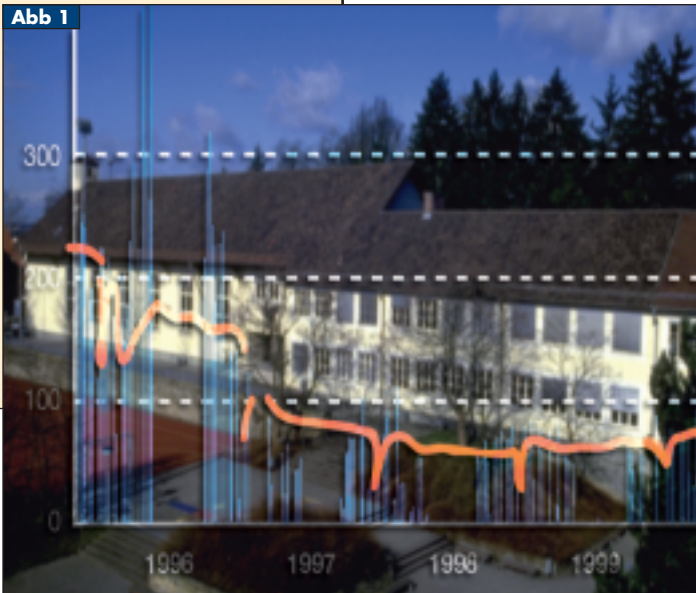




## Energetische Schulsanierung

Abb 1



- ▶ **Energieverbrauch der Schule ist um mehr als 75% gesunken**
- ▶ **Dämmung der Außenwände bringt größten Einspareffekt**
- ▶ **Gesamtkonzept nutzt Synergieeffekte und spart Geld**
- ▶ **Schulbetrieb stellt spezielle Anforderungen**

*Erfolgreiches Beispiel für eine energetische Sanierung: Grund- und Hauptschule in Stuttgart-Plieningen*

**V**iele Gemeinden stehen unter dem Zwang, Geld einzusparen. Bei öffentlichen Bauten wird deshalb großes Augenmerk auf einen wirtschaftlichen Betrieb gelegt. Eine kontinuierliche kommunale Kontrolle hilft dabei, Gebäude mit hohem Energieverbrauch auszumachen. Schulen liegen hier oft vorn. Kennzeichnend ist ein hoher Heizwärme- und Strombedarf während der Nutzungszeiten in Verbindung mit Wärmeverlusten durch Lüftung (hohe Belegungsdichte). Außerdem stehen die Betriebskosten im Zusammenhang mit dem baulichen bzw. energetischen Zustand des Schulgebäudes. Energiesparmaßnahmen können dementsprechend sowohl beim Nutzerverhalten und der Betriebsweise als auch bei der Verbesserung der Gebäudehülle und Anlagentechnik ansetzen.

Werden für die bauliche Instandhaltung nur Einzelmaßnahmen vorgenommen, wie der Austausch der Fenster oder der Heizungsanlage, bleiben Synergieeffekte für die Energieeinsparung weitgehend ungenutzt. Durch eine zeitgleiche, integrierte Planung von Sanierungsmaßnahmen lassen sich sowohl für die Wirtschaftlichkeit als auch für die Energieeffizienz gute Ergebnisse erzielen. Die höheren Anfangsinvestitionen zahlen sich durch die dauerhaft gesunkenen Betriebskosten aus.

Um ein auf andere Schulen übertragbares Konzept für die effektive energetische Sanierung von Schulgebäuden zu entwickeln, wurde die Sanierung der Grund- und Hauptschule Stuttgart-Plieningen durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert (vgl. Projekt-Info 6/97). Die Schule ist seit den dreißiger Jahren in verschiedenen Bauabschnitten erweitert worden und damit repräsentativ für viele bundesdeutsche Schulgebäude. Der hohe Heizenergieverbrauch der Gebäude (über 200 kWh/m²a) war durch das Energiemanagement der Stadt Stuttgart bekannt und eine Renovierung ohnehin geplant. Erklärtes Ziel des Vorhabens war eine Senkung des Verbrauchs auf ein Viertel des Ausgangswertes, also auf 50-60 kWh/m²a.

Das erfolgreiche Projekt wurde im Förderkonzept "EnSan" als Demonstrationsvorhaben aufgenommen. EnSan hat die energetische Verbesserung der Gebäudesubstanz zum Thema und setzt dafür auf verschiedenen Ebenen an. Die Entwicklung von Planungshilfen, bau- und haustechnischen Komponenten sowie deren Erprobung bei der Sanierung ausgewählter Gebäudetypen und beispielhafte Sanierungsprojekte sollen dazu beitragen, den Energieaufwand in Altbauten rasch zu reduzieren.

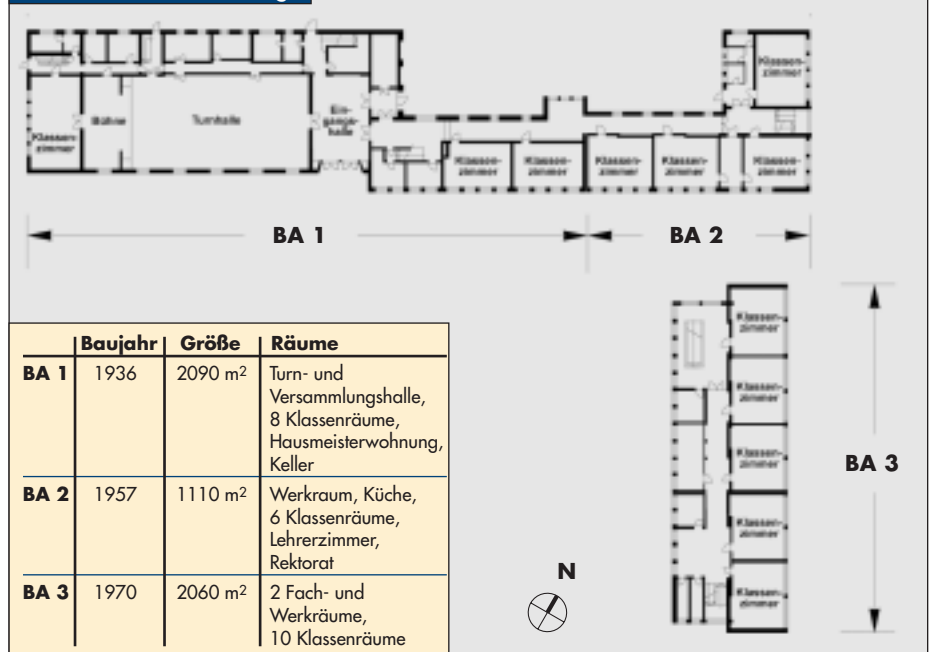
## ► Die Aufgabe

Jeder Bauabschnitt (BA) der Schule hat entsprechend seiner Entstehungszeit bauphysikalische und anlagentechnische Besonderheiten, die im Zuge einer energetischen Sanierung berücksichtigt werden müssen. Vor der Sanierung lag der Heizenergiekennwert für den gesamten Bestand zwischen 200 und 220 kWh/m<sup>2</sup>a, wobei der Verbrauch gegenüber 1977 (382 kWh/m<sup>2</sup>a) durch betriebliche Maßnahmen schon erheblich gesenkt werden konnte. Der Stromverbrauch der Schule machte zum Ausgangszeitpunkt 10,6 kWh/m<sup>2</sup>a aus.

Im Rahmen des Projekts (modellhafte Sanierung einer Schule – MOSES) wurde eine stark systematisierte, auf andere Schulen übertragbare Vorgehensweise entwickelt. Das Sanierungskonzept basiert dabei nach der Bestandsaufnahme auf einer Bewertung verschiedener Varianten anhand von Simulationen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Emissionsbewertung etc.

Die Bestandsaufnahme der Stuttgarter Schule ergab bauliche und energetische Mängel der Gebäudehülle, ein veraltetes Heizungs- und Verteilsystem sowie schlechte Belichtungsverhältnisse in den Klassen-

**Abb 2 Grundriss der Anlage**



räumen. Die Erneuerung der Fenster sowie der Heizungsanlage waren ohnehin geplant. Um die Maßnahmenkombination mit dem

besten Verhältnis von Investitionskosten zu Heizwärmeeinsparung zu erhalten, wurden verschiedene Einzelmaßnahmen bewertet.

## ► Gebäudehülle

Die Gebäude waren größtenteils ungedämmt und hatten meist noch alte Holzfenster mit Einfachverglasung. Dementsprechend zeigten sich erhebliche Wärmeverluste durch die Außenwände, Wärmebrücken bzw. Luftundichtigkeiten bei den Bauteilanschlüssen sowie witterungsbedingte Schäden an den Fenstern. Die effektivsten Möglichkeiten zur Energieeinsparung wurden für die Dämmung der Außenwände sowie der obersten Geschossdecke des Bauabschnitts 1 ermittelt.

In der Regel wurde auf die Außenwände ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht. Für gestalterisch wertvolle Fassaden, z.B. an der Turnhalle, wurde Innendämmung gewählt. Da in diesem Fall Ballwurfsicherheit und Akustik zu berücksichtigen waren, eine kostspielige Angelegenheit. Für die oberste Geschossdecke war die Verlegung von Dämmplatten auf der Decke günstiger als eine innenseitig angebrachte Dämmung. Diese Maßnahme konnte im Rahmen einer Projektarbeit von Schülern in Eigenleistung ausgeführt werden. Wegen des unebenen Untergrundes wurde beim Bauabschnitt 1 statt dessen Einblasdämmung verwendet. Sie ist allerdings nur für Stellen geeignet, die nicht mehr betreten werden, da sie sonst beschädigt werden könnte. Als problematisch er-

wies sich auch der Anschluss der neuen Fenster (Luftdichtheit, WDVS) in die Fassade. Auf zusätzlich mögliche Maßnahmen, die kompliziert und dadurch teuer geworden wären, wie z.B. die Dämmung des Kellers bei Bauabschnitt 1 + 2, wurde verzichtet.

Nach der Sanierung (1998) waren auf Thermografien keine Wärmebrücken mehr sichtbar. Allein durch die baulichen Maßnahmen sank der Heizwärmebedarf auf ca. 100 kWh/m<sup>2</sup>a.

**Abb 3 Wand- und Deckenaufbauten und Sanierungsmaßnahmen**

	Bestand	U-Wert vor Sanierung	Maßnahme	U-Wert nach Sanierung
<b>BA 1</b>				
Außenwand	Vollziegelmauerwerk verputzt	1,60	14 cm WDVS / 4-10 cm Innendämmung (Turnhalle)	0,26
Fenster	Holzverbundfenster, Kunststoff-Fenster, Metallfenster	3,40	neue Holz-Alu-Fenster mit Wärmeschutzverglasung	1,40
oberste Geschossdecke	Holzbalkendecke mit Holzabfallplatten, Stahlsteindecke	1,35	20 cm Einblasdämmung, 18 cm PS Hartschaum	0,19
<b>BA 2</b>				
Außenwand	Stahlbetonstützen / Vollziegel-Ausfachung	1,73	14 cm WDVS	0,25
Fenster	Holzverbundfenster	3,50	neue Holz-Alu-Fenster mit Wärmeschutzverglasung	1,40
oberste Geschossdecke	Hohlstegdecke	0,85	18 cm PS-Hartschaum	0,18
<b>BA 3</b>				
Außenwand	Stahlbeton mit Dreischichtplatte z.T. verputzt	1,36	12 cm WDVS	0,26
Fenster	O: Holzverbundfenster W: z. T. Kunststoff-Fenster	2,50	neue Holz-Alu-Fenster mit Wärmeschutzverglasung (O)	1,73
oberste Geschossdecke	Stahlbetonrippendecke mit Dämmung (bereits saniert)	0,28	–	
Kellerdecke	Stahlbetonrippendecke	1,56	PS-Dämmstoffkeile zwischen den Rippen	0,79

## ► Heizung

Bis zur Sanierung wurden alle drei Gebäude von einer gemeinsamen Heizzentrale mit Wärme versorgt. Die Kessel wurden vom Hausmeister ein- und ausgeschaltet und während der Heizperiode durchgehend betrieben. Durch die Anbindung der Hausmeisterwohnung an das Heizsystem der Schule wurden Klassenräume auch in der Ferienzeit beheizt.

Bauabschnitt 1 hatte eine Direkt-Dampfheizung - ein System, das aufgrund des hohen Temperaturniveaus und der schlechten Regelbarkeit völlig veraltet ist. Für die anderen Räume wurde über einen Wärmetauscher eine Warmwasser-Pumpenheizung betrieben. Die Vorlauftemperatur wurde entsprechend der Außentemperatur geregelt, Temperaturabsenkungen waren zu festen Zeiten vorgesehen.

Die Heizungsanlage wurde durch einen Gas-Brennwertkessel für die Grundlast und einen Niedertemperaturkessel für die Spitzenlast ersetzt. Der Wirkungsgrad der Heizungsanlage mit den zwei Heizkesseln beträgt etwa 95%, die Spitzenleistung kann gegenüber dem Ausgangszustand um 60% reduziert werden. Die neuen Heizkörper (großflächige Plattenheizkörper mit geringem Wasserinhalt) sind bewusst überdimensioniert, so dass der Aufheizvorgang verkürzt ist. Dadurch kann die Raumtemperatur reduziert werden, wenn der Raum nicht belegt ist (Anwesenheitstaster). Die Hausmeisterwohnung hat jetzt eine separate Gastherme mit Warmwasserspeicher.

Die differenzierte Betrachtung der Heizenergieverbrauchskennwerte bestätigt den Vorteil einer Einzelraumregelung verbun-

**Abb 4 Senkung des Heizenergieverbrauchs**

Heizung	Heizenergieverbrauch
Ausgangswert	382 kWh/m <sup>2</sup> a
betriebliche Maßnahmen	200-220 kWh/m <sup>2</sup> a
bauliche Maßnahmen	ca. 100 kWh/m <sup>2</sup> a
neue Heizung	< 60 kWh/m <sup>2</sup> a

den mit niedrigen Auslegetemperaturen gegenüber einer Regelung über Thermostatventile bei hohen Auslegetemperaturen. Insgesamt ergibt sich ein hoher Gesamtnutzungsgrad der Kessel und ein niedriger Gasverbrauch für die Beheizung der Schule. Die Analyse der Messdaten und Ermittlung der optimalen Regelparameter mit Hilfe von Simulationsprogrammen ermöglichte eine Betriebsoptimierung der Heizungsanlage. Der Heizenergieverbrauch sank insgesamt auf unter 60 kWh/m<sup>2</sup>a.

## ► Beleuchtung

Die Klassenräume waren konventionell jeweils mit zwei durchgehenden Leuchtenbändern ausgestattet, die über Schalter bedient wurden. Aufgrund von Blendungseinflüssen waren die natürlichen Belichtungsverhältnisse schlecht. Deshalb wurde der Sonnenschutz fast gantztägig geschlossen und trotz ausreichendem Tageslichtangebot Kunstlicht angeschaltet.

Im Rahmen der Sanierung wurden die Klassenzimmer neu gestrichen und z. T. die Beleuchtungssysteme ersetzt. Die neue Wär-

meschutzverglasung hat eine hohe Lichttransmission. Einzelne Räume sind mit einer tageslichtabhängigen Kunstlichtkontrolle (Verknüpfung mit Verschattung möglich) ausgestattet.

Das neue Beleuchtungssystem benötigt deutlich weniger elektrische Energie (40%). Der hohe Reflexionsgrad der Wände hat den Stromverbrauch um weitere 20% reduziert. Er sank nach diesen Maßnahmen auf 2,15 kWh/m<sup>2</sup>a. Der nur leicht höhere Verbrauch (2,55 kWh/m<sup>2</sup>a) des unregulierten

**Abb 5 Senkung des Stromverbrauchs**

Beleuchtung	Stromverbrauch
Ausgangswert	10,6 kWh/m <sup>2</sup> a
hochreflektierender Anstrich, neues Beleuchtungssystem (Ein/Aus)	2,55 kWh/m <sup>2</sup> a
tageslichtabhängige Steuerung (Dimmen)	2,15 kWh/m <sup>2</sup> a

Systems lässt die tageslichtabhängige Kunstlichtregelung für diesen Einsatzbereich wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheinen.

## ► Kosten und Finanzierung

Die Finanzierung der energetischen Sanierungsmaßnahmen erfolgte aus verschiedenen Quellen: Für die erforderliche Bauhaltung kam im Wesentlichen die Stadt Stuttgart auf. Industriepartner beteiligten sich mit Sachleistungen, Barmitteln und ggf. Ingenieurleistungen. Das Gesamtvolumen des Vorhabens betrug ca. 2,15 Mio Euro.

## ► Nutzerverhalten

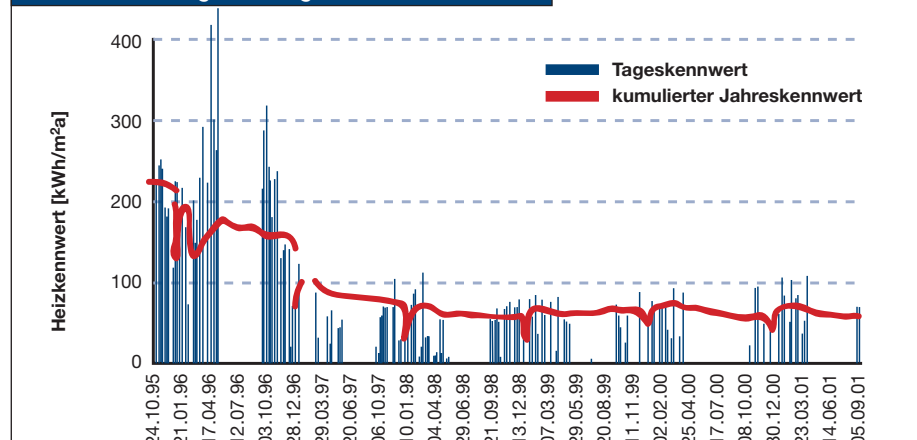
Auch ohne hohe Investitionen und kurzfristig ist es möglich, in einer Schule Energie zu sparen. Einfache Maßnahmen wie die Raumtemperatur zu senken, das Lüftungsverhalten zu verbessern oder elektrische Verbraucher und Heizung nur bei Bedarf anzuschalten, können - konsequent betrieben - schon effektiv sein. Allein durch ein verändertes Nutzerverhalten und eine Optimierung des Betriebs ist eine Senkung des Energieverbrauchs um 5 bis 20% möglich. Wichtig für ein solches Projekt ist Rückhalt bei

Lehrern, Schülern, Hausmeister und auch Eltern sowie die Integration in das tägliche Schulgeschehen. Gerade die Schule als Lernbereich bietet viele Möglichkeiten, die Thematik des Energiesparens den Schülern näher zu bringen. Sie kann nicht nur in verschiedenen Unterrichtsfächern aufgegriffen werden, auch Aktionen vom fachübergreifenden Projekttag über schulinterne Kampagnen oder Klassen-Energiebeauftragte sind denkbar. Die Motivation steigt, wenn die Schulen selbst von den eingesparten Energieausgaben profitieren können.

**Abb 6 Kosten der einzelnen Maßnahmen**

Bauteil	spezifische Kosten
Fenster	420 EUR/m <sup>2</sup>
WDVS	110 EUR/m <sup>2</sup>
Innendämmung	320 EUR/m <sup>2</sup> (Turnhalle) sonst 165 EUR/m <sup>2</sup>
Dach	68 EUR/m <sup>2</sup>
Kellerdecke (Geb.3)	48 EUR/m <sup>2</sup>
<b>Gesamtkosten Gebäudehülle</b>	<b>1.432.000 EUR</b>
Heizung	247.000 EUR Material, 113.000 EUR Installation
Beleuchtung	30.600 EUR Material, 23.400 EUR Installation

**Abb 7 Entwicklung des Energieverbrauchs der Schule**



## ► Ergebnisse

Das Modellvorhaben der Schule in Stuttgart zeigt ein effektives Verfahren zur energetischen Sanierung. Die Untersuchung von Varianten half dabei, das den Randbedingungen entsprechende Optimum zu finden und den Energiebedarf um mehr als 75% zu senken. Die Dämmung der Außenwände hat sich dafür als wirksamstes Mittel bestätigt.

Für Schulen ist die Möglichkeit interessant, schnell aufzuheizen und den Heizfluss in nicht belegten Räumen zu reduzieren. Dies wird energiesparend durch überdimensionierte Heizkörper in Verbindung mit einem Anwesenheits-Kontrollsystem erreicht. Die durch eine tageslichtabhängige Ein-/Ausschaltung der Belichtung erzielten Einsparungen sind wirtschaftlich, die weitergehende Dimmregelung rechtfertigt dagegen den technischen Aufwand nicht.

Bei der Umsetzung war anfangs eine intensive Überwachung und umfassende Information aller Beteiligten notwendig, im Laufe des Vorhabens kamen dann viele Anregungen von den ausführenden Handwerkern selbst. Das Sanierungsergebnis hat insgesamt großen Anklang bei den Nutzern gefunden. Kritisch beurteilt wurde die automatische Steuerung der Verschattung (Störung der Aufmerksamkeit).

## ► Erfahrungen

Gerade wenn ohnehin Baumaßnahmen geplant sind, sollte eine geeignete Kombination zur Energieeinsparung gesucht werden. So kann beispielsweise Geld, das in die Dämmung der Gebäudehülle gesteckt wird, bei der Erneuerung der Heizungsanlage gespart werden (geringere Leistung notwendig). Bei der Auswahl der Maßnahmen sollten nicht nur die energetische Optimierung, sondern auch die Anforderungen der Nutzer berücksichtigt werden. Außerdem muss die Terminplanung auf den Schulbetrieb abgestimmt sein. Wenn die Planungsphase ausreichend lang ist, kann die Ausschreibung auf der Detailplanung aufbauen und damit besser kalkuliert werden.

Sinnvoll ist die Integration derjenigen, die von den Maßnahmen direkt betroffen sind (Hausmeister, Lehrer, Schüler, Direktor) – nicht nur durch Erklärungen, sondern auch durch eigene Leistungen bei der Renovierung. Nutzer haben ein wesentlich engeres Verhältnis zum Energieverbrauch, wenn sie mit eigenen Aktivitäten einbezogen werden. Gerade die Rolle des Hausmeister ist nicht zu unterschätzen, da er letztendlich die Anlage betreibt. Eine Visualisierung von Verbrauchswerten und Luftqualitäten fördert Mitdenken und Engagement von Schülern und Lehrern.

Es gibt viele Aktivitäten der Länder, Kommunen oder Energieagenturen, die speziell die Möglichkeiten von Schulen zur Energieeinsparung berücksichtigen. Erste Schritte zur Senkung des Energiebedarfs sind auch ohne große Investitionen möglich. Und wenn einmal das Interesse geweckt ist, kann auch die notwendige Initiative entstehen, auf bauliche Veränderungen zu dringen.

### ► PROJEKTADRESSEN

- Grund- und Hauptschule Plieningen  
Paracelsusstr. 4  
70599 Stuttgart
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart  
Telefax: 0711/ 970-3399  
<http://www.ibp.fhg.de>
- Landeshauptstadt Stuttgart  
Amt für Umweltschutz  
Postfach 10 60 34  
70049 Stuttgart

### ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Literatur

- Kienzlen, V. u.a.: Modellhafte Sanierung einer Schule in Stuttgart Plieningen.  
In: gi- Gesundheitsingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik, H 1/2000.
- Kienzlen, V. u.a.: Modellhafte Sanierung einer Schule (MOSES). Abschlußbericht. [2000]
- Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Schüler sparen Energie. Apr. 2000. BINE basisEnergie 5.
- Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Energieeinsparung in Schulen. BINE Projekt-Info Nr. 6/1997.

#### Internet

- [www.ensan.de](http://www.ensan.de)
- [www.annex36.de](http://www.annex36.de)

#### Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen und Internet-Links sind bei BINE erhältlich oder abrufbar unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/Infoplus)

## PROJEKTORGANISATION

### ■ Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWi  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Jürgen Gehrmann  
52425 Jülich

### ■ Förderkennzeichen

0328622C

## 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.

### ■ Autorin

Dorothee Gintars

## 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
- Themen-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: [www.bine.info](http://www.bine.info)