

Inhaltsübersicht

A Allgemeines und Normung

- A 1 Nachhaltigkeit und Klimaschutz im Hochbau – vom Energieverbrauch in der Nutzung zur Lebenszyklusanalyse 1
Özlem Özdemir, Carina Hartmann, Karina Krause, Annette Hafner
- A 2 Lebenszyklus von Gebäuden – die Zukunft des Bauens 25
Gunnar Clemenz, Thomas Putscher
- A 3 Klimagerechtes Bauen 43
Thorsten Schütze
- A 4 Die Ermittlung der Ressourceneffizienz und der Klimabelastung von Bauwerken 83
Clemens Mostert, Husam Sameer, Stefan Bringezu

B Dämmstoffe

- B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 119
Wolfgang M. Willems, Kai Schild
- B 2 Nachhaltige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen 197
Peter Schmidt, Saskia Windhausen
- B 3 Recycling von Wärmedämmstoffen 223
Wolfgang Albrecht

C Konstruktionen und Baustoffe

- C 1 Aufstockung versus Abriss und Neubau – Vergleich von ökologischen und ökonomischen Auswirkungen 245
Annette Hafner, Michael Storck
- C 2 Nachhaltiger Betonbau 259
Michael Haist, Konrad Bergmeister, Nabil A. Fouad, Manfred Curbach, Macielle Vivienne Delters, Patrick Forman, Jesko Gerlach, Tobias Hatzfeld, Jannik Hoppe, Benjamin Kromoser, Peter Mark, Christoph Müller, Harald S. Müller, Christoph Scope, Tobias Schack, Matthias Tietze, Klaus Volt
- C 3 Ganzheitliche Ökobilanzierung von Wohnquartieren in Holzbauweise 365
Sven Steinbach, Carolin Schulze, Christoph Kunde
- C 4 Bewertung von Bauelementen und Baustoffen für nachhaltiges Bauen 417
Jörn Peter Lass, Christoph Seehauser, Jürgen Benitz-Wildenburg
- C 5 Vakuumglasintegration in Bestands- und Neufenster 447
Ulrich Pont, Peter Schober, Magdalena Wölzl, Matthias Schuss
- C 6 Cross Layers Light – Ein ressourceneffizientes und recyclebares Holz-Wandsystem 483
Markus Duffner, Thomas Ulbel, Lelf A. Peterson, Wilfried Moorkamp
- C 7 Nachhaltige Gebäudetechnologie in Forschung und Entwicklung 503
Marco Wolf, Martin Buchholz, Arno Schlüter, Philipp Geyer
- C 8 Solar Decathlon Europe 2022 – Bauphysikalische Ergebnisse von Demonstrationsgebäuden 531
Karsten Voss, Heiko Hansen, Marvin Kaliga, Isil Kalpkirmaz Rizaoglu

VI Inhaltsübersicht

- C 9 Planung, Ausführung und Betriebserfahrung eines Plus-Energie-Bürohochhauses 551**
Alexander David, Thomas Bednar, Markus Leeb, Helmut Schöberl
- C 10 Energy Design: Gestaltung und Innovation in Bestandsgebäuden 595**
Bernhard Sommer, Ulrich Pont, Malgorzata Sommer-Nawara, Galo Patricio Moncayo Asan
- D Materialtechnische Tabellen**
- D 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 623**
Nina Schjerve
- D 2 Materialtechnische Tabellen 661**
Rainer Hohmann

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XXI

A	Allgemeines und Normung	
A 1	Nachhaltigkeit und Klimaschutz im Hochbau – vom Energieverbrauch in der Nutzung zur Lebenszyklusanalyse 1	
	Özlem Özdemir, Carina Hartmann, Karina Krause, Annette Hafner	
1	Einführung – jetzt handeln 3	3.3 Aktuelle Trends 11
1.1	Hintergrund 3	3.3.1 Nachhaltigkeitsbewertung (QNG) 11
1.2	Klimaschutz und Ressourcenschonung 3	3.3.2 Umsetzung im GEG 11
2	Nachhaltigkeitsbewertung im Hochbau 4	4 Beispielhafte Bewertung im Wohnungsbau 12
2.1	Begriffsdefinition und Entwicklung des Begriffs 4	4.1 Rahmenbedingungen 12
2.2	Nachhaltigkeitszertifizierung 5	4.1.1 Lebenszyklusanalyse von Gebäuden 12
2.2.1	Zertifizierungssysteme der ersten Generation „Green Buildings“ 6	4.1.2 Gebäuderahmenbedingungen 12
2.2.2	BREEAM 6	4.1.3 Umweltindikatoren 13
2.2.3	LEED 6	4.2 Gebäudeübersicht 13
2.3	Zertifizierungssysteme der zweiten Generation DGNB, NaWoh, BNB, BNK 6	4.3 Einbezug von Nutzerstrom und Einbezug/Bewertung der Photovoltaikanlage 13
2.3.1	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) 6	4.4 Sonderthema „Gebäude mit Kellergeschoss“ 14
2.3.2	Bewertungssystem Nachhaltigen Bauens (BNB) 7	4.4.1 Repräsentative Gebäude 14
2.3.3	Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) 7	5 Ergebnisse 14
2.3.4	Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau (BNK) 7	5.1 LCA-Ergebnisse GWP 14
3	Klimaschutzaspekte in der Nachhaltigkeitsbewertung 8	5.2 LCA-Ergebnisse PENRT 16
3.1	Bewertung der ökologischen Qualität im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung 8	5.3 Sensitivitätsanalyse zum Energieverbrauch im Betrieb einschließlich Modul B6.3 17
3.1.1	Energie 8	5.4 Ergebnisse Sonderthema „Gebäude mit Kellergeschoss“ 18
3.1.2	Emissionen 8	5.4.1 LCA-Ergebnisse GWP 18
3.1.3	Schadstoffe 8	5.4.2 Vergleich der Ergebnisse zukunftsorientiertes/konventionelles Gebäude 18
3.1.4	Flächeneinsparung/Flächenversiegelung 9	5.4.3 Vergleich der Ergebnisse BGF/NRF 18
3.1.5	Wasser 9	5.4.4 Vergleich mit/ohne Keller 19
3.1.6	Nachwachsende Rohstoffe 10	5.4.5 Schlussfolgerung 20
3.2	Kernthema Lebenszyklusbetrachtung (LCA) 10	6 Diskussion und Schlussfolgerung 20
3.2.1	LCA Normung 10	7 Fazit 21
3.2.2	Lebenszyklusphasen 10	Literatur 21

A 2	Lebenszyklus von Gebäuden – die Zukunft des Bauens	25	
	Gunnar Clemenz, Thomas Putscher		
1	Einleitung	27	3.2
2	Regulierung zur Energieeinsparung von Gebäuden	27	3.2.1
2.1	Wärmeschutzverordnung	27	3.2.2
2.2	Heizungsanlagen- und Heizungsbetriebs-Verordnung	28	3.2.3
2.3	Energieeinsparverordnung	28	3.2.4
2.4	Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz	28	3.2.5
2.5	Gebäudeenergiegesetz	28	3.3
2.6	Auswirkungen von Energiestandards in der Nutzungsphase eines Gebäudes	29	3.4
3	Umweltwirkung im Lebenszyklus von Gebäuden	30	4
3.1	Grundlagen der Gebäude-Ökobilanzierung	31	
			Ökobilanz im Rahmen der Nachhaltigkeits-zertifizierung
			LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
			BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method
			DGNB/BNB
			TQB – Total Quality Building Assessment
			MINERGIE-ECO
			Eingabedaten für die Ökobilanz
			Relevanz der Grauen Emissionen
			Ausblick
			Literatur
A 3	Klimagerechtes Bauen	43	
	Thorsten Schütze		
1	Einleitung	45	3.2.1
2	Grundlagen des klimagerechten Bauens	46	3.2.2
2.1	Klimafaktoren	46	3.2.3
2.2	Klimazonen und bauliche Anforderungen	47	3.2.4
2.2.1	Feuchtwarme Klimazonen	47	4
2.2.2	Trockenheiße Klimazonen	50	4.1
2.2.3	Gemäßigte Klimazonen	54	4.2
2.2.4	Kalte Klimazonen	56	4.3
3	Klimagerechte Nullemissionsgebäude	59	4.3.1
3.1	Baustoffe und Komponenten	60	4.3.2
3.2	Gebäudebetrieb	61	
			Energieeffizienz
			Erneuerbare Energieproduktion
			Wassereffizienz und Nährstoffrecycling
			Vegetation und Begrünung
			Informationen und Planungswerkzeuge
			Nichtklimatische Informationen
			Klimadaten
			Planungsinstrumente
			Analoge Planungsinstrumente
			Digitale Planungsinstrumente
			Literatur
A 4	Die Ermittlung der Ressourceneffizienz und der Klimabelastung von Bauwerken	83	
	Clemens Mostert, Husam Sameer, Stefan Bringezu		
1	Einleitung	85	2.1.5
2	Ökologische Bewertung von Gebäuden mit Ressourcen- und Klimafußabdrücken	86	2.1.6
2.1	Ressourcennutzung in Bewertungssystemen für Nachhaltigkeit im Baubereich	86	2.2
2.1.1	BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method	86	2.3
2.1.2	CASBEE – Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency	86	2.3.1
2.1.3	DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	86	2.3.2
2.1.4	LEED – Leadership in Energy and Environmental Design	87	2.3.3
			2.4
			3
			3.1
			3.1.1
			3.1.2
			3.1.3
			3.1.4
			BNB – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
			EPD – Umweltproduktdeklaration
			Ökobilanzielle Bestimmung von Fußabdrücken
			Ressourcenfußabdrücke
			Materialfußabdruck
			Energiefußabdruck
			Wasserfußabdruck
			Klimafußabdruck
			Anwendungsbeispiele
			Beton
			Einführung
			Methode
			Ergebnisse
			Zusammenfassung

3.2	Außenwandaufbauten	97	3.4.3	Ergebnisse	106
3.2.1	Einführung	97	3.4.3.1	Entsorgungsphase (C1–C3)	106
3.2.2	Methode	97	3.4.3.2	Herstellung	
3.2.3	Ergebnisse	97		von Recycling-Gesteinskörnung	107
3.2.4	Zusammenfassung	99	3.4.3.3	Betonherstellung	107
3.3	Technologievergleich		3.4.4	Zusammenfassung	108
	Heizungssysteme	100	3.5	Fußabdruckanalyse mit Building	
3.3.1	Einleitung	100		Information Modeling (BIM)	109
3.3.2	Methode	100	3.5.1	Einleitung	109
3.3.3	Ergebnisse	102	3.5.2	Methode	110
3.3.4	Zusammenfassung	104	3.5.3	Ergebnisse	111
3.4	Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft:		3.5.4	Zusammenfassung	112
	Betonrecycling	104	4	Zusammenfassung und Ausblick	112
3.4.1	Einleitung	104		Literatur	114
3.4.2	Methodik	104			

B Dämmstoffe

B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 119
Wolfgang M. Willems, Kai Schild

1	Physikalische Grundlagen	123	2.3.2	Bindemittel	141
1.1	Wärmeschutz	123	2.3.3	Stützfasern	141
1.1.1	Wärmeleitfähigkeit λ	123	2.3.4	Zusätze für Brand- und	
1.1.2	Wärmedurchlasswiderstand R	126		Feuchteschutz	142
1.1.3	Spezifische Wärmekapazität c	126	2.4	Entwicklung der Dämmschichtdicken in	
1.1.4	Temperaturleitzahl a	127		Dach und Wand in den europäischen	
1.1.5	Physik der Wärmedämmung	127		Ländern	142
1.2	Feuchteschutz	128	3	Beschreibung von Dämmstoffen	143
1.2.1	Wasserdampf-Diffusionswiderstands-		3.1	Aerogel	143
	zahl μ	128	3.1.1	Herstellung und Hintergrund-	
1.2.2	Wasserdampfdiffusionsäquivalente			informationen	143
	Luftschichtdicke s_d	129	3.1.2	Anwendungsbereiche und	
1.2.3	Auswahl der Wasserdampf-Diffusions-			Verarbeitung	144
	widerstandszahl μ für den Nachweis		3.1.3	Charakteristische Kenngrößen	
	nach Glaser	129		„Aerogel“	144
1.3	Schallschutz	129	3.1.4	Gesundheitliche und ökologische	
1.3.1	Schallabsorptionsgrad	129		Aspekte	144
1.3.2	Schallabsorptionsfläche A	130	3.2	Baumwolle	144
1.3.3	Längenbezogener Strömungs-		3.2.1	Herstellung und Hintergrund-	
	widerstand r	130		informationen	144
1.3.4	Dynamische Steifigkeit s'	131	3.2.2	Anwendungsbereiche und	
1.3.5	Dynamischer Elastizitätsmodul E_{Dyn}	131		Verarbeitung	145
1.4	Brandschutz	131	3.2.3	Charakteristische Kenngrößen	
1.4.1	Baustoffklassen nach DIN 4102-1	131		„Baumwolle“	146
1.4.2	Benennung des Brandverhaltens nach		3.2.4	Gesundheitliche und ökologische	
	DIN EN 13501-1	132		Aspekte	146
1.5	Rohdichte	135	3.3	Blähglas	146
2	Dämmstoffe im Bauwesen	136	3.3.1	Herstellung und Hintergrund-	
2.1	Dämmstoffübersicht	136		informationen	146
2.2	Aspekte für die Auswahl von		3.3.2	Anwendungsbereiche und	
	Dämmstoffen	136		Verarbeitung	147
2.2.1	Baukonstruktive Aspekte	136	3.3.3	Charakteristische Kenngrößen	
2.2.2	Bauphysikalische Aspekte	136		„Blähglas“	147
2.2.3	Ökologische Aspekte	136	3.3.4	Gesundheitliche und ökologische	
2.2.4	Ökonomische Aspekte	140		Aspekte	147
2.3	Zusatzstoffe	140	3.4	Blähton	148
2.3.1	Treibmittel	140			

3.4.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 148	3.10.3	Charakteristische Kenngrößen „Kalziumsilikat“ 158
3.4.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 148	3.10.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 158
3.4.3	Charakteristische Kenngrößen „Blähton“ 149	3.11	Kokos 159
3.4.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 149	3.11.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 159
3.5	Flachs 149	3.11.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 159
3.5.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 149	3.11.3	Charakteristische Kenngrößen „Kokos“ 159
3.5.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 150	3.11.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 159
3.5.3	Charakteristische Kenngrößen „Flachs“ 150	3.12	Kork 160
3.5.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 150	3.12.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 160
3.6	Getreidegranulat 150	3.12.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 160
3.6.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 150	3.12.3	Charakteristische Kenngrößen „Kork“ 161
3.6.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 151	3.12.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 161
3.6.3	Charakteristische Kenngrößen „Getreidegranulat“ 151	3.13	Melaminharzschaum 161
3.6.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 151	3.13.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 161
3.7	Hanf 152	3.13.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 162
3.7.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 152	3.13.3	Charakteristische Kenngrößen „Melaminharz“ 162
3.7.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 152	3.13.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 162
3.7.3	Charakteristische Kenngrößen „Hanf“ 153	3.14	Mineralschaum 162
3.7.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 153	3.14.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 162
3.8	Holzfaser 153	3.14.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 163
3.8.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 153	3.14.3	Charakteristische Kenngrößen „Mineralschaum“ 163
3.8.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 154	3.14.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 163
3.8.3	Charakteristische Kenngrößen „Holzfaser“ 154	3.15	Mineralwolle 164
3.8.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 154	3.15.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 164
3.9	Holzwohle-Leichtbauplatten und Holzwohle-Mehrschichtplatten 155	3.15.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 165
3.9.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 155	3.15.3	Charakteristische Kenngrößen „Mineralwolle“ 165
3.9.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 156	3.15.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 165
3.9.3	Charakteristische Kenngrößen „HWL“ 157	3.16	Perlite 166
3.9.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 157	3.16.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 166
3.10	Kalziumsilikat 157	3.16.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 166
3.10.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 157	3.16.3	Charakteristische Kenngrößen „Perlite“ 167
3.10.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 158	3.16.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 167
		3.17	Phenolharz 167

3.17.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 167	3.23.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 177
3.17.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 167	3.24	Schaumglas 177
3.17.3	Charakteristische Kenngrößen „Phenolharz“ 168	3.24.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 177
3.17.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 168	3.24.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 178
3.18	Polyesterfaser 168	3.24.3	Charakteristische Kenngrößen „Schaumglas“ 178
3.18.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 168	3.24.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 179
3.18.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 168	3.25	Schilfrohr 179
3.18.3	Charakteristische Kenngrößen „Polyesterfaser“ 169	3.25.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 179
3.18.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 169	3.25.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 179
3.19	Polystyrol, expandiert (EPS) 169	3.25.3	Charakteristische Kenngrößen „Schilfrohr“ 180
3.19.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 169	3.25.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 180
3.19.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 170	3.26	Seegras 180
3.19.3	Charakteristische Kenngrößen „EPS“ 171	3.26.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 180
3.19.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 171	3.26.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 180
3.20	Polystyrol, extrudiert (XPS) 171	3.26.3	Charakteristische Kenngrößen „Seegras“ 180
3.20.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 171	3.26.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 181
3.20.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 172	3.27	Stroh 181
3.20.3	Charakteristische Kenngrößen „XPS“ 173	3.27.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 181
3.20.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 173	3.27.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 181
3.21	Polyurethan (PUR, Hartschaum und Ortschaum) 173	3.27.3	Charakteristische Kenngrößen „Stroh“ 182
3.21.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 173	3.27.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 182
3.21.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 174	3.28	Transparente Wärmedämmung 182
3.21.3	Charakteristische Kenngrößen „PUR“ 174	3.28.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 182
3.21.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 175	3.28.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 182
3.22	Pyrogene Kieselsäure 175	3.28.3	Charakteristische Kenngrößen „TWD“ 183
3.22.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 175	3.28.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 183
3.22.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 175	3.29	Vacuum Insulating Sandwich (VIS) 183
3.22.3	Charakteristische Kenngrößen „Pyrogene Kieselsäure“ 175	3.29.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 183
3.22.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 176	3.29.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 185
3.23	Schafwolle 176	3.29.3	Charakteristische Kenngrößen „VIS“ 185
3.23.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 176	3.29.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte 185
3.23.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 176	3.30	Vakuuminisationspaneele (VIP) 185
3.23.3	Charakteristische Kenngrößen „Schafwolle“ 177	3.30.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 185
		3.30.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 187

3.30.3	Charakteristische Kenngrößen „VIP“	188	3.32.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung	189
3.30.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte	188	3.32.3	Charakteristische Kenngrößen „Zellelastomere“	190
3.31	Vermiculite	188	3.32.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte	190
3.31.1	Herstellung und Hintergrundinformationen	188	3.33	Zellulose	190
3.31.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung	188	3.33.1	Herstellung und Hintergrundinformationen	190
3.31.3	Charakteristische Kenngrößen „Vermiculite“	189	3.33.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung	191
3.31.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte	189	3.33.3	Charakteristische Kenngrößen „Zellulose“	191
3.32	Zellelastomere	189	3.33.4	Gesundheitliche und ökologische Aspekte	192
3.32.1	Herstellung und Hintergrundinformationen	189		Literatur	192
B 2	Nachhaltige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen				197
	Peter Schmidt, Saskia Windhausen				
1	Einleitung	199	3.3.3	Schwelverhalten	211
2	Eigenschaften nachhaltiger Dämmstoffe	200	3.3.4	Anforderungen an Dämmstoffe als Hohlraumdämmung	211
2.1	Marktanteile	201	3.3.5	Schwelen und Glimmen	212
2.2	Primärenergieinhalt, CO ₂ -Emissionen	201	4	Physikalische Grundlagen und Kennwerte	212
2.3	Rohstoffe, Transport	202	4.1	Rohdichte	212
2.4	Schädliche Inhaltsstoffe	202	4.2	Wärmeschutztechnische Kennwerte	212
2.5	Entsorgung, Rückführung in die natürlichen Stoffkreisläufe, Wiederverwertung	202	4.3	Feuchteschutztechnische Kennwerte	213
2.6	Zertifizierung und Gütesiegel	202	4.4	Brandschutztechnische Eigenschaften	213
2.7	Vor- und Nachteile	203	4.5	Schallschutztechnische Eigenschaften	213
2.8	Anwendungsgebiete	203	4.6	Sonstige Eigenschaften	214
3	Anforderungen und Regelwerke	204	5	Nachhaltige Dämmstoffe	214
3.1	Anforderungen an den Wärmeschutz und äquivalente Dämmschichtdicken	204	5.1	Dämmstoffe aus Flachsfasern	214
3.1.1	Energiesparender Wärmeschutz für zu errichtende Gebäude nach GEG	206	5.2	Dämmstoffe aus Hanffasern	214
3.1.2	Bestehende Gebäude	207	5.3	Holzfaserdämmplatten	215
3.1.3	Mindestwärmeschutz	208	5.4	Holzwohle-Leichtbauplatten	216
3.2	Anwendungsbezogene Anforderungen, Produktnormen und bauaufsichtliche Zulassungen	208	5.5	Kokosfaserplatten	217
3.3	Anforderungen an den Brandschutz	209	5.6	Korkplatten	217
3.3.1	Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen	209	5.7	Schafwolle	218
3.3.2	Anforderungen an das Brandverhalten von Bauteilen	210	5.8	Schilfrohrplatten	218
			5.9	Strohplatten	219
			5.10	Zellulose	219
			6	Zusammenfassung	220
				Literatur	221
B 3	Recycling von Wärmedämmstoffen				223
	Wolfgang Albrecht				
1	Einführung	225	2.2	Europäische Ebene	225
2	Rahmenbedingungen	225	2.2.1	EU-Abfallrichtlinie	225
2.1	Politische Ziele	225	2.2.2	Europäische Bauproduktenverordnung	225

2.2.3	Europäische Chemikalienverordnung REACH	226	5.3.1.2	Wärmedämmplatten mit bis zu 100 % rückgeführten EPS-Abfällen	235
2.2.4	Stockholmer Übereinkommen (POP-Konvention)	226	5.3.1.3	Dämmestrich und sogenannter Styroporbeton	235
2.3	Nationale Gesetze und Verordnungen	226	5.3.2	Mechanisches Recycling	235
2.3.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	226	5.3.2.1	Selektive Extraktion	235
2.3.2	Abfallverzeichnisverordnung (AVV)	227	5.3.2.2	PolyStyreneLoop	236
3	Recyclingquote und Kreislaufwirtschaft am Bau	228	5.3.2.3	Rückbaumethoden für EPS an der Fassade	236
3.1	Abfallaufkommen Bau	228	5.3.2.4	Mechanisches Abschälen	237
3.2	Verarbeitungsmenge Kunststoffe am Bau	229	5.3.2.5	Maschinelles Abschälen	237
3.3	Recycling der Kunststoffabfälle aus Bau- und Abbruchabfällen	230	5.3.2.6	Prognose über Rückbaumengen von EPS aus WDVS	238
4	Dämmstoffmarkt	230	5.3.3	Chemisches Recycling von EPS durch Pyrolyse	239
5	Recycling von Dämmstoffen	231	5.4	Extrudiertes Polystyrol (XPS)	240
5.1	Steinwolle	232	5.4.1	Baustellenabfälle	240
5.1.1	Rückgeführte Steinwolle von Baustellen	232	5.4.2	Abfälle aus Dachsanierungen und Abbruchabfälle	240
5.1.2	Verwertung von Steinwolle-Abfällen als Bergversatz	233	5.4.3	PolyStyreneLoop	240
5.2	Glaswolle	233	5.5	Polyurethan-Hartschaum (PU)	241
5.2.1	Rückgeführte Glaswolle von Baustellen	233	5.5.1	PU-Recyclingplatten	241
5.2.2	Rücknahme von Glaswolle-Abfällen von Kleinunternehmen und Do-it-Yourself-Kunden	234	5.5.2	PU-Dosenrecycling	241
5.3	Expandierte Polystyrol (EPS)-Dämmstoffe	234	5.5.3	Baustellen-Verschnittabfälle	241
5.3.1	Werkstoffliche Verwertung	234	5.5.4	Biomasse-Bilanz-Ansatz als Sekundärrohstoff	241
5.3.1.1	Wärmedämmplatten mit kleiner 25 % rückgeführten EPS-Abfällen	234	5.6	Phenolharz-Hartschaum (PF)	242
			5.7	Holzfaserdämmstoffe (WF)	242
			5.8	Mineralische Dämmplatten	242
			6	Weitere Entwicklung und Ausblick	242
				Literatur	243
C Konstruktionen und Baustoffe					
C1 Aufstockung versus Abriss und Neubau – Vergleich von ökologischen und ökonomischen Auswirkungen 245					
Annette Hafner, Michael Storck					
1	Aufstockungen aus Sicht des nachhaltigen Bauens	247	6	Beschreibung der Vergleichsvarianten	251
1.1	Flächeninanspruchnahme	247	6.1	Beschreibung der Aufstockungsmaßnahme	251
1.2	Energetische Sanierung des Bestandes	247	6.2	Beschreibung der Neubaumaßnahme	252
1.3	Weiternutzung von bestehenden Strukturen	248	7	Vergleich der Ökobilanzergebnisse	252
2	Wohnraumpotenziale von Aufstockungen	248	7.1	Ökobilanzergebnisse Aufstockung	252
3	Problemstellung Abriss-Neubau gegenüber Aufstockung	248	7.2	Ökobilanzergebnisse Abriss-Neubau	254
4	Ökologische Bilanzierung von Aufstockungsmaßnahmen	249	8	Vergleich der Lebenszykluskosten	256
5	Lebenszykluskostenrechnung von Aufstockungsmaßnahmen	250	8.1	Lebenszykluskostenergebnisse Aufstockung	256
			8.2	Lebenszykluskostenergebnisse Abriss-Neubau	256
			9	Zusammenfassende Bewertung	257
				Literatur	258

C 2 Nachhaltiger Betonbau 259

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Nabil A. Fouad, Manfred Curbach, Macielle Vivienne Deiters, Patrick Forman, Jesko Gerlach, Tobias Hatzfeld, Jannik Hoppe, Benjamin Kromoser, Peter Mark, Christoph Müller, Harald S. Müller, Christoph Scope, Tobias Schack, Matthias Tietze, Klaus Voit

1	Einführung 263	4.2	Optimierungsgestütztes Entwerfen und Bemessen 314
2	Nachhaltigkeitsbewertung 265	4.2.1	Einführung 314
2.1	Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauwerken 265	4.2.2	Topologische Optimierung 314
2.1.1	Methoden der Ökobilanzierung 265	4.2.3	Materialgerechte Steuerung 316
2.1.2	Gewichtung von Indikatoren 268	4.2.4	Innere Bewehrungsfindung 317
2.2	Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme 268	4.2.5	Hohlkörper in Platten und Wänden 318
2.3	Umweltverträglichkeit 271	4.3	Aspekte der Herstellung und Bauverfahren materialeffizienter Bauteile 318
2.4	Bauphysikalische Aspekte der Nachhaltigkeitsbewertung 271	4.3.1	Produktivität des Bausektors 319
3	Nachhaltigkeit auf der Baustoffebene 271	4.3.2	Herstellungsmethoden 319
3.1	Einführung 271	4.3.2.1	Massenfertigung von Betonfertigteilen 319
3.2	Beton 272	4.3.2.2	Herstellung von individuellen Betonfertigteilen und Kleinserien 320
3.2.1	Grundsätze zur Herstellung umwelt- und ressourceneffizienter Betone 272	4.3.2.3	Stationäre Verfahren mit fester Einzelschalung 320
3.2.2	Betonausgangsstoffe und deren Verfügbarkeit 274	4.3.2.4	Fließfertigung oder Umlauffertigung 320
3.2.2.1	Bindemittel und Betonzusatzstoffe 274	4.3.2.5	Extrusionsverfahren 321
3.2.2.2	Normalschwere Gesteinskörnungen 283	4.3.2.6	Additive Fertigungsverfahren 322
3.2.2.3	Leichte Gesteinskörnungen 286	4.3.3	Herstellungsort von Betonfertigteilen 323
3.2.2.4	Betonzusatzmittel 288	4.3.4	Automatisierte Herstellung von strukturoptimierten Betonfertigteilen 323
3.2.3	Mischungsentwicklung umwelt- und ressourceneffizienter Betone 288	4.4	Materialeffiziente Bauteile aus Carbonbeton 324
3.2.4	Eigenschaften ökologisch optimierter Normalbetone 289	4.4.1	Einführung in die Carbonbetonbauweise 324
3.2.4.1	Frischbetoneigenschaften 289	4.4.2	Abgrenzung Carbonbeton zu Stahl- und Faserbetonen 325
3.2.4.2	Mechanische Eigenschaften 294	4.4.3	Regulatorischer Druck 325
3.2.4.3	Dauerhaftigkeit 296	4.4.4	Ausgewählte Fallstudienresultate für Carbonbeton 326
3.2.4.4	Umweltwirkungen 300	4.4.5	Carbonbeton als kreislauffähiges Material 330
3.2.5	Eigenschaften von Leicht- und Wärmedämmbetonen 302	4.4.6	Multifunktionalität von Carbonbeton 331
3.2.5.1	Überblick 302	4.5	Bauphysikalische Eigenschaften und bauphysikalische Bemessung von Betonbauteilen 333
3.2.5.2	Planung von Projekten mit Leicht- und Wärmedämmbetonen 304	4.5.1	Wärmeschutz 333
3.2.5.3	Ökobilanzielle Bewertung von Leicht- und Wärmedämmbetonen 305	4.5.1.1	Winterlicher Wärmeschutz 333
3.3	Bewehrung 305	4.5.1.2	Thermische Trägheit 333
3.3.1	Einführung 305	4.5.2	Feuchteschutz 334
3.3.2	Betonstahl 305	4.5.3	Schallschutz 335
3.3.3	Carbonfasern für Carbonbeton 308	4.5.3.1	Anforderungen an den Schallschutz von Gebäuden 335
3.3.3.1	Eigenschaften von Carbonfasern 309	4.5.3.2	Luftschallschutz bzw. Luftschalldämmung 335
3.3.3.2	Ökobilanzielle Betrachtungen von carbonbasierten Bewehrungen 309	4.5.3.3	Trittschalldämmung 336
3.3.3.3	Einordnung und Vorteilhaftigkeit der Carbonbewehrung 309	4.5.4	Brandschutz 336
3.4	Einflüsse aus Herstellung, Transport und Einbau des Betons 310	5	CO ₂ -Bilanzierung über den Bauwerkslebenszyklus 337
4	Nachhaltigkeit auf der Bauteil- und Bauwerksebene 312		
4.1	Einführung 312		

5.1	Nutzungsdauer eines Bauwerks	338	6	Zusammenfassung	348
5.2	Ermittlung des GWP über den Bauwerkslebenszyklus	338		Literatur	350
5.3	Beispiel: Autobahnbrücke	340			
C3	Ganzheitliche Ökobilanzierung von Wohnquartieren in Holzbauweise	365			
	Sven Steinbach, Carolin Schulze, Christoph Kunde				
1	Hintergrund	367	3.1.4.4	Ergebnisdarstellung nach QNG	385
2	Charakterisierung der Untersuchungsvarianten	367	3.2	Ergebnisse der Ökobilanzierung	385
2.1	Architekturkonzepte	367	3.2.1	Ökobilanzierung der Baukonstruktion	385
2.1.1	Gebäudetypen des Vorhabens A	368	3.2.2	Ökobilanzierung der technischen Anlagen	387
2.1.2	Gebäudetyp des Vorhabens B	368	3.2.3	Ökobilanzierung der Energieversorgung	388
2.2	Konstruktionsvarianten	369	3.2.4	Gesamtbilanzierung der Untersuchungsvarianten	391
2.2.1	Charakterisierung der Konstruktionsvarianten	369	3.2.5	Ergebnisdiskussion und Ausblick	395
2.2.1.1	Vollholz-Bauweise (VH)	369	4	Einfluss von Forstwirtschaft und Regionalität auf das Treibhauspotenzial	396
2.2.1.2	Holz-Hybrid-Bauweise (HY)	369	4.1	Einfluss forstwirtschaftlicher Produktionsvarianten	396
2.2.1.3	Massivbauweise Kalksandstein (KS)	370	4.1.1	Methodik	396
2.2.2	Charakterisierung der Bauteile	370	4.1.2	Vergleich forstwirtschaftlicher Produktionsvarianten	397
2.2.2.1	Außenwände	371	4.1.2.1	Effizienzvariante	397
2.2.2.2	Innenwände	372	4.1.2.2	Ineffizienzvariante	397
2.2.2.3	Zwischendecken	372	4.1.2.3	Standardvariante	398
2.2.2.4	Dächer	372	4.1.2.4	Vergleich der forstlichen Produktionsvarianten	399
2.2.2.5	Bodenplatte	374	4.1.2.5	Ergebnisdiskussion der forstwirtschaftlichen Einflüsse	399
2.2.2.6	Kellerbauteile	374	4.2	Einfluss der Regionalität	400
2.2.2.7	Sonstige Bauteile	374	4.2.1	Methodik	400
2.3	Versorgungsvarianten der untersuchten Bauvorhaben	375	4.2.2	Vergleich unterschiedlicher Transportdistanzen zum Errichtungsort	401
2.3.1	Versorgungsvarianten Vorhaben A	375	4.2.3	Ergebnisdiskussion regionaler Einflüsse	401
2.3.2	Versorgungsvarianten Vorhaben B	377	4.3	Potenziale und Auswirkungen einer verstärkten Holznutzung im mehrgeschossigen Wohnungsbau auf die Strukturen des ländlichen Raumes	403
2.3.3	Ermittlung des Endenergiebedarfs der Gebäudetypen	378	5	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	404
2.3.4	Energetische Einordnung der Versorgungsvarianten	378	5.1	Methodik	404
2.4	Übersicht der Untersuchungs- varianten	379	5.1.1	Normative Grundlage	404
3	Ökobilanzierung	380	5.1.2	Ermittlung der Herstellungskosten	404
3.1	Methodik	380	5.1.3	Ermittlung der Nutzungskosten	405
3.1.1	Normative Grundlage	380	5.1.4	Dynamische Investitionsrechnung	407
3.1.2	Systemgrenzen	381	5.1.5	Berücksichtigung möglicher Umweltkosten	407
3.1.2.1	Systemgrenzen der Gebäudeerfassung	381	5.2	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	408
3.1.2.2	Systemgrenzen des Lebenszyklus	381			
3.1.3	Datengrundlage	382			
3.1.3.1	Ökobilanzierung der Materialien	382			
3.1.3.2	Ökobilanzierung der Energieversorgung	382			
3.1.3.3	Nutzungsdauer der Bauteile	383			
3.1.4	Besonderheiten nach Vorgehen des QNG	384			
3.1.4.1	Bilanzierung der technischen Anlagen	384			
3.1.4.2	Einbeziehung des Nutzerstroms in die Ökobilanz	384			
3.1.4.3	Bilanzierung der Photovoltaik	385			

5.2.1	Herstellungskosten der Untersuchungsvarianten	408	5.2.4	Einfluss möglicher Umweltkosten	411
5.2.2	Nutzungskosten der Untersuchungsvarianten	409	5.2.5	Ergebnisdiskussion und Ausblick	413
5.2.3	Dynamischer Investitionsvergleich der Untersuchungsvarianten	411	6	Fazit	414
				Literatur	415
C 4	Bewertung von Bauelementen und Baustoffen für nachhaltiges Bauen	417			
	Jörn Peter Lass, Christoph Seehauser, Jürgen Benitz-Wildenburg				
1	Klimawandel fordert energetisch optimierte Gebäude	419	4.4	CO ₂ -Fußabdruck	431
2	Die Zukunft fordert eine nachhaltige und kreislauffähige Wirtschaft	420	4.4.1	Produkt CO ₂ -Fußabdruck (Product Carbon Footprint – PCF)	433
2.1	Nationale Regelwerke	421	4.4.2	CO ₂ -Fußabdruck für Unternehmen (Corporate Carbon Footprint – CCF)	433
2.2	Vorgaben und Strategien der EU (Green Deal)	422	4.5	Flüchtige organische Verbindungen (VOC – volatile organic compound)	434
3	Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden	422	4.6	Zertifizierung von Holzprodukten aus nachhaltigen Wäldern (FSC und PEFC)	435
3.1	BNB – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	422	4.7	Produktpass Nachhaltigkeit	436
3.2	DGNB – Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen	423	5	Nachhaltigkeitsberichte	438
3.3	LEED – Leadership in Energy und Environmental Design	424	6	Bessere Material- und Ressourceneffizienz durch „Lean and Green“	438
3.4	BREEAM – BRE Environmental Assessment Method	424	7	Schutz vor Klimaextremen (Resilienz)	439
4	Anforderungen und Nachweise an Bauprodukte	424	7.1	Hochwasserschutz	439
4.1	Product Category Rules (PCR)	425	7.2	Hitzeschutz	441
4.2	Ökobilanz (LCA)	425	7.2.1	Sonnenschutz	441
4.3	Umweltproduktdeklaration (EPD)	427	7.2.2	Nachtauskühlung	442
4.3.1	Muster-EPD	430	7.3	Schutz vor Stürmen, Tornados und Starkwindereignissen	443
4.3.2	Produktspezifische EPD	431	8	Fazit	444
				Literatur	445
C 5	Vakuumglasintegration in Bestands- und Neufenster	447			
	Ulrich Pont, Peter Schober, Magdalena Wölzl, Matthias Schuss				
1	Einleitung	449	2	Angewandte Methoden	458
1.1	Überblick	449	2.1	Baukonstruktives Wissen aus dem Fensterbau	458
1.2	Begriffsdefinition Vakuumglas	450	2.2	Thermische Simulation und Berechnung	458
1.3	Geschichte der Vakuumglas- Entwicklung	451	2.2.1	Eingangswerte	458
1.4	Aktuelle Vakuumgläser am Glasmarkt	453	2.2.2	Indikatoren	459
1.5	Herausforderungen und Fragestellungen bei der Vakuumglasintegration in Bestands- fenster und neue Fenster	453	2.3	U-Wert-Berechnungen (im Projekt FIVA)	460
1.5.1	Einfluss von Abstandhaltern und Rand- verbund auf die thermische Performance der Vakuumglasscheiben	453	2.4	Labor-Messungen (mechanische, akustische, thermische Performance)	461
1.5.2	Beobachtungen und Voraussetzungen für erfolgreiches Zusammenwirken unterschiedlicher Stakeholder	456	2.4.1	Gebrauchstauglichkeitsmessungen	461
1.6	Forschungsprojekte zum Thema Vakuum- glas-Integration in Fenster	457	2.4.2	Differenzklimauntersuchung	461
			2.4.3	Schalltechnische Performance	461
			2.5	In-situ-Monitoring (thermische Performance)	461
			3	Vakuumgläser für Bestandsfenster	462

3.1	Das Sondierungsprojekt VIG-SYS-RENO	462	4.2.2.1	Thermohygrische und Gebrauchstauglichkeits-Performance Typ A	475
3.2	Das kooperative Forschungs- und Entwicklungsprojekt VAMOS	464	4.2.2.2	Thermohygrische und Gebrauchstauglichkeits-Performance Typ B	476
4	Vakuumgläser für neue Fensterkonstruktionen	467	4.2.2.3	Thermohygrische Performance Typ C	477
4.1	Das Sondierungsprojekt MOTIVE	467	4.2.2.4	Thermohygrische und Gebrauchstauglichkeits-Performance Typ D	477
4.2	Das kooperative Forschungs- und Entwicklungsprojekt FIVA	468	4.2.2.5	Zusammenfassung thermische Performance der Prototypen	478
4.2.1	Die vier Fensterprototypen	468	4.2.3	Subjektive Evaluierung der Fensterprototypen	478
4.2.1.1	Typ A – raumseitig flächenbündiges, nach innen öffnendes Dreh-Fenster	469	5	Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick	479
4.2.1.2	Typ B – nach außen öffnendes Parallel-Abstell-Dreh-Fenster	470	6	Disclaimer	480
4.2.1.3	Typ C – Schwing-Klapp-Fenster	472		Literatur	480
4.2.1.4	Typ D – Abstell-Schiebe-Fenster	474			
4.2.2	Performanceaspekte der Fensterprototypen	475			
C 6	Cross Layers Light – Ein ressourceneffizientes und recyclebares Holz-Wandsystem	483			
	Markus Duffner, Thomas Uibel, Leif A. Peterson, Wilfried Moorkamp				
1	Einleitung	485	4.4	Horizontale Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	494
2	Entwurf der Wandelemente	485	4.5	Parameterstudie	495
2.1	Randbedingungen	485	4.6	Experimentelle Untersuchungen an Wandelementen	495
2.2	Konstruktionsprinzip	485	4.6.1	Material und Methode	495
2.3	Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit der Wandelemente	486	4.6.2	Ergebnisse	496
3	Untersuchungen der Verbindungen	486	4.6.3	Diskussion und Schlussfolgerung	496
3.1	Verbindungsvarianten	486	5	Brandschutz	497
3.2	Experimentelle Untersuchungen	487	6	Bauphysikalische Eigenschaften	498
3.2.1	Material und Methode	487	6.1	Luftdichtigkeit	498
3.2.2	Ergebnisse und Diskussion	488	6.2	Wärmedurchgangskoeffizient	498
4	Trag- und Verformungsverhalten der Wandelemente	489	6.3	Feuchteschutz	499
4.1	Varianten der Wandelemente	489	7	Zusammenfassung und Ausblick	500
4.2	Vertikale Tragfähigkeit	494		Literatur	500
4.3	Plattentragfähigkeit	494			
C 7	Nachhaltige Gebäudetechnologie in Forschung und Entwicklung	503			
	Marco Wolf, Martin Buchholz, Arno Schlüter, Philipp Geyer				
1	Einleitung	505	3.5	Feuchteschutz und Komfort durch Raumlufttechnik	512
2	Anforderungsprofile für Gebäudeenergiesysteme	505	3.6	Offene Absorptionsprozesse	512
2.1	Europäisches Anforderungsprofil	505	4	Forschungsschwerpunkte und Anwendungsszenarien offener Absorptionsprozesse	514
2.2	Technologisch resultierendes und zu erwartendes Anforderungsprofil	508	4.1	Anwendungsfall Luftfeuchteregulierung	514
3	Techniken zur Wärme-, Kälte- und Feuchtekonditionierung	508	4.2	Anwendungsfall präzise Steuerung eines Feuchtesollwertes	515
3.1	Klimatische Behaglichkeit	508	4.3	Anwendungsfall Raumheizung	515
3.2	Exergetische Optimierung	509	4.4	Anwendungsfall Wärmeversorgung	516
3.3	Wärmepumpen	509	4.5	Anwendungsfall Kühlung	517
3.4	Grenzen der Energiebereitstellung	511			

4.6	Demonstrator zur sorptionsgestützten Klimatisierung von Gebäuden	519	6	Wärme-/Kälteerzeugung und Verteilung	524
4.7	Simulation von offenen Absorptionsprozessen	519	6.1	Wärmeabgabe und -aufnahme im Raum	524
5	Design und Integration von LowEx-Gebäudesystemen	520	6.2	Integration durch digitale, modellbasierte Prozesse	526
5.1	Einleitung	520	7	Zusammenfassung und Ausblick	528
5.2	Fallstudie Nest HiLo	521		Literatur	529
5.3	LowEx-Systeme in HiLo	521			
5.4	Übersicht	522			
C 8	Solar Decathlon Europe 2022 – Bauphysikalische Ergebnisse von Demonstrationsgebäuden	531			
	Karsten Voss, Heiko Hansen, Marvin Kaliga, Isil Kalpkirmaz Rizaoglu				
1	Einführung	533	6	Luftdichtheit	544
2	Messen und Bewerten	534	6.1	Konzeption	544
3	Gebäudeeigenschaften	534	6.1.1	Bewertungskriterien und Messtechnik	544
4	Raumklimatische Analysen	536	6.1.2	Präparation des Messvolumens	545
4.1	Außenklima	536	6.2	Ergebnisse der Luftdichtheitsmessungen	545
4.2	Raumklima	536	6.3	Erfahrungen	546
4.2.1	Temperatur	538	7	Schallschutz	546
4.2.2	Luftfeuchte	540	7.1	Konzeption	546
4.2.3	Luftqualität	540	7.1.1	Bewertungskriterien und Messtechnik	546
4.3	Erfahrungen	540	7.1.2	Messdurchführung	547
5	Co-heating Test	541	7.2	Ergebnisse der Messungen der Fassaden-schalldämmung	547
5.1	Motivation	541	7.3	Erfahrungen	548
5.2	Durchführung	542	8	Ausblick	549
5.3	Ergebnisse	542		Literatur	549
5.4	Erfahrungen	544			
C 9	Planung, Ausführung und Betriebserfahrung eines Plus-Energie-Bürohochhauses	551			
	Alexander David, Thomas Bednar, Markus Leeb, Helmut Schöberl				
1	Einleitung	553	4.4	Photovoltaik	568
2	Entstehungsgeschichte	554	4.5	Energiemonitoring	572
3	Planung	557	4.6	Inbetriebnahme	574
3.1	Rahmenbedingungen	557	4.7	Begleitung der Nutzer:innen in der Umstellung der EDV	578
3.2	Energiekonzept	557	5	Betriebserfahrung und Monitoring-ergebnisse	580
3.2.1	Lokales Angebot an Strom und Wärme	557	5.1	Erkenntnisse aus dem Betrieb	580
3.2.2	Energieeffizienz	558	5.2	Ergebnisse des Energiemonitorings	583
3.2.3	Energiebilanz	563	6	Wirtschaftlichkeit	590
3.2.4	Nicht realisierbares Potenzial	564	7	Zusammenfassung	591
3.3	Ausschreibung	564		Literatur	592
4	Ausführung	565			
4.1	Bautechnik	565			
4.2	Gebäudetechnik	566			
4.3	Ausstattung der Räume ohne Arbeitsplatzgeräte	567			

C 10	Energy Design: Gestaltung und Innovation in Bestandsgebäuden 595	
	Bernhard Sommer, Ulrich Pont, Malgorzata Sommer-Nawara, Galo Patricio Moncayo Asan	
1	Einleitung 597	2.6 Errichtung des Mock-ups 607
1.1	Hintergrund und Motivation 597	2.6.1 Einrichten des Monitorings 607
2	Das Projekt EVA – Evaluierung Visionärer Architekturkonzepte 599	2.6.2 Kalibrierung der Räume 608
2.1	Stand der Technik und Begriffe 599	2.6.3 Entwicklung und Ausführung MU1 609
2.2	Auswahl eines Ansatzes für eine Sanierungsaufgabe 600	2.7 Durchführen von Testreihen zum klimatischen Verhalten 612
2.3	Umsetzungsplanung 601	2.8 Testreihe mit inaktiven Elementen 613
2.4	Site-Analysis, Data-Visualisation, Interaction-Design 603	2.9 Testreihe mit aktiven Elementen 615
2.5	Konzeptionelle Grundlagen der Umsetzungsplanung 605	3 Erkenntnisse 619
		4 Ausblick 619
		Literatur 621
D	Materialtechnische Tabellen	
D 1	Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 623	
	Nina Schjerve	
1	Einleitung 625	2.4 Heizwerte 634
1.1	Relevanz von Materialdaten 625	2.5 Lagerungsdichte und m-Faktoren 641
1.2	Prüfverfahren ausgewählter Materialdaten 625	2.6 Luftbedarf 644
1.3	Einheiten und Einheiten-Konvertierung 626	2.7 Verbrennungseffektivität und Verbrennungsanteile 645
2	Stoffdaten 626	2.8 Zusätzliche Stoffdaten für Kunststoffe 649
2.1	Zündtemperaturen und Entzündungskriterien 626	2.9 Flächenbezogene Brandleistung und Brandentwicklung 652
2.2	Abbrand 631	Literatur 658
2.3	Brandausbreitung 633	
D 2	Materialtechnische Tabellen 661	
	Rainer Hohmann	
1	Vorbemerkungen 663	3 Schallschutztechnische und akustische Kennwerte 703
2	Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte 665	Literatur 715
Stichwortverzeichnis 716		