


# Performance von Gebäuden



Fraunhofer IRB  Verlag

 **EnOB**  
Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

Karsten Voss  
Sebastian Herkel  
Doreen Kalz  
Thomas Lützkendorf  
Anton Maas  
Andreas Wagner





Karsten Voss  
Sebastian Herkel  
Doreen Kalz  
Thomas Lützkendorf  
Anton Maas  
Andreas Wagner

# Performance von Gebäuden

Kriterien · Konzepte · Erfahrungen

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**  
Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur

**Fraunhofer IRB**  **Verlag**

 **EnOB**  
Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

# Impressum

FIZ Karlsruhe GmbH macht im öffentlichen Auftrag wissenschaftliche Informationen zugänglich und verbreitet sie.



Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur

Zu den Dienstleistungen gehören der BINE Informationsdienst und die Kommunikation für die Forschungsinitiative EnOB – Forschung für Energieoptimiertes Bauen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) werden aktuelle Ergebnisse aus der Energieforschung und dem Schwerpunktthema energieoptimiertes Bauen präsentiert.

Das Fachbuch »Performance von Gebäuden – Kriterien · Konzepte · Erfahrungen« basiert auf den in zahlreichen Forschungsprojekten gesammelten Erfahrungen.

#### Weitere Informationen:

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

#### Fachliches Lektorat:

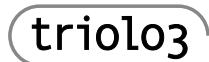
Johannes Lang und Jutta Perl-Mai,  
Kommunikation Forschungsinitiative EnOB  
Tel.: +49 228 92379-0  
E-Mail: [redaktion@enob.info](mailto:redaktion@enob.info)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9583-4  
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9584-1

#### Gestaltung und Satz:

triolog GbR, Freiburg · [www.triolog-web.de](http://www.triolog-web.de)



#### Titelbilder:

Stephan Baumann, Karlsruhe (Gebäude)  
Johannes Lang, BINE Informationsdienst, Bonn (Personenbild)

#### Druck:

M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH,  
Paderborn

Dieser hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

#### Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© FIZ Karlsruhe GmbH, 2016

#### Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-2500  
Telefax +49 711 970-2508  
[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)  
[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**Fraunhofer IRB**  **Verlag**

# Zum Geleit

Die Bundesregierung hat mit der Vorlage des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) und der Effizienzstrategie Gebäude (ESG) die Energieeffizienz an die Spitze ihrer energiepolitischen Agenda gesetzt. Das langfristige Ziel im Gebäudesektor ist klar formuliert: Bis zum Jahr 2050 soll ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand durch eine angemessene Kombination aus Energieeffizienz und erneuerbaren Energien erreicht werden. Schon ab 2021 sollen Neubauten den Standard eines Niedrigenergiegebäudes einhalten; für Gebäude der öffentlichen Hand gilt dies bereits ab 2019. Dies stellt private und gewerbliche Eigentümer, Kommunen und soziale Einrichtungen vor große Herausforderungen – auch im Hinblick auf die technische Umsetzbarkeit. Denn beim Bau energieeffizienter Gebäude und besonders bei der Sanierung besteht zum Teil noch erheblicher Erfahrungs- und Erkenntnisbedarf für ausgewogene architektonische und technologische Strategien. Und zwar sowohl für Planung und Bau als auch für die Nutzungsphase.

Die Energieforschung leistet einen wichtigen Beitrag wenn es darum geht, die dafür notwendigen Energieinnovation für den Bausektor zu entwickeln, zu optimieren und ihren Weg zum Markteintritt zu ebnen. Insbesondere wissenschaftlich begleitete Demonstrationsprojekte sind und bleiben ein wichtiger Schlüssel, um den Markt für neue Konzepte und Technologien anzuregen. Fundierte Performanceanalysen von Gebäuden und Komponenten sind unverzichtbar, um Weiterentwicklungen anzustoßen und Akteure zu überzeugen. Auf dieser Weise werden energieeffiziente Gebäude mit zukunftssicheren Strategien für den gesamten Lebenszyklus umgesetzt.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert deshalb Planung, Realisierung und das wissenschaftliche Monitoring von energieoptimierten Demonstrationsgebäuden im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms im Förderschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen (EnOB). In der achtjährigen Laufzeit der EnOB-Begleitforschung wurden 55 Demonstrationsprojekte, darunter 16 Schulen, gefördert - deren erhöhter Planungsaufwand, innovative Komponenten und deren energetisches Monitoring. Forschungsergebnisse, Performanceanalysen der Gebäude und ihrer Komponenten sind ohne das große Engagement von Bauherren, Architekten und Fachplanern, beteiligten Firmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen nicht denkbar. Ihnen allen herzlichen Dank für die wertvolle Mitwirkung!

Dass diese Publikation mit der aktuellen Querauswertung und Analyse der ambitionierten Projekte vorliegt, dafür danke ich dem gesamten Team der EnOB-Begleitforschung, das seine Erfahrungen und Erkenntnisse hier zusammenfasst und anschaulich präsentiert. Ich bin überzeugt dass dieses Buch die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis stützt und fördert.



Ministerialrat Dr. Frank Heidrich  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie

# Inhalt

|          |  |            |
|----------|--|------------|
|          | Impressum  | 4          |
|          | Zum Geleit   | 5          |
|          | Inhalt   | 6          |
|          | Vorwort: Pervormance von Gebäuden                                      | 8          |
| <b>1</b> | <b>Eine Standortbestimmung</b>   | <b>11</b>  |
| 1.1      | Herausforderungen und Trends   | 12         |
| 1.2      | Klimawandel und Gebäude  | 17         |
| 1.3      | Energiewende im Gebäudesektor  | 22         |
| 1.4      | Internationale Trends  | 27         |
| <b>2</b> | <b>Die Performance von Gebäuden erfassen und beurteilen</b>            | <b>33</b>  |
| 2.1      | Performance von Gebäuden – Einordnung und Interpretation               | 34         |
| 2.2      | Die Bedeutung der Nutzungsphase  | 42         |
| 2.3      | Akteure und ihre Interessen  | 47         |
| 2.4      | Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit                               | 53         |
| 2.5      | Energetische Portfolioanalyse und Nachhaltigkeitsbericht               | 58         |
| <b>3</b> | <b>Energie- und Umweltperformance</b>                                  | <b>63</b>  |
| 3.1      | Einführung in die Methodik   | 64         |
| 3.2      | Energie- und Emissionskennwerte  | 70         |
| 3.2.1    | Verbrauchskennwerte verschiedener Nutzungstypologien                   | 70         |
| 3.2.2    | Langzeitentwicklung des Verbrauchs                                     | 76         |
| 3.3      | Kennwerte von Gebäuden mit ausgeglichener oder positiver Energiebilanz | 78         |
| 3.4      | Bedarf versus Verbrauch  | 86         |
| <b>4</b> | <b>Die ökonomische Performance</b>                                     | <b>91</b>  |
| 4.1      | Grundlagen zu Kostenkennwerten   | 92         |
| 4.2      | Baukosten  | 98         |
| 4.3      | Nutzungskosten   | 102        |
| 4.4      | Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität                                  | 107        |
| <b>5</b> | <b>Nutzerzufriedenheit</b>   | <b>115</b> |
| 5.1      | Nutzerzufriedenheit – eine Begriffsbestimmung                          | 116        |
| 5.2      | Nutzerzufriedenheit in der Planung und im Betrieb                      | 119        |
| 5.3      | Arbeitsplatzkomfort aus Nutzersicht                                    | 124        |
| 5.4      | Nutzerzufriedenheit im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung            | 131        |
| 5.5      | Nutzer-Gebäude-Interaktion   | 134        |
| <b>6</b> | <b>Raumklima im Detail</b>   | <b>141</b> |
| 6.1      | Thermischer Komfort  | 142        |
| 6.1.1    | Thermischen Komfort planen   | 142        |
| 6.1.2    | Thermischer Komfort in der Gebäudepraxis                               | 143        |
| 6.1.3    | Thermischen Komfort bewerten   | 144        |
| 6.1.4    | Erfahrungen aus dem Gebäudemonitoring von Büro- u. Verwaltungsgebäuden | 144        |
| 6.1.5    | Raumkomfort und Nutzerverhalten  | 149        |
| 6.2      | Luftqualität   | 152        |
| 6.3      | Licht und Beleuchtung  | 158        |
| 6.4      | Raumakustik  | 166        |
| <b>7</b> | <b>Baukonstruktionen im Detail</b>                                     | <b>173</b> |
| 7.1      | Luftdichtheit  | 174        |
| 7.2      | Wärmebrücken   | 178        |
| 7.3      | Phasenwechselmaterialien in Bauteilen                                  | 183        |
| 7.4      | Vakuumisulationspaneele  | 187        |
| 7.5      | Sonnenschutzvorrichtungen  | 192        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>8</b>  | <b>Performance von technischen Anlagen</b>                              | <b>201</b> |
| 8.1       | Technologienübersicht   | 202        |
| 8.2       | Wärmepumpen   | 205        |
| 8.3       | Kühlen und Kältetechnik   | 215        |
| 8.3.1     | Kältetechnik für Büro- und Verwaltungsgebäude                           | 215        |
| 8.3.2     | Anforderungen an die Planung  | 217        |
| 8.3.3     | Performance im Betrieb  | 217        |
| 8.4       | Wärme- und Kälteversorgung mit Thermoaktiven Bauteilsystemen            | 222        |
| 8.4.1     | Thermoaktive Bauteilsysteme   | 222        |
| 8.4.2     | Hydraulik   | 225        |
| 8.4.3     | Betriebsführung   | 227        |
| 8.5       | Solaranlagen  | 229        |
| 8.6       | Holzpelletkessel  | 238        |
| 8.7       | Lüftungsanlagen   | 242        |
| 8.8       | Gebäude interagieren mit dem Netz                                       | 248        |
| <b>9</b>  | <b>Gebäudeperformance in Planung und Betrieb verbessern</b>             | <b>255</b> |
| 9.1       | Qualitätssicherung planen / Prozesse optimieren                         | 256        |
| 9.2       | Gebäudeautomation sicher planen und in Betrieb nehmen                   | 261        |
| 9.3       | Gebäudemonitoring: Messwerte erfassen und verarbeiten                   | 265        |
| 9.4       | Gebäudemonitoring: Betriebsüberwachung, Fehlererkennung und Optimierung | 270        |
| <b>10</b> | <b>Gestaltungsqualität und Nachhaltigkeit</b>                           | <b>277</b> |
| <b>11</b> | <b>Werkzeuge für die Praxis</b>   | <b>283</b> |
| 11.1      | Konzeptfindung & Planung  | 284        |
| 11.1.1    | Emissionsfaktoren für Energieversorgungsanlagen                         | 284        |
| 11.1.2    | Klimadaten  | 286        |
| 11.1.3    | Anforderung an die Raumklimasimulation                                  | 287        |
| 11.1.4    | Anforderungen der Normung an die Planung des Thermischen Komforts       | 288        |
| 11.1.5    | Energetisches Pflichtenheft   | 290        |
| 11.1.6    | EnerCalc  | 291        |
| 11.1.7    | Therakles   | 292        |
| 11.1.8    | WUFI Plus Free  | 293        |
| 11.2      | Messung   | 295        |
| 11.2.1    | Raumakustik-Analyse mit AkuCheck  | 295        |
| 11.2.2    | Fenstercheck  | 296        |
| 11.2.3    | Teilenergiekennwerte (TEK)  | 297        |
| 11.2.4    | Leitfaden Monitoring und ökonomische Kennwerte                          | 298        |
| 11.2.5    | MoniSoft  | 299        |
| 11.2.6    | Prüfstand für Gebäudeperformance  | 300        |
| 11.3      | INKA - Instrument für Nutzerbefragungen zum Komfort am Arbeitsplatz     | 302        |
| 11.4      | Betriebsführung   | 305        |
| 11.4.1    | BNB Modul „Nutzen und Betreiben“  | 305        |
| 11.4.2    | Hilfsmittel zur Erfassung und Beurteilung von Kostendaten               | 306        |
| 11.5      | Datenbanken für die Gebäudeanalyse                                      |            |
|           | Projekt-Steckbriefe   | 310        |
|           | Herausgeber   | 316        |
|           | Autoren   | 316        |
|           | Stichwortverzeichnis  | 318        |
|           | Bildnachweis  | 323        |

# Performance von Gebäuden

Das vorliegende Buch folgt auf ein 2005 erschienenes Werk unter dem Titel „Bürogebäude mit Zukunft“. Viele Autoren waren damals wie heute dabei. Den Grundstock beider Bücher bilden die Arbeiten rund um die zahlreichen Demonstrationsgebäude der Forschungsinitiative Energieoptimiertes Bauen (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Sie erlauben eine anschauliche Verbindung von Theorie und Praxis.

Mit dem Titel „Performance von Gebäuden“ wird der Blick in diesem Buch verstärkt auf die Nutzungsphase von Gebäuden gelenkt. Die Kernfragen lauten: Was leistet ein Gebäude für seinen Besitzer, seine Nutzer und die Gesellschaft und welche Inanspruchnahme von Ressourcen und welche Umweltwirkungen sind mit seinem Betrieb verbunden. Unterschiedliche Akteure interessieren sich aus verschiedenen Blickwinkeln für die Gebäudeperformance. Das Buch richtet sich daher an Akteure der Immobilienwirtschaft, an Planer und Betreiber von Gebäuden und an Studierende.

Nach einer Standortbestimmung und der Erläuterung von Zielen, Zielgruppen, Akteuren und deren Interesse bei einer Beurteilung der Performance von Gebäuden wird in drei Hauptkapiteln die Gebäudeperformance jeweils auf den Ebenen von Energie und Umwelt, Ökonomie sowie Nutzerzufriedenheit diskutiert. Darauf folgende Analysen aus den Bereichen Bauklimatik, Baukonstruktion und Anlagentechnik vertiefen ausgewählte Detailspekte anhand von Praxisbeispielen. Die vorgestellten Strategien, Konzepte und Technologien beim Planen und Betreiben von Gebäuden unterstützen dabei, die Performance von Gebäuden in der Nutzungsphase aufrechtzuerhalten oder zu verbessern.

Da die gestalterische Qualität von Gebäuden einen ganz wesentlichen Teil der (Nutzer)Akzeptanz darstellt, adressiert ein separates Kapitel die Schnittstelle zwischen Gestaltung und Nachhaltigkeit. Eine Zusammenstellung von praktisch anwendbaren Planungs- und Bewertungshilfen verweist auf allgemein zugängliche Werkzeuge und Informationsquellen. Der Anhang enthält die Liste der evaluierten Gebäude. Die zahlreichen Literaturangaben und Quellenverweise sollen dazu motivieren, gezielt auf den einen oder anderen Forschungsbericht oder Publikationen zuzugreifen, um weitere Details zu erfahren.

Karsten Voss

*Bergische Universität Wuppertal*

Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf

*Karlsruher Institut für Technologie*

Doreen Kalz, Sebastian Herkel,

*Fraunhofer-Institut für Solar Energiesysteme*

Anton Maas

*Universität Kassel*



### Danke

Das BMWi, vertreten durch den Projektträger Jülich fördert seit vielen Jahren forschungsintensive Demonstrationsprojekte. Die Förderung adressiert Bauherren und Forschungseinrichtungen. Ohne engagierte Bauherren und deren Planer gäbe es diese Art der angewandten Forschung nicht. Ohne die vielen motivierten Mitarbeiter an den Hochschulen und Forschungseinrichtungen wäre die umfangreiche Auswertung der Ergebnisse nicht zu leisten. Ein zentraler Bestandteil der Forschungsinitiative EnOB ist auch ihre Begleitforschung. Sie bildet die wissenschaftliche Klammer aller Demonstrationsprojekte. Wir haben diese Aufgabe gerne wahrgenommen und bedanken uns für die Förderung sowie die fruchtbare Kooperation mit dem Projektträger, den Forschern, Planern und Bauherren. Die Lektoratsarbeit für dieses Buch durch Jutta Perl-Mai und Johannes Lang vom BINE Informationsdienst hat wesentlich dazu beigetragen, die komplexen Themen verständlicher zu machen. Gerne haben wir wieder mit Andreas Weindel und Hans-Peter Schäuble von Triolog zusammengearbeitet, damit das Buch ein überzeugendes Gesicht bekommt. Patrick Sonneborn hat an der Universität Wuppertal mit großer Sorgfalt die Koordination aller Beiträge bis zur Drucklegung des Buches übernommen.

