

Bert Oschatz, Jens Rosenkranz,  
Bettina Mailach, Ralf Gritzki, Jens Kaiser,  
Alf Perschk, Markus Rösler, J. Seifert, Frank Otto

# **Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden**

F 2808

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8745-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)



**Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden**

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz - Dr. Hartmann - Dr. Werdin - Prof. Felsmann



**Universität Kassel**

Fachgebiet Bauphysik

# **Gesamtanalyse**

## **Energieeffizienz von Hallengebäuden**

### **Abschlussbericht**

Auftraggeber: FIGAWA  
Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V.  
Marienburger Straße 15  
50968 Köln

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden  
Forschung und Anwendung GmbH  
Bayreuther Str. 29 in 01187 Dresden  
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz  
Dipl.-Ing. Bettina Mailach  
Dr.-Ing. Ralf Gritzki  
Dipl.-Ing. Jens Kaiser  
Dr.-Ing. Alf Perschk  
Dr.-Ing. Markus Rösler  
Dr.-Ing. habil. J. Seifert  
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz  
  
Universität Kassel  
Fachgebiet Bauphysik  
Gottschalkstraße 28a in 34127 Kassel  
Dr. Frank Otto

Dresden, 30. Juni 2011

Dieser Bericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7 – 09.45 / II 3 – F20-09-047)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

## Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Vorbemerkung</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Untersuchungsmethoden</b>                              | <b>8</b>  |
| 2.1      | Allgemeines   | 8         |
| 2.2      | Untersuchung fiktiver Modellgebäude                       | 8         |
| 2.2.1    | Allgemeines   | 8         |
| 2.2.2    | Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599               | 8         |
| 2.2.3    | Thermische Simulationsrechnungen                          | 8         |
| 2.2.4    | Simulationen mit Anlagentechnik                           | 9         |
| 2.3      | Auswertung realer Verbrauchsdaten                         | 9         |
| 2.4      | Statistische Untersuchung                                 | 10        |
| 2.5      | Theoretische Betrachtungen                                | 10        |
| <b>3</b> | <b>Gebäudekatalog (E, SG)</b>                             | <b>11</b> |
| 3.1      | Allgemeines   | 11        |
| 3.2      | Bauteilkennwerte  | 11        |
| 3.2.1    | Allgemeine Kennwerte, Wärmeschutz                         | 11        |
| 3.2.2    | Wärmespeicherfähigkeit                                    | 13        |
| 3.3      | Gebäudevarianten  | 14        |
| 3.4      | Modellgebäude   | 15        |
| 3.4.1    | Allgemeines   | 15        |
| 3.4.2    | Werkstatt   | 15        |
| 3.4.3    | Fertigungsbetrieb, Fensterflächenanteil Außenwand ca. 30% | 15        |
| 3.4.4    | Fertigungsbetrieb, Fensterflächenanteil Außenwand ca. 80% | 15        |
| 3.4.5    | Logistikhalle   | 16        |
| 3.4.6    | Turnhalle   | 16        |
| 3.4.7    | Baumarkt mit Gartenbereich                                | 16        |
| 3.4.8    | Lebensmittelmarkt   | 16        |
| 3.5      | Heizlast  | 17        |
| <b>4</b> | <b>Nutzung (E, SG)</b>                                    | <b>19</b> |
| 4.1      | Allgemeines   | 19        |
| 4.2      | Untersuchte Nutzungsmodifikationen und EnEV               | 19        |
| 4.3      | Vorgriff: Vorschläge zur Überarbeitung                    | 20        |
| 4.4      | Energiebedarfsberechnungen DIN V 18599                    | 21        |
| 4.5      | Gebäudesimulationen                                       | 23        |
| <b>5</b> | <b>Anlagentechnik (E)</b>                                 | <b>24</b> |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.1      | Allgemeines .....  | 24        |
| 5.2      | Dezentrale Wärmeerzeugung .....                              | 24        |
| 5.3      | Zentrale Wärmeerzeugung .....                                | 24        |
| <b>6</b> | <b>Berechnungsergebnisse (E, SG) .....</b>                   | <b>25</b> |
| 6.1      | DIN V 18599 (E).....   | 25        |
| 6.2      | Anmerkungen zu den Berechnungsergebnissen (E).....           | 27        |
| 6.3      | Parametervariationen (E).....                                | 29        |
| 6.3.1    | Wirksame Speicherkapazität.....                              | 29        |
| 6.3.2    | Luftwechsel .....  | 30        |
| 6.4      | Simulationsergebnisse (SG) .....                             | 32        |
| 6.4.1    | Allgemeines.....   | 32        |
| 6.4.2    | Jahresnutzwärmebedarf.....                                   | 32        |
| 6.4.3    | Wirksame Speicherkapazität und Zeitkonstante.....            | 32        |
| 6.4.4    | Luftwechsel .....  | 34        |
| <b>7</b> | <b>Vergleich von Bedarfs- und Verbrauchswerten .....</b>     | <b>34</b> |
| 7.1      | Qualität und Umfang der Daten .....                          | 34        |
| 7.2      | Vergleichbarmachung von Bedarfs- und Verbrauchswerten.....   | 35        |
| 7.2.1    | Witterungsbereinigung .....                                  | 35        |
| 7.2.2    | Heiz-/Brennwertbezug.....                                    | 35        |
| 7.2.3    | Vergleich Bedarf/Verbrauch .....                             | 35        |
| 7.3      | Daten .....  | 36        |
| 7.4      | Interpretation.....  | 36        |
| <b>8</b> | <b>Heizenergieverbrauch Hallengebäude .....</b>              | <b>38</b> |
| 8.1      | Vorbemerkung .....   | 38        |
| 8.2      | Anzahl der Hallengebäude in Deutschland .....                | 38        |
| 8.2.1    | Nichtwohngebäude (NWG), Gesamtbestand und Abgänge .....      | 38        |
| 8.2.2    | Gebäudekategorien / Nutzungsarten .....                      | 39        |
| 8.2.3    | Beheizte Hallen .....  | 40        |
| 8.3      | Nutzfläche .....   | 43        |
| 8.3.1    | Allgemeines.....   | 43        |
| 8.3.2    | Nichtwohngebäude (Hallen+Nichthallen).....                   | 44        |
| 8.3.3    | Hallen Szenario 1 .....                                      | 45        |
| 8.3.4    | Hallen Szenario 2.....                                       | 45        |
| 8.3.5    | Hallen Szenario 2 mit erweitertem Betrachtungszeitraum ..... | 46        |
| 8.4      | Spezifischer Heizenergieverbrauch .....                      | 47        |
| 8.4.1    | Allgemeines.....   | 47        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 8.4.2     | Gebäude.....  | 47        |
| 8.4.3     | Baulicher Wärmeschutz .....   | 47        |
| 8.4.4     | Ermittlung der Verbrauchswerte.....   | 48        |
| 8.5       | Gesamtverbrauch und Einsparpotenzial .....  | 50        |
| 8.5.1     | Szenario 1 .....  | 50        |
| 8.5.2     | Szenario 2 .....  | 51        |
| 8.5.3     | Szenario 2 mit erweitertem Betrachtungszeitraum .....                                       | 52        |
| 8.5.4     | Erfassung energetischer Modernisierungen im Bestand .....                                   | 52        |
| 8.5.5     | Bestandsmaßnahmen ↔ verschärftes Anforderungsniveau Neubau .....                            | 53        |
| 8.6       | Zusammenfassung und Fazit.....  | 55        |
| <b>9</b>  | <b>Wirksame Wärmespeicherfähigkeit.....</b>   | <b>57</b> |
| 9.1       | Allgemeines .....   | 57        |
| 9.2       | Besonderheit Hallengebäude.....   | 57        |
| 9.3       | Außenbauteilen im Hallenbau .....   | 57        |
| 9.4       | Nutzungsabhängige speicherwirksame Massen .....   | 58        |
| 9.5       | Berechnungsansatz: Vereinfachte Berechnung in Anlehnung an DIN EN ISO 13768, Anhang A ..... | 58        |
| 9.6       | Vorgriff und Fazit.....   | 59        |
| <b>10</b> | <b>Bilanzinnentemperatur .....</b>  | <b>61</b> |
| 10.1      | Vorbemerkung .....  | 61        |
| 10.2      | Nachtsabsenkung.....  | 61        |
| 10.3      | Wochenend- und Urlaubsabsenkung.....  | 62        |
| 10.4      | Vergleich der Berechnungsergebnisse: Simulation Monatsbilanzverfahren .                     | 63        |
| <b>11</b> | <b>Lüftungswärmeverluste.....</b>   | <b>66</b> |
| 11.1      | Allgemeines .....   | 66        |
| 11.2      | Lüftungswärmeverluste durch Infiltration .....  | 66        |
| 11.2.1    | Allgemeines.....  | 66        |
| 11.2.2    | Derzeitiger Stand .....   | 66        |
| 11.2.3    | Bemessungswert ohne Bezug auf Gebäudevolumen, Umrechnung .....                              | 67        |
| 11.2.4    | Bemessungswerte $q_{50}$ .....  | 67        |
| 11.3      | Nutzungsbedingte Lüftungswärmeverluste .....  | 69        |
| 11.3.1    | Allgemeines.....  | 69        |
| 11.3.2    | Außenluftvolumenstrom durch nutzungsbedingte Toröffnungen .....                             | 70        |
| 11.3.3    | Hygienische Anforderungen.....  | 74        |
| 11.4      | Fazit .....   | 76        |
| 11.4.1    | Infiltration.....   | 76        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 11.4.2    | Torluftwechsel .....                                      | 77         |
| 11.4.3    | Hygienische Anforderungen.....                            | 77         |
| <b>12</b> | <b>Bewertung unterschiedlicher Heizungssysteme.....</b>   | <b>78</b>  |
| 12.1      | Literaturanalyse .....                                    | 78         |
| 12.1.1    | Vorbemerkung.....   | 78         |
| 12.1.2    | Theoretische Untersuchungen .....                         | 78         |
| 12.1.3    | Experimentelle Untersuchungen .....                       | 81         |
| 12.1.4    | Numerische Untersuchungen.....                            | 81         |
| 12.1.5    | Normative Angaben .....                                   | 85         |
| 12.1.6    | Weitere Untersuchungen .....                              | 87         |
| 12.1.7    | Fazit.....  | 87         |
| 12.2      | Verluste der Wärmeübergabe .....                          | 87         |
| 12.2.1    | Derzeitiger Stand .....                                   | 87         |
| 12.2.2    | Strahlungseinfluss.....                                   | 88         |
| 12.2.3    | Einfluss des Lufttemperaturprofils.....                   | 91         |
| 12.3      | Verluste der Wärmeerzeugung (dezentrale Erzeuger).....    | 102        |
| 12.3.1    | Derzeitiger Stand DIN V 18599-5.....                      | 102        |
| 12.3.2    | Überarbeitung des bestehenden Ansatzes .....              | 103        |
| <b>13</b> | <b>Simulationen mit Anlagentechnik (SGA) .....</b>        | <b>109</b> |
| 13.1      | Vorbemerkung .....  | 109        |
| 13.2      | Simulationswerkzeug .....                                 | 109        |
| 13.3      | Gebäude .....   | 111        |
| 13.3.1    | Hohe Halle.....   | 111        |
| 13.3.2    | Niedrige Halle.....                                       | 112        |
| 13.4      | Nutzung .....   | 113        |
| 13.4.1    | Reale Nutzung.....  | 113        |
| 13.4.2    | Nutzungsrandbedingungen Simulation .....                  | 113        |
| 13.4.3    | Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 .....           | 114        |
| 13.5      | Heizlast .....  | 116        |
| 13.6      | Anlagenvarianten – Auslegung und Simulationsmodelle ..... | 116        |
| 13.6.1    | Warmwasser-Deckenstrahlplatten .....                      | 116        |
| 13.6.2    | Fußbodenheizung .....                                     | 117        |
| 13.6.3    | Luftheizung.....  | 117        |
| 13.6.4    | Dunkelstrahler .....                                      | 119        |
| 13.6.5    | Hellstrahler .....  | 119        |
| 13.7      | Ergebnisse .....  | 120        |
| 13.7.1    | Simulationen.....   | 120        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 13.7.2    | Angepasste Energiebedarfsberechnung.....  | 121        |
| 13.7.3    | Vergleich: Simulation / DIN V 18599 „neu“ .....                                   | 122        |
| <b>14</b> | <b>Vorschläge zur Überarbeitung der DIN V 18599 .....</b>                         | <b>124</b> |
| 14.1      | Vorbemerkung .....  | 124        |
| 14.2      | Nutzungsprofile, Teil 10 .....  | 124        |
| 14.2.1    | Vorbemerkung.....   | 124        |
| 14.2.2    | Anpassung einzelner Parameter.....  | 124        |
| 14.2.3    | Ergänzung/Ersetzung vorhandener Nutzungsprofile .....                             | 127        |
| 14.3      | Lüftungsverhalten und Gebäudedichtheit, Teil 2/10.....                            | 133        |
| 14.3.1    | Allgemeines.....  | 133        |
| 14.3.2    | Infiltration.....   | 133        |
| 14.3.3    | Nutzungsbedingter Außenluftvolumenstrom.....                                      | 136        |
| 14.4      | Bewertung verschiedener Wärmeübergabesysteme, Teil 5.....                         | 136        |
| 14.4.1    | Strahlungseinfluss.....   | 136        |
| 14.4.2    | Teilnutzungsgrade der Wärmeübergabe .....   | 140        |
| 14.5      | Verluste der Wärmeerzeugung, Teil 5 .....   | 143        |
| 14.6      | Hilfsenergie, Teil 5 .....  | 145        |
| <b>15</b> | <b>Projektresultate und weiterhin bestehende Probleme.....</b>                    | <b>147</b> |
| 15.1      | Allgemeines .....   | 147        |
| 15.2      | Untersuchte Teilprobleme .....  | 148        |
| 15.2.1    | Gesamtsituation: Heizenergieverbrauch Hallen in Deutschland.....                  | 148        |
| 15.2.2    | Bedarf ↔ Verbrauch .....  | 148        |
| 15.2.3    | Charakterisierung von Hallen / Standardnutzungsprofile .....                      | 148        |
| 15.2.4    | Wärmespeicherfähigkeiten von Hallengebäuden, Bilanzinnentemperatur .....          | 148        |
| 15.2.5    | Lüftungswärmeverluste von Hallen.....   | 149        |
| 15.2.6    | Anlagentechnik / Energieeffizienz verschiedener Hallenheizsysteme.....            | 149        |
| 15.3      | Weiterhin bestehende Schwierigkeiten im Umgang mit der DIN V 18599 ..             | 150        |
| 15.3.1    | Transmissionswärmeverluste an das Erdreich .....                                  | 150        |
| 15.3.2    | Erfassung Dynamischer Betriebsweise auf Anlagenseite .....                        | 151        |
| 15.3.3    | Nicht plausible Effekte.....  | 152        |
| <b>16</b> | <b>Optimierungspotenzial, Anlage und Gebäude.....</b>                             | <b>154</b> |
| <b>17</b> | <b>Wechselwirkung EnEV ↔ EEWärmeG .....</b>                                       | <b>157</b> |
| 17.1      | EnEV 2009 und EEWärmeG 2008/2009: Situation und Vorschlag zur Fortschreibung..... | 157        |
| 17.2      | Situation 2011 .....  | 158        |
| <b>18</b> | <b>Anhang.....</b>  | <b>159</b> |
| A 1       | Zu 3.4: Hüllflächen Gebäudekatalog.....   | 159        |



|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| A 2       | Zu 4.4: Nutzungsprofile DIN V 18599-10/-100 [1][2].....                               | 164        |
| A 3       | Zu 4.5: Randbedingungen der thermischen Gebäudesimulationen (SG).....                 | 170        |
| A 4       | Zu 6.1: Energiebedarfswerte DIN V 18599 [1][2].....                                   | 172        |
| A 5       | Zu 6.3.1: Energiebedarfsberechnungen – Variation der wirksamen Speicherfähigkeit..... | 179        |
| A 6       | Zu 6.3.2: Energiebedarfsberechnungen – Variation des Luftwechsels.....                | 186        |
| A 7       | Zu 6.4: Simulationsergebnisse (SG).....   | 190        |
| A 8       | Zu 7.3: Bedarfs-Verbrauchs-Verhältnisse.....  | 216        |
| A 9       | Zusammenfassung der Simulationsrandbedingungen (SGA).....                             | 217        |
| A 10      | Simulationsbericht 17.12.2010, hohe Halle – Hellstrahler.....                         | 223        |
| A 11      | Simulationsbericht 17.12.2010, hohe Halle – Fußbodenheizung.....                      | 231        |
| A 12      | Simulationsbericht 17.12.2010, hohe Halle – Luftheizung (Decke).....                  | 239        |
| A 13      | Simulationsbericht 17.12.2010, hohe Halle – Luftheizung (Wand).....                   | 247        |
| A 14      | Simulationsbericht 17.12.2010, hohe Halle – Deckenstrahlplatten.....                  | 255        |
| A 15      | Simulationsbericht 15.01.2011, hohe Halle – Hellstrahler.....                         | 263        |
| A 16      | Simulationsbericht 15.01.2011, hohe Halle – Fußbodenheizung.....                      | 272        |
| A 17      | Simulationsbericht 15.01.2011, hohe Halle – Luftheizung (Decke).....                  | 281        |
| A 18      | Simulationsbericht 15.01.2011, hohe Halle – Luftheizung (Wand).....                   | 289        |
| A 19      | Simulationsbericht 15.01.2011, hohe Halle – Deckenstrahlplatten.....                  | 297        |
| A 20      | Simulationsbericht 24.01.2011, niedrige Halle – Hellstrahler.....                     | 307        |
| A 21      | Simulationsbericht 24.01.2011, niedrige Halle – Fußbodenheizung.....                  | 316        |
| A 22      | Simulationsbericht 24.01.2011, niedrige Halle – Luftheizung (Decke).....              | 325        |
| A 23      | Simulationsbericht 24.01.2011, niedrige Halle – Luftheizung (Wand).....               | 333        |
| A 24      | Simulationsbericht 24.01.2011, niedrige Halle – Deckenstrahlplatten.....              | 341        |
| A 25      | Zu 13.7.3: Anlagenvarianten DIN V 18599 neu, Zwischenstand.....                       | 351        |
| A 26      | Zu 13.7.2, 13.7.3: Vergleich Simulationen / DIN V 18599 neu.....                      | 352        |
| <b>19</b> | <b>Literatur/Quellen.....</b>   | <b>355</b> |