



# Wärme und Strom speichern

Eigentlich bieten natürliche Quellen (z. B. Sonnenenergie) und technische Prozesse (z. B. Heizungen, Feuerungsprozesse) Energie in Hülle und Fülle. Leider steht ein großer Teil davon zum falschen Zeitpunkt zur Verfügung. Energiespeicher machen es möglich, diese Energie dann nutzbar zu machen, wenn sie gebraucht wird.

## EINLEITUNG

In unseren Breiten reicht die Natur allein nicht aus, die Menschen während des gesamten Jahres mit Wärme und Licht zu versorgen. Während man es oft im Sommer vor Hitze kaum aushält, zittert man im Winter vor Kälte. Dem solaren Wärme- und Lichtüberschuss folgt im Jahresverlauf ein deutlich spürbares Defizit, das durch den Einsatz von fossilen Energieträgern, z. B. Kohle, Öl oder Erdgas, ausgeglichen werden muss. Heute weiß man, dies erfolgt zu Lasten der Rohstoffvorräte und des Klimas.

Angesichts der tages- und jahreszeitlich schwankenden Verteilung der Solarenergie drängt sich ein Gedanke auf: Die solaren Wärmeüberschüsse so zu speichern, dass man mit ihnen den abendlichen oder den winterlichen Wärmebedarf ganz oder zumindest teilweise decken kann. Damit ließen sich fossile Energieträger ersetzen und die Umwelt entlasten.

Die Idee, gespeicherte Energie zu nutzen, ist fast so alt wie die menschliche Kultur. So wird von alters her zum Beispiel das im Sommerhalbjahr wachsende Holz als Vorrat für den Winter gelagert und verfeuert. Dabei wird der chemische Wärmespeicher Holz stofflich verbraucht. Bei den Wärmespeichern, die üblicherweise in technischen Anwendungen eingesetzt werden, wird ein Speichermedium (z. B. Wasser) mit Wärme be- und entladen, aber dabei stofflich nicht verbraucht. Die meisten Hausheizungen decken bei einem Brennvorgang nicht nur die aktuelle



**Abb. 1**

Holz ist ein chemischer Wärmespeicher. Während des Sommers wird in einem chemischen Prozess die Energie gespeichert, die man an winterlich kalten Tagen durch Verbrennen nutzen kann. [Foto: Karl Baer]

Wärmenachfrage, sondern beladen gleichzeitig auch einen Wärmespeicher. Aus diesem Vorrat kann dann über einige Zeit hinweg der Wärmebedarf der Bewohner gedeckt werden. Erst wenn der Speicher zu kalt wird, startet der Brenner der Heizung erneut.

Inzwischen werden auch große, Wochen bzw. Jahreszeiten überbrückende Wärmespeicher-Konzepte erprobt, die z. B. möglichst viel Sonnenenergie oder Abwärme aus Kraftwerken und Industrieprozessen für die Wärmeversorgung nutzen sollen. Diese Großspeicher können sowohl der Versorgung einzelner Großbauten dienen als auch in Nahwärmenetzen für ganze Siedlungen eingesetzt werden. Moderne Wärmespeicher sind eine zentrale Komponente für einen

effizienten Energieeinsatz.

Auch beim Strom sind, trotz der in Deutschland hohen Qualität des Netzes, Technologien zur Stromspeicherung gefragt. Methanol Brennstoffzellen können beispielsweise die Versorgung mobiler Geräte (z. B. Notebooks) übernehmen. Zur Überbrückung kurzzeitiger Netzstörungen oder Nachfragespitzen wurden innovative Speichertechniken entwickelt, wie z. B. Super-Kondensatoren und Schwungradspeicher. Kostengünstige Techniken zur Langzeitspeicherung von Strom im Großmaßstab existieren bislang noch nicht.

### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Wärmespeicherung
- > Stromspeicherung

# GRUNDLAGEN DER WÄRMESPEICHERUNG

**W**ärme ist eine Zustandsgröße der Materie. Der Transport von Wärme ist mit Ausnahme der Wärmestrahlung – so erreicht die Sonnenenergie den Planeten Erde – immer an einen Stoff gebunden. Für den Wärmetransport wird also ein Medium benötigt, z. B. bei der Raumheizung das Wasser im Heizkreislauf. Auch die Speicherung von Wärme funktioniert nur, wenn man einen Stoff speichert, der sie enthält (Wärmeträger). Physikalisch gibt es dafür drei unterschiedliche Wege der Wärmespeicherung:

## ■ Speicherung als fühlbare bzw. sensible Wärme

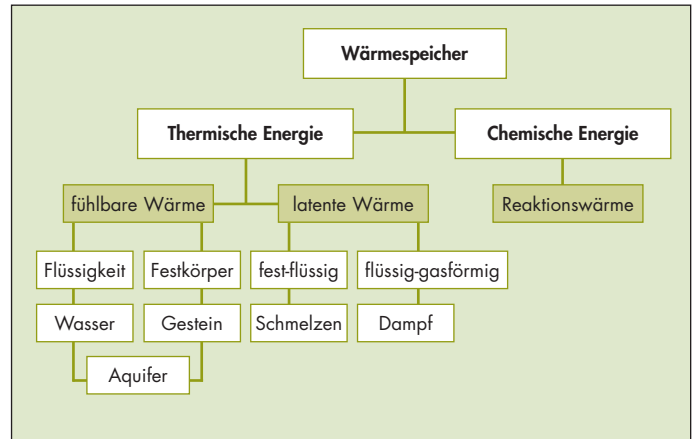
Wärme wird einem Speichermedium zugeführt, das infolgedessen seine Temperatur verändert. Dieses Prinzip ist das gebräuchlichste bei der Wärmeversorgung von Gebäuden.

## ■ Speicherung als latente Wärme

Die Wärmezufuhr zum Speichermedium führt zu einer Änderung des Aggregatzustands, meist „fest“ zu „flüssig“, ohne dass sich die Temperatur des Mediums verändert. Beispielsweise entspricht bei Wasser, die zum Eisschmelzen benötigte Wärme etwa der Wärmemenge, die für das Aufheizen der gleichen Menge Wasser von 0 auf 80 Grad ausreichen würde.

## ■ Speicherung als chemische Energie

Die fossilen Energieträger Kohle, Erdgas und Erdöl sind die bedeutendsten chemischen Energiespeicher. Sie verdanken ihre Entstehung der Photosynthese von Pflanzen vor Millionen Jahren und werden bei Nutzung stofflich verändert (offener Kreislauf). Chemische Energiespeicherung mit geschlossenen Kreisläufen gibt es in technischen Anwendungen. Beispielsweise wird in Sorptionspeichern einem Sorptionsmedium abwechselnd Wasser entzogen und wieder zugeführt. Die dadurch ausgelösten chemischen Reaktionen führen zur Freisetzung nutzbarer Wärme bzw. Kälte.



**Abb. 2** Einteilung der Wärmespeicher

Speicherart	Energiedichte in kWh/m <sup>3</sup>	Speichermedien, z. B.	Arbeitstemperatur
<b>Sensibel</b>	ca. 60 bis zu 30	Wasser Beton	< 100°C 0 - 500°C
<b>Latent</b>	bis zu 120	Salzhydrate Paraffine	ca. 30 - 80°C ca. 10 - 60°C
<b>Thermochemisch</b>	ca. 200 - 500	Metallhydride Silicagele Zeolithe	ca. 280 - 500°C ca. 40 - 100°C ca. 100 - 300°C

**Abb. 3** Erzielbare Energiedichten verschiedener Wärmespeicherprinzipien

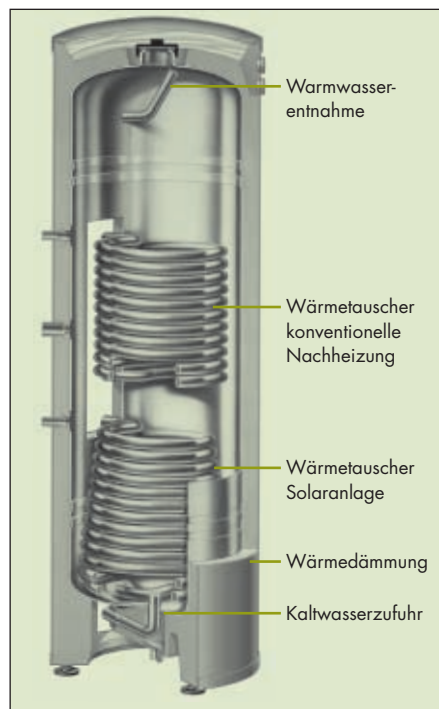
Jede dieser physikalischen Formen erfordert spezielle Speichersysteme, die sich im Hinblick auf die erzielbaren Energiedichten und Temperaturbereiche voneinander unterscheiden (Abb. 2, 3).

# WÄRMESPEICHER IN HAUSANLAGEN

**D**ie im Alltag bekanntesten Wärmespeicher sind Teil der Hausheizungsanlage oder der thermischen Solaranlage. Sie bestehen aus einer Heizquelle, z. B. Brennwertheizung oder Solarkollektor, und einem Speichermedium. Bei der so genannten indirekten Beladung wird die Wärme von der Heizquelle über ein, in einem geschlossenen zweiten Kreislauf zirkulierendes Arbeitsmittel (z. B. Wasser-Glykol) dem eigentlichen Speichermedium zugeführt. Als Speichermedium in der häuslichen Wärmeversorgung wird in aller Regel Wasser eingesetzt.

Wasser hat zahlreiche Vorzüge: Es hat eine hohe Wärmekapazität, ist preiswert und fast überall verfügbar. Außerdem verfügt es über eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und eine temperaturabhängige Dichte. Dies begünstigt im Wärmespeicher die Herausbildung einer stabilen thermischen Schichtung. Bei Temperaturen oberhalb von 100°C werden aber Kies, Beton, Gesteine oder auch Luft, Thermoöle und Salze als Speichermedien eingesetzt.

Neben der Wahl des richtigen Speichermediums muss man bei der Wärmespeicherung besonders auf die Vermeidung von

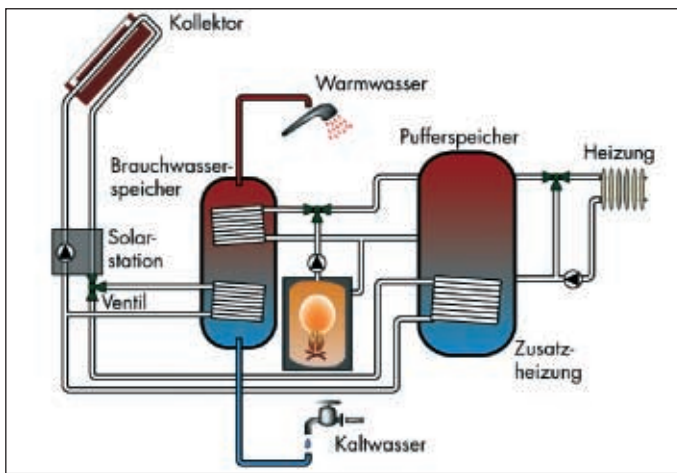


**Abb. 4** Beispiel für einen Wärmespeicher zur Kombination einer thermischen Solaranlage mit einer konventionellen Heizung

Wärmeverlusten achten. Effiziente Speicher setzen eine niedrige Wärmedurchlässigkeit der Materialien sowie ein möglichst kleines Verhältnis von Außenfläche des Speichers zum Volumen des Speichers ( $A/V$ -Verhältnis) voraus. Zur reinen Vermeidung von Wärmeverlusten wären kugel- oder würfelförmige Speicher ideal. In der technischen Anwendung haben sich aber zylindrische Formen durchgesetzt, die einfacher transportabel sind und eine thermische Schichtung von Wasser auf unterschiedlichen Temperaturniveaus begünstigen.

Die in Hausheizungen eingesetzten Wärmespeicher werden meist als Pufferspeicher bezeichnet. Sie verbessern das Betriebsverhalten konventioneller Öl- und Gasheizungen. Es spart Energie, wenn der Brenner den Pufferspeicher in einem Brennvorgang komplett aufheizt und sich die Nachfrage (z. B. Hände waschen) in den nächsten Stunden aus diesem Wärmeverrat bedienen kann, ohne dass der Brenner jedes Mal anspringen muss.

Soll Solarenergie auch zur Raumheizung beitragen, bedarf es komplexer Speicherkonzepte. Mittlerweile dominieren Ein-



speicher-Anlagen den Markt, in denen eine Kollektoranlage im Zusammenspiel mit einer zweiten Heizquelle einen kombinierten Speicher beheizt. Mithilfe derartiger Speichersysteme kann der solare Anteil an der kompletten Wärmeversorgung eines Gebäudes (Warmwasser + Heizung) auf über 20% gesteigert werden (Abb. 5). Die besonders energieeffizienten Niedrigstenergie- und Passivhäuser können sogar bis zu 50% ihres Wärmebedarfs von der Sonne beziehen.

### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Wärmespeichermedium
- > Wärmeverluste

**Abb. 5** Schema einer solaren Kombianlage

## GROSSE WÄRMESPEICHER

Die effiziente Wärmespeicherung über Wochen und Monate setzt sehr niedrige Wärmeverluste voraus. Kleinere Speicher kommen dafür bereits wegen des ungünstigen A/V-Verhältnisses nicht in Betracht. Seit Mitte der 1990er Jahre wurden verschiedene Konzepte mit Großspeichern entwickelt und in Gebäuden mit ganzjährig hoher Wärmenachfrage (z. B. Krankenhäusern) bzw. in Nahwärmenetzen für Wohnsiedlungen erprobt. Als Energiequelle dienen z. B. Solarwärme in Kombination mit fossilen Kesseln (solarunterstützte Nahwärme) oder Blockheizkraftwerke.

Für die Speicherung über Monate hinweg (saisonale Speicher) werden unterschiedliche Speicherkonzepte (Abb. 6) in Pilotprojekten erprobt. Als Speicher wurden eigens erbaute Hochbehälter ebenso eingesetzt wie ins Erdreich integrierte Systeme. Andere Konzepte nutzen Grundwasservorkommen

	Heißwasser-Wärmespeicher	Kies-Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
Speichermedium	Wasser	Kies-Wasser-Gemisch	Formation im Untergrund	Wassergesättigte Formation im Untergrund
Speicherkapazität [kWh/m <sup>3</sup> ]	60 - 80	30 - 50	15 - 30	30 - 40
Speichervolumen [in m <sup>3</sup> WÄ]	1,0	1,3 - 2,0	3,0 - 5,0	2,0 - 3,0
Dimensionierung <sup>1)</sup> [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> FK]	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	8,0 - 10,0	4,0 - 6,0

WÄ = Wasseräquivalent; FK = Flachkollektor;  
<sup>1)</sup> Richtwert des Speichervolumens je m<sup>2</sup> Kollektorfläche für einen solaren Deckungsanteil von 50 %.

**Abb. 6** Konzepte für die Langzeit-Wärmespeicherung im Vergleich

(Aquifere) oder auch Erdschichten als natürliche Wärmespeichermedien. Die Pilotprojekte zeigten, dass eine Langzeit-Wärmespeicherung den solar erzeugten Wärmeanteil von Siedlungen auf über 50% steigern kann. Allerdings liegen die Kosten mit 75 – 450 Euro pro m<sup>3</sup> Wasseräquivalent noch zu hoch für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Die Forschung arbeitet derzeit an verschiedenen Strategien zur weiteren technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Systeme.

### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Langzeit-Wärmespeicher
- > Nahwärmesysteme

## STROMSPEICHERUNG

Trotz stabilen Stromnetzes in Deutschland wächst die Nachfrage nach Speichertechnologien auch bei Strom. Stromspeicher versorgen Geräte und mobile Anwendungen. Sie gleichen für eine 100% stabile Stromversorgung sicherheitsrelevanter Anwendungen (z. B. Rechenzentren) kurzzeitig etwaige Schwankungen oder Störungen im Stromnetz aus und ermöglichen die Versorgung von Gebieten ohne Netz.

Die direkte Speicherung von elektrischer Energie ist nur über Spulen und Kondensatoren möglich. Für größere Energiemengen muss elektrischer Strom daher in eine andere Energieform umgewandelt werden, um eine Speicherung zu ermöglichen (indirekte Speichersysteme). Erst ein zweiter Energiewandler kann die so gespeicherte Energie wieder nutzbar machen. Für die Stromspeicherung kommt eine Umwandlung in chemische Energie (z. B. die konventionelle Batterie, Methanol Brennstoffzelle), in mechanische Energie (z. B. Schwungradspeicher, Pumpspeicher-Wasserkraftwerke)

	Kondensatoren (supercaps)	Supraleitende Spulen (SMES)	Schwungrad (status quo)	Akkumulator (Batterie)
Leistungszeit [sec]	≤ 1	1 - 20	10 - 30	> 1.000
Energiedichte [kWs/kg Speicher]	5 - 20	< 5	15 - 200	100 - 800
Leistung [kW]	≤ 10	≤ 7.000	≤ 15.000	≤ 500
Lebensdauer [Zykluszahl]	> 1.000.000	Ca. 1.000.000	Ca. 1.000.000	≤ 1.000
Effizienz [%]	> 95	Ca. 90	85 - 90	70 - 85
Stand-by-Verluste	0,1 - 0,2 %/h	Kühlleistung	3 - 20 %/h	< 0,01 %/h
Kosten [T€/kWh]	10 - 20	30 - 200	1	0,08

**Abb. 7** Technologien zur Stromspeicherung (Stand: November 2003)

und in magnetische Energie (z. B. Supraleitende Magnetische Energie Speicher – SMES) in Betracht.

Einige Vorteile dieser Techniken sind: Schwungradmassenspeicher weisen besonders geringe Betriebskosten auf und können binnen weniger Millisekunden Strom aufnehmen oder abgeben. Supraleiter ermöglichen eine beliebige Tiefentladung und eine unbegrenzte Zahl an Be- und Entladungsvorgängen (Zykluszahl). Kondensatoren zeichnen sich durch sehr geringe Energieverluste aus.

Wirtschaftliche Systeme zur Langzeitspeicherung von elektrischem Strom gibt es noch nicht. Technisch mögliche Verfahren sind große Druckluftspeicher oder eine elektrolytische Wasserstoffgewinnung mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Allerdings sind noch weitere große Anstrengungen bei Forschung und Entwicklung nötig, um zu marktgängigen Systemen zu kommen.



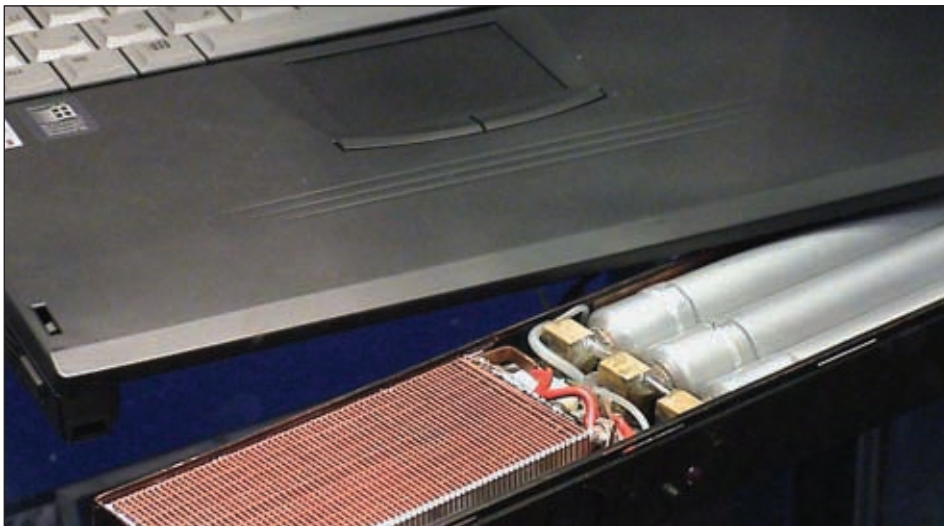
## EINIGE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

Innovative Wärmespeicher sind eine Voraussetzung für die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung. Immer mehr Anwendungsbereiche können durch große Solaranlagen (> 100 m<sup>2</sup>) und Langzeit-Wärmespeicher in solaren Nahwärmesystemen versorgt werden. Hier wird derzeit nach Möglichkeiten zur Senkung der Systemkosten gesucht.

Latentwärmespeicher haben in den letzten Jahren in verschiedenen Anwendungsbereichen bedeutende Fortschritte erzielen können. Eine vielversprechende Innovation sind Latentwärmespeicher (engl. Phase Change Material – PCM) im Gebäudebereich. So speichern verkapselte PCM in Baustoffen, Wänden, Decken, Fußböden und Fassadenelementen überschüssige Wärme und geben sie bei sinkenden Temperaturen (z. B. abends) wieder ab. Das verringert den Wärme- und Kühlbedarf und senkt den Energieverbrauch.

Hochtemperatur-Wärmespeicher sind eine zentrale Komponente in solarthermischen Kraft-

werken – einem thermischen Verfahren zur Erzeugung von Solarstrom. Die überschüssige Solarwärme wird mit einer Temperatur von bis zu 600°C tagsüber in einem Hochtemperatur-speicher gespeichert und nachts zur Stromerzeugung verwendet. Als Speichermedium fungiert Luft oder ein Keramik-Salz-Gemisch. Die Wärmespeicherung kann den Wirkungsgrad des Kraftwerks nahezu verdoppeln. Vergleichbare Konzepte werden auch für den Betrieb von Hochöfen und anderen Hochtemperatur-Prozessen in der Industrie angewandt. Bei den Stromspeichern können Schwungmassespeicher in bestimmten Anwendungsbereichen Blei-Säure-Batterien ablösen. In Stromnetzen mit einem hohen Anteil dezentraler Einspeisung können sie zu einer höheren Netzstabilität beitragen. Auch die konkurrierenden Systeme der supraleitenden magnetischen Energiespeicher und die modernen Kondensatoren (Supercaps) haben spezifische Stärken. Für die Marktchancen entscheidend wird eine Verbesserung der Kosten sein.



**Abb. 8** Beispiel für ein vollintegriertes Brennstoffzellensystem zum Betrieb eines Laptops. Die Abmaße des Systems entsprechen dem der üblicherweise verwendeten Akkus. [Quelle: FhG-ISE]

## LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis steht im BINE-Internetangebot als Download in der Rubrik Service/InfoPlus bereit oder kann kostenlos angefordert werden.

Fisch, N. et al.: Wärmespeicher. BINE-Informationspaket. Fachinformationszentrum Karlsruhe. BINE Informationsdienst, Bonn (Hrsg.). Köln: TÜV-Verlag, 2005. ISBN 3-8249-0853-0

## Bildung & Energie im Web

[www.bine.info](http://www.bine.info)

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter:

[www.bine.info](http://www.bine.info)

Dort sind in der Rubrik "Service/InfoPlus" ein Literaturverzeichnis und 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 [www.bine.info](http://www.bine.info) in der Rubrik "Service/InfoPlus" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 15,-€ (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

## IMPRESSUM

### ▼ Herausgeber FIZ Karlsruhe GmbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### ▼ Autoren

Ralf Schmidt-Pleschka, Uwe Milles

### ▼ 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 2005

## BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

### Kontakt:

Fragen zu diesem **basisEnergieinfo?**

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79-44



# BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn  
Mechenstraße 57  
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)

Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)