

Energie- und Ökoeffizienz von Wohngebäuden

**Entwicklung eines Verfahrens zur
lebenszyklusorientierten Bewertung der Umweltwirkungen
unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase**

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Dr.-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte

Dissertation

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Alexander Renner
aus Albstadt-Ebingen

D17
Darmstadt 2007

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Technische Universität Darmstadt

Institut für Massivbau

Petersenstr. 12

64287 Darmstadt

<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Renner, Alexander

Energie- und Ökoeffizienz von Wohngebäuden -
Entwicklung eines Verfahrens zur lebenszyklusorientierten Bewertung der Umwelt-
wirkungen unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase

1. Auflage Darmstadt, Eigenverlag, Heft 14

ISBN 978-3-9811881-3-4

Dr.-Ing. Alexander Renner

Geboren 1972 in Albstadt-Ebingen. Von 1996 bis 2001 Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Darmstadt. Von 2001 bis 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. Von 2006 bis 2007 Mitarbeiter des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung in Bonn. Seit 2007 Referent im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in Berlin.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2001 bis 2006 während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich sehr herzlich für seine Unterstützung und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger danke ich für sein Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Korreferates.

Meinen Kolleginnen und Kollegen des Instituts danke ich für die gute Zusammenarbeit und das freundschaftliche Verhältnis. Ich werde die gemeinsame Zeit stets in guter Erinnerung behalten. Insbesondere gilt mein Dank Frau Dr.-Ing. Kati Herzog für die zahlreichen fachlichen Diskussionen im Bereich der Nachhaltigkeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei den vielen Studenten, die durch ihre Diplomarbeiten zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Andreas Krampfl, Herrn Dipl.-Ing. Sven Lang und Herrn Dipl.-Ing. Kai Herchen.

Vor allem aber gilt mein Dank meinen Eltern Helga und Dieter Renner, die mich in all den Jahren liebevoll unterstützt und stets den notwendigen Rückhalt gegeben haben.

Berlin, im Januar 2008

Alexander Renner

Referent: Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Korreferent: Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger

Tag der Einreichung: 6. Juni 2007

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Juli 2007

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis.....	9
Glossar	15
1 Einleitung	19
1.1 Ausgangslage	19
1.2 Zielsetzung.....	24
1.3 Gliederung	25
2 Nachhaltige Entwicklung	27
2.1 Einführung.....	27
2.2 Chronologische Übersicht nachhaltiger Politik.....	27
2.3 Umsetzung nachhaltiger Grundsätze	29
2.4 Nachhaltigkeit im Bauwesen	30
2.4.1 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit.....	30
2.4.2 Ökologisches Bauen	32
2.4.3 Ökonomisches Bauen.....	34
2.4.4 Energieeffizientes Bauen	35
3 Grundlagen der Ökobilanzierung von Bauwerken.....	39
3.1 Einführung.....	39
3.2 Umweltverträglichkeitsprüfung	39
3.3 Risikoanalyse	41
3.4 EG-Öko-Audit-Verordnung.....	41
3.5 Umweltmanagementsystem.....	42
3.6 Methode der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040	43
3.6.1 Einleitung	43
3.6.2 Ziel und Untersuchungsrahmen	43
3.6.3 Sachbilanz	45
3.6.4 Wirkungsabschätzung.....	47
3.6.5 Auswertung	62
3.7 Zwischenfazit	73
4 Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauprodukten und -prozessen.....	75
4.1 Überblick.....	75

4.2	Basisdaten.....	76
4.2.1	Einleitung.....	76
4.2.2	Simapro.....	76
4.2.3	GEMiS.....	78
4.2.4	Ecoinvent.....	81
4.2.5	ProBas	82
4.2.6	Ökologischer Bauteilkatalog.....	84
4.2.7	Forschungsvorhaben „Ganzheitliche Bilanzierung“	85
5	Entwicklung eines Verfahrens zur Abschätzung der Energie- und Öko-Effizienz von Wohngebäuden.....	87
5.1	Funktionale Einheit eines Gebäudes.....	87
5.1.1	Einleitung.....	87
5.1.2	Gebäude.....	88
5.1.3	Bauteile	89
5.2	Nutzer.....	100
5.2.1	Einleitung.....	100
5.2.2	Innenraumtemperatur	100
5.2.3	Trinkwasserbedarf	103
5.2.4	Lüftungsverhalten.....	104
5.2.5	Interne Wärmegewinne	107
5.2.6	Solare Wärmegewinne	110
5.2.7	Heizungsunterbrechung	111
5.2.8	Zwischenfazit.....	112
5.3	Sachbilanzierung der Baukonstruktion	113
5.4	Energetische Sachbilanzierung der Nutzungsphase	116
5.4.1	Einführung.....	116
5.4.2	Wärmeverluste	118
5.4.3	Wärmegewinne	120
5.4.4	Heizungsunterbrechung	124
5.4.5	Heizwärmebedarf	126
5.4.6	Trinkwarmwasserbereitung	127
5.4.7	Endenergiebedarf.....	127
5.4.8	Primärenergiebedarf.....	129
5.5	Wirkungsabschätzung und Auswertung der Sachbilanzergebnisse	131

6	<i>bauluna</i> – ein Softwaretool zur lebenszyklusorientierten Ökobilanzierung von Wohngebäuden	135
6.1	Einleitung	135
6.2	Beschreibung der Komponenten des Softwaretools <i>bauluna</i>	137
6.2.1	Projektverwaltung über das Hauptmenu	137
6.2.2	Eingabe der Gebäudeparameter.....	138
6.2.3	Definition der Bauteilparameter.....	145
6.2.4	Darstellung des Gebäudeenergiebedarfs in der Nutzungsphase.....	147
6.2.5	Ökobilanzierung des Gebäudes.....	151
6.2.6	Gesamt-Ökoeffizienzausweis.....	159
6.2.7	Sensitivitätsanalyse	163
6.2.8	Variantenrechnung des Nutzenergiebedarfs.....	164
6.3	Diskussion ausgewählter Ergebnisse.....	169
6.4	Zwischenfazit	176
7	Bewertung der Ökoeffizienz ausgewählter Gebäudetypen und -varianten.....	177
7.1	Überblick.....	177
7.2	Systematik der Gebäude-Variantenbildung.....	178
7.3	Bauteile	182
7.4	Baumaterialien	186
7.5	Auswertung	188
7.5.1	Betrachtungszeitraum	188
7.5.2	Auswertung der Gebäudetypen B bis D.....	188
7.5.3	Anwendung des Passivhaus-Standards	203
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für einen energie- und ökoeffizienten Bauwerksentwurf.....	209
9	Zusammenfassung und Ausblick	215
	Literaturverzeichnis	219
	Anlagen	