

## Hybride Lüftung verbessert Raumklima in Schulen

Abb. 1



- ▶ **Gutes Raumklima kann die Konzentrationsfähigkeit von Schülern verbessern**
- ▶ **Im Winterhalbjahr reicht Stoßlüftung für eine gute Luftqualität bei guter thermischer Behaglichkeit nicht aus**
- ▶ **Deutliche Verbesserungen von Luftqualität und Behaglichkeit wurden erreicht**
- ▶ **Hybride Lüftung eignet sich besonders für die Gebäudesanierung**

*Das Fraunhofer Institut für Bauphysik in Holzkirchen hat in einem nachgebauten, typischen Klassenraum geregelte Fensterlüftung erprobt.*

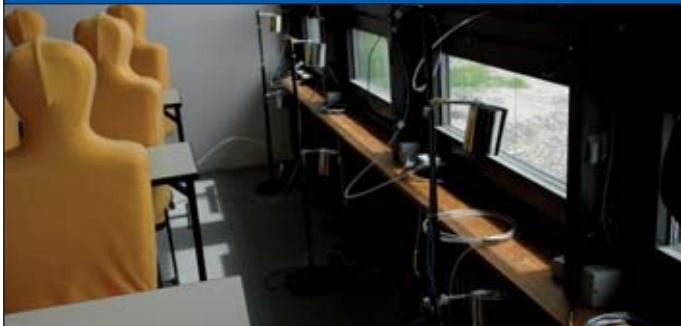
**Z**ahlreiche Untersuchungen belegen, dass bisher in Schulen zu wenig gelüftet wird und der Kohlendioxidgehalt der Luft oft hygienisch inakzeptable Größenordnungen erreicht. Dies beeinträchtigt die Konzentrationsfähigkeit der Schüler. Daher gehören Lüftungskonzepte bei der energetischen Sanierung von Schulen zu den Topthemen. In einem Verbundvorhaben entwickelten Forscher zwei innovative Konzepte zur Lüftung, welche auf einem Zusammenwirken von natürlichen und maschinellen Antriebskräften beruhen. Ein Regelungssystem stellt automatisch die ideale Betriebsweise ein. Wann immer es die Witterung, die Außengeräusche und die Behaglichkeit im Raum zulassen, sollen die natürlichen Antriebskräfte genutzt werden. Nur in den verbleibenden Zeiträumen soll die Lüftung maschinell übernommen oder unterstützt werden. In einem Projekt des Fraunhofer IBP im bayerischen Holzkirchen wurden automatisierte Öffnungssysteme in einem Feldversuch erprobt und eine Regelung entwickelt. In einem anderen Projekt der RWTH Aachen wurden in Berlin zusätzlich zu automatisierten Fenstern dezentrale Lüftungsgeräte in die Fassadenelemente einer Schule eingesetzt. Der Industriepartner Wildeboer Bauteile GmbH hat hierfür ein neues Gerät entwickelt, das speziell für den Einsatz in Schulen ausgelegt ist.

Verglichen mit anderen Gebäuden herrschen in Schulen besondere Bedingungen. Im Unterschied zu Büros wird die Fläche der Klassenräume so intensiv genutzt, dass Tische und Stühle meist bis in unmittelbare Nähe von Heizkörpern und Fenstern gestellt werden. Dies beeinträchtigt die herkömmliche Fensterlüftung. Tendenziell sind die Räume im Winter phasenweise zu kalt und im Sommer zu warm. Die Abwärme der Schüler kann große Teile des Heizwärmebedarfs decken. Kommt dann noch Sonneneinstrahlung hinzu, schwankt die erforderliche Heizleistung um ein Vielfaches. Wegen der dichten Belegung müssen Klassenräume sehr viel intensiver gelüftet werden als Büros oder Wohnungen.

Beim Thema Lüftung in Schulen geht es aber nicht nur um Luftqualität, sondern auch um das Raumklima insgesamt. Dazu gehören auch die thermische Behaglichkeit und die akustische Situation sowie Nutzerverhalten, Lernbedingungen, Energieverbrauch und Praxistauglichkeit. Jede Sanierung von Schulen bietet viele Chancen für Verbesserungen. Effiziente Schulgebäude mit hohem Nutzerkomfort sind daher ein Schwerpunkt der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Energieforschung.

## ► Was das Raumklima beeinflusst

**Abb. 2: Versuchsstand mit „Schülern“, Messtechnik und Fensteröffnungssystemen**



Zu Beginn des Projekts in Holzkirchen wurden 106 Klassenräume im bayerischen Landkreis Miesbach begangen, um – mangels bundesweiter Statistiken – Aussagen über die bauliche Ausstattung von Schulen treffen zu können. Erfasst wurde alles, was das Raumklima beeinflusst. Dabei geht es

um Temperieren, Lüften und Belichten. Der Fensterflächenanteil in Klassenräumen liegt zwischen 30 und 60%. Alle Klassenräume werden über Fenster belüftet; es dominieren Drehkippflügel und Schwingflügel. Nur die Hälfte der Räume verfügt über einen außenliegenden Sonnenschutz. Bei diesem ist dann

manchmal der Spalt zwischen Fassade und Sonnenschutz so eng, dass er das Lüften einschränkt. Der Wert für die Fläche pro Schüler lag bei ca. 2 m<sup>2</sup>. Mit den gewonnenen Daten wurden zwei Referenzklassenzimmer als Freilandversuchsstand nachgebaut.

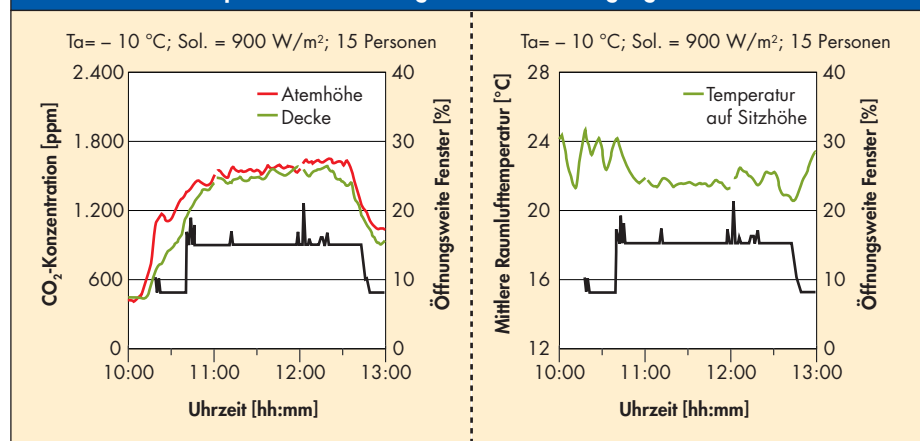
## ► Fenster definiert und automatisch öffnen

Im Holzkirchener Projekt des Fraunhofer IBP wird einem Klassenraum anstelle einer Stoßlüftung kontinuierlich über automatisierte Fensteröffnungssysteme so viel Frischluft zugeführt, dass die CO<sub>2</sub>-Werte unbedenklich und die Raumtemperaturen im akzeptablen Bereich bleiben.

Für die Untersuchungen wurden zwei Klassenräume mit je 24 Plätzen als Versuchsstand nachgebaut. Anstelle von Schülern wurden mannsgroße Puppen eingesetzt, die pro Stunde 75 Watt sensible Wärme und 20 l CO<sub>2</sub> an die Innenluft abgeben (Abb. 2). Mehrfach wurden auch stundenweise Messungen mit Versuchspersonen (Abb. 1) durchgeführt. In Messachsen angeordnete Sensoren zur Erfassung von CO<sub>2</sub>-Gehalt, Innentemperatur, Oberflächentemperatur und Luftströmung waren im Raum installiert. Zwei Fragen standen im Mittelpunkt: Wie ist die bestmögliche Anordnung der Fenster in der Fassade im Hinblick auf einen stabilen Luftaustausch und thermisch behagliche Verhältnisse? Wie lässt sich ein automatisiertes Öffnen der Fenster mittels Stellmotoren praxisgerecht regeln?

Die Fassade lässt sich mit unterschiedlichen Kombinationen und Anordnungen von Kipp- und Schwingflügeln bestücken. Verschiedene Varianten der Öffnung der Fenster bzw. Fenstergruppen wurden erprobt. Unter Winterbedingungen schnitten dabei die Schwingflügel am besten ab. Kippflügel zeigten dann die besten Ergebnisse, wenn mehrere übereinander angeordnet waren und in unterschiedlichen Höhen geöffnet werden konnten. Dabei nahmen Zuglufterscheinungen ab, je höher die Fenster lagen. Es reichte aus, nur jedes zweite Fenster mit einem automatisierten Öffnungssystem aus-

**Abb. 4: Regelversuch mit Personen: Dargestellt sind CO<sub>2</sub>-Konzentration, Raumlufttemperatur und Öffnungsweite der Schwingflügel**



zurüsten; die übrigen könnten manuell bedient werden. Abb. 4 zeigt das Ergebnis eines Versuchs mit Testpersonen. Erkennbar ist, dass bei sehr niedrigen Außentemperaturen durch automatisiertes Öffnen der Fenster mit einer geringen Öffnungsweite ein weiterer Anstieg der CO<sub>2</sub>-Werte bei guter thermischer Behaglichkeit wirksam verhindert werden kann.

### Regelungskonzept

Für die Steuerung der Fensteröffnungssysteme und der Heizung wurde eine Regelung entwickelt, die auf empirischem Wissen und Fuzzy-Logik basiert. Diese kann menschliche Entscheidungswege nachbilden und definiert z. B. für Schaltvorgänge weiche Übergangsbereiche statt fester Werte. So können viele, teilweise gegensätzliche Parameter von der Regelung berücksichtigt werden: Raumtemperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt, Heizwärmebedarf, die Zahl der anwesenden Personen sowie die Störgrößen Außentemperatur, Windge-

windigkeit und -richtung. Während des Winters kann dabei der Einfluss der Windgeschwindigkeit bei Schwingflügeln und Kippflügeln in zwei Reihen übereinander vernachlässigt werden. Im Sommer kann die Regelung ab 10 °C Außentemperatur sich rein auf die Luftqualität konzentrieren. Bei sommerlichen Außentemperaturen wird wieder die Raumtemperatur maßgebend. Ein Beispiel: Steigen die CO<sub>2</sub> Werte über 1.000 ppm an, dann trifft die Regelung aufgrund des Gesamtbilds aller Daten die Entscheidung, wann welche Fenster mit welcher Weite geöffnet werden.

Die Regelung kann mehrere Eingangsgrößen gleichzeitig verarbeiten und hat sich im Feldversuch bewährt. Mit zunehmender Zahl anzuwendender Regeln reagiert sie stabiler. Im Ergebnis blieb so bei sehr niedrigen Außentemperaturen die Raumtemperatur bis zum 2,5-fachen Luftwechsel pro Stunde im akzeptablen Bereich.

## Luftqualität in Schulgebäuden

Eine Klasse mit 30 Schülern benötigt nach DIN EN 15251 Kategorie II pro Stunde etwa 900 m<sup>3</sup> Frischluft. Während dieser Zeit fallen ca. 2,5 kWh Wärme, 1,5 kg Wasserdampf und ca. 500 Liter CO<sub>2</sub> an. Diese inneren Lasten müssen aus Gründen der Hygiene abgeführt werden. CO<sub>2</sub> ist dabei der lufthygienische Leitparameter. Mit einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Werte sind meistens auch erhöhte Anteile von Schadstoffen und Gerüchen verbunden. In der Summe kann dadurch die Konzentrationsfähigkeit von Schülern sinken. Einige Anzeichen deuten darauf hin, dass sich in einem derartigen Raumklima

auch Krankheitserreger schneller verbreiten können. Ein Klassenzimmer gilt als behaglich, wenn der maximale CO<sub>2</sub>-Gehalt die 1.000 ppm einhält, die Innenraumtemperatur zwischen 20 °C und 26 °C liegt, ausgekühlte Bauteile keinen unangenehmen Wärmeaustausch verursachen und keine Zugluft auftritt. Hier stößt die herkömmliche Fensterlüftung an ihre Grenzen. Untersuchungen zeigen: Bei Außentemperaturen unter 10 °C wird zu selten und zu kurz gelüftet. Dadurch steigen Raumtemperatur und CO<sub>2</sub>-Werte im Laufe des Unterrichts immer weiter an. Um das zu vermeiden, müsste die

Klasse ca. alle 20 Minuten die Fenster öffnen. In der Praxis geschieht dies nicht, weil z. B. Außenlärm einen konzentrierten Unterricht stört. Hinzu kommen thermische Effekte: Im Winter sinkt einströmende Frischluft den am Fenster Sitzenden als Kaltluftstrom auf Füße und Beine. In Schulen, wo je nach Belegungsichte ein 2,5- bis 5-facher Luftwechsel für ein gutes Raumklima von Nöten wäre, wird in der Praxis oft nur ein Wert um 1 erreicht. Das Umweltbundesamt empfiehlt, bei CO<sub>2</sub>-Momentanwerten zwischen 1.000 und 2.000 ppm aktiv zu lüften (Abb. 3).

## ► Ein dezentrales Lüftungsgerät integrieren

Im Projekt der RWTH Aachen zur hybriden Lüftung wurde die automatisierte Fensterlüftung mit einer maschinellen Lüftung kombiniert. Der Luftwechsel soll dabei konstant die Kriterien der Behaglichkeit, der Luftqualität und der Akustik erfüllen sowie energieeffizient erfolgen. Dafür wurde ein komplettes Fassadenelement entwickelt, das aus einem Oberlicht und einem Drehkipfenster besteht, die sich automatisiert öffnen lassen, sowie einem dezentralen Lüftungsgerät mit einer integrierten Wärmerückgewinnung im Brüstungsbereich. Als Ergebnis einer dynamischen Simulation wurde ein Regelungskonzept entwickelt. Aufbauend auf den Ergebnissen eines Laborteststandes fand ein Feldversuch an zwei benachbarten Klassenräumen des Oberstufenzentrums Energie-technik II in Berlin statt.

### Der Feldversuch

Im ersten Jahr des Feldversuchs wurde in beiden Klassenräumen die Raumtemperatur und die Luftqualität gemessen. Im zweiten Jahr erhielt einer der Räume einen kompletten Austausch der Fassade und es wurden drei Elemente des o. g. Fassadenelements eingebaut, die auch die Beheizung des Raums übernehmen. Die Nutzer können über ein Touchpanel die Temperatur und den Volumenstrom der Frischluft beeinflussen sowie einzelne Fenstergruppen öffnen, falls die automatische Betriebsführung nicht ihren Bedürfnissen entspricht. Die Regelung des Systems lässt drei Betriebsweisen zu: Fensterlüftung, maschinelle Lüf-

tung und eine kombinierte Variante, die hybride Lüftung. Unterrichtsräume werden nur in etwa 14% des Jahres genutzt, daher ist eine bedarfsgeführte Regelung aus energetischen Gesichtspunkten unerlässlich. Über die Regelung des Volumenstroms anhand der aktuellen CO<sub>2</sub>-Konzentration wird nur dann gelüftet, wenn Personen anwesend sind. Die Zeit vor und nach den Unterrichtseinheiten wird für Stoßlüftung genutzt, in diesen Zeiten können die Anforderungen an die Akustik und die thermische Behaglichkeit herabgesetzt werden.

Unter diesen Randbedingungen kann im Hybridkonzept die Fensterlüftung 40% und das Lüftungsgerät 60% der Raumlüftung übernehmen. Kipfenster erreichen bei 12 K Temperaturdifferenz zwischen innen und außen den maximalen Luftaustausch. Das Projekt hat die gesteckten Ziele für thermische Behaglichkeit im gesamten Klassenraum erreicht. Die Luftqualität hat sich deutlich verbessert und auch im Winter wurde im Durchschnitt der Zielwert von 1.000 ppm CO<sub>2</sub> erreicht.

In Abb. 6 ist zu erkennen, dass es an einigen Tagen aufgrund sehr hoher Belegungsichten zugelassen wurde, zu Gunsten einer besseren Raumakustik diesen gesetzten Zielwert zu überschreiten. Seit 2010 wird ein optimiertes Lüftungsgerät mit geringeren Schallemissionen untersucht und eingesetzt. Durch Verbesserungen am Lüftungsgerät und der Luftführung sollen in Zukunft immer CO<sub>2</sub>-Werte unter 1.000 ppm sichergestellt werden. ■

## ► Das Lüftungsgerät für das hybride System

Die Liste der Anforderungen an das fassadenintegrierte Lüftungsgerät war lang: interaktiv zu betreiben auch bei geöffnetem Fenster, leise, hoher Volumenstrom, einfach und robust, energieeffizient, wirtschaftlich, wartungsarm und stabil im Schulalltag. Das Gerät im Feldversuch fördert Zu- und Abluft mit nur einem Ventilator, wobei die benötigte Luftmenge über einen drehzahlva-

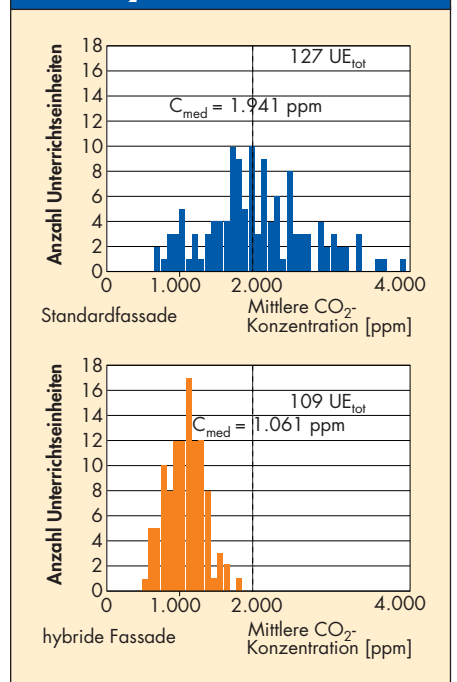
riablen EC-Motor stufenlos angepasst wird. Damit wird bei Bedarf die Fensterlüftung, im Teillastbetrieb beginnend, unterstützt, bis das Gerät letztlich die Lüftung vollständig übernimmt. Dies minimiert den energetischen Aufwand für das hybride System. Die strömungsgünstig gestalteten Luftkanalwege ermöglichen eine vergleichsweise große Luftmenge und wegen der hohen in-

neren Wärmelasten in Schulen begrenzt das Gerät den Beitrag der Wärmerückgewinnung. Das neu entwickelte Gerät ersetzt den Heizkörper; ist der Unterrichtsraum nicht belegt, kann eine Temperierung auch im Umluftbetrieb erfolgen. Zudem bietet es die Möglichkeit zur Raumluftkühlung. ■

Abb. 5: Klassenzimmer mit hybrider Fassade



Abb. 6: Vergleich der mittleren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Winter





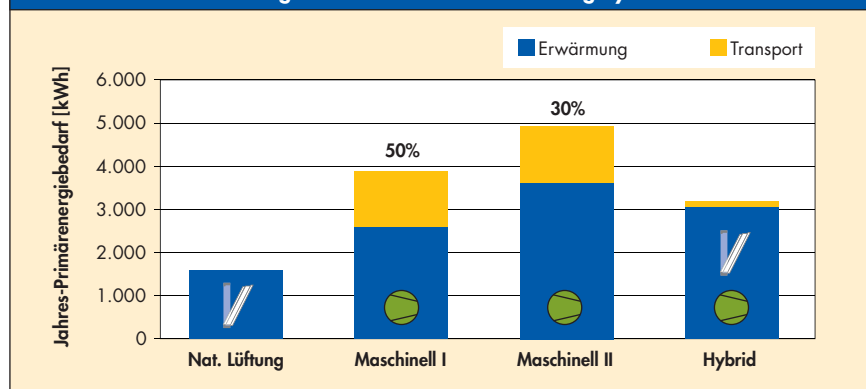
## Fazit und Ausblick

Neben zentralen und dezentralen Lüftungsanlagen gibt es mit der hybriden Lüftung ein drittes Konzept, die Luftqualität und die Behaglichkeit in Klassenräumen zu verbessern. Die beiden vorgestellten Projekte eignen sich für unterschiedliche Schulgebäude. Im Projekt in Holzkirchen wurde ein leistungsfähiges Regelkonzept für die automatisierte Fensterlüftung entwickelt. Ergänzende organisatorische Maßnahmen, z. B. auch am Nachmittag den Sonnenschutz zu schließen und im Sommer nachts den Klassenraum zur Temperatursenkung zu lüften, bieten sich an. Das zweite Projekt zielt auf eine verlässliche Behaglichkeit und kombiniert automatisierte Fenster- und eine maschinelle Lüftung. Das Lüftungsgerät hat sich dabei als robust und zuverlässig bewährt.

Welches das richtige Lüftungskonzept für eine Schule ist, hängt entscheidend von den örtlichen Gegebenheiten ab. Bei einer Sanierung spricht vieles für hybride Lüftungskonzepte oder dezentrale Lüftungsgeräte. Im Vergleich zu zentralen Anlagen haben diese nur kurze Luftwege, kaum Probleme mit dem Brandschutz, benötigen nur 10% der Transportenergie und eine bedarfsgerechte Steuerung fällt leichter.

Eine Abschätzung des Jahres-Primärenergiebedarfs für die Lüftung eines Schulraumes auf Basis dynamischer Computersimulationen zeigt, dass eine dezentrale hybride Lüftung gegenüber einer zentralen maschinellen Lüftung einen um etwa 20% reduzierten Energiebedarf aufweist (Abb. 7). Der Feldversuch der RWTH Aachen wird noch bis März 2011 fortgeführt. Anschließend fließen alle gewonnenen Erkenntnisse in die weitere Entwicklung des seriellen Lüftungsgerätes für das hybride System der Wildeboer Bauteile GmbH ein. Für Schulträger und Fachplaner wird noch ein Leitfadens erstellt, wie sich künftig hybride Lüftungstechnik in Sanierungskonzepten integrieren lässt.

Abb. 7: Jahres-Primärenergiebedarf verschiedener Lüftungssysteme



### PROJEKTADRESSEN

#### Koordination und automatisierte Fensteröffnung

- Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) Holzkirchen  
Abteilung Raumklima  
Prof. Dr.-Ing. R. T. Hellwig (jetzt Hochschule Augsburg), S. Steiger  
www.ibp.fraunhofer.de

#### Hybride Fassade

- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen  
E.ON Energy Research Center  
Prof. Dr.-Ing. D. Müller, I. Eggers, P. Matthes, J. Panaskova  
www.eonerc.rwth-aachen.de

#### Lüftungsgerät

- WILDEBOER Bauteile GmbH  
Dr. J. Wildeboer, T. Harms, H. Willms  
www.wildeboer.de

#### Fassadenbau

- Technische Universität Berlin  
Fachgebiet für konstruktives Entwerfen und klimagerechtes Bauen  
Prof. R. Hascher, R. Ihle  
www.kekb.tu-berlin.de

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Literatur und Internet

- Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart (Hrsg.): Besseres Lernen in energieeffizienten Schulen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. 2010, 19 S., ISBN: 978-3-8167-8276-6
- Die Beteiligten haben zu ihren Projekten zahlreiche Berichte, Aufsätze und Vorträge veröffentlicht. Ein Verzeichnis dieser Veröffentlichungen steht bei der elektronischen Ausgabe dieses Projektinfo unter www.bine.info zum Download. Außerdem finden sich dort noch weitere Abbildungen zur Ansicht.
- www.enob.info

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 3, 4, Hintergrundbild S. 4: Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)
- Abb. 5, 6, 7, Hintergrundbild S. 1: RWTH Aachen, E.ON ERC

#### Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

### PROJEKTORGANISATION

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Rolf Stricker  
52425 Jülich

Förderkennzeichen  
0327387A-D

### IMPRESSUM

ISSN  
0937 – 8367

Version in Englisch  
Das Dokument finden Sie unter www.bine.info.

Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

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

Autor  
Uwe Milles

### BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

#### Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem projektinfo? Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44

 **BINE**  
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

kontakt@bine.info  
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages