

---

## Inhaltsübersicht

### A Allgemeines und Normung

- A 1 Umweltgerechtes Bauen für Mensch, Flora und Fauna am Beispiel  
neuer Grünfassadensysteme 1  
Holger Röseler, Pia Krause, Philip Leistner, Leonie K. Fischer, Eva Bender,  
Solène Guenat
- A 2 Klimaneutrale Bestandsquartiere im digitalen Zeitalter –  
welche Beiträge können von der modernen Gebäude-  
und Quartierssimulation erwartet werden? 37  
John Grunewald, Hauke Hirsch, Hans Petzold, Stephan Hirth, René Hoch,  
Dirk Weiß, Katja Tribulowski, Heike Sonntag, Ulrich Ruisinger, Peggy Freudenberg

### B Dämmstoffe

- B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 75  
Wolfgang M. Willems, Kai Schild

### C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden

- C 1 Die Klimaperformanz – eine neue Größe zur Quantifizierung  
und Bewertung der Klimaanpassung von Gebäuden 153  
Anica Mayer, Roland Göttig, Klaus Sedlbauer
- C 2 Ökobilanzielle Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden –  
eine numerische Methode zur Optimierung der Gebäudeplanung 193  
Zakaria Istanbuly, Torsten Richter, Martin Schäfers, Wolfgang Eden, Nabil A. Fouad
- C 3 Methode zur Bilanzierung raumphysiologischer Auswirkungen 229  
Carole Binsfeld, Klaus Sedlbauer, Roland Göttig
- C 4 Anpassung des Nachweisverfahrens zum sommerlichen Wärmeschutz  
unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit 279  
Saskia Windhausen

### D Konstruktionen und Baustoffe

- D 1 Abdichtungstechnische und energetische Instandsetzung  
von Balkonen und Loggien 293  
Peter Schmidt
- D 2 Potenzial von Peltier-Elementen zum Einsatz als dezentrale  
Wärmepumpen in einem Flächentemperiersystem 323  
Tobias Blum, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt, Dieter Platzek
- D 3 Implementierung von bauphysikalischen Funktionalitäten  
in der Automatisierung von Wohngebäuden 345  
Alexander Peikos, Klaus Sedlbauer
- D 4 Experimentelle und numerische Untersuchungen als Grundlage  
für die Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens  
zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von Ziegelmauerwerk 393  
Jochen Zehfuß, Liliia Maruhn

- D 5 Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchungen und Empfehlungen für die Planung von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze 417  
Jochen Zehfuß, Thomas Engel, Felix Steeger, Christoph Kurzer, Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Norman Werther, Daniel Butscher, Stefan Winter, Sven Brunkhorst
- D 6 Brandschutztechnische Bemessung einer raumabschließenden Holzrahmenbauwand anhand additiver Berechnungsmethoden 463  
Sabine Scheidel, Sebastian Dienst, Tobias Götz, Oliver Kornadt
- D 7 Brandrisiko von Elektrofahrzeugen in Parkgaragen 483  
Jochen Zehfuß, Lisa Sander
- E Materialtechnische Tabellen**
- E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 501  
Nina Schjerve
- E 2 Materialtechnische Tabellen 539  
Rainer Hohmann

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XVII

### A Allgemeines und Normung

#### A 1 Umweltgerechtes Bauen für Mensch, Flora und Fauna am Beispiel neuer Grünfassadensysteme 1 Holger Röseler, Pia Krause, Philip Leistner, Leonie K. Fischer, Eva Bender, Solène Guenat

1	Einleitung	3	4.1.2	Klimaregulation	16
2	Grundlagen und Stand des Wissens	3	4.2	Prozesse an der Gebäudehülle	17
2.1	Klimawandel	3	4.2.1	Wärmeübergang außen	17
2.2	Prozesse im Außenraum	4	4.2.1.1	Wärmeabstrahlung	18
2.2.1	Charakteristik von naturnahen und urbanen Räumen	5	4.2.1.2	Verschattung	19
2.2.2	Grüne Strukturen und Grünfassaden	7	4.2.1.3	Strömung	20
2.3	Prozesse an der Gebäudehülle und im Innenraum	7	4.2.1.4	Auswirkung	23
2.3.1	Wärmeschutz	8	4.2.2	Wärmedurchlass Bauteil	24
2.3.2	Sommerliche Überhitzung	9	4.3	Wirkung auf das Gebäude	25
3	Forschungs- und Erhebungsmethode	10	4.3.1	Randbedingungen	25
4	Ergebnisse	13	4.3.2	Auswirkung	26
4.1	Prozesse im Außenraum	13	5	Von der Forschung in die Praxis	30
4.1.1	Strukturreichtum und Artenvielfalt	13	6	Zusammenfassung und Diskussion	31
				Literatur	33

#### A 2 Klimaneutrale Bestandsquartiere im digitalen Zeitalter – welche Beiträge können von der modernen Gebäude- und Quartierssimulation erwartet werden? 37

John Grunewald, Hauke Hirsch, Hans Petzold, Stephan Hirth, René Hoch, Dirk Weiß, Katja Tribulowski, Heike Sonntag, Ulrich Ruisinger, Peggy Freudenberg

1	Einleitung	39	3	Simulationsplattform SIM-VICUS	46
1.1	Energetische Gebäudesimulation	39	3.1	Einführung in die Software	46
1.2	Hemmnisse	40	3.2	Qualitätssicherung in der thermischen Gebäudesimulation	48
1.3	Nutzen	40	3.3	F&E-Projekt SimQuality	49
1.4	Quartiersbezüge	41	3.4	Praxisbeispiel einer energetischen Gebäudeplanung	50
2	Oberflächennahe(ste) Geothermie und kalte Nahwärmenetze	41	3.4.1	Modellerstellung	50
2.1	Überblick	41	3.4.2	Analyse der Ergebnisse	51
2.1.1	Kalte Nahwärme	41	3.5	Thermohydraulische Netzsimulation	52
2.1.2	Oberflächennahe(ste) Geothermie	42	3.5.1	Netzmodellierung	53
2.2	Detaillierte Projektbeschreibungen	42	3.5.2	Parametrisierung	53
2.2.1	Kalte Nahwärme Bad Nauheim	42	3.6	Zusammenfassung	54
2.2.2	Erdeisspeicher in Schleswig	43	4	Planungsleitfaden für Bestandssanierung mit Innendämmung	54
2.3	Simulationsmodelle	44	4.1	Einleitung	54
2.3.1	Wesentliche Einflussgrößen	44	4.1.1	Außendämmung	55
2.3.2	Erdreichparametrierung	44	4.1.2	Kerndämmung	55
2.3.3	Hygrothermisches Erdreichmodell in DELPHIN	45	4.1.3	Innendämmung	55
2.3.4	Thermohydraulisches Netzmodell in SIM-VICUS	45	4.2	Ziele des neuen Planungsleitfadens	56
2.4	Gekoppelte Simulation des Gesamtsystems	46	4.3	Gebäudeanalyse	56
2.5	Zusammenfassung	46	4.4	Fassadensanierung und Innendämmung	57
			4.4.1	Fassadensanierungskonzept	58

4.4.2	Dämmkonzept	59	5.3	Bemessung von Erdwärmekollektoren nach VDI	63
4.4.3	Betrachtung konstruktiver Anschlussdetails	59	5.4	Simulationsstudie Erdwärmekollektoren	64
4.5	Zusammenfassung	61	5.5	Simulationsstudie Bohrlochsonden	67
5	Bewertung oberflächennaher geothermischer Quellen	62	5.6	Zusammenfassung	71
5.1	Einleitung	62	6	Ausblick	71
5.2	Aktuelle Bemessungsansätze im Planungsprozess	63	6.1	Plattformansatz	71
			6.2	Erwarteter Nutzen	72
				Literatur	73
<b>B</b>	<b>Dämmstoffe</b>				
<b>B 1</b>	<b>Dämmstoffe im Bauwesen</b>	75			
	Wolfgang M. Willems, Kai Schild				
1	Physikalische Grundlagen	79	2.4	Entwicklung der Dämmschichtdicken in Dach und Wand in den europäischen Ländern	98
1.1	Wärmeschutz	79	3	Beschreibung von Dämmstoffen	99
1.1.1	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	79	3.1	Aerogel	99
1.1.2	Wärmedurchlasswiderstand R	82	3.2	Baumwolle	100
1.1.3	Spezifische Wärmekapazität c	82	3.3	Blähglas	102
1.1.4	Temperaturleitzahl a	83	3.4	Blähton	104
1.1.5	Physik der Wärmedämmung	83	3.5	Flachs	105
1.2	Feuchteschutz	84	3.6	Getreidegranulat	106
1.2.1	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$	84	3.7	Hanf	108
1.2.2	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d$	85	3.8	Holzfasern	109
1.2.3	Auswahl der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$ für den Nachweis nach Glaser	85	3.9	Holzwohle-Leichtbauplatten und Holzwohle-Mehrschichtplatten	111
1.3	Schallschutz	85	3.10	Kalziumsilikat	113
1.3.1	Schallabsorptionsgrad	85	3.11	Kokos	115
1.3.2	Schallabsorptionsfläche A	86	3.12	Kork	116
1.3.3	Längenbezogener Strömungswiderstand r	86	3.13	Melaminharzschaum	117
1.3.4	Dynamische Steifigkeit $s'$	87	3.14	Mineralschaum	118
1.3.5	Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{Dyn}$	87	3.15	Mineralwolle	120
1.4	Brandschutz	87	3.16	Perlite	122
1.4.1	Baustoffklassen nach DIN 4102-1	87	3.17	Phenolharz	123
1.4.2	Benennung des Brandverhaltens nach DIN EN 13501-1	88	3.18	Polyesterfaser	124
1.5	Rohdichte	91	3.19	Polystyrol, expandiert (EPS)	125
2	Dämmstoffe im Bauwesen	92	3.20	Polystyrol, extrudiert (XPS)	127
2.1	Dämmstoffübersicht	92	3.21	Polyurethan (PUR, Hartschaum und Ortschaum)	129
2.2	Aspekte für die Auswahl von Dämmstoffen	92	3.22	Pyrogene Kieselsäure	131
2.2.1	Baukonstruktive Aspekte	92	3.23	Schafwolle	132
2.2.2	Bauphysikalische Aspekte	92	3.24	Schaumglas	133
2.2.3	Ökologische Aspekte	92	3.25	Schilfrohr	135
2.2.4	Ökonomische Aspekte	96	3.26	Seegras	136
2.3	Zusatzstoffe	96	3.27	Stroh	137
2.3.1	Treibmittel	96	3.28	Transparente Wärmedämmung	138
2.3.2	Bindemittel	97	3.29	Vacuum Insulating Sandwich (VIS)	139
2.3.3	Stützfasern	97	3.30	Vakuuminisulationspaneele (VIP)	141
2.3.4	Zusätze für Brand- und Feuchteschutz	98	3.31	Vermiculite	144
			3.32	Zellelastomere	145
			3.33	Zellulose	146
				Literatur	148

## C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden

### C 1 Die Klimaperformanz – eine neue Größe zur Quantifizierung und Bewertung der Klimaanpassung von Gebäuden 153

Anica Mayer, Roland Göttig, Klaus Sedlbauer

- |     |  |     |       |   |     |
|-----|--|-----|-------|---|-----|
| 1   | Einleitung   | 155 | 5.1   | Das Gebäudemodell als Inputgröße                        | 167 |
| 2   | Begriffsdefinition klimaangepasstes Bauen                | 156 | 5.2   | Quantifizierung der Klimaperformanz                     | 168 |
| 3   | Stand des Wissens im klimaangepassten Bauen              | 157 | 5.3   | Interpretation der Bewertungsergebnisse                 | 170 |
| 3.1 | Die Klimaaanalyse als Teil des klimaangepassten Bauens   | 158 | 6     | Anwendung der Quantifizierungs- und Bewertungsmethode   | 171 |
| 3.2 | Handlungsempfehlungen – Strategien und bauliche Methoden | 159 | 6.1   | Fallbeispiele   | 171 |
| 3.3 | Analyse traditioneller Bauweisen                         | 161 | 6.1.1 | München, Deutschland                                    | 172 |
| 3.4 | Planungs- und Optimierungstools                          | 161 | 6.1.2 | Vargo, Norwegen   | 173 |
| 3.5 | Bewertungsmethoden                                       | 162 | 6.1.3 | Phoenix, Arizona  | 175 |
| 3.6 | Schlussfolgerungen aus der Literaturrecherche            | 163 | 6.2   | Erkenntnisse aus den Anwendungen in den Fallbeispielen  | 176 |
| 4   | Interviewstudie zum klimaangepassten Bauen               | 163 | 7     | Evaluierung der Quantifizierungs- und Bewertungsmethode | 176 |
| 4.1 | Vorgehensweise und Aufbau der Interviewstudie            | 163 | 7.1   | Evaluation 1: Interviewstudie                           | 177 |
| 4.2 | Ergebnisse der Interviewstudie                           | 164 | 7.2   | Evaluation 2: Umfrage unter den Anwendern der Methode   | 180 |
| 5   | Bewertungsmethode zum klimaangepassten Bauen             | 167 | 7.3   | Schlussfolgerungen aus den Evaluationen                 | 183 |
|     |  |     | 8     | Bewertung und Beitrag der Arbeit                        | 183 |
|     |  |     | 9     | Zusammenfassung und Ausblick                            | 185 |
|     |  |     |       | Literatur   | 186 |

### C 2 Ökobilanzielle Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden – eine numerische Methode zur Optimierung der Gebäudeplanung 193

Zakaria Istanbuly, Torsten Richter, Martin Schäfers, Wolfgang Eden, Nabil A. Fouad

- |         |   |     |     |   |     |
|---------|---|-----|-----|---|-----|
| 1       | Einleitung                              | 195 | 3.1 | Ergebnisse der Ökobilanzierung auf Gebäudeebene   | 217 |
| 2       | Methode                                 | 196 | 3.2 | Ergebnisse der Ökobilanzierung auf Bauteilebene   | 220 |
| 2.1     | Entwicklung des Ökobilanz-Tools         | 196 | 3.3 | Betrachtung des Stromverbrauchs der Nutzer gemäß dem QNG in der Bilanzierung                  | 223 |
| 2.2     | Berechnungsgrundlagen für die Ökobilanz | 199 | 3.4 | Darstellung des Einflusses der Gebäudetechnik auf die ökologischen Eigenschaften von Gebäuden | 225 |
| 2.2.1   | Grundlagen und Randbedingungen          | 199 | 4   | Zusammenfassung   | 227 |
| 2.2.2   | Untersuchungsobjekte                    | 201 |     | Literatur   | 227 |
| 2.2.2.1 | Einfamilienhaus                         | 201 |     |   |     |
| 2.2.2.2 | Reihenmittelhaus                        | 207 |     |   |     |
| 2.2.2.3 | Mehrfamilienhaus                        | 212 |     |   |     |
| 3       | Ergebnisse                              | 217 |     |   |     |

### C 3 Methode zur Bilanzierung raumphysiologischer Auswirkungen 229

Carole Binsfeld, Klaus Sedlbauer, Roland Göttig

- |   |  |     |     |   |     |
|---|--|-----|-----|---|-----|
| 1 | Einleitung und Motivation                | 231 | 5   | Wirkungsabschätzung in der raumphysiologischen Bilanz | 236 |
| 2 | Zielstellung und methodisches Vorgehen   | 231 | 5.1 | Bestandteile der Wirkungsabschätzung                  | 237 |
| 3 | Bewertung des vorhandenen Wissensstandes | 232 | 5.2 | Wirkungskategorie: Thermische Umgebung                | 238 |
| 4 | Grundlagen der Bilanzierungsmethode      | 234 | 5.3 | Wirkungskategorie: Lufthygienische Umgebung           | 240 |

X	Inhaltsverzeichnis	
<hr/>		
5.4	Wirkungskategorie: Visuelle Umgebung	243
5.5	Wirkungskategorie: Akustische Umgebung	248
5.6	Auswertung der Wirkungsabschätzung	252
6	Sachbilanz in der raumphysiologischen Bilanz	254
6.1	Erstellung der Sachbilanz	254
6.2	Anwendung der Sachbilanz in der raumphysiologischen Bilanz	255
<b>C 4</b>	<b>Anpassung des Nachweisverfahrens zum sommerlichen Wärmeschutz unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit</b>	<b>279</b>
	Saskia Windhausen	
1	Einleitung	281
2	Sommerlicher Wärmeschutz	282
2.1	Grundlagen des sommerlichen Wärmeschutzes	282
2.2	Nachweisverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz	282
3	Bewertungskriterium der Übertemperaturgradstunden beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	283
3.1	Übertemperaturgradstunden als Bewertungskriterium	283
3.2	Verteilung der ermittelten Übertemperaturgradstunden und des Anforderungswertes der Übertemperaturgradstunden übers Jahr	284
3.3	Bezugswert der operativen Innentemperatur	285
3.4	Berücksichtigung geringer Überschreitungen des Bezugswertes der operativen Innentemperatur	287
3.5	Berücksichtigung der Art und des Umfangs der Überschreitungen des Bezugswertes der operativen Innentemperatur	287
4	Bewertung der Erkenntnisse hinsichtlich des Bewertungskriteriums der Übertemperaturgradstunden	290
5	Zusammenfassung	291
	Literatur	292
<b>D</b>	<b>Konstruktionen und Baustoffe</b>	
<b>D 1</b>	<b>Abdichtungstechnische und energetische Instandsetzung von Balkonen und Loggien</b>	<b>293</b>
	Peter Schmidt	
1	Einleitung	295
2	Begriffsdefinitionen und Einwirkungen	295
2.1	Begriffe	295
2.2	Einwirkungen	295
3	Problemstellung und Ausgangssituation	296
3.1	Fehlende thermische Trennung	296
3.2	Nicht funktionstüchtige oder fehlende Abdichtung und typische Schäden	297
3.3	Weitere Nachteile älterer Balkone und Loggien	299
3.3.1	Fehlende Barrierefreiheit	299
3.3.2	Bemessung für geringere Nutzlasten	300
3.3.3	Absturzsicherung	300
3.3.4	Sonstige Aspekte	300
3.4	Zusammenfassende Beurteilung	300
4	Grundlagen der Instandhaltung von Balkonen und Loggien	301
4.1	Allgemeines	301
4.2	Vorgehensweise bei der Instandsetzung oder Erneuerung von Balkonen und Loggien	302
5	Zustandsanalyse, Beurteilung und Entscheidung über Instandsetzung oder Erneuerung	302
5.1	Zustandsanalyse	302
5.2	Beurteilung des Ist-Zustands	303
5.3	Entscheidung über Instandsetzung oder Erneuerung	303
6	Anforderungen und anzuwendende Regelwerke	304
6.1	Allgemeines	304
6.2	Anforderungen an die Abdichtung von Balkonen und Loggien	304
6.2.1	Allgemeines	304
6.2.2	Funktionsfähigkeit bei Bewegungen des Untergrundes und Rissüberbrückung	305
6.2.3	Beständigkeit und Verträglichkeit	305
6.2.4	Dauerhaftigkeit	305

6.3	Anforderungen an den Wärmeschutz bei Balkonen und Loggien	305	7.4.5.3	Entwässerung	311
6.3.1	Allgemeines	305	7.4.5.4	Untergrund	311
6.3.2	Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108	305	7.4.5.5	Anschlüsse an aufgehenden Bauteilen	311
6.3.3	Anforderungen nach GEG	306	7.4.5.6	Durchdringungen und Bewegungsfugen	312
7	Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen bei Balkonen und Loggien	306	7.4.5.7	Türanschlüsse	312
7.1	Allgemeines	306	7.4.6	Ausführung	313
7.2	Ablauf der Instandsetzung oder Erneuerung der Abdichtung	307	7.4.7	Instandhaltung	313
7.2.1	Allgemeines	307	7.5	Instandsetzung mit Flüssigkunststoffen (FLK)	313
7.2.2	Vorarbeiten	307	7.5.1	Allgemeines	313
7.2.3	Aufstellung eines Instandsetzungskonzepts	307	7.5.2	Flüssigkunststoffe (FLK)	313
7.3	Instandsetzung von Abdichtungen im Verbund mit Fliesen oder Platten (AIV-F)	308	7.5.3	FLK mit integrierter Schutz- und Nutzschicht	314
7.3.1	Allgemeines	308	7.5.4	Abdichtungsbauarten	314
7.3.2	Instandsetzung einer AIV-F	308	7.5.5	Ausführung der Abdichtung mit FLK	315
7.4	Instandsetzung mit polymeren Beschichtungen	309	7.5.5.1	Allgemeines	315
7.4.1	Allgemeines	309	7.5.5.2	Witterungsbedingungen	315
7.4.2	Anforderungen	309	7.5.5.3	Anforderungen an den Untergrund	315
7.4.3	Anwendungsvoraussetzungen und Eigenschaften	309	7.5.5.4	Ausführung	315
7.4.3.1	Oberflächenschutzsystem OS 8	310	7.5.5.5	Mindesttrockenschichtdicke	316
7.4.3.2	Oberflächenschutzsystem OS 10	310	7.5.5.6	Überlappungen	316
7.4.3.3	Oberflächenschutzsystem OS 11	310	7.5.5.7	Schutz der Abdichtung	316
7.4.4	Stoffe	310	7.6	Instandsetzung bzw. Erneuerung weiterer Bauteile	316
7.4.5	Planungsgrundsätze	311	7.7	Energetische Verbesserungsmaßnahmen	316
7.4.5.1	Allgemeines	311	8	Neubau von Balkonen und Loggien	319
7.4.5.2	Gefälle	311	8.1	Allgemeines	319
			8.2	Voruntersuchungen und Planung	319
			8.3	Tragkonstruktionen	319
			9	Zusammenfassung	321
				Literatur	321

**D 2 Potenzial von Peltier-Elementen zum Einsatz als dezentrale Wärmepumpen in einem Flächentemperiersystem 323**

Tobias Blum, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt, Dieter Platzek

1	Einleitung	325	5.2	Versuchsdurchführung	335
2	Das Peltier-Element	325	5.3	Ergebnisse	336
2.1	Aufbau und Funktionsweise	325	6	Simulative Untersuchungen der Integration des Flächentemperiersystems im Gebäude	338
2.2	Coefficient of performance	327	6.1	Simulationskonzept und Modellierung	338
2.3	Peltier-Elemente im Bauwesen	328	6.2	Ergebnisse	339
3	Das Flächentemperiersystem	328	7	Diskussion	340
3.1	Konzeption	328	7.1	Diskussion der Peltier-Elemente als dezentrale Wärmepumpen	340
3.2	Chancen und Risiken des Systems	329	7.2	Diskussion des Flächentemperiersystems	341
4	Experimentelle Grundlagenversuche	330	8	Zusammenfassung	341
4.1	Versuchsaufbau	330	9	Ausblick	342
4.2	Versuchsdurchführung	331		Literatur	342
4.3	Ergebnisse	331			
5	Experimentelle Versuche an einem Prototyp	334			
5.1	Aufbau des Prototyps	334			

**D 3 Implementierung von bauphysikalischen Funktionalitäten in der Automatisierung von Wohngebäuden 345**

Alexander Peikos, Klaus Sedlbauer

- |       |  |     |     |   |     |
|-------|--|-----|-----|---|-----|
| 1     | Einleitung und Motivation  | 347 | 3.3 | Knowledge-Based – Algorithmik zur Interaktion                   | 356 |
| 2     | Zielsetzung und Hinweise zur Methodik                            | 348 | 4   | Implementierung   | 357 |
| 2.1   | Algorithmus und Systemkonzepte für die Verwendung in Smart Homes | 349 | 4.1 | Gebäude- und Nutzermodule                                       | 358 |
| 2.1.1 | Aktivitätserkennung von Nutzern                                  | 349 | 4.2 | Algorithmen zur Erkennung von notwendigen Interaktionen         | 358 |
| 2.1.2 | Kontextsensitive Steuerung                                       | 350 | 5   | Fallstudien   | 361 |
| 2.1.3 | Systeme künstlicher Intelligenz                                  | 351 | 5.1 | Übersicht der Fallstudien                                       | 361 |
| 2.1.4 | Digitaler Zwilling   | 352 | 5.2 | In den Fallstudien verwendete Testwohnung                       | 361 |
| 2.2   | Bewertung des Standes des Wissens                                | 352 | 5.3 | Fallstudie 1: Berechnung der Schimmelpilzbildungsgefahr         | 363 |
| 3     | Ganzheitliche Steuerung eines Smart Homes                        | 354 | 5.4 | Fallstudie 2: Bewertung der Radonkonzentration                  | 373 |
| 3.1   | Anforderungen anhand eines Kriterienkataloges                    | 354 | 5.5 | Fallstudie 3: Individuelle Berücksichtigung des Duschverhaltens | 383 |
| 3.2   | Kernkonzept – Human centered                                     | 355 | 6   | Zusammenfassung und Ausblick                                    | 387 |
| 3.2.1 | Digitaler Gebäudezwilling  | 355 |     | Literatur   | 389 |
| 3.2.2 | Digitaler Zwilling des Nutzers                                   | 355 |     |   |     |
| 3.2.3 | Interaktion von Nutzer- und Gebäudezwilling                      | 356 |     |   |     |

**D 4 Experimentelle und numerische Untersuchungen als Grundlage für die Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von Ziegelmauerwerk 393**

Jochen Zehfuß, Lillia Maruhn

- |     |  |     |       |   |     |
|-----|--|-----|-------|---|-----|
| 1   | Einleitung   | 395 | 3.4.1 | Allgemeines   | 400 |
| 2   | Stand der Forschung und Technik  | 396 | 3.4.2 | Stationäre Versuche und instationäre Kriechversuche   | 401 |
| 2.1 | Ermittlung des Feuerwiderstandsverhaltens von Mauerwerkswänden                                 | 396 | 3.4.3 | Kleinformatige Brandversuche an Mauerwerkswänden  | 403 |
| 2.2 | Thermisches und thermomechanisches Verhalten   | 397 | 3.5   | Numerische Untersuchungen mit der FEM-Software Abaqus   | 406 |
| 3   | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Feuerwiderstandsverhalten von Ziegelmauerwerk | 398 | 3.5.1 | Allgemeines   | 406 |
| 3.1 | Allgemeines  | 398 | 3.5.2 | Entwicklung eines 2D-Modells für das Erwärmungsverhalten von Ziegelmauerwerk unter Brandbeanspruchung | 407 |
| 3.2 | Experimentelle Untersuchungen zu temperaturabhängigen Materialeigenschaften                    | 398 | 3.5.3 | Vergleich von Versuchs- und Rechenergebnissen   | 409 |
| 3.3 | Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Lochgeometrie                                   | 400 | 3.5.4 | Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur  | 413 |
| 3.4 | Experimentelle Untersuchungen des thermomechanischen Material- und Bauteilverhaltens           | 400 | 4     | Zusammenfassung und Ausblick  | 414 |
|     |  |     |       | Literatur   | 415 |



## D 5 Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchungen und Empfehlungen für die Planung von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze 417

Jochen Zehfuß, Thomas Engel, Felix Steeger, Christoph Kurzer, Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Norman Werther, Daniel Butscher, Stefan Winter, Sven Brunkhorst

- |       |   |     |       |   |     |
|-------|---|-----|-------|---|-----|
| 1     | Einführung  | 419 | 3.1.3 | Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse  | 438 |
| 2     | Experimentelle Untersuchungen   | 419 | 3.1.4 | Fazit und Ableitung von Maßnahmen   | 439 |
| 2.1   | Branddynamik bei Raumbrandversuchen   | 419 | 3.2   | Abwehrender Brandschutz   | 440 |
| 2.1.1 | Allgemeines   | 419 | 3.3   | Brandschutztechnische Prinzipien zur Planung von Holzfassaden   | 441 |
| 2.1.2 | Auswirkungen im Brandraum   | 420 | 3.3.1 | Einleitung  | 441 |
| 2.1.3 | Auswirkungen im Fassadenbereich   | 422 | 3.3.2 | Grundlagen der Fassadenplanung  | 441 |
| 2.2   | Abbrandverhalten von Holz bei Norm- und Naturbrandbeanspruchung                       | 424 | 3.3.3 | Hintergründe für die brandschutztechnische Planung und Ausführung von Holzfassaden                                      | 444 |
| 2.2.1 | Einführung  | 424 | 3.3.4 | Zugänglichkeit und wirksame Löscharbeiten für die Feuerwehr   | 446 |
| 2.2.2 | Prüfkörperaufbau und Anordnung der Temperaturmessstellen                              | 425 | 3.3.5 | Fazit   | 446 |
| 2.2.3 | Geprüfte Brandszenarien   | 425 | 3.4   | Vereinfachtes Bemessungsverfahren zur Bestimmung der Brandeinwirkungen mit Berücksichtigung der strukturellen Brandlast | 447 |
| 2.2.4 | Messergebnisse  | 426 | 3.4.1 | Allgemeines   | 447 |
| 2.2.5 | Erkenntnisse  | 426 | 3.4.2 | Vergleich mit Versuchsergebnissen   | 447 |
| 2.3   | Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen  | 428 | 4     | Empfehlungen für die Praxis   | 448 |
| 2.3.1 | Allgemeines   | 428 | 4.1   | Ausbildung von Anschlüssen und deren Rauchdichtigkeit   | 448 |
| 2.3.2 | Leistungsfähigkeit bei ETK-Beanspruchung  | 429 | 4.1.1 | Ergebnisse des HolzBauRLBW-Projektes  | 448 |
| 2.3.3 | Leistungsfähigkeit bei Naturbrand-Beanspruchung                                       | 430 | 4.1.2 | Ausführungsprinzipien für Bauteil- und Elementfugen   | 449 |
| 2.3.4 | Ergebniszusammenfassung   | 431 | 4.2   | Anordnung ungeschützter Holzoberflächen   | 451 |
| 2.4   | Nachbrandverhalten und Selbstverlöschten  | 431 | 4.2.1 | Allgemeines   | 451 |
| 2.4.1 | Bauordnungsrechtliche Anforderungen an das Nachbrandverhalten                         | 431 | 4.2.2 | Vergleich Anordnung ungeschützter Wand- und Deckenoberflächen   | 452 |
| 2.4.2 | Selbstverlöschten von Bränden in Räumen aus Holzbauweisen                             | 432 | 4.3   | Anwendbarkeit von Decken und Wänden in Holztafelbauweise in der Gebäudeklasse 5 unterhalb der Hochhausgrenze            | 454 |
| 2.5   | Brandverhalten von Fugen unter Naturbrandbeanspruchung                                | 434 | 4.3.1 | Allgemeines   | 454 |
| 2.5.1 | Ausführung der Fugen in den Belegversuchen  | 434 | 4.4   | Haustechnische Installationen im Holzbau  | 455 |
| 2.5.2 | Ergebnisse zu Bauteil- und Elementfugen   | 434 | 4.4.1 | Bauordnungsrechtliche Anforderungen   | 455 |
| 3     | Risikobetrachtungen   | 436 | 4.4.2 | Installationsführungen in Holzbauteilen   | 455 |
| 3.1   | Hohlraumbrände durch elektrische Leitungen  | 436 | 5     | Zusammenfassung   | 458 |
| 3.1.1 | Grundlagen  | 436 |       | Literatur   | 459 |
| 3.1.2 | Versuchsreihe zur Untersuchung der Brandgefahr durch Elektrizität in Holzbauelementen | 437 |       |   |     |

**D 6 Brandschutztechnische Bemessung einer raumabschließenden Holzrahmenbauwand anhand additiver Berechnungsmethoden 463**

Sabine Scheidel, Sebastian Dienst, Tobias Götz, Oliver Kornadt

1	Einleitung	465	4	Anwendung additiver Berechnungsverfahren bei Probekörpern für Großbrandversuche	471
2	Grundlagen Brandschutz	465	4.1	Aufbau der Probekörper der Großbrandversuche	472
2.1	Musterbauordnung	466	4.2	Versuchsablauf	472
2.2	Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL)	467	4.3	Berechnung der raumabschließenden Funktion	474
3	Additive Berechnungsmethoden	468	4.3.1	DIN EN 1995-1-2:2010	474
3.1	Additive Berechnungsverfahren nach DIN EN 1995-1-2:Anhang E	469	4.3.2	Component Additive Method pr EN 1995-1-2:2025	475
3.2	Component Additive Method	469	4.3.3	Ergebnisauswertung	479
3.3	Berechnungsverfahren nach pr EN 1995-1-2:2025	470	5	Fazit	479
				Literatur	480

**D 7 Brandrisiko von Elektrofahrzeugen in Parkgaragen 483**

Jochen Zehfuß, Lisa Sander

1	Einführung	485	3.5	Zeitpunkt des Brandüberschlags zwischen Elektrofahrzeugen	494
1.1	Allgemeines	485	3.6	Festlegung geeigneter Brandszenarien	495
1.2	Fahrzeugbestand und Neuzulassungen	485	4	Brandrisiko von Elektrofahrzeugen in offenen, oberirdischen Parkgaragen	495
1.3	Aktuelle Entwicklung von Elektrofahrzeugen	486	4.1	Allgemeines	495
2	Entzündungsgefahr von Elektrofahrzeugen	487	4.2	Versagenswahrscheinlichkeit einer Tragstruktur von offenen, oberirdischen Parkgaragen	495
2.1	Allgemeines	487	4.2.1	Referenzbeispiele für einen Verbundträger und eine Stahlstütze	495
2.2	Lithium-Ionen-Akkumulatoren	487	4.2.2	Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall	495
2.3	Entzündungsgefahr	489	4.3	Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fahrzeugbrandes	496
2.4	Thermisches Durchgehen	489	4.4	Auftretenswahrscheinlichkeit einer Fahrzeugkombination	496
2.5	Sicherheitsmaßnahmen	490	4.5	Festlegung des Sicherheitsniveaus von offenen, oberirdischen Parkgaragen	497
3	Brandszenarien von Elektrofahrzeugen	490	4.6	Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeit von Elektrofahrzeugen im Brandfall	498
3.1	Allgemeines	490	5	Zusammenfassung	498
3.2	Fahrzeugabmessungen und Massen	490		Literatur	499
3.3	Abbildung von Fahrzeugen in Brand-simulationsmodellen	492			
3.4	Wärmefreisetzungsrate von Elektrofahrzeugen	492			
3.4.1	Daten aus Realbrandversuchen	492			
3.4.2	Approximationsansatz für Wärmefreisetzungen anderer Fahrzeug-segmente	493			

**E Materialtechnische Tabellen****E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 501**  
Nina Schjerve

- |     |  |     |     |   |     |
|-----|--|-----|-----|---|-----|
| 1   | Einleitung                                     | 503 | 2.3 | Brandausbreitung                                      | 511 |
| 1.1 | Relevanz von Materialdaten                     | 503 | 2.4 | Heizwerte   | 512 |
| 1.2 | Prüfverfahren ausgewählter<br>Materialdaten    | 503 | 2.5 | Lagerungsdichte und m-Faktoren                        | 519 |
| 1.3 | Einheiten und Einheiten-<br>Konvertierung      | 504 | 2.6 | Luftbedarf  | 522 |
| 2   | Stoffdaten                                     | 504 | 2.7 | Verbrennungseffektivität und<br>Verbrennungsanteile   | 523 |
| 2.1 | Zündtemperaturen und Entzündungs-<br>kriterien | 504 | 2.8 | Zusätzliche Stoffdaten für Kunststoffe                | 527 |
| 2.2 | Abbrand  | 509 | 2.9 | Flächenbezogene Brandleistung und<br>Brandentwicklung | 530 |
|     |  |     |     | Literatur   | 536 |

**E 2 Materialtechnische Tabellen 539**  
Rainer Hohmann

- |   |   |     |   |  |     |
|---|---|-----|---|--|-----|
| 1 | Vorbemerkungen                            | 541 | 3 | Schallschutztechnische und akustische<br>Kennwerte | 581 |
| 2 | Wärme- und feuchtetechnische<br>Kennwerte | 543 |   | Literatur  | 593 |

**Stichwortverzeichnis 595**