebedarf 0,14 bis 0,2 m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> pro m <sup>2</sup> Wohnfläche
Speichervolumen	50 - 80 l / m <sup>2</sup> <sub>FK</sub>	50 - 100 l / m <sup>2</sup> <sub>FK</sub>	1,4 - 2,1 m <sup>3</sup> <sub>W</sub> / m <sup>2</sup> <sub>FK</sub>
Solare Nutzenergie	350 - 450 kWh / (m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> a)	350 - 500 kWh / (m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> a)	230 - 350 kWh / (m <sup>2</sup> <sub>FK</sub> a)*
Solarer Deckungsanteil (im Neubau)	Trinkwasser: 50 - 60% d. h. für die Gesamtwärme: 15%	Trinkwasser: 50%, d. h. für die Gesamtwärme: 10 - 20%	Gesamtwärme: 40 - 60%
Solare Wärmekosten	30 - 60 Pf/kWh	15 - 30 Pf/kWh	33 - 50 Pf/kWh *

(WE: Wohneinheit; FK: Flachkollektor; W: Wasseräquivalent, \*: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb)

hältnis für solar unterstützte Nahwärmesysteme besser ist als bei Kleinanlagen. Dieses

liegt an den günstigeren, flächenbezogenen Systemkosten.

## ► Pilotanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher

Zur saisonalen Wärmespeicherung werden vier Speichertypen entwickelt. Die Entscheidung für einen bestimmten Speichertyp hängt im wesentlichen von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes ab. Die ersten Pilotanlagen zur solaren Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher wurden im Herbst 1996 (Hamburg, Friedrichshafen) und im Januar 1999 (Neckarsulm) in Betrieb genommen. In **Abb 5** sind charakteristische Planungsdaten der drei Projekte zusammengestellt. Messergebnisse liegen, da in Hamburg die Messtechnik durch einen Blitzeinschlag stark beschädigt wurde, derzeit nur für Friedrichshafen vor. Erwartungsgemäß waren in den ersten Betriebsjahren des Wärmespeichers überdurchschnittliche Wärmeverluste an das umgebende Erdreich und hohe „Wärme-Investitionen“ für das Erreichen der Betriebstemperatur im Speicher zu verzeichnen. In diesen Bereichen ist mittlerweile ein quasi-stationärer Zustand erreicht.

Andererseits gab es auch unvorhergesehene Probleme: Die Temperatur des Heizsystem-Rücklaufs ist mehr als 10 K höher als geplant. Dies resultiert hauptsächlich aus der unzureichenden Abstimmung der Haustechnik auf die Anforderungen des Nahwärmenetzes. Außerdem sind die Wärmeverluste des Speichers deutlich höher als erwartet. Die Gründe hierfür werden derzeit erforscht. Durch die Aufteilung des Vorhabens in zwei Bauabschnitte, wurden bislang erst 50 % der geplanten Kollektorfläche bei voller Spei-

**Abb 5** Technische Daten der Pilotanlagen in Hamburg, Friedrichshafen und Neckarsulm

	Hamburg	Friedrichshafen		Neckarsulm II
		Planung	Ergebnis 1997-1999	
Versorgungsgebiet	124 EFH	570 WE in 8 MFH	280 WE und 1 Kindergarten	6 MFH, Schule, Altenwohnheim, Ladenzentrum
Beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m <sup>2</sup>	14.800	39.500	21.380	20.000
Solaranlage				
Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	3.000	5.600	2.800	2.700
Speichertyp	Heißwasser	Heißwasser	Heißwasser	Erdsonden
Speichervolumen in m <sup>3</sup>	4.500	12.000	12.000	20.000
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	1.610	4.106	2.200 - 2.300	1.663
Nutzwärmlieferung Solarssystem in MWh/a	789*	1.915*	475 - 620	832*
Solarer Deckungsanteil in %	49*	47*	21 - 28	50*
Kosten Solarssystem in Mio. DM	4,3	6,3	4,8	2,9
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	50,2	31,1		33,7

MFH: Mehrfamilienhaus, EFH: Einfamilienhaus, WE: Wohneinheit, \*: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb

chergröße errichtet. Nach Fertigstellung des 2. Bauabschnitts wird voraussichtlich im

Herbst 2001 die Kollektoranlage komplettiert in Betrieb gehen und sich den angestrebten Leistungswerten weiter annähern können.

In Neckarsulm wurde erstmals ein sogenanntes Dreileiternetz installiert: In den Gebäuden wird der Rücklauf zur Nahwärmerversorgung den Kollektorfeldern zugeführt. Dadurch entfällt eine eigene Rücklaufleitung von der Heizzentrale zu den Kollektorfeldern.

In Steinfurt (**Abb 6**) werden nur 42 Wohneinheiten durch das solar unterstützte Nahwärmesystem versorgt. Die Gebäude in Steinfurt sind mit Fußbodenheizungen und einer Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip ausgeführt, wodurch niedrige Betriebstemperaturen im Wärmeverteilnetz ermöglicht werden. Sind zur Trinkwassererwärmung höhere Temperaturen erforderlich, werden diese über Nachheizungen in den Gebäuden ermöglicht.

**Abb 6 Technische Daten der Pilotanlagen in Steinfurt, Chemnitz, Rostock und Hannover**

	Steinfurt	Chemnitz <sup>1</sup> 1. BA	Rostock <sup>2</sup>	Hannover <sup>3</sup>
Versorgungsgebiet	42 WE in 15 EFH und 7 MFH	Bürogebäude	108 WE in MFH	106 WE
Beheizte Wohn-/Nutzfläche in m <sup>2</sup>	3.800	4.680	7.000	7.365
Solaranlage				
Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	510	540 VR	1.000	1.350
Speichertyp	Kies/Wasser	Kies/Wasser	Aquifer	Heißwasser
Speichervolumen in m <sup>3</sup>	1.500	8.000	20.000	2.750
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	325	1. BA: 573	497	694
Nutzwärmeleistung Solarsystem in MWh/a*	110	1. BA: 169	307	269
Solarer Deckungsanteil in %*	34	1. BA: 30	62	39
Kosten Solarsystem in Mio. DM	1,0	1. + 2. BA: 2,8	1,4	2,4
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	82,8	1. + 2. BA: 47	49,9	81

EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, WE: Wohneinheit, VR: Vakuumröhrenkollektor, BA: Bauabschnitt, 1: Angaben TU Chemnitz; 2: Angaben GTN, Neubrandenburg; 3: Angaben IGS, Uni Braunschweig, \*: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb

In Rostock ging Ende 1999 die erste solar unterstützte Nahwärmerversorgung mit einem Aquifer-Wärmespeicher in Betrieb. Die Anlage versorgt ein großes Mehrfamilienhaus mit 108 Wohneinheiten. Zur Wärme-

verteilung wurde ein Niedertemperatur-Heizsystem (50/30 °C) mit Radiatoren realisiert, um niedrige Netzurücklauftemperaturen und damit günstige Betriebsbedingungen für die Solaranlage zu erreichen.

## ► Ergebnisse und Erfahrungen

Während in den ersten Pilotprojekten mit Kurzzeit-Wärmespeichern die Kollektoren teilweise noch auf neu gebauten Dächern aufgeständert wurden, ist heute die Dachintegration großer Kollektorfelder üblich. Die neuesten Anlagen sind mit Solardächern eingedeckt, bei denen die Absorberfläche in ein Fertigdachelement integriert ist. Das modernste Solardach mit eingebauten Dachfenstern und Blindelementen ist auf dem Gebäude „Helios“ in Rostock montiert (**Abb 8**). Alle Kollektorflächen - auch die in den Solardächern - sind hinterlüftet ausgeführt, um die aus dem Gebäude unter die Kollektorfläche diffundierende Feuchtigkeit abführen zu können. Die Sicherheitstechnik großer Kollektorfelder ist seit deren Aufnahme in die Dampfkesselverordnung geklärt.

### Heizsystem und Trinkwassererwärmung

Die Auslegung des Heizsystems und die Art der Trinkwassererwärmung bestimmt die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes und damit letztendlich die Höhe des solaren Nutzwärmeertrages. Mit Niedertemperatur-Heizsystemen sind im Vergleich zu einem konventionellen Heizsystem tiefere Netzurücklauftemperaturen und ein höherer solarer Nutzwärmeertrag zu erreichen. Da die Verwirklichung von Niedertemperatur-Heizsystemen mit Mehrkosten verbunden ist, hängt vieles vom Engagement des Bauträgers und der Planer ab. Das Projekt „Helios“ in Rostock zeigt, dass selbst im Mietwohnungsbau ein Niedertemperatur-Heizsystem möglich ist.

Eine Trinkwassererwärmung mit an das Nahwärmenetz angeschlossenen Durchlauf-

erhitzern führt in der Regel zu tieferen Netzurücklauftemperaturen als bei Speicherladesystemen (**Abb 3**). In großen Mehrfamiliengebäuden werden in der Regel jedoch nur Speicherladesysteme eingesetzt. Durch die notwendige Erwärmung des Rücklaufs der Trinkwasserzirkulation können diese Systeme zu hohen Netzurücklauftemperaturen von im Durchschnitt 50 bis 55 °C führen. Tiefere Temperaturen werden in den Pilotanlagen nur durch Erfahrung erreicht, in dem jede einzelne Hausübergabestation im Hinblick auf eine möglichst tiefe Netzurücklauftemperatur verbessert wird.

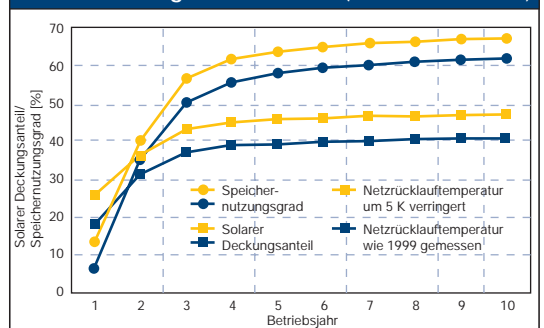
### Wärmeübertrager

Jeder Wärmeübertrager hebt die Rücklauftemperatur durch die zur Wärmeübertragung notwendige Temperaturdifferenz um bis zu 5 K an. Daher ist ein Raumheizsystem, das direkt, ohne Wärmeübertrager, an die Nahwärmerversorgung angeschlossen wird, einem indirekt angeschlossenem System vorzuziehen (**Abb 3**). In den Pilotanlagen ist die direkte Heizungseinbindung jedoch nicht überall verwirklicht, da die Betreiber des Nahwärmenetzes durch den Einbau eines Wärmeübertragers ihr Netz vom Hausnetz trennen wollen.

Der Einfluß der Netzurücklauftemperatur auf den solaren Deckungsanteil ist beträchtlich. **Abb 7** zeigt eine Vorausberechnung des solaren Deckungsanteils für die Pilotanlage in Neckarsulm. Aufgrund der anfangs notwendigen Aufheizphase des Langzeit-Wärmespeichers können konstante Betriebsbedingungen erst nach 5 bis 6 Betriebsjahren erreicht wer-

den. Kann die Netzurücklauftemperatur um 5 K auf durchschnittlich ca. 40 °C reduziert werden, steigt der solare Deckungsanteil absolut um ca. 7 % und der geplante solare Deckungsanteil von 50 % wird fast erreicht. Die häufigsten Mängel in der konventionellen Haustechnik, die durch die begleitenden Messungen festgestellt wurden, sind hydraulisch nicht abgeglichene Trinkwasser- und Raumheizungssysteme, Plattenwärmeübertrager mit zu kleinen Übertragungsleistungen und Regelungsprobleme im außentemperaturgeführten Heizsystem. Die Einflussnahme des Betreibers der Nahwärmerversorgung auf die Haustechnik ist nur sehr eingeschränkt gegeben, da sein Nahwärmesystem an der Hausübergabestation endet. Eine möglichst tiefe Netzurücklauftemperatur zur Erzielung eines möglichst hohen solaren Nutzwärmeertrages kann nur durch eine stetige Projektbegleitung erreicht werden, die alle Beteiligten, besonders die ausführenden Firmen, einbezieht und motiviert.

**Abb 7 Vorausberechnung des solaren Deckungsanteils und des Speichernutzungsgrades für die Pilotanlage in Neckarsulm (Basis: Messwerte 1999)**



## ► Ausblick

Die Technik der solaren Nahwärmeversorgung befindet sich derzeit noch in der Erprobung und Entwicklung. Für jedes der vier Speicherkonzepte existiert mittlerweile mindestens eine Pilotanlage. Die ersten Projekte haben das Grundkonzept bestätigt; noch vorhandene Schwachstellen wurden analysiert, um sie in den gerade startenden Projekten zu vermeiden. Bislang sind die hohen Investitionskosten für Betreiber und Investoren ein Haupthindernis für eine breitere Anwendung solar unterstützter Nahwärmekonzepte. Die bisherigen Projekte zeigen, dass diese Hürde durch innovative Finanzierungsansätze überwunden werden kann.

Abb 8 1000 m<sup>2</sup> Solar Roof; Nord-Süd-orientiertes Mehrfamiliengebäude (Rostock)



Eine weitere Kostenreduzierung wird aus der Weiterentwicklung der Anlagentechnik resultieren. Eine neuere Untersuchung zeigt, dass bei einer weiteren Senkung des in der Wärmeschutzverordnung 95 vorgeschriebenen Jahresheizwärmebedarfs um ca. 20%, große Solaranlagen mit anderen Energiesparmaßnahmen, wie z.B. zusätzlicher Wärmedämmung oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, wirtschaftlich konkurrieren können. Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV) wird voraussichtlich Energieeinsparungen in einer Größenordnung von ca. 20 – 30 % fordern.

Für solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicher werden in den nächsten Jahren solare Wärmepreise angestrebt, die ohne Förderung maximal doppelt so hoch sind wie die gegenwärtigen konventionellen Wärmepreise. Solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Kurzzeit-Wärmespeicher mit einem solaren Deckungsanteil von 7 bis 10 % des Gesamtwärmebedarfs können schon fast wirtschaftlich betrieben werden.

Daher sollten bei der Erschließung und Planung von Neubaugebieten in jedem konkreten Fall die Bedingungen für eine solare Nahwärmeversorgung mit Kurzzeit-Wärmespeicher geprüft werden. Eine mögliche Alternative ist auch die Nahwärmeversorgung mit Solarenergie und Biomasse (Holzhackschnitzel). Erste Pilotanlagen dieser Art im Rahmen des Programms Solarthermie-2000 sind in Planung bzw. Bau. Durch die deutlich höheren solaren Wärmekosten der solaren Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher ist dies eine Option für die weitere Zukunft, die langfristig jedoch ein wesentlich höheres Potential zur Einsparung fossiler Energieträger bietet.

## ► PROJEKTADRESSEN

### Wissenschaftliche Programmbegleitung

- Universität Stuttgart  
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)  
Dirk Mangold  
Pfaffenwaldring 6  
70550 Stuttgart  
Mangold@itw.uni-stuttgart.de

## ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

### Literatur

- [1] Hahne, E. et. al.:  
Solare Nahwärme - Ein Leitfadens für die Praxis, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5
- [2] Guigas, M.; Kübler, R.; Lutz, A.; Schulz, M.; Fisch, N.; Hahne, E.:  
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht, ITW, Universität Stuttgart, 1995, ISBN 3-9802243-9-2
- [3] M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne  
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher; Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, Nov. 1999, ISBN-Nr.: 3-9805274-0-9

### Service

- Ein ausführliches Literaturverzeichnis zum Thema sowie eine Adressenliste zu den Projekten ist im Internet unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de> abrufbar („Service/InfoPlus“).  
Weitere Informationen stehen auch unter <http://www.solarthermie2000.de>.

## PROJEKTORGANISATION

### ■ Förderung der Vorhaben

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
Villemombler Straße 76, 53123 Bonn

### ■ Projektbegleitung im Auftrag des BMWi

Projekträger Biologie, Energie, Umwelt (BEO)  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Volkmar Lottner  
52425 Jülich

### ■ Förderkennzeichen

0329606 A-D, F-H, J-K, N-T, X

## IMPRESSUM

### ■ ISSN

0937 – 8367

### ■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### ■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei  
vollständiger Quellenangabe und gegen  
Zusendung eines Belegexemplares;  
Nachdruck der Abbildungen nur mit  
Zustimmung der jeweils Berechtigten.

### ■ Redaktion

Uwe Milles

## BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- basisEnergie

### Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen



**BINE**

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Büro Bonn  
Mechenstr. 57  
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0  
Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: <http://bine.fiz-karlsruhe.de>