

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Einleitung</b> .....	15
1.1 Schimmelpilze in der Umgebung des Menschen .....	16
1.2 Nutzung von Schimmelpilzen .....	25
1.3 Wachstum und Stoffwechsel von Schimmelpilzen .....	28
1.3.1 Wachstum .....	28
1.3.1.1 Lebenszyklus .....	28
1.3.1.2 Wachstumsphasen .....	29
1.3.1.3 Flugfähigkeit der Sporen .....	30
1.3.1.4 Wachstumsbedingungen .....	32
1.3.2 Stoffwechsel .....	38
<b>2 Gesundheitsrisiko Schimmelpilze</b> .....	39
2.1 Gesundheitsgefahren .....	39
2.2 Aufnahmepfade .....	44
2.3 Risikobewertung .....	45
<b>3 Schimmelpilze in Gebäuden</b> .....	51
3.1 Feuchte in Gebäuden .....	53
3.1.1 Durchfeuchtungen .....	55
3.1.2 Hygrothermische Ursachen für Feuchte in Gebäuden .....	57
3.2 Schäden an Gebäuden durch mikrobiellen Befall .....	62
3.3 Ursachenkategorien der Schimmelpilzentstehung .....	64
3.3.1 Ursache HN1: überhöhter Feuchteanfall .....	66
3.3.1.1 Symptome .....	66
3.3.1.2 Feuchtequellen .....	70
3.3.2 Ursache HN2: falsches Lüftungsverhalten .....	72
3.3.2.1 Begriffe und Regelungen zum Lüftungsverhalten .....	75
3.3.2.2 Ursachenvariante permanente Kipplüftung .....	81
3.3.3 Ursache HN3: unzureichende Beheizung .....	85
3.3.4 Ursache HN4: Mobiliar und Vorhänge vor Außenwänden ...	89
3.3.5 Ursache HN5: Abdeckung der Heizkörper durch Mobiliar und Inventar .....	94
3.3.6 Ursache HN6: vom Nutzer verursachte Havarien .....	94
3.3.7 Ursache HF1: Funktionsstörungen an Einzelraumlüftern ....	100
3.3.8 Ursache HF2: Funktionsstörungen an Heizungen .....	102

3.3.9	Ursache HK1: raumseitige Wärmedämmung von Außenwänden .....	103
3.3.9.1	Bauphysikalische Bewertung von nachträglichen Wärmedämmungen .....	103
3.3.9.2	Innendämmsysteme .....	107
3.3.9.3	Thermo- und Korktapeten .....	109
3.3.9.4	Vorsatzschalen vor Außenwänden .....	112
3.3.10	Ursache HK2: geringe Wärmedämmung von Außenwänden ..	115
3.3.11	Ursache HK3: geometrische Wärmebrücken .....	118
3.3.12	Ursache HK4: Behinderung des Warmluftzirkulationsstroms	122
3.3.13	Ursache HK5: Einbau neuer Fenster bei der Altbau-modernisierung .....	126
3.3.14	Ursache HK6: konstruktionsbedingte Wärmebrücken .....	131
3.3.14.1	Raumseitige Oberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken.....	132
3.3.14.2	Ursachen von Wärmebrücken .....	134
3.3.15	Ursache HK7: unterdimensionierte Lüftungsmöglichkeiten..	138
3.3.16	Ursache HK8: Anfangsfeuchte im Neubau .....	146
3.3.16.1	Begriffsdefinitionen .....	147
3.3.16.2	Regelung des Feuchtegehalts im Bauteilquerschnitt .....	150
3.3.16.3	Ursachen von Anfangsfeuchte im Neubau .....	151
3.3.17	Ursache D1: horizontale Durchfeuchtung von Außenwänden	163
3.3.17.1	Folgen .....	164
3.3.17.2	Ursachen .....	165
3.3.18	Ursache D2: vertikal aufsteigende Feuchte in Wänden .....	168
3.3.19	Ursache D3: Leitungswasserschäden .....	172
3.3.19.1	Regelung und Nachweis .....	172
3.3.19.2	Ursachen .....	175
3.3.20	Ursache D4: Dachleckagen .....	179
3.3.20.1	Ursachen .....	180
3.3.21	Ursache D5: Naturereignisse .....	185
<b>4</b>	<b>Vorgehensweise bei Symptomen eines Schimmelpilzbefalls .....</b>	<b>187</b>
4.1	Mess- und Analyseplanung .....	187
4.2	Verdacht auf Befall oder sichtbare Symptome .....	187
4.3	Einschalten von Sonderfachleuten .....	190
4.4	Befragung/Gebäudeanamnese .....	191
4.5	Inspektion .....	192
4.6	Schadenskataster .....	194

---

<b>5</b>	<b>Bauphysikalische Untersuchungsmethoden</b> . . . . .	197
5.1	Feuchtebestimmung von Stoffen und Bauteilen . . . . .	197
5.1.1	Elektronische Feuchtemessung nach dem Widerstands- messprinzip . . . . .	197
5.1.2	Elektronische Feuchtemessung nach dem Hochfrequenz- verfahren (kapazitive Messung) . . . . .	200
5.1.3	Elektronische Feuchtemessung nach dem Mikrowellen- verfahren . . . . .	202
5.1.4	Elektronische Klimamessung der Ausgleichsfeuchte . . . . .	202
5.1.5	Feuchtemessung nach dem CM-Verfahren . . . . .	203
5.1.6	Gravimetrische Feuchtemessung (Darrprobe) . . . . .	204
5.1.7	Feuchtemessung mit der Neutronensonde . . . . .	208
5.2	Instationäre Wärme- und Feuchtebestimmung mittels Computerprogrammen . . . . .	209
5.3	Kohlendioxidmessung . . . . .	210
5.4	Bestimmung der Luftdichtheit mittels Blower-Door- Prüfverfahren . . . . .	211
5.5	Bestimmung der Oberflächentemperatur . . . . .	213
5.5.1	Messung der Oberflächentemperatur mit Messfühlern . . . . .	213
5.5.2	Messung der Oberflächentemperatur mit Infrarotthermo- grafie . . . . .	214
5.5.3	Messung der Oberflächentemperatur mit Gebäudethermo- grafie . . . . .	215
5.6	Bestimmung des Luftvolumenstroms von Lüftungsanlagen	216
5.7	Bestimmung des Wassereindringens in Fassaden mit Karstensen Prüfröhrchen . . . . .	216
5.8	Stationäre Klimamessung (relative Luftfeuchte und -temperatur) . . . . .	218
5.9	Instationäre Klimamessung (Klimadatenlogger) . . . . .	218
5.10	Druckprüfungen bei wasserführenden Installations- leitungen . . . . .	221
5.10.1	Druckprüfung in Trinkwasserleitungen . . . . .	221
5.10.2	Druckprüfung in Heizanlagen und zentralen Wasserer- wärmungsanlagen . . . . .	221
5.10.3	Druckprüfung in Abwasserleitungen . . . . .	222
5.10.4	Leckageortung mit dem Tonfrequenzverfahren . . . . .	222
5.11	Salzgehaltbestimmung . . . . .	224

<b>6</b>	<b>Bauphysikalische Berechnungen</b> . . . . .	229
6.1	Taupunktbestimmung nach dem Glaser-Verfahren . . . . .	229
6.1.1	Regelung . . . . .	229
6.1.2	Definitionen . . . . .	232
6.1.3	Bauteilspezifische Untersuchung der stationären Verhältnisse . . . . .	234
6.1.4	Eignung für den feuchteschutztechnischen Nachweis bei Innendämmungen . . . . .	239
6.2	Bestimmung des Wärmedurchgangs durch ein Bauteil . . .	241
6.2.1	Definitionen und allgemeine Formeln . . . . .	241
6.2.2	Außenwände . . . . .	241
6.2.3	Fenster und Türen . . . . .	244
6.3	Bestimmung des Einflusses von Wärmebrücken . . . . .	249
6.3.1	Definitionen . . . . .	249
6.3.2	Regelung . . . . .	250
6.3.3	Materialkennwerte verschiedener Bauteilschichten . . . . .	256
6.3.4	Ermittlung der kritischen Oberflächenfeuchte von Bauteilen .	261
6.4	Bestimmung des Einflusses der relativen Raumluftfeuchte	262
6.4.1	Regelung . . . . .	262
6.4.2	Typische Raumluftfeuchtwerte . . . . .	265
6.4.3	Einfluss der Luftwechselrate . . . . .	266
6.4.4	Einfluss der raumseitigen Bauteiloberflächen-Temperaturen .	268
6.4.5	Rechnerischer Nachweis hygrothermischer Schäden an raumseitigen Bauteiloberflächen . . . . .	272
6.4.6	Feuchteaufnahme von Bauteiloberflächen . . . . .	275
6.4.7	Feuchteaufnahme von Fassadenbeschichtungen . . . . .	276
6.4.8	Einfluss der Neubaufeuchte in Dächern . . . . .	283
6.4.9	Einfluss von Durchfeuchtung auf die Wärmedämmung von Flachdächern . . . . .	286
6.5	Erstellung einer Feuchtebilanz . . . . .	288
6.6	Bestimmung des Luftwechsels . . . . .	290
6.6.1	Bestimmung des Luftwechsels bei Initiativlüftung . . . . .	290
6.6.1.1	Wohnraum . . . . .	290
6.6.1.2	Kellerraum in Weißer Wanne . . . . .	295
6.6.2	Bestimmung des Luftwechsels bei Schachtlüftung . . . . .	303
6.7	Beurteilung der Wärmedämmung bestehender Gebäude . .	304
6.8	Nachträgliche Analyse des Heizverhaltens . . . . .	307
6.8.1	Gebäudespezifische Analyse . . . . .	310
6.8.3	Raumspezifische Analyse . . . . .	321
6.8.4	Bestimmung der Gradtagzahl und der Heizgradtage . . . . .	323
6.9	Behaglichkeitsklima in Gebäuden . . . . .	328

<b>7</b>	<b>Untersuchung und Bewertung von mikrobiellen Schäden</b> . . . . .	331
7.1	Abklatschproben . . . . .	331
7.1.1	Durchführung . . . . .	331
7.1.2	Bewertung . . . . .	332
7.2	Materialanalysen . . . . .	333
7.2.1	Probenahme . . . . .	333
7.2.2	Analyse und Bewertung . . . . .	333
7.3	Schimmelpilzspürhund . . . . .	343
7.4	MVOC-Luftmessungen . . . . .	343
7.4.1	Probenahme . . . . .	344
7.4.2	Bewertung . . . . .	346
7.5	Luftkeimmessungen . . . . .	348
7.5.1	Luftkeimsammler . . . . .	348
7.5.1.1	Durchführung der Untersuchung . . . . .	348
7.5.1.2	Bewertung . . . . .	349
7.5.2	Gesamtpartikelsammler . . . . .	357
7.5.2.1	Durchführung der Untersuchung . . . . .	357
7.5.2.2	Bewertung . . . . .	358
<b>8</b>	<b>Sanierung</b> . . . . .	365
8.1	Leitfäden zur Beurteilung und Beseitigung von Schimmelpilzbefall . . . . .	365
8.2	Ablauf der fachgerechten Beseitigung eines mikrobiellen Befalls . . . . .	370
8.2.1	Schritt 1: Schadensfeststellung . . . . .	373
8.2.2	Schritt 2: Sofortmaßnahmen zum Umgebungsschutz . . . . .	379
8.2.3	Schritt 3: Sanierungszielfestlegung . . . . .	379
8.2.4	Schritt 4: Gefährdungsermittlung und -beurteilung . . . . .	381
8.2.5	Schritt 5: Ursachenfeststellung . . . . .	383
8.2.6	Schritt 6: Sanierungsplanung . . . . .	384
8.2.7	Schritt 7: Arbeits- und Betriebsanweisung . . . . .	384
8.2.8	Schritt 8: Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen . . . . .	385
8.2.9	Schritt 9: Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen . . . . .	385
8.2.9.1	Regelung . . . . .	385
8.2.9.2	Arbeits- und Umgebungsschutz . . . . .	389
8.2.9.3	Kennzeichnung des Sanierungsbereichs . . . . .	392
8.2.9.4	Persönliche Schutzausrüstung . . . . .	392
8.2.10	Schritt 10: Ursachenbeseitigung . . . . .	396
8.2.11	Schritt 11: Schimmelpilzsanierung . . . . .	396
8.2.11.1	Unterschiedliche Verfahren in der Schimmelpilzsanierung . . . . .	396
8.2.11.2	Regelung der Schimmelpilzsanierung von Inventar, Baustoffen und Bauprodukten . . . . .	398

8.2.11.3	Behandlung von Inventar . . . . .	401
8.2.11.4	Behandlung von Baustoffen . . . . .	402
8.2.12	Schritt 12: Technische Bauteiltrocknung . . . . .	416
8.2.12.1	Indirekte Bauteiltrocknung . . . . .	416
8.2.12.2	Direkte Bauteiltrocknung . . . . .	417
8.2.13	Schritt 13: Desinfektion porenfreier Oberflächen . . . . .	418
8.2.14	Schritte 14 und 17: Abnahme der Leistungen und Erfolgskontrolle . . . . .	419
8.3	Maßnahmen zur Prävention . . . . .	420
8.3.1	Regelung . . . . .	420
8.3.2	Technische Möglichkeiten der Prävention bei Neubauten und im Bestand . . . . .	421
<b>9</b>	<b>Rechtslage bei Schimmelpilzschäden . . . . .</b>	<b>425</b>
9.1	Recht der Schuldverhältnisse . . . . .	425
9.2	Schimmelpilzschäden im Mietrecht . . . . .	426
9.2.1	BGB-Regelungen zum Mietvertrag . . . . .	426
9.2.2	Beurteilung der Gesundheitsgefährdung . . . . .	429
9.2.3	Beweislast für den Mangel an einer Mietsache . . . . .	445
9.2.4	Umfang und Angemessenheit von Mietminderungen . . . . .	448
9.2.5	Trennung von Sachfragen und Rechtsfragen . . . . .	459
9.2.6	Obhutspflicht der Mieter . . . . .	460
9.2.7	Anerkannte Regeln der Technik bei Gebäudeerrichtung . . . . .	473
9.2.8	Neubaufeuchte als Mangel an der Mietsache . . . . .	477
9.2.9	Austausch von Fenstern im Bestand als Ursache eines Mangels an der Mietsache . . . . .	478
9.2.10	Durchfeuchtungsschäden als Mangel an der Mietsache . . . . .	481
9.2.11	Quotelung der Verantwortlichkeit . . . . .	483
9.2.12	Formulierung von Beweisbeschlüssen in Schimmelpilz- verfahren . . . . .	490
9.3	Schimmelpilzschäden im Werkvertragsrecht . . . . .	493
9.4	Schimmelpilzschäden im Kaufrecht . . . . .	495
<b>10</b>	<b>Schimmelpilzähnliche Schadensbilder . . . . .</b>	<b>507</b>
10.1	Ausblühungen . . . . .	507
10.2	Verschmutzungen . . . . .	508
10.3	Belastungen mit chemischen Stoffen infolge von Durch- feuchtungen . . . . .	508
10.4	Sogenannte Stockflecken bzw. Spakbildung . . . . .	509
10.5	Sogenannter Schwarzsimmel . . . . .	509

---

<b>11</b>	<b>Anhang</b> .....	511
11.1	Abkürzungsverzeichnis .....	511
11.2	Physikalische Größen .....	513
11.3	Griechisches Alphabet .....	517
11.4	Normen, Rechtsvorschriften und Literatur .....	518
11.4.1	Normen .....	518
11.4.2	Rechtsvorschriften .....	519
11.4.3	Literatur .....	520
11.5	Stichwortverzeichnis .....	525
	Der Autor .....	527