

# **Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden**

Erkennen und Beurteilen  
von Symptomen und Ursachen

mit 444 Abbildungen und 68 Tabellen

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

## **Gunter Hankammer**

Dipl.-Ing., öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden sowie Schimmelpilze und andere Innenraumschadstoffe (Handelskammer Hamburg), öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sachfragen der Honorierung von Architektenleistungen gem. HOAI (Hamburgische Architektenkammer)

## **Wolfgang Lorenz**

Dr.-Ing., Inhaber des Instituts für Innenraumdiagnostik, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schadstoffe an und in Gebäuden, insbesondere Schimmelpilze und Bakterien (Baukammer Berlin), stellvertretender Vorstandsvorsitzender im Bundesverband Schimmelpilzsanierung e. V. (BSS)



Rudolf Müller

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	13
1.1	Schimmelpilz- und Bakterienvorkommen in der Umgebung des Menschen .....	14
1.2	Nutzen von Schimmelpilzen und Bakterien .....	23
1.2.1	Schimmelpilze und Bakterien in der Nahrungsmittelproduktion .....	23
1.2.2	Schimmelpilze und Bakterien in der Arzneimittelproduktion .....	25
1.3	Begriffsklärung: Stockflecken, Spakbildung, Schwarzsimmel .....	26
<b>2</b>	<b>Schimmelpilze und Bakterien – mikrobiologische Grundlagen</b> ....	27
2.1	Mikrobielles Wachstum .....	30
2.2	Metabolismus – Bildung mikrobieller Stoffwechselprodukte .....	32
2.3	Mikrobielle Toxine .....	34
2.4	Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen .....	35
2.5	Arten wachsender Mikroorganismen .....	40
2.6	Bakterien .....	43
2.7	Folgen des Befalls durch Mikroorganismen .....	44
<b>3</b>	<b>Gesundheitsrisiko Schimmelpilze und Bakterien</b> .....	47
3.1	Gesundheitliche Gefährdung durch Mikroorganismen .....	47
3.1.1	In vivo wachsende Mikroorganismen – Infektionen .....	49
3.1.2	Mikrobielle Toxine und Intoxikationen .....	51
3.1.3	Mikrobielle Allergene und Allergien .....	54
3.2	Mikrobielle Stoffe mit Wirkung auf das Immunsystem .....	56
3.3	Expositionswege .....	59
3.4	Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung – Grenzwerte, Richtwerte .....	59
3.5	Ergebnisse einer Feldstudie .....	63
<b>4</b>	<b>Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden</b> .....	67
4.1	Feuchtigkeit in Gebäuden .....	67
4.1.1	Durchfeuchtung von Bauteilen .....	70
4.1.2	Hygrothermisch bedingte Feuchtigkeit .....	71

4.2	Schäden an Gebäuden durch Schimmelpilze und Bakterien .....	89
4.3	Schadensbilder bei Schimmelpilzbefall in Räumen .....	90
4.3.1	Symptom-Typ A: Fensterleibung .....	91
4.3.2	Symptom-Typ B: Fenstersturz .....	93
4.3.3	Symptom-Typ C: Dachdecken-Wand-Anschluss .....	93
4.3.4	Symptom-Typ D: Außenwand über Fußleiste .....	95
4.3.5	Symptom-Typ E: Außenwand, Dachschräge und Dachdecke, Spots .....	97
4.3.6	Symptom-Typ F: Außenwandecke .....	98
4.3.7	Symptom-Typ G: Badezimmer – Außenwand .....	99
4.3.8	Symptom-Typ H: Innenwand über Fußleiste, Fußleistenrückseite .....	100
4.3.9	Symptom-Typ I: Fenster, Flügeldichtung .....	101
4.3.10	Symptom-Typ J: Fenster, Glasleisten und Rahmen .....	102
4.3.11	Symptom-Typ K: Dachflächenfenster .....	102
4.3.12	Symptom-Typ L: Verdeckter Befall .....	104
4.3.13	Symptom-Typ M: Augenscheinlich nicht erkennbarer Befall .....	110
4.3.14	Symptom-Typ N: Kelleraußenwände .....	110
4.3.15	Symptom-Typ O: Silikondichtungen .....	112
4.4	Ursachenarten der Schimmelpilzentstehung .....	113
4.4.1	Ursache 1: Überhöhte Feuchtigkeitsproduktion .....	117
4.4.2	Ursache 2: Falsches Lüftungsverhalten .....	126
4.4.3	Ursache 3: Permanente „Kipp“-Lüftung .....	143
4.4.4	Ursache 4: Unzureichende Beheizung .....	144
4.4.5	Ursache 5: Mobiliar und Vorhänge vor Außenwänden .....	150
4.4.6	Ursache 6: Funktionsstörungen an Einzelraumlüftern .....	154
4.4.7	Ursache 7: Raumseitige Wärmedämmungen .....	156
4.4.8	Ursache 8: Geringe Wärmedämmung von Außenwänden .....	161
4.4.9	Ursache 9: Geometrische Wärmebrücken .....	164
4.4.10	Ursache 10: Behinderung des Warmluft-Zirkulationsstroms .....	167
4.4.11	Ursache 11: Fenstereinbau bei der Altbaumodernisierung .....	171
4.4.12	Ursache 12: Einbaufehler bei Dachflächenfenstern .....	174
4.4.13	Ursache 13: Konstruktive Wärmebrücken .....	179
4.4.14	Ursache 14: Lüftungsmöglichkeit unterdimensioniert .....	185
4.4.15	Ursache 15: Anfangsfeuchte im Neubau .....	190
4.4.16	Ursache 16: Horizontale Durchfeuchtungen von Außenwänden .....	210
4.4.17	Ursache 17: Vertikal aufsteigende Feuchtigkeit in Außenwänden .....	214
4.4.18	Ursache 18: Rohrleitungsschäden, Überflutungen .....	218
4.4.19	Ursache 19: Einbaufehler bei Dusch- und Badewannen .....	225
4.4.20	Ursache 20: Durchfeuchtungen von Schornsteinzügen .....	226
4.4.21	Ursache 21: Dachleckagen .....	228
<b>5</b>	<b>Vorgehensweise bei Symptomen eines mikrobiellen Befalls .....</b>	<b>235</b>
5.1	Mess- und Analyseplanung .....	235
5.2	Verdacht auf Befall ohne sichtbare Symptome .....	235
5.3	Einschaltung von Sonderfachleuten .....	238
5.4	Befragung/Gebäudeanamnese .....	239
5.5	Inspektion .....	240

5.6	Schadenskataster .....	242
5.7	Heizenergieverbrauchsanalyse .....	243
5.7.1	Gebäudespezifische Analyse .....	243
5.7.2	Wohnungsspezifische Analyse .....	246
5.7.3	Raumspezifische Analyse .....	256
<b>6</b>	<b>Bauphysikalische Untersuchungsmethoden .....</b>	<b>259</b>
6.1	Feuchtigkeitsbestimmung von Stoffen und Bauteilen .....	259
6.1.1	Elektronische Feuchtigkeitsmessung: Widerstandsmessprinzip .....	259
6.1.2	Kapazitive Feuchtigkeitsmessung (sog. Hochfrequenzverfahren) .....	260
6.1.3	Elektronische Feuchtigkeitsmessung: Mikrowellen-Verfahren .....	261
6.1.4	Elektronische Klimamessung: Ausgleichsfeuchte .....	262
6.1.5	CM-Verfahren .....	264
6.1.6	Darr-Methode/gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmung .....	265
6.1.7	Neutronensonde .....	268
6.2	Taupunktbestimmung nach dem Glaser-Verfahren .....	269
6.3	Ermittlung der kritischen Oberflächenfeuchte von Bauteilen .....	272
6.4	WUFI und ESTHER .....	273
6.5	CO <sub>2</sub> -Messung .....	274
6.6	„Blower-Door“-Prüfverfahren .....	275
6.7	Oberflächentemperaturmessung .....	278
6.7.1	Oberflächentemperaturmessung mit Messfühlern .....	278
6.7.2	Infrarot-Thermografie .....	278
6.7.3	Oberflächentemperaturmessung über Gebäude-Thermografie .....	280
6.8	Messung des Luftvolumenstroms von Lüftungsanlagen .....	281
6.9	Wassereindringprüfung mit dem Karsten'schen Prüfröhrchen .....	281
6.10	Stationäre Klimamessung: relative Luftfeuchtigkeit und -temperatur .....	285
6.11	Instationäre Klimamessung (Klimadatenlogger) .....	285
6.12	Druckprüfungen bei Wasser führenden Installationsleitungen .....	287
6.13	Leckageortung und Leitungssuche mit dem Tonfrequenzverfahren .....	289
6.14	Salzgehaltbestimmung .....	290
<b>7</b>	<b>Untersuchung von mikrobiellen Schäden .....</b>	<b>291</b>
7.1	Allgemeine Anmerkungen .....	291
7.2	Untersuchungsmethoden .....	293
7.3	Materialanalysen .....	296
7.3.1	Probenahme .....	297
7.3.2	Anzüchtung .....	298
7.3.3	Bewertung .....	300

7.4	Schimmelpilz-Spürhund .....	301
7.5	MVOC-Luftmessungen .....	303
7.5.1	Probenahme und mögliche Störquellen .....	304
7.5.2	MVOC-Analyse .....	307
7.5.3	Bewertung .....	308
7.6	Luftkeimmessungen .....	310
7.6.1	Probenahme .....	311
7.6.2	Laboranalyse .....	313
7.6.3	Bewertung .....	313
7.7	Luftanalyse auf Gesamtzellzahl bzw. luftgetragene Partikel .....	315
7.7.1	Probenahme .....	316
7.7.2	Analyse .....	316
7.7.3	Bewertung .....	316
7.8	Staubanalysen mittels Kultivierung .....	318
7.8.1	Probenahme .....	318
7.8.2	Analyse .....	319
7.8.3	Bewertung .....	319
7.9	Toxizitätstest und Toxinanalysen .....	321
<b>8</b>	<b>Sanierung und Prävention .....</b>	<b>323</b>
8.1	Leitfäden zur Beurteilung und Beseitigung von Schimmelpilzbefall .....	323
8.2	Ablauf der fachgerechten Beseitigung eines mikrobiellen Befalls .....	326
8.3	Untersuchungskosten .....	328
8.4	Ursachenbeseitigung .....	328
8.4.1	Nachträgliche äußere Abdichtungsverfahren .....	329
8.4.2	Nachträgliche Abdichtungen bei kapillar aufsteigender Feuchtigkeit .....	335
8.4.3	Sanierputz .....	339
8.4.4	Fassadenbeschichtungen .....	340
8.4.5	Sanierung von Sichtmauerwerksflächen, Verblendmauerwerk .....	346
8.4.6	Dränage .....	351
8.5	Symptombeseitigung .....	354
8.5.1	Schadensfeststellung .....	354
8.5.2	Persönliche Schutzausrüstung (PSA) .....	354
8.5.3	Arbeits- und Umgebungsschutz .....	357
8.5.4	Unterschiedliche Maßnahmen bei der Schimmelpilzsanierung .....	358
8.5.4.1	Isolation .....	358
8.5.4.2	Desinfektion .....	360
8.5.4.3	Dekontamination .....	361
8.6	Möglichkeiten technischer Trocknung .....	366
8.6.1	Indirekte Bauteiltrocknung .....	366
8.6.2	Direkte Bauteiltrocknung .....	367
8.7	Abnahme der Leistungen und Erfolgskontrolle .....	368

8.8	Sanierungskosten .....	368
8.9	Maßnahmen zur Prävention – technische Möglichkeiten bei Neubauten und im Bestand .....	374
<b>9</b>	<b>Rechtslage bei Schimmelpilzschäden .....</b>	<b>379</b>
9.1	Recht der Schuldverhältnisse .....	379
9.2	Schimmelpilzschäden im Mietrecht .....	380
9.2.1	BGB-Regelungen zum Mietvertrag .....	380
9.2.2	Gesundheitsgefährdung .....	382
9.2.3	Beweislast für den Mangel an einer Mietsache .....	392
9.2.4	Umfang und Angemessenheit von Mietminderungen .....	396
9.2.5	Formulierung von Beweisbeschlüssen in Schimmelpilzverfahren .....	408
9.3	Schimmelpilzschäden im Werkvertragsrecht .....	411
9.4	Schimmelpilzschäden im Kaufrecht .....	412
<b>10</b>	<b>Schimmelpilzähnliche Schadensbilder .....</b>	<b>415</b>
10.1	Ausblühungen .....	415
10.2	Belastungen mit chemischen Stoffen infolge von Durchfeuchtungen .....	416
10.3	Fogging-Effekt oder „schwarze Wohnungen“ .....	418
<b>11</b>	<b>Stellung der verschiedenen Mikroorganismen im Ordnungssystem und Vorkommen in und an Gebäuden .....</b>	<b>425</b>
11.1	Definition .....	425
11.2	Schimmelpilze .....	426
11.3	Algen .....	426
11.4	Flechten .....	429
11.5	Hefen .....	430
11.6	Bakterien .....	431
11.7	Schwämme .....	432
11.8	Hutpilze .....	437
11.9	Bläuepilze .....	437
<b>12</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>439</b>
	Abkürzungsverzeichnis .....	439
	Übersicht über durch Normenfortschreibung geänderte physikalische Größen ..	442
	Literaturverzeichnis .....	444
	Stichwortverzeichnis .....	450
	Danksagung .....	455
	Der Autor/der Koautor .....	456