

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 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
- 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 Uibel, Leif 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

VIII Inhaltsverzeichnis

A 2	Lebenszyklus von Gebäuden – die Zukunft des Bauens	25		
	Gunnar Clemenz, Thomas Putscher			
1	Einleitung	27	3.2	Ökobilanz im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung
2	Regulierung zur Energieeinsparung von Gebäuden	27	3.2.1	LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
2.1	Wärmeschutzverordnung	27	3.2.2	BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method
2.2	Heizungsanlagen- und Heizungsbetriebs-Verordnung	28	3.2.3	DGNB/BNB
2.3	Energieeinsparverordnung	28	3.2.4	TQB – Total Quality Building Assessment
2.4	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	28	3.2.5	MINERGIE-ECO
2.5	Gebäudeenergiegesetz	28	3.3	Eingabedaten für die Ökobilanz
2.6	Auswirkungen von Energiestandards in der Nutzungsphase eines Gebäudes	29	3.4	Relevanz der Grauen Emissionen
3	Umweltwirkung im Lebenszyklus von Gebäuden	30	4	Ausblick
3.1	Grundlagen der Gebäude-Ökobilanzierung	31		Literatur
				40
A 3	Klimagerechtes Bauen	43		
	Thorsten Schütze			
1	Einleitung	45	3.2.1	Energieeffizienz
2	Grundlagen des klimagerechten Bauens	46	3.2.2	Erneuerbare Energieproduktion
2.1	Klimafaktoren	46	3.2.3	Wassereffizienz und Nährstoffrecycling
2.2	Klimazonen und bauliche Anforderungen	47	3.2.4	Vegetation und Begrünung
2.2.1	Feuchtwarme Klimazonen	47	4	Informationen und Planungswerkzeuge
2.2.2	Trockenheiße Klimazonen	50	4.1	Nichtklimatische Informationen
2.2.3	Gemäßigte Klimazonen	54	4.2	Klimadaten
2.2.4	Kalte Klimazonen	56	4.3	Planungsinstrumente
3	Klimagerechte Nullemissionsgebäude	59	4.3.1	Analoge Planungsinstrumente
3.1	Baustoffe und Komponenten	60	4.3.2	Digitale Planungsinstrumente
3.2	Gebäudebetrieb	61		Literatur
				79
A 4	Die Ermittlung der Ressourceneffizienz und der Klimabelastung von Bauwerken	83		
	Clemens Mostert, Husam Sameer, Stefan Bringezu			
1	Einleitung	85	2.1.5	BNB – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
2	Ökologische Bewertung von Gebäuden mit Ressourcen- und Klimafußabdrücken	86	2.1.6	EPD – Umweltproduktdeklaration
2.1	Ressourcennutzung in Bewertungssystemen für Nachhaltigkeit im Baubereich	86	2.2	Ökobilanzielle Bestimmung von Fußabdrücken
2.1.1	BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method	86	2.3	Ressourcenfußabdrücke
2.1.2	CASBEE – Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency	86	2.3.1	Materialfußabdruck
2.1.3	DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	86	2.3.2	Energiefußabdruck
2.1.4	LEED – Leadership in Energy and Environmental Design	87	2.3.3	Wasserfußabdruck
			2.4	Klimafußabdruck
			3	Anwendungsbeispiele
			3.1	Beton
			3.1.1	Einführung
			3.1.2	Methode
			3.1.3	Ergebnisse
			3.1.4	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			

X Inhaltsverzeichnis

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	Vakuuminisulationspaneele (VIP) 185
3.23.3	Charakteristische Kenngrößen „Schafwolle“ 177	3.30.1	Herstellung und Hintergrund- informationen 185
		3.30.2	Anwendungsbereiche und Verarbeitung 187

XII Inhaltsverzeichnis

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 Flachfasern	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	Werksstoffliche 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

C 1 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

XIV Inhaltsverzeichnis

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

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			
C 3	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 Untersuchungsvarianten	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			

XVI Inhaltsverzeichnis

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 and 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-Berechnung (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 Raumluftechnik 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 Feuchteconditionierung 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		

XVIII Inhaltsverzeichnis

4.6	Demonstrator zur sorptionsgestützten Klimatisierung von Gebäuden	519	6	Wärme-/Kälteerzeugung und Verteilung	
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			
C8	Solar Decathlon Europe 2022 – Bauphysikalische Ergebnisse von Demonstrationsgebäuden				531
	Karsten Voss, Heiko Hansen, Marvin Kaliga, Isil Kalpirmaz 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 Fassadenschalldämmung	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			
C9	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
1.1	Hintergrund und Motivation	597	2.6.1	Einrichten des Monitorings
2	Das Projekt EVA – Evaluierung Visionärer Architekturkonzepte	599	2.6.2	Kalibrierung der Räume
2.1	Stand der Technik und Begriffe	599	2.6.3	Entwicklung und Ausführung MU1
2.2	Auswahl eines Ansatzes für eine Sanierungsaufgabe	600	2.7	Durchführen von Testreihen zum klimatischen Verhalten
2.3	Umsetzungsplanung	601	2.8	Testreihe mit inaktiven Elementen
2.4	Site-Analysis, Data-Visualisation, Interaction-Design	603	2.9	Testreihe mit aktiven Elementen
2.5	Konzeptionelle Grundlagen der Umsetzungsplanung	605	3	Erkenntnisse
			4	Ausblick
				Literatur
				619
				619
				615
				612
				613
				615
				619
				619
				621
D	Materialtechnische Tabellen			
D 1	Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz	623		
	Nina Schjerve			
1	Einleitung	625	2.4	Heizwerte
1.1	Relevanz von Materialdaten	625	2.5	Lagerungsdichte und m-Faktoren
1.2	Prüfverfahren ausgewählter Materialdaten	625	2.6	Luftbedarf
1.3	Einheiten und Einheiten-Konvertierung	626	2.7	Verbrennungseffektivität und Verbrennungsanteile
2	Stoffdaten	626	2.8	Zusätzliche Stoffdaten für Kunststoffe
2.1	Zündtemperaturen und Entzündungskriterien	626	2.9	Flächenbezogene Brandleistung und Brandentwicklung
2.2	Abbrand	631		Literatur
2.3	Brandausbreitung	633		658
D 2	Materialtechnische Tabellen	661		
	Rainer Hohmann			
1	Vorbemerkungen	663	3	Schallschutztechnische und akustische Kennwerte
2	Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte	665		Literatur
				703
				715
Stichwortverzeichnis		716		

