2026

BAUPHYSIK KALENDER

Energieeffiziente Gebäude
Kommentare DIN/TS 18599

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

LESEPROBE

Vorwort

Zur Erfüllung komplexer Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden nehmen bauphysikalische Überlegungen im Bauplanungsprozess eine zunehmend zentrale Rolle ein. Der Bauphysik-Kalender 2026 bietet ein aktuelles, verlässliches und praxisnahes Nachschlagewerk, sowohl für Neubauten als auch für Bestandsgebäude, von der Planung über die Ausführung bis hin zur Bewertung.

Der Bauphysik-Kalender strebt folgende zentrale Ziele an, die sich auch in seiner Struktur widerspiegeln:

- Bereitstellung eines Überblicks über die historische Entwicklung, die neuesten Regelwerke und Normen sowie aktuelle Forschungsergebnisse im Bereich der Bauphysik.
- Darstellung und Erklärung bauphysikalischer Nachweisverfahren.
- Präsentation der konstruktiven Ausbildung ausgewählter Bauteile und Bauwerke unter Berücksichtigung bauphysikalischer Kriterien.
- Bereitstellung materialtechnischer Grundlagen und Tabellen.

Der Bauphysik-Kalender 2026 mit dem Schwerpunkt „Energieeffiziente Gebäude; Kommentare DIN/TS 18599“ enthält neben jährlich aktualisierten materialtechnischen Tabellen insgesamt 16 Beiträge, die das Schwerpunktthema umfassend behandeln und die neuesten Erkenntnisse präsentieren.

Die Rubrik *A Allgemeines und Regelwerke* beginnt mit einer Betrachtung der energetischen Bewertung von Gebäuden im historischen Kontext.

Rubrik *B Materialtechnische Grundlagen* umfasst den regelmäßig aktualisierten Beitrag zu Wärmedämmstoffen im Bauwesen.

In der Rubrik *C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden*, die sich mit bauphysikalischen Planungs- und Nachweisverfahren befasst, werden wesentliche Aspekte der neuen DIN/TS 18599 und deren Anpassungen diskutiert. Hierzu zählen der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich gemäß der überarbeiteten DIN V 18599 Beiblatt 1, die Bestimmung des Nutzenergiebedarfs nach DIN/TS 18599-2 bis -4, die Wärme-Kälte-Kopplung, die Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten nach DIN/TS 18599-10 sowie der Einfluss der Gebäudeautomation gemäß DIN/TS 18599-11. Zudem werden die Berechnung, Bewertung und Vermeidung von Wärmebrücken thematisiert.

In der vierten Rubrik *D Konstruktionen und Baustoffe* des Bauphysik-Kalenders werden sechs zentrale Themen behandelt, darunter die energetische Sanierung denkmalgeschützter Gebäude, hygrothermische Aspekte der Innendämmung, die energetische Optimierung von Wohngebäuden mithilfe innovativer Technologien wie Wärmepumpen und PV-Anlagen, klimawandelbedingte Anforderungen an resilientere Gebäude sowie die Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Ergebnissen der Lebenszykluskostenrechnung und Lebenszyklusanalyse. Weiterhin stellt ein Beitrag ein interaktives System zur gamifizierten Überwachung und Verbesserung von Nutzerkomfort und Energieeffizienz in Innenräumen vor.

Der Bauphysik-Kalender 2026 möchte die Brücke von der Forschung zur Praxis spannen, vom Planungsbüro zur ausführenden Firma, und dabei neue Entwicklungen und Tendenzen aufzeigen.

Für konstruktive Kritik und Anmerkungen sind die Autor:innen, der Herausgeber und der Verlag dankbar. An dieser Stelle sei allen Autor:innen für ihre wertvolle Mitarbeit und dem Verlag für die angenehme Zusammenarbeit herzlich gedankt.

Hannover, im Oktober 2025 Nabil A. Fouad

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

B Dämmstoffe

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

1 Physikalische Grundlagen 11
1.1 Wärmeschutz 11
1.1.1 Wärmeleitfähigkeit λ 11
1.1.2 Wärmedurchlasswiderstand R 14
1.1.3 Spezifische Wärmekapazität c 14
1.1.4 Temperaturleitzahl a 14
1.1.5 Physik der Wärmedämmung 15
1.2 Feuchteschutz 16
1.2.1 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ 16
1.2.2 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d 17
1.2.3 Auswahl der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ für den Nachweis nach Glaser 17
1.3 Schallschutz 17
1.3.1 Schallabsorptionsgrad 17
1.3.2 Schallabsorptionsfläche A 18
1.3.3 Längenbezogener Strömungswiderstand r 18
1.3.4 Dynamische Steifigkeit s' 19
1.3.5 Dynamischer Elastizitätsmodul E_{Dyn} 19
1.4 Brandschutz 19
1.4.1 Baustoffklassen nach DIN 4102-1 19
1.4.2 Benennung des Brandverhaltens nach DIN EN 13501-1 20
1.5 Rohdichte 23

2 Dämmstoffe im Bauwesen 24
2.1 Dämmstoffübersicht 24
2.2 Aspekte für die Auswahl von Dämmstoffen 24
2.2.1 Baukonstruktive Aspekte 24
2.2.2 Bauphysikalische Aspekte 24
2.2.3 Ökologische Aspekte 24
2.2.4 Ökonomische Aspekte 28
2.3 Zusatzstoffe 28
2.3.1 Treibmittel 28
2.3.2 Bindemittel 29
2.3.3 Stützfasern 29
2.3.4 Zusätze für Brand- und Feuchteschutz 30
2.4 Entwicklung der Dämmschichtdicken in Dach und Wand in den europäischen Ländern 30

3 Beschreibung von Dämmstoffen 31
3.1 Aerogel 31
3.2 Baumwolle 32
3.3 Blähglas 34
3.4 Blähton 36
3.5 Flachs 37
3.6 Getreidegranulat 38
3.7 Hanf 40
3.8 Holzfaser 41
3.9 Holzwolle-Leichtbauplatten und Holzwolle-Mehrschichtplatten 43
3.10 Kalziumsilikat 45
3.11 Kokos 47
3.12 Kork 48
3.13 Melaminharzschaum 49
3.14 Mineralschaum 50
3.15 Mineralwolle 52
3.16 Perlite 54
3.17 Phenolharz 55
3.18 Polyesterfaser 56
3.19 Polystyrol, expandiert (EPS) 57
3.20 Polystyrol, extrudiert (XPS) 59
3.21 Polyurethan (PUR, Hartschaum und Ortschaum) 61
3.22 Pyrogene Kieselsäure 63
3.23 Schafwolle 64
3.24 Schaumglas 65
3.25 Schilfrohr 67

3.26 Seegras 68
3.27 Stroh 69
3.28 Transparente Wärmedämmung 70
3.29 Vacuum Insulating Sandwich (VIS) 71
3.30 Vakuumisolationspaneele (VIP) 73
3.31 Vermiculite 76
3.32 Zellelastomere 77
3.33 Zellulose 78

Literatur 80

C Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden

C 1 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich: Überarbeitung von DIN V 18599 Beiblatt 1 85
Kati Jagnow und Nils Buthod-Garçon

1 Einführung und Problemstellung 87
1.1 Ausgangslage 87
1.2 Forschungslücke und Entwicklungsbedarf 87
1.3 Konkrete Projektziele 88

2 Problemlösung 88
2.1 Methodischer Ansatz 88
2.2 Typgebäude und Untersuchungsvarianten 91

3 Ergebnisse 95
3.1 Einzeleinflüsse der Gewerke 95
3.2 Gewerkeübergreifende Relevanz der Einflüsse 97
3.3 Typische Zusammensetzungen des Endenergiebedarfs 97
3.3.1 Heizung 97
3.3.2 Trinkwarmwasser 98
3.3.3 Kühlung 98
3.3.4 Beleuchtung 98
3.3.5 Raumlufttechnik und Wohnungslüftung 98
3.3.6 Hilfsenergien 98
3.3.7 Gebäudeweise Kennwerte 100

4 Fazit und Ausblick 101
4.1 Textliche Neuausgabe des Beiblattes 1 101
4.2 Visualisierung in Software 101

Dank 101

Literatur 102

C 2 Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (DIN/TS 18599-2) 103
Anton Maas und Kirsten Höttges

1 Einleitung 105

2 Übersicht über Neuerungen in DIN/TS 18599-2:2025-10 105
2.1 Bestimmung des Anteils der mitbeheizten Fläche an der Gesamtfläche 105
2.2 Temperatur-Korrekturfaktoren von Bauteilen des unteren Gebäudeabschlusses 105
2.3 Einfluss der Neigung von transparenten Bauteilen bei der Bestimmung des Wärmetransferkoeffizienten 106
2.4 Kennwerte von Gläsern und Sonnenschutzvorrichtungen 106
2.5 Bewertung der energetischen Qualität von Fenstern bzw. Verglasungen 106

3 Begriffe 106

4 Grundlagen der Wärmebilanz 106
4.1 Berechnung des Heizwärmebedarfs 106
4.2 Berechnung des Kühlbedarfs 107
4.3 Wärmesenken 108
4.4 Wärmequellen 108
4.5 Ausnutzung der Wärmequellen 108

5 Raumtemperaturen 109
5.1 Raumtemperatur in der bilanzierten Zone – Heizfall 109
5.2 Raumtemperatur in der bilanzierten Zone – Kühlfall 110
5.3 Raumtemperatur in angrenzenden Zonen 112
5.4 Beispielhafte Anwendungsfälle 113

6 Bestimmung der Transmissionswärmesenken und -quellen 114

7 Behandlung der Lüftung bei der Bestimmung des Nutzenergiebedarfs 116
7.1 Infiltrationsluftwechsel 116
7.2 Fensterlüftung/Fensterluftwechsel 117
7.2.1 Saisonaler Luftwechsel bei Wohnnutzung 119
7.2.2 Bedarfsgerechte Fensterlüftung bei Nichtwohnnutzungen 120
7.3 Mechanische Lüftung 120
7.4 Mindestaußenluftvolumenstrom 120

8 Wärmequellen infolge Solarstrahlung 121

9 Interne Wärme- und Kältequellen 124

10 Beispielberechnungen 124
10.1 Gebäudebeschreibung 124
10.2 Varianten 125
10.3 Ergebnisse 125

11 Bilanzkennwert zur Bewertung der energetischen Qualität transparenter Bauteile 126

Literatur 127

C 3 Nutzenergie der thermischen Luftaufbereitung – Neuausgabe der DIN/TS 18599-3 129
Heiko Schiller

1 Einleitung 131
2 Thermischer Nutzenergiebedarf von konventionellen Klimaprozessen 131
2.1 Variantenmatrix 131
2.2 Bilanzvolumenstrom für die thermische Luftaufbereitung 132
2.3 Einfluss der Zulufttemperatur auf den thermischen Energiebedarf 132
2.4 Jahresverfahren und Monatsverfahren 133
2.5 Algorithmus für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs der thermischen Luftaufbereitung 133
3 Regenerative Kühlung 136
3.1 Indirekte Verdunstungskühlung 136
3.2 Sorptionsgestützte Kühlung/DEC-Technik – Kühlung und Entfeuchtung ohne konventionelle Kältetechnik 137
4 Berechnung des Endenergiebedarfs für die Luftförderung 140
Literatur 141

C 4 Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung (DIN/TS 18599-4) 143
Jan de Boer

1 Einleitung 145
2 Grundlagen der Methodik 146
2.1 Genereller Verfahrensansatz 146
2.2 Bestimmung der Betriebszeiten 149
2.3 Bestimmung der Berechnungsbereiche 149
2.4 Allgemeine Randbedingungen 150
3 Kunstlicht 152
3.1 Wirkungsgradverfahren 152
3.2 Angepasstes Wirkungsgradverfahren 155
3.3 Tabellenverfahren 157
3.4 Erfassung im Bestand 161
3.5 Belegung: Präsenzdetektion 161
3.6 Konstantlichtkontrolle 162
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
4.3.2 Fassadenzustandsbezogene Modellierung 171
4.3.3 Korrelation des Tageslichtquotienten und der Fassadeneigenschaften mit $H_{N,rel}$ 174
4.4 Dachoberlichter 180
4.5 Monatliches Verfahren 182
4.6 Tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle 183
5 Beispielhafte Listung beleuchtungstechnischer Ausstattungen 184
6 Aufwandszahlen für Beleuchtungszwecke 184
6.1 Nutz- und Endenergie für Beleuchtung 184
6.2 Aufwandszahl 186
6.3 Beispielwerte und Darstellungsmöglichkeiten 187
6.4 Diskussion 189
7 Zusammenfassung und Ausblick 189
Literatur 190

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

1 Einführung 193
2 Funktionsweise von Wärme-Kälte-Kopplung 193
2.1 Allgemein 193
2.2 Kältemaschine mit Abwärmenutzung 193
2.3 Paralleles Heizen und Kühlen: 4-Leiter-System oder VRF 194
2.4 Wärmepumpe mit Kühlung als Wärmequelle 197
3 Physikalische Grundlage der Wärme-Kälte-Kopplung 197
3.1 Allgemeines 197
3.2 Nutzbarkeit von Wärme-Kälte-Kopplung 198
3.2.1 Ursachen für Nutzbarkeit 198
3.2.2 Zeitliche Nutzbarkeit 198
3.2.3 Thermische Nutzbarkeit 198
3.2.4 Wärmeverluste aufgrund der Verbindung des Wärme- und Kältenetzes 198
3.2.5 Wärmeverluste des Pufferspeichers 199
3.2.6 Effizienz der Pufferspeicher 199
3.3 Kältemaschine mit Abwärmenutzung 199
3.4 Paralleles Heizen und Kühlen 199
3.5 Wärmepumpe mit Raumkühlung als Wärmequelle 200

4 Umsetzung in der DIN/TS 18599 200
4.1 Bisherige Umsetzung 200
4.2 Allgemeine Änderungen in der neuen DIN/TS 18599 200
4.3 Erweiterung der Energiebilanzen 200
4.4 Nutzbarkeit der Wärme-Kälte-Kopplung 201
4.4.1 Zeitliche Nutzbarkeit $f_{\text{zeitliche Nutzbarkeit}}$ 201
4.4.2 Thermische Nutzbarkeit $f_{\text{thermische Nutzbarkeit}}$ 201
4.4.3 Wärmeverluste 202
4.4.4 Effizienz der Speicherung 203
4.5 Raumkühlung als Wärmequelle – Teil 5 203
4.5.1 Allgemein 203
4.5.2 Besonderheiten hinsichtlich Nutzbarkeit 203
4.6 Kältemaschine mit Abwärmenutzung – Teil 7 203
4.6.1 Allgemein 203
4.6.2 Besonderheiten hinsichtlich Nutzbarkeit 204
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
4.8.1 Wärmepumpen 204
4.8.2 Kältemaschinen 205
5 Berechnung energetischer Einsparpotenziale 205
5.1 Beispiel: Kältemaschine mit Abwärmenutzung im Verbrauchermarkt 205
5.1.1 Berechnungsrandbedingungen Verbrauchermarkt 205
5.1.2 Ergebnisse Verbrauchermarkt 205
5.2 Beispiel: Kältemaschine mit Abwärmenutzung im Bürogebäude 207
5.2.1 Berechnungsrandbedingungen Bürogebäude 207
5.2.2 Ergebnisse Bürogebäude 207
5.3 Beispiel: Paralleles Heizen und Kühlen im Hotel 208
5.3.1 Berechnungsrandbedingungen Hotel 208
5.3.2 Ergebnisse Hotel 209
5.4 Vergleich der Ergebnisse 210
6 Fazit 211
Literatur 212

C 6 Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten (DIN/TS 18599-10) 213
Anton Maas und Kirsten Höttges

1 Einleitung 215
2 Übersicht über Neuerungen in DIN/TS 18599-10:2025-10 215
2.1 Mindestaußenluftwechsel bei Wohngebäuden 215
2.2 Wartungswerte der Beleuchtungsstärke bei Nichtwohngebäuden 215
2.3 Wärmezufuhr aus Arbeitshilfen bei Nichtwohngebäuden 215
2.4 Richtwerte für die Gebäudeautomation bei Nichtwohngebäuden 216
2.5 Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser für Nichtwohngebäude 216
3 Nutzungsrandbedingungen für Wohngebäude 216
4 Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude 218
4.1 Nutzungs- und Betriebszeiten 222
4.2 Beleuchtung 223
4.3 Raumklima 223
4.4 Wärmequellen 224
4.5 Gebäudeautomation 225
4.6 Trinkwarmwasser 226
5 Klimarandbedingungen 228
6 Beispiel für die Erstellung eines Nutzungsprofils und vergleichende Berechnungen 228
Literatur 230

C 7 Zum Einfluss der Gebäudeautomation und der Bestimmung von Automatisierungsgraden (DIN/TS 18599-11) 233
Clemens Felsmann

1 Einleitung und historische Einordnung 235
2 Gebäudeautomationsfunktionen 236
3 Gebäudeautomationsklassen und Automatisierungsgrade 237
4 Berechnungsmethoden für Gebäudeautomation 240
4.1 Betriebsartbezogene Bewertung 240
4.2 Bewertung der Regelqualität 240
4.3 Bewertung mittels Korrekturfaktor (Aufwandszahl, Nutzungsgrad) 241
5 Gebäudemanagement 241
6 Hilfsenergieaufwand für Gebäudeautomation 243
7 Ausblick 244
Literatur 245

C 8 Wärmebrücken Berechnung – Bewertung – Vermeidung 247
Wolfgang M. Willems und Kai Schild

1 Einführung 249
1.1 Allgemeines 249
1.2 Arten von Wärmebrücken 249
1.2.1 Geometrische Wärmebrücken 249
1.2.2 Konstruktive Wärmebrücken 249
1.2.3 Mischformen 250
1.3 Wärme- und feuchtetechnische Auswirkungen 250
1.3.1 Erhöhte Wärmeverluste 250
1.3.2 Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung 250
1.3.3 Beurteilung von Wärmebrücken bei Teilsanierungen von Bestandsbauten 251
1.4 Kennwerte für Wärmebrücken 253
1.4.1 Thermischer Leitwert 253
1.4.2 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient 258
1.4.3 Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient 259
1.4.4 Raumseitige Oberflächentemperaturen 260
1.5 Bewertung von Wärmebrücken beim Nachweis nach GEG 261
1.5.1 Berücksichtigung durch pauschale Zuschläge auf den U-Wert 261
1.5.2 Berücksichtigung durch detaillierte Berechnung 263
1.5.3 Berechnung des Transmissionswärmeverlustes nach EnEV 263
1.5.4 Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2 263
1.5.5 Berechnung des U-Wertes gemäß DIN EN ISO 6946 264
1.5.6 Berücksichtigung regelmäßig wiederkehrender Wärmebrücken 264
1.5.7 Berechnung von U-Werten für Fenster/Fenstertüren 265
1.5.8 Einfluss von Wärmebrücken auf den Transmissionsverlust von Gebäuden 266
1.5.9 Arbeit mit Wärmebrückenatlanten 267

2 Randbedingungen für numerische Berechnungen 267
2.1 Gleichwertigkeitsnachweise gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 267
2.2 Allgemeine Nachweisführungen gemäß DIN EN ISO 10211 268
2.3 Auswirkung der Wahl der Randbedingungen auf die Größenordung der ψ-Werte 268
2.4 Erdberührte Bauteile 269
2.5 Transparente Bauteile 270

3 Zusammenstellung von ψ-Werten für ausgewählte Anschlussdetails verschiedener Bauweisen 270
3.1 Außengedämmte Konstruktionen 271
3.2 Monolithische Konstruktionen 272
3.3 Innengedämmte Konstruktionen 273

4 Wärmebrückenminimiertes Konstruieren 274
4.1 Einführung 274
4.2 Ausführungsbeispiele im Bestand 274
4.2.1 Sanierung durchlaufender Balkonplatten 274
4.2.2 Ausführungen bei innengedämmten Konstruktionen 275
4.3 Wärmebrückenfreie Standard-Detaillösungen 276
4.3.1 Anforderungen 276
4.3.2 Kelleraußenwand – Bodenplatte 276
4.3.3 Sockelpunkt – unbeheizter Keller 276
4.3.4 Innenwand – Decke zum unbeheizten Keller 277
4.3.5 Außenwand – Flachdach (Attika) 277

5 Einfluss punktueller Wärmebrücken 278
5.1 Beispiel: Durchdringung einer Außenwand durch einen Stahlträger 278
5.2 Beispiel: Durchdringung einer Geschossdecke gegen Außenluft durch eine Stahlbetonstütze 279
5.3 Beispiel: Sockelpunkt – monolithische Bauweise 279

Literatur 280

D Konstruktionen und Baustoffe

D 1 Energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden 281
Peter Schmidt und Saskia Windhausen

1 Einleitung 283

2 Grundlagen 283
2.1 Denkmalschutz und Anforderungen an Baudenkmäler 283
2.2 Problemstellung und Besonderheiten bei der energetischen Sanierung 284

3 Gesetze, Bauvorschriften und Regelwerke 287
3.1 Allgemeines 287
3.2 Denkmalschutzgesetze 287
3.3 Bauordnungen und Sonderbauverordnungen 289
3.3.1 Allgemeines 289
3.3.2 Landesbauordnungen 289
3.3.3 Sonderbauverordnungen 289
3.4 Gebäudeenergiegesetz 289

3.5 Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 289
3.6 Technische Baubestimmungen 289

4 Anforderungen 290
4.1 Allgemeines 290
4.2 Anforderungen des Denkmalschutzes 290
4.3 Anforderungen an die energetische Qualität von bestehenden Gebäuden 290
4.3.1 Ausnahmeklausel für Baudenkmäler 291
4.3.2 Aufrechterhaltung der energetischen Qualität 291
4.3.3 Bagatellregelung für Außenbauteile 291
4.3.4 Anforderungen an Bauteile der thermischen Gebäudehülle von bestehenden Gebäuden bei Änderungen 292
4.3.5 Anforderungen bei Erweiterung und Ausbau 296
4.3.6 Dämmung oberster Geschossdecken 297
4.3.7 Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie der Warmwasserversorgung 298
4.4 Sonstige Anforderungen 298

5 Ausgewählte Maßnahmen bei der energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden 298
5.1 Allgemeines 298
5.2 Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle 299
5.2.1 Allgemeines 299
5.2.2 Außenwände 299
5.2.3 Fenster und Türen 303
5.2.4 Dächer und Dachgauben 303
5.2.5 Oberste Geschossdecke 305

6 Fallbeispiel 305
6.1 Allgemeines 305
6.2 Energetische Sanierung der Außenwände 306
6.3 Energetische Sanierung des Daches 307

7 Zusammenfassung 310

Literatur 310

D 2 Innendämmung aus Sicht der hygrothermischen Bauteilbetrachtung 313
Hartwig M. Künzel, Martin Krus und Tobias Schöner

1 Einleitung 315

2 Vergleich Innendämmung – Außendämmung 315
2.1 Energetische Aspekte 315
2.2 Tauwasserbildung 316
2.3 Schlagregen 317

3 Normen, Richtlinien und Forschungsergebnisse zur Innendämmung 318
3.1 Hygienischer Mindestwärmeschutz 319
3.2 Klimabedingter Feuchteschutz 319
3.2.1 Nachweisfreie Konstruktionen mit Innendämmsystemen 319
3.2.2 Stationäre Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser 319
3.2.3 Schlagregenschutz 320
3.2.4 Hygrothermische Simulation 320
3.3 Weitere europäische Normen und Richtlinien zum Feuchteschutz von innen gedämmten Wänden 321
3.3.1 Europäische Norm zur hygrothermischen Simulation DIN EN 15026 321
3.3.2 WTA-Merkblätter 322
3.3.3 Verbandsrichtlinien zur Bemessung von Innendämmsystemen 324

4 Parameterbasierte Bemessung von Innendämmsystemen 324

5 Innendämmung und Schimmelpilzproblematik 330
5.1 Durchführung der Untersuchungen 331
5.2 Hinterströmung der Dämmung 331
5.3 Berechnungen zur Fehlstellenproblematik 333
5.4 Berechnungen zur Anbindung Innenwand/Innendecke 335
5.5 Einfluss auf benachbarte Wohnung ohne Innendämmung 338
5.6 Zusammenfassung Innendämmung und Schimmelpilzproblematik 338

6 Innendämmung bei denkmalgeschützten und erhaltenswerten Gebäuden 339
6.1 Entwicklung reversibler Innendämmsysteme 340
6.2 Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Innendämmsysteme und deren Bewertung im Einsatz 342
6.2.1 Bewertung der Schlagregenbelastung und Auslegung der Innendämmung 342
6.2.2 Vergleichende Darstellung der Messergebnisse 344
6.2.3 Ergänzende rechnerische Untersuchungen 345
6.2.4 Vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Innendämmsysteme 346
6.3 Energetische Sanierung mit sichtbarer Erhaltung originaler Oberflächen 349
6.3.1 Systemaufbau und Messungen 349
6.3.2 Ergebnisse 350
6.4 Anwendungsbeispiel Landesamt für Finanzen Augsburg 351
6.4.1 Hygrothermische Berechnungen der Innendämmmaßnahmen 352
6.4.2 Umsetzung der Maßnahmen 355
6.4.3 Messtechnische Untersuchungen 358

7 Schlussfolgerungen und Ausblick 359

Literatur 360

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

1 Einführung und Problemstellung 365
2 Begriffsbestimmungen 365
2.1 Der Energie-Autarkiegrad 365
2.2 Die Leistungszahl – Coefficient of Performance (COP) 365
2.3 Jahresarbeitszahl – JAZ 366
3 Bauliche Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung 366
3.1 Heizwärmeverbräuche und Jahresarbeitszahlen im Bestand 366
3.2 Ökonomische Bewertung einer Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen 367
3.3 Ökologische Bewertung einer Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen 368
3.4 Bewertung zur energetischen Effizienz der Gebäudebeheizung mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen 368
4 Praxisbeispiel eines Einfamilienhauses von 1997 – Potenziale durch Modernisierung der Anlagentechnik 369
4.1 Heizungsanlage 369
4.1.1 Energiebedarfsberechnung 369
4.1.2 Vergleich mit den realen Verbräuchen der alten Gasheizung 371
4.1.3 Betriebsdaten der Wärmepumpen – Berechnung der Jahresarbeitszahl 371
4.1.4 Auswirkungen der Umrüstung auf den Energiebedarfsausweis 373
4.2 Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung 373
4.2.1 Technische Umsetzung 373
4.2.2 Energetische Bewertung 374
4.2.3 Schallschutztechnische Bewertung 376
4.2.4 Luftqualitätsbewertung mit Indikator CO_2 376
4.3 Photovoltaik 377
4.3.1 PV-Erträge aus der Simulation 378
4.3.2 Verbrauchsprofile 379
4.3.3 Autarkiegrad und Investitionskosten 380
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

D 4 Anforderungen an Gebäude (passive Elemente) und HLK-Systeme aufgrund des Klimawandels – resiliente Gebäude 387
Wolfgang Streicher

1 Einleitung und Klimawandelprognosen 389
1.1 Aufgabenstellung der Arbeit 389
1.2 Bisher beobachteter Klimawandel weltweit, Europa und Österreich 389
1.3 Zukünftige Szenarien des Klimawandels 391
1.4 Zukünftige Anforderungen an die Gestaltung und Wärmedämmung von Gebäuden und Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK) 392
2 Methode 393
2.1 Klimadaten 393
2.2 Gewähltes Gebäude-Simulationsprogramm 394
3 Gebäude für die Berechnungen 395
3.1 Gewähltes Gebäude 395
3.2 Definition von Heizlast, Kühllast, Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, für diese Studie 396
4 Ergebnisse für Heizwärme- und Kühlbedarf 397
4.1 Ergebnisse im Jahresverlauf 397
4.1.1 Innsbruck 397
4.1.2 Rom 398
4.1.3 Stockholm 399
4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse 400
5 Sensitivitäten für verschiedene passive Maßnahmen 401
5.1 Wärmedämmung 401
5.1.1 Wände 401
5.1.2 Dach 402
5.2 Art, Größe und Ausrichtung der Fenster 402
5.2.1 Art der Fenster 402
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
5.5 Thermische Speichermassen 411

5.5.1 Beschreibung und bauliche Voraussetzung 411
5.5.2 Sensitivitätsanalyse für Heiz- und Kühlbedarf 412
5.6 Effekte von gekoppelten Maßnahmen 413
5.6.1 Klima Innsbruck +4°C 413
5.6.2 Klima Rom +4°C 414
5.6.3 Klima Stockholm +4°C 414

6 Anforderungen an zukünftige Heizungs- und Kühlsysteme 415
6.1 Generelle Anforderungen 415
6.1.1 Klima Innsbruck 415
6.1.2 Klima Rom 415
6.1.3 Klima Stockholm 415
6.2 Wärmepumpen 416
6.3 Abgabesysteme 416
6.4 Hydraulische Einbindung und Regelung (Wärmepumpen) 418
6.5 Anforderungen an Bauordnungen aufgrund des Klimawandels 422

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 422

Literatur 422

D 5 Wechselwirkung zwischen den Ergebnissen der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) und der Lebenszyklusanalyse (LCA) 425
Cedric Muth, Martin Schäfers und Zakaria Istanbuly

1 Einleitung 427

2 Vorstellung der Gebäude 427
2.1 Massivbauweise mit Kalksandstein 428
2.1.1 Mehrfamilienhaus mit Flachdach 428
2.1.2 Mehrfamilienhaus mit Satteldach 429
2.1.3 Doppelhaus mit Flachdach 429
2.1.4 Doppelhaus mit Satteldach 429
2.2 Holzbauweise mit Strohdämmung 430
2.2.1 Doppelhaus mit Satteldach – Stroh 433

3 Untersuchungen 435

4 Auswertung 435
4.1 Vergleich zwischen den Ergebnissen der LCC und LCA 435
4.1.1 Kosten 436
4.1.2 Umweltauswirkungen 437
4.2 Betrachtung der Bauteile 439
4.2.1 Kosten 439
4.2.2 Umweltauswirkungen 441
4.3 Wechselwirkung zwischen Ökologie und Ökonomie 442

5 Fazit 443

Literatur 443

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

1 Einleitung 447

2 Methodik 447
2.1 Hardware 447
2.2 Feldstudie 449

3 Ergebnisse 451
3.1 Hardware und Simulation 452
3.2 Feldstudie Bewertung der GUI 453
3.2.1 Vergleich Behaglichkeitsindizes und subjektive Bewertungen 454
3.2.2 Auswirkung auf das Lüftungsverhalten 454

4 Diskussion 456
4.1 Hardware 456
4.2 Feldstudie 457

5 Fazit 458

Danksagung 458

Literatur 458

E Materialtechnische Tabellen

E 1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 461
Nina Schjerve

1 Einleitung 463
1.1 Relevanz von Materialdaten 463
1.2 Prüfverfahren ausgewählter Materialdaten 463
1.3 Einheiten und Einheiten-Konvertierung 464

2 Stoffdaten 464
2.1 Zündtemperaturen und Entzündungskriterien 464
2.2 Abbrand 469
2.3 Brandausbreitung 471
2.4 Heizwerte 472

2.5 Lagerungsdichte und *m*-Faktoren 479
2.6 Luftbedarf 482
2.7 Verbrennungseffektivität und Verbrennungsanteile 483
2.8 Zusätzliche Stoffdaten für Kunststoffe 487
2.9 Flächenbezogene Brandleistung und Brandentwicklung 490

Literatur 496

E 2 Materialtechnische Tabellen 499
Rainer Hohmann

1 Vorbemerkungen 501

2 Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte 503

3 Schallschutztechnische und akustische Kennwerte 541

Literatur 553

Stichwortverzeichnis 555

zienz. Ob dieser Zusammenhang besteht und in welcher Quantität, ist letztlich jedoch durch ein Rechenverfahren zu ermitteln. Eine „Überautomatisierung“ muss nicht zwangsläufig zu immer besseren Effizienzwerten und geringeren Energieverbräuchen von Gebäuden führen. Negative Beispiele hierfür sind insbesondere aus der Beleuchtungssteuerung bekannt, wo insbesondere das manuelle Einschalten von Beleuchtungssystemen energetisch vorteilhafter sein kann als das automatische Einschalten mittels Bewegungsmelder oder Anwesenheitssensoren.

4 Berechnungsmethoden für Gebäudeautomation

DIN/TS 18599-11 beschreibt im Anhang E informativ einige allgemeine mathematisch fassbare Bewertungsgrundsätze für Steuer-, Regel- und Automationsfunktionen. Hierbei wird unterschieden in direkte und indirekte Verfahren. Zu den direkten Verfahren gehören die dynamische Gebäude- und Anlagensimulation, in deren Kontext die Wirkmechanismen von Steuerungs-, Regelungs- und Automationsfunktionen unter Anwendung physikalisch-technischer Grundgleichungen abgebildet und die Wirkung auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden quantifiziert werden kann. Auch wenn die in der DIN/TS 18599 beschriebenen Berechnungen heutzutage nicht im eigentlichen Sinn eines Handrechenverfahrens manuell erfolgen, sondern faktisch nur mittels entsprechender Software umgesetzt werden können, fällt es nicht in die Kategorie der Simulationsverfahren. Im Berechnungsverfahren der Reihe DIN/TS 18599 wird dieser Berechnungsansatz trotzdem verwendet, wenn nämlich im Teil 2 der Normenreihe die Einflüsse des Gebäudemanagements auf die Bilanzinnenraumtemperatur bei intermittierender Betriebsweise gebäudetechnischer Anlagen berechnet werden.
Die indirekte Bewertung erfolgt mithilfe von Kennwerten, die beispielsweise als Faktoren, Parameter oder Wirkungsgrade bezeichnet werden und welche dazu geeignet sind, die Auswirkungen bestimmter steuerungs- und regelungstechnischer Einflussgrößen auf den Energiebedarf näherungsweise aber prinzipiell korrekt nachbilden. Die Kennwerte werden in der Regel aus den Ergebnissen detaillierter Simulationsrechnungen abgeleitet, die im Vorfeld unter Abdeckung eines sehr großen Lösungsraumes durchgeführt worden sind. Dieser indirekte Ansatz kommt in den einzelnen Teilen der Normenreihe DIN/TS 18599 zur Anwendung, um den Einfluss von Gebäudeautomation auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäude zu berechnen. Es werden drei verschiedene Bewertungsansätze unterschieden:

4.1 Betriebsartbezogene Bewertung

In Abhängigkeit vorgegebener Zeit- und Nutzungsprofile wird der Betriebszustand einer gebäudetechnischen Anlage einer bestimmten Betriebsart (z. B. AN, AUS, abgesenkt, eingeschränkt, Min/Max Betrieb) zugeordnet. Die Gebäudeautomation hat die Aufgabe, die zugehörigen Anlagen- und Gebäudeteile in den gewünschten Betriebszustand zu versetzen. Der Berechnungsansatz besteht darin, die Energiebedarfswerte für jede Betriebsart zu berechnen.
Der Energiebedarf für eine bestimmte, den unterschiedlichen Zeit- und Nutzungsabschnitten zugeordnete Betriebsart ergibt sich nach der Gleichung:

$$Q = P \cdot \Delta t \cdot f_c$$

Dabei ist

- Q Energiebedarf für den jeweiligen Zeit- oder Nutzungsabschnitt
- P Referenzleistung (elektrisch oder thermisch) der technischen Anlage
- Δt nutzungsbedingte Zeitdauer der jeweiligen Betriebsart
- f_c Faktor, der die Auswirkungen der Steuer- und Regeleinrichtung darstellt; er wird im Allgemeinen durch Messung oder Simulation der Regeleinrichtung für eine bestimmte Betriebsart unter Beachtung der Nutzungsrandbedingungen bestimmt

Der Gesamtenergiebedarf ergibt sich durch Addition der den einzelnen Betriebsarten zugeordneten Energiebedarfswerten. Die in der Realität beim Umschalten zwischen den Betriebsarten auftretenden instationären Übergangsvorgänge bleiben bei diesem Verfahren unberücksichtigt.

4.2 Bewertung der Regelqualität

Dieser Ansatz ist geeignet, um die energetischen Auswirkungen der mit einer Steuer- und Regeleinrichtung verbundenen Regelqualität (z. B. hinsichtlich der Solltemperaturabweichungen bei der Temperaturregelung) zu erfassen, was am Beispiel einer Heizungsanlage gezeigt wird. Die Raumtemperaturkorrektur berücksichtigt sämtliche Regeleinflüsse beim Heizen und Kühlen einschließlich der intermittierenden Betriebsweise.
Die Berechnung des Energiebedarfs erfolgt unter Anwendung, z. B. einer stationären Gleichung:

$$Q = L\,[(\vartheta_{sp} + \Delta\vartheta_c) - \vartheta_r]\,\Delta t$$

Dabei ist

- Q Energiebedarf während des jeweiligen Zeitabschnitts
- L übertragungs- oder temperaturdifferenzbezogener Wärmeverlustkoeffizient, der die Charakteristik der geregelten Anlage oder des geregelten Gebäudes erfasst
- ϑ_{sp} Sollwert, der durch die Regeleinrichtung aufrechterhalten werden muss; er kann, je nach Art der Regeleinrichtung, konstant sein oder in Abhängigkeit von anderen Größen wie z. B. der Uhrzeit oder der Außentemperatur variieren

$\Delta\vartheta_c$ Regelabweichung als Maß für die Regelqualität; die Regelqualität wird durch das Zusammenwirken der Regeleinrichtung mit der zu regelnden Anlage beeinflusst; bei einer ideal arbeitenden Regeleinrichtung geht die Regelabweichung gegen 0, d. h. es erfolgt eine bedarfsgemäße Versorgung; beim Heizbetrieb sind die Abweichungen positiv und beim Kühlbetrieb negativ, um jederzeit eine den Komfortanforderungen gerechte Versorgung sichern zu können; $\Delta\vartheta_c$ kann durch eine Produktnorm oder eine Produktzertifizierung definiert werden, vorausgesetzt, die Produktnorm berücksichtigt nicht nur die Regeleinrichtung, sondern auch die geregelte Anlage; ein Verfahren zur Bestimmung der Regelgenauigkeit von Raum und Zonencontrollern ist beispielsweise in DIN EN 15500-1 beschrieben; $\vartheta_{sp} + \Delta\vartheta_c$ wird als äquivalenter Temperatursollwert bezeichnet

ϑ_r Bezugstemperatur, z. B. die Außentemperatur; ϑ_r ermöglicht die Berücksichtigung der Randbedingungen, beispielsweise des Klimas

Δt Dauer des jeweiligen Zeitabschnitts

4.3 Bewertung mittels Korrekturfaktor (Aufwandszahl, Nutzungsgrad)

Dieser Ansatz wird üblicherweise gewählt, wenn die Auswirkungen der Steuer- und Regeleinrichtung auf den Energiebedarf sehr komplex sind, beispielsweise durch kombinierte Auswirkung auf Zeitdauer, Temperaturen, Masseströme usw. Die Berechnung des Energiebedarfs erfolgt dann beispielsweise unter Anwendung der Gleichung:

$$Q = Q_{ref} \cdot f_c$$

Dabei ist

Q resultierender Energiebedarf

Q_{ref} Energiebedarf für einen beliebigen Referenzfall

f_c Einflussfaktor, der die Erhöhung oder Reduzierung des Energiebedarfs im Vergleich zum Referenz-Energiebedarf darstellt. Die Werte sind von der Art der Regelung abhängig, variieren jedoch auch mit Gebäudetyp, Anlagentyp, Nutzerprofil, Witterung usw. Der Einfluss dieser Parameter auf f_c ist aus Tabellen zu entnehmen oder mithilfe von Gleichungen zu bestimmen und muss durch zuvor durchgeführte Simulationen ermittelt werden.

Es sei abschließend darauf hingewiesen, dass in DIN/TS 18599 an keiner Stelle eine pauschale Auf- oder Abwertung von Gebäudeenergiebedarfen, insbesondere des End- oder Primärenergiebedarfes erfolgt, wie es der Ansatz mittels eines Korrekturfaktors Außenstehenden möglicherweise nahelegt.

5 Gebäudemanagement

Das Gebäudemanagement beschreibt im Allgemeinen gewerkeübergreifende, das Gebäude und seine technischen Anlagen in seiner Gesamtheit in den Blick nehmenden Aktivitäten und Maßnahmen, die einer übergeordneten Strategie wahlweise zur Minimierung des Energieverbrauchs, der Maximierung des Nutzerkomforts, der Minimierung der Betriebs- und Verbrauchskosten oder auch beispielsweise der Senkung der mit dem Gebäudebetrieb verbundenen Treibhausgasemissionen unterworfen sind. Es wäre wünschenswert, ließen sich diese Aktivitäten, vor allem, wenn sie durch eine Steuer- oder Regelungslogik beschrieben werden können, ohne Zutun von Nutzer, Betreiber oder weiteren interessierten Personengruppen automatisieren. Aktivitäten aus dem Bereich des Gebäudemanagements, die sich vornehmlich der Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes widmen, sind dem Gebäude-Energiemanagement zuzuordnen und werden mithilfe von zugeordneten Energiemanagementsystemen (EMS) praktisch umgesetzt. Dazu gehören u. a. die Anpassung von Betriebszeiten technischer Anlagen an die Nutzungszeiten des Gebäudes (wie in Bild 3 angedeutet) oder die Adaption, Justierung und Rücksetzung von Raumtemperatursollwerten (wie in Bild 4 angedeutet).

In DIN/TS 18599-11 sind folgende Managementfunktionen definiert:

– Sollwertsteuerung und Anpassung an Nutzeranforderungen:
  Hier steht vor allem die Frage, ob möglich ist, die aus den Nutzeranforderungen resultierenden Sollwertvorgaben einfach auf die zugehörigen Nutzungsbereiche zu übertragen und dies ggf. mit einer Sollwertoptimierung zu verbinden, oder ob hier großer manueller Aufwand erforderliche wäre, was die praktische Umsetzung erschwert, sodass Teile des Gebäudes und seiner technischen Systeme mit nicht passenden Sollwertvorgaben betrieben werden.
  Übergeordnete Sollwertanpassungen der Bilanzinnentemperaturen werden bei der Berechnung der Heizenergiebedarfe vorgenommen. Hier wird die Bilanzinnentemperatur unter Zuhilfenahme eines Summanden $\Delta\theta_{EMS}$ und eines Faktors f_{adapt} angepasst, wobei die Bilanzinnentemperatur mindestens den Wert

$$\theta_{i,h} \geq \theta_{i,h,soll} + \Delta\theta_{EMS} - f_{NA}(\theta_{i,h,soll} - \theta_e)$$

einnimmt.

Hierbei sind

$\theta_{i,h}$ Bilanz-Raumlufttemperatur für den Heizbetrieb

$\theta_{i,h,soll}$ Raumluft-Solltemperatur für den Heizbetrieb

θ_e Außenlufttemperatur für den Heizbetrieb

f_{NA} Korrekturfaktor für eingeschränkten Heizbetrieb während der Nacht

Die beiden Größen

f_{adapt} Faktor für adaptive Temperaturführung (Gebäudeautomation)

$\Delta\theta_{EMS}$ Summand zur Berücksichtigung der Gebäudeautomation in K

können den Nutzungsrandbedingungen in Teil 10 der Normenreihe entnommen werden. Dort sind, wie bei-

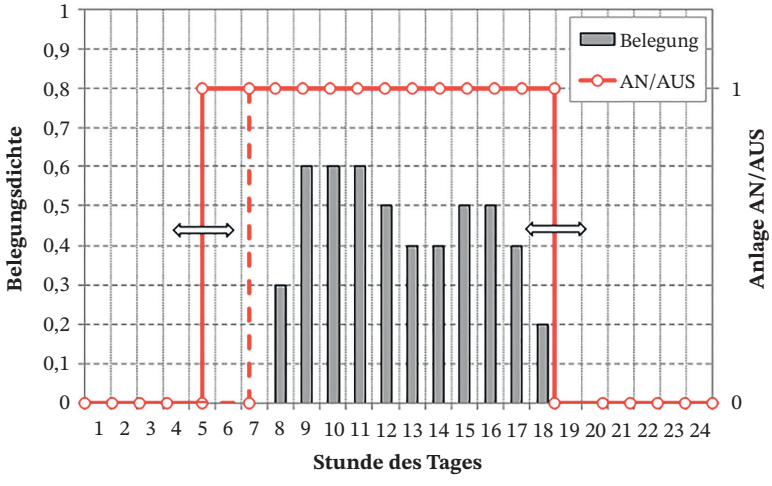


Bild 3. Nutzungsprofil Büro aus Raum-Belegungsprofil (relative Personenbelegung je Stunde des Tages) und zugehöriges Anlagenbetriebsprofil mit Anpassung der Ein- und Ausschaltzeiten

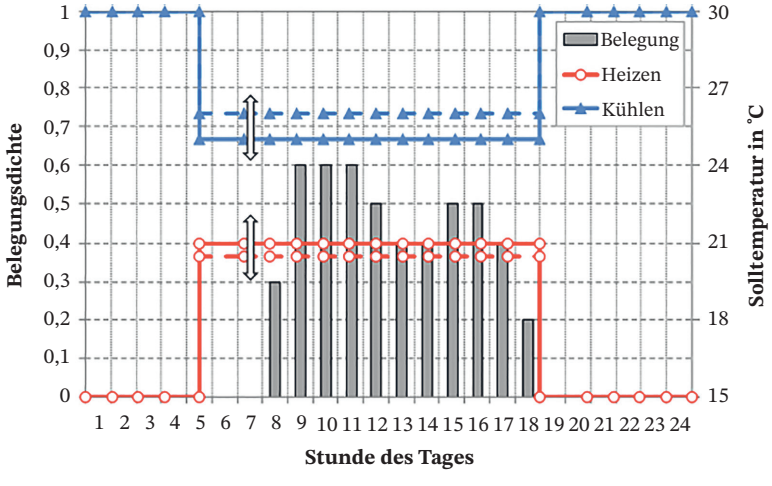


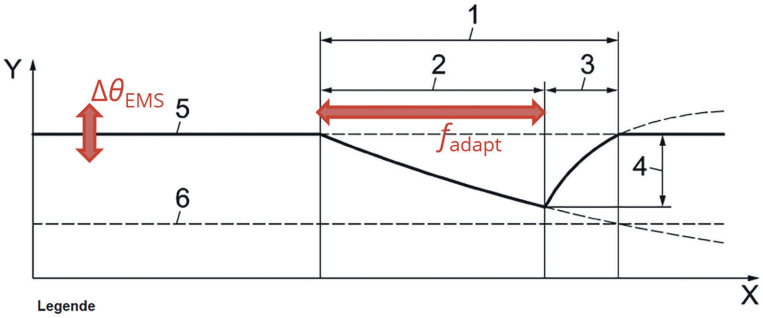
Bild 4. Nutzungsprofil Büro aus Raum-Belegungsprofil und Anpassung der Raum-Temperatursollwerte während der Betriebszeit der Anlagen

spielhaft in Tabelle 3 gezeigt, die Werte in Abhängigkeit des erreichten Automationsgrades abzulesen.
Negative Werte für $\Delta\theta_{EMS}$ führen gemäß der vorher angegebenen Gleichung zu geringeren Bilanz-Innenraumtemperaturen und damit erwartungsgemäß auch zu geringen Heizenergiebedarfen. Der Faktor f_{adapt} wirkt direkt auf den Korrekturfaktor f_{NA}, der die Dauer der Nachtabsenkung durch Adaption des Anheizbeginns variiert. Größere Werte für f_{adapt} bedeuten eine längere Nachtabsenkung und eine im Mittel entsprechend geringere Bilanz-Innenraumtemperatur.
Wie aus Tabelle 3 zu erkennen, ergeben sich mit dem Summanden $\Delta\theta_{EMS} = 0$ und $f_{adapt} = 1$ für den Automationsgrad C keine Veränderungen bei der Berechnung der Bilanz-Innenraumtemperaturen. Dies entspricht der Definition des Automationsgrades C als Referenzausstattung. Nur Abweichungen in Richtung des geringeren Automationsgrades D oder eines der beiden

Tabelle 3. Auszug aus den Nutzerprofilen in DIN/TS 18599-10 hier am Beispiel der Nutzungsgruppe Nr. 8 (Klassenzimmer)

– Klassenzimmer (Schule)[a], Gruppenraum (Kindergarten)					Nr. 8
Automationsgrad		D	C	B	A
Summand Automation $\Delta\theta_{EMS}$	K	2	0	–1,2	–2
Faktor für adaptive Temperaturführung f_{adapt}	–	0,5	1	1,35	1,35

höheren Automationsgrade B oder A zeigen Auswirkungen im Berechnungsgang. Zur Veranschaulichung dient Bild 5, in der ein Raumtemperaturverlauf bei intermittierender Betriebsweise der Heizungsanlage dargestellt ist. Die grundsätzlichen Wirkungen der beiden



Legende

1 Dauer der Nichtnutzung (t_{du})
2 Absenkungsperiode ()
3 Aufheizperiode ()
4 Temperaturabfall
5 Zieltemperatur
6 Stütztemperatur
X Zeit
Y Innentemperatur

Bild 5. Raumtemperaturprofil bei Intermittierendem Heizbetrieb (Quelle: DIN EN 12831)

Parameter für das Energiemanagementsystem sind an den entsprechenden Stellen angedeutet.

– Betriebsstundenverwaltung:
  Die Möglichkeiten einer automatisierten und optimierten Anpassung der Betriebszeiten der technischen Anlagen an die tatsächlichen Nutzungszeiten des Gebäudes werden bewertet. Dabei führen lediglich manuelle Anpassungen zu einer schlechteren Einordnung, die adaptive Berücksichtigung von Vorkonditionierungsphasen und zentrale Vorgabe von Laufzeiten der Anlagen zu höheren Einordnungen des Gebäudemanagementsystems [6, 7].
– Erkennung von Störungen an gebäudetechnischen Anlagen und Unterstützung bei der Diagnose dieser Störungen:
  Ist ein Gebäudeautomationssystem in der Lage, Störungen im Anlagenbetrieb zu erkennen und diese möglicherweise sogar noch mittels geeigneter Diagnosefunktionen einer Ursache zuzuordnen, ergeben sich höhere Automationsgrade.
– Melden von Informationen hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Bedingungen im Innenraumbereich:
  Diese Gebäudemanagementfunktion ist dem Monitoring zuzuordnen und steht in Verbindung zu den Anforderungen aus § 71a GEG zu einer Ausstattung mit digitaler Energieüberwachungstechnik. Auch wenn das GEG die Forderungen zunächst auf bestimmte Nichtwohngebäude beschränkt, führt die Umsetzung von Managementfunktionen, die es erlauben Energieverbräuche und die Qualität der Innenluftzustände zu analysieren und zu bewerten, anstatt lediglich Sensorwerte anzuzeigen, zu einer Einordnung in einen höheren Automationsgrad.
– Lokale Energieerzeugung und erneuerbare Energien:
  Diese Managementfunktion beschreibt die zielgerichtete Koordination der lokalen Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit den Aspekten Eigenenergieverbrauch und netzdienlichem Gebäudebetrieb. Als Alternative zu Eigenstromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen sind hier auch KWK-Anlagen als technische Option aufgeführt.
– Abwärme-Rückgewinnung und Wärmeumverteilung:
  Diese Funktion greift unterschiedliche Formen der Abwärmenutzung in einem Gebäude auf, wobei in der aktuellen Fassung der Norm die gesteuerte Nutzung von Abwärme oder die Wärmeumverteilung (einschließlich des Wärmespeichermanagements) zum höchsten Automationsgrad führt.

Es ist klar, dass viele der hier aufgeführten Gebäudemanagementfunktionen aus praktischer Sicht sinnvoll und nützlich sind, sich aber teilweise einer Bewertung im Rahmen des GEG-Nachweisverfahrens der DIN/TS 18599 entziehen, da in diesem Verfahren ein fehler- und störungsfreier Anlagenbetrieb sowie eine bedarfsgerechte Versorgung des Gebäudes unterstellt werden.

6 Hilfsenergieaufwand für Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomationssysteme benötigen in dem meisten Fällen selbst Hilfsenergie, zum Beispiel für den Antrieb von Stellmotoren, für die Kommunikation und den Datentransfer in den Automationsnetzwerken, für den Betrieb der Automationsstationen und Leitrechner sowie die Datenverarbeitung inklusive Visualisierung und Optimierung. Hilfsenergie kann über einen Anschluss an das elektrische Netz oder durch Batteriespeicher bereitgestellt werden. Es sind auch Installationen ohne Hilfsenergie möglich, wie z. B. klassische Thermostatregelventile zur Raumtemperaturregelung an Heizflächen.

In DIN/TS 18599 werden Hinweise zur Bestimmung des notwendigen Hilfsenergieaufwands gegeben. Tabelle 4 enthält Angaben zum elektrischen Aufwand, bezogen auf konkrete technische Komponenten, während Tabelle 5 flächenbezogene Pauschalwerte für dezentrale oder zentrale Automatisierung bereitstellt.

Da die dezentralen Komponenten bei einer busbasierten Installation flächenbezogen mehr Elektronik besitzen, ist davon auszugehen, dass bei der Verwendung

Tabelle 4. Standardwerte für Einrichtungen der Gebäudeautomation

Funktion	Gerät	Hilfsenergieaufwand		
		W_{aut} in kWh/a		
		effizient	Standardwert	weniger effizient
PC-Arbeitsplatz Gebäudeautomation	PC mit 19-Zoll-Monitor	100	140	180
Datenausgabe	Farb-Laserdrucker	80	100	120
Dezentrale Automationsstation	50 Ein- und Ausgänge	150	175	200
Raumcontroller	Mess-, Anzeige- und Bediengerät	20	25	30

Tabelle 5. Standardwerte für Hilfsenergie für die Realisierung von Funktionen der Gebäudeautomation

	Dezentrale Automatisierung	Zentrale Automatisierung
Hilfsenergie für die Realisierung von Funktionen der Gebäudeautomation	0,13 kWh/m² a	0,11 kWh/m² a

von zentralen Automationsstationen ein geringerer Aufwand für Hilfsenergie erforderlich ist.

7 Ausblick

Ein hohes Maß an Energieeffizienz in Gebäuden lässt sich sicher nur erreichen, wenn die zur Erfüllung der Nutzeranforderungen notwendigen Energieströme bedarfsgerecht, mit möglichst geringen Umwandlungsverlusten und minimal notwendigen Hilfsenergieaufwendungen bereitgestellt werden. Dazu sind geeignete Regel-, Steuer- und Automationssysteme zu installieren, die in angemessener Weise auf die technische Gebäudeausrüstung abgestimmt sind und von den Nutzern und Betreibern der Gebäude an den dafür vorgesehenen Schnittstellen bedient werden. Gebäudeautomations- und Managementsysteme sind in der Lage, *„…den Energieverbrauch kontinuierlich zu überwachen, zu protokollieren, zu analysieren und dessen Anpassung zu ermöglichen; […] Benchmarks in Bezug auf die Energieeffizienz des Gebäudes aufzustellen, Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen zu erkennen und die für die Einrichtungen oder das gebäudetechnische Management zuständige Person über mögliche Verbesserungen der Energieeffizienz zu informieren; […] die Kommunikation zwischen miteinander verbundenen gebäudetechnischen Systemen und anderen Anwendungen innerhalb des Gebäudes zu ermöglichen und gemeinsam mit anderen Typen gebäudetechnischer Systeme betrieben zu werden, auch bei unterschiedlichen herstellereigenen Technologien, Geräten und Herstellern; […] die Raumklimaqualität zu überwachen.“* [3] und damit nicht nur die diesbezüglichen aktuellen formalen Anforderungen an energieeffiziente Gebäude zu erfüllen. Das in DIN/TS 18599-11 beschriebene Verfahren zur Bestimmung von Automationsgraden sollte helfen, Gewissheit über Qualität und Leistungsfähigkeit der in einem Gebäude vorhandenen oder zukünftig vorgesehenen automationstechnischen Systeme zu erlangen und sich als Nutzer, Bauherr, Betreiber oder Investor mit der bedeutenden Rolle der Regel-, Steuer- und Automationsfunktionen zu beschäftigen.

Es bestehen hinsichtlich des Bewertungsverfahren für die Gebäudeautomation in DIN/TS 18599 aber auch einige Herausforderungen. So sind die Wirkungen auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden derzeit nicht für alle in der benannten Übersichtsliste der Automationsfunktionen enthaltenen Funktionsarten mit dem detaillierten Rechenverfahren der DIN/TS 18599-Normenreihe berechenbar bzw. bieten die Funktionsbeschreibungen Spielraum für Interpretationen hinsichtlich der konkreten technischen Umsetzung, sodass zwar ein Automationsgrad, nicht aber in jedem Fall ein Energiebedarf für das Gebäude eindeutig bestimmt werden kann. Hier sind zukünftig Anpassungen erforderlich, die idealerweise auch die in den europäischen und internationalen Normen DIN EN ISO 52120 und DIN EN ISO 52127 beschriebenen Automationsfunktionen angemessen berücksichtigen. Außerdem ist die Methodik zur Bestimmung des Automatisierungsgrades von Gebäuden in den marktverfügbaren Softwaretools zu verankern, sodass am Ende der Bedarfsberechnungen nicht nur Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe, sondern auch der Automationsgrad des Gebäudes sowie der einzelnen Gewerke ausgewiesen werden. Umgekehrt könnten bei Vorgabe eines gewünschten Automationsgrades die dafür notwendigen Automationsfunktionen vordefiniert und dem Energieberater als Vorschlag unterbreitet werden.

Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass das GEG in der aktuellen Fassung die Version DIN V 18599-11 (2018) in Bezug nimmt. Die dort hinterlegte Methodenbeschreibung reicht allein nicht aus, den Automationsgrad eines Gebäudes oder eines Gewerkes sicher zu bestimmen. Die in dem vorliegenden Beitrag gelieferten Ausführungen sind der Neufassung der DIN/TS 18599-11 [8] entlehnt und können bei der GEG-konformen Nachweisführung vielleicht nützlich sein.

3 Gebäude für die Berechnungen

3.1 Gewähltes Gebäude

Das in dieser Studie verwendete Wohngebäude wurde in [18] detailliert als SFH45 (Einfamilienhaus mit ca. 45 kWh/m²a Heizwärmebedarf für ein aktuelles Klima (2017) in Innsbruck) definiert und wird in wissenschaftlichen Fallstudien häufig verwendet. Es handelt sich um ein zweigeschossiges nach Süden ausgerichtetes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Dachboden und ca. 140 m² Nettofläche (10,856 m Bruttolänge, 7,856 m Bruttobreite und 6,445 m Bruttohöhe der beiden beheizten Stockwerke) mit etwa aktuellen deutschen und österreichischen Dämmstandards im SFH45 Gebäude (*U*-Werte: Außenwand 0,29 W/m²K, Dachdecke 0,20 W/m²K, Erdgeschoss 0,17 W/m²K, Fenster 1,1 W/m²K und *g*-Wert von 0,62) und einer Luftwechselrate von 0,4 h^{-1} bezogen auf das Nettovolumen.

Im Folgenden werden alle relativen Energieverbräuche auf die Nettofläche von 140 m² bezogen. Diese Ergebnisse müssen daher für einen Vergleich mit dem Energieausweis von Netto- auf Bruttogeschossfläche (BRG) umgerechnet werden. Bild 9 zeigt eine schematische Zeichnung des Gebäudes. Im Bild 9b ist die Darstellung aus Rhino [15] gewählt, inklusive des Dachüberstandes.

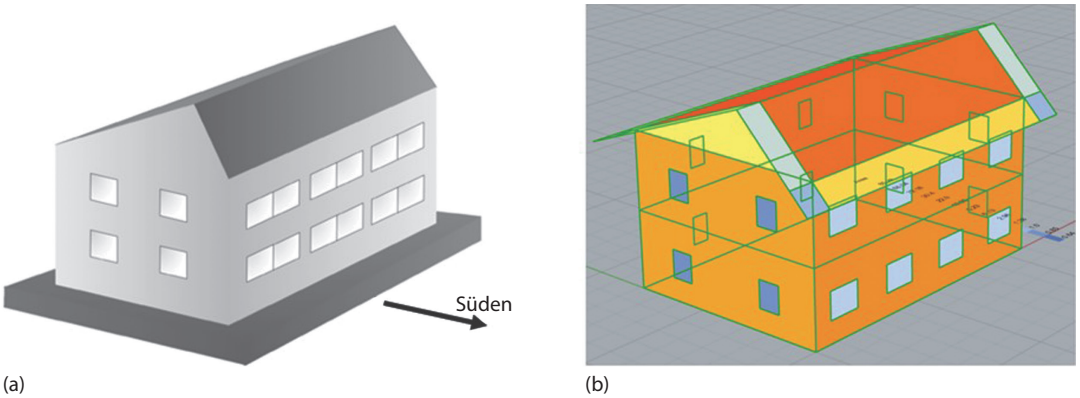
Die Solltemperatur für die Raumheizung betrug 21 °C und für die Kühlung 26 °C.

Alle Fenster in den Gebäuden sind mit Jalousien (Transmissionsgrad 25 %) ausgestattet, die aktiviert werden, wenn die Innenraumtemperatur höher als 22,8 °C ist.

Ein freier Nachtlüftungsmodus zur passiven Kühlung, der durch gekippte Fenster realisiert wird, wird für alle Gebäude aktiviert, wenn alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

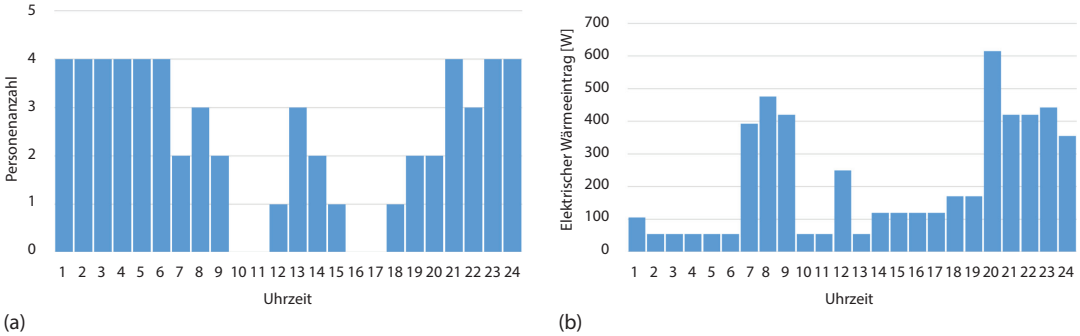
- Zeit zwischen 21.00 und 8.00 Uhr,
- Umgebungstemperatur über 12 °C,
- Raumtemperatur über 24 °C,
- die tatsächliche Umgebungstemperatur mindestens 2 K unter der tatsächlichen Raumtemperatur ist.

Es wurden Zeitpläne für die Belegung und die elektrischen Gewinne festgelegt. Beispielhaft werden die internen Gewinne durch Personenbelegung und elektrische Geräte über den Tagesverlauf in Bild 10 gezeigt. Der Wärmeeintrag durch Personen wird in konvektive



(a) (b)

Bild 9. Vereinfachte Darstellung des in dieser Studie verwendeten Wohngebäudes (a) [18], Repräsentation in Rhino (b)



(a) (b)

Bild 10. In der Simulation verwendete Tagesverläufe der Personenanwesenheiten (a) und des Strombedarfs (und damit Wärmeeintrages) von Haushaltsgeräten (b) [18]

(20 W) und radiative (40 W) Gewinne pro Person unterteilt. Die latente Wärme von 40 W wird direkt von der Luftfeuchtigkeit mit einem Massenstrom von 0,059 kg/h erfasst. Das Belegungsprofil des Hauses wird durch einen Faktor beschrieben, der sich jede Stunde ändert. Dies entspricht Jahreswerten von 3,7 kWh/m²a konvektiven Gewinnen, 7,4 kWh/m²a Strahlungsgewinnen und 1552 kWh/a Gesamtwärmeeintrag. Der Strombedarf für Haushaltsgeräte wird mit einer Morgen- und einer Abendspitze mit etwas Strombedarf fürs Mittagessen angenommen. Über das Jahr ergeben sich 2291 kWh/a Wärmeintrag. Die Profile sind für jeden Tag identisch.

Um eine Bandbreite von Gebäude darzustellen, wurde das Gebäude mit zwei weiteren Dämmstandards ausgeführt. Zum einen wurde über die Verringerung der U-Werte und der Einführung einer Lüftungswärmerückgewinnung ein Passivhaus (SFH15) modelliert. Zum anderen wurde durch Vergrößerung der U-Werte ein altes Gebäude dargestellt (SFH100). Tabelle 3 zeigt die variierten und einige fixe Kennwerte der Gebäudetypen, die dann für alle betrachteten Standorte gleich gehalten wurden. Für das Innsbruck-Klima ergeben sich Heizwärmebedarfe (Nutzenergien) für das heutige Klima Innsbruck von ca. 15, 45 und 100 kWh/m² Jahr bezogen auf die Nettofläche. Die Gebäudegeometrie, bezogen auf Nettoflächen und Innenvolumina, ist jeweils ident.

Die Luftwechselrate wurde etwas zu hoch angenommen. Damit liegen die Ergebnisse im Heizwärmebedarf eher höher als bei richtiger Lüftungsrate bzw. die Dämmung könnte etwas reduziert werden, um den gleichen Heizwärmebedarf zu erzielen. In Punkto der in der Folge gezeigten Trends und Sensitivitäten ergeben sich aber bei einer solchen Änderung keine signifikanten Abweichungen. In Abschnitt 5.6 wird dieser Einfluss dargestellt.

Natürlich könnten auch noch andere Gebäudetypen wie z. B. große Mehrfamilienhäuser, Büros oder Hotels betrachtet werden. Die Variabilität aufgrund von thermischer Qualität, Standort, Klimawandel würden sich aber ähnlich verhalten. Absolut gesehen, würde sich aufgrund der größeren Kompaktheit und der höheren inneren Wärmen der Heizwärmebedarf bei größeren Gebäuden weiter verringern, jedoch der Kühlbedarf etwas ansteigen. In Österreich gelten jedoch für den Kühlbedarf praktisch die gleich strengen Regeln wie im Einfamilienhaus auch für das Mehrfamilienhaus (sommerlicher Überwärmeschutz) und der Nichtwohngebäude (maximal erlaubter Kühlbedarf im Neubau 1 kWh/m³K) [7].

Tabelle 3. Kennwerte für die verschiedenen Gebäudetypen SFH15, SFH45 und SFH100

	SFH15	SFH45	SFH100	
HWB, Nettofläche	15,5	45,7	97,7	kWh/m²a
Bodenplatte XPS	0,2	0,165	0,02	m
Bodenplatte U-Wert	0,15	0,17	0,51	W/m²K
Dach Mineralwolle	0,25	0,155	0,05	m
Dach U-Wert	0,13	0,20	0,49	W/m²K
Außenwand EPS	0,25	0,11	0,03	m
Außenwand U-Wert	0,14	0,29	0,77	W/m²K
Innendecke/ Boden (auch zu Dachboden)	0,70	0,70	0,70	W/m²K
Fenster U-Wert	0,8	1,5	2,5	W/m²K
Fenster g-Wert	0,45	0,62	0,70	–
Luftwechselrate 0,326 Bruttovolumen	0,4	0,4	0,4	1/h (Nettovolumen)
Lüftung Wärmerückgewinnung	60 %	Keine	Keine	–
Infiltration	0,00004	0,00004	0,00004	m³/s per m² Fassade

3.2 Definition von Heizlast, Kühllast, Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, für diese Studie

Bild 11 zeigt die berechneten stündlichen Heizlasten für die zwei verwendeten SFH15 und SFH100 für das Klima Innsbruck sowie die daraus abgeleiteten abgeschätzten Heizlasten nach der Berechnungsmethode von [19] (derzeit zurückgezogen und in Überarbeitung). Nach dieser Norm werden nur Transmissions- und Lüftungsverluste aber keine inneren und äußeren Wärmegewinne berücksichtigt. Das Normaußenklima für die Heizlastberechnung für Innsbruck beträgt 2020 –10,8 °C [20]. Die Verluste werden durch die schräge blaue Linie als obere Hülllinie der tatsächlichen stündlichen Heizlasten mit allen Wärmeverlusten und Gewinnen dargestellt. Sie sind linear mit der Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur.

$$\dot{Q}_{\text{Transmission}} = U \cdot A \cdot \left(\theta_{\text{innen}} - \theta_{\text{außen}}\right) \text{ [W]}$$

$$\dot{Q}_{\text{Lüftung}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \left(\theta_{\text{innen}} - \theta_{\text{außen}}\right) \text{ [W]}$$

mit

$\dot{Q}$ Wärmeverlust [W]
U Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]
A Fläche über die der Wärmeübergang stattfindet [m²]
$\dot{V}$ Volumenstrom des Luftaustausches [m³/s]

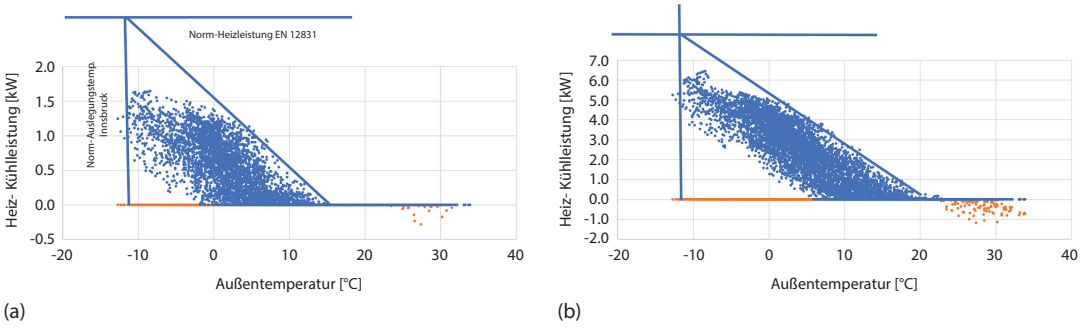


Bild 11. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast über die Außentemperatur für Klima Innsbruck im Jahr 2017 [21], (a) SFH15, (b) SFH100

ρ	Dichte der Luft [kg/m³]
c_p	spezifische Wärmekapazität der Luft [J/(kg K)]
	$(\rho \cdot c_p)_{\text{Luft}} = 0{,}34$ [Wh/(m³K)]
θ_{innen}	Innentemperatur am Bauteil [°C] oder [K]
$\theta_{\text{außen}}$	Außentemperatur am Bauteil [°C] oder [K]

4 Ergebnisse für Heizwärme- und Kühlbedarf

4.1 Ergebnisse im Jahresverlauf

Den Ergebnissen liegen die in Abschnitt 2 und Abschnitt 3 beschriebenen Annahmen zugrunde. Es wurden vorerst keine weiteren baulichen Optimierungsmaßnahmen durchgeführt, um jeweils nur einen Schritt in der Analyse weiterzugehen. Die summierten baulichen Optimierungsmaßnahmen folgen in Abschnitt 5.6. Die Analysen werden nur für die Gebäude SFH15 und SFH100 durchgeführt. Das Gebäude SFH45 liegt zwischen diesen beiden Gebäuden.

4.1.1 Innsbruck

Bild 12 zeigt den Verlauf von berechneter stündlicher Heiz- und Kühllast für die Gebäude SFH15 und SFH100 über dem Jahresverlauf für Klima Innsbruck 2017. Jeder Punkt kann auch als Energie pro Stunden [kWh/h] interpretiert werden. Das Intergral unter der Jahresfläche ergibt den Jahresenergiebedarf [kWh/a]. Daraus kann man die folgenden Aussagen ableiten:

- Die maximale stündliche Heizlast ist im Gebäude SFH100 mit über 6 kW ca. 4-mal größer als im SFH15 mit 1,5 kW.
- Die Heizperiode im SFH15 ist wesentlich kürzer als im SFH100.
- Die Zeiten wo weder geheizt noch gekühlt werden muss, ist im SFH15 wesentlich länger als im SFH100.
- Beide Gebäude weisen nur einen vernachlässigbaren Kühlbedarf auf. Es sind nur wenige Stunden, bei denen gekühlt werden müsste. Die Gebäude sind somit für die österreichische Bauordnung richtig mit allen Randbedingungen angenommen, da diese einen gebäudeinherenten sommerlichen Überwärmeschutz fordert.

In Bild 13 wird für die gleichen Gebäude der Verlauf von Heiz- und Kühlleistung über das Jahr für das Szenario +2 °C gezeigt.

- Die Heizperiode verkürzt sich für beide Gebäudetypen.
- Der Heizwärmebedarf sinkt, dominiert aber den Jahresverbrauch.
- Der Kühlbedarf steigt. Die benötigte maximalen Kühlleistung im Gebäude SFH15 sind fast gleich hoch wie die maximale Heizleistung, im Gebäude SFH100 dominiert die Heizung auch leistungsmäßig.
- Der Kühlbedarf ist im SFH15 kleiner als im SFH100.

Schlussendlich zeigt Bild 14 für die gleichen Gebäude den Verlauf von Heiz- und Kühlleistung über das Jahr für das Szenario Innsbruck +4 °C.

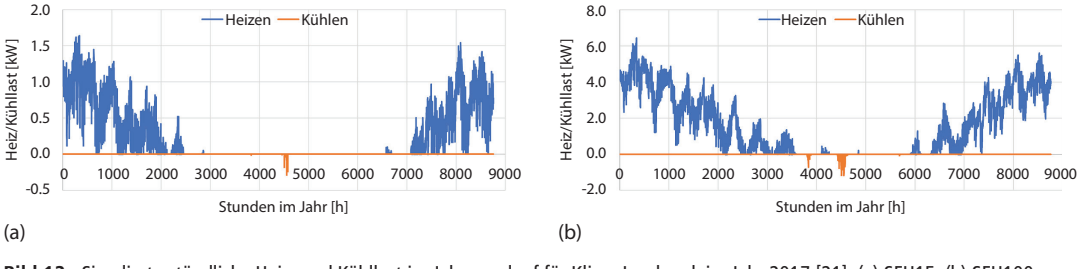


Bild 12. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klima Innsbruck im Jahr 2017 [21], (a) SFH15, (b) SFH100

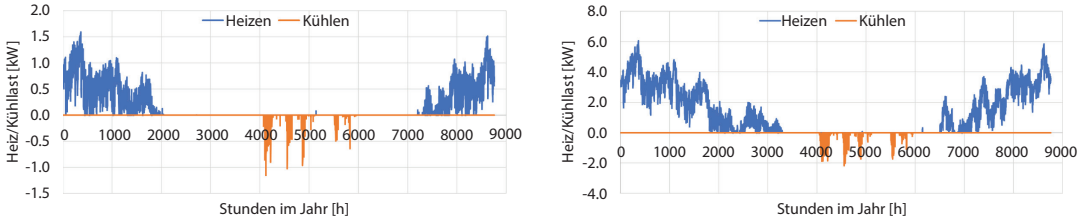


Bild 13. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klimaszenario Innsbruck + 2 °C [21], (a) SFH15, (b) SFH100

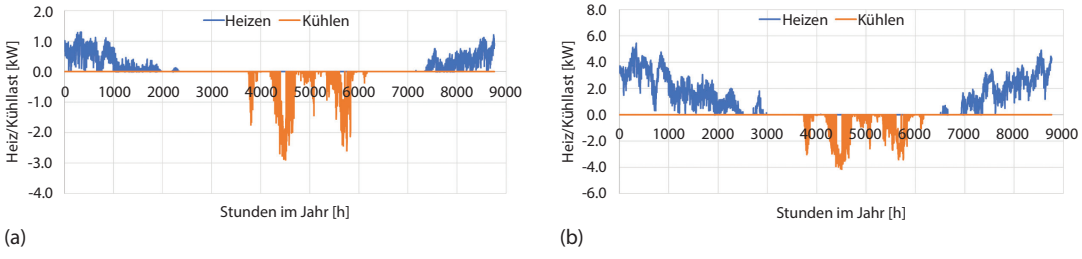


Bild 14. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klimaszenario Innsbruck + 4 °C [21], (a) SFH15, (b) SFH100

- Die Heizperiode verkürzt sich weiter für beide Gebäudetypen.
- Der Heizwärmebedarf sinkt, im Gebäude SFH15 dominiert bereits der Kühlbedarf, im Gebäude SFH100 dominiert weiter der Heizwärmebedarf.
- Die maximale Kühlleistung im SFH15 ist mit 3 kW bereits 3-mal so hoch wie die maximale Heizleistung von ca. 1 kW.
- Die maximale Kühlleistung im SFH100 ist mit 4 kW etwa gleich groß wie die maximale Heizleistung von ca. 5 kW.
- Die Kühlung muss über kürzere Zeiträume durchgehend betrieben werden (auch in der Nacht).

4.1.2 Rom

Für die Klimata Rom und Stockholm werden nur mehr die Jahresverläufe für das heutige und das Klimaszenario +4 °C Klima gezeigt. Das Klimaszenario +2 °C liegt jeweils dazwischen.

In Rom ist das Klima generell wärmer. Bild 15 zeigt den Verlauf von berechneter stündlicher Heiz- und Kühllast für die Gebäude SFH15 und SFH100 über dem Jahresverlauf für Klima Rom 2017. Daraus kann man die folgenden Aussagen ableiten:

- Die Heizperiode im SFH15 ist wesentlich kürzer als im SFH100.
- Die maximale stündliche Heizlast ist im Gebäude SFH100 ist mit 4 kW ca. 4-mal größer als im SFH15 (1 kW).
- Die Zeit, wo weder geheizt noch gekühlt werden muss, ist im SFH15 wesentlich länger als im SFH100.
- Beide Gebäude weisen einen nicht zu vernachlässigbaren Kühlbedarf auf, wobei er im Gebäude SFH15

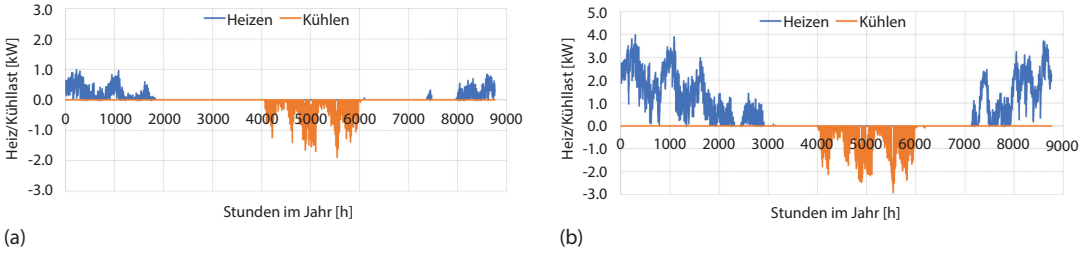


Bild 15. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klima Rom im Jahr 2017 [21], (a) SFH15, (b) SFH100

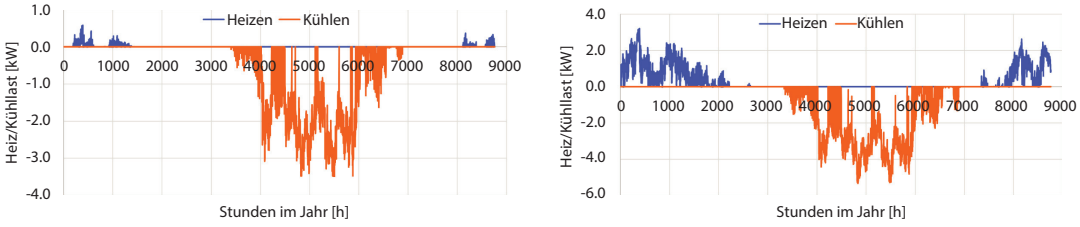


Bild 16. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klimaszenario Rom + 4 °C[21], (a) SFH15, (b) SFH100

aufgrund der besseren Dämmung tiefer ausfällt als im SFH100.

– Die maximale stündliche Kühllast ist im Gebäude SFH15 ca. 2 kW und im Gebäude SFH100 ca. 3 kW.

Bild 16 zeigt für die gleichen Gebäude der Verlauf von Heiz- und Kühlleistung über das Jahr für das Szenario Rom +4 °C.

– Im Gebäude SFH15 muss praktisch nicht mehr geheizt werden. Die maximale Kühlleistung liegt bei ca. 3 kW.
– Im Gebäude SFH100 ist der Heizwärmebedarf reduziert und benötigt ca. die gleiche Energie wie das Kühlen.
– Die maximale Kühlleistung liegt im SFH100 mit 5 kW wesentlich höher als im Haus SFH15 mit 3,5 kW.
– Die Kühlung muss über einen längeren Zeitraum durchgehend (auch in der Nacht) betrieben werden.

4.1.3 Stockholm

In nordeuropäischen Klima Stockholm ist es generell kühler als in Innsbruck. Bild 17 zeigt den Verlauf von berechneter stündlicher Heiz- und Kühllast für die Gebäude SFH15 und SFH100 über dem Jahresverlauf für Klima Stockholm 2017.

– Für beide Gebäude tritt praktisch keine Kühllast auf.
– Die maximale stündliche Heizlast ist im Gebäude SFH100 mit 8 kW mehr als 3-mal größer als im SFH15 mit 2,5 kW.
– Die Zeit wo nicht geheizt werden muss, ist im SFH15 wesentlich länger als im SFH100.

Bild 18 zeigt für die gleichen Gebäude den Verlauf von Heiz- und Kühlleistung über das Jahr für das Szenario Stockholm +4 °C.

– Die maximale Heizlast des Gebäude SFH100 sinkt stark von 8 kW auf 3,5 kW ab. Im Gebäude SFH15 sinkt sie von 2,5 kW auf ca. 2 kW.

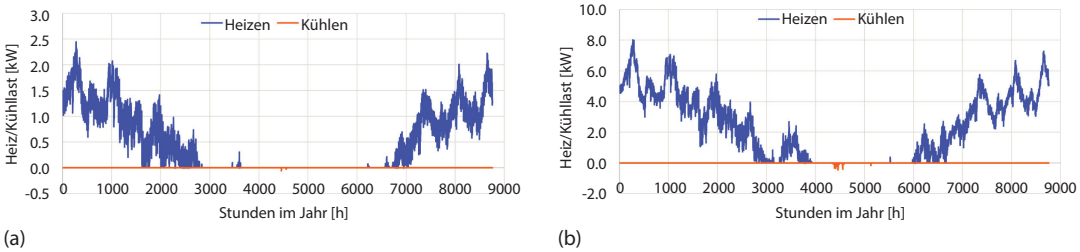


Bild 17. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klima Stockholm im Jahr 2017 [21], (a) SFH15, (b) SFH100

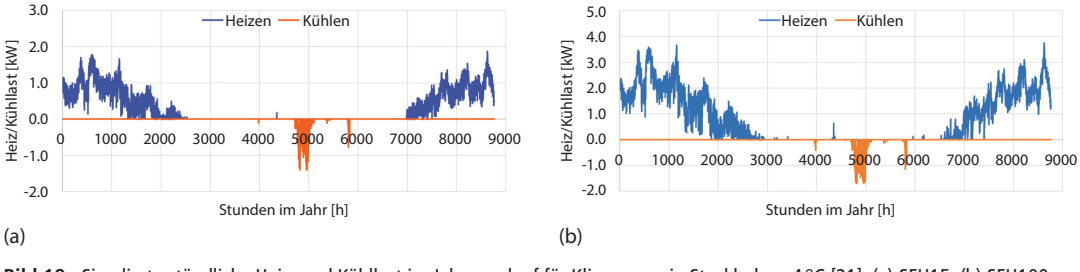


Bild 18. Simulierte stündliche Heiz- und Kühllast im Jahresverlauf für Klimaszenario Stockholm +4 °C [21], (a) SFH15, (b) SFH100

– Es tritt bei beiden Gebäuden ein geringer Kühlbedarf über ca. 2 Wochen auf.
– Generell sinkt der gesamte Energiebedarf für Heizen und Kühlen von heute auf Klima Stockholm +4 °C.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bild 19 bis Bild 21 fassen die Ergebnisse für die Häuser SFH15 und SFH100 auf Jahresbasis als Bandbreite für die Gebäudetypen für die drei Standorte und heutiges Szenario bzw. die Klimaszenarien +2 °C und +4 °C zusammen. Dargestellt werden jeweils vier Ergebnisgruppen:

– Jeweils linke *y*-Achse
  • spezifischer Heizwärmebedarf HWB [kWh/m²a]
  • spezifischer Kühlbedarf KB [kWh/m²a]
– Jeweils rechte *y*-Achse
  • maximal simulierte Heizlast [kW]
  • maximal simulierte Kühllast [kW]

Für Innsbruck (Bild 19) bleibt der Heizwärmebedarf auch für das Szenario +4 °C für das Gebäude SFH100 mit über 60 kWh/m²a bei weitem höher als der Kühlbedarf mit ca. 17 kWh/m²a. Für das SFH15 ist der Kühlbedarf mit 6 kWh/m²a annähernd gleich wie der Heizwärmebedarf mit ca. 8 kWh/m²a (linke *y*-Achse). Die Heizlast (rechte *y*-Achse) sinkt bei beiden Gebäuden im Szenario +4 °C geringfügig gegenüber heute ab. Generell hat das SFH15 einen wesentlich geringeren Heizwärme- und Kühlbedarf und auch eine geringere Heiz- und Kühllast als das SFH100. Dies ist auf die geringeren U-Werte von Wand und Decke und damit geringeren Wärmefluss von innen nach außen im Winter bzw. im Sommer von außen nach innen bedingt. Außerdem haben die 3-Scheiben- Verglasungen des SFH15 einen geringeren *g*-Wert (Energiedurchlassgrad) als die 2-Scheiben-Verglasungen des SFH100. Zudem verwendet das SFH 15 eine Abluftwärmerückgewinnung mit 60 % Wärmerückgewinnungsgrad. Eine gute Dämmung und mechanische Lüftung mit Abluftwärmerückgewinnung macht also in allen Klimaten und auch beim Klimawandel Sinn.

Die Summe aus Heiz und Kühlbedarf sinkt im Klima Innsbruck leicht, da der Heizwärmebedarf stärker sinkt als der Kühlbedarf steigt. Der Energiebedarf verschiebt sich zeitlich mehr in den Sommer.

In südeuropäischen Klima Rom (Bild 20) halbiert sich der Heizwärmebedarf des SFH100 für das Szenario +4 °C gegenüber heute von über 40 kWh/m²a

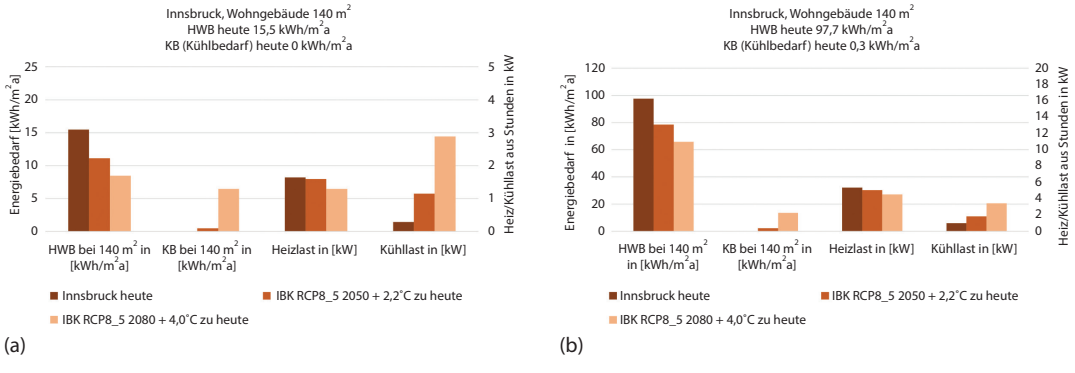


Bild 19. Simulierter jährlicher spezifischer Heizwärme- und Kühlbedarf (HWB, KB, jeweils linke *y*-Achse) und maximal berechnete Heiz- und Kühllast, jeweils rechte *y*-Achse für Innsbruck (heute und +2 bzw. +4 °C) [21]; (a) SFH15, (b) SFH100)

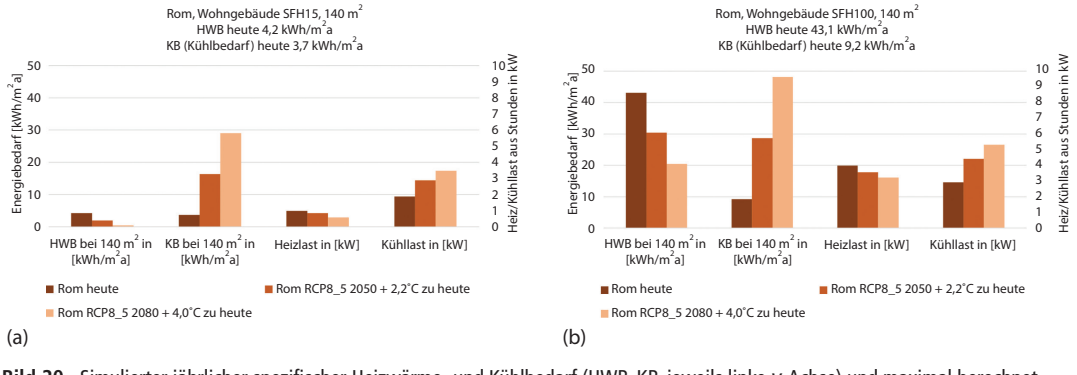


Bild 20. Simulierter jährlicher spezifischer Heizwärme- und Kühlbedarf (HWB, KB, jeweils linke *y*-Achse) und maximal berechnet Heiz- und Kühllast, jeweils rechte *y*-Achse für Rom (heute und +2 bzw. +4 °C) [21], (a) SFH15, (b) SFH100

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Nabil A. Fouad

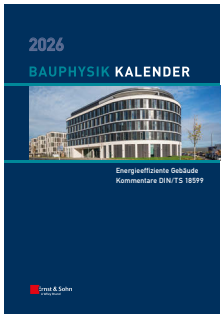
Bauphysik-Kalender 2026

Schwerpunkte: Energieeffiziente Gebäude; Kommentare DIN/TS 18599

- **aktuelle Kommentare zu den überarbeiteten Normteilen von DIN/TS 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“**
- **Beispiele für Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung von Gebäuden, auch unter Denkmalschutz**

Der Bauphysik-Kalender ist ein Kompendium für die richtige Umsetzung bauphysikalischer Schutzfunktionen mit Normenüberblick und -kommentierung, Materialdaten, Berechnung und Nachweisführung sowie praxisgerechten konstruktiven Lösungen auf den Gebieten Wärme- und Feuchteschutz, Schallschutz sowie Brandschutz.

DIN/TS 18599 praxisnah erklärt – aktuelle Norm, Automation und Sanierungslösungen für energieeffiziente Gebäude



vorl. Abb.

3 / 2026 · ca. 582 Seiten ·
ca. 250 Abbildungen · ca. 200 Tabellen

Hardcover
978-3-433-03475-0 ca. **€ 159***

Fortsetzungspreis ca. **€ 139***

Bereits vorbestellbar.

JETZT BESTELLEN
www.ernst-und-sohn.de/3475

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt.