

## Inhaltsübersicht

### A Allgemeines und Normung

- A 1 Energetische Bewertung von Gebäuden im Wandel der Zeit 1  
Hans Erhorn

### B Dämmstoffe

- B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 7  
Wolfgang M. Willems und Kai Schild

### C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden

- C 1 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich: Überarbeitung von DIN V 18599 Beiblatt 1 85  
Kati Jagnow und Nils Buthod-Garçon
- C 2 Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (DIN/TS 18599-2) 103  
Anton Maas und Kirsten Höttges
- C 3 Nutzenergie der thermischen Luftaufbereitung – Neuausgabe der DIN/TS 18599-3 129  
Heiko Schiller
- C 4 Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung (DIN/TS 18599-4) 143  
Jan de Boer
- C 5 Wärme-Kälte-Kopplung und Wärmeverschiebung – Funktionsweise, energetische Einsparpotenziale und Umsetzung in DIN/TS 18599 191  
Thomas Hartmann, Christine Knaus, Anne Hartmann und Ingo Seliger
- C 6 Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten (DIN/TS 18599-10) 213  
Anton Maas und Kirsten Höttges
- C 7 Zum Einfluss der Gebäudeautomation und der Bestimmung von Automatisierungsgraden (DIN/TS 18599-11) 233  
Clemens Felsmann
- C 8 Wärmebrücken Berechnung – Bewertung – Vermeidung 247  
Wolfgang M. Willems und Kai Schild

### D Konstruktionen und Baustoffe

- D 1 Energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden 281  
Peter Schmidt und Saskia Windhausen
- D 2 Innendämmung aus Sicht der hygrothermischen Bauteilbetrachtung 313  
Hartwig M. Künzel, Martin Krus und Tobias Schöner
- D 3 Energetische Ertüchtigung eines Wohngebäudes durch Wärmepumpennutzung mit PV-Unterstützung und einer partiellen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung – Simulation, Umsetzung und Potenzial 363  
Felix Döring und Torsten Richter
- D 4 Anforderungen an Gebäude (passive Elemente) und HLK-Systeme aufgrund des Klimawandels – resiliente Gebäude 387  
Wolfgang Streicher
- D 5 Wechselwirkung zwischen den Ergebnissen der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) und der Lebenszyklusanalyse (LCA) 425  
Cedric Muth, Martin Schäfers und Zakaria Istanbuly

- D 6 Interaktives System zur gamifizierten Überwachung und Verbesserung des Nutzerkomforts sowie des Energieverbrauchs in Innenräumen 445  
Qirui Huang, Marc Syndicus, Dono Jamoliddinova, Jérôme Frisch und Christoph van Treeck

**E Materialtechnische Tabellen**

- E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 461  
Nina Schjerve
- E 2 Materialtechnische Tabellen 499  
Rainer Hohmann

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XVII

## A Allgemeines und Normung

### A 1 Energetische Bewertung von Gebäuden im Wandel der Zeit 1

Hans Erhorn

1	Historie	3	4	Ausblick auf eine europäische Methodik	6
2	Status quo der Normung	4		Literatur	6
3	Der Bilanzierungsansatz	5			

## B Dämmstoffe

### B 1 Dämmstoffe im Bauwesen 7

Wolfgang M. Willems und Kai Schild

1	Physikalische Grundlagen	11	2.3.1	Treibmittel	28
1.1	Wärmeschutz	11	2.3.2	Bindemittel	29
1.1.1	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	11	2.3.3	Stützfasern	29
1.1.2	Wärmedurchlasswiderstand $R$	14	2.3.4	Zusätze für Brand- und Feuchteschutz	30
1.1.3	Spezifische Wärmekapazität $c$	14	2.4	Entwicklung der Dämmschichtdicken in Dach und Wand in den europäischen Ländern	30
1.1.4	Temperaturleitzahl $a$	14			
1.1.5	Physik der Wärmedämmung	15	3	Beschreibung von Dämmstoffen	31
1.2	Feuchteschutz	16	3.1	Aerogel	31
1.2.1	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$	16	3.2	Baumwolle	32
1.2.2	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d$	17	3.3	Blähglas	34
1.2.3	Auswahl der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$ für den Nachweis nach Glaser	17	3.4	Blähton	36
1.3	Schallschutz	17	3.5	Flachs	37
1.3.1	Schallabsorptionsgrad	17	3.6	Getreidegranulat	38
1.3.2	Schallabsorptionsfläche $A$	18	3.7	Hanf	40
1.3.3	Längenbezogener Strömungswiderstand $r$	18	3.8	Holzfasern	41
1.3.4	Dynamische Steifigkeit $s'$	19	3.9	Holzwohle-Leichtbauplatten und Holzwohle-Mehrschichtplatten	43
1.3.5	Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{\text{Dyn}}$	19	3.10	Kalziumsilikat	45
1.4	Brandschutz	19	3.11	Kokos	47
1.4.1	Baustoffklassen nach DIN 4102-1	19	3.12	Kork	48
1.4.2	Benennung des Brandverhaltens nach DIN EN 13501-1	20	3.13	Melaminharzschäum	49
1.5	Rohdichte	23	3.14	Mineralschäum	50
2	Dämmstoffe im Bauwesen	24	3.15	Mineralwolle	52
2.1	Dämmstoffübersicht	24	3.16	Perlite	54
2.2	Aspekte für die Auswahl von Dämmstoffen	24	3.17	Phenolharz	55
2.2.1	Baukonstruktive Aspekte	24	3.18	Polyesterfaser	56
2.2.2	Bauphysikalische Aspekte	24	3.19	Polystyrol, expandiert (EPS)	57
2.2.3	Ökologische Aspekte	24	3.20	Polystyrol, extrudiert (XPS)	59
2.2.4	Ökonomische Aspekte	28	3.21	Polyurethan (PUR, Hartschäum und Ortschäum)	61
2.3	Zusatzstoffe	28	3.22	Pyrogene Kieselsäure	63
			3.23	Schafwolle	64
			3.24	Schäumglas	65
			3.25	Schilfrohr	67

3.26	Seegras	68	3.31	Vermiculite	76
3.27	Stroh	69	3.32	Zellelastomere	77
3.28	Transparente Wärmedämmung	70	3.33	Zellulose	78
3.29	Vacuum Insulating Sandwich (VIS)	71		Literatur	80
3.30	Vakuuminisulationspaneele (VIP)	73			
<b>C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden</b>					
<b>C 1</b>	<b>Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich: Überarbeitung von DIN V 18599 Beiblatt 1</b>	<b>85</b>			
	Kati Jagnow und Nils Buthod-Garçon				
1	Einführung und Problemstellung	87	3.3.1	Heizung	97
1.1	Ausgangslage	87	3.3.2	Trinkwarmwasser	98
1.2	Forschungslücke und Entwicklungsbedarf	87	3.3.3	Kühlung	98
1.3	Konkrete Projektziele	88	3.3.4	Beleuchtung	98
2	Problemlösung	88	3.3.5	Raumlufttechnik und Wohnungslüftung	98
2.1	Methodischer Ansatz	88	3.3.6	Hilfsenergien	98
2.2	Typgebäude und Untersuchungsvarianten	91	3.3.7	Gebäudeweise Kennwerte	100
3	Ergebnisse	95	4	Fazit und Ausblick	101
3.1	Einzeleinflüsse der Gewerke	95	4.1	Textliche Neuausgabe des Beiblattes 1	101
3.2	Gewerkeübergreifende Relevanz der Einflüsse	97	4.2	Visualisierung in Software	101
3.3	Typische Zusammensetzungen des Endenergiebedarfs	97		Dank	101
				Literatur	102
<b>C 2</b>	<b>Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (DIN/TS 18599-2)</b>	<b>103</b>			
	Anton Maas und Kirsten Höttges				
1	Einleitung	105	5.3	Raumtemperatur in angrenzenden Zonen	112
2	Übersicht über Neuerungen in DIN/TS 18599-2:2025-10	105	5.4	Beispielhafte Anwendungsfälle	113
2.1	Bestimmung des Anteils der mitbeheizten Fläche an der Gesamtfläche	105	6	Bestimmung der Transmissionswärmesenken und -quellen	114
2.2	Temperatur-Korrekturfaktoren von Bauteilen des unteren Gebäudeabschlusses	105	7	Behandlung der Lüftung bei der Bestimmung des Nutzenergiebedarfs	116
2.3	Einfluss der Neigung von transparenten Bauteilen bei der Bestimmung des Wärmetransferkoeffizienten	106	7.1	Infiltrationsluftwechsel	116
2.4	Kennwerte von Gläsern und Sonnenschutzvorrichtungen	106	7.2	Fensterlüftung/Fensterluftwechsel	117
2.5	Bewertung der energetischen Qualität von Fenstern bzw. Verglasungen	106	7.2.1	Saisonaler Luftwechsel bei Wohnnutzung	119
3	Begriffe	106	7.2.2	Bedarfsgerechte Fensterlüftung bei Nichtwohnnutzungen	120
4	Grundlagen der Wärmebilanz	106	7.3	Mechanische Lüftung	120
4.1	Berechnung des Heizwärmebedarfs	106	7.4	Mindestaußenluftvolumenstrom	120
4.2	Berechnung des Kühlbedarfs	107	8	Wärmequellen infolge Solarstrahlung	121
4.3	Wärmesenken	108	9	Interne Wärme- und Kältequellen	124
4.4	Wärmequellen	108	10	Beispielberechnungen	124
4.5	Ausnutzung der Wärmequellen	108	10.1	Gebäudebeschreibung	124
5	Raumtemperaturen	109	10.2	Varianten	125
5.1	Raumtemperatur in der bilanzierten Zone – Heizfall	109	10.3	Ergebnisse	125
5.2	Raumtemperatur in der bilanzierten Zone – Kühlfall	110	11	Bilanzkennwert zur Bewertung der energetischen Qualität transparenter Bauteile	126
				Literatur	127

<b>C 3</b>	<b>Nutzenergie der thermischen Luftaufbereitung – Neuausgabe der DIN/TS 18599-3</b>	129		
	Heiko Schiller			
1	Einleitung	131	3	Regenerative Kühlung
2	Thermischer Nutzenergiebedarf von konventionellen Klimaprozessen	131	3.1	Indirekte Verdunstungskühlung
2.1	Variantenmatrix	131	3.2	Sorptionsgestützte Kühlung/DEC-Technik – Kühlung und Entfeuchtung ohne konventionelle Kältetechnik
2.2	Bilanzvolumenstrom für die thermische Luftaufbereitung	132	4	Berechnung des Endenergiebedarfs für die Luftförderung
2.3	Einfluss der Zulufttemperatur auf den thermischen Energiebedarf	132		Literatur
2.4	Jahresverfahren und Monatsverfahren	133		
2.5	Algorithmus für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs der thermischen Luftaufbereitung	133		
<b>C 4</b>	<b>Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung (DIN/TS 18599-4)</b>	143		
	Jan de Boer			
1	Einleitung	145	4.3.2	Fassadenzustandsbezogene Modellierung
2	Grundlagen der Methodik	146	4.3.3	Korrelation des Tageslichtquotienten und der Fassadeneigenschaften mit $H_{N,rel}$
2.1	Genereller Verfahrensansatz	146	4.4	Dachoberlichter
2.2	Bestimmung der Betriebszeiten	149	4.5	Monatliches Verfahren
2.3	Bestimmung der Berechnungsbereiche	149	4.6	Tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle
2.4	Allgemeine Randbedingungen	150	5	Beispielhafte Listung beleuchtungstechnischer Ausstattungen
3	Kunstlicht	152	6	Aufwandszahlen für Beleuchtungszwecke
3.1	Wirkungsgradverfahren	152	6.1	Nutz- und Endenergie für Beleuchtung
3.2	Angepasstes Wirkungsgradverfahren	155	6.2	Aufwandszahl
3.3	Tabellenverfahren	157	6.3	Beispielwerte und Darstellungsmöglichkeiten
3.4	Erfassung im Bestand	161	6.4	Diskussion
3.5	Belegung; Präsenzdetektion	161	7	Zusammenfassung und Ausblick
3.6	Konstantlichtkontrolle	162		Literatur
4	Tageslicht	162		
4.1	Tageslichtversorgte Bereiche	163		
4.2	Generelle Methodik zur Bestimmung des Teilbetriebsfaktors Tageslicht $F_{TL}$	167		
4.3	Vertikale Fassaden	169		
4.3.1	Einfaches Modell zur Bestimmung des Tageslichtquotienten	169		
<b>C 5</b>	<b>Wärme-Kälte-Kopplung und Wärmeverschiebung – Funktionsweise, energetische Einsparpotenziale und Umsetzung in DIN/TS 18599</b>	191		
	Thomas Hartmann, Christine Knaus, Anne Hartmann und Ingo Seliger			
1	Einführung	193	3.2	Nutzbarkeit von Wärme-Kälte-Kopplung
2	Funktionsweise von Wärme-Kälte-Kopplung	193	3.2.1	Ursachen für Nutzbarkeit
2.1	Allgemein	193	3.2.2	Zeitliche Nutzbarkeit
2.2	Kältemaschine mit Abwärmenutzung	193	3.2.3	Thermische Nutzbarkeit
2.3	Paralleles Heizen und Kühlen: 4-Leiter-System oder VRF	194	3.2.4	Wärmeverluste aufgrund der Verbindung des Wärme- und Kältenetzes
2.4	Wärmepumpe mit Kühlung als Wärmequelle	197	3.2.5	Wärmeverluste des Pufferspeichers
3	Physikalische Grundlage der Wärme-Kälte-Kopplung	197	3.2.6	Effizienz der Pufferspeicher
3.1	Allgemeines	197	3.3	Kältemaschine mit Abwärmenutzung
			3.4	Paralleles Heizen und Kühlen
			3.5	Wärmepumpe mit Raumkühlung als Wärmequelle

4	Umsetzung in der DIN/TS 18599	200	4.8.1	Wärmepumpen	204
4.1	Bisherige Umsetzung	200	4.8.2	Kältemaschinen	205
4.2	Allgemeine Änderungen in der neuen DIN/TS 18599	200	5	Berechnung energetischer Einsparpotenziale	205
4.3	Erweiterung der Energiebilanzen	200	5.1	Beispiel: Kältemaschine mit Abwärmenutzung im Verbrauchermarkt	205
4.4	Nutzbarkeit der Wärme-Kälte-Kopplung	201	5.1.1	Berechnungsrandbedingungen Verbrauchermarkt	205
4.4.1	Zeitliche Nutzbarkeit $f_{\text{zeitliche Nutzbarkeit}}$	201	5.1.2	Ergebnisse Verbrauchermarkt	205
4.4.2	Thermische Nutzbarkeit $f_{\text{thermische Nutzbarkeit}}$	201	5.2	Beispiel: Kältemaschine mit Abwärmenutzung im Bürogebäude	207
4.4.3	Wärmeverluste	202	5.2.1	Berechnungsrandbedingungen Bürogebäude	207
4.4.4	Effizienz der Speicherung	203	5.2.2	Ergebnisse Bürogebäude	207
4.5	Raumkühlung als Wärmequelle – Teil 5	203	5.3	Beispiel: Paralleles Heizen und Kühlen im Hotel	208
4.5.1	Allgemein	203	5.3.1	Berechnungsrandbedingungen Hotel	208
4.5.2	Besonderheiten hinsichtlich Nutzbarkeit	203	5.3.2	Ergebnisse Hotel	209
4.6	Kältemaschine mit Abwärmenutzung – Teil 7	203	5.4	Vergleich der Ergebnisse	210
4.6.1	Allgemein	203	6	Fazit	211
4.6.2	Besonderheiten hinsichtlich Nutzbarkeit	204		Literatur	212
4.7	Paralleles Heizen und Kühlen – Teil 7	204			
4.7.1	Allgemein	204			
4.7.2	Besonderheiten hinsichtlich Nutzbarkeit	204			
4.8	Betriebsoptimierung	204			
<b>C 6</b>	<b>Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten (DIN/TS 18599-10)</b>	<b>213</b>			
	Anton Maas und Kirsten Höttges				
1	Einleitung	215	4	Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude	218
2	Übersicht über Neuerungen in DIN/TS 18599-10:2025-10	215	4.1	Nutzungs- und Betriebszeiten	222
2.1	Mindestaußenluftwechsel bei Wohngebäuden	215	4.2	Beleuchtung	223
2.2	Wartungswerte der Beleuchtungsstärke bei Nichtwohngebäuden	215	4.3	Raumklima	223
2.3	Wärmezufuhr aus Arbeitshilfen bei Nichtwohngebäuden	215	4.4	Wärmequellen	224
2.4	Richtwerte für die Gebäudeautomation bei Nichtwohngebäuden	216	4.5	Gebäudeautomation	225
2.5	Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser für Nichtwohngebäude	216	4.6	Trinkwarmwasser	226
3	Nutzungsrandbedingungen für Wohngebäude	216	5	Klimarandbedingungen	228
			6	Beispiel für die Erstellung eines Nutzungsprofils und vergleichende Berechnungen	228
				Literatur	230
<b>C 7</b>	<b>Zum Einfluss der Gebäudeautomation und der Bestimmung von Automatisierungsgraden (DIN/TS 18599-11)</b>	<b>233</b>			
	Clemens Felsmann				
1	Einleitung und historische Einordnung	235	4.3	Bewertung mittels Korrekturfaktor (Aufwandszahl, Nutzungsgrad)	241
2	Gebäudeautomationsfunktionen	236	5	Gebäudemanagement	241
3	Gebäudeautomationsklassen und Automatisierungsgrade	237	6	Hilfsenergieaufwand für Gebäudeautomation	243
4	Berechnungsmethoden für Gebäudeautomation	240	7	Ausblick	244
4.1	Betriebsartbezogene Bewertung	240		Literatur	245
4.2	Bewertung der Regelqualität	240			

<b>C 8</b>	<b>Wärmebrücken Berechnung – Bewertung – Vermeidung</b>	<b>247</b>		
	Wolfgang M. Willems und Kai Schild			
1	Einführung	249	2.1	Gleichwertigkeitsnachweise gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 267
1.1	Allgemeines	249	2.2	Allgemeine Nachweisführungen gemäß DIN EN ISO 10211 268
1.2	Arten von Wärmebrücken	249	2.3	Auswirkung der Wahl der Randbedingungen auf die Größenordnung der $\psi$ -Werte 268
1.2.1	Geometrische Wärmebrücken	249	2.4	Erdberührte Bauteile 269
1.2.2	Konstruktive Wärmebrücken	249	2.5	Transparente Bauteile 270
1.2.3	Mischformen	250	3	Zusammenstellung von $\psi$ -Werten für ausgewählte Anschlussdetails verschiedener Bauweisen 270
1.3	Wärme- und feuchtetechnische Auswirkungen	250	3.1	Außengedämmte Konstruktionen 271
1.3.1	Erhöhte Wärmeverluste	250	3.2	Monolithische Konstruktionen 272
1.3.2	Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung	250	3.3	Innengedämmte Konstruktionen 273
1.3.3	Beurteilung von Wärmebrücken bei Teilsanierungen von Bestandsbauten	251	4	Wärmebrückenminimiertes Konstruieren 274
1.4	Kennwerte für Wärmebrücken	253	4.1	Einführung 274
1.4.1	Thermischer Leitwert	253	4.2	Ausführungsbeispiele im Bestand 274
1.4.2	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	258	4.2.1	Sanierung durchlaufender Balkonplatten 274
1.4.3	Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	259	4.2.2	Ausführungen bei innengedämmten Konstruktionen 275
1.4.4	Raumseitige Oberflächentemperaturen	260	4.3	Wärmebrückenfreie Standard- Detaillösungen 276
1.5	Bewertung von Wärmebrücken beim Nachweis nach GEG	261	4.3.1	Anforderungen 276
1.5.1	Berücksichtigung durch pauschale Zuschläge auf den U-Wert	261	4.3.2	Kelleraußenwand – Bodenplatte 276
1.5.2	Berücksichtigung durch detaillierte Berechnung	263	4.3.3	Sockelpunkt – unbeheizter Keller 276
1.5.3	Berechnung des Transmissionswärmeverlustes nach EnEV	263	4.3.4	Innenwand – Decke zum unbeheizten Keller 277
1.5.4	Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2	263	4.3.5	Außenwand – Flachdach (Attika) 277
1.5.5	Berechnung des U-Wertes gemäß DIN EN ISO 6946	264	5	Einfluss punktueller Wärmebrücken 278
1.5.6	Berücksichtigung regelmäßig wiederkehrender Wärmebrücken	264	5.1	Beispiel: Durchdringung einer Außenwand durch einen Stahlträger 278
1.5.7	Berechnung von U-Werten für Fenster/Fenstertüren	265	5.2	Beispiel: Durchdringung einer Geschosdecke gegen Außenluft durch eine Stahlbetonstütze 279
1.5.8	Einfluss von Wärmebrücken auf den Transmissionsverlust von Gebäuden	266	5.3	Beispiel: Sockelpunkt – monolithische Bauweise 279
1.5.9	Arbeit mit Wärmebrückenatlanten	267		Literatur 280
2	Randbedingungen für numerische Berechnungen	267		
<b>D</b>	<b>Konstruktionen und Baustoffe</b>			
<b>D 1</b>	<b>Energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden</b>	<b>281</b>		
	Peter Schmidt und Saskia Windhausen			
1	Einleitung	283	3.1	Allgemeines 287
2	Grundlagen	283	3.2	Denkmalschutzgesetze 287
2.1	Denkmalschutz und Anforderungen an Baudenkmäler	283	3.3	Bauordnungen und Sonderbauverordnungen 289
2.2	Problemstellung und Besonderheiten bei der energetischen Sanierung	284	3.3.1	Allgemeines 289
3	Gesetze, Bauvorschriften und Regelwerke	287	3.3.2	Landesbauordnungen 289
			3.3.3	Sonderbauverordnungen 289
			3.4	Gebäudeenergiegesetz 289

3.5	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 289	4.4	Sonstige Anforderungen 298
3.6	Technische Baubestimmungen 289	5	Ausgewählte Maßnahmen bei der energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden 298
4	Anforderungen 290	5.1	Allgemeines 298
4.1	Allgemeines 290	5.2	Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle 299
4.2	Anforderungen des Denkmalschutzes 290	5.2.1	Allgemeines 299
4.3	Anforderungen an die energetische Qualität von bestehenden Gebäuden 290	5.2.2	Außenwände 299
4.3.1	Ausnahmeklausel für Baudenkmäler 291	5.2.3	Fenster und Türen 303
4.3.2	Aufrechterhaltung der energetischen Qualität 291	5.2.4	Dächer und Dachgauben 303
4.3.3	Bagatellregelung für Außenbauteile 291	5.2.5	Oberste Geschossdecke 305
4.3.4	Anforderungen an Bauteile der thermischen Gebäudehülle von bestehenden Gebäuden bei Änderungen 292	6	Fallbeispiel 305
4.3.5	Anforderungen bei Erweiterung und Ausbau 296	6.1	Allgemeines 305
4.3.6	Dämmung oberster Geschossdecken 297	6.2	Energetische Sanierung der Außenwände 306
4.3.7	Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie der Warmwasserversorgung 298	6.3	Energetische Sanierung des Daches 307
		7	Zusammenfassung 310
			Literatur 310
<b>D 2</b>	<b>Innendämmung aus Sicht der hygrothermischen Bauteilbetrachtung 313</b>		
	Hartwig M. Künzel, Martin Krus und Tobias Schöner		
1	Einleitung 315	5.4	Berechnungen zur Anbindung Innenwand/ Innendecke 335
2	Vergleich Innendämmung – Außendämmung 315	5.5	Einfluss auf benachbarte Wohnung ohne Innendämmung 338
2.1	Energetische Aspekte 315	5.6	Zusammenfassung Innendämmung und Schimmelpilzproblematik 338
2.2	Tauwasserbildung 316	6	Innendämmung bei denkmalgeschützten und erhaltenswerten Gebäuden 339
2.3	Schlagregen 317	6.1	Entwicklung reversibler Innendämmsysteme 340
3	Normen, Richtlinien und Forschungsergebnisse zur Innendämmung 318	6.2	Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Innendämmsysteme und deren Bewertung im Einsatz 342
3.1	Hygienischer Mindestwärmeschutz 319	6.2.1	Bewertung der Schlagregenbelastung und Auslegung der Innendämmung 342
3.2	Klimabedingter Feuchteschutz 319	6.2.2	Vergleichende Darstellung der Messergebnisse 344
3.2.1	Nachweisfreie Konstruktionen mit Innendämmsystemen 319	6.2.3	Ergänzende rechnerische Untersuchungen 345
3.2.2	Stationäre Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser 319	6.2.4	Vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Innendämmsysteme 346
3.2.3	Schlagregenschutz 320	6.3	Energetische Sanierung mit sichtbarer Erhaltung originaler Oberflächen 349
3.2.4	Hygrothermische Simulation 320	6.3.1	Systemaufbau und Messungen 349
3.3	Weitere europäische Normen und Richtlinien zum Feuchteschutz von innen gedämmten Wänden 321	6.3.2	Ergebnisse 350
3.3.1	Europäische Norm zur hygrothermischen Simulation DIN EN 15026 321	6.4	Anwendungsbeispiel Landesamt für Finanzen Augsburg 351
3.3.2	WTA-Merkblätter 322	6.4.1	Hygrothermische Berechnungen der Innendämmmaßnahmen 352
3.3.3	Verbandsrichtlinien zur Bemessung von Innendämmsystemen 324	6.4.2	Umsetzung der Maßnahmen 355
4	Parameterbasierte Bemessung von Innendämmsystemen 324	6.4.3	Messtechnische Untersuchungen 358
5	Innendämmung und Schimmelpilzproblematik 330	7	Schlussfolgerungen und Ausblick 359
5.1	Durchführung der Untersuchungen 331		Literatur 360
5.2	Hinterströmung der Dämmung 331		
5.3	Berechnungen zur Fehlstellenproblematik 333		

<b>D 3</b>	<b>Energetische Ertüchtigung eines Wohngebäudes durch Wärmepumpennutzung mit PV-Unterstützung und einer partiellen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung – Simulation, Umsetzung und Potenzial</b>	<b>363</b>			
	Felix Döring und Torsten Richter				
1	Einführung und Problemstellung	365	4.1.2	Vergleich mit den realen Verbräuchen der alten Gasheizung	371
2	Begriffsbestimmungen	365	4.1.3	Betriebsdaten der Wärmepumpen – Berechnung der Jahresarbeitszahl	371
2.1	Der Energie-Autarkiegrad	365	4.1.4	Auswirkungen der Umrüstung auf den Energiebedarfsausweis	373
2.2	Die Leistungszahl – Coefficient of Performance (COP)	365	4.2	Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	373
2.3	Jahresarbeitszahl – JAZ	366	4.2.1	Technische Umsetzung	373
3	Bauliche Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung	366	4.2.2	Energetische Bewertung	374
3.1	Heizwärmeverbräuche und Jahresarbeitszahlen im Bestand	366	4.2.3	Schallschutztechnische Bewertung	376
3.2	Ökonomische Bewertung einer Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen	367	4.2.4	Luftqualitätsbewertung mit Indikator CO <sub>2</sub>	376
3.3	Ökologische Bewertung einer Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen	368	4.3	Photovoltaik	377
3.4	Bewertung zur energetischen Effizienz der Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen	368	4.3.1	PV-Erträge aus der Simulation	378
4	Praxisbeispiel eines Einfamilienhauses von 1997 – Potenziale durch Modernisierung der Anlagentechnik	369	4.3.2	Verbrauchsprofile	379
4.1	Heizungsanlage	369	4.3.3	Autarkiegrad und Investitionskosten	380
4.1.1	Energiebedarfsberechnung	369	4.3.4	Optimierung der Betriebszeiten und Steuerung	382
			4.3.5	Vergleich der tatsächlich erzielten PV-Erträge mit den Simulationsergebnissen	382
			4.3.6	Energetische Bewertung der PV-Anlage nach DIN V 18599	383
			4.4	Betrachtungen zur Nutzung einer Kleinwindanlage	385
			5	Zusammenfassung und Ausblick	385
				Literatur	386
<b>D 4</b>	<b>Anforderungen an Gebäude (passive Elemente) und HLK-Systeme aufgrund des Klimawandels – resiliente Gebäude</b>	<b>387</b>			
	Wolfgang Streicher				
1	Einleitung und Klimawandelprognosen	389	4.1.1	Innsbruck	397
1.1	Aufgabenstellung der Arbeit	389	4.1.2	Rom	398
1.2	Bisher beobachteter Klimawandel weltweit, Europa und Österreich	389	4.1.3	Stockholm	399
1.3	Zukünftige Szenarien des Klimawandels	391	4.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	400
1.4	Zukünftige Anforderungen an die Gestaltung und Wärmedämmung von Gebäuden und Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK)	392	5	Sensitivitäten für verschiedene passive Maßnahmen	401
2	Methode	393	5.1	Wärmedämmung	401
2.1	Klimadaten	393	5.1.1	Wände	401
2.2	Gewähltes Gebäude-Simulationsprogramm	394	5.1.2	Dach	402
3	Gebäude für die Berechnungen	395	5.2	Art, Größe und Ausrichtung der Fenster	402
3.1	Gewähltes Gebäude	395	5.2.1	Art der Fenster	402
3.2	Definition von Heizlast, Kühllast, Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, für diese Studie	396	5.2.2	Größe der Fenster	403
			5.2.3	Ausrichtung des Gebäudes	404
			5.3	Verschattung Fenster	406
			5.3.1	Bauliche Verschattung	406
			5.3.2	Flexible Verschattungen	408
			5.4	Nachtlüftung	409
			5.4.1	Beschreibung und bauliche Voraussetzung	409
			5.4.2	Sensitivitätsanalyse für Heiz- und Kühlbedarf	410
4	Ergebnisse für Heizwärme- und Kühlbedarf	397	5.5	Thermische Speichermassen	411
4.1	Ergebnisse im Jahresverlauf	397			

5.5.1	Beschreibung und bauliche Voraussetzung	411	6.1.2	Klima Rom	415
5.5.2	Sensitivitätsanalyse für Heiz- und Kühlbedarf	412	6.1.3	Klima Stockholm	415
5.6	Effekte von gekoppelten Maßnahmen	413	6.2	Wärmepumpen	416
5.6.1	Klima Innsbruck +4°C	413	6.3	Abgabesysteme	416
5.6.2	Klima Rom +4°C	414	6.4	Hydraulische Einbindung und Regelung (Wärmepumpen)	418
5.6.3	Klima Stockholm +4°C	414	6.5	Anforderungen an Bauordnungen aufgrund des Klimawandels	422
6	Anforderungen an zukünftige Heizungs- und Kühlsysteme	415	7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	422
6.1	Generelle Anforderungen	415		Literatur	422
6.1.1	Klima Innsbruck	415			
<b>D 5 Wechselwirkung zwischen den Ergebnissen der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) und der Lebenszyklusanalyse (LCA) 425</b>					
Cedric Muth, Martin Schäfers und Zakaria Istanbuly					
1	Einleitung	427	4.1	Vergleich zwischen den Ergebnissen der LCC und LCA	435
2	Vorstellung der Gebäude	427	4.1.1	Kosten	436
2.1	Massivbauweise mit Kalksandstein	428	4.1.2	Umweltauswirkungen	437
2.1.1	Mehrfamilienhaus mit Flachdach	428	4.2	Betrachtung der Bauteile	439
2.1.2	Mehrfamilienhaus mit Satteldach	429	4.2.1	Kosten	439
2.1.3	Doppelhaus mit Flachdach	429	4.2.2	Umweltauswirkungen	441
2.1.4	Doppelhaus mit Satteldach	429	4.3	Wechselwirkung zwischen Ökologie und Ökonomie	442
2.2	Holzbauweise mit Strohdämmung	430	5	Fazit	443
2.2.1	Doppelhaus mit Satteldach – Stroh	433		Literatur	443
3	Untersuchungen	435			
4	Auswertung	435			
<b>D 6 Interaktives System zur gamifizierten Überwachung und Verbesserung des Nutzerkomforts sowie des Energieverbrauchs in Innenräumen 445</b>					
Qirui Huang, Marc Syndicus, Dono Jamoliddinova, Jérôme Frisch und Christoph van Treeck					
1	Einleitung	447	3.2.2	Auswirkung auf das Lüftungsverhalten	454
2	Methodik	447	4	Diskussion	456
2.1	Hardware	447	4.1	Hardware	456
2.2	Feldstudie	449	4.2	Feldstudie	457
3	Ergebnisse	451	5	Fazit	458
3.1	Hardware und Simulation	452		Danksagung	458
3.2	Feldstudie Bewertung der GUI	453		Literatur	458
3.2.1	Vergleich Behaglichkeitsindizes und subjektive Bewertungen	454			
<b>E Materialtechnische Tabellen</b>					
<b>E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 461</b>					
Nina Schjerve					
1	Einleitung	463	2	Stoffdaten	464
1.1	Relevanz von Materialdaten	463	2.1	Zündtemperaturen und Entzündungskriterien	464
1.2	Prüfverfahren ausgewählter Materialdaten	463	2.2	Abbrand	469
1.3	Einheiten und Einheiten-Konvertierung	464	2.3	Brandausbreitung	471
			2.4	Heizwerte	472

---

2.5	Lagerungsdichte und $m$ -Faktoren	479	2.8	Zusätzliche Stoffdaten für Kunststoffe	487
2.6	Luftbedarf	482	2.9	Flächenbezogene Brandleistung und Brandentwicklung	490
2.7	Verbrennungseffektivität und Verbrennungsanteile	483		Literatur	496
<b>E 2</b>	<b>Materialtechnische Tabellen</b>	<b>499</b>			
	Rainer Hohmann				
1	Vorbemerkungen	501	3	Schallschutztechnische und akustische Kennwerte	541
2	Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte	503		Literatur	553
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>555</b>			

