

Reiß | Erhorn | Geiger | Roser | Gruber | Schakib-Ekbatan
Winkler | Jensch

Energieeffiziente Schulen EnEff:Schule



Fraunhofer IRB  Verlag

Reiß | Erhorn | Geiger

Roser | Gruber | Schakib-Ekbatan

Winkler | Jensch

Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule

Johann Reiß | Hans Erhorn | Michael Geiger
Annette Roser | Edelgard Gruber | Karin Schakib-Ekbatan
Manuel Winkler | Werner Jensch

Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule

Fraunhofer IRB Verlag

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 abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9034-1

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9035-8

Satz: Fotosatz Buck, Kumhausen

Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

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 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.



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

Diese Publikation wurde von den Mitarbeitern im Begleitforschungsteam zur Forschungsinitiative »Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geschrieben.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 9 70-25 00

Telefax +49 7 11 9 70-25 08

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Geleitwort



Die Energiefrage gehört zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Die Bundesregierung hat die Weichen für die Energiewende gestellt und die langfristigen Ziele vorgegeben. Sie unterstützt diesen Prozess auch im Rahmen ihres Energieforschungsprogramms. Mit dem Förderkonzept »Energieoptimiertes Bauen – EnOB« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) wird die Entwicklung von innovativen Produkten, Verfahren und Techniken vorangetrieben damit künftig Neubauten und sanierte Bestandsbauten mit minimalen Primärenergiebedarf keine Vision mehr sind.

Die Forschungsinitiative »Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule« adressiert dabei ein besonders wichtiges Feld. Schulen sollen für Kinder und Jugendliche lernfördernde Bedingungen bieten und gleichzeitig sparsam mit den Energieressourcen umgehen. Viele in die Jahre gekommene Schulgebäude sind jedoch sanierungsbedürftig. Sie weisen einen hohen Energieverbrauch auf und die räumlichen und hygienischen Bedingungen entsprechen nicht mehr dem heutigen Standard. Im Rahmen von EnEff:Schule werden ausgewählte Schulen mit ambitionierten Energiekonzepten unterstützt Plusenergieschulen zu werden. Diese Leuchtturmprojekte erzeugen über das Jahr mehr Primärenergie als sie verbrauchen. Für einige Schulneubauten und Schulsanierungen ist der 3-Liter-Haus-Standard das Ziel. Sie verbrauchen maximal $34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ an Primärenergie, dies entspricht dem Energieäquivalent von 3 Litern Heizöl pro m^2 und Jahr.

Die innovativen Konzepte der an unterschiedlichen Standorten in Deutschland umgesetzten Demonstrationsvorhaben werden von Wissenschaftlern und integral planenden Teams entwickelt und nach der Inbetriebnahme einem mindestens zweijährigen Monitoring unterzogen.

Eine wissenschaftliche Begleitforschung unterstützt die Teams vor Ort, führt Nutzerbefragungen durch und bündelt die Messwerte in einer zentralen Datenbank. Durch projektübergreifende Auswertungen wird die Bewertung der Energieeffizienz von Bau- und Anlagenkomponenten ermöglicht. Nur so können die erfolgreichen Konzepte ermittelt und multipliziert werden. Fachpublikationen, Workshops und Symposien zum Thema Energieeffizienz und Behaglichkeit in Schulen sorgen für den Ergebnistransfer in die Fachkreise. Künftige Neu- und Bestandsbauten können in besonderem Maße davon profitieren. Die Investition in energieeffiziente Schulen ist eine Investition in unsere Zukunft.

Dr.-Ing. Rodoula Tryfonidou
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Vorwort

Die im Bestand der Bildungsgebäude verbrauchte Endenergie in Deutschland beträgt etwa 20 Mio. MWh/a, wovon ca. 2/3 auf Schulgebäude entfallen. Die etwa 40 000 Schulhäuser belasten den Betriebshaushalt der Kommunen erheblich. Ein Großteil der bestehenden Bildungsgebäude steht in den nächsten Jahren zur Sanierung an. Dieser Zeitpunkt muss daher zur energetischen Verbesserung der Gebäude genutzt werden. Neben der dadurch erreichbaren CO₂-Minderung kann gleichzeitig der Betriebshaushalt der Kommunen deutlich reduziert werden. Allerdings verfügen die Länder und Kommunen häufig nicht über die erforderlichen finanziellen Mittel. Die üblichen Finanzierungsmodelle für Schulsanierungen erschweren privatwirtschaftliche Investitionen in bauliche Energieeffizienz.

Im Rahmen der vom Bundeskanzleramt 2005 gestarteten Innovationsinitiative hat das Fraunhofer-Institut für Bauphysik im Impulskreis Energie die energieeffiziente Schulsanierung als Innovationsidee für die Effizienzsteigerung eingebracht. Die Innovationsidee wurde vom Impulskreis als vorrangiges Projekt zur Umsetzung empfohlen, da hierbei neben der Effizienzerhöhung in Schulgebäuden auch positive Impulse für die Bauwirtschaft und die Umwelt gesetzt werden können. Das Projekt »Energieeffiziente Schulen« wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als Forschungsakzent in das Schwerpunktprogramm »Energieoptimiertes Bauen« (EnOB) aufgenommen.

Es umfasst mehrere über das gesamte Bundesgebiet verteilte Demonstrationsvorhaben. Mit Ausnahme von zwei Neubauten handelt es sich um energetische Sanierungen. Ein Teil der Vorhaben soll das energetische Niveau einer Plusenergieschule erreichen. Die restlichen Gebäude streben das Ziel einer 3-Liter-Haus-Schule an. Die Energiekonzepte werden von örtlich in der Nähe liegenden Forschungs- oder Hochschulinstituten in Zusammenarbeit mit den für die Planung zuständigen Architekten und Anlagenplanern erstellt. Nach Fertigstellung und Bezug der Gebäude erfolgt eine zweijährige Validierungsmessung. Sie soll zeigen, ob die eingebauten Energieeffizienztechniken ihre zugewiesene Funktion voll erfüllen und ob das vorherberechnete energetische Ziel erreicht wird.

Für den Forschungsakzent »Energieeffiziente Schulen« (EnEff:Schule) wurde eine Begleitforschung eingerichtet, die sich aus den Institutionen Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Hochschule München (HM) und dem Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) zusammensetzt. Das Begleitforschungsteam betreut alle Demovorhaben von Beginn der Konzeptionsphase bis zum Ende der Validierungsmessphase. Die Forschungsbegleitung teilt sich in zwei Phasen. Die erste Phase endete im Dezember 2011. Die Ergebnisse bis zu diesem Zeitpunkt sind in diesem Buch zusammengestellt. Es liegen die Energiekonzepte aller Demovorhaben vor. Einige Schulen sind bereits fertiggestellt, bzw. die Sanierung ist abgeschlossen. Zu diesen Gebäuden gibt es auch Zusammenstellungen der Kosten. Von zwei Schulen liegen bereits Messergebnisse vor.

Die Sanierung von Schulen und auch der Umbau und Neubau sind derzeit ein aktuelles Thema, das sowohl die Kommunen als auch die damit befassten Architekten, Anlagenplaner und Energieberater vor große Herausforderungen stellt. Das Buch zeigt energetisch hocheffiziente Lösungen sowie die entstandenen Kosten. Darüber hinaus wird in der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung die Wirkung der Demoprojekte aus Sicht der Nutzer betrachtet. Im Fokus steht dabei insbesondere, inwieweit die Energieeffizienzmaßnahmen akzeptiert und die Erwartungen an ein behagliches Raumklima und an eine gute Raumluftqualität erfüllt werden.

Das Buch entstand im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten EnEff.Schule-Begleitforschung. Wir bedanken uns beim Fördermitelgeber und beim Projektträger Jülich (PTJ) für die uns gewährten Rahmenbedingungen. Unser Dank gilt ferner Frau Dipl.-Ing. Christina Schade für die Mitarbeit bei der Erstellung des Buchmanuskriptes. Frau Irmgard Haug möchten wir unseren Dank für die graphische Bearbeitung und dem Verlag für die gute Zusammenarbeit aussprechen.

Die Autoren

Inhalt

1	Hintergrund	13
2	Ziel der wissenschaftlichen Begleitforschung	15
2.1	Überprüfung der Erreichbarkeit gesteckter Ziele »3-Liter« und »Plusenergie«	15
2.2	Begleitung der Bauphase	15
2.3	Anlegen einer Datenbank für weitere Forschungen Dritter	16
2.4	Bewertung der eingesetzten innovativen technischen Komponenten	16
2.5	Evaluation der Auswirkungen auf Schulalltag und Einstellungen der Nutzer	16
2.6	Wissenstransfer	17
3	Zur Definition von Plusenergieschulen und 3-Liter-Haus-Schulen	19
3.1	Bisherige Bilanzierungsansätze in Deutschland	19
3.2	Definition der Anforderungen an 3-Liter-Haus-Schulen und Plusenergieschulen	22
3.2.1	3-Liter-Haus-Schulen	22
3.2.2	Plusenergieschulen	23
4	Methodisches Vorgehen	25
4.1	Planungsphase	26
4.2	Bauphase	27
4.3	Monitoringphase	28
4.4	Abschlussphase	30
5	Demovorhaben	33
5.1	Science College Overbach	34
5.1.1	Projektübersicht	34
5.1.2	Gebäude	36
5.1.3	Anlagentechnik	48
5.1.4	Energiekennwerte	52
5.1.5	Kosten	53
5.1.6	Validierungsmessungen	57
5.1.7	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	64
5.1.8	Weiterführende Informationen	72

5.2	Grundschule Hohen Neuendorf	73
5.2.1	Projektübersicht	73
5.2.2	Gebäude	74
5.2.3	Anlagentechnik	83
5.2.4	Energiekennwerte	86
5.2.5	Kosten	88
5.2.6	Validierungsmessungen	91
5.2.7	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	91
5.2.8	Weiterführende Informationen	99
5.3	Friedrich-Fröbel-Schule Olbersdorf	100
5.3.1	Projektübersicht	100
5.3.2	Gebäude vor der Sanierung	102
5.3.3	Konzept und Realisierung	110
5.3.4	Anlagentechnik	123
5.3.5	Energiekennwerte	128
5.3.6	Kosten	129
5.3.7	Validierungsmessungen	132
5.3.8	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	139
5.3.9	Weiterführende Informationen	151
5.4	Plusenergieschule Rostock	152
5.4.1	Projektübersicht	152
5.4.2	Gebäude vor der Sanierung	154
5.4.3	Konzept und Realisierung	160
5.4.4	Anlagentechnik	172
5.4.5	Energiekennwerte	176
5.4.6	Kosten	177
5.4.7	Validierungsmessungen	178
5.4.8	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	178
5.4.9	Weiterführende Informationen	186
5.5	3-Liter-Haus-Schule Cottbus	187
5.5.1	Projektübersicht	187
5.5.2	Gebäude vor der Sanierung	188
5.5.3	Konzept und Realisierung	193
5.5.4	Anlagentechnik	202
5.5.5	Energiekennwerte	206
5.5.6	Kosten	207
5.5.7	Validierungsmessungen	208
5.5.8	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	208
5.5.9	Weiterführende Informationen	216

5.6	Gymnasium Marktoberdorf	216
5.6.1	Projektübersicht	216
5.6.2	Gebäude vor der Sanierung	219
5.6.3	Konzept und Realisierung	228
5.6.4	Anlagentechnik	245
5.6.5	Energiekennwerte	252
5.6.6	Kosten	255
5.6.7	Validierungsmessungen	256
5.6.8	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	257
5.6.9	Weiterführende Informationen	264
5.7	Plusenergieschule Stuttgart	265
5.7.1	Projektübersicht	265
5.7.2	Gebäude vor der Sanierung	267
5.7.3	Konzept und Realisierung	277
5.7.4	Energiekennwerte	299
5.7.5	Kosten	301
5.7.6	Validierungsmessungen	302
5.7.7	Sozialwissenschaftliche Untersuchung	302
5.7.8	Weiterführende Informationen	310
6	Quervergleiche	311
6.1	Gesamtüberblick über Gebäude- und Anlagentechnik	311
6.1.1	Gebäudetypen, energetische Ziele und Kenndaten	311
6.1.2	Umgesetzte Technologien	313
6.1.3	Wärmeschutz der Gebäudehülle	315
6.1.4	Hauptnutzungsbereiche	317
6.1.5	Energiebedarfskennwerte	318
6.1.6	Lüftungssysteme	320
6.1.7	Gebäudeautomation	328
6.2	Sozialwissenschaftliche Ergebnisse	331
6.2.1	Bewertung von Einzelaspekten des Raumklimas im alten Gebäude aus Sicht der Schüler	332
6.2.2	Bewertung von Einzelaspekten des Raumklimas im alten Gebäude aus Sicht der Lehrkräfte	334
6.2.3	Zusammenhänge zwischen Komfortparametern	337
6.2.4	Einflussfaktoren auf die Bewertung zum allgemeinen Wohlfühlen in der Schule	341
6.2.5	Bewertungen der Erst- und Zweitbefragung zu räumlich-physikalischen Komfortbedingungen im Vergleich	343
6.2.6	Einstellung zum Thema Energie, Energiesparverhalten	346
6.2.7	Einschätzung des Beitrags der Nutzer zum Energiesparen an der Schule ..	348

6.2.8	Vorläufiges Fazit	351
6.2.9	Literatur	352
7	Zwischenfazit und erste Empfehlungen	353
7.1	Energie und Behaglichkeit	353
7.2	Gebäudeautomation	354
7.3	Sozialwissenschaftliche Untersuchungen	356
8	Ausblick	357