

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

Energieeffiziente Schulen

Konzept – Umsetzung – Messung – Ergebnis – Kosten



Fraunhofer IRB  Verlag

Johann Reiß, Hans Erhorn, Micha Illner
Annette Roser, Karin Schakib-Ekbatan, Edelgard Gruber
Manuel Winkler, Werner Jensch

Energieeffiziente Schulen

Konzept – Umsetzung – Messung – Ergebnis – Kosten

Johann Reiß · Hans Erhorn · Micha Illner
Annette Roser · Karin Schakib-Ekbatan · Edelgard Gruber
Manuel Winkler · Werner Jensch

Energieeffiziente Schulen

Konzept – Umsetzung – Messung – Ergebnis – Kosten

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): 978-3-7388-0539-0

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0560-4

Layout · Satz · Herstellung: Gabriele Wicker

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: Gulde-Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

Die 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.



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

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

© Fraunhofer IRB Verlag, 2021

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Geleitwort

Energieoptimiertes Bauen ist ein zentrales Element der Energie- und Wärmewende. Die Energieforschung setzt daher einen starken Fokus in diesem Bereich und trägt wesentlich dazu bei, dass mit innovativen Lösungen Energiebedarf und -verbrauch in Gebäuden und Quartieren weiter verbessert werden. Eine besondere Rolle spielen

dabei Schulgebäude: Sie sind nicht nur Orte des Lernens und der Wissensvermittlung, sondern können auch jungen Generationen klimafreundliches Verhalten im Alltag nahebringen. Mit der 2008 gestarteten Förderinitiative »Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule« im Forschungsschwerpunkt »Energieoptimiertes Bauen – EnOB« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sollte an konkreten Anwendungsfällen gezeigt werden, wie Schulgebäude das energetische Niveau einer 3-Liter-Haus-Schule oder einer Plusenergie-Schule erreichen können. Weiteres wichtiges Ziel war, den Anspruch an hohen Nutzerkomfort und Anforderungen an eine zeitgemäße Schule zu erfüllen. Neben Schulneubauten wurden Schulgebäude, die zum Teil über 50 Jahre alt sind, energetisch saniert.

Mittlerweile sind zwölf Schulgebäude in energieeffizienter Weise vorbildhaft saniert oder neu errichtet worden. Alle wurden zudem wissenschaftlich evaluiert. Sowohl durch die breite überregionale Verteilung der Schulgebäude über ganz Deutschland als auch durch die ausgewogene Kombination aus sieben Sanierungen und fünf Schulneubauten konnte ein relevanter Querschnitt an Erkenntnissen gewonnen werden. Die Beispiele zeigen, wie durch heute verfügbare technische und bauliche Innovationen, der Primärenergiebedarf für Heizung, Lüftung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Beleuchtung wirtschaftlich gesenkt werden kann, sowohl im Neubau als auch bei Sanierungen. Die wissenschaftliche Begleitforschung hat alle Projekte intensiv begleitet, die Erkenntnisse gesammelt und sie ausgewertet. Auch Befragungen der Schülerinnen und Schüler sowie Lehrerinnen und Lehrer von und nach den Baumaßnahmen sind in die Querauswertungen eingegangen. Es hat sich gezeigt, nur wenn die relevanten Akteure vor Ort bei der Planung eines Schulneubaus oder der Sanierung eines Schulgebäudes mit eingebunden werden und motiviert sind, lassen sich energieeffiziente Schulen langfristig erfolgreich betreiben.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind auf breites Interesse gestoßen. Für Langzeitauswertungen wurden die Messwerte in einer zentralen Datenbank gebündelt. Ich freue mich, dass mit dieser Publikation Ergebnisse und Erfahrungen in gebündelter Form präsentiert und einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Das ist ein wichtiger Baustein zum Praxistransfer, um die Multiplikatorwirkung der Initiative weiter zu entfalten und engagierte Akteure in ganz Deutschland für mehr Energieeffizienz in Schulen zu motivieren.

Dr.-Ing. Rodoula Tryfonidou

Leiterin Energieforschung – Grundsatzfragen und Strategien
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Vorwort

Am Zustand vieler Schulen ist zu erkennen, dass in den letzten Jahrzehnten wenig in öffentliche Gebäude investiert wurde. Oft entsprechen auch die räumlichen und hygienischen Bedingungen nicht mehr den heutigen Erwartungen an moderne Bildungsstätten. Die Schulen weisen zudem einen hohen Energieverbrauch auf und belasten damit die kommunalen Haushalte. In der Bevölkerung besteht Konsens, dass Schulen für die gesellschaftliche Zukunft eine hohe Bedeutung haben. Die Notwendigkeit der Schulsanierung wurde von der öffentlichen Hand inzwischen erkannt und sie soll künftig verstärkt in Angriff genommen werden. Diese Gelegenheit muss jedoch genutzt werden, die Schulgebäude in einen energetisch ambitionierten Zustand zu bringen, um die Klimaschutzziele Deutschlands erreichen zu helfen. Denn zum Schutz des Klimas müssen im Bereich der Gebäude bis zum Jahr 2050 (gegenüber dem Stand von 1990) mindestens 80 % des Primärenergieverbrauchs eingespart werden, um eine Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C und möglichst sogar auf 1,5 °C zu begrenzen, wie auf der Weltklimakonferenz 2015 in Paris zwischen 197 Staaten vereinbart wurde.

Lernende und Lehrende stellen hohe Erwartungen an Architektur und Technik eines Schulgebäudes: Die einzelnen Räume (z. B. Klassen, Verwaltung, Sporthalle) werden unterschiedlich und zu verschiedenen Uhrzeiten genutzt, es gibt Ferienzeiten, die Räume müssen in Bezug auf Luftwechsel, Belichtung, Akustik und Blendung beachtliche Anforderungen erfüllen und nicht zuletzt auch Sicherheit, Hygiene und Schadstofffreiheit für Schülerinnen und Schüler als auch für Lehrerinnen und Lehrer garantieren und dabei für die Kommune finanzierbar bleiben. Um diese Ziele zu erreichen, ist ein integraler Sanierungsansatz erforderlich, der sicherstellt, dass bei vorgegebenen Budgets einerseits die Energieeinsparung erzielt und andererseits die Lehr- und Lernbedingungen optimiert werden. Dazu gehören vor allem behagliche Raumlufttemperaturen, gute Luftqualität und gute akustische und visuelle Verhältnisse. Darüber hinaus soll die Schule ein Ort sein, den Lernende und Lehrende gerne besuchen und an dem sie sich wohl fühlen.

Die energetische Sanierung der Schulen hat darüber hinaus noch einen ganz besonderen Stellenwert, da an keinem anderen Ort Gesellschaftswerte so nachhaltig geprägt werden wie in Bildungseinrichtungen. Über die Institution Schule kann die größtmögliche Durchdringung der Gesellschaft erreicht werden, sowohl alle sozialen und kulturellen Gesellschaftsschichten als auch viele Altersgruppen werden direkt oder indirekt mit der Schule und ihren Themen im Alltag konfrontiert. Die öffentliche Hand muss bei der Schulsanierung daher ihrer Vorbildwirkung gerecht werden, um die Bevölkerung zum Nachahmen im privaten Bereich zu animieren.

Durch Demonstrationsprojekte kann aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten derzeit technisch umsetzbar sind. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hatte daher vor Jahren die Initiative ergriffen und das Demonstrationsprojekt »Energieeffiziente Schulen« (EnEff:Schule) als Forschungsakzent in das Schwerpunktprogramm »Energieoptimiertes Bauen« (EnOB) aufgenommen. Es umfasst zwölf über das gesamte Bundesgebiet verteilte Demovorhaben (sieben Sanierungen und fünf Schulneubauten). Ein Teil

erreichte das Plusenergieniveau, diese Schulen erzeugten im Laufe eines Jahres lokal mehr Energie aus erneuerbaren Quellen als sie zum Betrieb benötigten, die restlichen erzielten den 3-Liter-Haus-Standard, also einen jährlichen Energieverbrauch von nahezu Null. Die Energiekonzepte wurden von örtlichen, in der Nähe liegenden Forschungsinstituten in Zusammenarbeit mit den für die Planung zuständigen Architekten und Anlagenplanern erstellt. Nach Fertigstellung und Bezug der Gebäude erfolgte eine zweijährige messtechnische Validierungsphase.

Für das Demovorhaben »Energieeffiziente Schulen« wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine Begleitforschung eingerichtet, die vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), der Hochschule München (HM) und dem Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) durchgeführt wurde. Das Begleitforschungsteam betreute alle Demovorhaben von Beginn der Konzeptionsphase bis zum Ende der Validierungsmessphase. Der Stand der ersten Projektphase ist im Buch »Energieeffiziente Schulen - EnEff:Schule« zusammengestellt. Im vorliegenden Buch sind neben den energetischen Zielen ergänzend auch die umgesetzten Maßnahmen und die gesammelten Erfahrungen beschrieben. Ferner sind sowohl die relevanten Ergebnisse der Validierungsmessungen als auch die Sanierungsbeziehungsweise Neubaukosten angegeben. Die im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung ermittelten Ergebnisse zu den Erwartungen der Lernenden und Lehrenden an die Sanierung bzw. an den Schulneubau und den vorgefundenen Zustand nach der Sanierung sind ebenfalls dargestellt. Durch die Vielzahl der Messdaten war neben der Einzeldarstellung eine Querauswertung und Verallgemeinerung der Ergebnisse möglich. Anhand der ermittelten Daten und Erkenntnisse konnten umfangreiche Empfehlungen zusammengestellt werden, die sowohl für die Sanierung als auch für den Schulneubau hilfreich sind. Für alle Personen und Institutionen, die bei der Planung eines Schulneubaus oder der Sanierung eines Schulgebäudes eingebunden sind, enthält das Buch wertvolle Informationen.

Das Buch entstand im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten EnEff:Schule-Begleitforschung. Wir bedanken uns beim Fördermittelgeber und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die uns gewährten Rahmenbedingungen. Unser Dank gilt ferner Frau Irmgard Haug vom Fraunhofer IBP für die graphische Erstellung der Bilder und dem Fraunhofer IRB Verlag für die gute Zusammenarbeit.

Die Autoren

Inhalt

1	Einführung	13
1.1	Hintergrund	15
1.2	Ziele	17
1.3	Grundlagen und Methodik	19
1.3.1	Planungsphase	20
1.3.2	Bauphase	21
1.3.3	Monitoringphase und Zweitbefragungen	21
1.4	Datenerhebung	22
1.4.1	Raumparameter und deren Bewertungskriterien	24
1.4.2	Energiekennwerte und Ziele	29
1.4.3	Kosten	29
1.4.4	Nutzer-Gebäude-Interaktion	30
2	Ergebnisse der sanierten Schulen	33
2.1	Uhlandschule, Stuttgart	36
2.1.1	Projektbeschreibung	37
2.1.2	Monitoring-Ergebnisse	50
2.1.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	50
2.1.4	Fazit	52
2.2	Friedrich-Fröbel-Schule, Olbersdorf	53
2.2.1	Projektbeschreibung	54
2.2.2	Monitoring-Ergebnisse	64
2.2.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	68
2.2.4	Fazit	72
2.3	Felix-Fechenbach- und Dietrich-Bonhoeffer-Berufskolleg, Detmold	73
2.3.1	Projektbeschreibung	74
2.3.2	Monitoring-Ergebnisse	82
2.3.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	86
2.3.4	Fazit	89
2.4	Schul- und Sportzentrum, Lohr a. M.	90
2.4.1	Projektbeschreibung	91
2.4.2	Monitoring-Ergebnisse	104
2.4.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	104
2.4.4	Fazit	108
2.5	Max-Steenbeck-Gymnasium, Cottbus	109
2.5.1	Projektbeschreibung	110
2.5.2	Monitoring-Ergebnisse	119
2.5.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	122
2.5.4	Fazit	127

2.6	Gymnasium Marktoberdorf	128
2.6.1	Projektbeschreibung	129
2.6.2	Monitoring-Ergebnisse	138
2.6.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	141
2.6.4	Fazit	146
2.7	Nordwindkinner-Grundschule und Europaschule, Rostock	147
2.7.1	Projektbeschreibung	148
2.7.2	Monitoring-Ergebnisse	160
2.7.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	166
2.7.4	Fazit	169
3	Ergebnisse der Schul-Neubauten	171
3.1	Arche Noah Kinderhaus, Höhenkirchen-Siegersbrunn	171
3.1.1	Projektbeschreibung	172
3.1.2	Monitoring-Ergebnisse	184
3.1.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	188
3.1.4	Fazit	195
3.2	St. Franziskus Grundschule, Halle	196
3.2.1	Projektbeschreibung	197
3.2.2	Monitoring-Ergebnisse	209
3.2.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	213
3.2.4	Fazit	217
3.3	Grundschule Niederheide, Hohen Neuendorf	218
3.3.1	Projektbeschreibung	219
3.3.2	Monitoring-Ergebnisse	228
3.3.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	232
3.3.4	Fazit	237
3.4	Science College, Overbach	238
3.4.1	Projektbeschreibung	239
3.4.2	Monitoring-Ergebnisse	253
3.4.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	256
3.4.4	Fazit	262
3.5	Willibald-Gluck-Gymnasium, Neumarkt i. d. OPf.	263
3.5.1	Projektbeschreibung	264
3.5.2	Monitoring-Ergebnisse	276
3.5.3	Sozialwissenschaftliche Begleitforschung	280
3.5.4	Fazit	283
4	Querauswertung	285
4.1	Querauswertung der Monitoring-Ergebnisse	285
4.1.1	Raumlufttemperatur	285
4.1.2	Luftqualität	288

4.1.3	Raumluftfeuchte	291
4.1.4	Energieverbrauch	294
4.1.5	Kosten	301
4.1.6	Innovative Komponenten	305
4.2	Querauswertung der sozialwissenschaftlichen Ergebnisse	307
4.2.1	Beschreibung der Stichprobe und Struktur der Erhebung	307
4.2.2	Erwartungen der Lehrkräfte an die sanierten Schulgebäude bzw. die Neubauten	310
4.2.3	Bewertung des Raumklimas und räumliche Aspekte im Vorher-Nachher-Vergleich	312
4.2.4	Bewertungen von Schülerschaft und Lehrkräften im Vergleich	315
4.2.5	Vergleich der sanierten Gebäude mit den Neubauten	317
4.2.6	Luftqualität	319
4.2.7	Raumlufttemperatur	322
4.2.8	Lichtverhältnisse im Klassenraum	328
4.2.9	Bewertung des Sonnenschutzes	330
4.2.10	Nutzerverhalten	332
4.2.11	Bewertung der innovativen Komponenten	332
4.2.12	Einflussfaktoren auf die Bewertung des allgemeinen Wohlbefindens in den Schulen	333
4.2.13	Nutzereingriffsmöglichkeiten in das Raumklima und Bewertungen	335
4.2.14	Bewertung des Lernklimas	338
4.2.15	Einbindung des Energiekonzepts und des Themas Energie in den Unterricht	339
4.2.16	Partizipation	341
4.2.17	Zusammenfassung der wesentlichen sozialwissenschaftlichen Ergebnisse	342
5	Strategien und Empfehlungen	345
5.1	Bauen als partizipativer Prozess	345
5.2	Ausgangsphase	346
5.3	Energetische Ziele	348
5.4	Gebäude	348
5.5	Anlagentechnik	352
5.6	Klassenraum	358
5.7	Betrieb	363
6	Ausblick	367
	Literaturverzeichnis	369

