

### 3.6 Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern

Dipl.-Ing. (FH) Jesus da Costa  
Fernandes M.Sc.

Dipl.-Ing. Thomas Feldmann

Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin

Forschungsgruppe net – Nachhaltige  
Energietechnik

#### Abstract

Recent modernization activities in retrofitting school buildings were mostly concentrated on thermal insulation and reduction of costs for heating. Meanwhile the growing impact of the "climate change" forces decision makers to take the more frequent overheating in hot summer periods into account. Within a research project the University of Applied Sciences Offenburg and the municipality of Offenburg implemented strategies based on shading combined with night ventilation in order to reduce the heat load of school buildings. An important role was given to the building automation with a remote access via internet communication for a centralized building and energy management.

#### Einleitung

Mit dem Anliegen, der sommerlichen Überhitzungssituation in Klassenzimmern wirksam entgegenzuwirken, ist die Stadt Offenburg an die Forschungsgruppe net der Hochschule Offenburg herangetreten. Im Sinn der Nachhaltigkeit sollten Maßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden, die ohne aktive Kühlsysteme auskommen.

Der technische Ausstattungsgrad der im Projekt betrachteten Schulen stellte sich als sehr unterschiedlich heraus. Damit gestaltete sich auch die Umsetzung von Maßnahmen unterschiedlich komplex. Insgesamt wurden 6 von 22 Schulgebäuden der Stadt Offenburg bearbeitet. Vier der Schulgebäude sind als exemplarisch wichtige Objekte einzustufen, da sie grundlegende Unterschiede bei der Nachtkühlungsstrategie sowie zur Bauphase und des Ausstattungszustands aufweisen. Die Maßnahmen selbst sollten in kommunale Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten eingebunden werden.

#### Sommerliche Ausgangssituation

Eine Analyse der Wettermessdaten der Hochschule Offenburg aus den vergangenen zehn Sommerperioden (1.4. –

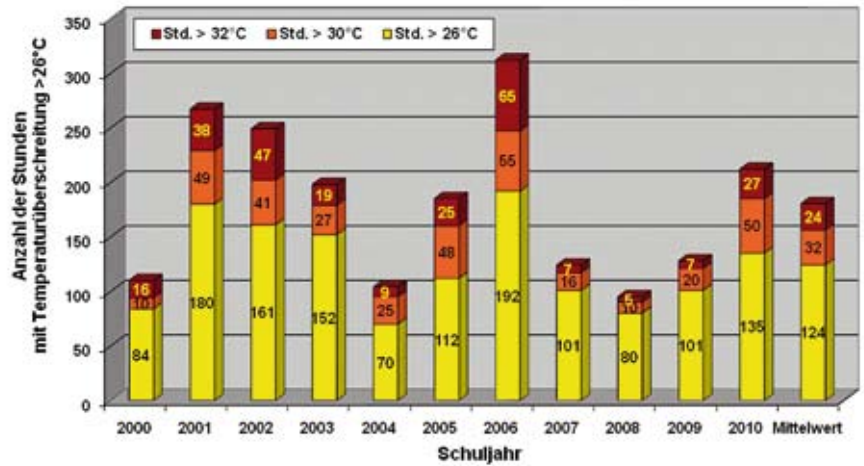


Abb. 3.6-1: Außentemperatur über 26 °C an Unterrichtstagen

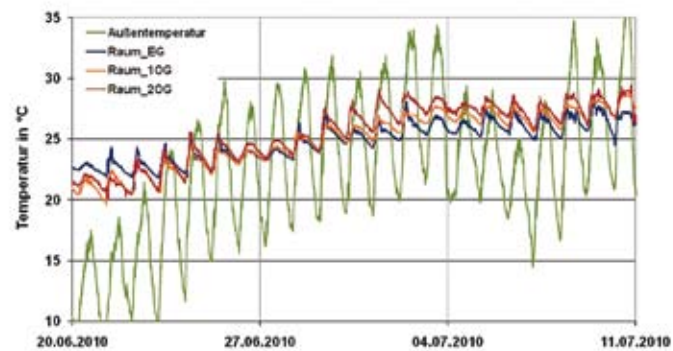


Abb. 3.6-2: Temperaturverhalten im Sommer 2010 mit Anstieg zu Beginn in den massiven Geschossen der Oststadtschule

30.9.) zeigt für Schulen in Offenburg Überhitzungspotenziale, wie sie durch die Stundenzahl mit Außentemperaturen über 26 °C in der Abbildung 3.6-1 veranschaulicht werden. Im Sommer fallen durchschnittlich 81 Unterrichtstage an. Beispielsweise wurden im Extremjahr 2006 bis zu 300 Stunden mit Außentemperaturen über 26 °C gemessen. Der Zehn-Jahres-Schnitt liegt bei durchschnittlich 180 Stunden. Zu berücksichtigen ist, dass die Raumtemperaturen durch interne Gewinne wie Abwärme der Nutzer, Beleuchtung und Geräte sowie solare Einträge tatsächlich höher liegen können als die jeweils aktuelle Außentemperatur.

Für den Schulbetrieb fordert der Nutzer eine bestmögliche Konditionierung der Räume, um ein angenehmes Lern- und Arbeitsklima sicherzustellen. Die Stadt als kommunaler Betreiber der Schulgebäude ist angehalten, eine Konditionierung vorzunehmen, verfügt in der Regel jedoch nicht über ausreichende Finanz-

mittel für Investitionen in aktive Kühlanlagen und die damit verbundenen hohen Betriebs- und Wartungskosten.

Das Passivhaus-Institut in Darmstadt hat in 2010 einen Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude [3] veröffentlicht, der Empfehlungen für die Sanierung von Schulen enthält und sich an den Passivhausstandard orientiert. Für ein „Passivhausschulgebäude“ werden passive Kühlverfahren dann als geeignet eingestuft, wenn ausreichende Wärmekapazitäten in der Gebäudemasse vorhanden sind.

In Offenburg handelt es sich zum Beispiel bei der Oststadtschule um ein früheres Kasernengebäude, das bis zum 2. OG in massiver Bauweise ausgeführt ist. In Abbildung 3.6-2 ist im ersten Drittel des Temperaturverlaufs die stetige Aufwärmung zum Sommeranfang 2010 dargestellt. Maßnahmen wie das intensive Querlüften führen im weiteren Verlauf des Sommers zu Minderungen.

Vorausschauende Verfahren basieren auf Wetter- und Nutzungsprognosen und können unterstützend eingesetzt werden.

Die Verfahren zur Nutzung und Auswertung von Wetterprognosen wurden von der Forschungsgruppe net im Bereich der prognosegeführten Nachtlüftkühlung und des Betriebs thermoaktiver Bauteilsysteme in Nichtwohngebäuden [1] entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Eine Gebäudeautomation bietet zusätzlich Möglichkeiten zur Betriebsoptimierung [2] durch kontinuierliche Beobachtung und Analyse des Gebäudebetriebs.

Eine Vollautomatisierung der Gebäudeklimatisierung erfordert einen hohen technischen Aufwand, der bei Schulen kaum zu realisieren ist. Die im Projekt umgesetzte Teilautomatisierung mit der Einbindung von Lehrern und Schülern verhindert Kollisionen mit Brandschutzvorgaben und hilft den Investitionsaufwand gering zu halten.

### Gebäudeautomation sichert den Kühlerfolg

Die Potenziale der Nachtlüftkühlung werden sehr stark über den Ausbaustand der Gebäudeautomation der Schule beeinflusst. Die Nachtlüftung wird nachts und bei Bedarf an unterrichtsfreien Tagen aktiviert. Hierfür werden die erforderlichen Luftwege durch Öffnen von Oberlichtern, Klappen oder anderen Schließelementen automatisiert frei gemacht sowie die Ablufanlage eingeschaltet. Die Dauer der Nachtlüftung wird im Regelfall durch Freigabezeitfenster, einen definierten Arbeitstemperaturbereich und eine Mindesttemperaturdifferenz zwischen der Außen- und der Raumtemperatur regelungstechnisch umgesetzt. Nahezu alle im Projekt bearbeiteten Schulen verfügen über eine Modemanbindung an das Technische Rathaus der Stadt Offenburg. Eine Gebäudeautomation ist zwar in einigen kürzlich sanierten Objekten vorhanden, erweist sich aber hinsichtlich der Realisierung einer automationsgestützten natürlichen Gebäudeklimatisierung häufig als nicht ausreichend. Langfristig wird die Aufrüstung der Gebäudeautomation in Verbindung mit einer einheitlichen Anbindung an das zentrale Gebäude- und Energiemanagement der Stadt angestrebt. Zusatzfunktionen sollen künftig den Einsatz prädiktiver Betriebsverfahren [4] ermöglichen.

### Konsequenter Wärmeaustag

Für die Nachtlüftkühlung kommen je nach Bauobjekt verschiedene Varianten für Luftwege und Anlagentechnik infrage. Hierbei kommen zentrale und dezentrale Lösungen zum Einsatz, die nahezu alle auf die Hybridventilation [5] zurückgreifen. Wichtig für den Auskühleffekt ist, dass die Nachtlüftkühlung rechtzeitig und vorausschauend betrieben wird, damit sich die Gebäudemassen nicht unzulässig aufheizen. Die „aktive“ nächtliche Kühlleistung wird stark vom Verhältnis zwischen der Innen- und der Außentemperatur bestimmt. Die Leistung wird geringer, je stärker die nächtlichen Außentemperaturen ansteigen. Als maximales Potenzial zur Auskühlung wird die Energiedifferenz zwischen der mittleren Tagestemperatur und der mittleren Nachttemperatur betrachtet. Für Deutschland sind je Quadratmeter Nutzfläche tägliche Entwärmungsenergien von 150 bis 250 Wattstunden durch Nachtlüftkühlung möglich. Der Temperaturunterschied zwischen Raum- und Außentemperatur sollte über eine Dauer von 5 bis 6 Stunden mindestens 5 Kelvin betragen [3].

Als technische Lüftungsvarianten, die in den in Offenburg untersuchten Schulobjekten zum Einsatz kommen, sind zwei Konzepte zu nennen:

**1) Zentrale Luftabsaugung:** Die für einen ausreichenden Kamineffekt fehlende Gebäudehöhe in Verbindung mit einem zentralen über alle Stockwerke durchgängigen Treppenhaus begünstigt den Einsatz von Dachlüftern. Diese führen zu einer kontrollierten Luftwechselrate für das gesamte Gebäude.

**2) Dezentrale Be- und Entlüftung:** Bei dezentralen Lösungen mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung muss die Luft zur Nachtlüftkühlung am Wärmetauscher vorbeigeleitet werden. Dies geschieht mit Bypassen oder Kaltluftklappen.

### Zentrale Treppenhäuser

Als erfolgreichstes Beispiel für die Demonstration der Potenziale der natürlichen Gebäudeklimatisierung hat sich wie in Abbildung 3.6-3 abgebildet, die Theodor-Heuss-Realschule erwiesen. Nach vollständiger Sanierung der Gebäudehülle wurde eine Gebäudeautomation mit Einzelraumregelung eingebaut.

Zum sommerlichen Wärmeschutz gehören raumweise steuerbare Außenjalousien, je zwei über die Gebäudeautomation bedienbare Oberlichter und seit Sommer 2010 zwei Dachventilatoren



Abb. 3.6-3: Theodor-Heuss-Realschule

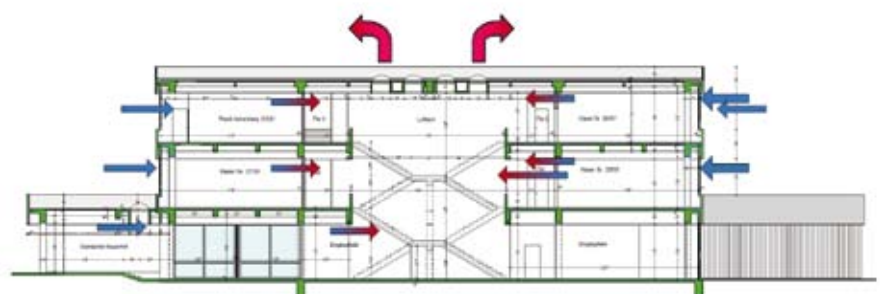


Abb. 3.6-4: Luftwege im zentralen Treppenhaus der Theodor-Heuss-Realschule

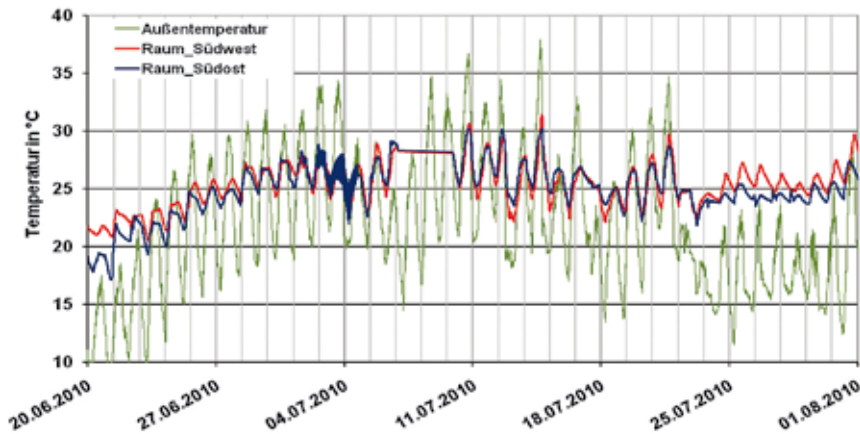


Abb. 3.6-5: Temperaturverlauf der wärmsten Räume in der Theodor-Heuss-Realschule im Sommer 2010 (nach Optimierung)

im zentralen Treppenhaus. Die Luftwege im Gebäude sind in Abbildung 3.6-4 veranschaulicht.

Messungen im Sommer zeigen das erfolgreiche Abfangen des Temperaturanstiegs in den Klassenräumen. Die Innenraumtemperatur bleibt wie in Abbildung 3.6-5 dokumentiert auch im wärmsten Raum, einem Fachraum, mindestens 6 Kelvin unterhalb der Außentemperatur. Das Lern- und Arbeitsklima wurde von Schülern wie Lehrern als angenehm empfunden.



Abb. 3.6-6: Oststadtschule mit aufgesetztem Dachgeschoss

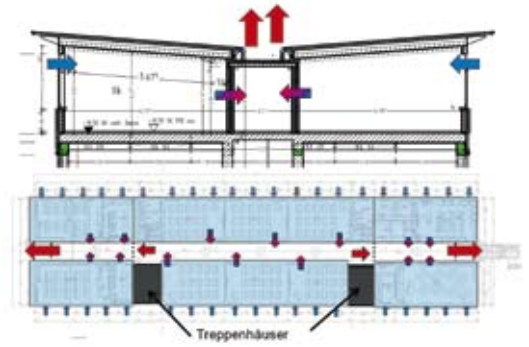


Abb. 3.6-7: Luftwege im Dachgeschoss (Oststadtschule)

### Einzelgeschosslösungen

In einer weiteren Schule wurde ein aufgesetztes Dachgeschoss als im Sommer extrem stark thermisch belastet eingestuft.

Im Sommer 2010 stellte sich heraus, dass das Konzept für das Dachgeschoss deutlich besser mit den Nutzern abgestimmt und technisch ergänzt werden muss. Eine ausreichende Abluftfunktion wird nur dann erreicht, wenn die Brandeschutztüren des Flurs offen bleiben und die Türen zu den beiden Treppenhäusern hingegen geschlossen werden.

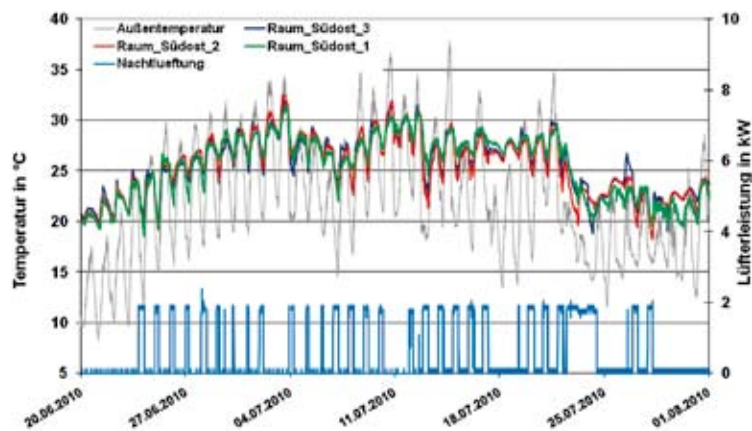


Abb. 3.6-8: Sommerverlauf im Dachgeschoss der Oststadtschule

Abbildung 3.6-8 zeigt den Verlauf des Sommers 2010. Während der Sommeranfang einen stetigen Anstieg der Raumtemperaturen aufzeigt, konnte nach der Durchführung von Maßnahmen ein deutlich besseres thermisches Verhalten für den restlichen Verlauf des Sommers erreicht werden.

Weitere Verbesserungen sind insbesondere zur intensiveren Kühlung der Geschosse aus Abbildung 3.6-5 unterhalb des Dachgeschosses und für die Verschattung der Nordwestfassade erforderlich.

### Dezentrale Zonen

Messungen zur Luftqualität haben bestätigt, dass die energetische Sanierung von Schulgebäuden zu einer deutlich stärkeren und schnelleren Verschlechterung der Luftqualität in Klassenzimmern führt. Die Lüftungskonzepte zur Reduzierung sommerlicher Überhitzungen müssen mit der Verbesserung und Sicherung der Luftqualität in Einklang gebracht werden.

In einer dritten Schule wurde die Gebäudehülle wie in Abbildung 3.6-9 abgebildet erneuert. Das Dachgeschoss wurde mit dezentralen Lüftungseinheiten mit Wärmerückgewinnung für je zwei Klassenräu-

me ausgestattet. Die Lüftungsanlagen werden CO<sub>2</sub>-gesteuert betrieben.

Die Verbesserung der Luftqualität wird bei den belüfteten Klassenzimmern mit den CO<sub>2</sub>-Messungen aus Abbildung 3.6-10 belegt. Eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Nachtlüftkühlung ist für den Sommer 2011 geplant.

Als weiterer Aspekt dieses Projekts wurde die Einrichtung der Anbindung der Gebäudeautomation an das zentrale Gebäudemanagement in die Planung aufgenommen.



### Zusätzliche Funktionen durch Online-Zugang

Die Integration neuer Funktionen für Gebäudehülle und Automation zeigt, dass die Arbeitspakete zur Kommunikation als schwierigste Aufgaben bei der Umsetzung einzustufen sind. Da es sich bei den Gebäudeautomationssystemen der Bestandsgebäude um proprietäre Systeme handelt, werden von der Stadt Offenburg mehrere Rechner für die Remoteverbindungen betrieben.

Um die Nachtlüftung konsequent und zuverlässig einzusetzen, ist die Integration der angesteuerten Elemente in die Gebäudeautomation eine unerlässliche Aufgabe. Zur Überprüfung des Gebäudebetriebs ist die Aufzeichnung von Messdaten zu gewährleisten und die Kommunikationswege zu auswerten. Stellen so einzurichten, dass eine Analyse des Gebäudebetriebs über einen Fernzugang möglich ist. Abbildung 3.6-11 zeigt einen Bildschirmausschnitt des GA-Rechners, wie er dem Hausmeister auch über Online-Zugang zur Verfügung steht.

In vier von sechs Schulgebäuden sind die Maßnahmen in dem auf drei Jahre angelegten Forschungsprojekt weit vorgeschritten und stehen in drei der Schulen vor dem Abschluss.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Jedes Schulgebäude ist bei Klimaschutz und Lernklima eine Herausforderung. Die Ähnlichkeit in der Nutzung von Schulgebäuden begünstigt die Erstellung eines Leitfadens, der eine bewertete Zusammenstellung von Raumkonstellationen in Verbindung mit empfohlenen Maßnahmenpaketen enthält. Kommunale und private Träger werden durch den Leitfaden bei Entscheidungen unterstützt, und es wird eine Multiplikatorwirkung für den Klimaschutz einer ganzen Region erzielt. Erste Ergebnisse wurden bereits im Planungsprozess für die Teilsanierung und den Erweiterungsbau an einer weiteren Schule der Grund- und Hauptschule, berücksichtigt.

Damit es bei angekündigten Hitzeperioden nicht zu Überhitzungen kommt, kann die frühzeitige Einstellung der Betriebsparameter und die Information der Nutzer dafür sorgen, dass ein Schulgebäude rechtzeitig konditioniert wird. Steht hingegen eine kühlere Periode an, kann Antriebsenergie für die Lüfter ein-



Abb. 3.6-9: 2010 sanierte Gebäudehülle der Konrad-Adenauer-Schule

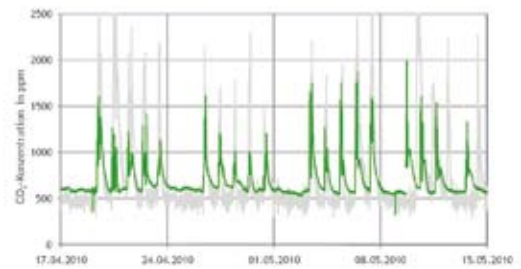


Abb. 3.6-10: Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Werte durch Lüftungseinbau (graue Kurve: unbelüfteter Raum)

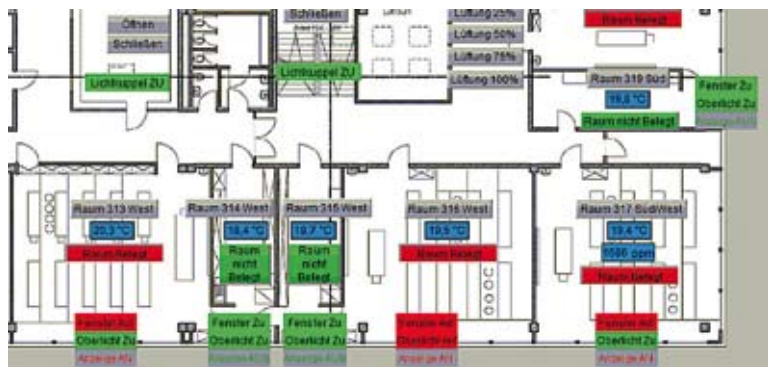


Abb. 3.6-11: Optionale Online-Fernbedienungsoberfläche für den Hausmeister über das Internet

gespart werden, wenn die Kühlung in der Intensität reduziert gefahren wird oder entfallen kann.

Die rechtzeitige Erkennung von Fehlfunktionen und unzureichenden Anpassungen kann nur über das zentrale Gebäudemanagement der Kommune gewährleistet werden. Proprietäre Systeme in einzelnen Bestandsgebäuden sind häufig nicht miteinander kompatibel. Es wird eine Integration unterschiedlicher Gebäudeautomationssysteme an einer zentralen Stelle empfohlen.

Die Dynamik einer nachhaltigen Betriebsführung für ein Gebäude überfordert in der Regel die in längeren Zeiträumen und mit Kennzahlen agierenden CAFM-Systeme. Ergänzende prädiktive Betriebsverfahren haben ein hohes Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz, können jedoch nur umgesetzt werden, wenn die Durchgängigkeit bei der Kommunikation, d. h. der Zugang zu den Funktionen der Gebäudeautomation, jederzeit möglich ist.

### Referenzen/References

[1] Biesinger, A., Feldmann, T., Hettler, F.: Planungsleitfaden „Nachhaltige

sommerliche Klimatisierung“, Klimazwei-Projekt Simulationsgestützte Automation für die nachhaltige sommerliche Klimatisierung von Gebäuden“, BMBF, März 2010

[2] Bollin, E., da Costa Fernandes, J., Feldmann, T.: „Langzeitmonitoring des Neubauvorhabens Solar Info Center (SIC) Freiburg“, Poster/Vortrag zum EnOB-Symposium, 1.-2. Oktober 2008 in Dresden, 2008

[3] Passivhaus Institut: „Leitfaden energieeffiziente Bildungsgebäude“, Passivhaus Institut Darmstadt, 7/2010

[4] Bollin, E., Feldmann, T.: Prädiktive Gebäudeautomation, Fachbeitrag zum Tagungsband des Mesago FM-Kongress in Frankfurt, 9. – 11.3.2010

[5] A. Delsante, Tor Arvid Vik (Editors): Hybrid Ventilation, Annex 35 – HybVent Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, A State-of-the-Art Review, Publikationen der IEA – ECB&CS Annex 35, 2002

Das Projekt wird im Auftrag der Stadt Offenburg durchgeführt und vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der Badenova AG & Co. KG gefördert.