



## Schule: Vom Plattenbau zum Passivhaus saniert

Durch energetische Sanierung und wissenschaftliches Monitoring über 80 % Heizenergie gespart



*Das Schulhaus des Max-Steenbeck-Gymnasiums in Cottbus war alt und der Umfang der Bauschäden machte eine Sanierung im laufenden Betrieb unmöglich. Deshalb war nur ein Umzug möglich. Dafür musste eine alte Typenschule mit Aula und Turnhalle zunächst umfassend modernisiert werden. Die Stadt Cottbus stellte an die Sanierung hohe Ansprüche in Bezug auf Energieverbrauch, Komfort und Betriebskosten. Nach zwei Jahren Bauzeit, im Oktober 2012, bezogen Schüler und Lehrer das sanierte Gebäude. Die Nutzer loben die sehr ansprechende Optik und das angenehme Raumklima.*

Das alte zweiflügelige Schulgebäude wurde 1974 aus Großplatten im Bausystem „Leichte Geschossbauweise-Cottbus“ errichtet. Dieser Gebäudetyp in Wand-Skelett-Stahlbeton-Bauweise ist regional weit verbreitet. Allein fünf baugleiche Schulen finden sich in Cottbus. So lassen sich die Erfahrungen aus diesem Bauvorhaben für weitere Projekte nutzen.

Die Stadt ließ zunächst in einer Machbarkeitsstudie vier mögliche Sanierungsvarianten prüfen: Abriss und Neubau, Sanierung nach EnEV, Sanierung zum Passivhaus bzw. zum Plusenergiehaus. Trotz höherer Baukosten gegenüber einer Standardsanierung nach EnEV zeigte die Studie, dass die wirtschaftlichste Maßnahme eine Modernisierung nach Passivhaus-Standard ist. Berücksichtigt man eine Nutzungszeit bis 2045, gleichen die geringeren Betriebskosten die höheren Baukosten aus. Aus diesem Grund entschied sich die Stadt Cottbus für diese Variante. Nach der Planungsphase startete 2010 die Baumaßnahme. Das alte Gebäude wurde vollständig entkernt und anschließend nach Passivhaus-Kriterien saniert. Die Fassade erhielt eine 30 cm dicke Wärmedämmung und Fenster mit Dreifach-

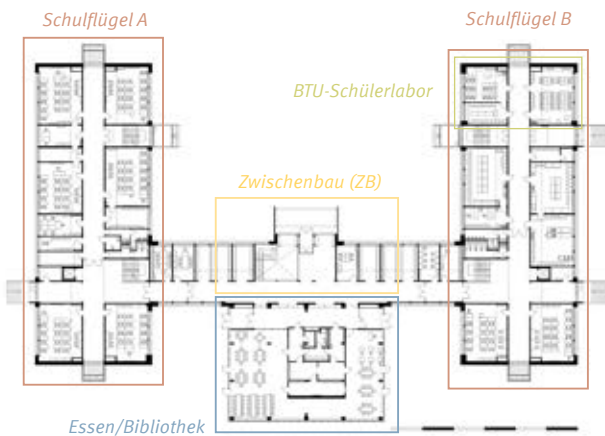


Abb. 1 Grundriss des Max-Steenbeck-Gymnasiums

verglasung. Der durchschnittliche U-Wert der Gebäudehülle beträgt  $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Diese kann ebenfalls mit einer guten Luftdichtheit von  $n_{50} = 0,32 \text{ h}^{-1}$  punkten, Voraussetzung für eine effiziente Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG). Ein Erdsondenfeld wärmt im Winter die Zuluft für die Lüftungsanlage vor. Geheizt wird die Schule mit Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung. Zusätzlich unterstützt eine Solaranlage die Warmwasserbereitung für die Sanitäräume in der Turnhalle. Das naturwissenschaftlich ausgerichtete Ganztags-Gymnasium mit Mensa besuchen etwa 500 Schüler.

### Stundenplan regelt die Lüftungszeiten

Auf dem Dach der Schule befinden sich fünf zentrale Lüftungsgeräte mit WRG, die das Gebäude mit Frischluft versorgen. Ein Luftvolumenstrom von  $20 \text{ m}^3/\text{Person}$  gewährleistet den Grundluftwechsel, der für Schulstunden von 45 Minuten ausgelegt ist. Bei längeren Unterrichtseinheiten, die im Max-Steenbeck-Gymnasium 90 Minuten betragen, kann es notwendig sein, während des Unterrichts kurz über die Fenster zu lüften. Ein höherer mechanischer Luftwechsel wird nicht empfohlen, da im Sanierungsobjekt nicht viel Platz für Kanäle und Anlagen ist. Außerdem könnte dieser zu Strömungsgeräuschen, Zugerscheinungen, trockener Luft im Winter und zu mehr Stromverbrauch führen.

In Räumen ohne wesentliche Schadstoffquellen ist der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluft der Standardindikator für die Raumluftqualität. In anderen Projekten erfassen Sensoren die Kohlendioxidkonzentration und steuern über die Gebäudeleittechnik (GLT) die Lüftungsanlage. Erfahrungen zeigten, dass die Sensoren störanfällig sind und fehlerhafte Signale an die GLT geben können. Daher entschieden die Planer, den Stundenplan als Steuerungselement einzusetzen, um nur genutzte Räume zu lüften. Dies spart Energie und Lüftungs Kapazität, macht es jedoch erforderlich, den Stundenplan in die GLT einzubinden. Hier gab es anfangs Probleme mit den Softwaresystemen. Bei einer außerplanmäßigen Belegung kann die Lüftung über Präsenzmeldetasten in den Räumen aktiviert werden. Abhängig von den Innen- und Außentemperaturen wird die Zuluft mittels Erdwärmetauscher-Sonden vorgewärmt oder vorgekühlt.

### Erdwärmesonden temperieren die Zuluft

Insgesamt 24 Erdsonden liefern die Wärme, um die Zuluft für Haus A, den Zwischenbau und die Aula zu temperieren und die Lüftungsanlagen im Winter eisfrei zu

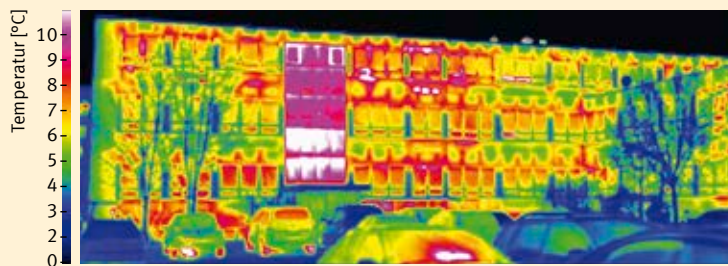


Abb. 2 Schulflügel B vor der Sanierung: Die Thermografie zeigt den ungenügenden Wärmeschutz der Fassade.

System/Komponenten	Details
Fernwärme aus KWK Haus A Ost, B und ZB	Heizkörper Vorlauftemperatur: $70 \text{ }^\circ\text{C}$ Rücklauftemperatur: $40 \text{ }^\circ\text{C}$
Fernwärmerücklauf aus Haus A Ost Haus A West	Heizkörper mit größerer Heizfläche, Vorlauftemperatur: $38 \text{ }^\circ\text{C}$ Rücklauftemperatur: $23 \text{ }^\circ\text{C}$
Solkollektoren zur Warmwasserbereitung (Turnhalle) mit drei Pufferspeichern	$40 \text{ m}^2$ , Fassungsvermögen: $3 \times 950 \text{ l}$ Überschusswärme wird im Erdreich unter der Turnhalle gespeichert
hybrides Lüftungskonzept mit WRG, fünf Lüftungsanlagen auf dem Dach	Luftvolumenstrom $20 \text{ m}^3/\text{Person}$
Steuerung der Lüftungsanlage sonstige Kriterien	automatisch gemäß Stundenplan
<ul style="list-style-type: none"> <li>Montag bis Freitag</li> <li>außerplanmäßiges Lüften</li> <li>im Sommer</li> <li>im Hochsommer</li> <li>Ferien, Feiertage, Samstage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorspülen aller Räume 6.15–7.30 Uhr</li> <li>Raumpräsenztaste für 2 h</li> <li>freie Nachtlüftung über die Lüftungsanlage</li> <li>manuelle Fensterlüftung 5.00–7.45 Uhr</li> <li>keine Lüftung</li> </ul>
Vortemperierung/Kühlung der Zuluft in Haus A, ZB	drei Erdsondenfelder mit insgesamt 24 Erdsonden, Bohrtiefe $70 \text{ m}$
Vortemperierung der Zuluft in Haus B	Fernwärme
außenliegender Sonnenschutz elektrisch betriebener Raffstore	Steuerung in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Fassadenausrichtung

Abb. 3 Zusammenfassung: eingebaute Gebäudetechnik

halten. Die Ergebnisse des Monitorings bestätigen die korrekte Auslegung der Anlage. Auch nach mehrstündigem Betrieb sinkt die Temperatur der aus dem Erdreich gepumpten Sole nicht unter  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  im Winter und steigt im Sommer nicht über  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Erdwärmetauscher-Sonden liefern somit 10 % der Heizwärme und kühlen im Sommer die Zuluft. Dies entspricht durchschnittlich  $17 \text{ MWh}$  Wärme und  $16 \text{ MWh}$  Kälte. Die Temperatur der Zuluft liegt an hochsommerlichen Tagen durchschnittlich  $10 \text{ K}$  unter der Außentemperatur. Allerdings ist der Effekt in den Klassenräumen gering, da die massiven Wände und Decken viel Wärme speichern und die Luftwechselrate nicht deutlich erhöht werden kann. Gegenüber Räumen, die mit ungekühlter Luft versorgt werden, ergibt sich eine Temperaturabsenkung von  $0,5 \text{ K}$ . Zwar erreicht nicht die gesamte Kühlleistung der Zuluft den Klassenraum, die Kühlung der Kanalwege nutzt jedoch dem gesamten Gebäude.

### Fernwärmerücklauf beheizt Teile der Schule

Für einen Teil der Schule wird nicht der Vorlauf sondern der Rücklauf eines anderen Schulflügels verwendet. Größere Heizflächen sorgen dafür, dass trotz der niedrigeren Temperaturen ausreichend Wärme für den Raum zur Verfügung steht. Die Temperatur des aus dem Rücklauf gewonnenen Vorlaufs liegt bei ca.  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Bei Bedarf kann die Temperatur durch Zugabe aus dem Vorlauf erhöht werden. Im ersten Betriebsjahr 2013 konnten 60 % der Heizwärme aus dem Fernwärmerücklauf des Hauses A entnommen werden. Dies entspricht  $16 \text{ MWh}$  Wärme. Das Temperaturniveau des Rücklaufs zum

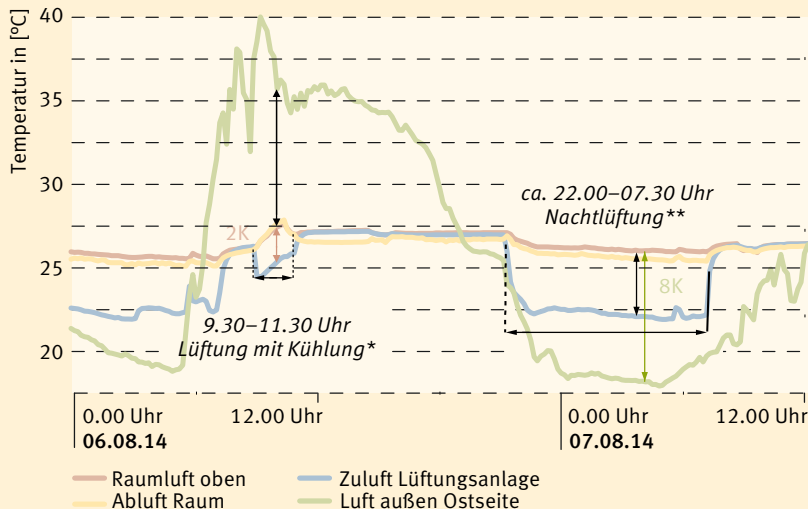


Abb. 4 Betrieb der Lüftungsanlage an einem Hochsommertag

\* Tageslüftung besser mit Lüftungsanlage

\*\* Nachtlüftung besser über Fensteröffnung

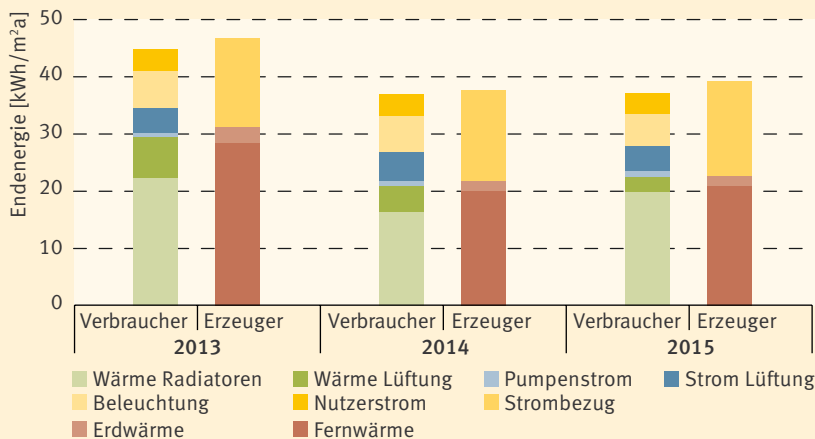


Abb. 5 Energiebilanz des Max-Steenbeck-Gymnasiums 2013 bis 2015, dargestellt sind der Verbrauch und der Bezug

Kraftwerk sinkt auf ca. 22 °C. Damit verbessert sich der Wirkungsgrad des Heizkraftwerks, da die Wärmeverluste des Rücklaufs auf dem Weg zum Kraftwerk sinken.

### Monitoring senkt den Energieverbrauch

Vier Jahre begleitete die BTU Cottbus die Einregulierungsphase und den Betrieb des Gebäudes. Die ersten zwei Jahre förderte das BMWi und anschließend übernahm die Stadt Cottbus die Kosten für das Monitoring. Während dieser Zeit erfassten und bewerteten die Wissenschaftler wichtige Verbrauchsparameter. Die Ergebnisse halfen, Fehlschaltungen zu erkennen und Planwerte zu überprüfen. 2016 lag der Primärenergieverbrauch mit 30 kWh/m<sup>2</sup>a unter dem anvisierten Wert von 34 kWh/m<sup>2</sup>a und bestätigt damit das Sanierungs- und Energiekonzept.

Während des Monitorings konnten verschiedene Betriebsparameter optimiert werden. Beispielsweise erfolgte die Steuerung der Heizung über die Außentemperatur. Dies führte im Hochsommer dazu, dass morgens vor Anwesenheit der Schüler der Heizbetrieb startete, obwohl es im Gebäude ausreichend warm war. Gut gedämmte Gebäude sind von der Außentemperatur weitestgehend entkoppelt, sodass diese für die Regelung nicht geeignet ist. Der morgendliche Heizbetrieb entfiel, nachdem die Steuerung anhand eines Referenzraumes erfolgte. Damit sich die Heizpumpen bei fehlender Wärmeabnahme nicht mehr einschalten, senkten die Techniker die Heizgrenztemperatur auf einen für Passivhäuser typischen Wert

## Wärmesee entsteht unter der Turnhalle

Ein Solarkollektorfeld auf dem Dach der Turnhalle erzeugt Warmwasser für die Dusch- und Waschräume in der Turnhalle, die überwiegend am Nachmittag und Abend von Vereinen genutzt werden. Mit der überschüssigen Wärme wird der Erdwärmespeicher unter der Turnhalle beladen, um die Wärmeverluste über die schlecht gedämmte Bodenplatte (U-Wert 0,43 W/m<sup>2</sup>K) zu mindern. Dies geschieht vorrangig während der Ferien, wenn kein Duschwasser benötigt wird oder das Temperaturniveau der Solarkollektoren nicht ausreicht, um die Warmwasserspeicher zu beladen.

In ehemaligen Lüftungsgängen unter der Turnhalle wurden Soleleitungsschleifen eingelegt, die von solar erwärmtem Wasser durchströmt werden. Rings um die Turnhalle ermöglicht eine Dämmschürze aus Schaumglasschotter die Ausbildung des Wärmesees, der über die Jahreszeiten erhalten bleibt. Die Wissenschaftler beobachteten über Sensoren die Temperaturentwicklung des Erdreichs. Gegenüber der Ausgangstemperatur erhöhte sich diese um 3 K. Damit spart die Turnhalle pro Heizperiode ca. 6 MWh Heizwärme. Die Temperatur des Erdreichs liegt ganzjährig unter der durchschnittlichen Raumlufthtemperatur. Daher ist nicht zu befürchten, dass die Turnhalle im Sommer zu warm wird.

von 10 °C. Probleme bereitete auch die Jalousiesteuerung. Im Sommerhalbjahr schlossen sich morgens alle Jalousien des Gebäudes. Mittlerweile sind die Jalousien entsprechend der Fassadenausrichtung morgens nur im Osten, mittags im Süden und nachmittags im Westen geschlossen, um einen zu hohen Energieeintrag zu verhindern. Ansonsten wird das natürliche Tageslicht weitgehend genutzt. Grundsätzlich hat der Lehrer die Möglichkeit, in die Steuerung manuell einzugreifen.

Die Lüftungsanlage der Schule war ein Schwerpunkt des Monitorings. Die Wissenschaftler untersuchten Einschaltzeiten, Temperaturen, Volumenstrom sowie die Schaltkriterien. Die Ergebnisse zeigten beispielsweise, dass die Schule anfangs auch in den Ferien und an Sonn- und Feiertagen durchgehend geheizt und gelüftet wurde. Inzwischen kann über einen Kalender in der GLT die Lüftung abgestellt und in den Ferien die Heizung abgesenkt werden.

Zahlreiche Parameter müssen in der GLT kontrolliert und manuell eingestellt werden. Das betrifft die Eingabe des Stundenplans, die Umstellung von Sommer auf Winterbetrieb, Ferienzeiten und Anforderungen an die Lüftung. Der Automatisierungsgrad ist teilweise zu gering. Die Anforderungen an die Hausmeister steigen, diese müssen die GLT regelmäßig auf Fehlermeldungen prüfen sowie Programmierungen vornehmen.

Die Ergebnisse belegen, dass auch bei einer sorgfältigen Planung ein anschließendes Monitoring die Energiebilanz und die Behaglichkeit deutlich verbessert. Wichtig ist vor allem, die Laufzeiten bei Lüftern, Warmwasserbereitung und Flurbeleuchtung zu reduzieren und Anlagen in den Nichtnutzungszeiten abzuschalten. Auch im vierten Jahr haben die Optimierungsmaßnahmen Energie- und damit Kosteneinsparungen bewirkt.



## Das Raumklima überzeugt

Ziel einer Schulsanierung ist nicht nur ein energieeffizientes Gebäude, das geringe Betriebskosten verursacht, sondern ebenfalls ein gutes Raum- und Lernklima. Neben der Luftqualität, der Beleuchtungssituation und der Akustik spielt das Thema thermische Behaglichkeit eine bedeutende Rolle. Diese ist abhängig von Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Bekleidungs- und Aktivitätsgrad des Menschen. Die Bewertung des Raumklimas ist sehr subjektiv geprägt und von der Erwartungshaltung jedes einzelnen Schülers und Lehrers beeinflusst.

### Begleitforschung bestätigt thermische Behaglichkeit

Im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Forschung des Förderschwerpunktes Energieeffiziente Schule führten die Wissenschaftlerinnen des Instituts für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES), [www.irees.de](http://www.irees.de), zwei standardisierte Befragungen am Max-Steenbeck-Gymnasium durch. Die erste erfolgte 2011 im alten Gebäude. 205 Schüler und 32 Lehrer füllten die Fragebögen aus. Drei Jahre später fand der Unterricht bereits im sanierten Haus statt. 315 Schüler und 13 Lehrkräfte beantworteten nochmals die gleichen Fragen.

Die Bewertung der einzelnen Parameter zum Raumklima erfolgte entsprechend einer Skala von eins bis sechs. Bis auf die Luftqualität erhielten alle Aspekte im sanierten Gebäude eine bessere Note. Die weniger gut beurteilte Luftqualität steht im Widerspruch zu den Messergebnissen. Diese zeigten, dass bei 80 % der Messungen die Kohlendioxidkonzentration unter 800 ppm und zu 98 % unter 1.500 ppm lag. Dabei muss man berücksichtigen, dass die Luftqualität nicht nur über die CO<sub>2</sub>-Konzentration abgebildet werden kann. Umso wichtiger ist die Abfrage der subjektiven Bewertung der Luftqualität. Cottbus ist kein Einzelfall: Die Luftqualität und das damit verbundene Thema Lüftung war in allen untersuchten Schulen bei Lehrern und Schülern ein Diskussionspunkt, unabhängig davon, ob maschinell oder über die Fenster gelüftet wurde.

Besonders positiv schnitten die Optik des Gebäudes, die Lichtverhältnisse und die Beleuchtung sowie der Blendschutz ab. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sowohl die Schülerschaft als auch die Lehrkräfte die Sanierung des Gebäudes als gelungen empfinden.

Ein guter thermischer Komfort und hohe Luftqualität entstehen nicht automatisch. Gebäudeeigentümer, Hausmeister, Schülerschaft und Lehrkräfte können durch entsprechendes Lüftungsverhalten das Gebäudekonzept unterstützen und so zu einer energieeffizienten Betriebsweise beitragen.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Stadt Cottbus/Fachbereich Immobilien, Annette Neupetsch, [Annette.Neupetsch@cottbus.de](mailto:Annette.Neupetsch@cottbus.de), [www.cottbus.de](http://www.cottbus.de)
- » **Monitoring:** BTU Cottbus-Senftenberg – Arbeitsgebiet Angewandte Physik/Thermische Nutzung der Solarenergie, Dr. Tobias Häusler, [tobias.haeusler@b-tu.de](mailto:tobias.haeusler@b-tu.de), [www.b-tu.de/fg-thermophysik](http://www.b-tu.de/fg-thermophysik)

## Links und Literatur

- » [www.projektinfos.energiewendebauen.de](http://www.projektinfos.energiewendebauen.de) » [www.eneff-schule.de](http://www.eneff-schule.de) » [www.irees.de](http://www.irees.de)
- » Neupetsch, A.; Häusler, T.: Energieoptimiertes Bauen. EnEff-Schule. Sanierung Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus. Schlussbericht zum BMWi-Projekt FKZ 0327430L. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg. Fachbereich Angewandte Physik/Thermophysik (Hrsg.); Stadt Cottbus. Fachbereich Immobilien (Hrsg.). Sept. 2015. DOI 10.2314/GBV:863184863

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Lüften in Schulen. BINE-Themeninfo I/2015
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_08\\_2017](http://www.bine.info/Projektinfo_08_2017)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Doris Laase  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
0327430L

**ISSN**  
0937-8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autorin**  
Micaela Münter

**Urheberrecht**  
Titelbild, Abb. 4 und 5:  
BTU Cottbus-Senftenberg  
Abb. 1: ARGE Steenbeck, Cottbus  
Abb. 2: GWJ Ingenieurgesellschaft  
für Bauphysik  
Abb. 3: BINE Informationsdienst

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages