

# Thermische Nutzung der Sonnenenergie

Auch in unseren Breiten kann ein beträchtlicher Teil unseres Energiebedarfs zur Warmwasser- und Raumwärmeversorgung mittels Sonnenenergie gedeckt werden. Damit können wertvolle fossile Brennstoffe eingespart und die Emission von Kohlendioxid in die Erdatmosphäre reduziert werden.

## EINLEITUNG

Das Leben auf der Erde wäre ohne die Energie der Sonne undenkbar. Alle Lebensprozesse sind direkt oder indirekt von der Aktivität der Sonne abhängig. Selbst die fossilen Brennstoffe - Kohle, Öl und Erdgas - sind nichts anderes als in Jahrmillionen gespeicherte Sonnenenergie. Das theoretische Potential an Sonnenenergie ist enorm und nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich. Mit dem Sonnenlicht strahlt 11.000 mal mehr Energie auf die Erde als die Menschheit weltweit verbraucht. Um den jährlichen Weltenergiebedarf zu decken, reicht theoretisch die in weniger als einer halben Stunde die Erde erreichende Sonnenenergie aus. Selbst in Deutschland, einem Land mit relativ hohem Energiebedarf und weniger günstigen klimatischen Verhältnissen, liegt die Energiestrahlung der Sonne 80-fach über dem Bedarf an Primärenergie. Dieses Potential an Solarenergie lässt sich zur Stromerzeugung (Photovoltaik) oder zur Wärmeerzeugung (thermische Sonnenenergie) nutzen. Für die thermische Nutzung stehen zwei Systeme zu Verfügung: Aktive Solarsysteme wandeln das Licht der Sonne in Kollektoren und Absorbern in Wärme um und leiten diese über einen Wärme-Kreislauf in einen Wärmespeicher. Solare Wärme, die nicht sofort verbraucht wird, wird hier bis zur späteren Nutzung gespeichert. Passive Systeme, z. B. Fenster

und Fassaden, sammeln Strahlungsenergie in besonders geeigneten Bauteilen auf der Südseite des Gebäudes und geben die Wärme an das Innere des Hauses ab. Sonnenenergie kann das Warmwasser für die Dusche, die Waschmaschine oder auch für das Freibad liefern. Die weitaus meisten thermischen Solaranlagen werden für die Trinkwassererwärmung eingesetzt. So können je nach Auslegung im Jahresmittel 50-80 % des Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitung eingespart werden. In zunehmendem Maße werden Solarsysteme auch zur Unterstützung der Raumheizung genutzt. Der Wärmebedarf eines Gebäudes ist jedoch im Winter am größten, wenn das Angebot an Sonnenenergie auf seinem Minimum ist. Immerhin lassen sich bei einem gut gedämmten Haus (Niedrigenergiehaus) etwa 30 % des Gas- und Ölverbrauchs für Raumwärme einsparen. In einer Zeit abnehmender fossiler Brennstoffvorräte und der Bedrohung des Klimas durch den Treibhauseffekt ist die



Abb. 1 Aktive und passive Sonnenenergienutzung

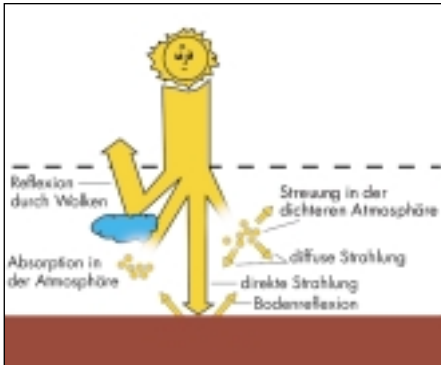
Nutzung der Solarenergie ein wichtiger Baustein einer nachhaltigen Energieversorgung. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie hat seit 1974 im Rahmen der Energieforschung mehr als 800 Mio. DM für Forschungsvorhaben zur Nutzung der thermischen Solarenergie bereitgestellt.

### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Sonnenenergie
- > Solararchitektur
- > Aktive Solarsysteme

# SONNENENERGIE

Die Strahlung der Sonne trifft mit einer Intensität von etwa  $1.340 \text{ W/m}^2$  auf die Atmosphäre der Erde. Auf dem Weg durch die atmosphärische Hülle unseres Planeten verliert die Sonnenstrahlung durch Reflexion und Absorption an Intensität. Bei wolkenlosem Himmel verringert sich durch atmosphärischen Einfluss die Strahlungs-



**Abb. 2** Globalstrahlung besteht in Mitteleuropa je nach Jahreszeit zu 50 – 70 % aus diffuser Strahlung

leistung auf ca.  $1.000 \text{ W/m}^2$  und kann an einem trübem Wintertag sogar auf nur noch  $50 \text{ W/m}^2$  sinken.

Das Strahlungsangebot der Sonne hängt aber auch vom Einstrahlwinkel der Sonne ab. Bedingt durch die Schrägstellung der Erdoberfläche zur Umlaufbahn der Erde treten abhängig von der Jahreszeit unterschiedliche Sonnenhöchststände auf. An Wintertagen erreicht weniger Sonnenenergie die nördliche Halbkugel als im Sommer, da die Tage kürzer sind und die Sonne niedriger am Himmel steht.

Werden in wolkenarmen, südlichen Regionen wie der Sahara pro Jahr  $2.200 \text{ kWh/m}^2$  eingestrahlt, so stehen in Deutschland je nach Standort ca.  $900\text{--}1.200 \text{ kWh pro m}^2$  und Jahr zur Verfügung. Auch dies ist noch ein beachtliches Energiepotential:  $1.000 \text{ kWh}$  entsprechen rechnerisch immerhin dem Energiewert von  $100 \text{ l Heizöl}$ .

Globalstrahlung nennt man die solare Strahlung, die letztlich auf der Erdoberfläche messbar ist. Sie setzt sich zusammen aus der an Wolken oder Dunst gestreuten

diffusen Strahlung und der direkten Solarstrahlung, die ohne Ablenkung die Atmosphäre passiert.

Direkte Strahlung lässt sich mit Spiegeln und Linsen bündeln und so für Prozesse mit hohen Temperaturen wie in Dampfturbinen zur Stromgewinnung einsetzen. Diffuse Strahlung hingegen kommt aus dem gesamten Himmelsbereich und lässt sich daher nicht optisch fokussieren.

Um ein Maximum an direkter Strahlung nutzbar zu machen, sind Systeme nötig, die dem Verlauf der Sonne nachgeführt werden. Da der Anteil der diffusen Strahlung in unseren Breiten im Jahresmittel ca. 50% der Globalstrahlung ausmacht und nachführende Systeme aufwendig und teuer sind, finden bei uns nur Anlagen Anwendung, die Globalstrahlung nutzen.

## ZENTRALE BEGRIFFE

- > Globalstrahlung
- > Direkte und diffuse Strahlung

# THERMISCHE SOLARSYSTEME

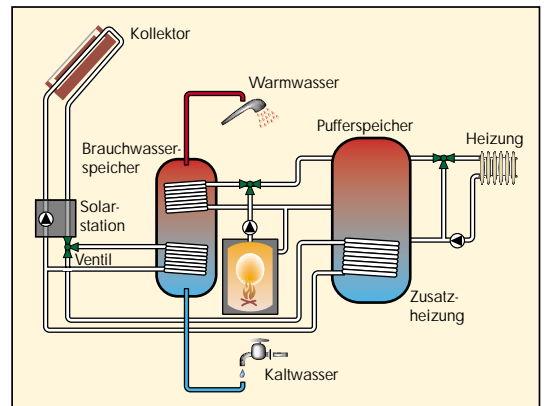
Solkollektoren sammeln Sonnenlicht und wandeln es in Absorbern in Wärme um. Kollektoren werden möglichst nach Süden ausgerichtet und gegen die Sonne geneigt. Im Jahresmittel liegt die optimale Neigung in Deutschland zwischen  $30$  bis  $40^\circ$ , wobei geringe Abweichungen von der Südorientierung oder des Neigungswinkels den Ertrag nur wenig reduzieren. Die Absorber - Metallbleche oder Kunststoffe - werden zur Absorptionsmaximierung schwarz gefärbt. Die Absorberstreifen sind mit Rohren verbunden, die von einem frostsicheren Wärmeträger, in der Regel ein Wasser/Glykol-Gemisch, durchströmt werden. Die Wärme wird von dem Wärmeträger aufgenommen und in einen

Solarwärmespeicher weiter transportiert.

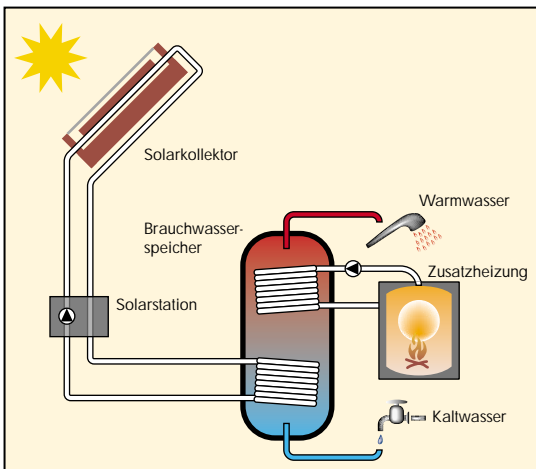
Da die Zeit der Sonneneinstrahlung und der Verbrauch von Wärme zeitlich oft auseinander liegen, ist ein Speicher für die Wärme wesentlicher Bestandteil eines Solarsystems. Der Speicher soll die Wärme solange vorhalten bis sie nachgefragt wird. Typische Anlagen zur reinen Brauchwassererwärmung bestehen aus einem Zweikreisystem, in dem der Solarwärmekreis vom Brauchwasserkreis getrennt ist. Der Solarwärmekreis transportiert - angetrieben durch eine Pumpe - die Wärme zum

Wärmetauscher, der die Wärme an den Brauchwasserspeicher abgibt. Die Regelung ist so angelegt, dass die Pumpe in Gang gesetzt wird, sobald die Temperatur im Kollektor einige Grade über der Temperatur im Speicherteil der Anlage liegt. Im Sommer reicht die gewonnene Sonnenwärme meist für den gesamten Warmwasserbedarf. In den Wintermonaten, wenn das Strahlungsangebot der Sonne geringer ist, muss das solar vorgewärmte Wasser zusätzlich konventionell erwärmt werden.

Soll auch die Raumheizung mit Solarwärme unterstützt werden, so verwendet man meist ein Zweispeichersystem. Neben einem Brauch-



**Abb. 4** Kombinierte solare Raum- und Warmwasserheizung mit Zweispeichersystem /2/



**Abb. 3** Zweikreisystem zur Warmwasserbereitung /2/

wasserspeicher benötigt man hier einen zweiten, größeren Speicher als Wärmepuffer für die Heizung. Brauchwasserspeicher und Pufferspeicher werden mit Solarwärme beladen, vorrangig jedoch der Brauchwasserspeicher. Der Pufferspeicher soll die Wärme sonnenreicher Stunden für die Zeit gesteigerter Nachfrage bereithalten. Steht insbesondere im Winter nicht genügend Sonnenstrahlung zur Verfügung, wird über eine konventionelle Heizung im oberen Teil des Speichers - dem sogenannten Bereitschaftsvolumen - nachgeheizt.

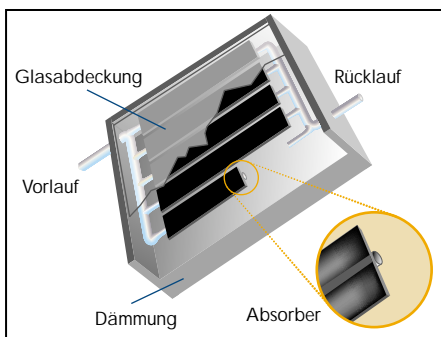
## ZENTRALE BEGRIFFE

- > Absorber
- > Kollektor
- > Pufferspeicher

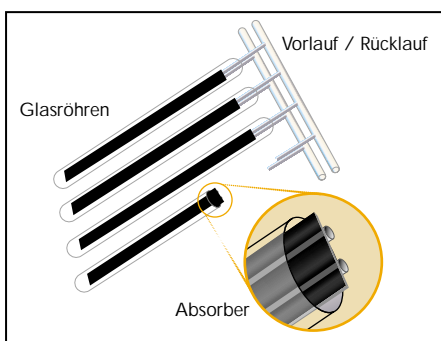
## Kollektoren

Für die Erwärmung von Schwimmbeckenwasser in Freibädern eignen sich einfache Absorbersysteme. Sie bestehen aus geschwärzten, chemisch resistenten Kunststoffschläuchen. Durch die auf Dächern oder anderen Freiflächen ausgelegten schwarzen Schläuche wird das Beckenwasser direkt zur Erwärmung gepumpt, d. h. auf einen eigenen Wärmespeicher kann verzichtet werden. Die erreichbaren Temperaturen liegen nur ca. 20°C über der Umgebungstemperatur.

Höhere Temperaturen, wie sie für die Warmwasserbereitung und die Raumheizung benötigt werden, erreicht man mit verglasten Flachkollektoren (Abb. 5). Diese höher effizienten Kollektoren besitzen ein gut wärmedämmtes Gehäuse mit trans-



**Abb. 5** Prinzipieller Aufbau eines Flachkollektors /2/



**Abb. 6** Prinzipieller Aufbau eines Vakuumröhrenkollektors /2/

parenter Abdeckung des Absorbers. Dadurch werden Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung reduziert. Die Absorberfolien sind direkt mit den Rohrleitungen verbunden, durch die der Wärmeträger gepumpt wird. Mit dieser Bauweise eines Kollektors können bei Temperaturen bis 50 °C Wirkungsgrade von etwa 50-60% erreicht werden.

Noch bessere Wirkungsgrade und höhere Temperaturen lassen sich mit Vakuumröhrenkollektoren erzielen (Abb. 6). Bei ihnen befinden sich die einzelnen Absorberstreifen in evakuierten Glasröhren. Das Vakuum ist eine ideale thermische Isolation, das Wärmeverluste durch Konvektion der Luft verhindert. Insbesondere bei der Heizungsunterstützung, aber auch zur Prozesswärmeerzeugung, wo hohe Temperaturen benötigt werden, werden Vakuumröhrenkollektoren eingesetzt. Entsprechend der aufwendigeren Technik sind die Investitionskosten für diese Kollektoren höher. Als Absorbermaterialien benutzt man Metalle, wie Kupfer oder Aluminium. Um die Aufnahme von Strahlungsenergie zu erhöhen und die Abstrahlung von Wärme zu minimieren, werden die Absorber selektiv beschichtet. Beschichtung mit Schwarzchrom sind am gebräuchlichsten. Mit Schwarzchrom lässt sich ein Absorptionsgrad von 95% und ein Emissionsgrad von 12% erreichen. Neuere Beschichtungen wie Titanoxidnitrid (TiNOx) senken die Wärmeabstrahlung sogar auf 5%.

## Wärmespeicher

Da Wärme oft gerade dann benötigt wird, wenn die Sonne nicht scheint, muss ein Solarsystem mit einem Wärmespeicher ausgerüstet werden. Wärmespeicher müssen thermisch gut gedämmt sein. Wenn sie Trinkwasser vorhalten sollen, müssen sie darüber hinaus aus Edelstahl hergestellt oder mit einer geeigneten Beschichtung ausgekleidet sein.

Durch die hohe, schlanke Form der Wärmespeicher kommt es zu einer gewünschten

Temperaturschichtung des Warmwassers. Da warmes Wasser leichter ist als kaltes, entsteht in der Vertikalen ein Temperaturgradient, d.h. im oberen Bereich des Speichers ist das Wasser wärmer als im unteren Teil.

Die thermische Beladung des Speichers erfolgt über einen Wärmetauscher in das niedrigere Temperaturniveau des Speichers. Da hier die Temperaturdifferenz zur Kollektortemperatur am größten ist, wird die Kollektorbetriebstemperatur besser abgesenkt. Dies wirkt sich günstig auf den Wirkungsgrad der Anlage aus.

Die Wärmeentnahme als Brauchwasserwärme oder Heizwärme erfolgt aus dem oberen, wärmeren Speicherbereich. Reicht die solar gewonnene Energie nicht aus, um diesen Entnahmebereich auf Solltemperatur zu bringen, so wird mit einer konventionellen Zusatzheizung nachgeheizt. Da im Bedarfsfall nur der Entnahmebereich im oberen Speicherteil und nicht das ganze Speichervolumen nachgeheizt werden muss, können so Energiekosten minimiert werden.

Die Temperaturschichtung sollte daher beim Beladen und bei der Entnahme der Wärmefracht möglichst nicht zerstört werden. Die Verwirbelungen der Schichtung an der Kaltwasserzufuhr verhindert beispielsweise eine Prallplatte. Neu entwickelte Schichtladesysteme helfen bei der Optimierung der Temperaturschichtung. So kann beim Beladen das solar erwärmte Wasser durch ein Wärmeleitrohr in passende Temperaturschichten geleitet werden. Der Verwirbelung der Schichtung kann außerdem durch sehr niedrigen Durchfluss im Solarkreis (Low-Flow) entgegengewirkt werden.

## ZENTRALE BEGRIFFE

- > Flachkollektor
- > Vakuumröhrenkollektor
- > Temperaturschichtung

# SOLARWÄRME IN DER PRAXIS

Eine wirtschaftlich günstige Planung einer Solaranlage setzt voraus, dass der tatsächliche Bedarf an Warmwasser bzw. Raumwärme ermittelt wird. Insbesondere für große, komplexe Anlagen gibt es eine Reihe von Simulationsprogrammen für die Auslegung. Aus der Angabe von Anlagenkonfiguration, Dimensionierung sowie Verbrauchs- und Wetterdaten lässt sich eine jährliche Energiebilanz erstellen.

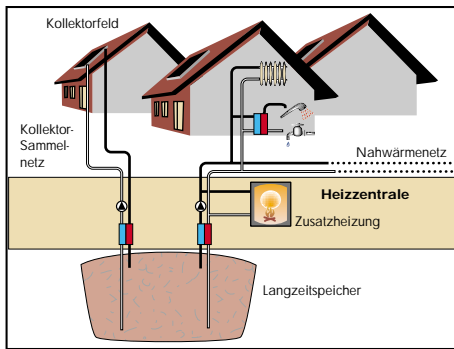
Solare Nutzung	Kollektorfläche	Speichervolumen	Einsparung
Warmwasser	pro Person: 1 bis 1,3 m <sup>2</sup> Flachkollektor (oder 0,8 bis 1 m <sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor)	Je m <sup>2</sup> Kollektorfläche: 60 bis 80 Liter Speichervolumen	50 bis 70 % der Energie für Warmwasser
Warmwasser + Raumwärmeunterstützung	* pro 10 m <sup>2</sup> Wohnfläche etwa 1 m <sup>2</sup> Flachkollektor (oder 0,5 bis 0,6 m <sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor)	Ca. 50 Liter Pufferspeicher pro m <sup>2</sup> Kollektorfläche. Pro Person zusätzlich 50 Liter	20 bis 30 % der Energie für Heizung + Warmwasser

\* Bei einem gut gedämmten Einfamilienhaus bis 80 kWh Heizenergieverbrauch je m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr

**Abb. 7** Erfahrungswerte für Privathaushalte

Thermische Solaranlagen erzeugen nicht nur Energie, sie verbrauchen auch Energie bei ihrer Herstellung. Dass Kollektoranlagen ökologisch sinnvoll sind, zeigt ein Vergleich von eingesetzter Energie für die Herstellung der Anlage mit dem solar erzeugten Energieertrag. Für einen Vergleich muss der Energieaufwand für eine Solaranlage über den gesamten Lebenszyklus summiert werden. Dazu gehört die Herstellung aller Anlagenteile über die gesamte Produktionskette, die umweltgerechte Entsorgung der Anlage nach der Nutzungszeit sowie die Betriebsenergie (z. B. Strom für Umwälzpumpe).

Der gesamte Primärenergieaufwand für die Herstellung einer Solaranlage für die Warmwasserbereitung mit 6 m<sup>2</sup> Flachkollektoren beträgt ca. 3.000 kWh Energie, für eine Anlage mit 5 m<sup>2</sup>-Vakuumröhrenkollektor werden etwa 2.000 kWh benötigt. Bei solaren Erträgen - je nach Kollektorbauform - von 200 bis 890 kWh/m<sup>2</sup>a amortisiert sich die Kollektoranlage



**Abb. 8** Solares Nahwärmesystem  
(Quelle: Ökoinstitut 1997)

von der Energieseite her nach 0,6 bis 2,8 Jahren. Die wenig aufwendigen Absorberanlagen für die Beckenerwärmung von Freibädern haben sogar eine energetische Amortisationszeit von nur 0,4 bis 1 Jahr.

Mit jedem durch Solarenergie eingesparten Kilowatt Energie, das man sonst mit Gas oder Öl erzeugt hätte, reduziert sich die Emission von Kohlendioxid. Der Einsatz thermischer Solaranlagen kann einen Beitrag zur Senkung der Emission von Treibhausgasen leisten. Die Kosten einer Solaranlage für Warmwasserbereitung eines 4-Personen-Haushalts mit einem Warmwasserverbrauch von 200 l pro Tag betragen in der Regel 6.000 bis 7.000 DM.

Für die Montage der Anlage sind 2.000 bis 4.000 DM zusätzlich einzukalkulieren.

Derzeit ist die Brauchwassererwärmung noch die wichtigste Anwendung thermischer Solarenergie. Der Anteil solar erzeugter Wärme an der Endenergieerzeugung beträgt heute zwar noch weniger als 1%, doch die Kollektorflächen wachsen kontinuierlich. 1998 wurden allein in Deutschland etwa 50.000 Solarwärmanlagen neu installiert. Europaweit wird für die nächsten Jahre ein Wachstum der Kollektorflächen von mehr als 20% pro Jahr erwartet.

Durch größere Kollektoranlagen können die spezifischen Investitionskosten um den Faktor 2 gesenkt werden. Insbesondere in Neubausiedlungen kann die sogenannte solare Nahwärme die Wärmeversorgung unterstützen. Die solar gewonnene Wärme wird dabei zentral gespeichert und über ein Leitungsnetz an die Gebäude abgegeben. Neben Kurzzeitspeichern, die Wärme für Warmwasser für einige Tage vorhalten und bis zu 25% Brennstoffersparnis bringen, werden auch Langzeitspeicher eingesetzt, die den Energiebedarf für Warmwasser und Raumheizung um bis zu 70% absenken.

## ZENTRALE BEGRIFFE

- > Energetische Amortisation
- > Solare Nahwärme

# LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis kann kostenlos bei BINE angefordert werden.

1. Forum für Zukunftsenergien, Bonn (Hrsg.): Informationsmaterialien für Lehrer und Schüler, 10 Arbeitsblätter und Arbeitsvideo, Bonn 1998, 79,- DM
2. Schüle, R.; Ufheil, M.: Thermische Solaranlagen. Overhead-Folien für Unterricht, Bildungsarbeit, Vorträge. Öko-Institut e. V. 1994

## Bildung & Energie im Web

<http://bine.fiz-karlsruhe.de/>

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter: <http://bine.fiz-karlsruhe.de> Dort ist in der Rubrik "Service" (Infoplus) eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

## Ergänzende Informationen

[Info-Mappen / Download](#)

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich. Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de> in der Rubrik "Service" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 30,-DM (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

## ▼ Herausgeber



FACHINFORMATIONSZENTRUM  
KARLSRUHE

Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

## ▼ Redaktion

Paul Feddeck

## ▼ ISSN

1438-3802

## ▼ Nachdruck

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

## ▼ Stand

Dezember 1999

## BINE - INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

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

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

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- Bildung & Energie

**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>