

# Vergleichende Analyse der Berechnungsverfahren der Gesamtenergieeffizienz für Bürogebäude in Luxemburg, Deutschland, Belgien, Schweiz und Frankreich

Wolfgang Render





PhD-FSTC-2016-42  
Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation

## DISSERTATION

verteidigt am 05/10/2016 in Luxemburg

zur Erlangung des Titels

## DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG EN SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

von

**Wolfgang Render**

geboren am 17. November 1963 in Rodalben (Deutschland)

## **Vergleichende Analyse der Berechnungsverfahren der Gesamtenergieeffizienz für Bürogebäude in Luxemburg, Deutschland, Belgien, Schweiz und Frankreich**

Prüfungskommission:

Dr.-Ing. Stefan Maas, Betreuer der Doktorarbeit

*Professeur, Université du Luxembourg*

Dr. rer. nat. Massimo Malvetti, Vorsitzender

*Professeur, Université du Luxembourg*

Dr.-Ing. Frank Scholzen

*Assistant Professeur, Université du Luxembourg*

Dr.-Ing. Anton Maas

*Professor, Universität Kassel*

Dr. Philippe André

*Professeur, Université Liège*



Berichte aus dem Bauwesen

**Wolfgang Render**

**Vergleichende Analyse der Berechnungsverfahren  
der Gesamtenergieeffizienz für Bürogebäude in  
Luxemburg, Deutschland, Belgien,  
Schweiz und Frankreich**

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Universität Luxemburg, Diss., 2016

Coverbild: © Patrick Meider, Fotolia.com (100750028)

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5821-5

ISSN 0945-067X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | Einleitung .....                                                        | 1  |
| 2.    | Zielsetzung und Vorgehensweise .....                                    | 2  |
| 2.1   | Ziele .....                                                             | 2  |
| 2.2   | Vorgehensweise .....                                                    | 3  |
| 3.    | Stand der Forschung .....                                               | 4  |
| 3.1   | Statistische Analysen .....                                             | 5  |
| 3.2   | Bedarfsorientierte Analysen .....                                       | 6  |
| 3.3   | Internationale Analysen .....                                           | 8  |
| 3.4   | Zusammenfassung .....                                                   | 8  |
| 4.    | Europäische Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz .....   | 9  |
| 4.1   | Gesamtenergieeffizienz von Bürogebäuden .....                           | 9  |
| 4.2   | Rechtliche und normative Vorgaben der Europäischen Union .....          | 11 |
| 4.2.1 | Europäische Richtlinien .....                                           | 12 |
| 4.2.2 | Europäische Normen im Überblick .....                                   | 13 |
| 4.3   | Berechnung der Gesamtenergieeffizienz nach EN ISO 13790 .....           | 15 |
| 4.3.1 | Wahl des Berechnungsverfahrens .....                                    | 16 |
| 4.3.2 | Geometrische Abgrenzung und Zonierung .....                             | 16 |
| 4.3.3 | Verfahrensweise .....                                                   | 17 |
| 4.3.4 | Dokumentation .....                                                     | 20 |
| 4.3.5 | Nationaler Gestaltungsspielraum .....                                   | 21 |
| 4.4   | Nationale Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz .....     | 23 |
| 4.4.1 | Verordnungen der einzelnen Staaten .....                                | 23 |
| 4.4.2 | Berechnungsmethodik und Grenzwerte .....                                | 26 |
| 4.4.3 | Eigenschaften der thermischen Hüllfläche .....                          | 43 |
| 4.4.4 | Rahmenbedingungen zur Anlagentechnik .....                              | 46 |
| 4.4.5 | Vereinfachungen und Besonderheiten .....                                | 48 |
| 4.5   | Zusammenfassung und Vergleich der nationalen Verordnungen .....         | 54 |
| 5.    | Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz ..... | 60 |
| 5.1   | Erläuterung der Methodik .....                                          | 60 |
| 5.2   | Festlegungen und Abgrenzungen .....                                     | 63 |
| 5.2.1 | Streuungsbreite der Berechnungen .....                                  | 63 |
| 5.2.2 | Flächen- und Zeitbezug der Energiebedarfswerte .....                    | 64 |
| 5.2.3 | Bezeichnungen der Berechnungsergebnisse .....                           | 65 |
| 5.2.4 | Kennwerte der thermischen Hüllflächen (U-Werte) .....                   | 65 |
| 5.2.5 | Abgrenzungen für die Berechnungen .....                                 | 66 |
| 5.2.6 | Nationale Definitionen .....                                            | 66 |
| 5.2.7 | Berechnungsprogramme .....                                              | 68 |
| 5.2.8 | Klima- und Standortbereinigung .....                                    | 69 |
| 5.3   | Systeme der Anlagentechnik .....                                        | 70 |

|         |                                                                                     |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.1   | Heizung.....                                                                        | 71  |
| 5.3.2   | Beleuchtung.....                                                                    | 73  |
| 5.3.3   | Lüftung.....                                                                        | 77  |
| 5.3.4   | Kühlung.....                                                                        | 83  |
| 5.3.5   | Hilfsenergie.....                                                                   | 85  |
| 5.4     | Datenerhebung.....                                                                  | 86  |
| 5.4.1   | Vorgehensweise .....                                                                | 86  |
| 5.4.2   | Bürogebäude ohne Lüftungs- oder Klimaanlage (Stichprobe SP1).....                   | 86  |
| 5.4.3   | Bürogebäude mit Lüftungs- und Klimaanlage (Stichprobe SP2) .....                    | 87  |
| 6.      | Berechnung des Energiebedarfs .....                                                 | 88  |
| 6.1     | Bürogebäude ohne Lüftungs- oder Klimaanlage (Stichprobe SP1).....                   | 88  |
| 6.1.1   | Grundlagen zu den Berechnungen.....                                                 | 88  |
| 6.1.2   | Nationale Konventionen für Heizung und Beleuchtung .....                            | 89  |
| 6.1.3   | Energiebedarf Heizung $q_{E,HZ}$ .....                                              | 89  |
| 6.1.4   | Elektrischer Energiebedarf $q_{E,Strom}$ .....                                      | 93  |
| 6.1.4.1 | Endenergiebedarf der Beleuchtung $q_{E,Bel}$ .....                                  | 93  |
| 6.1.4.2 | Endenergiebedarf der Ausstattung $q_{E,Aus}$ .....                                  | 96  |
| 6.1.4.3 | Energiebedarf Trinkwarmwasser $q_{E,Tww}$ und Hilfsenergie $q_{E,He}$ .....         | 97  |
| 6.1.4.4 | Elektrischer Energiebedarf aller Anlagen $q_{E,gesamt}$ .....                       | 97  |
| 6.1.5   | Primärenergiebedarf .....                                                           | 99  |
| 6.1.6   | Parameterstudien zum berechneten Energiebedarf .....                                | 103 |
| 6.1.6.1 | Grundlagen zu den Parameterstudien .....                                            | 103 |
| 6.1.6.2 | Parameterstudien zur Anlagentechnik Heizung.....                                    | 105 |
| 6.1.6.3 | Parameterstudien zur Anlagentechnik Trinkwarmwasser .....                           | 107 |
| 6.1.6.4 | Parameterstudien zur Anlagentechnik Beleuchtung .....                               | 107 |
| 6.1.6.5 | Parameterstudien zu Konventionen der Nutzungsprofile .....                          | 108 |
| 6.1.6.6 | Parameterstudien zum Infiltrationsluftwechsel (Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa) ..... | 110 |
| 6.1.6.7 | Parameterstudien zum U-Wert der Fenster .....                                       | 111 |
| 6.1.6.8 | Übersicht der Ergebnisse .....                                                      | 111 |
| 6.1.7   | Zusammenfassung .....                                                               | 114 |
| 6.2     | Bürogebäude mit Lüftungs- und Klimaanlage (Stichprobe SP2) .....                    | 116 |
| 6.2.1   | Allgemeines .....                                                                   | 116 |
| 6.2.2   | Nationale Konventionen für Lüftung und Kühlung .....                                | 118 |
| 6.2.2.1 | Infiltrationsluftwechsel.....                                                       | 118 |
| 6.2.2.2 | Spezifische Leistung der Ventilatoren $P_{SFP}$ .....                               | 123 |
| 6.2.3   | Energiebedarf Heizung .....                                                         | 125 |
| 6.2.4   | Elektrischer Energiebedarf .....                                                    | 128 |
| 6.2.4.1 | Endenergiebedarf der Beleuchtung $q_{E,Bel}$ .....                                  | 129 |
| 6.2.4.2 | Endenergiebedarf der Lüftung $q_{E,RLT}$ .....                                      | 131 |
| 6.2.4.3 | Endenergiebedarf der Kühlung $q_{E,Kühl}$ .....                                     | 132 |

|         |                                                                             |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.4.4 | Endenergiebedarf der Ausstattung $q_{E,Aus}$ .....                          | 135 |
| 6.2.4.5 | Energiebedarf Trinkwarmwasser $q_{E,Tww}$ und Hilfsenergie $q_{E,He}$ ..... | 135 |
| 6.2.4.6 | Elektrischer Endenergiebedarf aller Anlagen $q_{E,gesamt}$ .....            | 135 |
| 6.2.5   | Primärenergiebedarf $q_P$ .....                                             | 138 |
| 6.2.6   | Variation verschiedener Berechnungsparameter .....                          | 141 |
| 6.2.6.1 | Wärmerückgewinnungssysteme (WRG) .....                                      | 142 |
| 6.2.6.2 | Betriebszeit der Beleuchtung .....                                          | 144 |
| 6.2.6.3 | Art der Lüftungsanlage .....                                                | 146 |
| 6.2.6.4 | Nutzungsbedingter Mindestaußenluftwechsel durch die Lüftungsanlage .....    | 147 |
| 6.2.6.5 | Betriebszeit der Lüftungsanlage .....                                       | 148 |
| 6.2.6.6 | Art der Kühlung (RLT- oder Raumkühlung) .....                               | 149 |
| 6.2.6.7 | Betriebszeit der Kühlung .....                                              | 150 |
| 6.2.6.8 | Übersicht der Ergebnisse .....                                              | 152 |
| 6.2.7   | Zusammenfassung .....                                                       | 153 |
| 6.3     | Diskussion der Ergebnisse der SP1/SP2 .....                                 | 154 |
| 7.      | Vergleich der nationalen Berechnungsverfahren .....                         | 158 |
| 8       | Schlussfolgerung und Ausblick .....                                         | 160 |
| 8.1     | Schlussfolgerung .....                                                      | 160 |
| 8.2     | Ausblick .....                                                              | 163 |
|         | Literaturverzeichnis .....                                                  | 165 |
|         | Rechtsquellen und Sonstiges .....                                           | 178 |
|         | Glossar .....                                                               | 179 |