

42

Z
U
B
A
U
E
S
E
I
E
N
F
R
E
I
Z
A
D
E
N
F
R
A
U
S
H
A
D
E
N
F
R
A
U
S

Herausgegeben von Ralf Ruhnau
Begründet von Günter Zimmermann

Nils Oster, Jan Bredemeyer, Oliver Mühlig

Schimmelschäden an Wänden und Decken

2., überarbeitete Auflage

Fraunhofer IRB ■ Verlag

Nils Oster
Jan Bredemeyer
Dr. Oliver Mühlig

Schimmelschäden an Wänden und Decken

Schadenfreies Bauen

Herausgegeben von Dr.-Ing. Ralf Ruhnau
Begründet von Professor Günter Zimmermann

Band 42

Schimmelschäden an Wänden und Decken

Von
Nils Oster
Jan Bredemeyer
Dr. Oliver Mühlig

2., überarbeitete Auflage

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2367-2048
ISBN (Print): 978-3-8167-9605-3
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9606-0

Lektorat: Claudia Neuwald-Burg
Herstellung: Gabriele Wicker
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Druck: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co. KG, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2021
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Fachbuchreihe Schadenfreies Bauen

Bücher über Bauschäden erfordern anders als klassische Baufachbücher eine spezielle Darstellung der Konstruktionen unter dem Gesichtspunkt der Bauschäden und ihrer Vermeidung. Solche Darstellungen sind für den Planer wichtige Hinweise, etwa vergleichbar mit Verkehrsschildern, die den Autofahrer vor Gefahrstellen im Straßenverkehr warnen.

Die Fachbuchreihe SCHADENFREIES BAUEN stellt in vielen Einzelbänden zu bestimmten Bauteilen oder Problemstellungen das gesamte Gebiet der Bauschäden dar. Erfahrene Bausachverständige beschreiben den Stand der Technik zum jeweiligen Thema, zeigen anhand von Schadensfällen typische Fehler auf, die bei der Planung und Ausführung auftreten können, und geben abschließend Hinweise zu deren Sanierung und Vermeidung.

Für die tägliche Arbeit bietet darüber hinaus die Volltextdatenbank SCHADIS die Möglichkeit, die gesamte Fachbuchreihe online als elektronische Bibliothek zu nutzen. Die Suchfunktionen der Datenbank ermöglichen den raschen Zugriff auf relevante Buchkapitel und Abbildungen zu jeder Fragestellung (www.irb.fraunhofer.de/schadis).

Der Herausgeber der Reihe

Dr.-Ing. Ralf Ruhnau ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Betontechnologie, insbesondere für Feuchteschäden und Korrosionsschutz, außerdem ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden. Als Partner der Ingenieurgemeinschaft CRP GmbH, Berlin, und in Fachvorträgen befasst er sich vor allem mit Bausubstanzbeurteilungen sowie bauphysikalischer Beratung für Neubau und Sanierungsvorhaben. Seit 2016 ist er Präsident der Baukammer Berlin. Er war mehrere Jahre als Mitherausgeber der Reihe aktiv und betreut sie seit 2008 alleinverantwortlich.

Der Begründer der Reihe

Professor Günter Zimmermann (†) war von 1968 bis 1997 ö.b.u.v. Sachverständiger für Baumängel und Bauschäden im Hochbau. Er zeichnete 33 Jahre für die BAUSCHÄDEN-SAMMLUNG im Deutschen Architektenblatt verantwortlich. 1992 rief er mit dem Fraunhofer IRB Verlag die Reihe SCHADENFREIES BAUEN ins Leben, die er anschließend mehr als 15 Jahre als Herausgeber betreute. Er ist der Fachwelt durch seine Gutachten, Vortrags- und Seminartätigkeiten und durch viele Veröffentlichungen bekannt.

Vorwort des Herausgebers zur zweiten Auflage

Die Einwirkung von Feuchtigkeit, ob flüssig oder dampfförmig, ist zweifellos der häufigste Verursacher von Bauschäden. Augenfälligste Erscheinungsbilder dieser Feuchteinwirkung sind Schimmelbildungen auf Bauteiloberflächen, die in aller Regel einen Mangel darstellen, der auch von baufachlichen Laien erkannt und gerügt werden kann. Die Folge sind zahllose Sachverständigenexpertisen und Rechtsstreitigkeiten über Ursachen und Verursacher von Schimmelschäden.

Die primäre Ursache für Schimmelpilzschäden – nämlich Feuchtigkeit – ist trivial. Die Ermittlung des Verursachers der Feuchtigkeit hingegen ist oftmals schwierig und mit hohem Aufwand verbunden. Die Standardfrage an den Sachverständigen lautet: »*Ist die Schimmelbildung auf bauliche Mängel oder Nutzerverhalten zurückzuführen?*« Für die Beantwortung dieser Frage werden dann oftmals zahllose Temperatur- und Feuchtemessungen oder auch aufwendige Simulationsberechnungen durchgeführt. Abhängig von den jeweiligen Randbedingungen der baulichen Situation, der Witterung und der Nutzersituation muss vom Sachverständigen im Einzelfall entschieden werden, welche Methoden unter Wahrung der Verhältnismäßigkeit des Aufwands zum Ziel führen.

Hier gibt der vorliegende Band 42 der Fachbuchreihe SCHADENFREIES BAUEN »SCHIMMELSCHÄDEN AN DECKEN UND WÄNDEN« eine wertvolle Hilfe. Es werden nicht nur die bauphysikalischen Zusammenhänge ausführlich dargelegt, sondern vor allem auch die Werkzeuge für die unterschiedlichsten Vorgehensweisen bei der Ermittlung des Verursachers von Schimmelschäden vorgestellt, und auch die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Bewertung von Schimmelpilzschäden werden beleuchtet.

Den Autoren Oster, Bredemeyer und Mühlig sei an dieser Stelle besonders gedankt, dass sie neben der Tagesarbeit 13 Jahre nach Erscheinen der ersten Auflage des Bandes NUTZEREINFLUSS AUF SCHÄDEN AN GEBÄUDEN in der Reihe SCHADENFREIES BAUEN die vollständige Überarbeitung und Aktualisierung in dieser zweiten Auflage mit dem neuen Titel SCHIMMELSCHÄDEN AN DECKEN UND WÄNDEN auf sich genommen haben. Ein weiterer Band der Autoren, der sich zu diesem Thema mit den transparenten Bauteilen befassen wird, folgt in Kürze.

Berlin, Juni 2020

Ralf Ruhnau

Vorwort der Autoren

Der im Jahr 2007 erschienene Band 42 der Reihe SCHADENFREIES BAUEN mit dem Titel NUTZEREINFLUSS AUF SCHÄDEN AN GEBÄUDEN hatte die Differenzierung zwischen baulich bedingten und durch den Nutzer verursachten Schäden zum Thema. Eine wachsende Anzahl in diesem Kontext stehender Streitigkeiten hatte dazu Anlass gegeben, die vielfältigen Einflüsse des Nutzerverhaltens auf Schäden sowohl aus technischer als auch aus rechtlicher Sicht zu beleuchten. Der Band 42 spannte dabei einen Bogen nahezu über das gesamte Gebiet der Schäden an Gebäuden.

Nunmehr, 13 Jahre später, ist dieses Thema zwar immer noch genauso aktuell wie damals. Bei den meisten der seinerzeit behandelten Themen haben sich aber keine so bedeutsamen Änderungen ergeben, dass sie zwingend einer Aktualisierung bedurft hätten. Anders das Thema Schimmelschäden: Hier hat nicht nur die technische Weiterentwicklung der Messtechnik eine breite Anwendung neuer Beurteilungsverfahren auf der Basis von Datenloggermessungen ermöglicht, die nun dargestellt werden sollen. Ebenso ist natürlich die Rechtsprechung fortgeschrieben worden, sodass auch diesbezüglich ein Update erforderlich war, um insbesondere ein richtungweisendes Urteil des Bundesgerichtshofs (BGH) aus dem Jahr 2018 einzubeziehen.

Vor diesem Hintergrund haben sich die Autoren dazu entschieden, die Aktualisierung des BANDES 42 ganz der Beurteilung von Schimmelschäden an Wänden und Decken zu widmen. Nur so war es möglich, die für die Beurteilung von Schimmelschäden relevanten Kriterien und zur Verfügung stehenden Verfahren umfassend darzustellen und mit einer Vielzahl von Schadensbeispiele zu erläutern. Das vorliegende Buch SCHIMMELSCHEÄDEN AN WÄNDEN UND DECKEN soll damit für alle ein Leitfaden sein, die sich mit der Beurteilung von Schimmelschäden auseinanderzusetzen haben, egal ob sie im Streitfall Hinweise für ein geeignetes Vorgehen bei der Durchsetzung ihrer Interessen bzw. der Abwehr von Ansprüchen suchen, oder als Sachverständige die jeweiligen Mängel bzw. Schäden zu beurteilen haben. Es richtet sich insofern nicht nur an Bausachverständige und Juristen, sondern auch an die Mitarbeiter von Wohnungsbaugesellschaften und Hausverwaltungen, ebenso wie an betroffene Mieter und Eigentümer und nicht zuletzt natürlich auch an Planer und Ausführende.

Die Entwicklung der vergangenen Jahre hat allerdings gezeigt, dass damit das Thema Schimmelschäden an Bauteiloberflächen noch nicht umfassend behandelt ist. So sind zu den »traditionell« von Schimmelbefall betroffenen Wärmebrücken im Bereich von Wänden und Decken in den letzten Jahren immer häufiger »neue Bauteile« hinzugekommen, nämlich Oberflächen an Fenstern, Lichtkuppeln o. Ä. Es ist daher beabsichtigt, die Reihe kurzfristig um einen weiteren Band zu ergänzen, der sich – aufbauend auf der Darstellung der allgemeinen Zusammenhänge in dem hier vorliegenden Band – diesem Thema widmet.

Last but not least möchten sich die Autoren an dieser Stelle bei Herrn Kühl von der NovaBiotec Dr. Fechter GmbH für die fachliche Unterstützung hinsichtlich der mikrobiologischen Aspekte des Themas und bei Herrn Dr. Ruhnau als Herausgeber für die wiederum angenehme Zusammenarbeit bedanken.

In diesem Sinne wünschen wir allen Lesern des aktualisierten BANDES 42 eine interessante und hilfreiche Lektüre.

Berlin, im Juni 2020

Nils Oster

Jan Bredemeyer

Dr. Oliver Mühlig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
1.1	Vorbemerkungen zu den technischen Inhalten	15
1.2	Vorbemerkungen zu den juristischen Inhalten	19
2	Bauphysikalische und mikrobiologische Grundlagen	21
2.1	Vorbemerkungen	21
2.2	Symbole, Größen und Einheiten	21
2.3	Bauphysikalische Grundlagen	24
2.3.1	Luftfeuchte	24
2.3.2	Oberflächentauwasser	26
2.4	Mikrobiologische Grundlagen	28
3	Schimmelgefährdete Bereiche	33
3.1	Wärmebrücken	33
3.1.1	Allgemeines	33
3.1.2	Konstruktive oder stoffliche Wärmebrücken	34
3.1.3	Geometrische Wärmebrücken	34
3.2	Erdberührte Bauteile (Sommerkondensation)	35
4	Untersuchungen und Grundlagenermittlung	37
4.1	Untersuchungen zu Abdichtungsmängeln und Leckagen	37
4.2	Ermittlung der baulichen Randbedingungen	40
4.3	Messung des Raumklimas	42
4.4	Messung der Oberflächentemperatur von Bauteilen	43
4.5	Kombinierte Messung des Raumklimas und der Oberflächentemperatur von Außenbauteilen	45
4.6	Messung von Bauteilfeuchten	45
4.7	Luftdichtheitsmessungen	46
4.8	Untersuchungen zum Heizverhalten	48
4.9	Mikrobiologische Untersuchungen	50
5	Beurteilungskriterien	51

6	Beurteilung von Schimmelbildung im Bereich von Wärmebrücken	53
6.1	Mögliche Herangehensweisen	53
6.2	Allgemein anerkannte Regeln der Technik zum Wärmeschutz	54
6.3	Verfahren erweiterter Wärmebrückennberechnungen	57
6.3.1	Vorbemerkungen – Vorgehen	57
6.3.2	Ermittlung der Oberflächentemperatur – Wärmebrückennberechnungen	58
6.3.2.1	Einführung	58
6.3.2.2	Stationäre Verfahren	58
6.3.2.3	Instationäre Verfahren	63
6.3.2.4	Entwicklung der Bewertung der Berechnungsergebnisse	65
6.3.2.5	Wärmeübergangswiderstände	69
6.3.2.6	Festlegung der jeweils anzuwendenden Randbedingungen in Abhängigkeit vom Baualter	76
6.3.3	Ermittlung der Grenzluftheuchte	77
6.3.4	Bestimmung des erforderlichen Raumklimas und der notwendigen Lüftungsintervalle	80
6.3.4.1	Behaglichkeit	80
6.3.4.2	Feuchteeintrag	82
6.3.4.3	Luftwechsel als baulich bedingter Grundluftwechsel (Infiltration)	86
6.3.4.4	Luftwechsel als Initiativlüftung	90
6.3.4.5	Feuchtespeicherung der raumumschließenden Bauteileoberflächen	95
6.3.5	Zusammenfassende Beurteilung	98
6.4	Verfahren komplexer Datenloggermessungen	99
6.4.1	Vorbemerkungen – Ausgangsdaten	99
6.4.2	Raumlufttemperatur	102
6.4.3	Relative Raumluftheuchte	102
6.4.4	Absolute Raumluftheuchte und Raumlufttemperatur	103
6.4.5	Feuchtelast	104
6.4.6	Oberflächentemperatur	111
6.4.7	Oberflächenverhältnisse	112
6.4.8	Oberflächenverhältnisse bei typischem Raumklima	116
6.4.9	Nutzung	118
6.4.10	Zusammenfassung	120



6.5	Kritische Betrachtung anderer Beurteilungsansätze	121
6.5.1	Vorbemerkungen	121
6.5.2	Beurteilung älterer Gebäude anhand aktueller Regelwerke	121
6.5.3	Beurteilung der Bausubstanz allein anhand bauzeitlicher Regelwerke	122
6.5.4	U-Wert-Ermittlung in situ	122
6.5.5	Vergleich gemessener Oberflächentemperaturen mit dem sogenannten Schimmelpilzkriterium	123
6.5.6	Messung von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte mit Datenloggern	124
6.5.7	Indikatorfunktion von Fensterverglasungen	124
7	Beurteilung von Schimmelbildung im Bereich von erdberührten Bauteilen (Sommerkondensation)	135
8	Grundsätzliche Instandsetzungsmöglichkeiten	139
8.1	Vorbemerkung	139
8.2	Entfernen des Schadensbildes	139
8.3	Bauliche Verbesserungen	141
8.3.1	Außendämmung	141
8.3.2	Innendämmung	143
8.3.3	Vermeidung thermischer Abschirmung von kritischen Außenwandflächen	145
8.3.4	Verbesserung der Sorptionsfähigkeit der raumumschließenden Wandoberflächen	146
8.3.5	Wärmebrückenbeheizung	146
8.4	Raumklimatisch wirksame Maßnahmen	147
8.4.1	Erhöhung des Luftwechsels durch angepasste Initiativlüftung	147
8.4.2	Erhöhung des Luftwechsels durch nutzerunabhängige Maßnahmen	150
8.4.2.1	Vorbemerkung	150
8.4.2.2	Nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen	150
8.4.2.3	Diskussion um das generelle Erfordernis nutzerunabhängiger lüftungstechnischer Maßnahmen in Geschosswohnungen nach DIN 1946-6	152

9	Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Bewertung von Schimmelschäden an Wänden und Decken	155
9.1	Übersicht zu den Inhalten	155
9.2	Allgemeine Überlegungen	156
9.3	Die einzelnen Rechtsbeziehungen	157
9.3.1	Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Nutzungsberechtigtem	157
9.3.1.1	Das Mietverhältnis	158
9.3.1.2	Erhaltungspflicht des Vermieters	160
9.3.1.3	Abwälzung der Erhaltungspflicht auf Mieter	161
9.3.1.4	Umfang der Gewährleistungspflicht des Vermieters	165
9.3.1.5	Zulässiger Mietgebrauch und Erhaltungspflicht	169
9.3.2	Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Verkäufer, Unternehmer oder Planer	173
9.3.2.1	Der Grundstückskauf- und Bauträgervertrag	174
9.3.2.2	Der Bauvertrag	176
9.3.2.3	Der Planervertrag	181
9.3.3	Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Versicherung	183
9.4	Außergerichtliche Streitbeilegung unter Beteiligung eines Sachverständigen	184
9.5	Prozessrechtliche Rahmenbedingungen	185
9.5.1	Selbständiges Beweisverfahren	186
9.5.2	Gerichtliche Streitbeilegung	187
9.5.3	Streitverkündung	187
9.5.4	Darlegungs- und Beweislast	188
9.5.5	Sachverständigenbeweis	190
9.6	Fazit	191
10	Schadensbeispiele	193
10.1	Vorbemerkungen	193
10.2	Beurteilung von Schimmel anhand erweiterter Wärmebrückeberechnungen	194
10.2.1	Schäden aufgrund ungenügender Lüftung – Beispiel 1	194
10.2.2	Schäden aufgrund ungenügender Lüftung – Beispiel 2	197
10.2.3	Schäden infolge ungenügender Beheizung – Beispiel 1	201
10.2.4	Schäden infolge ungenügender Beheizung – Beispiel 2	203

10.2.5	Überlagerung nutzungsbedingter und baulicher Einflüsse	205
10.2.5.1	Dreidimensionale Wärmebrücke	205
10.2.5.2	Thermische Abschirmung durch dichte Vorhänge	208
10.2.6	Baulich bedingte Schadensbilder	212
10.2.6.1	Schimmelbildung im Einflussbereich einer ausgeprägten Wärmebrücke	212
10.2.6.2	Thermische Abschirmung durch vorgegebene Möblierung – Beispiel 1	214
10.2.6.3	Thermische Abschirmung durch vorgegebene Möblierung – Beispiel 2	216
10.3	Beurteilung von Schimmel anhand komplexer Datenloggermessungen	219
10.3.1	Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens trotz guter Beheizung und Lüftung im Messzeitraum – Beispiel 1	219
10.3.2	Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens trotz guter Beheizung und Lüftung im Messzeitraum – Beispiel 2	224
10.3.3	Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens bei ungenügender Lüftung im Messzeitraum	229
10.3.4	Nachweis baulicher Defizite als Ursache eines Schimmelbefalls – Beispiel 1	234
10.3.5	Nachweis baulicher Defizite als Ursache eines Schimmelbefalls – Beispiel 2	238
10.3.6	Grenzen des Verfahrens	242
10.3.7	Einfluss des Außenklimas auf die Beurteilung nach dem Verfahren komplexer Datenloggermessungen	247
10.4	Beurteilung sommerlicher Schimmelbildung im Bereich von erdberührten Bauteilen	251
10.4.1	Schimmelbefall in einem als Arbeitszimmer genutzten Kellerraum	251
10.4.2	Weitere Schadensbeispiele	254
10.5	Sonstige Schadensbeispiele	254
10.5.1	Schimmelbildung in einem unzureichend beheizten Schlafzimmer	254
10.5.2	Schimmelbildung aufgrund einer sukzessiven Reduzierung des Grundluftwechsels infolge von Veränderungen im Bereich der Haustechnik	256
	Literaturverzeichnis	259
	Stichwortverzeichnis	275

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkungen zu den technischen Inhalten

In der Sachverständigenpraxis nehmen Schäden aufgrund von Schimmelbildung als Gegenstand von Rechtsstreitigkeiten nach wie vor erheblichen Raum ein. Hierbei richtet sich der Fokus zumeist nicht nur auf die üblicherweise am Bauprozess Beteiligten – Planer, ausführende Firma, Bauleiter etc. –, sondern auch auf die Nutzer eines Gebäudes oder einer Wohnung. Die Frage, die in diesem Zusammenhang insbesondere im Rahmen von Gerichtsgutachten gestellt wird, lautet in Kurzform: Sind die gerügten Schäden nutzungs- oder konstruktionsbedingt? Im vorliegenden Buch werden Verfahren und die zu-grunde liegenden Zusammenhänge beschrieben, die eine sachlich begründete Beantwortung dieser Frage ermöglichen.

Abgesehen von einer zunehmenden Sensibilisierung für die gesundheitlichen Aspekte von Schimmelbefall sind die Gründe für den Umfang derartiger Streitigkeiten offenbar auch in der energiepolitischen und bautechnischen Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte zu sehen. Diese ist seit dem Beginn der 1970er-Jahre vor allem von einer zunehmenden Verknappung und Verteuerung fossiler Energieträger geprägt. Spätestens seit dem Ende der 1980er-Jahre kommt die Notwendigkeit der Reduzierung des CO₂-Ausstoßes in die Erdatmosphäre unter dem Eindruck einer sukzessiven globalen Klimaerwärmung hinzu. Die hieraus resultierenden wirtschafts-, energie- und umweltpolitischen Bestrebungen zur Einsparung von Primärenergie haben schon durch die Gesetzgebung (Wärmeschutzverordnungen [WschVO, 1977], [WschVO, 1982] und [WschVO, 1994] sowie die Einsparverordnungen [EnEV, 2001], [EnEV, 2004], [EnEV, 2007], [EnEV, 2009] und [EnEV, 2013]) in hohem Maße die allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie die einschlägigen Regelwerke beeinflusst. Zusätzlich ausgewirkt haben sich nicht zuletzt auch die gewachsenen Ansprüche an den Wohnkomfort, sodass insgesamt bauphysikalisch immer leistungsfähigere Gebäudehüllen entwickelt wurden, die komplexen, ja bisweilen scheinbar gegensätzlichen bauphysikalische Anforderungen gerecht werden müssen.

Damit diese »Hightech-Produkte« funktionieren können, ist nicht nur eine differenzierte Abstimmung der einzelnen Komponenten und ihrer Eigenschaften aufeinander im Rahmen einer qualifizierten Planung und hochwertigen Ausführung erforderlich. Darüber hinaus ist auch eine sachgerechte Hand-

habung durch den Nutzer notwendig. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung der hier betrachteten Besiedlung von Bauteiloberflächen durch Schimmelpilze.

Dagegen wird Schimmelbildung innerhalb von Bauteilen oder zwischen Bau- teilschichten in aller Regel nicht wesentlich durch das Nutzerverhalten (Hei- zen und Lüften) in Wohnräumen beeinflusst. Sie wird vielmehr durch Bau- mängel, Havarien o. ä. verursacht und ist insofern allenfalls mittelbar durch das Nutzerverhalten beeinflussbar. Sie bleibt deshalb in der nachfolgenden Darstellung im Wesentlichen unberücksichtigt.

Aus dem Spannungsfeld zwischen den Eigenschaften einer gegebenen bau- lichen Situation einerseits und deren Nutzung andererseits erwächst im Fall eines Schadens – wie eingangs bereits erwähnt – beinahe zwangsläufig die juristische Problemstellung, in wessen Verantwortungsbereich die Schadens- ursachen liegen. Die Beantwortung dieser Frage erfordert möglichst weitge- hende Kenntnisse der streitgegenständlichen baulichen und juristischen Rand- bedingungen, aber auch der bauphysikalischen Zusammenhänge. Sie muss deshalb einhergehen mit der differenzierten Abwägung sämtlicher relevanter Einflussfaktoren. Eine umfassende Darstellung hierzu im vorliegenden Buch ist für diese sehr vielschichtige Problematik nicht zuletzt auch erforderlich, weil die Darstellung dieses in den Medien relativ breit diskutierten Themas überwiegend wenig sachgerecht erfolgt und in der Praxis allzu häufig nicht sämtliche Randbedingungen adäquat berücksichtigt werden. Insofern wurde großer Wert auf eine vollständige und in sich schlüssige Aufbereitung sämt- licher Zusammenhänge gelegt, auch wenn Teile dieser Darstellung bereits in anderen Quellen, beispielsweise in [Jenisch, 2001], [Hankammer, 2003], [Bonk, 2004] und [Krätschell, 2012], enthalten sind.

In Bezug auf Schadensbilder im Bereich von Wärmebrücken (Kanten, Ecken, Anschlüsse, Durchdringungen etc.; Bild 1) in normal beheizten, zu Wohn- oder ähnlichen Zwecken genutzten Räumen werden im Kapitel 6 im Hinblick auf diese Problemstellung zwei Verfahren vorgestellt, die in technischer Hinsicht eine Abgrenzung zwischen nutzerverursachten und konstruktionsbedingten Schäden nachvollziehbar ermöglichen und hierauf aufbauend eine zielführende juristische Bewertung erlauben. Dabei handelt es sich zum einen um ein Rechenverfahren, mit dessen Hilfe im Rückschluss aus den wärmeschutztechnischen Bauteileigenschaften eine Abschätzung möglich ist, welches Nutzerverhalten zur Vermeidung von Schimmelbildung in den betroffenen Bereichen erforderlich wäre (‘Verfahren der erweiterten Wärmebrückeneberechnungen’).

Zum anderen werden die Möglichkeiten sogenannter Datenlogger-Messun- gen, also von kontinuierlichen Aufzeichnungen des Raumklimas und der

Oberflächentemperaturen in den betroffenen Bereichen, im Zusammenhang mit der Beurteilung der Ursachen von Schimmelbildung beschrieben („Verfahren der komplexen Datenloggermessungen“).

Die nachfolgenden Kapitel 2 bis 5 erläutern in diesem Zusammenhang

- die bauphysikalischen und mikrobiologischen Grundlagen,
- die für eine umfassende Grundlagenermittlung notwendigen bzw. möglichen Untersuchungsmethoden sowie
- die zur Verfügung stehenden bzw. zu berücksichtigenden Beurteilungskriterien.



Bild 1 ■ Typische Schimmelbildung im Bereich von Wärmebrücken (hier: Gebäudeaußenkante)

Kapitel 7 behandelt die Besonderheiten von Tauwasser- und Schimmelbildung in Kellerräumen infolge sogenannter Sommerkondensation, d. h. ohne das Vorliegen von Einflüssen aus Durchfeuchtungen im Zusammenhang mit defekten Bauwerksabdichtungen (Bild 2).

Grundsätzliche Möglichkeiten der Instandsetzung werden im Kapitel 8 erläutert.

Es ist darauf hinzuweisen, dass gerade für die in diesem Buch behandelten Themen eine standardisierte Betrachtungsweise in der Regel nicht zielführend sein wird. Um ein befriedigendes Ergebnis zu erzielen und dabei Aufwand

und Nutzen in einem vernünftigen Verhältnis zu halten, ist vielmehr eine auf den jeweiligen Einzelfall mit allen seinen Facetten abgestimmte Herangehensweise sinnvoll und notwendig.

Gemeinsam ist den hier behandelten Problemstellungen darüber hinaus zum einen, dass die Grenze zwischen einem nutzungsbedingten Schaden und einer Verursachung durch bauliche Defizite oft nur schwer zu ziehen ist. Von besonderer Bedeutung ist es daher bei der Beurteilung derartiger Schäden, sämtliche wesentlichen Einflüsse zu erfassen und sachgerecht zu bewerten.

Zum anderen ist für die hier behandelten Themenkreise die enge Verquickung zwischen technischen und juristischen Aspekten charakteristisch. Auch hier sind die Übergänge fließend. Aus diesem Grund wird zusammenfassend im Kapitel 9 und – wo erforderlich – ergänzend zu den einzelnen Themengebieten, auch die den übrigen Beteiligten oft fremde Sichtweise der Juristen erläutert. Dies ist insbesondere für den Bausachverständigen, der mit seiner technischen Beurteilung die Grundlage für die juristische Einschätzung liefern soll, aber auch für die Betroffenen – Hausverwaltungen, Wohnungsbaugesellschaften und nicht zuletzt die Nutzer selbst – von entscheidender Bedeutung, da nur unter Beachtung der juristischen Sichtweise die jeweiligen Argumente richtig gesetzt werden können.

Den Abschluss bilden in Kapitel 10 ausgewählte Schadensbeispiele, anhand derer die Schadensmechanismen veranschaulicht und die jeweils vorgestellten Möglichkeiten der Beurteilung demonstriert werden.



Bild 2 ■ Flächige Schimmelbildung in einem Keller im Sommer

1.2 Vorbemerkungen zu den juristischen Inhalten

Der juristische Teil (Kapitel 9) befasst sich kurSORisch mit den wesentlichen Fragestellungen, die bei der juristischen Bewertung von konstruktiven Ursachen und Nutzereinflüssen auf Schimmelschäden an Wänden und Decken auftreten. Dabei soll der Schwerpunkt nicht alleine bei der Betrachtung mietrechtlicher Probleme liegen, auch wenn diese im Zusammenhang mit Schimmelschäden in der Praxis einen besonders hohen Stellenwert haben. Vielmehr soll – allerdings beschränkt auf die zivilrechtliche Seite und insbesondere ohne näher auf das öffentliche Recht einzugehen – ein Überblick darüber geben werden, welche Rechtsbeziehungen bei der juristischen Bewertung von Schimmelschäden von Bedeutung sind und welche gesetzlichen Regelungen und Rechtssätze hierbei am häufigsten Anwendung finden.

Dabei kann der juristische Teil dieses Buches aufgrund seines geringen Umfangs und der Komplexität der durch dieses Thema tangierten Rechtsfragen nur eine kurze Einführung sein. Die dargestellten Rechtsprechungsbeispiele dienen lediglich der Verdeutlichung und haben keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Soweit auf Instanzrechtsprechung verwiesen wird, sind abweichende Auffassungen anderer Instanzgerichte durchaus möglich. Der an Vertiefung interessierte Leser muss insoweit auf die juristischen Standardwerke und Kommentare verwiesen werden.

2 Bauphysikalische und mikrobiologische Grundlagen

2.1 Vorbemerkungen

Die Beurteilung der Ursachen für tauwasser- und schimmelbedingte Schadensbilder setzt die Kenntnis einiger grundlegender bauphysikalischer und mikrobiologischer Zusammenhänge voraus. Davon ausgehend, dass diese im Wesentlichen vorhanden bzw. im Zusammenhang mit der hier behandelten Problemstellung nur in einer begrenzten Tiefe von Interesse sein dürften, beschränken sich die folgenden Kapitel auf eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Grundlagen. Zur Ergänzung sei auf die ausführlicheren Darstellungen z.B. in [Willems, 2013], [Trautmann, 2003] und [Messal, 2014] hingewiesen.

2.2 Symbole, Größen und Einheiten

In der Tabelle 1 sind die in diesem Buch verwendeten Symbole und Größen nebst ihren physikalischen Einheiten zusammengestellt. Der Vollständigkeit halber und zum besseren Verständnis älterer Quellen sind hier ebenfalls die älteren Symbole, Bezeichnungen, Einheiten und – soweit erforderlich – entsprechende Umrechnungsfaktoren erfasst (z.B. für den Wärmestrom: 1 kcal/h = 1,163 W¹).

Der Einheitlichkeit halber finden in diesem Buch analog zum europäischen Normenwerk durchgängig die aktuellen Symbole und Bezeichnungen in Anlehnung an z.B. DIN EN ISO 7345 Anwendung.

¹ In den Ausgaben der DIN 4108 bis einschließlich der bis 1981 gültigen Ausgabe vom August 1969 wurde noch das Technische Maßsystem (TMS) verwendet. Erst mit der Ausgabe von 1981 fand das neue SI-System oder MKS-System (für: Meter, Kilogramm, Sekunde) Anwendung, sodass die angegebenen Kenn- und Grenzwerte nicht direkt vergleichbar sind.

Tabelle 1 ■ Übersicht über die verwendeten Größen, Symbole und Einheiten

Symbol	älteres Symbol	Größe	Einheit	ältere Einheit	Umrechnungsfaktor ältere in die aktuelle Einheit
t	–	Zeit, Zeitabschnitt	h; s	–	–
l	–	Länge	m	–	–
d	s	Dicke (Schichtdicke)	m	–	–
A	–	Fläche	m^2	–	–
V	–	Volumen	m^3	–	–
m	–	Masse	kg	–	–
ρ	–	Bemessungswert der Rohdichte	kg/m^3	–	–
λ	–	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	$W/(mK)$	$kcal/(mh^\circ)$	1,16355
μ	–	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	–	–	–
p	–	Wasserdampfdruck	Pa	mmWS	9,80665
Δp	–	raumseitiges Dampfdruckgefälle, Differenzdruck, $p_i - p_e$	Pa	mmWS	9,80665
v	–	volumenbezogene Luftfeuchte; Wasserdampfkonzentration	g/m^3	–	–
Δv	–	raumseitiger volumenbezogener Feuchteüberschuss, raumseitige Feuchtelast $v_i - v_e$	g/m^3	–	–
M	–	raumseitiger Feuchteintrag	g	–	–
G	\dot{M}	raumseitiger zeitbezogener Feuchteintrag	$g/d; g/h$	–	–
φ_i	φ_i	relative Luftfeuchte, innen	% ¹⁾	–	–
φ_e	φ_a	relative Luftfeuchte, außen	% ¹⁾	–	–
a_w	–	Wasseraktivität (Maß für die Verfügbarkeit von Wasser zum biologischen Wachstum)	-2)	–	–
u	u_m	massebezogener Wassergehalt	% ¹⁾	–	–
T	–	thermodynamische Temperatur (Gradient)	K	$^\circ C$	1
θ	ϑ	Temperatur (absolut)	$^\circ C$	–	–
θ_i	ϑ_i	Lufttemperatur, innen	$^\circ C$	–	–
θ_e	ϑ_a	Lufttemperatur, außen	$^\circ C$	–	–

Symbol	älteres Symbol	Größe	Einheit	ältere Einheit	Umrechnungsfaktor ältere in die aktuelle Einheit
θ_{si}	ϑ_{oi}	Temperatur einer Bauteiloberfläche, innen	°C	—	—
θ_{se}	ϑ_{oa}	Temperatur einer Bauteiloberfläche, außen	°C	—	—
Λ	—	Wärmedurchlasskoeffizient	W/(m²K)	kcal/(m²h°)	1,163
R	1/Λ	Bemessungswert des Wärmedurchlasswiderstands	m²K/W	m²h°/kcal	0,865
R_T	1/k	Wärmedurchgangswiderstand von einer Umgebung zur anderen	m²K/W	m²h°/kcal	0,860
U	k	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m²K)	kcal/(m²h°)	1,163
Ψ	—	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	W/(mK)	—	—
R_{si}	$1/\alpha_i$	Wärmeübergangswiderstand, innen	m²K/W	m²h°/kcal	0,860
R_{se}	$1/\alpha_a$	Wärmeübergangswiderstand, außen	m²K/W	m²h°/kcal	0,860
$f_{R_{si}}$	—	Temperaturfaktor	—2)	—	—
f_s	—	spezifische Temperaturabsenkung (auch: Temperaturredifferenzen-Quotient $\sigma_{R_{si}}$)	—2)	—	—
h	α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m²K)	kcal/(m²h°)	1,163
Φ	\dot{Q}	Wärmestrom	W	kcal	1,163
q	—	Wärmestromdichte	W/m²	kcal/m²	1,163
q	\dot{V}	Luftvolumenstrom	m³/h		
n	—	Luftwechselrate	h⁻¹	—	—
—	—	—	—	—	—
v	—	Geschwindigkeit	km/h; m/s	—	—
Q	a	Fugendurchlässigkeit (früher: Fugendurchlasskoeffizient)	$m^3/(hm^2); m^3/(hm)$	$\frac{m^3}{m \cdot h \cdot daPa^{2/3}}$	$a \cdot 0,1^{-2/3}$

1) auch als Dezimalzahl

2) Ausdruck als Dezimalzahl ($0 \leq x \leq 1$)

2.3 Bauphysikalische Grundlagen

2.3.1 Luftfeuchte

Die uns umgebende Luft ist ein Gemisch aus mehreren trockenen Gasen und Wasserdampf. Wieviel Wasserdampf von der Luft aufgenommen werden kann, ist abhängig von ihrer Temperatur; mit steigender Lufttemperatur steigt auch die aufnehmbare Feuchtemenge. Die sogenannte Sättigungsfeuchte bezeichnet diejenige Feuchtemenge, die bei einer bestimmten Temperatur maximal aufgenommen werden kann (Bild 3).

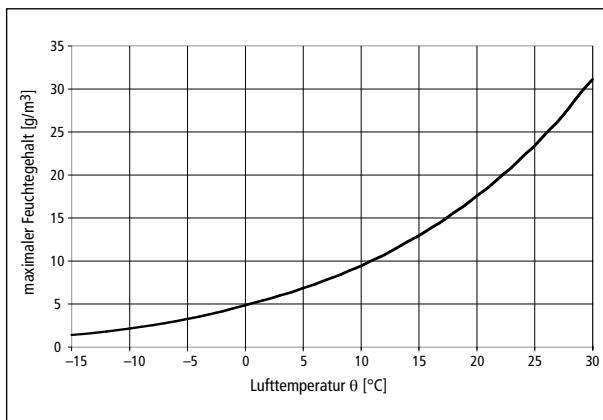


Bild 3 ■ Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Sättigungsfeuchte

Grundsätzlich ist zwischen der absoluten Luftfeuchte und der relativen Luftfeuchte zu unterscheiden. Die absolute Luftfeuchte oder Wasserdampfkonzentration v , bezeichnet die Masse Wasser bzw. Wasserdampf in Gramm, die ein Kubikmeter Luft enthält. Die relative Luftfeuchte φ dagegen gibt an, wieviel Prozent der Sättigungsfeuchte der Luft bei einer bestimmten Temperatur erreicht sind. Die relative Luftfeuchte ist demnach abhängig von zwei Größen – der absoluten Luftfeuchte und der Lufttemperatur. Sie wird von diesen wie folgt beeinflusst:

- zunehmende absolute Luftfeuchte und/oder sinkende Lufttemperatur bewirken ein Ansteigen der relativen Luftfeuchte,
- abnehmende absolute Luftfeuchte und/oder steigende Lufttemperatur führen zu einer sinkenden relativen Luftfeuchte.

In Tabelle 2 sind diesbezüglich die absoluten Luftfeuchten v [g/m^3] für Lufttemperaturen zwischen -5 und 30°C in Abhängigkeit von den relativen Luftfeuchten φ zwischen 10 und 100 % zusammengefasst.

Tabelle 2 ■ Wasserdampfkonzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte

Lufttemperatur θ [°C]	Wasserdampfkonzentration v [g/m³] bei einer relativen Luftfeuchte φ [%]									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
30	30,29	27,26	24,23	21,20	18,17	15,15	12,12	9,09	6,06	3,03
29	28,69	25,82	22,95	20,08	17,21	14,35	11,48	8,61	5,74	2,87
28	27,16	24,45	21,73	19,01	16,30	13,58	10,87	8,15	5,43	2,72
27	25,71	23,14	20,57	18,00	15,42	12,85	10,28	7,71	5,14	2,57
26	24,32	21,89	19,46	17,02	14,59	12,16	9,73	7,30	4,86	2,43
25	23,00	20,70	18,40	16,10	13,80	11,50	9,20	6,90	4,60	2,30
24	21,74	19,56	17,39	15,22	13,04	10,87	8,69	6,52	4,35	2,17
23	20,54	18,48	16,43	14,38	12,32	10,27	8,21	6,16	4,11	2,05
22	19,39	17,45	15,52	13,58	11,64	9,70	7,76	5,82	3,88	1,94
21	18,31	16,48	14,65	12,82	10,98	9,15	7,32	5,49	3,66	1,83
20	17,27	15,55	13,82	12,09	10,36	8,64	6,91	5,18	3,45	1,73
19	16,29	14,66	13,03	11,40	9,77	8,14	6,52	4,89	3,26	1,63
18	15,36	13,82	12,28	10,75	9,21	7,68	6,14	4,61	3,07	1,54
17	14,47	13,02	11,57	10,13	8,68	7,23	5,79	4,34	2,89	1,45
16	13,62	12,26	10,90	9,54	8,17	6,81	5,45	4,09	2,72	1,36
15	12,82	11,54	10,26	8,98	7,69	6,41	5,13	3,85	2,56	1,28
14	12,06	10,86	9,65	8,45	7,24	6,03	4,83	3,62	2,41	1,21
13	11,34	10,21	9,08	7,94	6,81	5,67	4,54	3,40	2,27	1,13
12	10,66	9,60	8,53	7,46	6,40	5,33	4,26	3,20	2,13	1,07
11	10,01	9,01	8,01	7,01	6,01	5,01	4,01	3,00	2,00	1,00
10	9,40	8,46	7,52	6,58	5,64	4,70	3,76	2,82	1,88	0,94
9	8,82	7,94	7,06	6,18	5,29	4,41	3,53	2,65	1,76	0,88
8	8,27	7,45	6,62	5,79	4,96	4,14	3,31	2,48	1,65	0,83
7	7,75	6,98	6,20	5,43	4,65	3,88	3,10	2,33	1,55	0,78
6	7,26	6,54	5,81	5,08	4,36	3,63	2,91	2,18	1,45	0,73
5	6,80	6,12	5,44	4,76	4,08	3,40	2,72	2,04	1,36	0,68
4	6,36	5,73	5,09	4,45	3,82	3,18	2,54	1,91	1,27	0,64
3	5,95	5,35	4,76	4,16	3,57	2,97	2,38	1,78	1,19	0,59
2	5,56	5,00	4,45	3,89	3,34	2,78	2,22	1,67	1,11	0,56
1	5,19	4,67	4,15	3,63	3,11	2,60	2,08	1,56	1,04	0,52
0	4,85	4,37	3,88	3,40	2,91	2,43	1,94	1,46	0,97	0,49
-1	4,48	4,04	3,59	3,14	2,69	2,24	1,79	1,35	0,90	0,45
-2	4,14	3,73	3,31	2,90	2,48	2,07	1,66	1,24	0,83	0,41
-3	3,82	3,44	3,06	2,67	2,29	1,91	1,53	1,15	0,76	0,38
-4	3,52	3,17	2,82	2,47	2,11	1,76	1,41	1,06	0,70	0,35
-5	3,25	2,92	2,60	2,27	1,95	1,62	1,30	0,97	0,65	0,32

Steigt die relative Luftfeuchte aufgrund eines Ansteigens der absoluten Luftfeuchte (Feuchteintrag) oder eines Abkühlens der Lufttemperatur auf 100 %, ist die Sättigungsfeuchte erreicht und überschüssige, von der Luft nicht mehr aufnehmbare Feuchte fällt als Tauwasser aus (Nebel oder Kondensat an Oberflächen).

In Innenräumen kann es zu einem Ansteigen der relativen Luftfeuchte insbesondere aus folgenden Gründen kommen:

- **Zuführung von Feuchte (Wasserdampf):**

In bewohnten Räumen wird der Luft durch tägliche Verrichtungen (z. B. Kochen, Waschen, Duschen) sowie die Feuchteabgabe vor allem des menschlichen Körpers beständig Feuchte zugeführt. Die Größe dieser Feuchtebelastung wird im Rahmen der jeweiligen Bewertungskriterien ausführlicher im Kapitel 6.3.4.2 dargestellt.

- **Reduzierung der Lufttemperatur:**

Ein Ansteigen der relativen Luftfeuchte in einem Raum kann ohne Feuchtezufuhr auch durch ein Absinken der Raumlufttemperatur, beispielsweise durch Nachtabsenkung oder Abschalten der Heizungsanlage, erfolgen. Wie Bild 5 zeigt, kann kältere Luft weniger Feuchte (Wasserdampf) aufnehmen als wärmere. So bewirkt die Abkühlung der Luft in einem Raum mit einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von $\varphi = 50\%$ auf eine Temperatur von 15 °C bei gleichbleibendem absoluten Feuchtegehalt beispielsweise eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte auf $\varphi = 68\%$.

2.3.2 Oberflächentauwasser

Tauwasser fällt entsprechend den Ausführungen in Kapitel 2.3.1 in dem Moment aus, in dem die Luft aufgrund von Feuchtezufuhr bzw. Abkühlung wasergesättigt ist, d. h. die relative Luftfeuchte $\varphi = 100\%$ erreicht. Zur Bildung von Tauwasser auf Bauteiloberflächen ist es jedoch nicht erforderlich, dass die Raumluftfeuchte im gesamten betrachteten Raum dieses Maß erreicht. Da vielmehr die Lufttemperatur in der Übergangszone zu den kälteren Bauteiloberflächen gegenüber der übrigen Raumluft geringer ist, kann Tauwasserbildung an Bauteiloberflächen auftreten, wenn die Taupunkttemperatur im Bereich kälterer Oberflächen, z. B. Wärmebrücken, erreicht bzw. unterschritten wird, ohne dass die relative Raumluftfeuchte insgesamt $\varphi = 100\%$ erreicht (Bild 4). Je nach Tauwassermenge und Sorptionsfähigkeit des Untergrundes muss die Tauwasserbildung nicht sofort augenfällig werden.

Der Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Taupunkttemperatur ist in Bild 5 dargestellt. Dementsprechend beträgt beispielsweise für ein Raumklima von $\theta_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$ und $\varphi_i = 50\%$ die Taupunkttemperatur $\theta_{\text{sat}} = 9,3\text{ }^\circ\text{C}$.

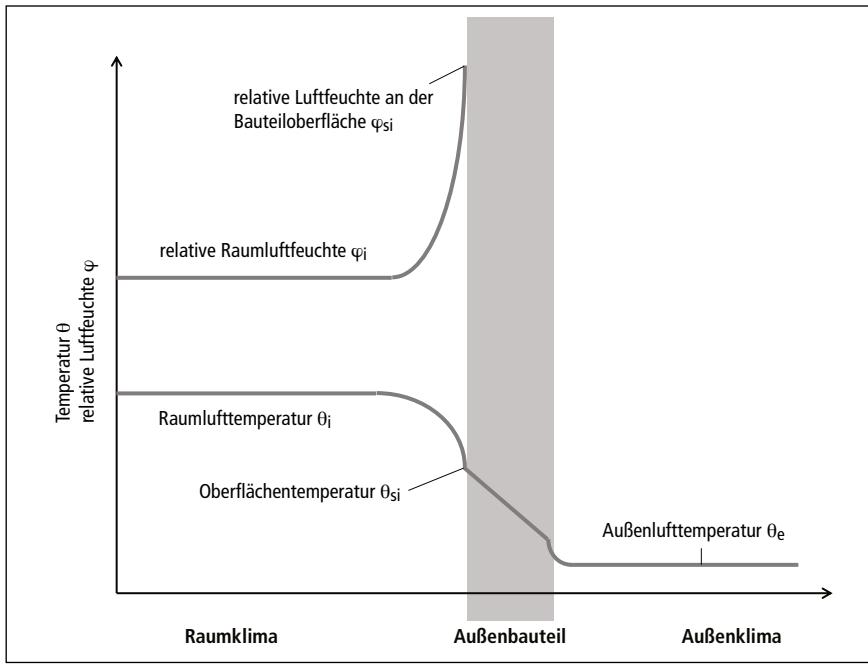


Bild 4 ■ Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte an einer Bauteiloberfläche; erreicht die relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche $\varphi_{si} = 100\%$, kommt es zur Kondensation, d.h. zum Ausfall von Tauwasser.

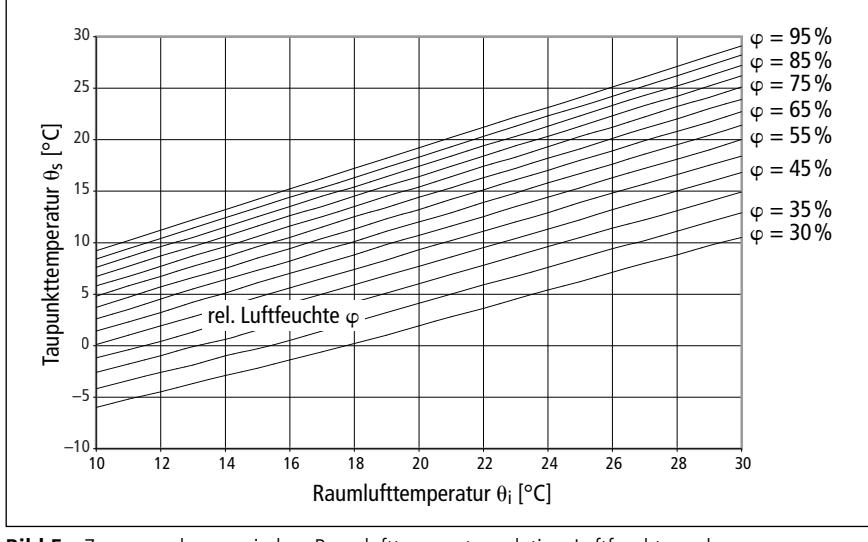


Bild 5 ■ Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Taupunkttemperatur

2.4 Mikrobiologische Grundlagen

Die Mykologie unterscheidet weit mehr als 100 000 Arten von Schimmelpilzen, von denen ca. 150 Arten innenraumrelevant sind. Ein Teil davon, beispielsweise die Gattungen *Penicillium* oder *Cladosporium*, ist in unseren Breiten ubiquitär, d.h. diese Gattungen sind nahezu überall in unserer Umgebung zu finden. So ist in der Luft, aber insbesondere auch in dem uns umgebenden Staub, permanent eine große Menge von Schimmelpilzsporen enthalten.

Andere Arten – beispielsweise *Aspergillus versicolor*-Komplex, *Aspergillus restrictus* oder *Chaetomium spp.*² – sind in der Umgebungsluft und im unbelasteten Staub eher selten zu finden, besitzen insofern eine indizierende Funktion für feuchtebedingte Schadensbilder [Hankammer, 2003]. Sie können im Rahmen mikrobiologischer Untersuchungen Hinweise auf die Schadensursachen geben (Kapitel 4.9).

Abgesehen von der optischen Beeinträchtigung, der schädigenden Wirkung z.B. für Wandbekleidungen, der Geruchsbelästigung oder anderen unangenehmen Begleiterscheinungen eines Schimmelpilzbefalls, können die hierbei verstärkt freigesetzten Sporen beim Menschen unter bestimmten Voraussetzungen auch eine ernsthafte, beeinträchtigende Wirkung auf die Gesundheit haben. Kritische Konzentrationen von lebenden oder abgetöteten Schimmelpilzsporen bzw. großflächiger Befall können in Abhängigkeit von der Prädisposition Risiken im Hinblick auf allergische Reaktionen, toxische Wirkungen und Infektionen mit sich bringen [UBA, 2002], [UBA, 2005] und [UBA, 2017].

Ein Ansiedeln, d.h. Auskeimen und Myzelwachstum, ist für Schimmelpilzsporen prinzipiell jedoch nur dann möglich, wenn ihre Lebensbedingungen erfüllt sind. In diesem Zusammenhang sind als wesentliche Einflussfaktoren der Feuchtegehalt, der pH-Wert und das Nährstoffangebot sowie die Temperatur des zu besiedelnden Untergrundes zu nennen. Diesbezüglich ergaben verschiedene Untersuchungen seit dem Beginn der 1990er-Jahre, dass die Lebensbedingungen von Schimmelpilzen nicht erst bei Tauwasserausfall an Bauteiloberflächen, sondern bereits bei einer oberflächennahen relativen Luftfeuchte von etwa 80 % gegeben sind [Waubke, 1990], [Erhorn, 1990], [Gertis, 2000], [Sedlbauer, 2001], [Messelal, 2014]. Bei üblichen Bauteiloberflächen von Wänden und Decken kann zudem normalerweise ein ausreichendes Nähr-

2 Der erste Teil des Namens von Pilzen bezeichnet die Gattung, der zweite Teil die Art (lat. *species*). Werden einzelne Arten einer Gattung nicht benannt oder können diese z.B. im Rahmen mikrobiologischer Untersuchungen mit vertretbarem Aufwand nicht unterschieden werden, wird dem Gattungsnamen anstelle der Artenbezeichnung *sp.* (als Abkürzung für *species*) bzw. bei mehreren, sich ggf. überwachenden Arten einer Gattung die Abkürzung für die Mehrzahl *spp.* angehängt.

stoffangebot zum einen aufgrund des in aller Regel relativ hohen Anteils an organischen Stoffen in den Wandbekleidungen (Tapeten, Klebstoffe, Holz, Dichtungsmassen) und zum anderen alleine schon aufgrund der üblicherweise vorhandenen Staubablagerungen vorausgesetzt werden. Der pH-Wert tritt insofern in den Hintergrund. Auch stellen die innerhalb von Gebäuden üblicherweise auftretenden Oberflächentemperaturen für die meisten der in diesem Zusammenhang relevanten Schimmelpilzgattungen zumindest kein Hindernis für eine Besiedlung dar, wenngleich die optimalen thermischen Bedingungen allgemein erst bei etwas höheren Temperaturen gegeben sind [Sedlbauer, 2003]. Insofern treten diese Bedingungen bei der Beurteilung von Schadensursachen hinter dem Einfluss des Feuchteangebots zurück. Sofern dem Aspekt des Nährstoffangebots aufgrund spezieller Randbedingungen oder der Berücksichtigung außergewöhnlicher Verschmutzungen nicht besondere Bedeutung zukommt, ist deshalb im Rahmen der Beurteilung von Schadensursachen das Feuchteangebot für die Besiedlung innenseitiger Bauteiloberflächen mit Schimmelpilzen als entscheidendes Kriterium anzusehen.

Entsprechend [Sedlbauer, 2003] muss davon ausgegangen werden, dass eine auf einer Oberfläche abgelagerte Spore vor dem Beginn der biologischen Aktivität den Wasserbedarf zunächst ausschließlich durch Aufnahme von Feuchte aus der Luft deckt. Erst mit dem Beginn der Auskeimung und des Myzelwachstums kann über das Myzel Feuchte auch aus dem Untergrund aufgenommen werden. Das entstehende Hyphengeflecht kann dann bis zu einer Tiefe von mehreren Millimetern in das Porengefüge von Baustoffen einwachsen.

Auf der Grundlage der Untersuchung der Wachstumsbedingungen der wesentlichen in Innenräumen auftretenden Schimmelpilzarten wurden idealisierte Isoplethendarstellungen, also Linien gleichen Wachstums in Abhängigkeit vom relativen Feuchtegehalt der Luft und von der Temperatur, für unterschiedliche Substrate entwickelt (Bild 6) [Sedlbauer, 2003]. Abgesehen von optimalen Nährböden (z. B. Vollmedien; Substratgruppe 0) werden für den baupraktisch relevanten Bereich die Substratgruppen I und II unterscheiden, die wie folgt definiert werden:

- **Substratgruppe I:** biologisch verwertbare Substrate, wie z. B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus biologisch verwertbaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen,
- **Substratgruppe II:** Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z. B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe aus nicht abbaubaren Rohstoffen.

Hieraus lässt sich ableiten, dass die Wachstumsvoraussetzungen für fast alle relevanten Arten in Übereinstimmung mit den weiter oben genannten Untersuchungen bei einer Wasseraktivität im Bereich der Bauteiloberflächen von $a_w = 0,8$, d. h. bei 80 % relativer Oberflächenfeuchte prinzipiell erreicht sind. Nur sehr wenige Pilzarten benötigen deutlich höhere Feuchtegehalte oder sogar das Auftreten von Wasser in tropfbar flüssiger Form [Sedlbauer, 2003].

Über den Zeitraum, über den eine derartige oberflächennahe Wasseraktivität gegeben sein muss, bevor es zu der oben beschriebenen biologischen Aktivität kommt, werden in der Literatur verschiedene Angaben gemacht [Sedlbauer, 2003]. Allgemein wird derzeit für das Bauwesen – zweckmäßigerweise, jedoch sehr stark vereinfacht [Messal, 2014] – davon ausgegangen, dass mit der Besiedlung durch Schimmelpilze zu rechnen ist, wenn eine relative Oberflächenfeuchte von $\varphi_i \geq 80\%$ über längere Zeit erreicht wird. Während DIN EN ISO 13788 diese Bedingung im Zusammenhang mit Berechnungen an einen monatlichen Mittelwert knüpft, gehen [Sedlbauer, 2003], [Richter, 1999] und der DIN Fachbericht 4108-8 davon aus, dass die Bedingungen für das Auskeimen von Schimmelpilzen bereits gegeben sind, wenn entsprechende Oberflächenfeuchten an fünf Tagen hintereinander über 12 Stunden gegeben sind. Die 80 %-Grenze hat sich dabei in den vergangenen Jahren zum Hauptkriterium bei der Beurteilung von Schimmelbildung entwickelt und Eingang in die wärme- und feuchteschutztechnische Normung gefunden. Sie bildet die Grundlage für die Formulierung wärmeschutztechnischer (Mindest)-Anforderungen z. B. in DIN EN ISO 13788 sowie DIN 4108-2 und -3.

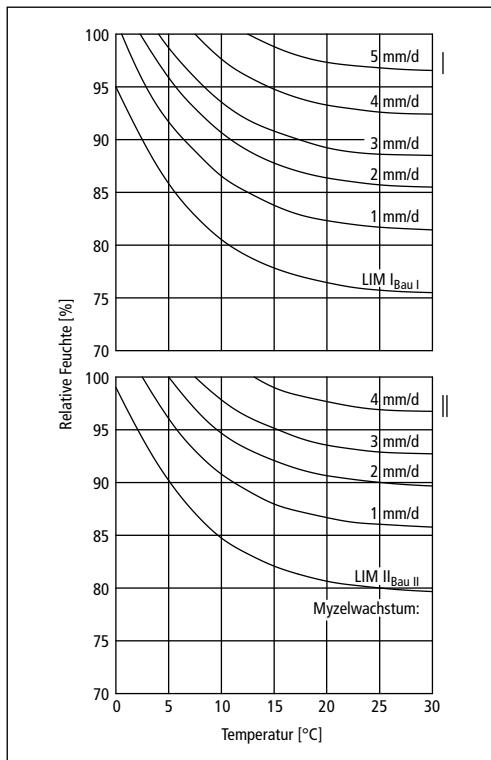


Bild 6 ■ Verallgemeinertes Isoplethen-System für alle Pilze auf den Substratgruppen I und II aus [Sedlbauer, 2003]:

Unterhalb des LIM_{Bau} ist auf Baustoffen der entsprechenden Substratgruppe mit keiner biologischen Aktivität zu rechnen.

Zusammenfassend kann deshalb festgehalten werden, dass für die Beurteilung der Verursachung eines Schimmelpilzbefalls die durch die Oberflächentemperatur und die relative Raumluftfeuchte beeinflusste Wasseraktivität im Bereich der Bauteiloberflächen die entscheidende zu betrachtende physikalische Größe darstellt. Daneben stellen auch wachstumsfördernde Verschmutzungen bzw. fehlende Reinigung als Verbesserung des Nährbodens ein wesentliches Kriterium dar.

3 Schimmelgefährdete Bereiche

3.1 Wärmebrücken

3.1.1 Allgemeines

Da sich die Bauteiloberflächen im Bereich von Wärmebrücken kälter anfühlen als in anderen Zonen und hier subjektiv der Eindruck entsteht, als ob Kälte von außen durch die Gebäudehülle nach innen dringe, ist umgangssprachlich oft von »Kaltebrücken« die Rede. Diese bildhafte Beschreibung ist jedoch irreführend, da Kälte keine Energieform darstellt, sondern vielmehr das Fehlen oder verstärkte Abströmen von Wärmeenergie bezeichnet. Physikalisch wird insofern der Transport von Wärmeenergie von einem höheren zu einem niedrigeren Niveau beschrieben. Bereiche, in denen aufgrund geometrischer oder konstruktiver Störungen im Konstruktionsaufbau einer Gebäudehülle im Vergleich zu den angrenzenden, ungestörten Bereichen mehr Wärmeenergie von der wärmeren zur kälteren Seite abgegeben wird, werden deshalb physikalisch korrekt als Wärmebrücken bezeichnet. Dieser verstärkte Wärmestrom hat u. a. ein Absinken der Oberflächentemperaturen zur Folge, was zu dem oben erläuterten Empfinden führt.

Dieses Phänomen des Auskühlens von Bauteiloberflächen, das für das Entstehen kritischer Oberflächenfeuchten und die Besiedlung durch Schimmelpilze von großer Bedeutung ist, kann jedoch auch auf andere Zusammenhänge zurückgeführt werden. Diese haben zwar insofern eine wärmebrückenähnliche Wirkung, stellen jedoch aufgrund der fehlenden charakteristischen Veränderung des Wärmestroms im physikalischen Sinne keine Wärmebrücken dar. Dies gilt beispielsweise für Bereiche, in denen die Konvektion der Raumluft geometrisch bedingt oder durch thermische Abschirmung (z. B. unmittelbar vor einer Außenwand platzierte Möbel) behindert wird und die fälschlicherweise zuweilen als »konvektive Wärmebrücken« bezeichnet werden.

Auch Luftundichtheiten im Bereich der Gebäudehülle, die zu konvektiven Wärmeverlusten aufgrund abströmender warmer Luft führen, werden gelegentlich unzutreffend als Wärmebrücken bezeichnet.

Entsprechend den beiden oben genannten thermisch wirksamen Störungen von Konstruktionsaufbauten unterscheidet man die nachfolgend erläuterten Arten von Wärmebrücken – konstruktive und geometrische Wärmebrücken.

3.1.2 Konstruktive oder stoffliche Wärmebrücken

Konstruktive oder stoffliche Wärmebrücken sind Bereiche einer Gebäudehülle, in denen Baustoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit, also schlechter Wärmedämmung, neben Stoffen mit deutlich geringerer Wärmeleitfähigkeit, also guter Wärmedämmung, vorhanden sind. Auch Durchdringungen gut wärmedämmender Schichten durch Stoffe oder Bauteile mit hoher Wärmeleitfähigkeit fallen unter diese Gruppe von Wärmebrücken³. Ein charakteristisches Beispiel für derartige Wärmebrücken sind ungedämmte Stahlbetonstützen in einer Mauerwerkswand (Bild 7).

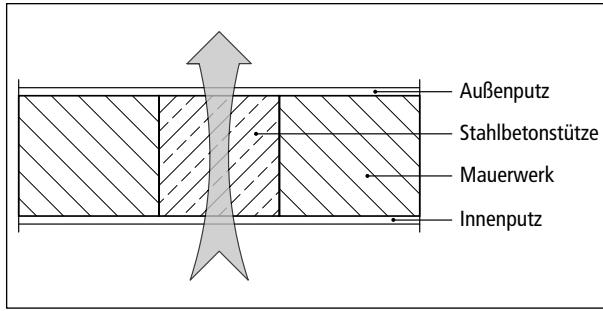


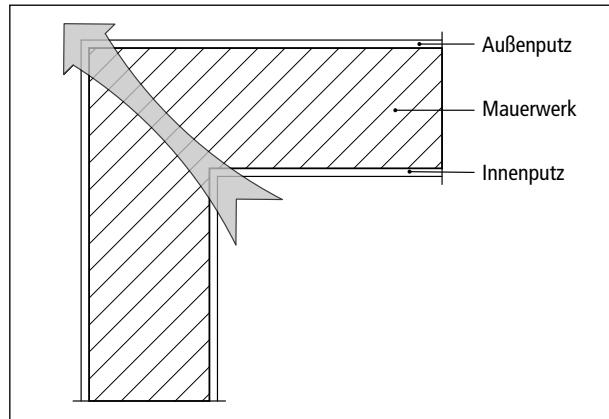
Bild 7 ■ Konstruktive Wärmebrücke

3.1.3 Geometrische Wärmebrücken

Von einer geometrischen Wärmebrücke spricht man, wenn einer kleinen wärmeaufnehmenden, innenseitigen Oberfläche der Gebäudehülle außenseitig eine größere wärmeabgebende Oberfläche gegenübersteht (»Kühlrippeneffekt«). Eine typische geometrische Wärmebrücke stellt beispielsweise eine Gebäudeaußenkante dar (Bild 8).

Hieraus ergibt sich, dass derartige Bereiche naturgemäß in jeder Gebäudehülle vorhanden sind und nicht per se einen baulichen Mangel darstellen. Erst für den Fall, dass in einem derartigen Bereich aufgrund der hohen Wärmeabgabe nach außen im Winter innenseitig derart geringe Oberflächentemperaturen auftreten, dass auch bei einem normalen Heiz- und Lüftungsverhalten Tauwasser- oder Schimmelbildung auftreten können, sind auch geometrische Wärmebrücken und damit der wärmeschutztechnische Standard der betreffenden Gebäudehülle als kritisch einzustufen.

3 Hinweis: Bei dem in älteren Veröffentlichungen und wärmeschutztechnischen Regelwerken, z. B. den Ausgaben der DIN 4108 von 1952, 1960 und 1969, im Zusammenhang mit den Anforderungen an den Wärmeschutz benutzen Begriff »Wärmebrücke« sind in der Regel die vorstehend erläuterten stofflichen bzw. konstruktiven Wärmebrücken gemeint.



3.2 Erdberührte Bauteile (Sommerkondensation)

Ein weiteres Problem ist in den Sommermonaten in Kellerräumen auftretende Schimmelbildung. Betroffen sind dabei nicht nur die Innenseiten der Außenbauteile (Bild 2), sondern auch in den Räumen lagerndes Gut, Kleidung und Möbel etc. (Bild 9). Insofern spielen Wärmebrücken hier gegenüber den raumklimatischen Einflüssen eine untergeordnete Rolle. Meist tritt die Schimmel- oder sogar Tauwasserbildung erstmalig während oder nach einer schwül-warmen Hitzeperiode auf. Besonders gefährdet scheinen dabei Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser zu sein (vgl. [Oster, 2005]).



4 Untersuchungen und Grundlagenermittlung

4.1 Untersuchungen zu Abdichtungsmängeln und Leckagen

Wie bereits erläutert, stellt das Feuchteangebot im Bereich der Bauteiloberflächen eine wesentliche Voraussetzung für das Wachstum von Schimmel pilzen dar. Insofern sind – abgesehen von raumklimatisch bedingt erhöhten oberflächennahen Feuchtegehalten – selbstverständlich auch andere Ursachen für ein ausreichendes Feuchteangebot denkbar, nämlich in erster Linie das Eindringen oder Auslaufen tropfbar flüssigen Wassers. Diesbezüglich sind für Keller- und Erdgeschossräume sowie für unmittelbar an Balkone, Loggien, Flachdächer und Terrassen grenzende Wandbereiche vor allem Schäden an Bauwerksabdichtungen von Bedeutung. Auch in Bereichen, die an Bäder und Küchen grenzen, können entsprechende Schadensbilder z. B. durch Leckagen an Installationen hervorgerufen werden. Eine weitere, allerdings eher seltene Schadensursache kann in Form einer mangelhaften Schlagregendichtheit der Außenwände vorliegen. Darüber hinaus kann nach dem Bezug eines gerade fertiggestellten Gebäudes auch Baufeuchte eine Ursache für Schimmelbefall sein.

Bevor die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen und Grundlagenermittlungen im Hinblick auf ein raumklimatisch verursachtes Schadensbild in Angriff genommen werden oder sogar die in den Kapiteln 6.3 und 6.4 erläuterte aufwendige Betrachtung anhand differenzierter Beurteilungskriterien hierfür erfolgt, müssen die vorgenannten möglichen Ursachen für Schimmelbildung ausgeschlossen werden. Erfahrungsgemäß genügt hierzu in der überwiegenden Zahl der Fälle der Augenschein, da derartige Feuchteerscheinungen neben dem Auftreten von Schimmelpilzen zumeist mit wölkchenartigen Verfärbungen und deutlichen Trocknungsräändern oder sogar Salzausblühungen einhergehen und sich insofern deutlich von rein klimatisch bedingten Schadensbildern unterscheiden (Bild 10 und Bild 11).



Bild 10 ■ Feuchteschaden mit Schimmelbildung infolge von außen eindringenden Wassers mit den hierfür typischen Verfärbungen und Trocknungsranden

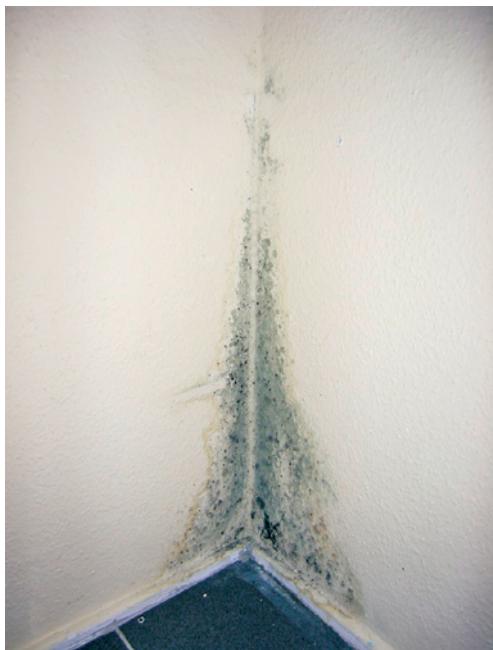


Bild 11 ■ Raumklimatisch bedingtes Schadensbild mit typischen schimmelartigen Ablagerungen

Darüber hinaus führen Undichtheiten und Leckagen im Rahmen von Feuchtemessungen, beispielsweise bei kapazitiven Messungen der oberflächennahen Feuchtegehalte (Kapitel 4.6), im Bereich der Schadensbilder in aller Regel zu punktuell und gegenüber sichtbar schadenfreien Wandbereichen relativ scharf abgegrenzten, signifikant erhöhten Messwerten. Bei wärmebrückenbedingten Schadensbildern hingegen ist die Erhöhung oberflächennaher Feuchtegehalte erfahrungsgemäß eher gering und weniger scharf gegenüber schadenfreien Bereichen abgegrenzt. Überdies trocknen durch Wärmebrücken

bedingte hohe Oberflächenfeuchten während der warmen Jahreszeit schnell ab, während dies bei Durchfeuchtungen infolge eingedrungenen flüssigen Wassers nicht der Fall ist. Dies gilt insbesondere für Tapeten, die während der Heizperiode bei erheblichem Tauwasserausfall fühlbar durchnässt sein können und dann auch zu hohen Feuchtemesswerten führen. Im Zweifelsfall können auch Baustoffproben entnommen und im Labor auf ihren Feuchtegehalt untersucht werden, um für einen Wandquerschnitt in seiner Dicke und Höhe zweidimensionale Feuchteprofile anzulegen. Auf diese Weise lassen sich insbesondere für erdbodennahe oder erdberührte Wandbereiche Indizien für mögliche Schadensursachen sammeln bzw. mögliche Schadensursachen gegeneinander abgrenzen.

Hinweise auf eine mangelhafte Schlagregendichtheit in der Fläche einer Fassade als möglicher Ursache für Schimmelbildung können durch Messungen z. B. mit dem sogenannten Karsten'schen Prüfrohr gewonnen werden (Bild 12), mit dem ein Regenereignis mit gleichzeitigem orkanartigen Winddruck auf die Fassade simuliert wird. So können Indizien für einen ungenügenden Witterungsschutz, beispielsweise eines Außenputzes oder einer Klinkerfassade, gewonnen werden [Karsten, 1963]. Relevante Schwachpunkte hinsichtlich der Schlagregendichtheit im Bereich von Anschlüssen, Durchdringungen etc. können zumeist bereits durch eine fachkundige Inaugenscheinnahme festgestellt werden.



Bild 12 ■ Messung des Wassereindringwiderstands einer Fassadenoberfläche mit dem Karsten'schen Prüfrohr

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass abdichtungs- oder installationstechnisch bedingte Schäden aufgrund des eingedrungenen und zur Raumluft verdunstenden Wassers natürlich auch zu einer Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte führen und auf diese Weise wiederum zu raumklimatisch bedingter Besiedlung mit Schimmelpilzen im Bereich wärme-

schutztechnischer Schwachpunkte beitragen können. Darüber hinaus führen Durchfeuchtungen von Bauteilen und Bauteilschichten (insbesondere Wärmedämmungen) in aller Regel zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit und damit zu einer Verringerung des Wärmedurchlasswiderstandes der betreffenden Baustoffe, wodurch in den betroffenen Bereichen verstärkt Wärme nach außen abgegeben und eine wärmebrückenartige Wirkung hervorgerufen werden kann.

4.2 Ermittlung der baulichen Randbedingungen

Eine unabdingbare Grundlage für die Beurteilung der Ursachen von Schimmelbildung ist zumindest bei der Anwendung rechnerischer Verfahren die Kenntnis der spezifischen baulichen Randbedingungen, unter denen das gezeigte Schadensbild aufgetreten ist.

In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, zunächst verfügbare Planungs-, Bestands- oder Vertragsunterlagen auszuwerten. Angaben zu Konstruktionsaufbauten von Bauteilanschlüssen, z.B. Anschlüssen der Außenwände an Decken, Dach, Fenster und Türen, sind jedoch insbesondere bei älteren Gebäuden häufig nicht in einer Detailplanung festgehalten, sodass hier weitergehende, ggf. auch zerstörende Untersuchungen und deren Dokumentation durch Anfertigung von Fotos oder auch Skizzen im Rahmen einer Ortsbesichtigung erforderlich werden können (Bild 13).

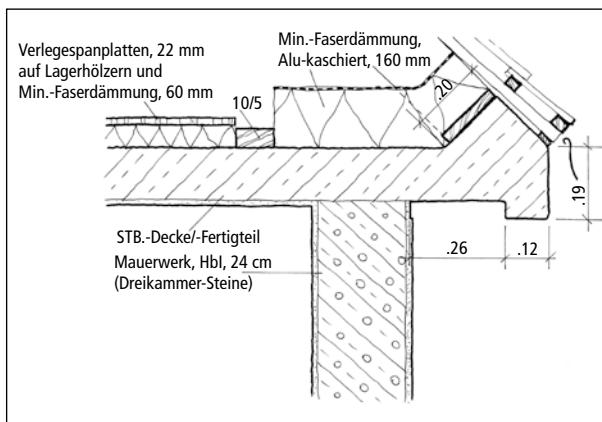


Bild 13 ■ Skizzenartige Aufnahme von Konstruktionsaufbauten

In keinem Fall kann jedoch die Auswertung entsprechender Unterlagen die Inaugenscheinnahme der schadensbetroffenen Bereiche vor Ort ersetzen. So sollten im Rahmen einer Ortsbesichtigung die vorab aus der Auswertung von

Unterlagen bekannten Informationen durch weitere Untersuchungen verifiziert und ergänzt werden. In erster Linie betrifft dies zumeist die Konstruktionsaufbauten der Gebäudehülle im Bereich der gerügten Schäden und ggf. weiterer wärmeschutztechnischer Schwachpunkte. Sofern keine detaillierten Angaben zu diesen Konstruktionsaufbauten vorliegen, können zerstörende Untersuchungen erforderlich werden – angefangen von punktuellen und mehr oder weniger kleinflächigen Öffnungen bzw. Demontagen bis hin zur Entnahme von Materialproben zur Bestimmung von Bauteilaufbauten (Bild 14) oder sogar zur labormäßigen Untersuchung der wärmeschutztechnischen Kennwerte.

Alternativ oder ergänzend können auch vorliegende Erfahrungen mit vergleichbarer Bausubstanz herangezogen bzw. der Literatur entnommen werden (z. B. [Ahnert, 2000], [Bargmann, 2013]).



Bild 14 ■ Entnommene Bohrkerne zur Bestimmung von Bauteilaufbauten, hier der Anordnung und Abmessung von Kammer- und Stegbereichen eines Leichtbeton-Hohlblock-(Hbl-) Mauerwerks

Lassen die gewonnenen Erkenntnisse keine eindeutige Beschreibung des Konstruktionsaufbaus bzw. der Materialkennwerte zu, können bei rechnerischen Untersuchungen Variantenbetrachtungen, beispielsweise für unterschiedliche Mauerwerksrohdichten bzw. -wärmeleitfähigkeiten, erforderlich werden. Ist eine sinnvolle Eingrenzung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften der zu untersuchenden Konstruktionsaufbauten nicht möglich, bieten sich als Alternative Oberflächentemperaturmessungen über einen längeren Zeitraum von zumindest mehreren Wochen an. In Kombination mit gleichzeitigen, kontinuierlichen Aufzeichnungen des Raumklimas kann dann auch – wie unten in Kapitel 6.4 ausführlich erläutert – eine Beurteilung des Schadensbildes ohne genaue Kenntnis der wärmeschutztechnischen Eigenschaften erfolgen. Diese Vorgehensweise bietet sich unter anderem auch bei dreidimensionalen Bauteilanschlüssen und/oder komplexeren Geometrien an.

4.3 Messung des Raumklimas

Auch Messungen des Raumklimas können Hinweise auf das Heiz- und Lüftungsverhalten der Nutzer geben, wobei derartige Messungen selbstverständlich ausschließlich in den Wintermonaten sinnvoll sind, in denen eine entsprechende Differenz zwischen den Außen- und Innentemperaturen gegeben ist. Grundsätzlich sind hier zunächst zwei Arten der Messung zu unterscheiden:

- Einmalige Messung der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte anlässlich einer Ortsbegehung und
- Aufzeichnung von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte über einen längeren Zeitraum innerhalb festgesetzter Intervalle (z.B. alle fünf Minuten) mit sogenannten Datenloggern.

Die erstgenannte Art der Messung kann selbstverständlich ausschließlich den Charakter einer Momentaufnahme besitzen und insofern lediglich Hinweise auf die unmittelbar der Messung vorausgegangenen raumklimatischen Verhältnisse und das damit verbundene Nutzerverhalten geben. Gleches gilt im Hinblick auf die Aussagefähigkeit auch für ergänzende Feststellungen, die beispielsweise zur Tauwasserbildung an den Raumseiten der Fensterverglasungen getroffen werden. Diesbezüglich weitergehende Erkenntnisse bieten dagegen feuchtebedingte Schäden an den Beschichtungen oder verstärkte Schimmelbildung auf den Dichtstoffphasen in den unteren Bereichen der Flügelrahmen der Fenster (Bild 15).

Weitere Erkenntnisse zum Feuchtegehalt der Luft über einen längeren Zeitraum vor einem Ortstermin können unter Umständen durch die Messung der Holzfeuchte von Bodenbelägen, Türen, Möbelstücken etc. gewonnen werden, da Holz relativ träge auf Schwankungen der Luftfeuchte reagiert.



Bild 15 ■ Ablaufspuren von Tauwasser an einem Fenster und hieraus resultierende Schimmelbildung auf den Verglasungsabdichtungen

Kontinuierliche Aufzeichnungen des Raumklimas mittels sogenannter Datenlogger sind problemlos über die Dauer mehrerer Wochen und Monate, ggf. auch über eine gesamte Heizperiode möglich. Naturgemäß lassen derartige Messungen aber keine Beurteilung des zurückliegenden Nutzerverhaltens, beispielsweise vor der Entstehung des gerügten Schadensbildes, zu. Insofern stellen – wenn überhaupt – Messergebnisse, die trotz angekündigter Messungen ein unzuträgliches Nutzerverhalten dokumentieren, eine Grundlage für die Beurteilung dar. Dagegen dürfte die Dokumentation eines vorbildlichen Nutzerverhaltens aufgrund der erfahrungsgemäß zwischenzeitlich eingetretenen Sensibilisierung der Nutzer einer Wohnung für die bauphysikalischen Zusammenhänge – unabhängig davon, wie das Nutzerverhalten vor Entstehung des Schadensbildes war – den Normalfall darstellen. Letztendlich bleiben aber, unabhängig vom festgestellten Nutzerverhalten, in jedem Fall Zweifel an der Übertragbarkeit der Messergebnisse auf zurückliegende Zeiträume [Oster, 2018].

Wesentlich weitergehende Beurteilungen sind möglich, wenn gleichzeitig auch die Oberflächentemperaturen an ausgewählten Stellen aufgezeichnet werden (Kapitel 4.5). Dabei ist es sinnvoll, diese Datensätze mit entsprechenden Informationen zum Außenklima für den Messzeitraum in Relation zu setzen. Entsprechende Daten können z. B. beim Deutschen Wetterdienst [DWD, 2019] abgefragt werden.

4.4 Messung der Oberflächentemperatur von Bauteilen

Die Feststellung von Temperaturen an Bauteiloberflächen kann auf der Grundlage von Einzelmessungen für besondere Punkte oder Bereiche der Gebäudehülle erfolgen, die von besonderem Interesse sind. Hierzu werden in aller Regel handelsübliche Infrarotthermometer verwendet, die die von den Bauteiloberflächen emittierte elektromagnetische Strahlung als thermisches Signal aufzeichnen und in eine Temperatur umrechnen.

Ebenfalls auf diesem Prinzip beruhen Thermogramme, umgangssprachlich auch »Wärmebilder« genannt, bei denen ein thermisches Bild als Visualisierung der Strahlungsverteilung erstellt wird. Über die Zuordnung der aufgezeichneten thermischen Signale zu einer Farbskala können hierbei auch die Oberflächentemperaturen ausgewiesen und die erfassten thermischen Verhältnisse ganzer Fassaden- oder Wandoberflächen abgebildet werden (Bild 16).

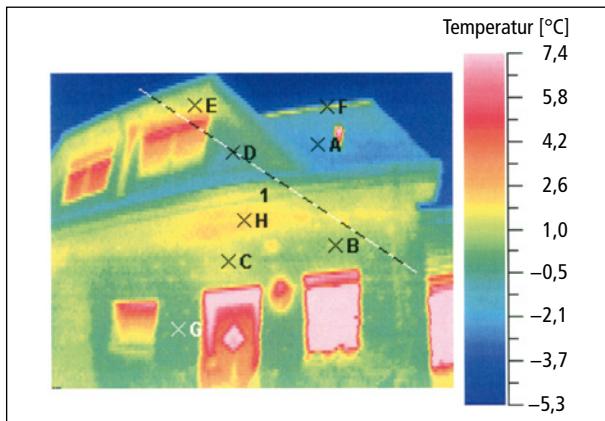


Bild 16 ■ Infrarot-thermografie

Beide Verfahren sind insbesondere geeignet, vorhandene Wärmebrücken über die aufgezeichneten Temperaturdifferenzen zu lokalisieren. Während diese Temperaturdifferenzen insbesondere in einem thermischen Bild mit der heute zur Verfügung stehenden Technik vergleichsweise genau quantifiziert werden können, beträgt die Messunsicherheit für absolute Temperaturen bei handelsüblichen Thermografiesystemen in dem im Bauwesen üblichen Temperaturspektrum typischerweise ± 2 K [Zimmermann, 2012]. Hierfür müssen allerdings für jede Messung einzeln und auf die jeweilige Situation angepasst möglichst präzise Voreinstellungen im System vorgenommen werden, insbesondere zur Strahlungstemperatur der Umgebung und zu den Emmissionsgraden der thermografierten Oberfläche. Überdies werden die Ergebnisse verfälscht, wenn die Aufnahme nicht orthogonal zur thermografierten Fläche, sondern »über Eck« erfolgt. Glasflächen sind im Hinblick insbesondere auf verfälschende Reflexionen üblicherweise nicht thermografierbar, sondern müssen mit geeigneten Folien maskiert werden. Bei fehlerhaften Einstellungen bzw. einer nicht korrekten Erfassung der Randbedingungen während der Messung können ansonsten erhebliche Abweichungen zwischen der gemessenen und der tatsächlichen Oberflächentemperatur auftreten, die die oben genannte Messunsicherheit noch deutlich überschreiten. Hinweise zur Durchführung und zu idealerweise anzustrebenden Randbedingungen von infrarotthermografischen Untersuchungen enthalten DIN EN 13187 sowie [Fouad, 2012] und [Zimmermann, 2012].

Eine quantitative Bewertung von Wärmebrücken ist mittels Messung von Oberflächentemperaturen dagegen im Normalfall (auch bei korrekter Wahl der Voreinstellungen oder Verwendung direkter Messmethoden) allenfalls in sehr eingeschränktem Umfang möglich. Dies hängt insbesondere damit zusammen, dass die Messergebnisse durch äußere Einflüsse (Witterungseinflüsse

wie Wind, Regen, Sonne und das Raumklima) erheblich beeinflusst werden, sodass in aller Regel kein stationärer thermischer Zustand am Bauwerk vorliegt [Oster, 2018]. Dies hat im Hinblick auf die thermische Trägheit der meisten im Bauwesen relevanten Bauteile zur Folge, dass die gemessenen (bzw. aus den thermischen Signalen berechneten) Oberflächentemperaturen nicht anhand der Randbedingungen zum Messzeitpunkt beurteilt werden können, sondern die in der Regel unbekannten Randbedingungen in den Stunden vor der Messung berücksichtigt werden müssen. Insofern ist eine Bewertung der gemessenen Oberflächentemperaturen nicht ohne Weiteres möglich.

Über die Temperaturmessung mit elektronischen Kontaktfühlern ist analog zur oben beschriebenen Aufzeichnung des Raumklimas auch eine Langzeiterfassung von Oberflächentemperaturen durch Datenlogger möglich (Kapitel 4.5).

4.5 Kombinierte Messung des Raumklimas und der Oberflächentemperatur von Außenbauteilen

Besonders weitreichende Rückschlüsse auf die Ursachen von Schimmelbefall sind auf der Grundlage kombinierter Messungen des Raumklimas und der Oberflächentemperatur in den befallenen Bereichen über einen längeren Zeitraum möglich. Dabei werden typischerweise über einen Zeitraum von mehreren Wochen mit winterlichen Temperaturen in einem Abstand von ca. fünf Minuten die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte sowie zeitgleich die Oberflächentemperatur mithilfe von Datenloggern aufgezeichnet. Da länger andauernde winterliche Perioden meist nur schwer zu prognostizieren sind, erfordern derartige Messungen in der Regel einen relativ langen Messzeitraum, idealerweise Messungen über die gesamte Heizperiode. Die Möglichkeiten der Auswertung der gewonnenen Daten werden ausführlich im Kapitel 6.4 beschrieben.

4.6 Messung von Bauteilfeuchten

Die Messung von Bauteilfeuchten ist bei Schadensbildern im Bereich von Wärmebrücken im Wesentlichen im Hinblick auf die Abgrenzung zu Durchfeuchtungen relevant, die durch das Eindringen von Wasser in tropfbar flüssiger Form hervorgerufen wurden. Hierfür können üblicherweise zerstörungsfreie oder -arme Messungen in elektrischen oder dielektrischen Verfahren oder – in engen Grenzen – im Mikrowellenverfahren zur Anwendung kommen. Zwar

bieten die meisten Hersteller für ihre Geräte Umrechnungstabellen an, um bei mineralischen Baustoffen die Messwerte hinsichtlich prozentualer Feuchtegehalte oder zumindest qualitativer Kategorien (»nass«, »trocken«, »halbgetrocknet« o. ä.) interpretieren zu können. Da die Messergebnisse in Abhängigkeit vom jeweiligen Verfahren jedoch in sehr hohem Maße von der Beschaffenheit des konkreten Messuntergrundes abhängen – je nach Verfahren insbesondere von Rohdichte, Salzgehalt und Homogenität des Messuntergrundes – bedarf die Auswertung der Messungen entsprechender Kenntnisse und Erfahrungen. Vergleichsweise genaue Messungen lassen lediglich Widerstandsmessungen mit Einschlagelektroden bei Holz und Holzwerkstoffen zu.

Genauere Ergebnisse können Laboruntersuchungen entnommener Baustoffproben liefern. Diese sind jedoch zur Beurteilung von Schadensbildern im Bereich von Wärmebrücken in aller Regel nicht erforderlich.

4.7 Luftdichtheitsmessungen

Messungen der Luftdichtheit der Gebäudehülle können abgesehen von der Feststellung und ggf. Ortung konvektiver Wärmeverluste Hinweise auf den Grundluftwechsel einer Wohnung oder Nutzungseinheit geben. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wird in aller Regel im Differenzdruckverfahren nach DIN EN ISO 9972 bzw. DIN EN 13829⁴ mittels sogenannter *Blower Door*-Untersuchungen überprüft, indem die Luftströme durch die Gebäudehülle bei bestimmten Differenzdrücken erfasst und quantifiziert werden. Die Differenzdrücke werden dabei mithilfe eines Gebläses, das in einer abgedichteten Rahmenkonstruktion in einer Tür- oder Fensteröffnung luftdicht eingebaut wird, erzeugt (Bild 17).

Dies erfolgt stufenweise zunächst als Unterdruck (in der Regel in Schritten von –10 Pa bis –90 Pa) und anschließend analog als Überdruck. Hierbei wird jeweils der Luftvolumenstrom gemessen, der notwendig ist, den Über- oder Unterdruck der jeweiligen Stufe im zu prüfenden Raumluftvolumen aufrecht zu erhalten. Bereinigt um die jeweils herrschende natürliche Druckdifferenz und umgerechnet auf ein festgelegtes Normalklima, werden die Luftvolumenströme bei der sogenannten Bezugsdruckdifferenz von 50 Pa bzw. –50 Pa anschließend in Relation zum Raumvolumen gesetzt (volumenbezogener Leckagestrom bei der Bezugsdruckdifferenz) und auf eine Stunde bezogen umgerechnet. Hieraus ergibt sich der sogenannte n_{50} -Wert [h^{-1}], der das

4 Mit der Neuausgabe der ISO 9972:2015-12 wurde DIN EN 13829 zurückgezogen. Aktuell enthält jedoch Anlage 4 zur Energieeinsparverordnung [EnEV, 2013] nach wie vor einen datierten Verweis auf DIN EN 13829 in der Ausgabe 2001-02

ständlich durch den Leckagestrom ausgetauschte Luftvolumen bei diesem Differenzdruck bezeichnet und die maßgebende Größe zur Beurteilung der Luftdichtheit der Gebäudehülle entsprechend Anlage 4 zur Energieeinsparverordnung [EnEV, 2013] bzw. DIN 4108-7 darstellt.



Bild 17 ■ Blower Door-Messung

Um ggf. vorhandene Luftundichtheiten im Rahmen von *Blower Door*-Untersuchungen orten zu können, kann zum einen sogenannter Theaternebel zum Einsatz kommen. Zum anderen können auch durch Infrarotthermografien Leckagen in der Gebäudehülle visualisiert werden. Hierzu werden die Außenbauteile bei Unterdruck von innen thermografiert, wobei im Bereich der Undichtheiten fähnchenartige Flecken die eindringende kalte Luft zeigen (Bild 18). Voraussetzung ist natürlich eine möglichst große Temperaturdifferenz zwischen innen und außen.

Darüber hinaus können zur Leckageortung auch Anemometer zum Einsatz kommen, die die Strömungsgeschwindigkeit der Luft messen.

Abgesehen von den vorgenannten Untersuchungsmethoden können Luftströmungen infolge von Undichtheiten ohne den Aufwand einer Blower Door-Untersuchung mit einem Strömungsprüfer sichtbar gemacht werden. Der Strömungsprüfer besteht aus einem Glasröhrchen mit einer beispielsweise mit Schwefelsäure imprägnierten Füllschicht (sogenanntes Rauchrörchen)

und einem Gebläseball. Wenn mit dem Gebläseball Luft durch das Röhrchen gedrückt wird, tritt das Schwefelsäure-Aerosol in Form von weißem Rauch aus. Auf diese Weise können z. B. erste qualitative Rückschlüsse auf die Dichtigkeit von Fenstern und damit auf den Grundluftwechsel einer Nutzungseinheit gezogen werden.

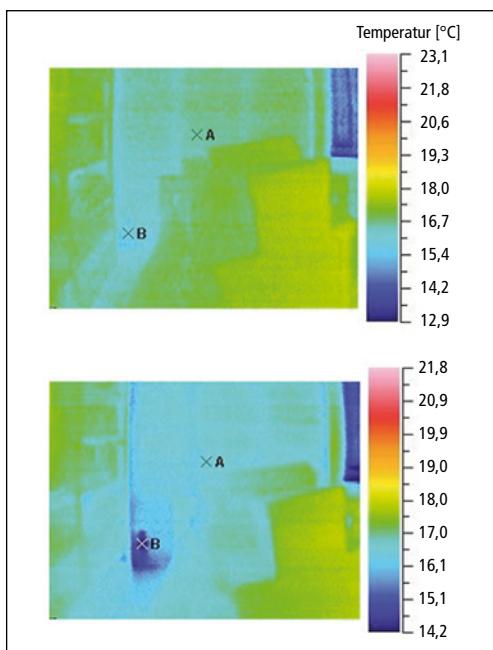


Bild 18 ■ Infrarotthermografie oben bei normalen Druckverhältnissen und unten bei gleichzeitigem Unterdruck; gut erkennbar die blauen, nebelartigen Flecken infolge eindringender kalter Außenluft im Bereich von Luftundichtigkeiten auf dem unteren Bild

4.8 Untersuchungen zum Heizverhalten

Für unsere Breitengrade kann davon ausgegangen werden, dass Schimmelbildung bzw. Schadensbilder aufgrund von Wechselwirkungen aus dem Wärmeschutz und dem Raumklima in Wohnräumen und ähnlich genutzten Bereichen nur dann sicher vermieden werden können, wenn eine im Wesentlichen kontinuierliche Beheizung auf ein Temperaturniveau von etwa 20 °C erfolgt. Hierauf basieren auch die allgemein anerkannten Regeln der Technik zum Mindestwärmeschutz. So legt etwa DIN 4108-2 im Zusammenhang mit dem Nachweis eines ausreichenden Wärmeschutzes zur Vermeidung schimmelkritischer Oberflächenfeuchten eine Raumlufttemperatur von 20 °C zugrunde. Ob eine kontinuierliche Beheizung auf diesem Niveau während der Entstehung von Schäden tatsächlich gegeben war, bzw. welches ggf. ab-

weichende nutzerseitige Heizverhalten vorlag, kann zwar im Rahmen einer Ortsbesichtigung nur schwer eingeschätzt und auch nachträglich mithilfe von Datenloggermessungen nur bedingt nachvollzogen werden. Bestimmte Feststellungen können jedoch sehr wohl diesbezügliche Hinweise geben. So lassen beispielsweise durch Möbelstücke verstellte Heizkörper vermuten, dass diese nicht oder nur eingeschränkt benutzt werden (Bild 19). Gleches gilt für den Fall, dass Schimmelpilze in unmittelbar an einen Heizkörper grenzenden Außenwandbereichen vorhanden sind (Bild 20).

Weitere Aufschlüsse über das einem Schadensfall vorausgehende Nutzerverhalten kann auch die Auswertung von Heizkostenabrechnungen geben. Entscheidende Voraussetzung hierfür ist jedoch in der Regel das Vorhandensein von Vergleichsmöglichkeiten, z. B. die zusätzliche Auswertung von Abrechnungen von Vormietern oder von Nutzungseinheiten identischen oder zumindest sehr ähnlichen Zuschnitts (übereinander liegende Wohnungen).



Bild 19 ■ Nahezu vollständig durch die Möblierung verstellter Heizkörper



Bild 20 ■ Schimmelbildung unmittelbar hinter einem Heizkörper

4.9 Mikrobiologische Untersuchungen

Mikrobiologische Untersuchungen durch entsprechend qualifizierte Labore sind in erster Linie erforderlich, um das gesundheitliche Risiko für die Nutzer bei einem sichtbaren oder vermuteten Schimmelbefall abzuschätzen. Darüber hinaus können auf diese Weise aber auch zusätzliche Hinweise auf mögliche Ursachen eines Schimmelbefalls gewonnen werden.

Grundsätzlich sind Untersuchungen an Proben von sichtbar oder vermutlich befallenen Oberflächen und Untersuchungen von Luftproben zu unterscheiden. Bewertungshilfen für die Auswertung dieser mikrobiologischen Untersuchungen enthält z. B. der SCHIMMELLEITFÄDEN des Umweltbundesamtes [UBA, 2017]. Anhand verschiedener Parameter – z. B. der Summe der enthaltenen koloniebildenden Einheiten (KBE), der Summe der untypischen Außenluftarten sowie der Konzentration bestimmter Arten – kann demzufolge eine Einordnung erfolgen, ob eine Innenraumquelle unwahrscheinlich, möglich oder wahrscheinlich ist. Eine Beurteilung des Nutzerverhaltens ist jedoch anhand derartiger Untersuchungen nicht möglich.

Weiterführende Informationen zu mikrobiologischen Untersuchungen von Schimmelbefall in Innenräumen und deren Bewertung enthalten z. B. [Senkpiel, 1992] und [Senkpiel, 2001].

5 Beurteilungskriterien

In den nachfolgenden Kapiteln wird die sachgerechte Beurteilung von Schimmelbefall im Bereich von Wärmebrücken (Kapitel 6) und an erdberührten Bauteilen im Sommer (Kapitel 7) ausführlich beschrieben. Im Mittelpunkt steht dabei jeweils die Abgrenzung zwischen nutzerverursachten und baulich bedingten Schäden. Diese Abgrenzung bildet den Kern zahlloser gerichtlicher und außergerichtlicher Auseinandersetzungen zwischen den Mietern und Vermietern oder Käufern und Verkäufern von Immobilien. Sie stellt Gerichte und Sachverständige regelmäßig vor erhebliche Schwierigkeiten.

Für die Abgrenzung zwischen nutzerverursachten und baulich bedingten Schäden können insbesondere zwei Aspekte von Bedeutung sein: Zum einen die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik bei der Herstellung eines betroffenen Bauteils und zum anderen dessen Gebrauchstauglichkeit. So hat der BGH mit seinem Grundsatzurteil [BGH, 2018-1] klargestellt, dass falls für bestimmte Anforderungen technische Normen bestehen, jedenfalls deren Einhaltung geschuldet ist, wobei der bei der Errichtung des Gebäudes geltende Maßstab anzulegen ist. Insofern ist – zumindest seit Vorliegen des betreffenden Urteils – als erster Schritt der Begutachtung zu überprüfen, ob die allgemein anerkannten Regeln der Technik hinsichtlich des Wärmeschutzes zur Bauzeit eingehalten sind. Ist dies nicht der Fall, wäre unabhängig davon, ob ein von Schimmel befallenes Bauteil gebrauchstauglich ist oder nicht, von einer baulichen Ursache auszugehen. Sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit aber eingehalten, ist in einem zweiten Schritt weiter zu untersuchen, ob das betroffene Bauteil im Hinblick auf die Vermeidung von Schimmel gebrauchstauglich ist, also einem vertraglich vereinbarten oder sonst gegebenen Gebrauchsziel entspricht. Gebrauchstauglich hinsichtlich der Vermeidung von Schimmelbefall ist ein Bauteil oder Gebäude dann, wenn es ohne die Gefahr eines Schimmelbefalls für den jeweiligen Gebrauchsziel genutzt werden kann und dabei keine über ein übliches (zumutbares) Maß hinausgehenden Maßnahmen des Nutzers erforderlich sind. Die Frage, was üblich bzw. zumutbar ist, ist dabei eine rechtliche Frage, die letztlich nur im Einzelfall nach den jeweiligen konkreten Umständen beurteilt werden kann (vgl. Kapitel 9.3.1.5). Die Bestimmung der zur Vermeidung von Schimmelbefall geeigneten und erforderlichen Maßnahmen ist dagegen Aufgabe des Sachverständigen. Vor diesem Hintergrund werden in den nachfolgenden Kapiteln die Möglichkeiten zur Beurteilung der für die Vermeidung eines Schimmelbefalls erforderlichen Maßnahmen dargestellt und erläutert. Auf dieser Basis sind dann weitreichende Einschätzungen auch

dahingehend möglich, ob ein Befall baulich bedingt oder nutzerverursacht ist. Die Bewertung, welches Nutzerverhalten im Einzelnen zumutbar ist und insofern dem Nutzer abverlangt werden kann, obliegt dabei – zumindest im Rahmen gerichtlicher Auseinandersetzungen – stets dem Gericht.

Die Kriterien die bei der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Bedeutung sein können, sind vielfältig. Zu ihnen gehören insbesondere

- das Schadensbild und der Schadenshergang,
- die Art und der Umfang vorhandener Schimmelbildungen,
- die Oberflächenbeschaffenheit und Verschmutzungen,
- die Feuchteverteilungen im Bauteil,
- die wärmeschutztechnischen Eigenschaften des betroffenen Bauteils,
- der Schutz des betroffenen Bauteils vor dem Eindringen von Wasser und kalter Luft,
- die Oberflächentemperaturen sowie
- das Raumluftklima unter Berücksichtigung des zugehörigen Außenluftklimas.

Eine besondere Bedeutung kommt insofern der Auswahl derjenigen Kriterien zu, die im Einzelfall maßgeblich sind und auf dem sichersten und kürzesten und damit auch kostengünstigsten Weg zum Ziel führen. Da es sich bei der sachgerechten Beurteilung der Ursachen von Schimmelbildungen – entgegen der landläufigen Meinung – um eine sehr komplexe und anspruchsvolle Aufgabe handelt, erfordert diese Auswahl in der Regel umfangreiche Spezialkenntnisse und viel Erfahrung. Der notwendige Aufwand für eine sachgerechte Beurteilung kann dabei – auch bei sorgfältiger Abwägung geeigneter Beurteilungskriterien – erheblich sein, insbesondere wenn die Durchführung und Auswertung von Datenloggermessungen oder die rechnerische Überprüfung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Bauteilen erforderlich werden. Andererseits besteht bei einer zu oberflächlichen Betrachtung die Gefahr einer falschen Beurteilung mit möglicherweise weitreichenden Folgen. Es lohnt sich insofern, ungeachtet des damit einhergehenden höheren Aufwands, die beste Beurteilungsmethode auszuwählen.

6 Beurteilung von Schimmelbildung im Bereich von Wärmebrücken

6.1 Mögliche Herangehensweisen

Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, ist es erst dann sinnvoll, den Weg einer weitergehenden Beurteilung im Hinblick auf ein möglicherweise schadensursächliches Nutzerverhalten zu beschreiten, wenn von außen eindringendes Wasser oder Leckagen als primäre Schadensursache ebenso ausgeschlossen werden können wie eine Nichteinhaltung der wärmeschutztechnischen Anforderungen zur Bauzeit. Ist dies der Fall, kann nach Durchführung der jeweils notwendigen, in den Kapitel 4.2 bis 4.9 beschriebenen Schritte der Grundlagenermittlung anhand der in den folgenden Kapiteln aufgeführten Kriterien eine Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils unter wärmeschutztechnischen und raumklimatischen Gesichtspunkten erarbeitet werden.

Im Allgemeinen können hierbei die Einflüsse auf das gerügte Schadensbild, die – wie das Heiz- und Lüftungsverhalten – im Verantwortungsbereich des Nutzers liegen, rückwirkend nur indirekt festgestellt werden. Hierfür stehen insbesondere zwei Verfahren zur Verfügung:

- Rechnerische Überprüfung des wärmeschutztechnischen Standards des betroffenen Bauteils auf der Grundlage des ›Verfahrens der erweiterten Wärmebrückeneberechnungen‹:

Hierbei ist in aller Regel eine möglichst differenzierte wärmeschutztechnische Betrachtung der baulichen Gegebenheiten notwendig. Auf dieser Grundlage kann ein ideelles, zur Gewährleistung der sicheren Schadensfreiheit erforderliches Nutzerverhalten ermittelt werden, das wiederum Rückschlüsse auf das tatsächliche, im Vorfeld der Entstehung des gerügten Schadens vorhandene Nutzerverhalten erlaubt. Als Ergebnis der Betrachtungen liegt am Ende also sowohl eine Beurteilung des wärmeschutztechnischen Standards der betroffenen Bauteile vor als auch eine Einschätzung des tatsächlich vor der Entstehung eines Schadens vorhandenen bzw. des zur Vermeidung eines solchen Schadens erforderlichen Heiz- und Lüftungsverhaltens der Nutzer. Das Verfahren wird im Kapitel 6.3 ausführlich beschrieben.

- Überprüfung der Wechselwirkungen zwischen den wärmeschutztechnischen Eigenschaften des betroffenen Bauteils und dem Nutzerverhalten auf der Grundlage des ›Verfahrens der komplexen Datenloggermessungen‹:

Das Nutzerverhalten wird dabei anhand von Langzeitmessungen der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte hinsichtlich des Temperaturniveaus und der Durchführung wirksamer Stoßlüftungen beurteilt. Darüber hinaus kann auf der Grundlage dieser Messwerte im Zusammenhang mit den Messwerten zum Außenklima eine Bewertung des Feuchteniveaus in der betroffenen Wohnung erfolgen. Hierauf aufbauend werden die entstandenen Oberflächenverhältnisse mithilfe der parallel aufgenommenen Oberflächentemperaturen ermittelt und bewertet. Nicht zuletzt kann aber auch eine Einschätzung zur wärmeschutztechnischen Qualität des untersuchten Bauteils durch Auswertung der gemessenen Oberflächentemperaturen im Zusammenhang mit den parallel aufgezeichneten Außenluft- und Raumlufttemperaturen erfolgen. Das Verfahren wird im Einzelnen in Kapitel 6.4 beschrieben.

Wie im Abschnitt 5 erläutert, steht am Anfang der Beurteilung der Ursachen einer Schimmelbildung aber normalerweise die Überprüfung, ob die allgemein anerkannten Regeln der Technik zum Wärmeschutz eingehalten werden. Die dabei wesentlichen Aspekte werden im folgenden Kapitel 6.2 beschrieben.

Leider finden sich in der Praxis auch zahlreiche Beispiele weniger geeigneter oder gar ungeeigneter Beurteilungsansätze. Es erscheint daher sinnvoll auch hierauf einzugehen und zu erläutern, warum diese Ansätze nicht geeignet sind. Die betreffenden Ausführungen finden sich in Kapitel 6.5.

6.2 Allgemein anerkannte Regeln der Technik zum Wärmeschutz

Bei der Auswertung der im Rahmen der Grundlagenermittlung gewonnenen Erkenntnisse über die spezifischen baulichen Randbedingungen kann folgender Aspekt von wesentlicher rechtlicher Bedeutung sein: Die Überprüfung, ob in wärmeschutztechnischer Hinsicht die zur Bauzeit geltenden allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten wurden.

Hierbei sind in erster Linie qualifizierte Regelwerke, nämlich die den Wärmeschutz betreffenden Normen heranzuziehen. Bevor in der Mitte des 20. Jahrhunderts jedoch entsprechende Regelwerke eingeführt wurden, waren Anforderungen an den Wärmeschutz seit etwa den 1920er-Jahren in Rechtsverordnungen oder auch den jeweiligen Bauordnungen festgelegt [Michaelis, 1933]. Vor dieser Zeit waren wärmeschutztechnische Überlegungen von eher untergeordneter Bedeutung und orientierten sich im Wesentlichen an den übergeordneten bauordnungsrechtlichen Anforderungen an die Standsicher-

heit und den Brandschutz bzw. an den diesbezüglichen regionalen tradierten Handwerksregeln.

Bezüglich der wärmeschutztechnischen Normen und Regelwerke sind für Deutschland unter energiesparrechtlichen Aspekten zunächst im Wesentlichen die ERGÄNZENDEN BESTIMMUNGEN ZU DIN 4108 vom Oktober 1974, die hierauf folgenden Wärmeschutzverordnungen [WschVO, 1977], [WschVO, 1982] und [WschVO, 1994] sowie die Energieeinsparverordnungen [EnEV, 2001], [EnEV, 2004], [EnEV, 2007], [EnEV, 2009] und [EnEV, 2013] relevant. Hinsichtlich des Mindestwärmeschutzes sind hingegen die verschiedenen Ausgaben der DIN 4108 (Ausgaben 1952, 1960, 1969, 1981 und 2001 ff.) bzw. analog die TGL 10686, TGL 28706 oder TGL 35424 der ehemaligen DDR heranzuziehen.

Bezüglich der genannten Regelwerke zum Mindestwärmeschutz und ihrer Entwicklung ist Folgendes anzumerken:

Während beispielsweise die TGL 10686/03 vom August 1965 bereits ein verbindliches Nachweisverfahren für die Berechnung minimaler raumseitiger Oberflächentemperaturen zur Vermeidung von Tauwasserausfall im Bereich vertikaler und horizontaler Innenkanten enthielt, beschränkten sich die älteren Ausgaben der DIN 4108 bis einschließlich 1969 im Wesentlichen auf die Festlegung wärmeschutztechnischer Kennwerte gebräuchlicher Konstruktionen, bei deren Einhaltung in der Fläche ein ausreichender Wärmeschutz zumindest für den Bereich geometrischer Wärmebrücken ebenfalls vorausgesetzt wurde. Diese Anforderungen orientierten sich wiederum beispielsweise hinsichtlich der Außenwände an der seit den 1920er-Jahren bestehenden Übereinkunft, ein ausreichender Tauwasser- und damit Wärmeschutz sei gegeben, wenn die Außenwände den Wärmedurchlasswiderstand eines $1\frac{1}{2}$ Steine dicken Ziegelmauerwerks besitzen (z. B. 38 cm bei Steinen im sogenannten Reichsformat; $1/\Lambda_{\text{eff}} \geq 0,55 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ/\text{kcal}$ [Michaelis, 1933], [Cammerer, 1934], [Stegemann, 1941]).

Im Rahmen der vollständigen Neufassung der DIN 4108 (Ausgabe 1981-08) wurden die wärmeschutztechnischen Anforderungen im Hinblick auf den Tauwasserschutz in Teil 3 der Norm insoweit angehoben, als besonders kritische Konstruktionen durch die Überprüfung von Oberflächentemperaturen unter Ansatz verschärfter Randbedingungen differenzierter zu betrachten waren. In der nächsten grundlegenden Neufassung der DIN 4108 (DIN 4108-2, Ausgabe 2001-03) wurden diese Angaben im Hinblick auf neuere mikrobiologische Erkenntnisse (Kapitel 2.4) soweit präzisiert und ergänzt, dass seither nicht nur ein ausreichender Schutz vor dem Ausfall von Oberflächentauwasser, sondern auch eine ausreichende Sicherheit vor den weitaus geringeren schimmelkritischen Oberflächenfeuchten verlangt wird. Seit der Ausgabe

2013-02 der DIN 4108-2 werden dabei unter bestimmten Voraussetzungen auch Anforderungen an dreidimensionale Wärmebrücken gestellt. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik haben sich demzufolge im Bereich des Wärmeschutzes von der Betrachtung und Vorgabe allgemeiner Wandaufbauten hin zu differenzierteren Anforderungen an den Wärmeschutz in der Fläche (eindimensional) und in kritischen Bereichen (Wärmebrücken, zwei- und dreidimensional) entwickelt. Maßgebliches Kriterium ist dabei die Verhinderung schädlicher physikalischer und insbesondere mikrobiologischer Phänomene. Die entsprechenden Nachweis- und Berechnungsverfahren sowie die jeweils zugrunde zu legenden Randbedingungen werden in Kapitel 6.3.1 eingehend erläutert.

Aus den entsprechenden Betrachtungen folgt für die Beurteilung von Schimmelbildung bei älterer Bausubstanz, dass auch wenn die baulichen Randbedingungen den Anforderungen zur Bauzeit entsprechen, nach heutigen Maßstäben ein Schimmelrisiko bestehen kann. Unter Umständen kann sogar das zur Vermeidung entsprechender Schäden notwendige Heiz- und Lüftungsverhalten dem Nutzer nicht abverlangt werden, da beispielsweise die sich ergebende notwendige Lüftungshäufigkeit nicht zumutbar ist. Die Beurteilung der Zumutbarkeit eines erforderlichen Nutzerverhaltens bzw. sich daraus ergebende Einschränkungen in der Nutzung eines Wohnraums einerseits und die Einschätzung der Obhutspflichten, z.B. eines Mieters, andererseits unterliegen jedoch in erster Linie der juristischen Bewertung, wie in Kapitel 9.3.1.5 ausführlich dargelegt wird. Insgesamt kann die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit also nicht das einzige Kriterium für die Bewertung der Verantwortlichkeit für Schimmelbildung sein.

Insofern ist die Frage, ob die allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit eingehalten wurden oder nicht, in vielen Fällen nicht alleine ausschlaggebend, da auch die vertraglich vereinbarte Gebrauchstauglichkeit geschuldet ist, aus der sich Anforderungen jenseits des zum Zeitpunkt der Gebäudeerrichtung geltenden technischen Standards ergeben können. Dies wird beispielsweise bei mietrechtlichen Auseinandersetzungen häufig der Fall sein, da in den Mietverträgen im Allgemeinen kein geschuldeter Wärmeschutzstandard definiert ist, wohl aber abstrakt die Tauglichkeit der Mietsache für einen bestimmten Mietzweck. In diesen Fällen wäre folglich das Ergebnis einer Überprüfung der Einhaltung technischer Standards zum Zeitpunkt der Bauwerkserrichtung nicht alleine relevant.

6.3 Verfahren erweiterter Wärmebrückennberechnungen

6.3.1 Vorbemerkungen – Vorgehen

Auf der Grundlage der Ausführungen in Kapitel 2.4 ist das entscheidende Kriterium für die Besiedlung einer Bauteiloberfläche mit Schimmelpilzen ein ausreichendes Feuchteangebot. Dieses Feuchteangebot wird wiederum beeinflusst durch den nutzungsbedingten absoluten Feuchtegehalt der Raumluft einerseits sowie die Temperatur der Bauteiloberflächen andererseits. Entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik und den qualifizierten Regelwerken zum Wärmeschutz ist deshalb die minimale sich einstellende Oberflächentemperatur im Bereich eines Außenbauteils für die wärmeschutztechnische Beurteilung der baulichen Randbedingungen von entscheidender Bedeutung. Sofern der Konstruktionsaufbau eines von Schimmelbildung betroffenen Bauteils bekannt ist, kann daher die Beurteilung der Ursachen auf der Grundlage von Wärmebrückennberechnungen erfolgen. Dabei ist es lediglich für Gebäude, die den heute gültigen Wärmeschutzanforderungen genügen, ausreichend, die Einhaltung dieser Regeln zu überprüfen. So kann im Falle der Einhaltung der Wärmeschutzanforderungen normalerweise davon ausgegangen werden, dass auch die Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich des Wärmeschutzes gegeben ist.

Vorausgesetzt die bauzeitlichen Anforderungen an den Wärmeschutz sind eingehalten (vgl. Kapitel 5), ist es hingegen für alle anderen Gebäude erforderlich, die Gebrauchstauglichkeit gesondert zu überprüfen. Die hierfür im Rahmen des ‚Verfahrens der erweiterten Wärmebrückennberechnungen‘ erforderlichen Schritte sind jeweils die Berechnung

- der minimal zu erwartenden Oberflächentemperatur im Schadensbereich mithilfe sogenannter Wärmebrückennberechnungen unter festgelegten Klimarandbedingungen,
- der kritischen Grenzluftfeuchte, bei deren Überschreitung unter den angesetzten Klimarandbedingungen im Schadensbereich Schimmelbildung oder Tauwasserausfall zu erwarten ist, sowie
- der Intervalle für erforderliche Stoßlüftungen unter Berücksichtigung eines idealisierten Grundluftwechsels.

Diese Schritte werden in den nachfolgenden Kapiteln 6.3.2 bis 6.3.5 einschließlich der zugrunde liegenden technischen/bauphysikalischen Zusammenhänge ausführlich beschrieben.

In den Fällen, in denen auch die Einhaltung der bauzeitlichen Anforderungen relevant ist (Kapitel 6.1), wird eine mehrstufige Beurteilung erforderlich, bei der zunächst die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit nachzuweisen und anschließend die Gebrauchstauglichkeit in den vorgenannten Schritten zu überprüfen ist.

6.3.2 Ermittlung der Oberflächentemperatur – Wärmebrückeberechnungen

6.3.2.1 Einführung

Für die Anwendung des hier erläuterten ›Verfahrens der erweiterten Wärmebrückeberechnungen‹ ist es erforderlich, möglichst detaillierte Informationen über die Größe und Verteilung der rechnerisch zu erwartenden Oberflächentemperaturen zu erlangen. Hierzu erfolgt eine modellhafte Betrachtung der festgestellten baulichen Situation mithilfe numerischer Verfahren unter festgelegten, idealisierten Randbedingungen, auch wenn diese einige physikalische Eigenschaften der betrachteten Bauteile unter Umständen nicht oder nur eingeschränkt berücksichtigen kann (Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit, Freisetzung und Verbrauch latenter Wärme, Konvektion, Hygroskopie und andere Mechanismen des Feuchttetransports in Baustoffen etc.). Gleichzeitig wird auf diese Weise jedoch eine Vergleichbarkeit mit anderen Objekten erreicht. So stellen Wärmebrückeberechnungen anerkanntermaßen eine wesentliche Grundlage bei der Beurteilung von Wärmebrücken dar und sind daher auch sehr detailliert normativ geregelt.

Das nachfolgende Kapitel beschreibt diesbezüglich zunächst mögliche Berechnungsverfahren, erläutert deren Anwendungsgebiete sowie die Auswirkungen der mit diesen Verfahren erzielbaren Ergebnisse auf die spätere Beurteilung.

Ein weiteres Kapitel beschreibt die den Berechnungen zugrunde zu legenden Randbedingungen und erläutert deren Anwendung sowie deren Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse.

6.3.2.2 Stationäre Verfahren

Es kommen im Wesentlichen numerische Verfahren mithilfe entsprechender Software zur Anwendung. Die jeweiligen Verfahren bzw. Programme müssen entsprechend den in DIN EN ISO 10211 genannten Anforderungen validiert sein. Sie sind zur Berechnung sowohl von Temperaturen als auch von Wärmeströmen unter zumeist stationären Randbedingungen geeignet. Zu diesem Zweck wird ein zwei- oder dreidimensionales, in homogene Materialzellen unterteiltes (diskretisiertes) geometrisches Modell der zu betrachtenden baulichen Situation generiert. Für jede Zelle bzw. jeden Knotenpunkt und darüber hinaus durch Interpolation für jeden beliebigen Punkt dieses Modells werden dann Temperaturen errechnet, wobei vorzugsweise die Methode der finiten Elemente oder der finiten Differenzen angewendet wird. Für die in diesem Buch durchgeführten Berechnungen wurden die Programme HEAT 2 [Blomberg, 2006] und THERM [LBNL, 2018] für zweidimensionale sowie HEAT 3 [Blomberg, 2003] für dreidimensionale Simulationen verwendet (Bild 21 und Bild 22).

Bild 21 Isothermen-darstellung einer zweidimensionalen Wärmebrückeberechnung eines Dachanschlusses (geometrische Wärmebrücke) und eines Fensteranschlusses (konstruktive Wärmebrücke) unter Verwendung der Software HEAT 2 [Blomberg, 2006]

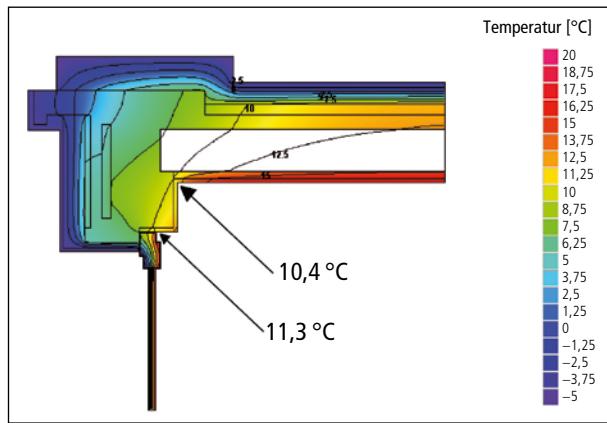
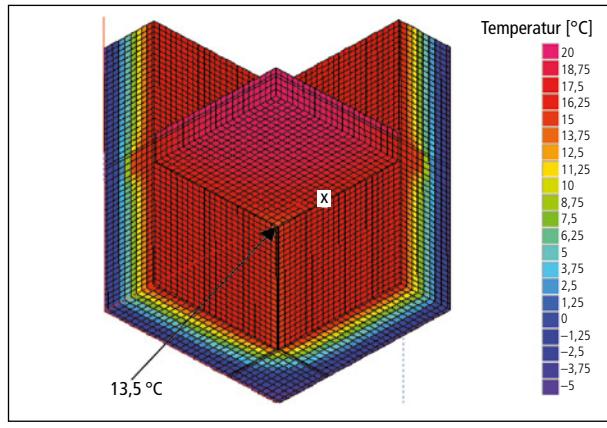


Bild 22 Isothermen-darstellung einer dreidimensionalen Wärmebrückeberechnung eines Deckenanschlusses an eine Gebäudeaußenkante (kombinierte geometrische und konstruktive Wärmebrücke) unter Verwendung der Software HEAT 3 [Blomberg, 2003]



DIN EN ISO 10211 sieht für die Berechnung als Regelfall stationäre Zustände vor und nimmt für die modellierte bauliche Situation insbesondere temperatur- und feuchteunabhängige physikalische Eigenschaften der verwendeten Materialien an. Weiterhin wird für die Berechnungsverfahren in DIN EN ISO 10211 unterstellt, dass in den zu generierenden Bauteilen keine Wärmequellen existieren. Dies bedeutet, dass zum einen beispielsweise die Feuchteabhängigkeit der angesetzten Wärmeleitfähigkeiten und zum anderen insbesondere die wiederkehrenden Schwankungen der klimatischen Randbedingungen im Tagesgang vernachlässigt werden. Insofern besitzen die erzeugten Simulationen einen Modellcharakter, der jedoch auf der Grundlage eines eingeschwungenen und – bei der Verwendung normierter Randbedingungen – vergleichbaren und universell anwendbaren Zustandes wiederum eine Vergleichbarkeit mit anderen Objekten und damit eine objektive Beurteilung des wärmeschutztechnischen Niveaus ermöglicht. Die entsprechend den all-

gemein anerkannten Regeln der Technik zugrunde zu legenden Randbedingungen werden im Einzelnen im nachfolgenden Kapitel erläutert.

Im Fall von sich schneidenden linienförmigen Wärmebrücken, beispielsweise in Raumecken o. Ä., nimmt die minimale Oberflächentemperatur im Schnittpunkt geringere Werte an als im Bereich der linienförmigen Wärmebrücken (z. B. Raumkante und einbindende Decke, Bild 22). Deshalb müssten derartige Bereiche streng genommen dreidimensional gerechnet werden. Dies ist zum einen jedoch mit einem erheblich höheren Aufwand verbunden als zweidimensionale Berechnungen. Zum anderen steht am Markt nur eine verhältnismäßig kleine Zahl an Softwareprodukten mit einem ungleich höheren Anschaffungspreis zur Verfügung, sodass in der Regel versucht wird, einfachere Lösungen zu finden. Sehr häufig kann anhand von Analogien im Schadensbild von den thermischen Oberflächenverhältnissen im Bereich zweidimensionaler Wärmebrücken auf diejenigen im Bereich einer dreidimensionalen Wärmebrücke geschlossen werden.

Ist dies nicht oder nicht ausreichend belastbar möglich, können Oberflächentemperaturen an dreidimensionalen Wärmebrücken, ggf. auch sogenannten Wärmebrückenatlanten (z. B. [Hauser, 2001], [Willems, 2006]), entnommen oder durch Superponierung der Ergebnisse zweidimensionaler Berechnungen abgeschätzt werden. Ein geeignetes Verfahren wird beispielsweise im Anhang B der mittlerweile zurückgezogenen DIN EN ISO 10211-2 (Ausgabe 2001-06) beschrieben. Die folgende Beispielrechnung zeigt einen Vergleich zwischen einer mit diesem Verfahren errechneten minimalen Oberflächentemperatur im Anschlussbereich eines Flachdachs in einer Gebäudeaußenkante und dem Ergebnis einer dreidimensionalen numerischen Wärmebrückeberechnung für den selben Bereich. Tabelle 3 enthält hierzu die auf der Grundlage zweidimensionaler Berechnungen nach DIN EN 10211 ermittelten minimalen Oberflächentemperaturen für die drei sich schneidenden linienförmigen Wärmebrücken.

Tabelle 3 ▪ Durch zweidimensionale Wärmebrückeberechnungen ermittelte minimale Oberflächentemperaturen im Bereich der jeweiligen linienförmigen Wärmebrücken

Rich-tung	Kante zwischen den Bauteilen	Klima- und Oberflächen-randbedingungen gemäß DIN 4108-2, Ausgabe 2013-02	minimale innen-seitige Oberflächen-temperatur $\theta_{si\ min}$ [°C]
x; y	Außenwand 1 und 2/ Dach	$\theta_e = -5\text{ °C};$ $R_{si} = 0,25\text{ m}^2\text{K/W}$	12,8
z	Außenwand 1/ Außenwand 2	$\theta_e = -5\text{ °C};$ $R_{si} = 0,25\text{ m}^2\text{K/W}$	12,2

Das in DIN EN ISO 10211-2 beschriebene Verfahren zur Abschätzung der minimalen Oberflächentemperatur im Schnittpunkt der drei linienförmigen Wärmebrücken beruht darauf, dass die jeweiligen zweidimensionalen Temperaturfaktoren $f_{R_{si}}^{2D,x}$ (als minimalem Temperaturfaktor der linienförmigen Wärmebrücke längs der x-Achse), $f_{R_{si}}^{2D,y}$ und $f_{R_{si}}^{2D,z}$ analog für die y- und die z-Achse) rechnerisch superponiert werden. Der jeweilige Temperaturfaktor $f_{R_{si}}^{2D,n}$ kann errechnet werden aus den jeweils zweidimensional ermittelten, in Tabelle 3 genannten minimalen Oberflächentemperaturen im Bereich der Wärmebrücken sowie den Randbedingungen aus DIN 4108-2:

$$1) \quad f_{R_{si}}^{2D,n} = \frac{(\theta_{si}^{2D,n} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)}$$

Weiterhin geht $f_{R_{si}}^{1D}$ als arithmetischer Mittelwert der Temperaturfaktoren der drei an die linienförmigen Wärmebrücken grenzenden, wärmotechnisch homogenen Teile der Gebäudehülle (Wand 1, Wand 2 und Dach) in die Berechnung ein. $f_{R_{si}}^{1D}$ kann aus den jeweiligen Wärmedurchlasswiderständen R sowie den Wärmeübergangswiderständen R_{si} und R_{se} wie folgt errechnet werden:

$$2) \quad f_{R_{si}}^{1D,n} = \frac{(R_{1D,n} + R_{se})}{(R_{1D,n} + R_{se} + R_{si})}$$

Die Abschätzung des minimalen dreidimensionalen Temperaturfaktors $f_{R_{si}}^{3D}$ erfolgt dann gemäß der Gleichung

$$3) \quad f_{R_{si}}^{3D} = \frac{1}{\left(\frac{1}{f_{R_{si}}^{2D,x}} + \frac{1}{f_{R_{si}}^{2D,y}} + \frac{1}{f_{R_{si}}^{2D,z}} - \frac{2}{f_{R_{si}}^{1D}} \right)}$$

Die Rechenschritte und Eingangsgrößen sind in Tabelle 4 tabellarisch zusammengefasst. Die helleren Felder stellen Eingabefelder für die wärmeschutztechnischen Eigenschaften der Konstruktion, die klimatischen Randbedingungen sowie die zweidimensional errechneten minimalen Oberflächentemperaturen dar, die dunkleren Felder Zwischenergebnisse.

Tabelle 4 ■ Tabellarische Zusammenfassung des Berechnungsverfahrens zur Superposition sich schneidender linienförmiger Wärmebrücken gemäß DIN EN ISO 10211-2, Ausgabe 2001-06

Bauteilschicht		Außenwand 1	Außenwand 2	Dach	
$R_n [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	1	$\lambda [\text{W}/(\text{mK})]$	0,210	0,210	
		d [m]	0,300	0,300	
	2	$\lambda [\text{W}/(\text{mK})]$	0,870	0,870	
		d [m]	0,020	0,020	
$R [\text{m}^2\text{K/W}]$		1,452	1,452	1,576	
$R_{si} [\text{m}^2\text{K/W}]$			0,25		
$R_{se} [\text{m}^2\text{K/W}]$			0,04		
$f_{R_{si}}^{1D}$		0,856	0,856	0,866	
$\theta_i [^\circ\text{C}]$			20		
$\theta_e [^\circ\text{C}]$			-5		
$\theta_{si}^{2D,x,y,z} [^\circ\text{C}]$		12,786	12,786	12,204	
$f_{R_{si}}^{2D,x,y,z}$		0,711	0,711	0,688	
$f_{R_{si}}^{1D}$ Mittelwert x, y, z			0,860		
$f_{R_{si}}^{3D}$			0,516		
$\theta_{si}^{3D} [^\circ\text{C}]$			7,901		

Nach dem beschriebenen Abschätzungsverfahren ist in der betreffenden Außenecke mit einer minimalen Oberflächentemperatur von $\theta_{si} = 7,9^\circ\text{C}$ zu rechnen. Die in Bild 23 dargestellte dreidimensionale numerische Berechnung kommt zu einem Ergebnis mit $\theta_{si} = 8,0^\circ\text{C}$.

Das beschriebene Handrechenverfahren kann insofern für den Beispielfall als ausreichend genau eingeschätzt werden. Es kann jedoch in der in DIN EN ISO 10211-2 beschriebenen Form ausschließlich für Außenecken mit nicht mehr als zwei Temperaturrearrbedingungen angewendet werden (z. B. Anschluss eines Flachdachs an zwei Außenwände oder Anschluss Bodenplatte an zwei erdberührte Kelleraußenwände). Schon im Bereich von Geschossdecken ist das Verfahren in der dargestellten Form hingegen nicht mehr anwendbar.

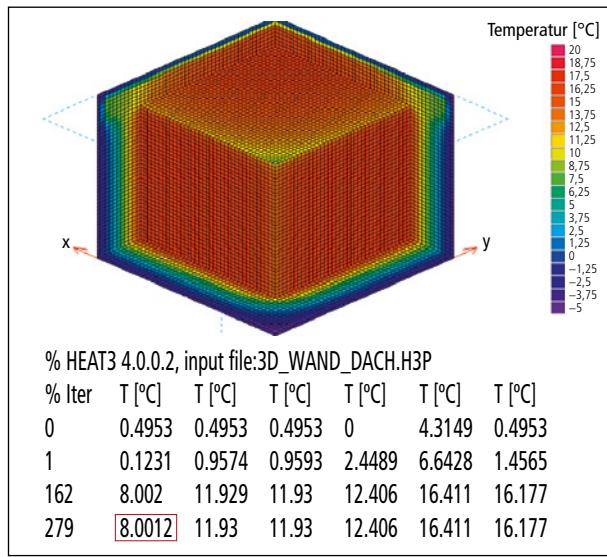


Bild 23 ■ Ergebnis der dreidimensionalen Vergleichsrechnung unter Verwendung von [Blomberg, 2003]

6.3.2.3 Instationäre Verfahren

Abgesehen von den oben beschriebenen, unter stationären klimatischen Randbedingungen durchgeföhrten Verfahren, sind auch Berechnungen unter Randbedingungen möglich, die die klimatischen Schwankungen im Tages- und Jahresgang berücksichtigen

So beschreibt die DIN EN ISO 13788 in Anhang B.1 ein relativ einfaches Rechenverfahren, mit dem zur Vermeidung von Schimmelbildung mindestens erforderliche Temperaturfaktoren $f_{R_{si}}$ für den kritischsten Punkt einer Gebäudehülle berechnet werden können. Dieser Berechnung werden die monatlichen Mittelwerte für das Außenklima zugrunde gelegt. Entsprechend Anhang A.1 der Norm werden aus der Außenlufttemperatur mithilfe eines Nomogramms die Raumlufttemperatur und die zugehörige relative Luftfeuchte abgeleitet. Einen grundsätzlich übereinstimmenden, lediglich hinsichtlich der Belegung und der hieraus resultierenden relativen Luftfeuchte abweichenden Ansatz enthält DIN EN 15026. Das WTA-Merkblatt 6-2 SIMULATION WÄRME- UND FEUCHTETECHNISCHER PROZESSE [WTA, 2014] und DIN 4108-3 enthalten jeweils ein Nomogramm, das die beiden Ansätze aus DIN EN ISO 13788 und DIN EN 15026 zusammenführt. In Kapitel 6.4.6 werden die betreffenden Nomogramme im Zusammenhang mit dem ›Verfahren der komplexen Datenloggermessungen‹ detailliert dargestellt und erläutert.

Für Berechnungen unter instationären klimatischen Randbedingungen sind einige der zur numerischen Berechnung von Wärmeströmen und Oberflächen-

temperaturen gemäß DIN EN ISO 10211 geeigneten Softwareprodukte in der Lage, Klimadatensätze zu verarbeiten oder zumindest Temperaturverläufe auf der Grundlage einer Sinusfunktion zu simulieren. Für die klimatischen Eingangsdaten können neben den Klimadaten der Testreferenzjahre [DWD, 2011] und [DWD, 2014] auch tatsächlich gemessene Daten für einen Ort oder eine Region (z. B. [DWD, 2019]) zur Anwendung kommen.

Darüber hinaus haben sich mittlerweile verschiedene Produkte an Simulationssoftware etabliert, die nicht alleine die thermischen Eigenschaften von Bauteilen, sondern auch das daran gekoppelte hygrische Verhalten von Baustoffen berücksichtigen (z. B. [IBP, 2013], [Bauklimatik DD, 2019]). Sie sind auf der Grundlage numerischer Modelle, z. B. von Feuchtespeicherfunktionen, in der Lage, komplexe hygrothermische Vorgänge in Bauteilen auch unter instationären klimatischen Randbedingungen zu simulieren. Diese Verfahren gewinnen im Zusammenhang mit der feuchteschutztechnischen Bewertung von Bauteilquerschnitten, die einer Anwendung des in DIN 4108-3 beschriebenen Handrechenverfahrens nach Glaser [Glaser, 1959] nicht zugänglich sind, zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft zumindest die eindimensionale Betrachtung von Bauteilquerschnitten, während die zweidimensionale Anwendung zumindest bislang eher selten erfolgt.

Für die Simulationssoftware [IBP, 2013] existiert überdies eine in [Sedlbauer, 2003] erstmals beschriebene, um biologische Parameter schon in älteren Versionen ergänzte Softwareerweiterung [IBP, 2003]. Dieses Verfahren berücksichtigt nicht nur die hygrothermischen Einflüsse auf die betrachteten Bauteile, sondern weitet die Betrachtung auf das temporäre Vorhanden-/Nichtvorhandensein der in Kapitel 2.4 erläuterten Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen aus. Beurteilungskriterium ist bei diesem Verfahren nicht mehr eine errechnete Oberflächentemperatur, die zu einer kritischen Oberflächenfeuchte führt, sondern das sich einstellende (oder ausbleibende) Schimmelpilzwachstum selbst. Dieses kann quantitativ berechnet und grafisch dargestellt werden. Hierfür wurden für übliche Bauteiloberflächen Isoplethensysteme auf der Grundlage repräsentativer Substratgruppen entwickelt, die insbesondere Auskunft über die hygrischen Wachstumsvoraussetzungen (kritische Grenzluftfeuchten) geben. Darüber hinaus wurden Modellbetrachtungen des osmotischen Potenzials einer Pilzspore einbezogen, die auch die Berücksichtigung des zwischenzeitlichen Austrocknens der Sporen aufgrund fehlender Feuchtezufuhr ermöglichen.

Im Hinblick auf die Anwendung der beschriebenen instationären Verfahren ist festzustellen, dass diese grundsätzlich eine realitätsnahe Simulation möglicher thermischer, hygrothermischer oder auch biohygrothermischer Zustände der betrachteten baulichen Situation gestatten. Mit zunehmender

Komplexität der Verfahren steigt jedoch die Zahl der zu berücksichtigenden, veränderbaren Einflussgrößen, für die Festlegungen oder verwertbare Informationen vorliegen bzw. Annahmen getroffen werden müssen⁵. Der mit der Anwendung dieser Verfahren einhergehende Aufwand nicht zuletzt auch für die gutachtliche Dokumentation und Darstellung der zu wählenden Parameter und der zu treffenden Annahmen ist insoweit, verglichen mit den stationären Verfahren, weitaus höher. Sie haben sich daher aufgrund der Möglichkeit, sehr spezifische Randbedingungen zu berücksichtigen, in erster Linie als geeignete Planungsinstrumente insbesondere im Zusammenhang mit hochwertigen oder diesbezüglich sensiblen Bauaufgaben, beispielsweise in der Denkmalpflege [Roloff, 2002] etabliert. Für die Beurteilung von Schimmel im Rahmen typischer Sachverständigengutachten werden sie bislang aber nur in Einzelfällen herangezogen.

6.3.2.4 Entwicklung der Bewertung der Berechnungsergebnisse

Anforderungen bis 2001 (DIN 4108-2:1981-08)

Eine Überprüfung der minimal zu erwartenden Oberflächentemperaturen kritischer Konstruktionen war zwar für bestimmte Fälle bereits in der TGL 10686 von 1965 vorgesehen, wurde jedoch in der Bundesrepublik erstmals mit der Ausgabe der DIN 4108-3 vom August 1981 in die Beurteilung des Mindestwärmeschutzes eingeführt. Dagegen beschränkten sich die vorherigen Ausgaben dieser Norm im Wesentlichen auf die Festlegung wärmeschutztechnischer Kennwerte gebräuchlicher Konstruktionen, bei deren Einhaltung ein ausreichender Tauwasserschutz auch im Bereich von geometrischen Wärmebrücken vorausgesetzt wurde. Das seinerzeit maßgebliche Kriterium war die Tauwasserfreiheit an der raumseitigen Oberfläche einer Konstruktion.

Entsprechend der TGL 10686 war für die erforderliche Berechnung von einer Außenlufttemperatur je nach »Bau-Klimazone« von -15°C bzw. -20°C sowie von raumseitigen Wärmeübergangswiderständen von $1/\alpha_i$ (heute: R_{si}) = $0,22 \text{ (m}^2 \text{ h}^{\circ})/\text{kcal}$ ($\approx 0,19 \text{ (m}^2 \text{K})/\text{W}$) für vertikale und von $1/\alpha_i = 0,25 \text{ (m}^2 \text{ h}^{\circ}/\text{kcal})$ ($\approx 0,21 \text{ (m}^2 \text{K})/\text{W}$) für horizontale Außenkanten auszugehen. Die DIN 4108-3 in der Ausgabe von 1981 sah eine Außenlufttemperatur von -15°C und einen innenseitigen Wärmeübergangswiderstand von $1/\alpha_i = 0,17 \text{ (m}^2 \text{K})/\text{W}$ vor. Auch die Möglichkeit, im Bereich thermischer

⁵ Hinweise hierzu enthalten z.B. die WTA-Merkblätter [WTA, 2002] und [WTA, 2014]

Abschirmung ggf. höhere Wärmeübergangswiderstände anzusetzen, fand hier bereits Erwähnung. Aus der intendierten Vermeidung von Oberflächentauwasser resultierte, dass unter den genannten Randbedingungen, d. h. bei

- außenseitigen Randbedingungen mit
 $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ und $1/\alpha_e$ (heute: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$ sowie
- raumseitigen Randbedingungen mit
 $\theta_i = 20^\circ\text{C}$, $1/\alpha_i$ (heute: $R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$ und $\varphi_i = 50\%$

eine Mindestoberflächentemperatur einzuhalten war von $\theta_{si,min} \geq 9,3^\circ\text{C}$.

Dies stellte für die Folgezeit in der Bundesrepublik das wesentliche Kriterium für die Betrachtung wärmeschutztechnisch kritischer Bereiche und die Berechnung von Wärmebrücken dar. Es bildete unter Berücksichtigung des seinerzeitigen Wärmeschutzstandards, der im Allgemeinen verfügbaren Berechnungsmethoden sowie des damaligen Kenntnisstandes der mikrobiologischen Zusammenhänge eine geeignete Grundlage sowohl für eine ausreichend sichere Planung als auch für eine differenzierte Betrachtung im Rahmen einer sachverständigen Beurteilung.

Anforderungen seit 2001 (DIN 4108-2:2001 ff.)

Eine einschneidende Veränderung in der Bewertung des Schimmelrisikos haben seit dem Beginn der 1990er-Jahre weitergehende mikrobiologische Erkenntnisse (z.B. [Waubke, 1990], [Erhorn, 1990], [Gertis, 2000]) bewirkt. Diese haben dazu geführt, dass im Hinblick auf die Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze die Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten (nämlich einer oberflächennahen relativen Luftfeuchte von $\varphi_{si} > 80\%$) als maßgebendes Kriterium erkannt worden ist und das bislang gebräuchliche Tauwasserkriterium abgelöst hat. In diesem Zusammenhang wurde auch der vielfach insbesondere von Juristen kritisierte Ansatz der Außenlufttemperatur von $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ auf $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ korrigiert. Im Gegenzug wurde der bei der Berechnung anzusetzende innenseitige Wärmeübergangswiderstand auf $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$ erhöht, wodurch die mit der Verringerung der Außenlufttemperatur einhergehende Reduzierung der Anforderungen teilweise kompensiert wurde. Die Beispielrechnungen auf Bild 24 und Bild 25 zeigen die Auswirkungen der veränderten Randbedingungen für eine Gebäudeaußencke aus hochdämmendem Mauerwerk und einen Fensteranschluss.

Es zeigt sich, dass zumindest für bestimmte Konstruktionsaufbauten auf der Grundlage der »neuen« Randbedingungen deutlich höhere Oberflächentemperaturen errechnet werden als mit den »alten« Randbedingungen. Da aber auch die mindestens einzuhaltende Oberflächentemperatur mit der Umstellung vom Tauwasser- auf das sogenannte Schimmelpilzkriterium (80 % re-

relative Oberflächenfeuchte) von $\theta_{si,min} \geq 9,3^{\circ}\text{C}$ auf $\theta_{si,min} \geq 12,6^{\circ}\text{C}$ deutlich angehoben wurde, sind die wärmeschutztechnischen Anforderungen mit der »neuen« DIN 4108-2, Ausgabe 2001-06 ff. insgesamt dennoch gestiegen und damit auch den veränderten technischen Möglichkeiten angepasst worden.

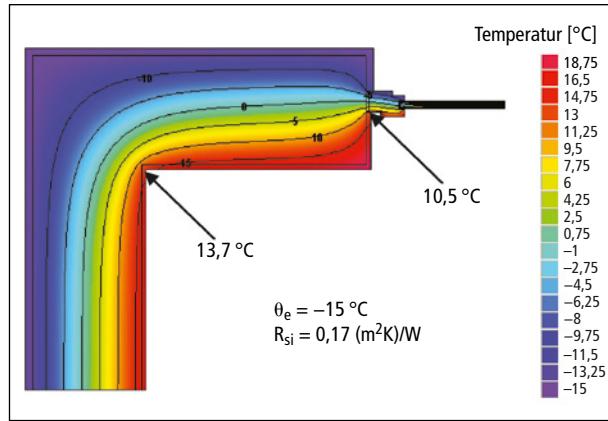


Bild 24 ■ Ergebnis einer zweidimensionalen Wärmebrückeberechnung unter Anwendung der Randbedingungen aus DIN 4108-3, Ausgabe 1981-08

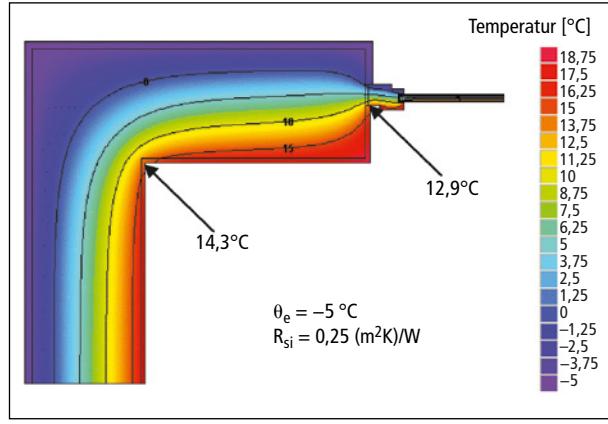


Bild 25 ■ Ergebnis einer zweidimensionalen Wärmebrückeberechnung unter Anwendung der Randbedingungen aus DIN 4108-2, Ausgabe 2001-03 ff.

Tabelle 5 enthält eine Übersicht über die einschlägigen Temperatur- und Oberflächenrandbedingungen, wie sie sich aus den aktuellen Ausgaben der DIN 4108-2 und des DIN-Fachberichts 4108-8 ergeben. Die hinsichtlich einer ausreichenden Sicherheit vor Schimmelbildung einzuhaltende Mindestoberflächentemperatur beträgt unter diesen Randbedingungen $\theta_{si,min} \geq 12,6^{\circ}\text{C}$.

Tabelle 5 ■ Temperaturrechteckbedingungen und Wärmeübergangswiderstände für den rechnerischen Nachweis des Mindestwärmeschutzes im Bereich von Wärmebrücken nach DIN 4108-2 und -8

»Innen« – der nachzuweisenden Bauteiloberfläche zugewandter Raum	
Lufttemperatur θ_i	20 °C
Raumseitiger Wärmeübergangswiderstand R_{si} :	
■ opake Oberflächen	0,25 (m ² K)/W
■ durch Möblierung thermisch abgeschirmte Oberflächen	0,50 (m ² K)/W
■ Verglasungen und Rahmenflächen von Fenstern o.ä.	0,13 (m ² K)/W
relative Raumluftfeuchte φ_i	50 %
»Außen« – benachbarter, der nachzuweisenden Bauteiloberfläche abgewandter Bereich	
Außenlufttemperatur θ_e	-5 °C
Lufttemperatur unbeheizter Dachraum/Tiefgarage θ_u	-5 °C
Lufttemperatur unbeheizter Keller/unbeheizte Pufferzone θ_u	10 °C
Temperatur im Erdreich an der Unterseite des nach DIN EN ISO 10211, Tabelle 1 modellierten Erdkörpers unterhalb des Gebäudes θ_g (untere Modellgrenze)	10 °C
außenseitiger Wärmeübergangswiderstand R_{se}	nach DIN EN ISO 6946

Abweichend oder ergänzend darf für benachbarte Räume deren bestimmungsgemäße Lufttemperatur angesetzt werden. Beiblatt 2 zu DIN 4108 enthält in Tabelle 7 Beispieldarstellungen zur numerischen Modellbildung und den anzulegenden Randbedingungen.

Die zwischenzeitlich seit Beginn der 1990er-Jahre für die Beurteilung von Wärmebrücken teilweise angewendete Mixtur aus »alten« Randbedingungen ($\theta_e = -15^\circ\text{C}$, $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$) und »neuer« kritischer Oberflächentemperatur ($\theta_{si,krit.} = 12,6^\circ\text{C}$) hat sich dagegen vernünftigerweise nicht durchsetzen können und ist spätestens seit Inkrafttreten von DIN 4108-2, Ausgabe 2001-03 auch für die Beurteilung von Gebäuden aus diesem Zeitraum (ca. 1990 bis 2001) nicht mehr sinnvoll. Warum dies so ist, zeigen unter anderem die Beispielrechnungen in Bild 24 und Bild 25. Bei einer Beurteilung etwa des Fensteranschlusses unter Zugrundelegung der »alten« Randbedingungen und des »neuen« Schimmelpilzkriteriums wäre dieser Anschluss mit einer minimalen innenseitigen Oberflächentemperatur von $\theta_{si} = 10,5^\circ\text{C}$ als mangelhaft einzustufen. Eine Instandsetzung, die selbstverständlich nach den heute gültigen Regelwerken zu erfolgen hätte, wäre jedoch nicht erforderlich, da die minimale innenseitige Oberflächentemperatur unter Zugrundelegung der »neuen« gemäßigteren Randbedingungen mit $\theta_{si,min.} = 12,9^\circ\text{C}$ oberhalb des kritischen Wertes von $\theta_{si,krit.} = 12,6^\circ\text{C}$ liegt.

Auch die vereinzelt geäußerte Forderung nach einer deutlichen Erhöhung der kritischen Oberflächentemperatur auf 15 °C durch Einführung einer Art Sicherheitsbeiwert [Cziesielski, 1999], [Cziesielski, 2004] konnte sich bislang nicht durchsetzen. Insgesamt haben sich nach Auffassung der Autoren sowohl das Schimmelpilzkriterium als auch die vorstehend dargestellten rechnerischen Randbedingungen bewährt. Gleichwohl stellt sich die Frage, ob diese Randbedingungen der Beurteilung des hygienischen Wärmeschutzes, der ja eigentlich ein klimatischer »Oberflächenfeuchteschutz« ist und in der DIN 4108 von 1981 auch in Teil 3 – KLIMABEDINGTER FEUCHTESCHUTZ angesiedelt war, immer ganz gerecht werden. So stehen die genannten Randbedingungen trotz der deutlichen Anhebung der anzusetzenden Außenlufttemperatur dennoch in der Tradition des Wärmeschutzes im Sinne eines Schutzes vor Kälte, dem auf der Grundlage meteorologischer Erkenntnisse folgerichtig stets besonders kalte und damit trockene äußere Bedingungen zugrunde gelegt wurden (z.B. [Cammerer, 1983]).

Berücksichtigt man über die technischen Kennwerte der Konstruktion hinaus die Angaben betroffener Nutzer zum Entstehungszeitpunkt von Schimmelbeschäden sowie die raum- und außenklimatischen Bedingungen aus den zahlreichen von den Autoren durchgeführten Raumklimaaufzeichnungen mit Datenloggern, ergeben sich Hinweise darauf, dass weniger besonders kalte, als vielmehr eher feuchte Perioden mit hohen Raum- und Außenluftfeuchten bei verhältnismäßig geringen Außenlufttemperaturen (z.B. im Herbst) als kritisch anzusehen sind [Oster, 2007], [Sutter, 2012].

Allerdings fehlen zur Berücksichtigung derartiger klimatischer Verhältnisse im Zusammenhang mit Wärmebrückennberechnungen bislang universell anwendbare, eine Vergleichbarkeit und unabhängige Bewertung gewährleistende Grundlagen, sodass eine Beurteilung von Schimmelbildung auf dieser Basis derzeit nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Zudem ist bislang noch zu untersuchen, ob sich unter Einbeziehung der Übergangsjahreszeiten in die Beurteilung tatsächlich vollkommen andere Ergebnisse ergäben. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Zugrundelegung der oben erläuterten klimatischen Randbedingungen im Zusammenhang mit dem hierauf abgestimmten europäischen Regelwerk nicht nur den derzeit allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, sondern nach Auffassung der Autoren auch bei der Beurteilung von Schimmelbildung meist zu sinnvollen und verwertbaren Ergebnissen führt.

6.3.2.5 Wärmeübergangswiderstände

Neben dem Außenklima kommt bei der Berechnung von Oberflächentemperaturen – wie bereits angedeutet – dem innenseitigen Wärmeübergangswiderstand besondere Bedeutung zu, weshalb hierzu nachfolgend einige

wesentliche Aspekte erläutert werden. Der Wärmeübergangswiderstand R_{si} beschreibt den Effekt der energetischen Wechselwirkungen zwischen Oberflächen und angrenzender Luft auf die Wärmestromdichten beim Durchgang von Wärmeenergie durch ein Bauteil (Wärmedurchgang). Wenn eine Bauteiloberfläche eine andere Temperatur besitzt als die angrenzende Luft, kommt es zu einem Wärmestrom in Richtung des Temperaturgefälles, dem sogenannten Wärmeübergang. Dieser wird mit dem Wärmeübergangskoeffizienten h bezeichnet, der sich entsprechend den physikalischen Vorgängen des Wärmeaustauschs zwischen den jeweiligen Grenzflächen (Bauteiloberfläche/Luft) aus einem konvektiven Anteil h_{cv} und einem Anteil aus Wärmestrahlung h_r zusammensetzt:

$$4) \quad h = h_{cv} + h_r \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$$

Die Größe der bei diesem Übergang entstehenden Wärmestromdichte q [W/m^2] ist in erster Linie abhängig von der vorhandenen Differenz zwischen den herrschenden Temperaturen. Demzufolge ergibt sich für die Wärmestromdichte

$$5) \quad q = h \cdot (\theta_{i/e} - \theta_s) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

mit:

h Wärmeübergangskoeffizient [$\text{W/(m}^2\text{K)}$]

$\theta_{i/e}$ Umgebungstemperatur (Raumluft θ_i /Außenluft θ_e) [$^\circ\text{C}$]

θ_s Oberflächentemperatur [$^\circ\text{C}$]

Der Einfluss auf den Wärmedurchgang durch ein Bauteil wird für außen und innen jeweils durch den Kehrwert des Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben mit

$$6) \quad R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad \text{bzw.} \quad R_{se} = \frac{1}{h_e} \text{ [(m}^2\text{K)/W]}$$

Mit zunehmendem Wärmeübergang im Bereich der raumseitigen Grenzflächen steigt auch die Oberflächentemperatur. Ist dieser Wärmeübergang aufgrund thermischer Abschirmung behindert, sinkt der Wärmeübergangskoeffizient h bzw. steigt der Wärmeübergangswiderstand R_{si} . Der Ansatz eines kleineren Wärmeübergangswiderstandes führt bei der Berechnung folglich zu einer höheren, während ein größerer R_{si} -Wert zu einer geringeren innenseitigen Oberflächentemperatur führt. Mit einer Behinderung des Wärmeübergangs, d.h. einer Vergrößerung des Wärmeübergangswiderstands, steigt dementsprechend auch die Gefahr von schimmelkritischen Oberflächenfeuchten (Bild 26 und Bild 27).



Bild 26 ■ Schimmelbildung infolge thermischer Abschirmung hinter Bildern an einer Außenwand



Bild 27 ■ Schimmelbildung infolge thermischer Abschirmung in einem Küchenunterschrank ohne Rückwand

Der Wärmeübergang bzw. der Wärmeübergangswiderstand besitzt folglich große Bedeutung für die Beschreibung der physikalischen Vorgänge an Bauteiloberflächen. Mit seiner Hilfe lassen sich bei der Berechnung innenseitiger Oberflächentemperaturen die konvektiven und strahlungsbedingten Behinderungen des Wärmeübergangs in thermisch abgeschirmten Bereichen beschreiben. Der nachfolgende Exkurs soll diese Wirkung erläutern, jedoch auch zeigen, dass der Wärmeübergangswiderstand als eine wesentliche Randbedingung in Wärmebrückeberechnungen ein Rädchen ist, an dem nur mit großer Vorsicht und bei Vorliegen entsprechender Erfahrungen gedreht werden sollte.

Die innenseitige Oberflächentemperatur θ_{si} hängt ab von den wärmeschutztechnischen Eigenschaften des Bauteils, den innen- und außenseitigen Temperaturen sowie dem außen- und insbesondere dem innenseitigen Wärmeübergang, der wiederum von den spezifischen Bedingungen von Konvektion

bzw. Wärmestrahlung im Grenzbereich Oberfläche/Luft beeinflusst wird. Sie lässt sich entsprechend DIN 4108-3 eindimensional berechnen aus

$$7) \quad \theta_{si} = \theta_i - R_{si} \cdot (U \cdot (\theta_i - \theta_e))$$

mit:

$\theta_{i/e}$ Umgebungstemperatur (Raumluft θ_i /Außenluft θ_e) [°C]

R_{si} raumseitiger Wärmeübergangswiderstand [(m²K)/W]

U Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m²K)]

Über diese Beziehung kann durch Umstellen auch das Maß angegeben werden, in dem sich die Oberflächentemperatur in der Relation zur Differenz zwischen Raum- und Außenlufttemperatur absenkt. Dies kann zum einen ausgedrückt werden über die dimensionslose Größe der spezifischen Temperaturabsenkung $f_{si,min}$, für die gilt:

$$8) \quad f_{si,min} = \frac{(\theta_i - \theta_{si,min})}{(\theta_i - \theta_e)} = R_{si} \cdot U$$

Gebräuchlicher ist die Angabe der relativen Temperaturabsenkung hingegen über den ebenfalls dimensionslosen Temperaturfaktor $f_{R_{si}}$, für den gilt:

$$9) \quad f_{R_{si}} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} = 1 - R_{si} \cdot U$$

Der Temperaturfaktor wird in DIN 4108-2 hinsichtlich des Mindestwärme- schutzes als maßgebende rechnerische Größe für die Beurteilung der Schim- melpilzsicherheit genannt. Unter den dort formulierten, unten erläuterten Randbedingungen wird gefordert, dass $f_{R_{si}} \geq 0,7$ bzw. $\theta_{si,min} \geq 12,6^\circ\text{C}$ einzuhalten ist.

Die Größen f_{si} und $f_{R_{si}}$ stehen in folgender Weise in Beziehung zueinander:

$$10) \quad f_{si} + f_{R_{si}} = 1$$

Die Darstellung der spezifischen Temperaturabsenkung und des Temperaturfaktors über die Größen R_{si} und U verdeutlicht, dass der Wärmeübergangs- widerstand unmittelbaren Einfluss auf die Oberflächentemperatur hat.

Tabelle 6 ■ Übersicht über die Angaben zu innenseitigen Wärmeübergangswiderständen R_{si} in der Literatur

bauliche Situation, Bauteil	R_{si} [m ² K/W]	Quelle
Rahmen und Verglasungen von Fenstern	0,13	DIN EN ISO 10077-2, DIN EN ISO 13788, DIN 4108-8
Fensterbereiche mit behinderter Konvektion an Rahmen und Verglasungen von Fenstern (Falzüberschläge, Vertiefungen, Randbereiche der Verglasungen zu den Glasleisten)	0,20	DIN EN ISO 10077-2
Außenwände und -kanten (»Standardwert«)	0,25	DIN 4108-2
Außenwände und -kanten im bodennahen Bereich	0,35	DIN EN ISO 10211-1:1995
Außenwände und -kanten bei thermischer Abschirmung, z.B. durch unmittelbar davor platzierte Möbelstücke	0,50	DIN 4108-8
Außenwandbereiche hinter fest eingebauten Einbauschränken	1,00	z. B. DIN 4108-8, [Bonk, 2004], [Marquardt, 2003]

Die Gleichung 4) stellt den Wärmeübergang insoweit vereinfacht dar, als zur Ermittlung der Einflüsse aus Strahlung und Konvektion jeweils standardisierte Annahmen zugrunde gelegt werden. Dies betrifft beispielsweise die Annahme eines bedeckten Himmels für den außenseitigen Wärmeübergang, sodass grundsätzlich jegliche Einflüsse aus kurzwelliger Sonneneinstrahlung, langwelliger Abstrahlung gegen den Nachthimmel oder Strahlungsaustausch mit anderen Flächen unberücksichtigt bleiben. Diese und weitere Einflüsse (insbesondere im Zusammenhang mit der Strahlungstemperatur von Oberflächen) können erhebliche Auswirkungen auf den Wärmeübergang und den Wärmeübergangswiderstand haben, lassen sich jedoch nur mit Simulationssoftware und unter Verwendung geeigneter Klimadatensätze, nicht jedoch bei Wärmebrückenberechnungen unter stationären Randbedingungen berücksichtigen. Daher wird für derartige Berechnungen in Übereinstimmung mit der Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN EN ISO 6846 auf insoweit standardisierte Wärmeübergangswiderstände auf der Grundlage der Gleichung 4) und entsprechend vereinfachter Annahmen zurückgegriffen, die sich für diese Anwendungen jedoch bewährt haben.

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die in den maßgebenden Regelwerken DIN 4108-2:2013, DIN 4108-8 und DIN EN ISO 10077 sowie von verschiedenen Autoren, z.B. [Bonk, 2004] und [Marquardt, 2003] für unterschiedliche Anwendungszwecke genannten raumseitigen Wärmeübergangswiderstände. Zu den Wärmeübergangswiderständen aus DIN EN ISO 10077-2 ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass diese zwar eigentlich für die Berechnung

des Wärmedurchgangskoeffizienten festgelegt sind. Sie eignen sich jedoch erfahrungsgemäß auch gut zur Berücksichtigung von Bereichen mit behinderter Konvektion wie Rücksprüngen und Vertiefungen an Rahmen von Fensterkonstruktionen und ergänzen insofern für derartige Konstruktionen sinnvoll die Vorgaben im DIN-Fachbericht 4108-8.

Hingegen fällt aus dem offenbar relativ gut ausdifferenzierten unteren Wertebereich insbesondere der im DIN-Fachbericht 4108-8 und z.B. in [Bonk, 2004] und [Marquardt, 2003] vorgeschlagene Ansatz eines äquivalenten Wärmeübergangswiderstandes von $R_{si;eq} = 1,0 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$ zur Simulation der thermischen Abschirmung im Bereich von Einbaumöbeln heraus. Die Beispielrechnungen in Bild 28 und Bild 29 zeigen den Einfluss der genannten R_{si} -Werte auf die Ergebnisse der Berechnung von Oberflächentemperaturen jeweils für eine ältere, wärmeschutztechnisch ungünstige und eine neuere, diesbezüglich günstige Situation.

Die Diagramme in Bild 30 verdeutlichen hierzu die größere Auswirkung steigender R_{si} -Werte auf die Oberflächentemperaturen älterer, wärmeschutztechnisch ungünstiger gegenüber neueren, wärmeschutztechnisch günstigeren Konstruktionen. Die dargestellten Berechnungen belegen die oben stehenden theoretischen Betrachtungen und veranschaulichen, dass sehr hohe Wärmeübergangswiderstände – wenn überhaupt – nur mit äußerster Vorsicht verwendet werden sollten. Dies gilt insbesondere für den Wert $R_{si;eq} = 1,0 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$. Welcher Wert letztendlich für die rechnerische Berücksichtigung derartiger Situationen sinnvollerweise und im Einklang mit den weiter oben aufgeführten Regelwerken für eine besondere bauliche Situation anzuwenden ist, muss im Einzelfall nach sorgfältiger Abwägung der vorliegenden Randbedingungen festgelegt werden.

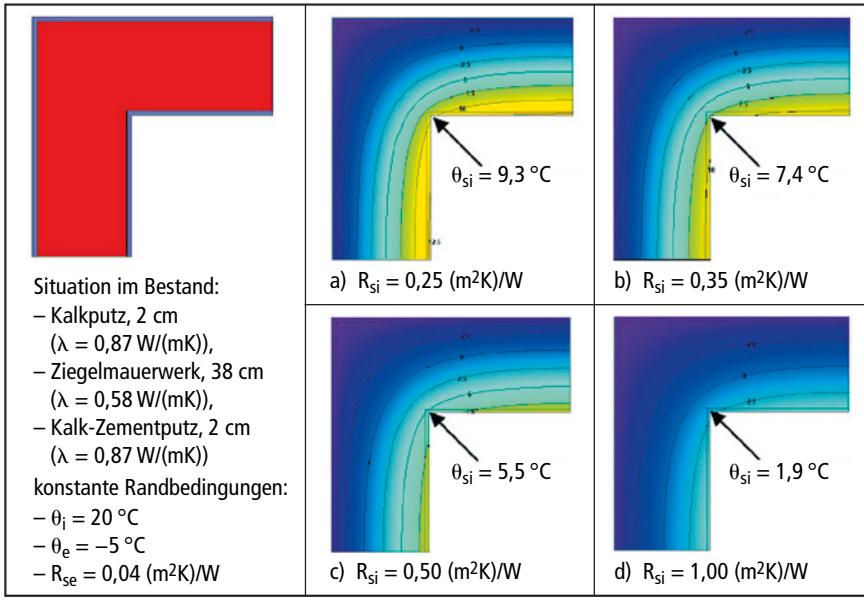


Bild 28 ■ Zweidimensionale Beispielrechnung unter Verwendung verschiedener R_{si} -Werte für eine ältere Bausubstanz im Bestand

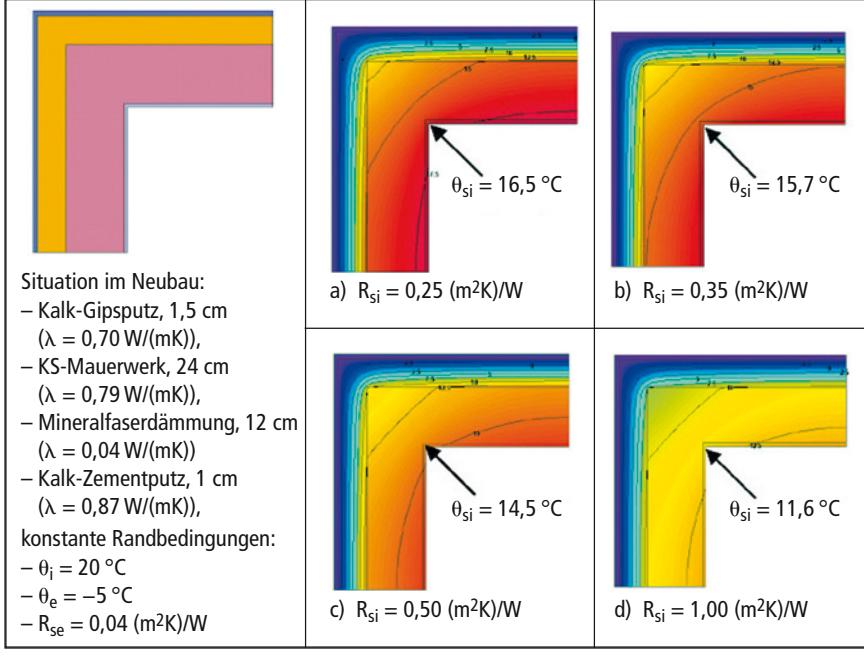


Bild 29 ■ Zweidimensionale Beispielrechnung unter Verwendung verschiedener R_{si} -Werte für eine Bausubstanz mit hohem wärmeschutzechnischem Standard

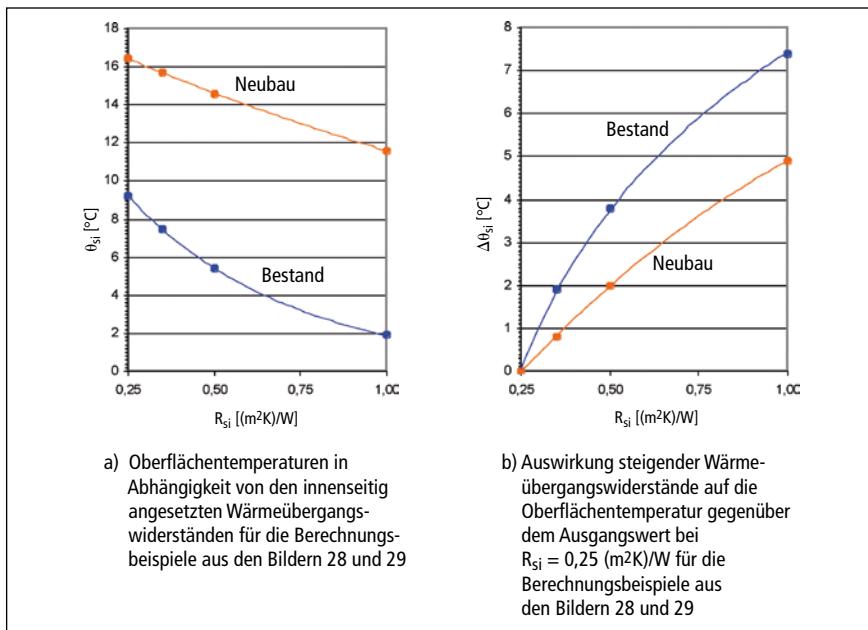


Bild 30 ■ Auswirkungen unterschiedlicher R_{si} -Werte auf die Berechnungsergebnisse aus Bild 28 (blaue Kurven) und Bild 29 (orangefarbene Kurven)

6.3.2.6 Festlegung der jeweils anzuwendenden Randbedingungen in Abhängigkeit vom Baualter

Hinsichtlich der Anwendung der oben dargestellten Randbedingungen auf Gebäude verschiedener Baualter dürfte außer Frage stehen, dass Gebäude oder Gebäudeteile, die seit dem Inkrafttreten der Neufassung der DIN 4108-2 im Jahr 2001 geplant und errichtet wurden, rechnerisch auch nach den entsprechenden Randbedingungen zu behandeln sind. Dies gilt sowohl für die Überprüfung hinsichtlich der Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik als auch für die Beurteilung des Nutzerverhaltens.

Für Bauten, die zwischen 1981 und 2001 errichtet worden sind, ist es hingegen zweckmäßig, für die Beurteilung der Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit, also für den Nachweis der Tauwasserefreiheit, zunächst die Randbedingungen aus der in diesem Zeitraum gültigen Fassung der DIN 4108 von 1981 heranzuziehen (Außenlufttemperatur $\theta_e = 15^\circ C$; raumseitiger Wärmeübergangswiderstand $R_{si} = 0,17$ [m^2K/W ; siehe oben]). Gleichermaßen gilt sinngemäß auch für die im Geltungsgebiet und -zeitraum der jeweiligen TGL errichteten Gebäude. Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit wird im Hinblick auf die vorstehenden Ausführungen jedoch die

Anwendung der Randbedingungen aus den Neufassungen der DIN 4108-2 seit der Ausgabe 2003-02 empfohlen.

Ähnliches gilt für Gebäude, für deren wärmeschutztechnische Beurteilung ältere Ausgaben der DIN 4108 vor 1981 maßgeblich wären, oder für die aufgrund ihres Baualters keinerlei explizite wärmeschutztechnische Anforderungen existieren, sondern deren Konstruktion ganz allgemein den anerkannten Regeln der Technik ihrer Zeit und der jeweiligen Region entsprechen musste. Auch hier empfiehlt es sich, für Wärmebrückeberechnungen, anhand derer dann die Gebrauchstauglichkeit beurteilt werden soll, die aktuellen Randbedingungen aus DIN 4108-2 anzuwenden.

6.3.3 Ermittlung der Grenzluftfeuchte

Die Ausführungen in Kapitel 2.4 zeigen die Abhängigkeit des Schimmelrisikos vom Feuchteangebot an der Bauteiloberfläche und infogedessen von der Oberflächentemperatur einerseits und der relativen Raumluftfeuchte andererseits. Die Darstellung dieser Beziehung ist von zentraler Bedeutung für die Beurteilung, in wessen Verantwortungsbereich die Ursache für ein entsprechendes Schadensbild liegt. So lässt sich hieraus herleiten, welche Raumluftfeuchte einzuhalten, d. h. maximal zulässig ist, um die Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze im Bereich der betrachteten wärmeschutztechnischen Schwachpunkte sicher zu vermeiden. Sie kann grafisch in einem Diagramm erfolgen. In Bild 31 sind in ein derartiges Diagramm die errechneten Oberflächentemperaturen θ_{si} aus Bild 28 auf der Ordinate als Geraden eingetragen. Die kritischen Grenztemperaturen für Schimmelbildung sind in Abhängigkeit von der relativen Raumluftfeuchte φ_i (Abszisse) als Kurve $\theta_{\varphi=80\%}$ dargestellt (zum Vergleich Kurve $\theta_{\varphi=100\%}$ für Tauwasserbildung). Die senkrechten Pfeile a), b), c), und d) übertragen die Schnittpunkte zwischen den errechneten Oberflächentemperaturen θ_s und den für Schimmelbildung kritischen Grenztemperaturen (Kurve $\theta_{\varphi=80\%}$) auf die Abszisse und zeigen hier diejenigen Grenzwerte für die relative Raumluftfeuchte an, oberhalb derer für die jeweiligen Oberflächentemperaturen die oberflächennahe relative Luftfeuchte von $\varphi = 80\%$ überschritten wird.

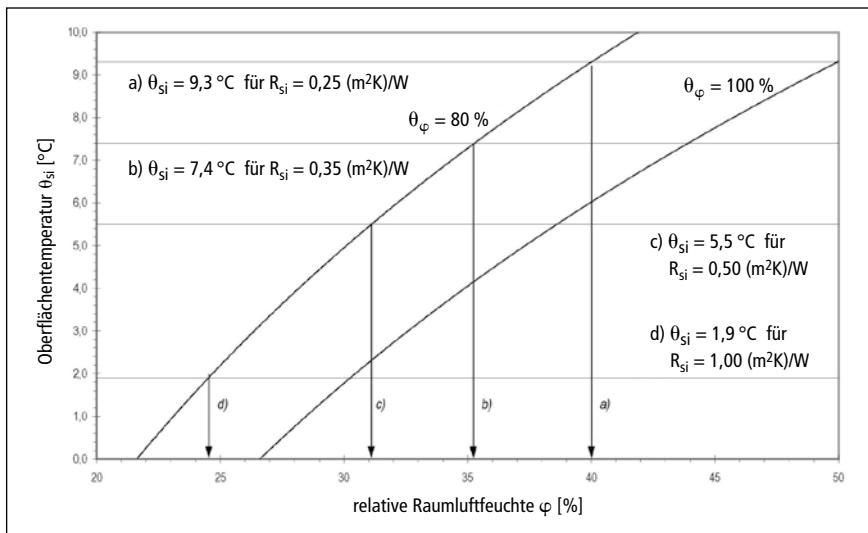


Bild 31 ■ Schimmelkritische Grenzluftfeuchten für die in der Beispielrechnung in Bild 28 ermittelten minimalen Oberflächentemperaturen

Für die in der Beispielrechnung aus Bild 28 errechneten Oberflächentemperaturen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 7 zusammengefassten, für Schimmelbildung kritischen Grenzluftfeuchten.

Die Grenzluftfeuchten bezeichnen zusammen mit einer Raumlufttemperatur von $\theta_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$ nach DIN 4108-2 das jeweils einzuhaltende Raumklima, um die untersuchten kritischen Bereiche sicher schadenfrei zu halten.

Das Raumklima stellt insofern ein entscheidendes Beurteilungskriterium dar und wird im nachfolgenden Kapitel zum einen hinsichtlich seiner maßgeblichen Einflussgrößen und zum anderen unter dem Aspekt der Behaglichkeit behandelt.

Tabelle 7 ■ Übersicht über die anhand des Diagramms in Bild 31 ermittelten schimmelkritischen Grenzluftfeuchten aus der Beispielrechnung aus Bild 28

	innenseitiger Wärmeüber- gangswider- stand R_{si} [m^2K/W]	minimale innenseitige Oberflächen-temperatur θ_{si} [$^{\circ}C$]	schimmel- kritische Grenz- luftfeuchte φ_{iGrenz} [%]
a)	0,25	9,3	40
b)	0,35	7,4	35
c)	0,50	5,5	31
d)	1,00	1,9	24

6.3.4 Bestimmung des erforderlichen Raumklimas und der notwendigen Lüftungsintervalle

6.3.4.1 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit stellt ein Bewertungskriterium für das subjektive Empfinden der den Menschen umgebenden Luft dar, d. h. ein Maß dafür, ob wir uns in einem Klima wohlfühlen oder nicht. Um dies zu erfassen, existieren zahlreiche Modelle, die verschiedenste physikalische, physiologische und neurologische Parameter berücksichtigen, z. B. Vorhersagemodelle zur Zufriedenheit oder Unzufriedenheit über den PMV- oder PPD-Index nach DIN EN ISO 7730. Im vorliegenden Zusammenhang mit dem Raumklima stellen die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte die wichtigsten Einflussgrößen dar.

Der Mensch besitzt eine sehr stark unterschiedlich ausgeprägte Sensibilität für die Wahrnehmung dieser Einflüsse: Während wir Temperaturunterschiede von wenigen Kelvin spüren und auf sie in verhältnismäßig kurzer Zeit beispielsweise mit Frieren oder Schwitzen reagieren, bemerken wir Veränderungen der relativen Luftfeuchte bei gleichbleibender Temperatur kurzfristig allenfalls bei größeren Differenzen. Auch langfristig wird die relative Luftfeuchte im Wesentlichen im unteren Wertebereich, und zwar durch Nebenerscheinungen, wie z. B. Reizungen der Atemwege oder Hauttrockenheit, wahrgenommen. Im Winter ist deshalb, wie die Erfahrung zeigt, eine Regulierung des Raumklimas hinsichtlich der Temperatur in der Regel allein aufgrund der Wahrnehmung über die Haut möglich. Hinsichtlich der relativen Raumluftfeuchte ist dies nicht ohne Weiteres möglich, sodass hier technische Indikatoren wie z. B. Hygrometer benötigt werden, um bestimmte Werte einzuhalten.

Vor dem Hintergrund der vorstehend in Kapitel 6.3.3 erläuterten, zur Vermeidung von Schimmelbildung einzuhaltenden Grenzluftfeuchten stellt sich insofern die Frage, welche relative Raumluftfeuchte als noch behaglich und welche als unbehaglich trocken anzusehen ist bzw. welche relative Raumluftfeuchte in gesundheitlicher Hinsicht als unbedenklich und welche als unzuträglich anzusehen ist. Zwar ist unstrittig, dass anhaltende sehr geringe Raumluftfeuchten zu Reizungen der Atemwege, zu Austrocknungserscheinungen der Haut und erhöhter elektrostatischer Aufladung führen [von Hahn, 2007], konkrete Angaben im Sinne eines »Grenzwertes« zu einer diesbezüglich einzuhaltenden Mindestluftfeuchte werden jedoch in der Literatur nicht genannt. Entsprechende Anfragen der Autoren bei verschiedenen medizinischen Institutionen und Verbänden ergaben, dass aus medizinischer Sicht hierzu keinerlei Untersuchungen bekannt sind.

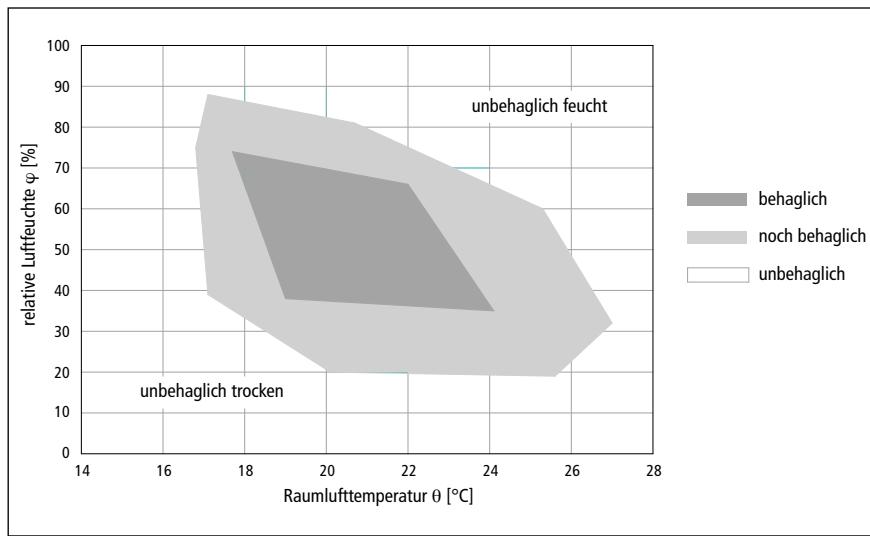


Bild 32 ■ Behaglichkeitsfelder in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte in Anlehnung an [Pels-Leusden, 1951].

Das in diesem Zusammenhang bekannteste und in der Literatur am häufigsten dargestellte Behaglichkeitsmodell für die Wertepaare Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte wurde 1951 von Pels Leusden und Freymark ([Pels-Leusden, 1951], S. 272) veröffentlicht und bezieht sich auf »*sitzende Beschäftigung bei einer Luftgeschwindigkeit unter 0,20 m/s*« (Bild 32).

Es basiert auf einer Auswertung zahlreicher Untersuchungen verschiedener Autoren zu diesem Thema. Die dargestellten Behaglichkeitsfelder sind wie folgt definiert:

»*Zone I (gute Bedingungen) umschließt den Bereich, der von fast allen Autoren als behaglich oder sogar ausgesprochen behaglich bezeichnet wird.*

Zone II (erträgliche Bedingungen) dehnt sich auf den Bereich aus, der noch von einem Teil der Autoren als behaglich angesehen wird und zumindest eine Gesundheitsgefährdung ausschließt.

Zone III (schlechte Bedingungen) erfasst den restlichen Bereich, der ganz allgemein als unzulänglich angesprochen wird, nicht immer wegen eines auftretenden Unbehaglichkeitsgefühls, sondern besonders auch wegen möglicher Krankheitsgefahr.«

In der Folgezeit sind diese Behaglichkeitsfelder auf verschiedenste Weise interpretiert worden. Heute üblich, wenngleich abweichend vom Ursprungsdigramm, sind die auch in Bild 32 übernommenen Kategorien »*behaglich*« (Zone I), »*noch behaglich*« (Zone II) und »*unbehaglich*« (Zone III).

Die obere Behaglichkeitsgrenze wird in der Bauphysik häufig auch als »Schwülegrenze« bezeichnet. Sie ergibt sich aus den Behaglichkeitsfeldern in Bild 32 für die Zone I zwischen etwa 65 % bei 22 °C und etwas weniger als 75 % bei 18 °C Raumlufttemperatur sowie für die Zone II zwischen etwa 60 % bei ca. 25 °C und etwas weniger als 90 % bei etwa 17 °C. Im nationalen Anhang zur DIN EN 15251 wird im Abschnitt NA 3.4 die Schwülegrenze pauschal mit 65 % relativer bzw. 11,5 g/m³ absoluter Luftfeuchte festgelegt.

An der unteren Grenze werden in dem Behaglichkeitsdiagramm in Bild 32 relative Raumluftfeuchten oberhalb von etwa 35 % der Zone I und oberhalb von ca. 20 % der Zone II zugeordnet. Dies stimmt gut mit den Angaben in DIN EN 15251 und dem als Nachfolgenorm vorgesehenen Entwurf zu DIN EN 16798-1 überein. So wird hier als Auslegungswert für eine Luftbefeuchtung eine Untergrenze von 20 % relativer Luftfeuchte lediglich bei einem eher geringen Erwartungsniveau angesetzt. Für ein Erwartungsniveau mit einem normalen Maß wird hier hingegen eine relative Auslegungsluftfeuchte von 30 % genannt. Dies korrespondiert wiederum mit den Angaben in der mittlerweile zurückgezogenen DIN EN 13779, die im Zusammenhang mit allgemeinen Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen in Nichtwohngebäuden eine untere Grenze für die relative Raumluftfeuchte von 30 % nennt.

Für das vorliegende Beurteilungsmodell wird dieser Wert als untere Behaglichkeitsgrenze für angemessen erachtet, d. h. eine andauernde relative Raumluftfeuchte von $\varphi_i = 30\%$ (bei 20 °C Raumlufttemperatur) sollte nicht unterschritten werden bzw. eine entsprechende Unterschreitung nicht zur Vermeidung von kritischen Oberflächenfeuchten erforderlich sein.

6.3.4.2 Feuchteeintrag

Bezüglich des Feuchteeintrags durch die Nutzung von Wohnräumen, also die Anwesenheit von Personen und deren tägliche Verrichtungen (Hausarbeit, Waschen, Kochen, aber auch Schlafen), das Vorhandensein von Zimmerpflanzen und ggf. von Haustieren, offenen Aquarien, Zimmerspringbrunnen oder Luftbefeutern enthält die Literatur mehr oder weniger detaillierte Angaben, die sich sowohl auf pauschale, volumen- oder zeitbezogene als auch auf detaillierte zeitbezogene Werte für einzelne Feuchteeinträge beziehen. Detaillierte Stundenwerte für die Wärme- und Wasserdampfabgabe infolge menschlicher Aktivität können beispielsweise nach VDI 2078 in Abhängigkeit von den in DIN EN 13779 festgelegten Aktivitätsgraden sowie in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur berechnet werden (Tabelle 8; Bild 33).

Tabelle 8 ■ Stündliche Wärme- und Wasserdampfabgabe von Personen nach VDI 2078 in Abhängigkeit von Aktivitätsgrad und Umgebungstemperatur

Aktivitätsgrad (nach DIN EN 13779)		Gesamtwärmeverluste bei 24 °C [W/Person]	Wasserdampfabgabe G_{Person} [g/(h Person)]
I	Entspannt sitzend	100	$G_{\text{Person}} = -86 + 5,4 \cdot \theta^1$ ¹
II	Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule, Labor)	125	$G_{\text{Person}} = -58 + 5,4 \cdot \theta$
III	Stehend, leichte Tätigkeit (Laden, Labor, Leichtindustrie)	170	$G_{\text{Person}} = -18 + 5,8 \cdot \theta$
IV	Stehend, mittelschwere Tätigkeit (Laborgehilfe, Bedienung von Maschinen)	210	$G_{\text{Person}} = -75 + 9,4 \cdot \theta$

1 θ kann vereinfacht als Raumlufttemperatur angenommen werden [°C]

2 wenn $G_{\text{Person}} < 35 \text{ g/h} = G_{\text{Person}} = 35 \text{ g/h}$

Eine kritische Diskussion anderer, häufig in der Literatur verwendeter Feuchteemissionswerte, insbesondere im Zusammenhang mit den Angaben für Arbeitsvorgänge in der Küche und für Pflanzen, enthält [Richter, 2001]. Dort wird dargelegt, dass die sehr häufig zitierten tabellarischen Zusammenstellungen von Emissionswerten im Wesentlichen dieselben Primärquellen nutzen (u. a. [Ruhland, 1956], [Müntz, 1976], [Schüle, 1949/1952], [Trümper, 1979] und [Bley, 1983]), diese jedoch z. T. aufgrund ihres Alters von unzutreffenden (Pflanzen) bzw. nicht mehr üblichen (Küchen) Voraussetzungen ausgehen. Bezuglich der Küchennutzung wird beispielsweise in der häufig zitierten tabellarischen Aufstellung in [Erhorn, 1986] im Tagesmittel eine Feuchteproduktion von 100 g/h, also ein Tageswert von fast 2,5 Litern angegeben. Diese schließt jedoch scheinbar – bedingt durch die älteren Primärquellen (z. B. [Schüle, 1949/1952]) – auch heute unübliche Kochzeiten und -vorgänge wie Konservierung (»Einmachen«) und Wäschekochen ein und ist deshalb als Durchschnittswert als unrealistisch hoch anzusehen. Ähnliches gilt für die Angaben zur Feuchteabgabe von Pflanzen, die [Richter, 2001] zufolge aus der Fachliteratur der Pflanzenphysiologie entnommen wurden [Ruhland, 1956], [Müntz, 1976], sich jedoch auf den natürlichen Standort im Freien beziehen und insofern allenfalls als Anhaltswerte bzw. Hinweis auf eine unter Umständen kritische Feuchteabgabe größerer Pflanzenansammlungen zu verstehen sind. Bei exakter Übernahme von Einzelwerten würde sich nämlich bei mehreren Pflanzen leicht eine erforderliche tägliche Gießwassermenge in einer Größenordnung von mehreren Litern ergeben, was für Innenraumverhältnisse unrealistisch erscheint.

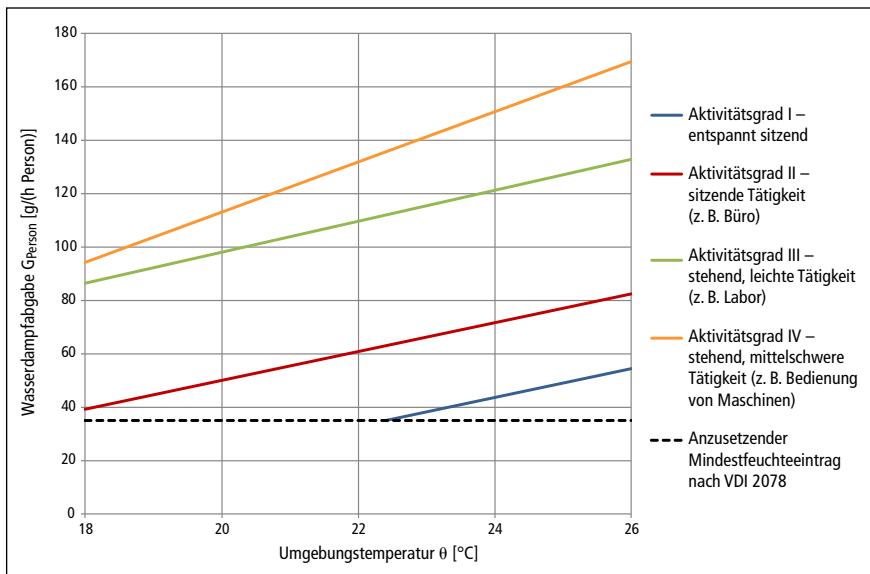


Bild 33 □ Darstellung der stündlichen Wasserdampfabgabe von Personen nach VDI 2078 in Abhängigkeit von Aktivitätsgrad und Umgebungstemperatur

Die in [Richter, 1999] und [Grünberger, 2000] beschriebenen Messergebnisse neuerer Untersuchungen in Innenräumen kommen insoweit zu deutlich geringeren und offensichtlich realistischeren Werten für die Feuchteabgabe von Pflanzen, sodass heute davon ausgegangen werden muss, dass z. B. der in vielen Quellen genannte »mittelgroße Gummibaum« nicht 10 bis 20 g/h, sondern lediglich weniger als 5 g/h Wasser an die Raumluft abgibt.

Insgesamt ergibt sich aus den oben genannten Quellen unter Berücksichtigung der Korrekturen aus [Richter, 2001] ein relativ vollständiges und differenzierteres Bild hinsichtlich möglicher Feuchteemissionen in Wohnungen. Tabelle 9 enthält eine Zusammenstellung der nach Auffassung der Autoren relevanten und sinnvollen Stundenwerte aus der Literatur und aus eigenen Untersuchungen, anhand derer sich unter Berücksichtigung der Belegung der Wohnung und des jeweiligen Nutzungsprofils die durchschnittliche Feuchtelastung gut abschätzen lässt.

Eine Abschätzung des Feuchteintrags für die Beurteilung von Schimmelbildung auf der Grundlage pauschalierter volumenbezogener Mittelwerte vorzunehmen, erscheint hingegen für den an dieser Stelle behandelten Bewertungsansatz über Wärmebrückeberechnungen nicht zweckmäßig. Zum einen ist das sich aus diesen Angaben ergebende Spektrum nur sehr eingeschränkt dazu geeignet, das jeweilige Nutzungsprofil der Wohnung und besonders kritische

Feuchteinträge ausreichend differenziert zu erfassen. Zum anderen scheinen beispielsweise die Angaben in [Pfrommer, 2004] zu hoch angesetzt zu sein. So korrespondiert der darin genannte, pauschalierte Wert von 2 bis 4 g/(m³h) mit der auf der Grundlage der älteren, unkorrigierten Werte für Pflanzen und Küchenutzung in der Literatur errechneten Gesamtfeuchtebelastung G von etwa 11 500 g/d für einen durchschnittlichen 3-Personen-Haushalt⁶.

Tabelle 9 ■ Zusammenstellung typischer Feuchteinträge für Wohnungen insbesondere auf der Basis der Angaben in VDI 2078 und [Richter, 2001] sowie eigener Untersuchungen

Feuchtequelle		Feuchteintrag G
Mensch	ruhend und bei leichter Aktivität	30–60 g/h
	bei körperlicher Arbeit	100–140 g/h
	im Schlaf in acht Stunden insgesamt	~300 g
Bad	Baden und Duschen gesamt	ca. 800 g/d
	im Tagesmittel	ca. 30 g/h
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge gesamt	600–800 g/d
	im Tagesmittel	ca. 30 g/h
Haustiere	Katze	ca. 10 g/h
	Hund, je nach Größe	10–40 g/h
Pflanzen	je nach Größe	0,6–4,4 g/h
freie Wasseroberflächen	z. B. nicht abgedeckte Aquarien	bis ca. 40 g/hm ²
Wäsche (eine Maschinenfüllung, ca. 4,5 kg)	geschleudert	50–200 g/h
	geschleudert insgesamt	1 000–2 000 g
	tropfnass	100–500 g/h

In [Richter, 2001] ist dem vorgenannten zu hohen Gesamtfeuchteintrag jedoch auf der Grundlage neuerer, korrigierter Werte für Pflanzen und Küchenutzung ein realistischerer Gesamtwert G von 7 800 g/d einschließlich Wäschetrocknen gegenübergestellt. Hieraus ergibt sich bei der oben genannten Wohnungsbelegung ein volumenbezogener Eintrag von 1,8 bis 2,2 g/(m³h), der allenfalls im unteren Grenzbereich des oben genannten Spektrums aus [Pfrommer, 2004] liegt.

Zusammenfassend erscheint es in Übereinstimmung mit den Erfahrungen der Autoren als möglich und sinnvoll, anhand der Angaben in Tabelle 9 die Feuch-

6 Geht man von einem Wohnungsvolumen von etwa 50 bis 60 m³ pro Person aus, ergibt sich aus diesem Wert ein stündlicher volumenbezogener Feuchteintrag zwischen etwa 2,7 und 3,2 g/(m³h).

tebelastung einer Wohnung zumindest für die zu untersuchenden kritischen Szenarien ausreichend genau und unter Berücksichtigung verschiedener Nutzerprofile abzuschätzen und als Teilaspekt in die Beurteilung entsprechender Schadensbilder einzufügen.

Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, dass ein ordnungsgemäßes Nutzerverhalten zumindest aus technischer Sicht zwingend ein umgehendes Ablüften punktuell hoher Feuchteinträge aus Duschen, Baden und Kochen voraussetzt. Auch extreme, für Wohnräume untypische Feuchtelastungen (z.B. übermäßige Pflanzenansammlungen) dürften bei der Beurteilung entsprechender Schadensbilder per se nicht im Verantwortungsbereich der Bausubstanz anzusiedeln sein, sofern nicht entsprechende mietvertragliche Vereinbarungen bestehen, die explizit anderweitige Nutzungsrandbedingungen vorsehen. Ähnliches gilt in technischer Hinsicht in Bezug auf die Belegung einer Wohnung (Kapitel 6.4.9). Die mietrechtlichen Aspekte in diesem Zusammenhang werden ausführlich im Kapitel 9.3.1.5 erläutert.

6.3.4.3 Luftwechsel als baulich bedingter Grundluftwechsel (Infiltration)

Luftundichtheiten in einer Gebäudehülle waren bis in jüngste Zeit unvermeidbare und zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbrennungsluftstroms für Feuerungsstätten (z.B. Ofenheizungen) auch bis zu einem gewissen Grad unverzichtbare Begleiterscheinungen des Wohnens. Dennoch wurden bereits in den 1920er- und 1930er-Jahren – vermutlich unter dem Eindruck der Nachkriegszeit und der Weltwirtschaftskrise – Untersuchungen zur Luftpichtigkeit insbesondere von Fenstern durchgeführt (vgl. [Raisch, 1922], [Raisch, 1928], [Eberle, 1928], [Siegwart, 1932] und [Heinicke, 1933]). Explizite Anforderungen an die Luftpichtigkeit der gesamten Gebäudehülle zur Reduzierung unplanmäßiger Lüftungswärmeverluste wurden jedoch erst im Zusammenhang mit dem zunehmenden Erfordernis von Energieeinsparung und der Weiterentwicklung von Haus- und Bautechnik sowie der technischen Möglichkeiten, derartige Anforderungen zu realisieren, in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt.

So wurde in den 1970er-Jahren die obligatorische Luftpichtigkeit der Gebäudehülle in der Bundesrepublik zum Bestandteil der einschlägigen Regelwerke (ERGÄNZENDE BESTIMMUNGEN ZU DIN 4108 vom Oktober 1974, DIN 4108-3 von 1981) bzw. der gesetzlichen Anforderungen (WÄRMESCHUTZVERORDNUNG von 1977 [WschVO, 1977]). Waren die Anforderungen zu diesem Zeitpunkt noch nicht quantifiziert, sondern beschränkten sich auf die Forderung nach einer luftdichten Ausführung entsprechend dem »Stand der Technik«, wurden die Anforderungen in den Regelwerken analog zu den bau- und messtechnischen Fortschritten im Laufe der Zeit um dezidierte quantitative Vorgaben an die Luftpichtigkeit (E DIN 4108-7 von 1995, DIN V 4108-7 von 1996,

DIN 4108-7 von 2001 und 2011) und um entsprechende Verfahren zur Prüfung und Klassifizierung (DIN EN 13829, DIN EN 12207, DIN EN ISO 9972) ergänzt.

Die mit der gezielten Verringerung der Lüftungswärmeverluste einhergehende Reduzierung baulich bedingter Infiltration erfolgte jedoch nicht erst mit Inkrafttreten der vorgenannten Regelwerke, sondern in einem ersten großen Schritt bereits vorher während der 1970er- und 1980er-Jahre, als Fenster und Türen mit zusätzlichen Dichtungsprofilen zum Stand der Technik wurden. Bedingt dadurch, dass im massiven Geschosswohnungsbau die Fugen dieser Bauteile auch damals schon die wesentlichen Quellen für Infiltration darstellten, trat auch im Zusammenhang mit dem weit verbreiteten, altersbedingten Austausch von Fenstern im Wiederaufbau-Wohnungsbestand der Bundesrepublik aus den 1950er- und 1960er-Jahren die Problematik von Schimmelschäden in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. Der relativ schlechte wärmeschutztechnische Standard der Bausubstanz führte dabei im Zusammenspiel mit einem unveränderten Lüftungsverhalten der Nutzer und einem gleichzeitig erheblich reduzierten Grundluftwechsel beinahe zwangsläufig zu länger anhaltenden kritischen Raumluftfeuchten im Bereich von Wärmebrücken [Klopfen, 1988].

Bezüglich der Quantifizierung der Infiltration über Fugen und Luftundichtigkeiten enthält die einschlägige Literatur bisweilen sehr widersprüchliche Angaben. Diese werden zumeist bestimmt vom Blickwinkel der Betrachtung, d.h. in der Regel von der Frage, ob entweder Energieeinsparung bzw. Lüftungswärmeverluste oder die Lüftung zur Abfuhr insbesondere von Feuchte betrachtet werden soll. So geht in Bezug auf die Feuchteabfuhr beispielsweise die DIN 1946-6 in der Ausgabe 2009-05 zusammen mit einer Reihe von Veröffentlichungen (z.B. [Westfeld, 2008], [VFW, 2009], [Garbe-Emden, 2011]) davon aus, dass Infiltration bei neueren Wohngebäuden ab etwa 2002 und de facto auch bei deutlich älteren Wohngebäuden, die modernisiert wurden und nun über Fenster mit umlaufenden Flügeldichtungen verfügen, ebenso zu vernachlässigen ist wie (nutzerabhängige) freie Fensterlüftung. Unter dieser Prämisse wird sowohl in DIN 1946-6 als auch in den genannten Quellen vehe- mент ein quasi generelles Erfordernis nutzerunabhängiger lüftungstechnischer Maßnahmen in derartigen Wohngebäuden gefordert. Kapitel 8.4.2.2 enthält im Zusammenhang mit den Möglichkeiten zu baulichen Verbesserungen eine kurze Übersicht über die diesbezüglich kontroverse Diskussion in der Fach- öffentlichkeit sowie eine Einschätzung der Autoren hierzu.

Auf der anderen Seite gehen – im offenkundigen Widerspruch hierzu – die der Energieeinsparverordnung zugrunde liegenden Berechnungsregeln in DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 für Wohngebäude mit freier Fensterlüftung von Luftwechseln aus, die diejenigen für Gebäude mit mechanischen nutzer-

unabhängigen lüftungstechnischen Maßnahmen im Einzelfall sogar noch übersteigen. Die hierzu in [Maas, 2011] beispielhaft dargestellten Gesamtluftwechsel von $0,6$ bis $0,7 \text{ h}^{-1}$ beinhalten dabei einerseits Initiativluftwechsel über Fensteröffnung, die auch mit dreimal täglich durchgeführten Stoßlüftungen gleichzeitig sämtlicher Räume einer Wohnung kaum herstellbar sind, und andererseits erhebliche Infiltrationsluftwechsel zwischen $0,14$ und $0,28 \text{ h}^{-1}$, d. h. mit einem Anteil zwischen etwas weniger als 25% und etwas mehr als 40% . Untersuchungen zur Luftdichtheit von Fenstern [Müller, 1999] sowie zum Grundluftwechsel insbesondere im modernisierten Wohnungsbestand [Reichel, 1998] ergaben jedoch, dass zumindest im konventionellen Geschosswohnungsbau beim Vorhandensein fachgerecht eingebauter, neuerer Fenster mit Flügeldichtungen die Infiltration über Undichtheiten der Gebäudehülle tatsächlich weitaus geringer ist. Hier kommen nämlich aufgrund in aller Regel fehlender Außenflächen in leichter Bauweise (z. B. ausgebaute Dachräume) lediglich Fugen im Bereich von Fenstern und Türen als Quellen für Infiltration in Frage. Den Angaben in [Reichel, 1998] zufolge beträgt der Grundluftwechsel über die Fugen derartiger Fenster lediglich $n \sim 0,04 \text{ h}^{-1}$. Eigene Messungen ergaben resultierende Grundluftwechsel in gleicher Größenordnung von $n \sim 0,05 \text{ h}^{-1}$.

Auch ohne die in DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 zugrunde gelegte Höhe der Infiltrationsluftwechselraten ist zwar der Beitrag der Infiltration über die Gebäudehülle zum hygienisch wirksamen Luftwechsel im Tagesverlauf nicht zu vernachlässigen, zumal sich erfahrungsgemäß im Verlauf der Lebensdauer eines Fensters aufgrund von Verformungen und Materialermüdung eine sukzessive Erhöhung der Fugendurchlässigkeit einstellt. Für einen ausreichenden, hygienisch wirksamen Luftwechsel sind jedoch zusätzlich gezielte Lüftungsstrategien erforderlich.

Bei älteren Fensterkonstruktionen ohne Flügeldichtungen liegt die Fugendurchlässigkeit zwar ungleich höher, dürfte jedoch für sich alleine kaum zu einem Grundluftwechsel in der Größenordnung von $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ führen, wie er oft in der Literatur, z. B. in [Diem, 1987], [Bonk, 2004] und [Klopfer, 2002], als pauschaler Wert für den hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel genannt wird (Kapitel 6.3.4.4). Eine genauere Quantifizierung gestaltet sich allerdings schwierig, da sich die Angaben in technischen Regelwerken oder in der Fachliteratur – wie oben erläutert – an der jeweiligen Zielsetzung bzw. Fragestellung orientieren. Anhaltswerte für eine Art »Mindest«-Einfluss älterer Fensterkonstruktionen ohne Flügeldichtungen auf den Grundluftwechsel können jedoch wie folgt abgeschätzt werden:

Die Größe des Luftwechsels ist ganz allgemein abhängig vom Differenzdruck an der Gebäudehülle infolge von Thermik, von den jeweiligen Windverhältnissen sowie von der Fugendurchlässigkeit der Fensterkonstruktion.

Zum einen kann für windschwache Verhältnisse im Allgemeinen mit ausreichender Genauigkeit von einem Differenzdruck von $\Delta p = 2 \text{ Pa}$ ausgegangen werden, wie er für entsprechende Szenarien auch im Zusammenhang mit einem Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 angesetzt wird.

Zum anderen können Kasten- oder Verbundfensterkonstruktionen ohne umlaufende Flügeldichtungen bei sorgfältiger Ausführung Fugendurchlasskoeffizienten von etwa $a = 2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{daPa}^{2/3})$ erreichen (z. B. [Raisch, 1922] und [Raisch, 1928], [Siegwart, 1932], [WschVO, 1977], [Diem, 1987]⁷.

Ausgehend von dem oben genannten Differenzdruck von $\Delta p \approx 2 \text{ Pa}$ kann abgeschätzt werden, dass sich über die Fensterfugen derartiger Konstruktionen ein zusätzlicher Luftvolumenstrom $q_{\text{inf.}}$ (»Luftaustausch«) zumindest entsprechend der nachfolgenden Gleichung aus DIN 18055 ergibt:

$$\begin{aligned} 11) \quad q_{\text{inf.}} &= a \cdot \frac{\Delta p^{2/3}}{10^{2/3}} \\ &= 2,0 \text{ m}^3/(\text{hmdaPa}^{2/3}) \cdot \frac{(2\text{Pa})^{2/3}}{10^{2/3}} \\ &= 0,68 \text{ m}^3/(\text{hm}) \end{aligned}$$

Der hieraus entstehende Grundluftwechsel n errechnet sich aus dem Luftvolumenstrom $q_{\text{inf.}}$, dem Wohnungsvolumen V sowie der Gesamtlänge der Fensterfugen $l_{\text{ges.}}$ auf einer Gebäudeseite mit

$$12) \quad n = q_{\text{inf.}} \cdot \frac{l_{\text{ges.}}}{V}$$

Für übliche Geschosswohnungen ergibt sich hieraus erfahrungsgemäß ein rechnerischer Grundluftwechsel infolge von Infiltration über die Fensterfugen in einer Größenordnung von mindestens etwa $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$. Bestätigt wird dies ebenfalls durch eigene Untersuchungen für Geschosswohnungen mit modernisierten Kastenfenstern.

Zusammenfassend wird daher für einen anzusetzenden Mindesteinfluss der Infiltration für die hier vorgestellte Beurteilungsmethodik vorgeschlagen, vereinfachend für ältere Fensterkonstruktionen ohne Dichtungen einen Grundluftwechsel über die Fensterfugen von $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$ und für Fensterkonstruktionen mit Flügeldichtungen von $n = 0,04 \text{ h}^{-1}$ anzusetzen [Reichel, 1998].

Sind der mittlere zeitbezogene (z. B. tägliche) Feuchteintrag (Kapitel 6.3.4.2) und das Außenklima bekannt, kann unter Ansatz dieser Grundluftwechsel

⁷ Die Angaben zum Fugendurchlasskoeffizienten a wurden auf einen Differenzdruck von 1 daPa (= 10 Pa) bezogen. In den aktuellen Regelwerken, insbesondere DIN EN 12207, wird die Fugendurchlässigkeit als Referenzdurchlässigkeit bei 100 Pa Prüfdruck in [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$] ausgedrückt und hiernach klassifiziert (Klassen 1 bis 4).

oder aber auch von Grundluftwechseln aus nutzerunabhängigen Lüftungseinrichtungen (z.B. Außenluftdurchlässen, Einzelventilatoren oder zentralen Abluftanlagen) die sich einstellende relative Raumluftfeuchte nach dem folgenden, z. B. in [Klopfer, 2002] beschriebenen Ansatz erfolgen:

$$13) \quad \varphi_i = \varphi_e \cdot \frac{v_{sat;e}}{v_{sat;i}} \cdot \frac{T_e}{T_i} + \frac{G}{(n \cdot V \cdot v_{sat;i})}$$

mit:

$\varphi_{i/e}$	relative Raumluftfeuchte innen (i)/außen (e) [-]
$v_{sat; i/e}$	absolute Sättigungsfeuchte der Luft innen (i)/außen (e) [g/m ³]
$T_{i/e}$	thermodynamische (Kelvin-)Temperatur der Luft innen (i)/außen (e) [K]
G	mittlerer Feuchteeintrag in die Raumluft [g/m ³]
n	Luftwechsel [h ⁻¹]
V	Raumluftvolumen [m ³]

6.3.4.4 Luftwechsel als Initiativlüftung

Je weiter die Infiltration infolge baulich bedingter Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle im Rahmen der Umsetzung steigender wärmeschutztechnischer Anforderungen reduziert wird, desto größere Bedeutung erlangt der initiativ bedingte Luftwechsel durch gezielte Lüftung für die Sicherstellung des erforderlichen Abtransports von Luftfeuchte und Schadstoffen. Dieser hygienisch erforderliche Luftwechsel wird in der Literatur von jeher allgemein in einer Größenordnung von $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ angegeben (z. B. [Diem, 1987], [Klopfer, 2002]). Auch die aktuelle DIN V 18599-10 geht von einem Mindestluftwechsel in dieser Größe aus, wobei – wie oben erläutert – die nach DIN V 18599-2 berechneten Lüftungswärmeverluste deutlich höhere Infiltrationsluftwechsel beinhalten als die vorstehend zur Abschätzung eines Mindesteinflusses vorgeschlagenen [Maas, 2011]. Die nachfolgenden Betrachtungen zeigen jedoch, dass dieser Ansatz zur energetischen Betrachtung im Rahmen der Energieeinsparverordnung möglicherweise als sinnvoll anzusehen ist, für die Bewertung raumklimatischer Aspekte jedoch sehr weit auf der sichereren Seite liegt.

Bei freier, d. h. nicht durch raumlufttechnische Anlagen hergestellter Lüftung ist zur Vermeidung unnötiger Wärmeverluste während der Heizperiode eine gezielte Stoßlüftung einer permanenten Spaltlüftung durch gekippte Fenster unbedingt vorzuziehen. Dauerlüftungen mit kleinen Lüftungsquerschnitten, z. B. Kippstellung von Fensterflügeln, führen nämlich bei einem geringen Abtransport von Feuchte und Schadstoffen (geringe hygienische Wirksamkeit) zu verhältnismäßig hohen Wärmeverlusten. Hiermit ist auch ein Auskühlen

der Sturz- und Laibungsbereiche der betreffenden Fenster und damit unter Umständen eine erhöhte Gefahr von Schimmelbildung verbunden (Kapitel 8.4.1). Stoßlüftungen mit vollständig geöffneten Fensterflügeln über einen begrenzten Zeitraum von 10 bis 15 Minuten führen hingegen zu einem hohen, hygienisch wirksamen Luftwechsel, ohne eine nennenswerte Abkühlung der Bauteiloberflächen hervorzurufen. Die in [Richter, 2003] dargestellten Untersuchungen hierzu widerlegen darüber hinaus die landläufige Ansicht, nur eine sogenannte Querlüftung über gleichzeitig geöffnete, in möglichst gegenüberliegenden Außenwänden angeordnete Fenster führe zu einem ausreichend wirksamen Luftwechsel. Vielmehr zeigen die Untersuchungsergebnisse in [Richter, 2003], dass auch ein einzelnes, vollständig geöffnetes Fenster mit herkömmlichen Abmessungen für einen üblichen Wohnraum einen hygienisch wirksamen Luftwechsel mit bis zu $n = 15 \text{ h}^{-1}$ gewährleisten kann.

Welchen Einfluss winterliche Stoßlüftung auf die Vermeidung eines kritischen Feuchtegehalts der Raumluft hat, zeigen die folgenden Beispielrechnungen – exemplarisch und stark vereinfacht – für das Berechnungsbeispiel a) in Bild 28 und die hierzu in Kapitel 6.3.3 ermittelte Grenzluftfeuchte (Zeile a) in Tabelle 7).

An einem Wintertag herrsche eine Außentemperatur $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ bei einer ungünstig hohen relativen Luftfeuchte $\varphi_e = 90\%$. Wassergesättigte Luft besitzt bei dieser Temperatur einen Wassergehalt von $v_{\text{sat}, -5^\circ\text{C}} = 3,25 \text{ g/m}^3$; bei der oben genannten relativen Luftfeuchte beträgt der Wassergehalt demzufolge $v_{90\%, -5^\circ\text{C}} = 2,92 \text{ g/m}^3$.

Bei einer normalen Innenraumtemperatur $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ besitzt wassergesättigte Luft einen Wassergehalt von $v_{\text{sat}, 20^\circ\text{C}} = 17,27 \text{ g/m}^3$. Wird die Luft einer Wohnung durch Stoßlüftung vollständig gegen Außenluft mit $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ und $\varphi_e = 90\%$ ausgetauscht, d. h. ein einfacher Luftwechsel vorgenommen, und wieder auf 20°C erwärmt, ergibt sich rein rechnerisch eine relative Raumluftfeuchte von

$$\begin{aligned} 14) \quad \varphi_i &= \frac{v_{e, 90\%; -5^\circ\text{C}}}{v_{\text{sat}, i}} \\ &= \frac{2,92 \text{ g/m}^3}{17,27 \text{ g/m}^3} \\ &= 0,17 (= 17\%) \end{aligned}$$

Eine Reduzierung der Raumluftfeuchte auf dieses Maß wird zwar tatsächlich nicht eintreten bzw. messbar sein, da u. a. Durchmischung und Desorptionsvorgänge der Entfeuchtung der Raumluft entgegenwirken. Gleiches gilt umgekehrt allerdings auch für die im Folgenden betrachtete erneute Auffeuchtung

der Raumluft, die wiederum durch Absorptionsvorgänge an den Oberflächen der raumumschließenden Bauteile, Einrichtungsgegenstände etc. abgepuffert wird (Kapitel 6.3.4.5). Unter Vernachlässigung von Desorptions- und Absorptionsvorgängen einerseits und unter Berücksichtigung der tatsächlich im Zusammenhang mit Stoßlüftungen zu beobachtenden erheblichen Absenkungen der Raumluftfeuchte andererseits wird die vorstehend errechnete relative Raumluftfeuchte daher vereinfacht als rechnerische Ausgangsgröße für trockene Raumluft nach Stoßlüftung angesetzt. Hinsichtlich der Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelbildung wird die durch Stoßlüftung herbeigeführte Entfeuchtung der Raumluft allerdings nur dann in vollem Umfang wirksam, wenn durch ausreichendes Heizen in der Folge der Stoßlüftung die Raumlufttemperatur auf einem normalen ($\theta_i \approx 20^\circ\text{C}$) und damit die Oberflächentemperaturen der angrenzenden Bauteile auf einem entsprechenden Niveau gehalten werden.

Ehe dann nämlich ohne weiteren Luftwechsel eine kritische Grenzluftfeuchte von beispielsweise 40 % (Wassergehalt $v_{40\%;20^\circ\text{C}} = 6,91 \text{ g/m}^3$) erreicht wird, kann rein rechnerisch der folgende Feuchteintrag zugelassen werden:

$$\begin{aligned} 15) \quad \Delta v &= v_{i;40\%;20^\circ\text{C}} - v_{e;90\%;-5^\circ\text{C}} \\ &= 6,91 \text{ g/m}^3 - 2,92 \text{ g/m}^3 \\ &= 3,99 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Δv ist die Menge an Wasser, die je Kubikmeter Volumen der betreffenden Wohnung oder Nutzungseinheit in die Raumluft eingetragen werden kann, ehe im Bereich der betrachteten Wärmebrücke erneut die schimmelkritische, oberflächennahe relative Luftfeuchte von $\varphi_s = 80\%$ auftritt. Demzufolge wäre bei einem 3-Personen-Haushalt und einem Raumluftvolumen V von ca. 200 m³ für die unter den Randbedingungen aus DIN 4108-2 ($R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$) berechnete, jeweils unter a) in den Bild 28 und Bild 31 aufgeführte Wärmebrücke ein unkritischer Gesamtfrechteintrag M_{Grenz} möglich von

$$\begin{aligned} 16) \quad M_{Grenz} &= \Delta v \cdot V \\ &= 3,99 \text{ g/m}^3 \cdot 200 \text{ m}^3 \\ &\approx 800 \text{ g} \end{aligned}$$

Davon ausgehend, dass ein ordnungsgemäßes Nutzerverhalten ein umgehendes Ablüften punktuell hoher Feuchteinträge aus Duschen, Baden und Kochen beinhaltet und diese hier insofern unberücksichtigt bleiben können, ergibt sich aus der vorstehenden Berechnung zunächst, dass beispielsweise bei Anwesenheit von drei Personen mit einer durchschnittlichen stündlichen Feuchteabgabe von jeweils $G = 50 \text{ g/h}$ ($G_{ges.} = 150 \text{ g/h}$; Kapitel 6.3.4.2, Tabelle 8 und Bild 33) die genannte Gesamtmenge von 800 g nach gut fünf Stunden erreicht wird und dann eine neueleiche Stoßlüftung erforderlich wäre.

Wird zusätzlich ein Grundluftwechsel berücksichtigt, ergibt sich – auch wenn dieser beispielsweise aufgrund relativ dichter Fenster lediglich $n = 0,04 \text{ h}^{-1}$ beträgt (Kapitel 6.3.4.3) – dennoch ein verlängertes Lüftungsintervall. Für eine Abschätzung dieses verlängerten Lüftungsintervalls kann eine rechnerische Annäherung erfolgen, indem für festgelegte Zeitintervalle jeweils der Feuchteeintrag in die Raumluft unter Berücksichtigung des Grundluftwechsels bilanziert wird.

Davon ausgehend, dass auf der sicheren Seite liegend die Wirkung des Grundluftwechsels für den zu betrachtenden Zeitschritt nur auf den im vorangegangenen Zeitschritt erreichten Gesamtfeuchteeintrag berücksichtigt wird, ergibt sich nach dem ersten Zeitschritt $\Delta t [\text{h}]$ und nach einem Feuchteeintrag von $G_{\text{ges.}} \cdot \Delta t [\text{g}]$ eine Feuchtebilanz in der Raumluft von

$$17) \quad \Delta M_1 = G_{\text{ges.}} \cdot \Delta t$$

Für die hierauf folgenden Zeitschritte ergeben sich dann unter Berücksichtigung des Grundluftwechsels in der vorgenannten Weise

$$18) \quad \Delta M_2 = \Delta M_1 + G_{\text{ges.}} \cdot \Delta t - \Delta M_1 \cdot n \cdot \Delta t$$

und allgemein

$$19) \quad \Delta M_i = \Delta M_{i-1} + G_{\text{ges.}} \cdot \Delta t - \Delta M_{i-1} \cdot n \cdot \Delta t$$

Die Berechnung lässt sich für beliebig viele Zeitschritte in üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen erfassen und der Verlauf des Feuchteeintrags in die Raumluft in einem Diagramm darstellen und auswerten. Die Erfahrung hat dabei gezeigt, dass bei den für das vorliegende Modell weiter oben vorgeschlagenen geringen Grundluftwechseln ($n = 0,04$ bzw. $0,1 \text{ h}^{-1}$; Kapitel 6.3.4.3) ein Berechnungsintervall von $\Delta t = 0,25 \text{ h}$ (15 min) ausreichend genaue Ergebnisse für eine Abschätzung des erforderlichen Lüftungsintervalls liefert.

So zeigt das Diagramm in Bild 34 für das vorliegende Beispiel den Feuchteeintrag als zeitabhängige Kurve M_t und den maximal möglichen Feuchteeintrag als Gerade M_{Grenz} . Der Schnittpunkt zwischen M_t und M_{Grenz} markiert auf der Abszisse das erforderliche Lüftungsintervall.

Für das vorliegende Beispiel verlängert sich demzufolge das erforderliche Lüftungsintervall um etwa eine $\frac{3}{4}$ Stunde auf rund sechs Stunden.

Auch beispielsweise das Trocknen von Wäsche ist unter diesen Umständen bei Abwesenheit von Personen und einer mittleren Feuchteabgabe von ca. 130 g/h (Tabelle 8) über einen Zeitraum von ca. sieben Stunden unkritisch.

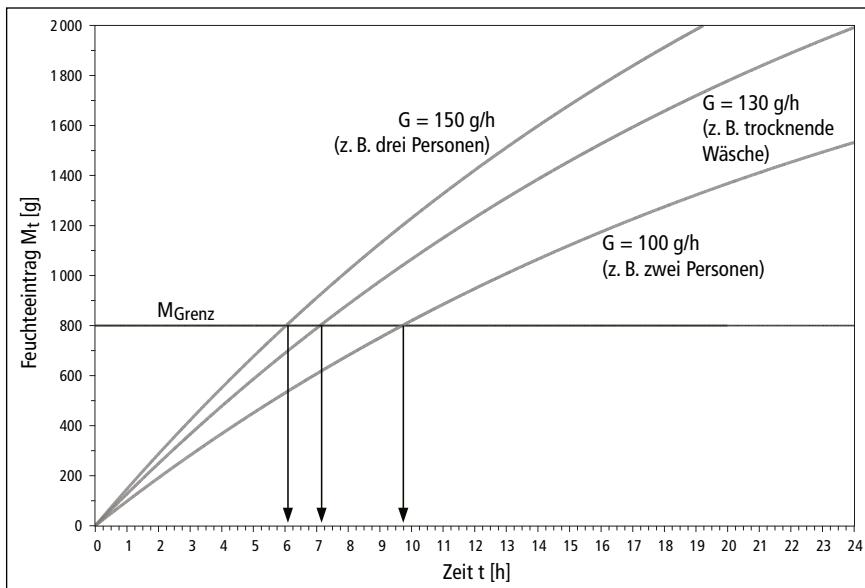


Bild 34 ■ Erforderliches Lüftungsintervall für die unter a) in Bild 28 betrachtete Situation bei einem Wohnungs volumen von $V = 200 \text{ m}^3$, Feuchteinträgen G von 100 g/h , 130 g/h und 150 g/h sowie bei einem Grundluftwechsel durch Infiltration über die Fensterfugen von $n = 0,04 \text{ h}^{-1}$

Da diese modellhafte Betrachtung jedoch zum einen von eher kritischen, konstanten Temperaturbedingungen außen und innen ausgeht (stationäre Betrachtung, Kapitel 6.3.2.2) und zum anderen die Feuchtespeicherung der raumumschließenden Bauteiloberflächen (Kapitel 6.3.4.5) vernachlässigt, dürften sich die errechneten Zeitabstände zwischen den erforderlichen Stoßlüftungen letztendlich noch verlängern lassen, ohne dass tatsächlich die Gefahr von Schimmelbildung besteht. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die für die Auskeimung von Schimmelpilzen notwendigen Oberflächenfeuchten über längere Zeiträume gegeben sein müssen. Dabei sieht es DIN EN ISO 13788 zur Vermeidung von Schimmelbildung als ausreichend an, wenn schimmelkritische relative Oberflächenfeuchten von 80 % im Monatsmittel vermieden werden, während der DIN-Fachbericht 4108-8 für die Praxis vereinfachend davon ausgeht, dass ein Auskeimen von Schimmelpilzen bereits zu erwarten ist, wenn schimmelkritische Oberflächenfeuchten jeweils 12 Stunden an fünf aufeinander folgenden Tagengegeben sind (Kapitel 2.4). Insgesamt dürften insofern die errechneten Lüftungsintervalle eher auf der sicheren Seite liegen.

6.3.4.5 Feuchtespeicherung der raumumschließenden Bauteiloberflächen

Auf die in der Beispielrechnung im vorstehenden Kapitel unberücksichtigt gebliebene Pufferwirkung infolge der Sorptionsfähigkeit der raumumschließenden Flächen sowie der Einrichtung der betreffenden Räume auf den Feuchtegehalt der Raumluft soll im Folgenden näher eingegangen werden. Die diesbezügliche Literatur enthält sowohl materialspezifische Untersuchungen auf der Grundlage instationärer Messungen [Otto, 2000], [Ziegert, 2002], [Ziegert, 2004] und [Ziegert, 2006] als auch Ansätze, die Auswirkungen der Feuchtespeicherung auf das Raumklima zusätzlich über rechnerische Modelle zu erfassen [Setzer, 1999] sowie [Setzer, 2000-1], [Setzer, 2000-2] und [Setzer, 2000-3].

Anhaltswerte für mögliche Auswirkungen des Sorptionsverhaltens raumumschließender Materialien enthalten die Untersuchungsergebnisse z.B. in [Ziegert, 2002] und [Ziegert, 2004]. Auf der Grundlage gravimetrischer Messungen wurden Ab- und Desorptionskurven für eine bei 21 °C in einem 12-Stunden-Zyklus zwischen $\varphi = 50\%$ und $\varphi = 80\%$ wechselnde relative Luftfeuchte für 15 mm dicke Putzschichten verschiedener handelsüblicher Werk trockenmörtel, weitere konventionelle Wandbekleidungen und Bodenbeläge aus Nadelholz ermittelt. In Bild 35 sind exemplarische Messergebnisse eines 5-Tages-Zyklus dargestellt, Tabelle 10 enthält beispielhaft Werte für die ermittelten Sorptionsamplituden verschiedener Oberflächenmaterialien.

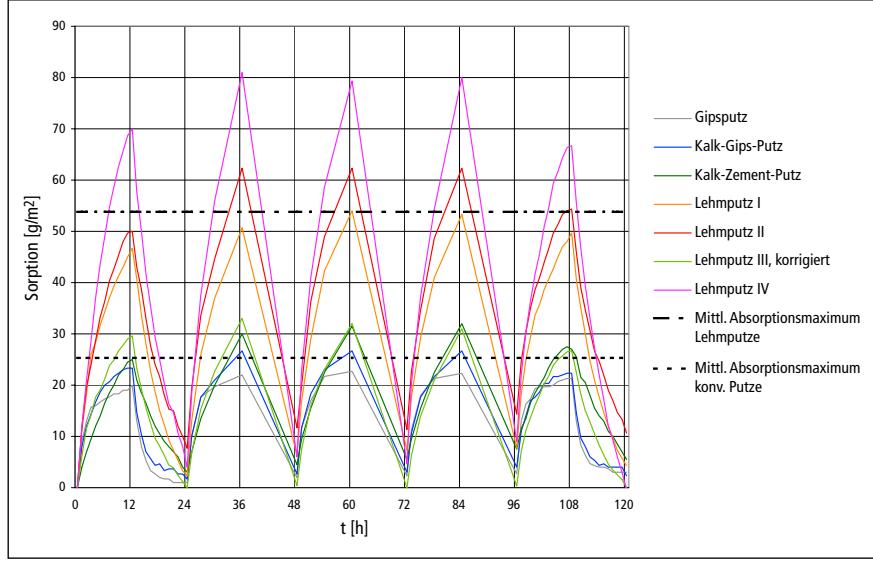


Bild 35 ■ Sorptionskurven in Tagesgängen unter jeweils zwölfstündigen Wechseln der relativen Luftfeuchte zwischen 50 und 80 % aus [Ziegert, 2002]

Tabelle 10 ■ Mittlere Werte für das Sorptionsvermögen verschiedener Materialien entsprechend [Ziegert, 2002], [Ziegert, 2004] und [Ziegert, 2006] bezogen auf eine Materialdicke von 15 mm (Wandbekleidungen) bzw. 28 mm (Bodenbeläge aus Holz)

Material	Absorption/Desorption, im Mittel ca. [g/m ²]
Beton B25	20
Gipsputze	20
Kalk-Gips-Putze	23
Kalk-Zement-Putze	25
Lehmputze	30–60
Lehmputze mit diffusionsoffenen Anstrichen (z.B. Marmormehl-Kasein)	25–40
Kalk-Gips-Putz mit Raufasertapete und zweimaligem Dispersionsanstrich	15
Gipskartonplatte, gespachtelt	13
Gipskartonplatte mit Raufasertapete und zweimaligem Dispersionsanstrich	15
Gipskartonplatte mit Kunstharzrollputz, 3 mm und Dispersionsfarbanstrich	5
Kiefer, geschliffen und unbehandelt	26
Kiefer, geölt	21
Kiefer, geölt und gewachst	13
Kiefer, lackiert	6

Die Untersuchungen ergaben, dass diffusionshemmende Beschichtungen das Sorptionsvermögen der darunter befindlichen Materialien deutlich mindern. Dies war zu erwarten, da das Sorptionsvermögen bei den meisten Baustoffen im Wesentlichen auf der Kapillarität der Materialien (Kapillarkondensation) beruht und damit von der Porengometrie und -verteilung abhängt. Daher wird das Sorptionsvermögen durch Beschichtungen, die den Zugang des Wasserdampfes zu den Poren behindern, verringert. Bei den Putzen fällt auf, dass auch mit einem diffusionsoffenen Anstrich versehene Lehmputze ein bis zu doppelt so hohes Sorptionsvermögen aufweisen wie unbeschichtete konventionelle Putze und Beton. Dies wird durch die in [Ziegert, 2002] durchgeführten Untersuchungen nach DIN EN ISO 12571 bestätigt. Das Diagramm in Bild 36 zeigt die ermittelten mittleren Absorptionskurven für konventionelle gips-, kalk- und zementgebundene Putze einerseits und verschiedene Lehmputze andererseits.

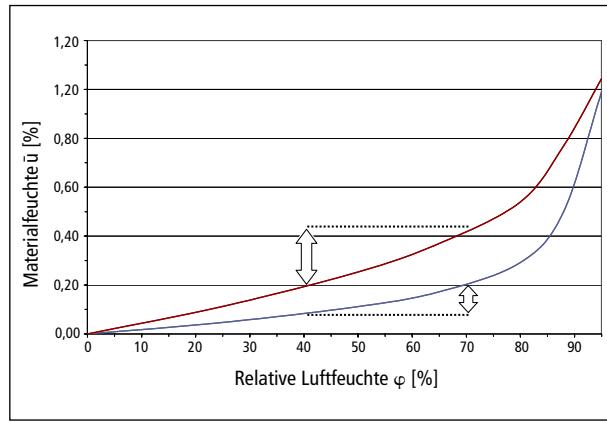


Bild 36 ■ Mittlere Absorptionskurven der nach DIN EN ISO 12571 in [Ziegert, 2002] untersuchten Lehmputze (rot) und konventionellen Putze (blau)

Bei den Wandbekleidungen fällt auf, dass die mittlere Absorptionskurve für die untersuchten Lehmputze im Gegensatz zu denjenigen für die konventionellen Putze insbesondere im unteren und mittleren Luftfeuchtebereich deutlich steiler verläuft und im oberen Luftfeuchtebereich dafür flacher. Dies hat zur Folge, dass in dem für die Beurteilung des Raumklimas in Wohnungen relevanten Luftfeuchtespektrum zwischen etwa 40 und 70 % das Sorptionsvermögen der Lehmputze im Mittel etwa doppelt so hoch ist wie das der konventionellen Putze. In [Ziegert, 2002] wird dieses Phänomen auf der Grundlage mineralogischer Untersuchungen im Wesentlichen darauf zurückgeführt, dass bei Lehmstoffen neben der kapillaren Wasseraufnahme eine zusätzliche Wasseraufnahme durch bestimmte, quellfähige Tonminerale erfolgt.

Auf der Grundlage der Angaben z. B. in [Petzold, 2000], dass bei Schwankungen der relativen Luftfeuchte im Tagesgang die hygrisch speicherwirksame Dicke oberflächennaher Bauteilschichten lediglich wenige Millimeter beträgt, kennzeichnen die diesbezüglich in Tabelle 10 genannten materialspezifischen Kennwerte einen nach Auffassung der Autoren realistischen Wertebereich für die Größenordnung der Wasserdampfspeicherfähigkeit.

Insgesamt kann nach derzeitigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass eine ausgeprägte hygrische Speicherfähigkeit insbesondere zur Pufferung von Feuchtespitzen beiträgt und sich insofern positiv auf die Vermeidung kritischer Raumluftfeuchten und damit die Vermeidung von Schimmelbildung auswirkt (z. B. [Pfrommer, 2004], [Dreyer, 2002], [Künzel, 2006], [Rode, 2009]; Bild 37).

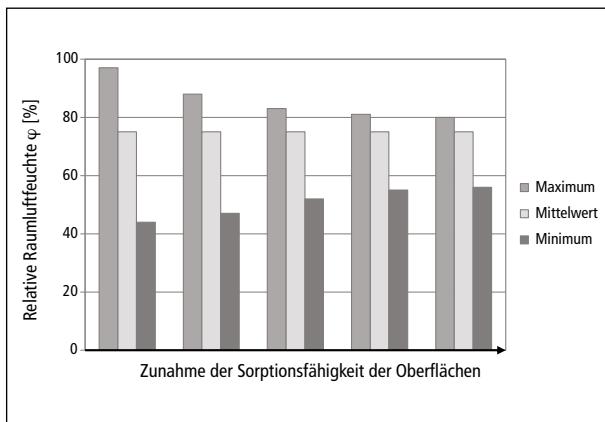


Bild 37 ■ Exemplarische Darstellung von Raumluftfeuchteniveaus in Abhängigkeit von der Sorptionsfähigkeit der raumschließenden Oberflächen nach [Dreyer, 2002]

Eine Quantifizierung im Sinne beispielsweise pauschalierter, materialbezogener Ab- oder Zuschlagswerte ist bislang jedoch sinnvoll nicht möglich, da verlässliche Daten über den quantitativen Einfluss auf den Gang der relativen Raumluftfeuchte noch nicht vorliegen.

6.3.5 Zusammenfassende Beurteilung

Die abschließende Beurteilung eines Schadensfalls kann, wie das breite Spektrum der in den vorstehenden Kapiteln dargestellten Beurteilungskriterien zeigt, nur dann ausreichend differenziert und damit plausibel sein, wenn die relevanten baulichen und nutzungsbedingten Einflüsse berücksichtigt und in einen Gesamtkontext gesetzt werden. In der beschriebenen Beurteilungssystematik kann auf der Grundlage der errechneten Oberflächentemperaturen in den schadensbetroffenen Bereichen und den daraus resultierenden kritischen Grenzluftfeuchten unter Berücksichtigung der in den Kapiteln 6.3.2.5 sowie 6.3.4 ff. erläuterten Einflüsse (Möblierung vor Außenwänden, Feuchteeintrag, Nutzungsintensität, Luftwechsel, Infiltration, Sorptionsverhalten der raumschließenden Flächen etc.) auf das zur sicheren Vermeidung von Schimmelbildung erforderliche Heiz- und Lüftungsverhalten geschlossen werden. Ob insbesondere die hieraus ermittelbare notwendige Lüftungsintensität für einen Nutzer zumutbar ist, oder ob beispielsweise ein schadensträchtiges Verstellen kritischer Außenwandbereiche mit geschlossenen Möbeln den bestimmungsgemäßen Gebrauch der jeweiligen Wohnsache einschränkt, unterliegt in der Beurteilung allerdings in aller Regel vor allem juristischen Aspekten, wie sie in Kapitel 9 dargelegt werden.

6.4 Verfahren komplexer Datenloggermessungen

6.4.1 Vorbemerkungen – Ausgangsdaten

Einen gegenüber dem in Kapitel 6.3 beschriebenen rechnerischen Nachweisverfahren grundlegend anderen Ansatz verfolgt das auf Datenloggermessungen beruhende Beurteilungsverfahren für Schimmelbefall. Das »Verfahren der komplexen Datenloggermessungen« bietet insbesondere die Möglichkeit einer Beurteilung ohne detaillierte Kenntnisse des Konstruktionsaufbaus eines von Schimmel betroffenen Bauteils. Insofern kann die in der Regel aufwendige, oft auch mit erheblichen zerstörenden Eingriffen in die Bausubstanz verbundene, detaillierte Ermittlung betroffener Konstruktionsaufbauten vollständig entfallen. Auch die in vielen Fällen, gerade im Bereich häufig betroffener dreidimensionaler Wärmebrücken, arbeitsintensive EDV-gestützte Berechnung der Isothermenverläufe ist bei diesem Verfahren nicht erforderlich.

Durch die direkte Einbeziehung eines »gemessenen« Nutzerverhaltens und dessen Wechselwirkungen mit den ebenfalls gemessenen Oberflächentemperaturen in den schadensbetroffenen Bereichen sind die Ergebnisse dieses Verfahrens zudem gerade bautechnischen Laien oft besser vermittelbar.

Nachfolgend werden die für die Beurteilung nach diesem Verfahren zu ermittelnden Daten beschrieben. Die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Auswertung werden in den Kapiteln 6.4.2 bis 6.4.8 detailliert dargestellt. In der Regel lassen sich hiermit weitreichende Rückschlüsse auf die Ursachen einer Schimmelbildung ziehen. Dabei ist es im Regelfall nicht von Bedeutung, ob das Nutzerverhalten – insbesondere das Heiz- und Lüftungsverhalten – im Messzeitraum mit demjenigen während der Entstehung der Schimmelbildung übereinstimmt. Die in Kapitel 10.3 des Buches beschriebenen Schadensfälle veranschaulichen das Vorgehen bei der Beurteilung.

Wesentlich ist zunächst einmal die Auswahl eines geeigneten Messzeitraums. So müssen im Messzeitraum möglichst ähnliche klimatische Randbedingungen vorherrschen, wie sie in dem Zeitraum gegeben waren, in dem die zu beurteilenden Schimmelbildungen entstanden sind. Da eine ausreichend präzise Wetterprognose in aller Regel nicht möglich ist, empfiehlt es sich einen möglichst langen Messzeitraum zu wählen, idealerweise die gesamte Heizperiode. In diesem Fall kann erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, dass Teilzeiträume mit einem für die Messungen geeigneten Außenklima umfasst sind.

Für diesen Messzeitraum müssen die folgenden Daten gewonnen werden:

■ Außenlufttemperatur und relative Außenluftfeuchte

Die Daten zum Außenluftklima (Außenlufttemperatur und relative Außenluftfeuchte) müssen dabei nicht zwingend selbst aufgezeichnet werden, sondern es kann auf die Daten beispielsweise des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen werden. Dies hat den Vorteil, dass zum einen die schwierig zu realisierende Sicherung der Datenlogger gegenüber Diebstahl, Vandalismus und schädigenden Witterungseinflüssen entfällt. Zum anderen besteht so auch nicht die Problematik, dass zu nahe an der zu beurteilenden Bausubstanz installierte Datenlogger durch die Gebäude beeinflusste Messwerte aufzeichnen.

Dafür kommt der Auswahl einer geeigneten Messstation des Deutschen Wetterdienstes eine entsprechende Bedeutung zu. So ist nicht nur auf eine möglichst geringe räumliche Distanz zwischen der Messstelle und dem zu beurteilenden Gebäude zu achten, sondern es ist auch eine Messstation auszuwählen, die in einer ähnlichen, möglichst derselben Klimaregion liegt. In diesem Zusammenhang sind insbesondere in Ballungsräumen Bereiche mit aufgelockerter Bebauung und Bereiche mit ausgedehnten Grünflächen etc. zu unterscheiden. Entsprechendes Kartenmaterial mit Angaben zu den durchschnittlichen Temperaturen in einem Gebiet kann für viele Bereiche Deutschlands kostenfrei im Internet eingesehen werden.

■ Oberflächentemperatur

Für die Messung der Oberflächentemperaturen werden in dem zu beurteilenden Bereich Messfühler aufgeklebt (Bild 38). Hierbei ist auf geeignete Klebebänder zu achten, da die betreffenden Bereiche im Messzeitraum möglicherweise eine erhöhte Oberflächenfeuchte aufweisen werden. Sind mehrere Bereiche einer Wohnung betroffen, ist es erfahrungsgemäß nicht erforderlich, Messfühler in sämtlichen Schadensbereichen zu installieren. Vielmehr können anhand der Ausprägung des Schadensbildes und mit Hilfe vergleichender Oberflächentemperaturmessungen beim Ortstermin zumeist einzelne betroffene Flächen für die Messungen ausgewählt werden, die als repräsentativ für mehrere Schadensbereiche angesehen werden können.

■ Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte

Um eine möglichst ungestörte Messung der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte in dem betroffenen Raum sicherzustellen, wird ein weiterer Datenlogger in einem für die Raumluft gut zugänglichen Bereich einer Innenwand in mittlerer Höhe so befestigt, dass dieser nicht ohne Weiteres in seiner Lage verändert werden kann (Bild 39).

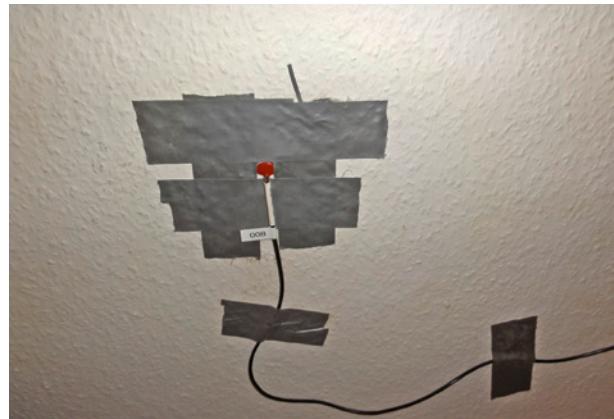


Bild 38 ■ Sicher aufgeklebter Messfühler für die Oberflächentemperatur



Bild 39 ■ Mit einem Schloss gesicherter Datenlogger für die Aufzeichnung von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte

Darüber hinaus werden Angaben zur Belegung der Wohnung sowie der Wohnungsgröße und der Höhe der Räume benötigt um die festgestellte Raumluftfeuchte bewerten zu können.

Die Auswertung der Daten wird in den nachfolgenden Kapiteln im Einzelnen beschrieben.

6.4.2 Raumlufttemperatur

Aus den im Messzeitraum aufgezeichneten Raumlufttemperaturen lässt sich zunächst einmal ablesen, ob der betreffende Raum kontinuierlich und in angemessener Weise beheizt wurde. So kann beispielsweise unterschieden werden, ob lediglich nachts die Temperaturen in einem Schlafzimmer etwas abgesenkt werden, aber tagsüber eine übliche Beheizung vorliegt, oder ob ein Raum im Wesentlichen gar nicht beheizt wird. Auch Nachtabsenkungen der Heizungsanlage können anhand der gemessenen Raumtemperaturen ohne Weiteres erkannt werden.

Ebenso lassen sich beispielsweise aus kurzfristigen Absenkungen der Raumtemperatur wie auch aus einem schnellen Ansteigen derselben Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten ziehen. So können anhand punktueller, deutlicher Absenkungen der Raumtemperatur im Zusammenspiel mit den Messwerten der relativen Raumluftfeuchte Lüftungsereignisse festgestellt werden (Kapitel 6.4.3). Ein kurzfristiges deutliches Ansteigen einer zuvor geringen Raumtemperatur hingegen deutet auf das Öffnen der Zimmertür eines zuvor geschlossenen, unbeheizten Raumes hin. Insgesamt sind vielfältige weitergehende Interpretationen der Messkurven im Zusammenhang mit den übrigen Messdaten möglich, die unter anderem auch Rückschlüsse auf eine Spatlüftung oder Stoßlüftungsereignisse in anderen Räumen ermöglichen.

6.4.3 Relative Raumluftfeuchte

Anhand der Messwerte der relativen Raumluftfeuchte ist zumindest eine erste Einschätzung des Feuchteniveaus in einem Raum möglich. Werden zudem die Raumlufttemperatur und die Außenlufttemperatur berücksichtigt, sind mit etwas Erfahrung bei der Auswertung von Datenloggermessungen schon sehr weitreichende Rückschlüsse möglich. So kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass bei sehr kalten Außenlufttemperaturen eher geringere relative Raumluftfeuchten vorliegen. Dies hängt damit zusammen, dass die kalte Außenluft nur wenig Wasser aufnehmen kann (Kapitel 2.3.1). Dementsprechend kann die eingelüftete Außenluft nach Erwärmung in den Räumen umso mehr Feuchtigkeit aufnehmen, wodurch Lüftungsereignisse eine bessere Wirksamkeit erzielen.

Umgekehrt kann natürlich auch kühlere Raumluft weniger Wasser aufnehmen als wärmere, sodass dieselbe im Rahmen der Nutzung eines Raumes an die Raumluft abgegebene Feuchtemenge bei kühlerer Raumluft zu einer höheren relativen Luftfeuchte führt als bei höheren Raumlufttemperaturen. Auch dies ist bei einer sachgerechten Bewertung der relativen Raumluftfeuchte zu berücksichtigen.

6.4.4 Absolute Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur

Aus der gemessenen relativen Raumluftfeuchte und den zugehörigen Werten der Raumlufttemperatur kann die vorhandene absolute Raumluftfeuchte zu jedem Messzeitpunkt nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$20) \quad v_{\varphi} = \frac{p_{\text{sat}} \cdot \varphi}{R_d \cdot T}$$

mit:

v_{φ} absolute Luftfeuchte (Wasserdampfkonzentration)
der Luft [g/m³]

p_{sat} Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]

φ relative Luftfeuchte [-]

R_d Gaskonstante für Wasserdampf [(Pa·m³)/(g·K)]

$R_d = 0,462 \text{ (Pa m}^3\text{)/(g K)}$

Anmerkung: Üblicherweise erfolgt die Angabe in der Einheit J/(kg K), für die Berechnung von v_{φ} ist jedoch die Umrechnung in die Einheit [(Pa·m³)/(g·K)] erforderlich

T Thermodynamische Temperatur [K] (0 °C = 273,15 K)

Der sich daraus ergebende Verlauf der raumseitigen absoluten Luftfeuchte (Wasserdampfkonzentration) über den Messzeitraum folgt in der Regel im Wesentlichen dem Verlauf der relativen Raumluftfeuchte (Bild 40, oben).

Aus dem Kurvenverlauf lassen sich wirksame Lüftungsergebnisse, insbesondere Stoßlüftungen, ablesen. Diese zeigen sich typischerweise als senkrechte Ausschläge der Kurve abwärts über mehrere g/m³ mit einem kurzzeitig darauf folgenden, zunächst raschen und im weiteren Verlauf zunehmend gebremsten Anstieg der absoluten Raumluftfeuchte. Werden derartige Stoßlüftungen in dem exemplarisch untersuchten Raum durchgeführt, zeigen sich typischerweise auch hiermit korrespondierende, punktuelle Absenkungen im Verlauf der Raumlufttemperatur. In Bild 40 ist oben ein vorbildliches Lüftungsverhalten mit regelmäßigen dreimal täglichen Stoßlüftungen und einer daraus resultierenden vergleichsweise geringen relativen Raumluftfeuchte zu erkennen. Auf dem unteren Diagramm sind über den Zeitraum einer Woche überhaupt keine Stoßlüftungen erkennbar, woraus dann auch die dokumentierte hohe relative Raumluftfeuchte resultiert.

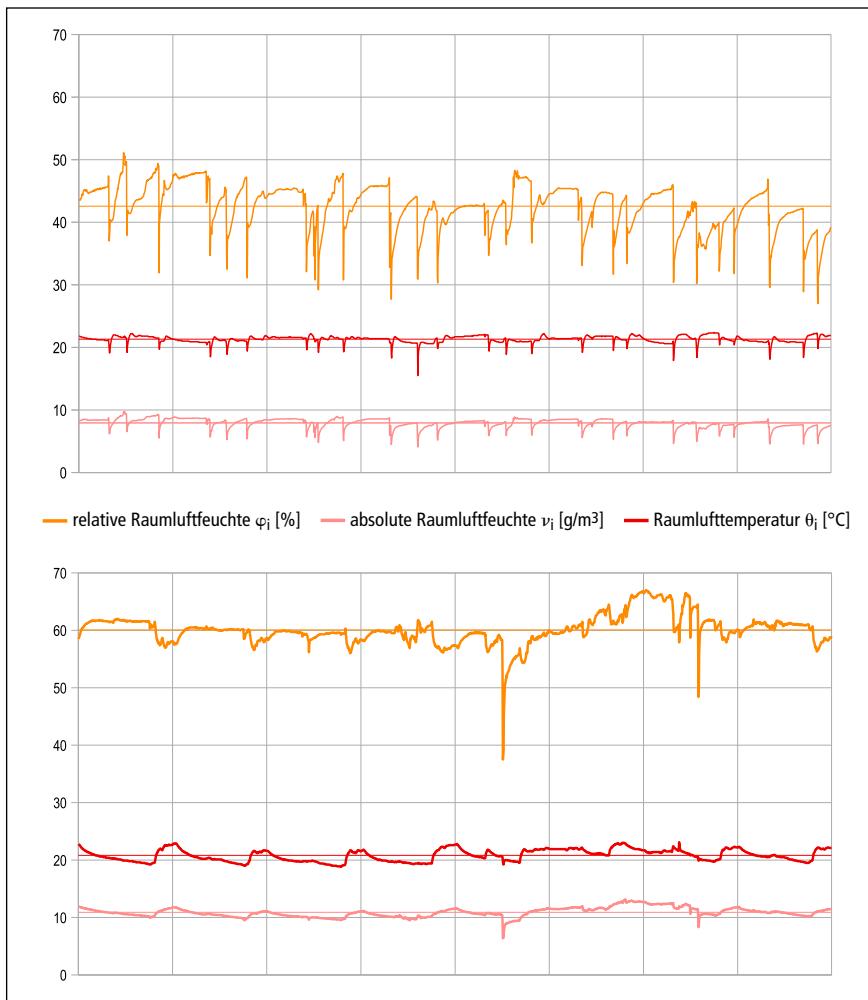


Bild 40 ▀ Kurvenverläufe der relativen und der absoluten Raumluftfeuchte sowie der Raumlufttemperatur einer vorbildlich gelüfteten Wohnung (oben) und einer mangelhaft gelüfteten Wohnung (unten)

6.4.5 Feuchtelast

Aus der Differenz zwischen der raumseitigen Wasserdampfkonzentration n_i und der außenseitigen Wasserdampfkonzentration n_e ergibt sich als charakteristische Größe für die Bewertung des Raumklimas für jeden Messzeitpunkt die raumseitige Feuchtelast Δv :

$$21) \quad \Delta v = v_i - v_e$$

mit:

Δv	Feuchtelast [g/m ³]
v_i	absolute Luftfeuchte der Raumluft [g/m ³]
v_e	absolute Luftfeuchte der Außenluft [g/m ³]

In der Praxis werden die Feuchtelasten in der Regel aus den Tagesmittelwerten der zur Verfügung stehenden Datenbasis berechnet. Aus dem Kurvenverlauf kann für jeden gewünschten Teilzeitraum oder auch für den gesamten Messzeitraum eine mittlere Feuchtelast ermittelt werden. Die Wasserdampfkonzentration der Außenluft wird dabei analog zu der in Kapitel 6.4.4 beschriebenen Berechnung der Wasserdampfkonzentration der Raumluft bestimmt. In Bild 41 ist beispielhaft die Feuchtelast zu den in Bild 40 dargestellten Kurvenverläufen abgebildet.

Als Bewertungsmaßstab für diese Feuchtelast können typische Ansätze für die Abbildung von Raumklimaten in den diesbezüglich einschlägigen Regelwerken DIN 4108-3, DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und [WTA, 2014] herangezogen werden. Diese Ansätze basieren auf der Zuordnung von Raumlufttemperaturen und relativen Raumluftfeuchten jeweils zu einer Außenlufttemperatur und finden beispielsweise im Rahmen hygrothermischer Simulationen Anwendung. Die Ansätze in den vier genannten Regelwerken stimmen im Wesentlichen überein und unterscheiden sich lediglich im Spektrum der erfassten Luftfeuchten und der Benennung der einzelnen Lastfälle (Tabelle 11).

In [WTA, 2014] werden die Ansätze aus DIN EN 15026 und DIN EN ISO 13788 zusammengefasst und für das Außenlufttemperaturspektrum zwischen –20 und +30 °C in folgende Kategorien mit den hierzu genannten relativen Raumluftfeuchten unterschieden:

- A niedrige Feuchtelast mit einem Verlauf der relativen Raumluftfeuchten zwischen 25 % (bei $\theta_{e; md} \leq -10^\circ\text{C}$) und 55 % (bei $\theta_{e; md} \geq 20^\circ\text{C}$),
- B normale Feuchtelast mit einem Verlauf der relativen Raumluftfeuchten zwischen 30 % (bei $\theta_{e; md} \leq -10^\circ\text{C}$) und 60 % (bei $\theta_{e; md} \geq 20^\circ\text{C}$),
- C normale Feuchtelast +5 % (Bemessung) mit einem Verlauf der relativen Raumluftfeuchten zwischen 35 % (bei $\theta_{e; md} \leq -10^\circ\text{C}$) und 65 % (bei $\theta_{e; md} \geq 20^\circ\text{C}$) sowie
- D hohe Feuchtelast mit einem Verlauf der relativen Raumluftfeuchten zwischen 40 % (bei $\theta_{e; md} \leq -10^\circ\text{C}$) und 70 % (bei $\theta_{e; md} \geq 20^\circ\text{C}$).

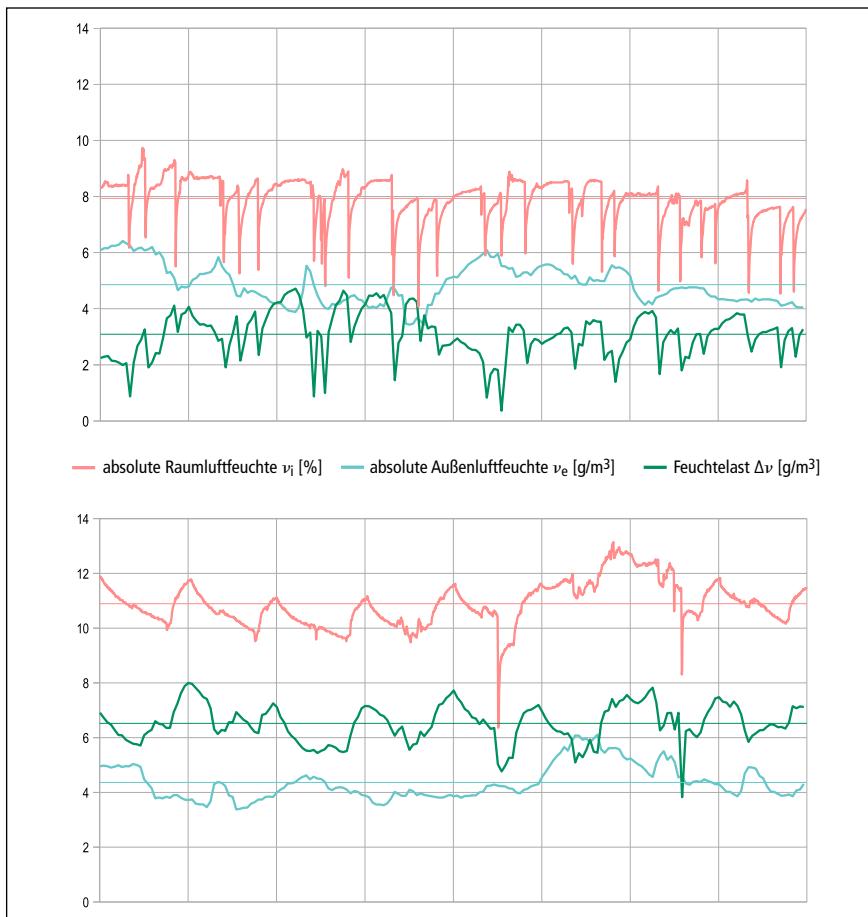


Bild 41 ▀ Kurvenverläufe der absoluten Luftfeuchte innen und außen sowie der daraus jeweils resultierenden Feuchtelast einer vorbildlich gelüfteten Wohnung (oben) und einer unzureichend gelüfteten Wohnung (unten)

Tabelle 11 ▀ Einstufung der Feuchtelastszenarien nach DIN 4108-3, DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und WTA Merkblatt 6-2:2014-12 [WTA, 2014]

	Einstufung nach			
	DIN 4108-3, Anhang D	DIN EN 15026	DIN EN ISO 13788	WTA Merkblatt 6-2:2014-12
φ_i, A	–	–	–	niedrige Feuchtelast
φ_i, B	normale Belegung	normale Belegung	–	normale Feuchtelast
φ_i, C	normale Belegung +5 % (Bemessung)	–	normale Belegung	normale Feuchtelast +5 % (Bemessung)
φ_i, D	hohe Belegung	hohe Belegung	starke Belegung	hohe Feuchtelast

In Bild 42 sind die in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für die unterschiedlichen Nutzungsszenarien anzunehmenden typischen Raumlufstemperaturen und relativen Raumluftfeuchten dargestellt.

Das Nomogramm lässt sich bezüglich der typischen relativen Raumluftfeuchten für Außenlufttemperaturen θ_e zwischen -10°C und $+20^{\circ}\text{C}$ auch durch folgende Gleichungen ausdrücken:

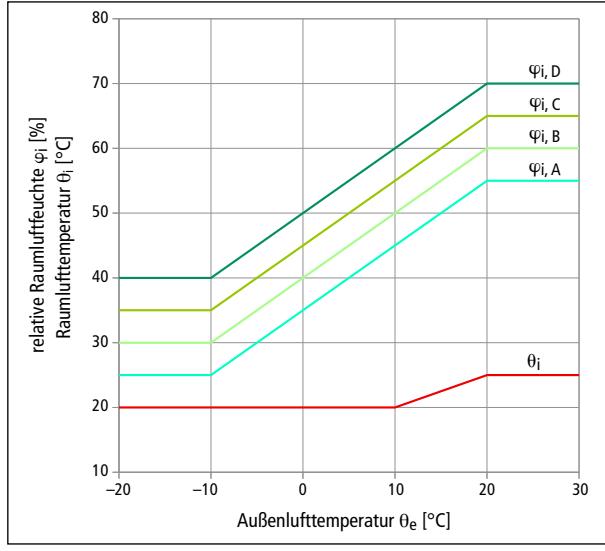
$$22) \quad \varphi_{i,A} = 25 + \theta_e + 10; [\%]$$

$$23) \quad \varphi_{i,B} = 30 + \theta_e + 10; [\%]$$

$$24) \quad \varphi_{i,C} = 35 + \theta_e + 10; [\%]$$

$$25) \quad \varphi_{i,D} = 40 + \theta_e + 10; [\%]$$

Bild 42 ■ Ansätze zur Abbildung typischer Feuchtelasten in Wohnräumen in Anlehnung an DIN 4108-3, DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und WTA Merkblatt 6-2:2014-12 [WTA, 2014]



Mithilfe dieser Ansätze wird die typische oder charakteristische Feuchtelast einer Wohnung wie folgt ermittelt:

Zunächst wird anhand des Nomogramms in Bild 42 bzw. der zugehörigen Gleichungen für jeden Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur eine typische Raumlufttemperatur und eine typische relative Raumluftfeuchte ermittelt. Daraus wiederum wird, wie oben bereits beschrieben, die typische absolute Raumluftfeuchte berechnet. Zieht man hiervon den bereits für die Ermittlung der vorhandenen Feuchtelast berechneten Tagesmittelwert der absoluten Außenluftfeuchte ab, erhält man die typische Feuchtelast. Beispielhaft sind in Bild 43 die gemessenen und die jeweils typischen Feuchtelasten der beiden schon auf Bild 40 und Bild 41 herangezogenen Wohnungen (dieses Mal über einen längeren Zeitraum) abgebildet.

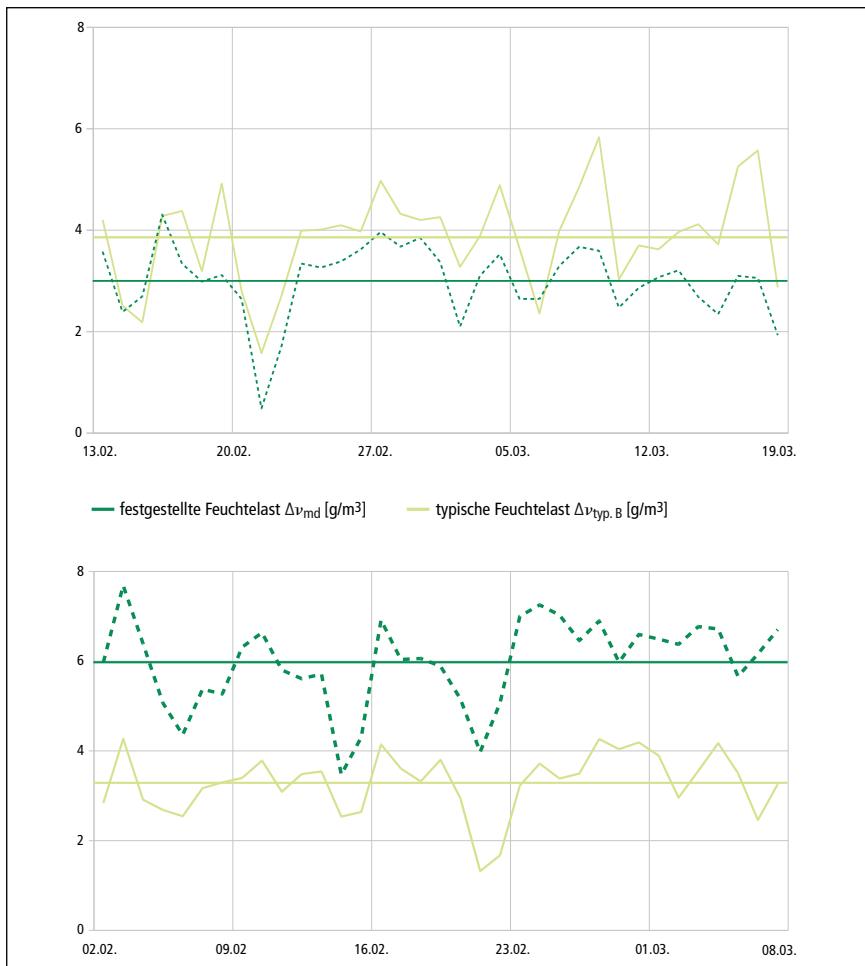


Bild 43 ■ Kurvenverläufe der gemessenen Feuchtelast sowie der jeweils typischen Feuchtelast einer vorbildlich gelüfteten Wohnung (oben) und einer unzureichend gelüfteten Wohnung (unten)

Welche Feuchtelast als typisch für eine Wohnung anzunehmen ist, hängt insbesondere von deren Belegung und Nutzung ab. Je höher die Belegung ist, d. h. je geringer das Raumluftvolumen ist, welches je Wohnungsbenutzer zur Verfügung steht, desto höher ist natürlich auch die typische Feuchtelast. Ebenso führt eine hinsichtlich der Feuchteabgabe intensive Nutzung einer Wohnung zu einer höheren typischen Feuchtelast. Dies könnte beispielsweise eine Wohnung sein, in der häufig und viel Wäsche zum Trocknen aufgehängt wird. Insofern kommt der richtigen Einschätzung des Nutzungsszenarios bzw. der zum Vergleich heranzuziehenden Feuchtelast entsprechend Bild 42 bei der Beurteilung der festgestellten Feuchtelast eine wesentliche Bedeutung zu.

Deutlich zu erkennen ist in diesem Zusammenhang der sehr ähnliche Verlauf der typischen und der gemessenen Feuchtelast in Bild 43 oben für die vorbildlich gelüftete Wohnung (mit der hier etwas geringeren gemessenen Feuchtelast). Aber auch in dem unteren Diagramm folgt die Messkurve im Wesentlichen dem Verlauf der Kurve für die typische Feuchtelast. Sie ist aber um ca. 2,7 g/m³ nach oben verschoben. Dem entsprechend ist die Feuchtelast in dieser Wohnung knapp doppelt so hoch wie zu erwarten wäre. Der grundsätzliche Zusammenhang zwischen der Raumluftfeuchte und der Außenlufttemperatur, wie er in DIN 4108-3, DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und [WTA, 2014] zugrundegelegt wird, wird aber auch hier anhand des weitgehend parallelen Verlaufs der Kurven bestätigt.

Dieser im Wesentlichen parallele Verlauf von gemessenen Feuchtelasten mit den typischen Feuchtelasten entsprechend den genannten Regelwerken wurde vom Grundsatz her bei einer Vielzahl eigener Messungen der Autoren im Rahmen der Begutachtung von Schimmelschäden bestätigt. Insofern sind diese charakteristischen Feuchtelasten aus Sicht der Autoren als Maßstab für die Beurteilung gemessener Feuchtelasten zunächst einmal durchaus geeignet. Allerdings ist für eine sinnvolle Bewertung gemessener Feuchtelasten natürlich die Auswahl der »richtigen« zum Vergleich herangezogenen charakteristischen Feuchtelast (niedrige Feuchtelast, normale Feuchtelast, normale Feuchtelast +5 %, hohe Feuchtelast) wesentlich. Hier sind die genannten Regelwerke nur bedingt hilfreich. Lediglich DIN 4108-3, Anhang D bietet nämlich eine Orientierung. Dort wird eine hohe Belegung dadurch definiert, dass bezogen auf die Wohneinheit die Wohnfläche pro Person weniger als 15 m² beträgt.

Sinnvoller erscheint es allerdings, das Raumvolumen als Bezugsgröße heranzuziehen. Bei einer üblichen Raumhöhe zwischen 2,5 m und 3,5 m wäre eine hohe Belegung entsprechend DIN 4108-3 demnach für Raumluftvolumina von weniger als 37,5 bis 52,5 m³ pro Person anzunehmen. Dieses Spektrum erscheint zu groß bzw. zu unpräzise. Auf der Grundlage der Ergebnisse der bereits erwähnten umfänglichen eigenen Datenloggermessungen im Rahmen der Begutachtung von Schimmelschäden haben sich aber in Abhängigkeit vom Raumluftvolumen V_R für Wohnungen mit üblicher Nutzung (d. h. ohne besondere Feuchteabgabe) folgende Feuchtelasten nach [WTA, 2014] als Vergleichsgröße bei der Beurteilung gemessener Feuchtelasten bewährt:

- niedrige Feuchtelast $\varphi_{i,A}$: $V_R > 120 \text{ m}^3/\text{Person}$ ⁸
- normale Feuchtelast $\varphi_{i,B}$: $80 \text{ m}^3/\text{Person} < V_R < 120 \text{ m}^3/\text{Person}$
- normale Feuchtelast +5 % $\varphi_{i,C}$: $40 \text{ m}^3/\text{Person} < V_R < 80 \text{ m}^3/\text{Person}$
- hohe Feuchtelast $\varphi_{i,D}$: $V_R < 40 \text{ m}^3/\text{Person}$

8 Anmerkung: Für die Beurteilung von Räumen wie Schlafzimmer, Bad o. ä. nur begrenzt anwendbar

Geht man davon aus, dass diese typischen Feuchtelasten unter Einhaltung eines zumutbaren Heiz- und Lüftungsverhaltens erzielt werden können, stellt eine Überschreitung der jeweiligen zugeordneten Feuchtelast einen wichtigen Hinweis auf ein ungünstiges Nutzerverhalten dar. Daher ist die korrekte Annahme des im Einzelfall zutreffenden Nutzungsszenarios in der Regel der Ausgangspunkt und die Basis der Beurteilung der Feuchtelast und hierauf aufbauend eines Schimmelbefalls. Auch bei Anwendung der vorstehenden Zuordnung typischer Feuchtelasten sind aber einige Erfahrung und insbesondere Kenntnisse bezüglich der Nutzung der zu beurteilenden Wohnung (z.B. Anzahl der Bewohner, Grundfläche und Höhe der Wohnung, hinsichtlich ihrer Feuchteabgabe wesentliche Nutzungen) Voraussetzung, um zu sinnvollen Ergebnissen zu kommen.

Aber nicht nur bei entsprechender Überschreitung der typischen Feuchtelasten kann Schimmel auftreten. Auch bei hohen typischen Feuchtelasten (beispielsweise infolge einer hohen Belegung oder feuchteintensiven Nutzung einer Wohnung) kann es zu schimmelkritischen Oberflächenverhältnissen kommen, insbesondere bei Gebäuden mit einem geringen Wärmeschutz. Aus technischer Sicht kann bei derartigen Nutzungsverhältnissen ggf. ein besonderes Mitwirken der Bewohner zur Vermeidung unzuträglich feuchter raumklimatischer Verhältnisse bzw. kritischer Oberflächenverhältnisse im Bereich von Wärmebrücken vonnöten sein (Kapitel 6.4.9).

Insgesamt können aus der Höhe der typischen Feuchtelast und dem Vergleich der gemessenen mit der typischen Feuchtelast insbesondere im Zusammenhang mit den daraus resultierenden Oberflächenverhältnissen in der Regel sehr weitreichende Rückschlüsse auf die technischen Ursachen eines Schimmelbefalls und die Erfordernisse bei der Nutzung der betroffenen Wohnung gezogen werden. Dies wird ausführlich im Kapitel 6.4.7 erläutert.

Eine weitere systematische Auswertung von Messdaten zur Verifizierung und ggf. Weiterentwicklung der vorgenommenen Zuordnung typischer Feuchtelasten zu den entsprechenden pro Person zur Verfügung stehenden Raumvolumina wäre allerdings wünschenswert, auch um letztendlich entsprechende Angaben in den betreffenden Regelwerken etablieren zu können. Erste Ansätze hierzu bietet der Forschungsbericht [Ackermann, 2019].

6.4.6 Oberflächentemperatur

Eine Beurteilung der gemessenen Oberflächentemperaturen ist nur im Zusammenhang mit den zugehörigen Raum- und Außenlufttemperaturen möglich. Einen groben Anhaltspunkt stellt das sogenannte Schimmelpilzkriterium dar. Hierunter versteht man die in DIN 4108-2 definierte kritische Oberflächentemperatur von $12,6^{\circ}\text{C}$ (Kapitel 6.3.2.4). Zu beachten ist allerdings der Kontext, in dem das Schimmelpilzkriterium in DIN 4108-2 angewendet wird. Hierbei handelt es sich nämlich um einen Grenzwert, der für eine rechnerische Betrachtung eines Bauteilaufbaus unter definierten Randbedingungen angesetzt wird. Als definierte Randbedingungen dienen dabei insbesondere eine Außenlufttemperatur von $\theta_e = -5^{\circ}\text{C}$ und eine Raumlufttemperatur von $\theta_i = +20^{\circ}\text{C}$, wobei jeweils von einem eingeschwungenen Zustand ausgegangen wird, d. h. von einem längeren Andauern dieser Temperaturen, sowie eine relative Raumluftfeuchte von $\varphi_i = 50\%$. Weiter ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um eine Anforderung für Neubauten handelt, die nicht ohne Weiteres auf Bestandsbauten angewendet werden kann. Eine sehr grobe Einschätzung der wärmeschutztechnischen Qualität eines Bauteils ist mit etwas Erfahrung aber insbesondere dann möglich, wenn die Temperaturrendbedingungen einige Zeit großenordnungsmäßig in dem genannten Bereich liegen. Ein direkter Vergleich der gemessenen Oberflächentemperaturen mit dem genannten Grenzwert für die rechnerische Betrachtung ist jedoch aus den oben genannten Gründen nicht sachgerecht (vgl. Kapitel 6.5.4), auch wenn entsprechende Betrachtungen immer wieder Eingang in Sachverständigen-gutachten finden.

Ebenso kann unter bestimmten Voraussetzungen eine grobe qualitative Einschätzung zum Wärmeschutz eines Bauteils anhand der Kurvenverläufe der Oberflächentemperaturen, der Raumlufttemperaturen und der Außenlufttemperaturen möglich sein. Ist dabei beispielsweise ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Oberflächentemperatur und der Außenlufttemperatur erkennbar, so ist der Wärmeschutz des betreffenden Bauteils eher ungünstig. Folgt der Verlauf der Oberflächentemperatur dagegen eher dem Verlauf der Raumlufttemperatur, kann davon ausgegangen werden, dass der Wärmeschutz des betreffenden Bauteils vergleichsweise gut ist. In Bild 44 ist in dem oberen Diagramm ein beispielhafter Kurvenverlauf für ein gut gedämmtes Bauteil abgebildet. Im unteren Diagramm ist der Verlauf der Temperaturkurven für ein schlecht gedämmtes Bauteil dargestellt. Selbstverständlich sind entsprechende Rückschlüsse aber nur dann möglich, wenn nicht schon die Raumlufttemperatur der Außenlufttemperatur folgt.

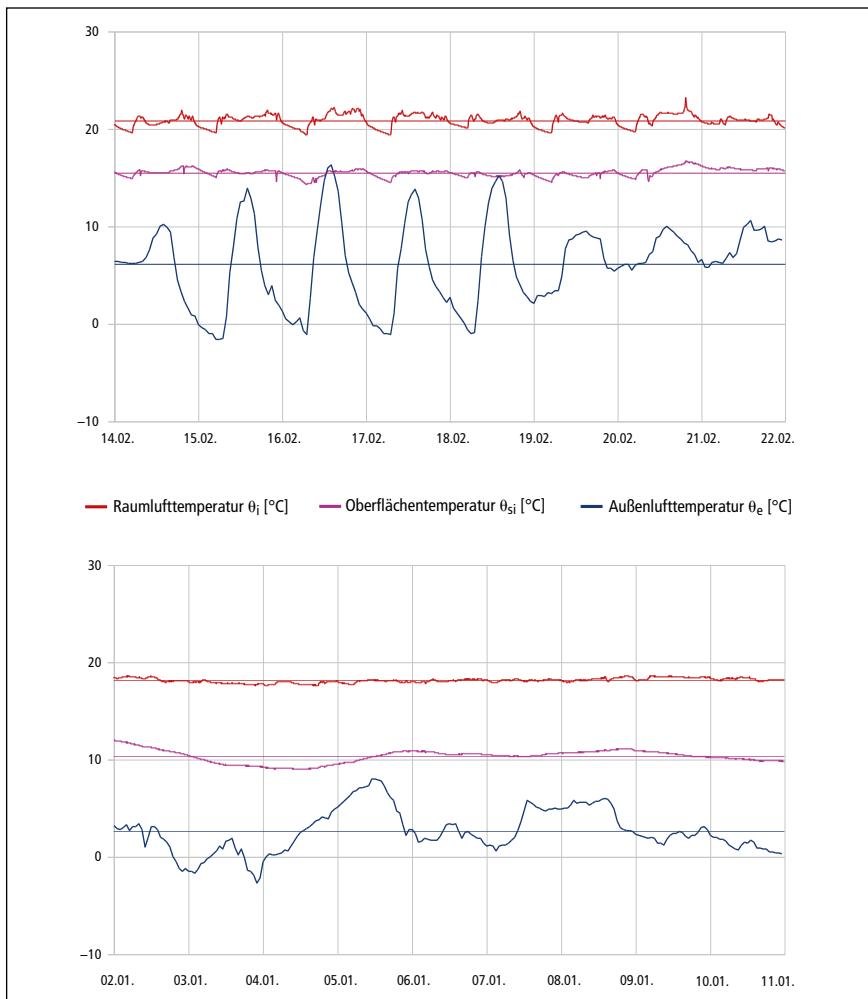


Bild 44 ▀ Zusammenhang zwischen der gemessenen Oberflächentemperatur einerseits sowie der Raumluft- und Außenlufttemperatur andererseits als Indiz für die wärmeschutztechnische Qualität eines Bauteils – oben: guter Wärmeschutz, unten: schlechter Wärmeschutz

6.4.7 Oberflächenverhältnisse

Die tatsächlichen Oberflächenverhältnisse können für jeden Zeitpunkt der Messungen anhand der Messwerte der Oberflächentemperatur, der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte berechnet werden. Hierin liegt ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens der ›komplexen Datenloggermessungen‹. Zu diesem Zweck wird zunächst aus den genannten Messwerten

die schimmelkritische Oberflächentemperatur $\theta_{si,krit.}$ berechnet. Dafür wird der Wasserdampfsättigungsdruck p_{sat} in [Pa] für die jeweilige Raumlufttemperatur θ_i wie folgt bestimmt:

$$26) \quad p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}; \theta_i \geq 0^\circ\text{C}$$

$$27) \quad p_{sat} = 610,5 e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}}; \theta_i < 0^\circ\text{C}$$

mit:

p _{sat}	Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]
θ _i	Raumlufttemperatur [°C]

Hieraus wird durch Multiplikation mit der gemessenen relativen Raumluftfeuchte der jeweils vorhandene Wasserdampfteildruck ermittelt. Für diesen Wasserdampfteildruck wird anschließend die spezifische schimmelkritische Oberflächentemperatur $\theta_{si,krit.}$ berechnet, also die Oberflächentemperatur, bei der 80 % Oberflächenfeuchte erreicht werden:

$$28) \quad \theta_{si;krit.} = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_{sat} \cdot \varphi_{si;krit.}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{sat} \cdot \varphi_{si;krit.}}{610,5} \right)}; p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$29) \quad \theta_{si;krit.} = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_{sat} \cdot \varphi_{si;krit.}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{sat} \cdot \varphi_{si;krit.}}{610,5} \right)}; p_{sat} < 610,5 \text{ Pa}$$

mit:

θ _{si,krit.}	schimmelkritische Oberflächentemperatur [°C]
p _{sat}	Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]
φ _{si,krit.}	kritische relative Oberflächenfeuchte [-] (für Schimmelbildung: φ _{si,krit.} = 0,8)

Zur Feststellung, ob und in welchem zeitlichen Umfang über den Messzeitraum schimmelkritische Oberflächenverhältnisse aufgetreten sind, werden die Differenzen $\Delta\theta_{si,krit.}$ zwischen den aufgezeichneten Oberflächentemperaturen θ_{si} und diesen jeweils spezifischen schimmelkritischen Oberflächentemperaturen gebildet. Als grafische Darstellung in einem Diagramm zeigt der Verlauf dieser Differenz durch Unterschreiten der Null-Linie, d. h. für $\Delta\theta_{si,krit.} \leq 0$, das Überschreiten einer relativen Oberflächenfeuchte von φ_{si,krit.} = 80 % und damit rechnerisch schimmelkritische Oberflächenverhältnisse an. Bild 45 zeigt beispielhaft die zu Bild 40, Bild 41 und Bild 43 gehörigen Kurvenverläufe (jeweils über einen Zeitraum von fünf Wochen).

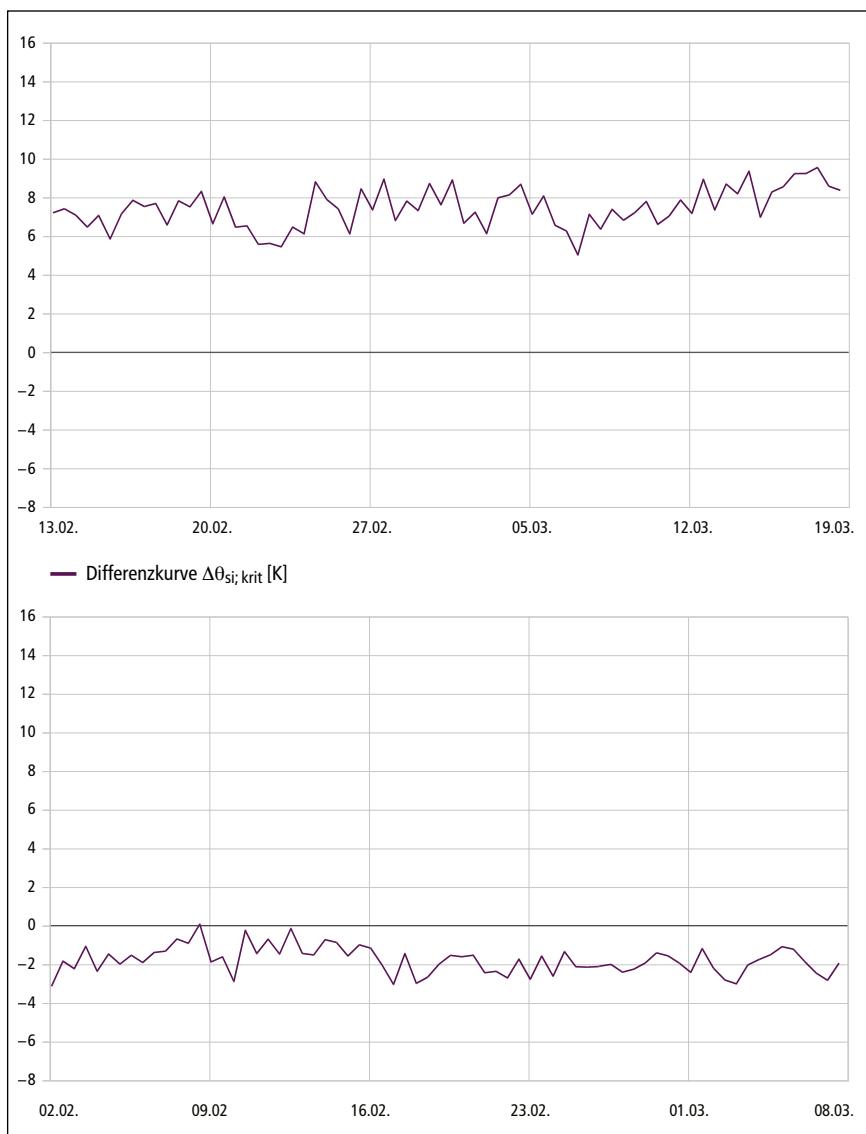


Bild 45 ■ Grafische Darstellung der Zeiträume schimmelkritischer Oberflächenverhältnisse einer vorbildlich gelüfteten Wohnung (oben) und einer unzureichend gelüfteten Wohnung (unten) – vgl. Bild 40, Bild 41 und Bild 43

Bei der Bewertung des Kurvenverlaufs ist insbesondere zu berücksichtigen, dass sich nicht direkt mit dem Auftreten schimmelkritischer Oberflächenverhältnisse auch tatsächlich ein Schimmelbefall ansiedelt. Vielmehr bedarf es hierfür eines längeren Andauerns derartiger Oberflächenverhältnisse. In

DIN 4108-8 wird ein Zeitraum von fünf Tagen hintereinander mit jeweils zwölf Stunden in denen solche kritischen Oberflächenverhältnisse vorherrschen als Größenordnung benannt (Kapitel 2.4). Selbstverständlich stellt dies aber lediglich einen Richtwert dar, da noch weitere Faktoren eine Rolle dafür spielen, ob Schimmelsporen sich letztendlich ansiedeln können oder nicht.

Betrachtet man aber nicht lediglich das Auftreten bzw. Nichtauftreten schimmelkritischer Oberflächenverhältnisse für sich, sondern bezieht die in den vorstehenden Abschnitten erläuterten Auswertungen zum Heiz- und Lüftungsverhalten bzw. der Feuchtelast in die Bewertung ein, so sind sehr weitreichende Rückschlüsse möglich. Dies soll nachfolgend anhand der wesentlichen denkbaren Fallkonstellationen erläutert werden:

- Treten kritische Oberflächenverhältnisse auf, obwohl in üblichem Umfang geheizt und gelüftet wird, d. h. übliche Feuchtelasten vorherrschen, so stellt dies einen Hinweis darauf dar, dass der untersuchte Bauteilaufbau nicht gebrauchstauglich ist. Andernfalls müsste dieser nämlich mit einem üblichen Nutzerverhalten schadenfrei gehalten werden können. Aus technischer Sicht würde dies insofern auf eine bauliche Ursache für den zu beurteilenden Schimmelbefall hindeuten.
- Werden dagegen keine kritischen Oberflächenverhältnisse festgestellt, obwohl lediglich ein übliches Heiz- und Lüftungsverhalten (also kein überobligatorisches Nutzerverhalten) oder sogar ein tendenziell eher ungünstiges Nutzerverhalten an den Tag gelegt wird, ist dies ein Indiz dafür, dass der Wärmeschutz des zu beurteilenden Bauteils ausreichend ist, um die Bauteilloberflächen ohne Weiteres schadenfrei zu halten. Dementsprechend muss das Nutzerverhalten in dem Zeitraum, in dem die zu beurteilenden Schimmelbildungen aufgetreten sind, entsprechend unzuträglicher gewesen sein als im Messzeitraum, d. h. es liegt aus technischer Sicht ein Hinweis auf ein nutzerverursachtes Problem vor.
- Treten kritische Oberflächenverhältnisse auf und das Heiz- und Lüftungsverhalten genügt den üblichen Anforderungen nicht, sodass übermäßige Feuchtelasten auftreten, müssen für die Beurteilung weitergehende Be trachtungen angestellt werden (Kapitel 6.4.8).

Hier zeigt sich schon der Vorteil der ›komplexen Datenloggermessungen‹ in der geschilderten Art, also unter Einbeziehung des Raumklimas und der Oberflächentemperaturen in den kritischen Bereichen. Sie ermöglichen in der Regel auch eine Beurteilung des Nutzerverhaltens in zurückliegenden Zeiträumen. Hingegen ist bei den üblichen Datenloggermessungen, bei denen lediglich das Raumluftklima aufgezeichnet wird, nur eine Beurteilung des Nutzerverhaltens im Messzeitraum möglich. Dies allein hilft aber nur sehr bedingt bei der Beurteilung eines zu einem früheren Zeitpunkt aufgetretenen

Schimmelbefalls, da hiermit noch keine Einschätzung des früheren Nutzerverhaltens möglich ist. Zwar wird üblicherweise bei einem unzureichenden Heiz- und Lüftungsverhalten der Schluss gezogen, dass dieses auch schon früher vorlag. Unabhängig davon, dass diese Schlussfolgerung zwar naheliegend, aber keinesfalls zwingend ist, kann davon ausgegangen werden, dass ein an einer Auseinandersetzung beteiligter Wohnungsutzer, der beispielsweise durch viel zu seltenes Lüften zu einer Schimmelbildung maßgeblich beigetragen hat, zum Zeitpunkt der Datenloggermessungen bereits über das von ihm erwartete Nutzungsverhalten aufgeklärt ist und dieses im Messzeitraum entsprechend anpasst. Dagegen wird mit den beschriebenen ›komplexen Datenloggermessungen‹ auch eine Einschätzung der wärmeschutztechnischen Qualität des zu beurteilenden Bauteils und hierauf aufbauend in der Regel auch eine Beurteilung des Nutzerverhaltens im Vorfeld eines streitigen Schimmelbefalls möglich.

6.4.8 Oberflächenverhältnisse bei typischem Raumklima

Eine weitere Möglichkeit zur Auswertung der ›komplexen Datenloggermessungen‹ besteht darin, die tatsächlich gemessenen Raumlufteuchten durch typische Raumlufteuchten zu ersetzen. Dabei werden unter Beibehaltung der gemessenen Raumluft- und Oberflächentemperaturen die im Einzelfall typischen Feuchtelasten entsprechend DIN 4108-3, DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und [WTA, 2014] herangezogen. Anschließend wird, wie in Kapitel 6.4.7 beschrieben, erneut die spezifische schimmelkritische Oberflächentemperatur $\theta_{si,krit}$ und die Differenzkurve zur tatsächlichen gemessenen Oberflächentemperatur berechnet. Auf diese Weise kann eine Einschätzung erfolgen, ob auch unter Einhaltung einer üblichen Raumlufteuchte Schimmelbildung auftreten könnte. Folgende Rechenschritte sind dabei erforderlich:

Zunächst wird den vorliegenden Werten der Außenlufttemperatur unter Zuhilfenahme des Diagramms in Bild 42 bzw. der zugehörigen Formeln eine typische Raumlufittemperatur und relative Raumlufteuchte zugewiesen. Bewährt hat sich dafür die Verwendung von Halbtagesmittelwerten (8 bis 20 Uhr, 20 bis 8 Uhr). Wesentlich ist dabei die Anwendung des im Einzelfall zutreffenden Nutzungsszenarios (Kapitel 6.4.5). Aus den so gewonnenen Wertepaaren für Raumlufittemperatur und relative Raumlufteuchte wird entsprechend der Beschreibung im Kapitel 6.4.7 der Wasserdampfteildruck ebenfalls als Halbtagesmittelwert berechnet. Für diesen Wasserdampfteildruck wird anschließend die spezifische schimmelkritische Oberflächentemperatur $\theta_{si,krit}$ berechnet. Dabei handelt es sich nunmehr um die spezifische schimmelkritische Oberflächentemperatur für eine übliche bzw. typische Nutzung der betroffenen Wohnung. Zieht man diese typische spezifische schimmelkriti-

tische Oberflächentemperatur von der tatsächlich gemessenen ab, erhält man die Differenzkurve, die beim Unterschreiten der Nulllinie schimmelkritische Oberflächenverhältnisse anzeigt.

Die weitere Auswertung der Differenzkurve ermöglicht eine Beurteilung der Schimmelgefährdung des untersuchten Bereichs bei üblichem Nutzerverhalten. Um ein tatsächlich belastbares Ergebnis zu erhalten, muss dabei aber auch das Außenklima betrachtet werden. So ist die Differenzkurve natürlich nur dann aussagekräftig, wenn auch typisch winterliche Außenlufttemperaturen und -feuchten im Messzeitraum aufgetreten sind. Die relativen Außenluftfeuchten haben in diesem Zusammenhang insofern eine Bedeutung, als sie die Wirkung eines Lüftungsergebnisses maßgeblich beeinflussen: Je trockener die Außenluft ist, desto effektiver sind auch Lüftungsergebnisse. Wird ein ausreichend langer Untersuchungszeitraum, idealerweise eine gesamte Heizperiode gewählt, kann davon ausgegangen werden, dass für eine Beurteilung hinreichend lange Phasen eines typischen Winterklimas vorliegen. Die Auswertung der Differenzkurve lässt in der Regel weitere Rückschlüsse hinsichtlich der Ursachen der zu beurteilenden Schimmelbildung zu:

Liegt beispielsweise der Verlauf der Differenzkurve auch unter Zugrundelegung eines typischen Raumklimas über längere Zeiträume unterhalb der Nulllinie, so spricht dies für einen unzureichenden Wärmeschutz des untersuchten Bauteils und insofern eine diesbezüglich mangelnde Gebrauchstauglichkeit.

Liegt die Differenzkurve dagegen mit einem ausreichenden Abstand oberhalb der Nulllinie, spricht dies für die Gebrauchstauglichkeit des Bauteils. Es muss dann davon ausgegangen werden, dass in dem Zeitraum, in dem die Schimmelbildung entstanden ist, eben kein übliches Raumklima vorherrschte, sondern ein entsprechend ungünstigeres. Insofern kann weiter unterstellt werden, dass auch kein übliches Nutzerverhalten vorlag, sondern ebenfalls ein ungünstigeres. Bei der Bewertung, ob der Abstand zwischen der Differenzkurve und der Nulllinie ausreichend ist, müssen aber die jeweiligen Außenlufttemperaturen angemessen berücksichtigt werden. Insofern erfordert auch diese Beurteilung eine gewisse Erfahrung.

Die Betrachtung der Oberflächenverhältnisse unter üblichen oder typischen Raumluftfeuchten ermöglicht insofern eine Einschätzung der wärmeschutztechnischen Qualität bzw. Gebrauchstauglichkeit eines zu untersuchenden Außenbauteils. Interessant ist dabei insbesondere die weitgehende Unabhängigkeit vom Nutzerverhalten im Messzeitraum. Zudem ermöglicht diese Betrachtung im Rückschluss auch eine Einschätzung des Nutzerverhaltens im Vorfeld der Schimmelbildung.

6.4.9 Nutzung

In den vorstehenden Kapiteln war insbesondere im Zusammenhang mit typischen bzw. üblichen Feuchtelasten die Rede von Nutzungsszenarien. Hierzu sind einige Erläuterungen erforderlich, um Missverständnisse zu vermeiden. So ist es für die korrekte Beurteilung einer festgestellten Feuchtelast von grundlegender Bedeutung, dass diese mit einer geeigneten typischen Feuchtelast verglichen wird. Hierfür ist die Auswahl eines geeigneten Nutzungsszenarios entsprechend DIN EN 15026, DIN EN ISO 13788 und [WTA, 2014] sowie DIN 4108-3 wesentlich. Dabei gilt: Je größer die im Rahmen der Nutzung zu erwartende Feuchteabgabe, desto höher die Luftfeuchte in den den jeweiligen Nutzungsszenarien zugeordneten Spektren (Bild 42). Insofern gilt beispielsweise: Je höher die Belegung einer Wohnung ist, d.h. je geringer das pro Kopf in einer Wohnung zur Verfügung stehende Raumvolumen, desto höher ist die typische bzw. zu erwartende relative Raumluftfeuchte und Feuchtelast. Mit steigender relativer Raumluftfeuchte und Feuchtelast steigt aber auch das Schimmelrisiko in einer Wohnung, und zwar unabhängig davon, ob diese Feuchtelast typischerweise auftritt (z.B. infolge einer hohen Wohnungsbelegung), oder ob sie infolge eines unzulänglichen Lüftungsverhaltens auftritt. Vor diesem Hintergrund ist ein Schimmelbefall, der aufgrund einer hohen Feuchtelast entstanden ist ggf. unterschiedlich zu bewerten, je nachdem, welche Ursache die hohe Feuchtelast hat. Bei dieser Bewertung spielen sowohl rechtliche als auch technische Aspekte eine wesentliche Rolle. Beide Aspekte sollen daher nachfolgend kurz erläutert werden.

Aus technischer Sicht führt eine hohe Belegung einer Wohnung oder eine feuchteintensive Nutzung (beispielsweise mit übermäßig häufigem Trocknen von Wäsche) zu der Notwendigkeit häufigerer Stoßlüftungen zur Abführung der eingebrachten Feuchtemenge. Dies sei anhand zweier Beispiele kurz erläutert:

Ohne Weiteres einleuchtend ist es, dass die im Rahmen der Nutzung in die Raumluft eingebrachte Feuchtigkeit in einem von nur einer Person bewohnten 300 m² großen Dachgeschossloft mit 4 m Deckenhöhe deutlich seltener durch Lüftungsergebnisse abgeführt werden muss, als in einer von drei Personen bewohnten Zweizimmerwohnung. Ebenso ist es einleuchtend, dass in der Zweizimmerwohnung noch häufiger gelüftet werden muss, wenn dort eine Geburtstagsfeier mit 15 anwesenden Personen stattfindet. Hierbei handelt es sich um technische Gegebenheiten, die keiner Auslegung bedürfen.

Genauso verhält es sich aber auch in weniger extremen Fällen. So ist es im Falle einer sehr intensiven Wohnungs Nutzung (z.B. Wohngemeinschaften, Wohnheime etc.) denkbar, dass eine hohe Feuchtelast als typisch zu bezeichnen ist, dies aus technischer Sicht aber auch ein entsprechend intensiviertes

Nutzerverhalten bezüglich der Abführung von Feuchtigkeit erfordert, um das Auftreten von Schimmelbefall sicher zu vermeiden. An dieser Stelle greifen rechtliche Bewertungen direkt in die technische Beurteilung ein. So ist es in diesem Zusammenhang von Bedeutung, welches Nutzerverhalten noch zumutbar ist und damit verlangt werden kann.

Einen Anhaltspunkt dafür, welches Raumvolumen aus technischer Sicht gerade noch als üblich zu bewerten wäre, bietet [Gabrio, 2003]. Demnach wäre beim Unterschreiten eines personenbezogenen Raumluftvolumens von ca. 50 bis 60 m³ von einer überhöhten Belegung einer Wohnung auszugehen und insofern aus bauphysikalischer Sicht die Notwendigkeit besonderer Lüftungsmaßnahmen in Erwägung zu ziehen.

Eine solche aus technischer Sicht »überhöhte« Belegung einer Wohnung ist jedoch nicht deckungsgleich mit dem im Mietrecht bzw. im bauaufsichtlichen Bereich verwendeten Begriff der »Überbelegung«, da dort zum einen weitere Aspekte eine Rolle spielen und zum anderen die erforderlichen Mindestflächen je Person gering bemessen sind. So schreibt beispielsweise das Wohnungsaufsichtsgesetz [WoAufG Bln, 2001] in Berlin für Wohnungen Mindestwohnflächen von lediglich 9 m² je Erwachsenem und von 6 m² je Kind, für einzeln vermietete Wohnräume bei ausreichend zur Verfügung stehenden Nebenräumen Mindestwohnflächen von 6 m² je Erwachsenem und von 4 m² je Kind vor. Die Instanzgerichte sehen eine vertragswidrige Überbelegung einer Mietwohnung jedenfalls nicht, wenn pro erwachsener Person ca. 10 m² zur Verfügung stehen (vgl. im Einzelnen Kapitel 9.3.1.5).

Nach Auffassung der Autoren kann zumindest in Fällen, in denen aufgrund der engen Belegung oder feuchteintensiven Nutzung einer Wohnung von einer hohen Feuchtelast ausgegangen werden muss (Kapitel 6.4.5), nicht ohne Weiteres unterstellt werden, dass auch ohne besonderes Mitwirken der Nutzer kritische Oberflächenverhältnisse im Bereich von Wärmebrücken sicher vermieden werden können. Im Rahmen der Begutachtung derartiger Schadensfälle kann hierauf aber lediglich hingewiesen werden, da bei der Beantwortung der Frage, ob das erforderliche Nutzerverhalten auch zumutbar ist bzw. abverlangt werden kann, rechtliche Aspekte entscheiden. Kann nach rechtlicher Bewertung eine vertragswidrige Überbelegung nicht angenommen werden, ist die Anzahl der Personen in der Wohnung letztlich kein Kriterium zur Lösung eines Streitfalles, denn der Gebäudeeigentümer wird dann keine Reduzierung der Belegung verlangen können. Es muss dann neben baulichen Maßnahmen an eine angemessene und zumutbare Anpassung des Nutzerverhaltens gedacht werden, insbesondere ausreichendes Heizen und Lüften.

Im Zusammenhang mit der Nutzung einer Wohnung ist bezüglich der Möglichkeit, einen ausreichenden Luftwechsel durch Stoßlüften herzustellen,

Folgendes anzumerken: Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Fenster einer Wohnung für die Herstellung des erforderlichen Luftwechsels geeignet sind. Dies ist aufgrund entsprechender Anforderungen an die Größe der Fenster in den Bauordnungen der Länder sichergestellt (vgl. [MBO, 2019], § 47). Die Ausrichtung der Fenster sowie die Möglichkeit einer Querlüftung sind dabei lediglich für die erforderliche Dauer eines Lüftungsereignisses von Bedeutung. Letztendlich kann aber auch bei ungünstigen Fensteranordnungen und -zuschnitten innerhalb weniger Minuten ein vollständiger Luftaustausch erfolgen (Kapitel 6.3.4.4).

6.4.10 Zusammenfassung

Das Verfahren ›komplexen Datenloggermessungen‹ zur Beurteilung von Schimmelbildung ist in vielen Fällen das am besten geeignete Beurteilungsverfahren. Zwar kann mit diesem Verfahren nicht die Einhaltung einschlägiger wärmeschutztechnischer Regelwerke überprüft werden. Dafür ist es aber umso besser geeignet, die bei Schimmelbefall im Bereich von Wärmebrücken zumeist entscheidende Frage nach der Gebrauchstauglichkeit eines Konstruktionsaufbaus zu beantworten.

Ebenso kann auf der Grundlage der ›komplexen Datenloggermessungen‹ in der Regel auch eine Einschätzung zum Nutzerverhalten im Vorfeld eines Schimmelbefalls erfolgen. Besonders vorteilhaft ist dabei die relative Unabhängigkeit vom Nutzerverhalten im Messzeitraum. So können in den meisten Fällen weitreichende Schlussfolgerungen gezogen werden, und zwar unabhängig davon, ob das Nutzerverhalten im Messzeitraum dem vor Auftreten des Schimmelbefalls entsprach oder nicht (Kapitel 6.4.7 und 6.4.8).

Insofern ist mithilfe von ›komplexen Datenloggermessungen‹ sowohl die wärmeschutztechnische Beurteilung der Bausubstanz als auch des Nutzerverhaltens möglich. Voraussetzungen hierfür sind lediglich ein im Messzeitraum typisches winterliches Wetter sowie ein nicht zu weit vom Üblichen abweichendes Raumklima.

6.5 Kritische Betrachtung anderer Beurteilungsansätze

6.5.1 Vorbemerkungen

In den vorstehenden Kapiteln wurden zwei zur Beurteilung der Ursachen eines Schimmelbefalls geeignete Verfahren ausführlich vorgestellt. Beide Verfahren erfordern detaillierte Kenntnisse, sei es zum Konstruktionsaufbau der betroffenen Bereiche oder zu den thermischen und hygrischen Verhältnissen im Raum und an den befallenen Oberflächen. Der Aufwand für die Begutachtung ist bei beiden Verfahren vergleichsweise hoch. Zudem bedarf die sachgerechte Anwendung beider Verfahren nicht nur geeigneter Hard- und Software, sondern auch vertiefter Kenntnisse und möglichst langjähriger einschlägiger Erfahrungen der Gutachter. In der Praxis werden die Anforderungen an eine sachgerechte und zielführende Begutachtung gerade bei Schimmelbefall leider häufig unterschätzt. Vielfach stehen auch die für eine seriöse Begutachtung erforderlichen finanziellen Mittel nicht zur Verfügung bzw. sehen die Beteiligten nicht die Notwendigkeit, sie aufzuwenden. Hieraus resultieren dann fehlerhafte oder zumindest unvollständige Beurteilungen. Insofern erscheint es geboten an dieser Stelle auch auf einige der hartnäckigsten und häufigsten Fehler bei der Begutachtung der Ursachen von Schimmelbefall einzugehen. Zuletzt soll auch die vergleichsweise häufig als wesentliches Beurteilungskriterium herangezogene Indikatorfunktion der Fenster einer kritischen Beurteilung unterzogen werden.

6.5.2 Beurteilung älterer Gebäude anhand aktueller Regelwerke

Richtigerweise wird Schimmel in Wohnungen in aller Regel mit der Wärmedämmung der Außenbauteile in Verbindung gebracht. So ist die Wahrscheinlichkeit eines Schimmelbefalls in weniger gut wärmegedämmter Bausubstanz natürlich höher als in Gebäuden mit einem modernen Wärmeschutz. Insofern kann die Betrachtung der Anforderungen an den Wärmeschutz der betroffenen Bauteile auch ein wesentlicher Teil einer sachgerechten Beurteilung sein (Kapitel 6.2). Wichtig ist dabei aber, die richtigen Anforderungen als Kriterium zu wählen. Dies können natürlich nur diejenigen Anforderungen sein, die zur Bauzeit galten. Wurden zwischenzeitlich wärmeschutztechnisch relevante Veränderungen an der Bausubstanz vorgenommen, müssen überdies etwaige daraus resultierende neue Anforderungen zugrunde gelegt werden. Eine Beurteilung älterer Bausubstanz anhand aktueller Regelwerke, insbesondere der jeweils aktuellen DIN 4108, führt dagegen zu falschen Ergebnissen. Dies liegt darin begründet, dass Bestandsgebäude nicht automatisch an jede technische – in diesem Fall wärmeschutztechnische – Entwicklung angepasst werden müssen. Dieser sogenannte Bestandsschutz schützt die Eigentümer vor

ständigen kostenintensiven Anpassungen der Gebäudesubstanz an die jeweils aktuellen Anforderungen. Dem entsprechend kann die Einhaltung der jeweils aktuellen wärmeschutztechnischen Anforderungen an ältere Bestandsgebäude nicht per se gefordert werden und insofern auch nicht Kriterium für die Beurteilung der Ursachen von Schimmelbefall sein. Vor diesem Hintergrund kann eine Schimmelbildung in älterer Bausubstanz nicht nur deshalb auf bauliche Ursachen zurückgeführt werden, weil die aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz – beispielsweise das sogenannte Schimmelpilzkriterium aus DIN 4108-2 (Kapitel 6.3.2.4) – nicht eingehalten werden.

6.5.3 Beurteilung der Bausubstanz allein anhand bauzeitlicher Regelwerke

Auf der anderen Seite ist natürlich die Einhaltung der zur Bauzeit geltenden wärmeschutztechnischen Anforderungen allein auch kein ausreichendes Kriterium dafür, dass ein Schimmelbefall keine baulichen Ursachen hat. Vielmehr kann dies eher als eine Art Mindestanforderung angesehen werden. Die Einhaltung dieser Mindestanforderung bedeutet aber noch nicht, dass bauliche Ursachen für einen Schimmelbefall ausgeschlossen werden können. Bei näherer Betrachtung ist dies schon im Hinblick auf die beispielsweise Anfang des vergangenen Jahrhunderts im Wesentlichen noch gänzlich fehlenden wärmeschutztechnischen Anforderungen einleuchtend. Aber auch bei Gebäuden etwa aus den 1950er- und 1960er-Jahren, als in entsprechenden Regelwerken bereits Anforderungen an den Wärmeschutz formuliert waren, kann die Einhaltung dieser gegenüber dem heutigen Standard geringen Anforderungen natürlich nicht einziges Beurteilungskriterium sein. Um es noch deutlicher zu formulieren: Auch bei Gebäuden, die den bauzeitlichen Anforderungen genügen und die insofern Bestandsschutz genießen, können bauliche Ursachen für einen Schimmelbefall vorliegen.

6.5.4 U-Wert-Ermittlung in situ

Häufig erfolgt die Beurteilung möglicher baulicher Ursachen für einen Schimmelbefall auf der Grundlage des Wärmedurchgangskoeffizienten U eines betroffenen Bauteils. Liegen keine gesicherten Angaben zum Bauteilaufbau und damit für den U-Wert vor, wird immer wieder versucht, diesen anhand von Temperaturmessungen anlässlich eines Ortstermins zu berechnen. Dabei werden dann die Außenlufttemperatur, die Raumlufttemperatur und die innenseitige Oberflächentemperatur des betreffenden Bauteils gemessen und daraus der U-Wert errechnet. Dieses Vorgehen kann nur zufällig zu einem korrekten Ergebnis führen, da natürlich nicht nur der U-Wert des untersuchten Bauteils einen wesentlichen Einfluss auf die Oberflächentemperatur hat, sondern auch

die Außenluft- und Raumlufttemperaturen in der Zeit vor Durchführung des Ortstermins sowie – wichtiger noch – die schwer quantifizierbaren Wechselwirkungen aus Konvektion und Strahlung an den Bauteiloberflächen (Wärmeübergang innen und außen) diese beeinflussen. Insofern ist eine solche U-Wert-Ermittlung nicht sachgerecht und damit auch nicht für die Beurteilung der Ursachen von Schimmelbildung geeignet. Dies gilt analog natürlich auch dann, wenn die Berechnung des U-Wertes auf der Grundlage einer Infrarotthermografie erfolgt (vgl. hierzu auch Kapitel 4.4).

Der Vollständigkeit halber sei in diesem Zusammenhang angemerkt, dass die Beurteilung von Schimmel anhand der mit dem U-Wert beschriebenen wärmeschutztechnischen Eigenschaften eines Bauteils in der Fläche schon vom Grundsatz her in der Regel nicht zielführend ist, weil Schimmel meist in Bereichen auftritt, die wärmeschutztechnische Schwachstellen bilden, nämlich im Bereich der Wärmebrücken, also gerade nicht in der Fläche eines Bauteils.

6.5.5 Vergleich gemessener Oberflächentemperaturen mit dem sogenannten Schimmelpilzkriterium

Analog zu der im vorstehenden Abschnitt erörterten Beurteilung auf der Grundlage »gemessener« Wärmedurchgangskoeffizienten U führt auch die Bewertung beim Ortstermin gemessener Oberflächentemperaturen anhand des sogenannten Schimmelpilzkriteriums, also der Einhaltung einer Oberflächentemperatur von mindestens $12,6^{\circ}\text{C}$ im Bereich von Wärmebrücken, zu keinen belastbaren Beurteilungen. Zu den im vorstehenden Abschnitt erläuterten Schwierigkeiten bei der Bewertung der Messwerte kommt ein weiteres Problem, nämlich der bereits im Kapitel 6.4.6 erläuterte Umstand, dass es sich bei dem Schimmelpilzkriterium in DIN 4108-2 um einen Grenzwert für eine rechnerische Betrachtung eines Bauteilaufbaus unter definierten Randbedingungen handelt. Insofern ist das Schimmelpilzkriterium schon rein formal kein geeigneter Maßstab für die Beurteilung gemessener Oberflächentemperaturen. Nicht zuletzt werden aber auch die dem rechnerischen Nachweis zugrunde zu legenden Randbedingungen hinsichtlich der Raum- und Außenlufttemperaturen (eingeschwungener Zustand mit $\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$ und $\theta_e = -5^{\circ}\text{C}$) nicht vorzufinden sein. Gleichermaßen gilt natürlich auch für die Anwendung der Anforderungen an den dimensionslosen Temperaturfaktor f_{Rsi} (vgl. auch Kapitel 6.3.2.5).

6.5.6 Messung von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte mit Datenloggern

Regelmäßig wird auch der Versuch unternommen, Rückschlüsse auf ein früheres Nutzerverhalten allein aus kontinuierlichen Raumklimamessungen mit Datenloggern zu ziehen. Dies kann zu keinen belastbaren Ergebnissen führen. So ist es zwar möglich, auf der Grundlage von Messungen der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte über eine oder mehrere Wochen das Nutzerverhalten im Messzeitraum zu beurteilen. Dieses kann aber keinesfalls als Beweis für ein früheres Nutzerverhalten herangezogen werden. So mag es zwar wahrscheinlich sein, dass der Nutzer einer Wohnung, der schon während einer solchen angekündigten Messung ungenügend heizt und lüftet, dies auch schon früher so gehandhabt hat. Einen sicheren Nachweis hierfür stellt eine solche Messung aber nicht dar. Dies gilt erst recht für den Fall, dass im Messzeitraum ein gutes Heiz- und Lüftungsverhalten festgestellt wird. So kann erwartet werden, dass der Nutzer einer Wohnung in der ein Schimmelbefall aufgetreten ist, dessen Ursache nunmehr untersucht wird, während in diesem Zusammenhang durchgeführter Datenloggermessungen sein Heiz- und Lüftungsverhalten ggf. anpasst (vgl. hierzu auch Kapitel 6.4.7). Datenloggermessungen, die sich allein auf die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte beschränken, müssen als alleiniges Kriterium für die Beurteilung daher als wertlos eingeschätzt werden.

6.5.7 Indikatorfunktion von Fensterverglasungen

Auf der Grundlage der Theorie, dass die Verglasungen von Fenstern von jeher wärmeschutztechnische Schwachpunkte in einer Gebäudehülle darstellten und demzufolge im Winter prinzipiell auch der kälteste Bereich einer Gebäudehülle seien, hat um die Jahrtausendwende der Begriff der »Indikatorfunktion der Verglasung« Eingang in die bauphysikalische und juristische Beurteilung des Raumklimas gefunden (z. B. [Rahn, 1998] und [Rahn, 2002], [Graupner, 2002], [Bonk, 2002] und [Bonk, 2004]). Dieser Gedanke der Indikatorfunktion beruht darauf, dass bei einem Überschreiten einer kritischen Raumluftfeuchte die Verglasungen beschlagen sollen, bevor es im Bereich anderer wärmeschutztechnischer Schwachpunkte, also an Wärmebrücken, zu schimmel- und pilzkritischen Oberflächenfeuchten oder sogar Tauwasserausfall kommt. Auf diese Weise könnten die Verglasungen der Fenster für den Nutzer theoretisch einen Indikator für eine sich einstellende kritische Raumluftfeuchte und einen

daraus resultierenden Lüftungsbedarf darstellen. Diese Indikatorfunktion ist jedoch lediglich unter der Voraussetzung gegeben, dass

- die Tauwasserbildung an den raumseitigen Oberflächen der Verglasung auftritt, bevor die oberflächennahe relative Luftfeuchte im Bereich von wärmeschutztechnischen Schwachpunkten (Wärmebrücken) des gleichen Raumes einen Wert von $\varphi = 80\%$ erreicht,
- die Tauwasserbildung an der Verglasung für den Nutzer deutlich sichtbar ist.

Fügt man das Kriterium der Indikatorfunktion in die Beurteilungssystematik der ›erweiterten Wärmebrückeberechnungen‹ im Kapitel 6.3 ein, folgt daraus, dass nicht nur die schadensbetroffene Wärmebrücke, sondern jeweils auch ein Fenster mit Verglasung in die Berechnung der Oberflächentemperaturen einzubeziehen wäre. Bild 46 bis Bild 48 zeigen die Ergebnisse dreier Berechnungsbeispiele mit den jeweiligen Konstruktionsaufbauten sowie den errechneten Isothermenverläufen und minimalen Oberflächentemperaturen, und zwar

- für ein Kastenfenster in einem denkmalgeschützten Altbau,
- für ein isolierverglastes Holzfenster vom Typ IV 68 mit einem herkömmlichen Randverbund und
- für ein isolierverglastes Kunststofffenster mit einem verbesserten Randverbund.

Der Ansatz der Klima- und Oberflächenrandbedingungen erfolgt hier jeweils nach DIN 4108-2 sowie bezüglich der raumseitigen Wärmeübergangswiderstände im Bereich der Verglasungen und Rahmen nach DIN EN ISO 13788 und DIN EN ISO 10077 (Tabelle 6 in Kapitel 6.3.2.5).

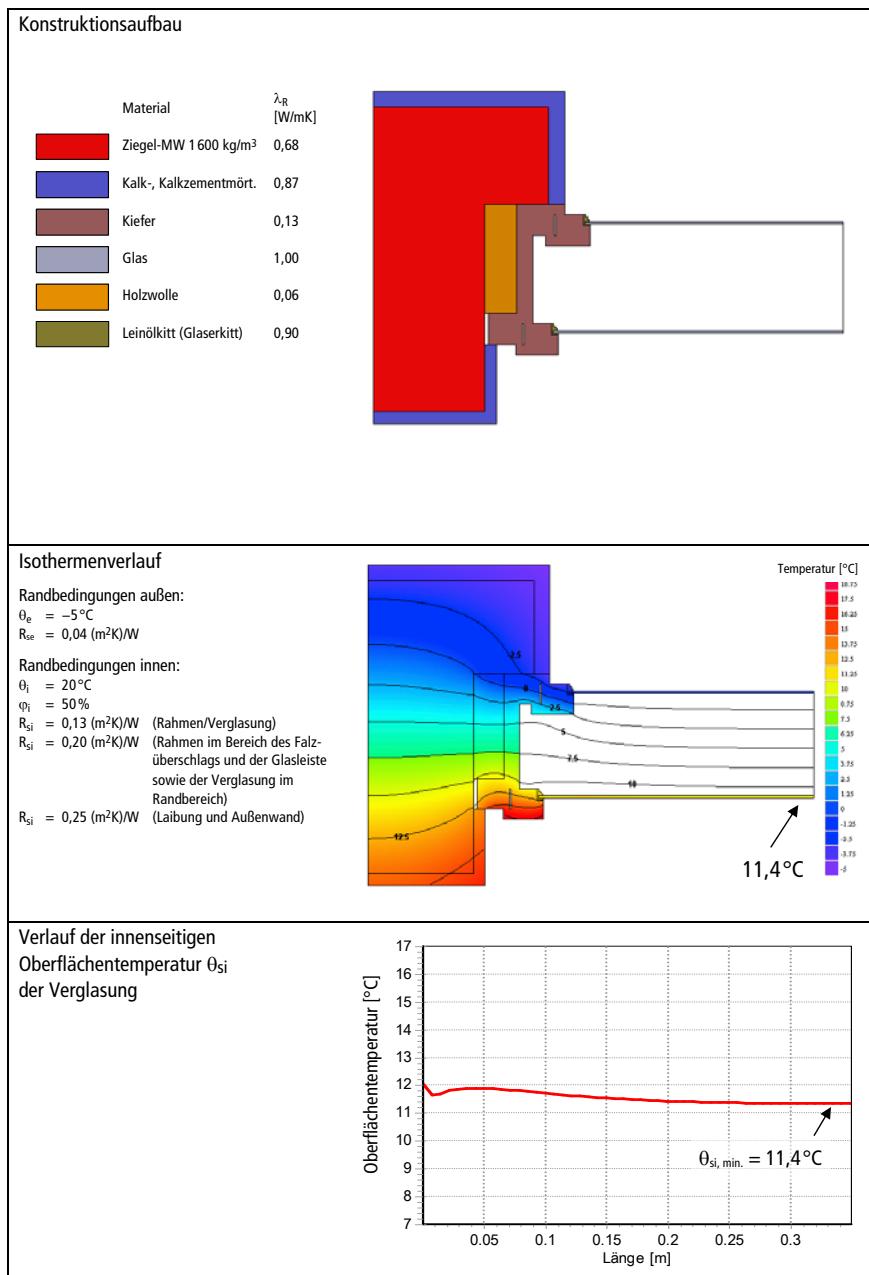


Bild 46 ■ Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperaturen der Verglasung für eine denkmalgeschützte Kastenfensterkonstruktion

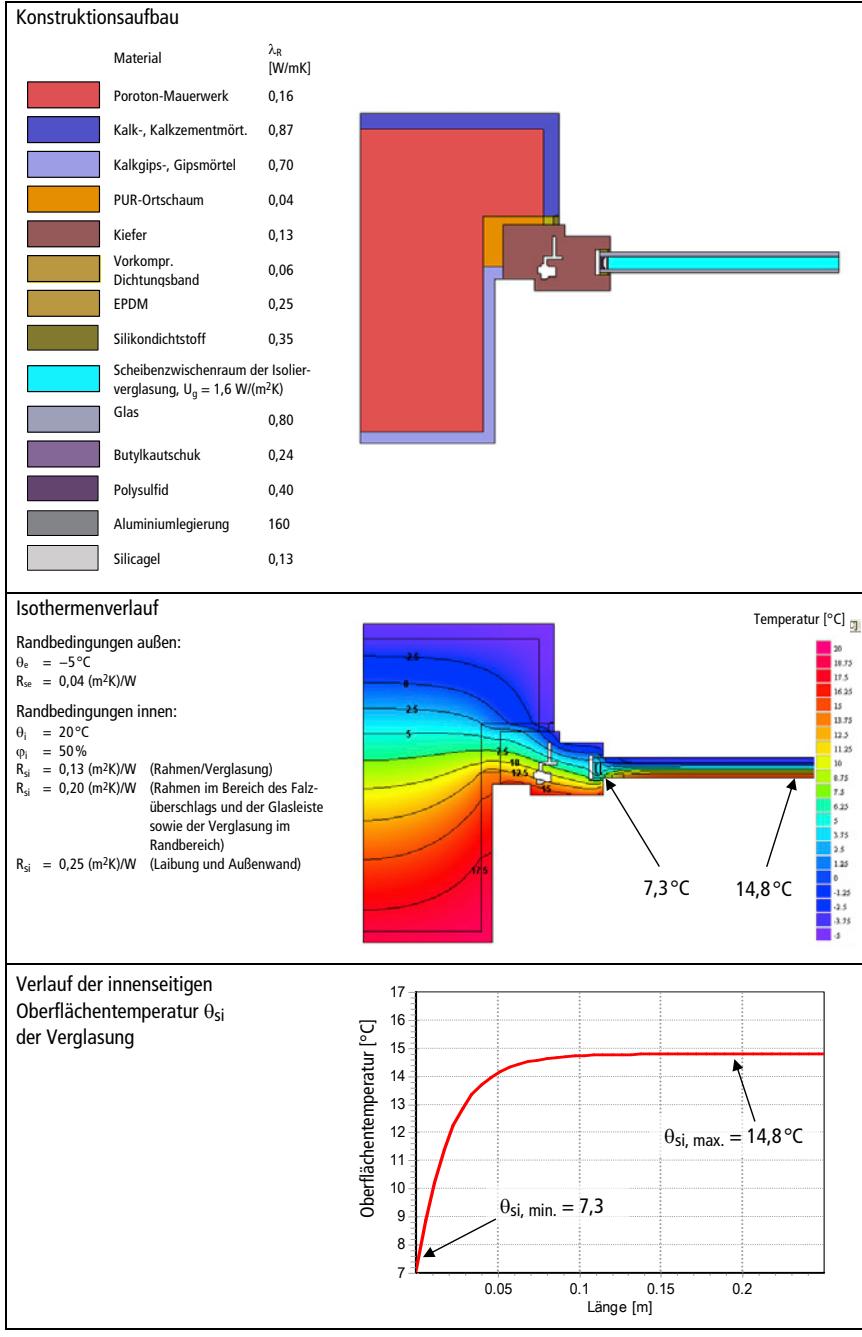


Bild 47 ■ Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperaturen einer Fensterkonstruktion mit Holzrahmen und Isolierverglasung mit konventionellem Randverbund

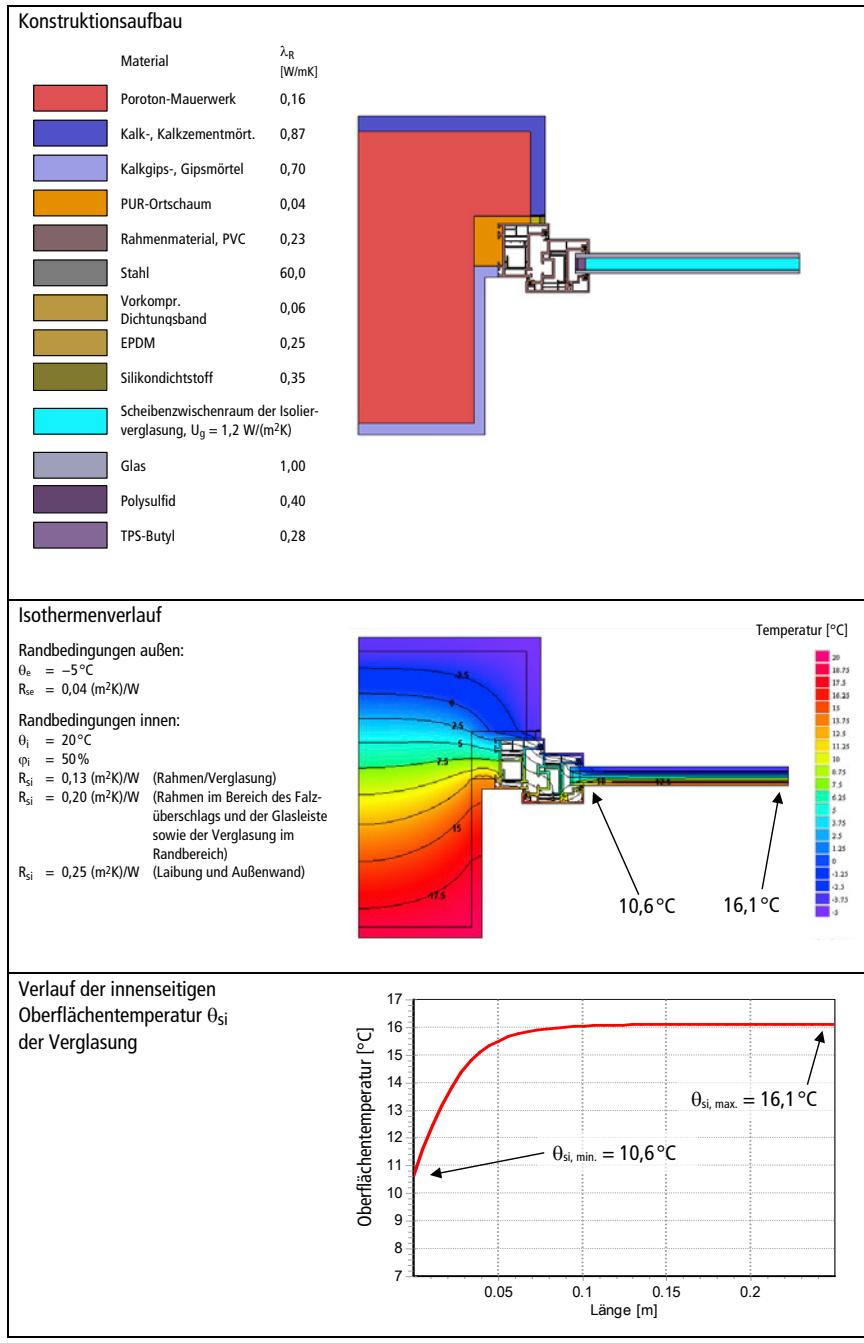


Bild 48 ■ Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperaturen einer Fensterkonstruktion mit Kunststoffrahmen und Isolierverglasung mit thermisch verbessertem Randverbund (hier beispielhaft aus TPS-Butyl)

Die drei Bilder zeigen deutlich die unterschiedlichen Isothermenverläufe der drei Fensterkonstruktionen. Die für die Betrachtung der Indikatorfunktion relevante minimale Oberflächentemperatur der raumseitigen Verglasung liegt bei der Kastenfensterkonstruktion mit Einscheibenverglasungen im ungestörten Bereich der Verglasungsfläche. Sie lässt sich insofern unter Verwendung der beschriebenen Randbedingungen auch eindimensional mit der Gleichung 7) aus DIN 4108-3 ermitteln (Kapitel 6.3.2.5), sofern der Wärmedurchlasswiderstand des Scheibenzwischenraums bekannt ist.

Bei Isolierverglasungen sind hingegen die geringsten Oberflächentemperaturen am Verglasungsrand unmittelbar angrenzend an die Verglasungsabdichtungen zu erwarten. Dies ist zum einen bedingt durch den Umstand, dass insbesondere am unteren horizontalen Verglasungsrand die Glasoberfläche gegenüber dem angrenzenden Rahmen um die Tiefe der Glashalteleiste rückspringt und insofern thermischer Abschirmung unterliegt (Tabelle 6). Zum anderen stellt der konstruktive Verbund der Einzelscheiben untereinander an den Rändern (Scheibenrandverbund) eine Wärmebrücke dar, die insbesondere bei konventionellen Abstandhaltern aus Aluminium oder verzinktem Stahl besonders ausgeprägt ist. Dieser Effekt konnte durch die heute verbreiteten thermisch verbesserten Abstandhalter (Warm Edge) zwar deutlich reduziert, jedoch bei Weitem nicht vollständig ausgeglichen werden, wie die in Bild 48 dargestellte Berechnung zeigt.

Aufgrund der im Vergleich zur Verglasungsfläche von Verbund- oder Kastenfenstern ungleich komplexeren Geometrien und thermischen Vorgänge sind bei Isolierverglasungen brauchbare Ergebnisse folglich ausschließlich mithilfe numerischer Verfahren entsprechend DIN EN ISO 10211 zu erzielen. Auch die Anwendung dieser Verfahren führt jedoch nur dann zu einer verwertbaren Aussage über die minimalen Oberflächentemperaturen bei isolierverglasten Konstruktionen, wenn die Bereiche des Scheibenrandverbundes sowie des Anschlusses Verglasung/Flügelrahmen (Scheibeneinstand) weitgehend realitätsnah generiert werden. In diesem Zusammenhang ist bei Metall-, Kunststoff- oder aus mehreren Materialien zusammengesetzten Rahmen zudem eine detaillierte Kenntnis des jeweiligen Profilaufbaus erforderlich (Bild 48 mit handelsüblichem Kunststofffensterprofil). Aus diesen Ausführungen ist bereits ersichtlich, dass die zur Beurteilung der Indikatorwirkung der Verglasungen erforderlichen Berechnungen bei isolierverglasten Konstruktionen mit einem erheblichen Generierungsaufwand verbunden sein können (Bild 48).

Darüber hinaus ergeben sich jedoch auch bezüglich der Bewertung der errechneten Ergebnisse Vorbehalte gegen die Anwendbarkeit der Indikatorfunktion als Beurteilungskriterium. So ist zum einen aus Bild 47 und Bild 48 ersichtlich, dass der Gradient der Oberflächentemperaturen zwischen dem Anschluss der Scheibenoberfläche an die Glashalteleiste und dem ungestörten Bereich in

der Scheibenmitte auf einer Breite von ca. 5 cm etwa 7 bzw. 5 K beträgt. Das hieraus resultierende Spektrum an Grenzluftfeuchten, das bei einer Raumlufttemperatur von $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ jeweils in diesen Bereichen Tauwasserbildung auslöst, erstreckt sich zwischen 42 und 67 % relativer Raumluftfeuchte.

Hieraus ergibt sich die offensichtliche Schwierigkeit in der Beurteilung, bei welcher erreichten Breite des Tauwasserstreifens auf der Verglasung der aufmerksame Nutzer die Notwendigkeit zur Raumlüftung erkennen muss: sobald sich erste Tropfen oberhalb der unteren Glashalteleiste bilden, was unter Umständen nur schwer erkennbar ist (Bild 49), oder wenn der Tauwasserstreifen z. B. 2 cm breit ist, oder wenn Tauwasserbildung in der Scheibenmitte auftritt?



Bild 49 ■ Tauwasserbildung im Randbereich einer Isolierverglasung

Der Wunsch nach einer guten Erkennbarkeit des Tauwasserniederschlags und damit nach einer möglichst großen beschlagenen Fläche steht überdies im Widerspruch zu energetischen Anforderungen bzw. dem Wunsch nach wärmeschutztechnisch möglichst hochwertigen Verglasungen zur Einsparung von Heizenergie. Hier hat seit der ersten Anwendung der Indikatorfunktion als Beurteilungskriterium für Schimmelschäden eine technische Entwicklung stattgefunden, die die Herstellung von Verglasungen mit immer geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten sowie thermisch verbesserten Abstandhaltern ermöglicht. Diese Entwicklung wiederum hat eine entsprechend geringere Neigung zu Tauwasserausfall zur Folge.

Zudem wird die Indikatorfunktion in den einschlägigen Veröffentlichungen ([Rahn, 1998] und [Rahn, 2002], [Bonk, 2002], [Bonk, 2004]) stets in den Zusammenhang mit der bautechnischen Historie und einer wärmeschutztechnisch ansonsten nicht modernisierten Altbausubstanz gesetzt, in die neue, wärmeschutztechnisch hochwertige Fenster eingebaut wurden. Die Beurteilung des Nutzerverhaltens erfolgt dort dann u. a. auf der Grundlage der Frage:

Wird dem Nutzer eine unzuträglich hohe relative Raumluftfeuchte durch ein Beschlagen der Fensterscheiben rechtzeitig angezeigt, bevor es im Bereich von Wärmebrücken zu Schimmelbildung kommen kann? Dieser Frage liegt die These zugrunde, dass in Übereinstimmung mit heutiger, gut wärmege-dämmerter Bausubstanz auch in älterer Bausubstanz die bauzeitlichen Fenster das wärmeschutztechnisch schwächste Glied in der Gebäudehülle darstellten, die Indikatorfunktion insofern prinzipiell gewährleistet sei und diese bei einer Modernisierung ausschließlich der Fenster verloren gehe. Diese These ist jedoch als fragwürdig einzustufen, wie die nachfolgenden Beispielrechnungen zeigen.

Bild 50 bis Bild 52 zeigen jeweils Gebäudeaußenkanten und die entsprechenden Fensteranschlüsse älterer Bausubstanz – in einem Landarbeiterhaus aus der Mitte des 19. Jahrhunderts mit Einfachfenstern, in einem gründerzeitlichen Mietshaus mit Kastenfenstern und einem typischen Geschosswohnungsbau aus der Zeit um 1960 mit Verbundfenstern. Die Berechnungsbeispiele verdeutlichen, dass bei älterer Bausubstanz mit bauzeitlichen Fenstern die Indikatorfunktion der Verglasungen ausschließlich für den Fall sicher gegeben ist, dass Einfachverglasungen in Einfachfenstern vorhanden sind. Dem Diagramm in Bild 50 ist zu entnehmen, dass deutliche Tauwasserbildung an den Verglasungen bereits bei erheblich geringeren Raumluftfeuchten auftreten kann als Schimmelpilze im Bereich der Gebäudeaußenkante. Für höherwertige Fensterkonstruktionen ist dies aufgrund der verhältnismäßig hohen Oberflächentemperaturen an den raumseitigen Verglasungsoberflächen nicht der Fall (Bild 51 und Bild 52), wobei die Ergebnisse der Berechnungen mit den Praxiserfahrungen der Autoren im Wesentlichen übereinstimmen. Insofern ist je nach regionaler historischer Verbreitung derartiger Fensterkonstruktionen, z. B. Kasten- oder sogenannte Winterfenster ([Graef, 1874], [Stade, 1904], [Reitmayer, 1940], [Gerlach, 1987], [Gieß, 1990], [Schrader, 2001]), davon auszugehen, dass eine Indikatorfunktion in vielen Gegenden Deutschlands auch in der Vergangenheit spätestens bei der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts im städtischen Kontext errichteten Bausubstanz nicht oder zumindest nicht mehr durchgehend gewährleistet war.

Insgesamt ist deshalb die Indikatorfunktion der Fensterverglasungen nur in Regionen, in denen traditionell bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts Einfachfenster verbreitet waren (z. B. viele Gegenden im ländlichen Raum Nord- und Nordwestdeutschlands, [Gerlach, 1987]) bzw. in Einzelfällen als zusätzlicher Hinweis für die Beurteilung von Bedeutung. Eine Eignung als universell anwendbares Bewertungskriterium erscheint auf der Grundlage der vorstehend erläuterten Zusammenhänge dagegen nicht gegeben.

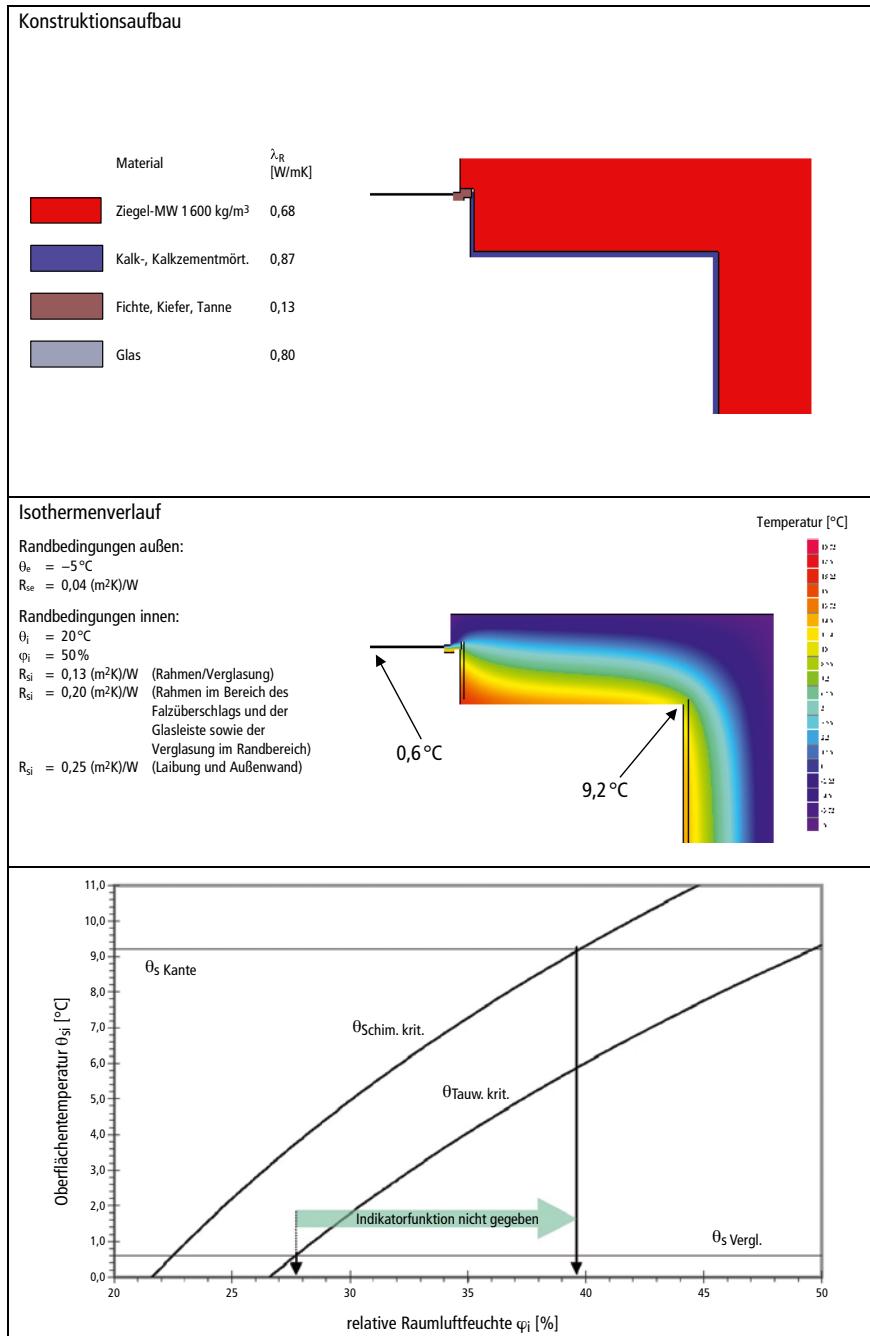
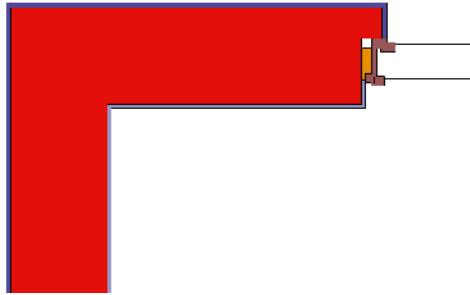


Bild 50 Überprüfung der sogenannten Indikatorfunktion für Bausubstanz aus der Zeit um 1840 mit bauzeitlichen Einfachfenstern

Konstruktionsaufbau

Material	λ_R [W/mK]
Ziegel-MW 1600 kg/m ³	0,68
Kalk-, Kalkzementmört.	0,87
Kalkgips-, Gipsputz	0,70
Fichte, Kiefer, Tanne	0,13
Glas	0,80
Holzwolle	0,15



Isothermenverlauf

Randbedingungen außen:

$$\theta_e = -5^\circ\text{C}$$

$$R_{e\text{e}} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$$

Randbedingungen innen:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = 50\%$$

$$R_{s1} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W} \quad (\text{Rahmen/Verglasung})$$

$$R_{s1} = 0,20 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W} \quad (\text{Rahmen im Bereich des Falzüberschlags und der Glasleiste sowie der Verglasung im Randbereich})$$

$$R_{s1} = 0,25 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W} \quad (\text{Laibung und Außenwand})$$

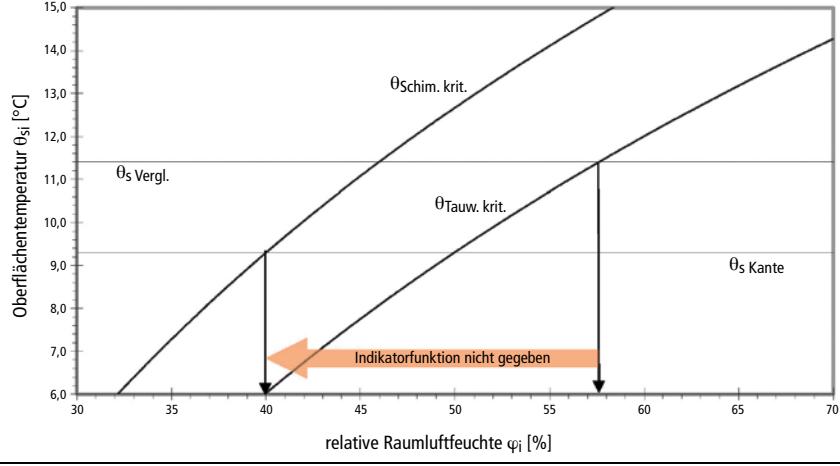
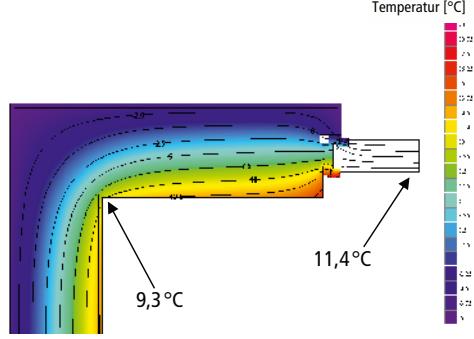


Bild 51 Überprüfung der sogenannten Indikatorfunktion für Bausubstanz aus der Zeit um 1900 mit bauzeitlichen Kastenfenstern

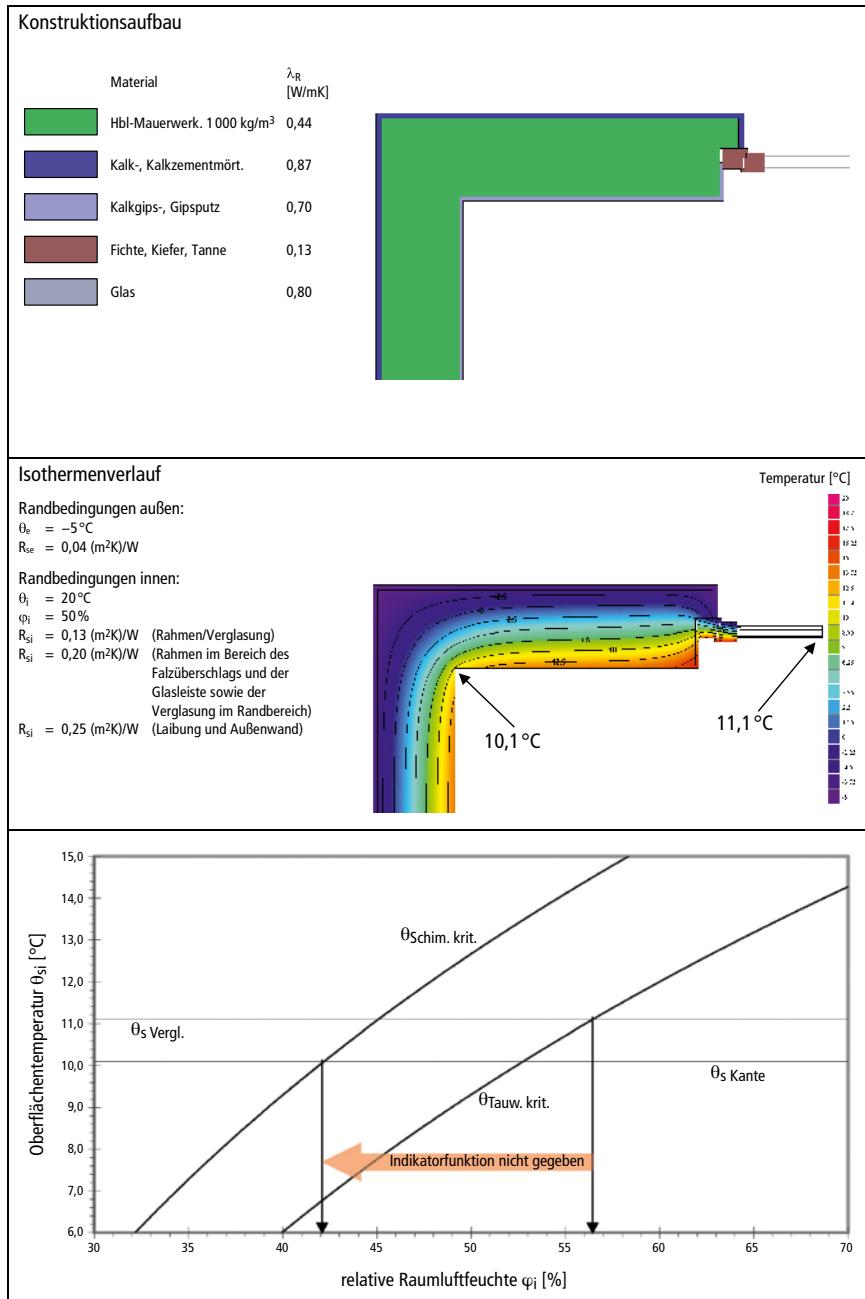


Bild 52 Überprüfung der sogenannten Indikatorfunktion für Bausubstanz aus der Zeit um 1960 mit bauzeitlichen Verbundfenstern

7 Beurteilung von Schimmelbildung im Bereich von erdberührten Bauteilen (Sommerkondensation)

In schwül-warmen Hitzeperioden können im Sommer auch in unseren Breiten gleichzeitig hohe Werte der Außenlufttemperatur und der relativen Luftfeuchte erreicht werden. Tagesmittelwerte um 23 °C mit durchschnittlichen relativen Luftfeuchten um 70 % sind dabei keine Seltenheit. Zeitweise können diese Werte – nicht nur im Zusammenhang mit Gewittern – auch deutlich überschritten werden. Dementsprechend hohe Werte nimmt dann auch die Wasserdampfkonzentration in der Luft an (Tabelle 2). Ein Kubikmeter Luft mit den oben genannten Werten ($\theta = 23^\circ\text{C}$, $\varphi = 70\%$) enthält beispielsweise 14,4 g Wasser.

Gleichzeitig herrschen in Kellerräumen im Normalfall deutlich geringere Lufttemperaturen als in den übrigen Räumen und im Freien, da die Raumluft durch die Außenklimate nicht in dem Maße beeinflusst wird, wie in den oberirdischen Räumen. Ursächlich hierfür ist insbesondere, dass

- eine Erwärmung über Fenster infolge Sonneneinstrahlung in der Regel nur bedingt oder gar nicht erfolgen kann und
- die Kelleraußenwände und die Sohle kühler als die Luft sind, da sie an das deutlich kühlere Erdreich grenzen, wodurch sich die Raumluft zusätzlich abkühlt.

Aber auch mögliche Gegenmaßnahmen werden aus naheliegenden Gründen nicht ergriffen, da beispielsweise

- eine Heizung in den Kellerräumen nicht vorhanden ist oder zumindest im Sommer nicht genutzt wird und
- eine gezielte Erwärmung der Luft im Keller durch Zuführung warmer Luft aus den oberirdischen Räumen oder von Außenluft nicht erfolgt.

Gelangt also wärmere Luft aus angrenzenden Räumen oder von außen in den Keller, kühlt sich diese ab. Dabei erhöht sich ihre relative Luftfeuchte (Kapitel 2.3.1). Wird beispielsweise Luft mit der genannten Temperatur und relativen Luftfeuchte von 23 °C und 70 % in einen Kellerraum eingebracht und kühlt sie sich dort auf 20 °C ab, so steigt ihre relative Luftfeuchte dabei rein rechnerisch auf ungefähr ~83 % an, wie die nachfolgende Beispielrechnung zeigt:

- Wasserdampfkonzentration der eingebrachten Luft bei $\theta = 23^\circ\text{C}$ und $\varphi = 70\%: v = 14,4 \text{ g/m}^3$
- Wasserdampfkonzentration der abgekühlten Luft mit $\theta = 20^\circ\text{C}, \varphi = 100\%: v = 17,3 \text{ g/m}^3$
- Relative Luftfeuchte der abgekühlten Luft:

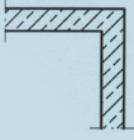
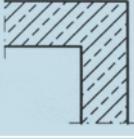
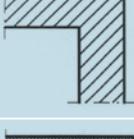
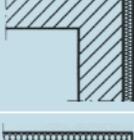
$$\varphi_i = \frac{14,4 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{17,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$\varphi_i = 0,83 (= 83\%)$$

Dementsprechend sind in dem Raum befindliche Gegenstände, die die Raumlufttemperatur angenommen haben und einen geeigneten Nährboden liefern rein rechnerisch schimmelpilzgefährdet, da die oberflächennahe relative Luftfeuchte größer als 80 % ist (Kapitel 2.4). Bei einer weiteren Abkühlung auf knapp 17°C ($16,9^\circ\text{C}$) erreicht die Luft ihre Sättigungsfeuchte, das heißt, an Oberflächen, die diese Temperatur unterschreiten, fällt Tauwasser (Kondensat) aus. Diese offenkundig kritische Situation wird je nach der Art bzw. der Feuchtespeicherkapazität der raumumfassenden Bauteile und der im Raum befindlichen Gegenstände mehr oder weniger stark abgepuffert. Kritische Raumluftklima können daher erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung entstehen, da ein Teil der eingetragenen Feuchte zwischengespeichert werden kann und somit nicht sofort kritische Oberflächenfeuchten auftreten (Kapitel 6.3.4.5). Um zu zeigen, wie problematisch das Einbringen feucht-warmer Luft in Kellerräumen dennoch sein kann, wurden beispielhaft die innenseitigen Oberflächentemperaturen typischer Kelleraußenwandkonstruktionen mit [Blomberg, 2006] ermittelt. Dabei wurden eine Erdreichtemperatur von 10°C und eine Raumlufttemperatur im Keller von 20°C zugrunde gelegt. Der Wärmeübergangswiderstand wurde entsprechend DIN 4108-2:2013-02 zu $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ angenommen. Die ermittelten Temperaturen sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Die Berechnungen zeigen, dass insbesondere Kelleraußenwände aus Stahlbeton ohne Wärmedämmung im Hinblick auf Tauwasser- und Schimmelbildung als außerordentlich kritisch zu bewerten sind. Hier können bei entsprechenden Außenklimaten Schäden nur durch ein gezieltes Nutzerverhalten vermieden werden. Aber auch bei gedämmten Kelleraußenwandkonstruktionen und selbst an den in Kellerräumen befindlichen Gegenständen kann Schimmel- und sogar Tauwasserbildung entstehen, wenn nicht bestimmte Grundregeln bei der Nutzung der Räume beachtet werden.

Tabelle 12 ■ Oberflächentemperaturen an Kelleraußenwänden bei einer Erdreichtemperatur von 10 °C und einer Raumlufttemperatur von 20 °C

Konstruktionsaufbau	U-Wert ¹⁾ [m ² K/W]	innenseitige Oberflächentemperatur θ_{si} [°C] ²⁾	
		in der Fläche	in der Kante
	15 cm Stahlbeton	4,96	12,2 11,5
	30 cm Stahlbeton	3,66	13,6 12,6
	30 cm Stahlbeton 4 cm Wärmedämmung WLG 035	0,71	18,2 17,4
	30 cm Stahlbeton 8 cm Wärmedämmung WLG 035	0,39	19,0 18,4
	30 cm Mauerwerk ($\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$)	0,64	18,5 17,2
	30 cm Mauerwerk ($\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$) 4 cm Wärmedämmung WLG 035	0,37	19,1 18,0
	30 cm Mauerwerk ($\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$) 8 cm Wärmedämmung WLG 035	0,26	19,4 18,5

1) Die U-Werte in dieser Tabelle wurden mit $R_{se} = 0$ und entsprechend DIN EN ISO 6946 mit $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K})/\text{W}$ berechnet.

2) Die Oberflächentemperaturen wurden mit $R_{se} = 0$ und entsprechend DIN 4108-2 mit $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\text{K})/\text{W}$ berechnet.

Als geeignet zur Vermeidung von Schäden sind dabei folgende Maßnahmen zu bewerten:

- Unterbinden bzw. signifikantes Reduzieren des Zutritts von Luft in die Kellerräume an feuchtwarmen Tagen, durch Geschlossenhalten von Fenstern und Türen dieser Räume. Der in den Kellerräumen hygienisch erforderliche Luftwechsel ist bei entsprechend geringer Luftfeuchte der Außenluft vorzunehmen.
- Aufstellen von Luftentfeuchtern zur Reduzierung der Luftfeuchtigkeit.
- Erhöhen der Raumlufttemperatur in den Kellerräumen durch Beheizen der Räume an kritischen Tagen.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die Untersuchungen von Pfrommer, die gezeigt haben, dass auch eine Erwärmung von Kellerräumen durch verstärkte Lüftung gerade während heißer Perioden eine Verringerung der Gefahr von Tauwasserbildung bewirken kann [Pfrommer, 2003]. Entsprechend diesen Untersuchungen ist es sinnvoll, Kellerräume immer dann zu lüften, wenn die Außenlufttemperatur über der Raumlufttemperatur liegt. Im Hinblick darauf, dass in [Pfrommer, 2003] jedoch

- lediglich Simulationsberechnungen in verschiedenen Varianten durchgeführt wurden, ohne diese anhand von Messungen zu validieren,
- dass die Berechnungen für sehr große Räume (Tiefgaragen) durchgeführt wurden und
- dass eine Auswertung lediglich im Hinblick auf das Tauwasserrisiko, nicht aber die Schimmelpilzgefährdung erfolgte,

können diese Empfehlungen nicht ohne Weiteres auf die Keller von Wohngebäuden übertragen werden.

Zu vermeiden sind dementsprechend:

- das Zuführen feuchtwarmer Luft in kühle Kellerräume,
- das Zuführen von Feuchtigkeit in die Kellerräume auf andere Weise, beispielsweise durch das Aufhängen von Wäsche zum Trocknen,
- die zusätzliche Auskühlung der Kellerräume, etwa durch Nachtlüftung.

8 Grundsätzliche Instandsetzungsmöglichkeiten

8.1 Vorbemerkung

Unabhängig von der Frage nach den Ursachen oder dem Verursacher des jeweiligen Schadensbildes stellt sich grundsätzlich immer auch die Frage der Instandsetzung. Hier ist zunächst einmal die Beseitigung des Schadensbildes zu nennen, die in Kapitel 8.2 behandelt wird. Zur Vorbeugung vor erneuten Schäden ist zudem grundsätzlich ein an die baulichen Randbedingungen angepasstes Heiz- und Lüftungsverhalten sowie eine regelmäßige Reinigung wesentlich. Hinweise bezüglich Heizung und Lüftung ergeben sich z. B. aus den Kapiteln 4.8, 6.3.4.4 und 6.4.4.

Darüber hinaus ist insbesondere bei älterer, wärmeschutztechnisch kritischer Bausubstanz sowie bei unzulässigen, vermeidbaren oder unzumutbaren Wärmebrücken zudem oft eine grundlegende, die baulichen Randbedingungen verbessende Instandsetzung erforderlich oder zumindest sinnvoll, um die Schadensrisiken zu senken. Die hierfür infrage kommenden Möglichkeiten werden in Kapitel 8.3 grundsätzlich beschrieben, sind jedoch hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in jedem Einzelfall zu überprüfen und ggf. auf die jeweiligen Erfordernisse anzupassen.

Insbesondere in Bezug auf die Lüftung sind in den vergangenen zehn Jahren vor dem Hintergrund der raumklimatischen Erfordernisse einerseits (Kapitel 6.3.4.3 und 6.3.4.4) sowie der hierzu erfolgten technischen Regelsetzung andererseits in der Wohnungswirtschaft sowie bei Mietern und Eigentümern erhebliche Unsicherheiten und in der Öffentlichkeit kontroverse Diskussionen entstanden. In Kapitel 8.4 wird hierauf in einem separaten Unterkapitel eingegangen.

8.2 Entfernen des Schadensbildes

Grundsätzlich sollen Schimmelpilze in regelmäßig genutzten oder mit solchen in Verbindung stehenden Räumen aufgrund der in Kapitel 2.4 beschriebenen gesundheitlichen Risiken möglichst umgehend und fachgerecht entfernt werden. Wesentliche Hinweise hierzu enthält z. B. der SCHIMMELLEITFADEN des Umweltbundesamtes [UBA, 2017]. Hinsichtlich Dringlichkeit sowie Art und

Umfang der Maßnahmen unterscheidet der SCHIMMELLEITFÄDEN [UBA, 2017] in insgesamt vier Nutzungsklassen von Räumen:

- **Nutzungsklasse I** mit speziellen, sehr hohen Anforderungen aufgrund besonderer Disposition der Nutzer (z.B. Patienten mit Immunsuppression),
- **Nutzungsklasse II** mit normalen Anforderungen, z. B. für Wohn- oder Büroräume, Schulen, Kindertagesstätten etc. einschließlich angegliederte Nebenräume,
- **Nutzungsklasse III** mit reduzierten Anforderungen, z. B. für nicht dauerhaft genutzte Räume, die nicht der Nutzungsklasse II angehören und die keinen direkten Zugang zu solchen Räumen haben,
- **Nutzungsklasse IV** mit deutlich reduzierten Anforderungen, z. B. für dauerhaft luftdicht im Sinne der DIN 4108-7 gegenüber angrenzenden Räumen abgeschlossene, trockene Hohlräume.

Beseitigungsmaßnahmen in der **Nutzungsklasse I** werden in [UBA, 2017] nicht behandelt, da Art und Umfang der Maßnahmen im jeweiligen Einzelfall festgelegt werden müssen. In den **Nutzungsklassen III** und **IV** kann ggf. ganz von Beseitigungsmaßnahmen abgesehen werden, während in der **Nutzungsklasse II** Schimmelbefall stets und möglichst umgehend beseitigt werden sollte. Hier sollte Schimmelbefall auf Einzelflächen von mehr als 0,5 m² grundsätzlich von qualifiziertem Fachpersonal unter Beachtung der einschlägigen Schutzmaßnahmen entfernt werden.

Die Entfernung kleinfächigen, oberflächlichen Befalls kann hingegen auch in Eigenleistung vorgenommen werden, sofern man nicht allergisch auf Schimmelpilzsporen reagiert oder unter Erkrankungen des Immunsystems leidet. In jedem Fall sollte hierbei eine Staubentwicklung und damit eine Verbreitung von Schimmelporen in der Luft möglichst vermieden werden. Darüber hinaus ist entsprechend [UBA, 2017] Folgendes zu beachten:

- Befallene Tapeten sollten befeuchtet, entfernt und anschließend luftdicht verpackt entsorgt werden.
- Oberflächen von Putzen oder Wandanstrichen sollten zunächst unter Verwendung eines Zusatzfilters (sogenannter HEPA-Filter) abgesaugt und anschließend mit einem ethanolhaltigen Reiniger (Anteil Ethanol/Methylalkohol 70 bis 80 %) gereinigt werden. Der Einsatz von Fungiziden ist zumeist nicht erforderlich. Abzuraten ist von einer Behandlung mit Essiglösung, wie sie häufig empfohlen wird, da der pH-Wert der Bauteiloberfläche hiermit in einen für Schimmelpilze günstigen Bereich verschoben wird.
- Glatte Flächen und lediglich oberflächlich befallene Flächen von Möbelstücken können mit Wasser und zugesetztem Haushaltsreiniger abgewaschen werden, wobei das Wischwasser mehrfach ausgetauscht werden sollte.

Bei den Sanierungsarbeiten sind geeignete Schutzmaßnahmen für die Ausführenden vorzusehen. Welche dies im Einzelfall sind, muss vor Beginn der Arbeiten anhand einer Gefährdungsbeurteilung festgelegt werden. Hierfür sind die durchzuführenden Tätigkeiten in Abhängigkeit von der zu erwartenden Exposition und der Dauer der Tätigkeit einer sogenannten Gefährdungsklasse zuzuordnen, nach der sich dann die erforderlichen Schutzmaßnahmen richten.

8.3 Bauliche Verbesserungen

8.3.1 Außendämmung

Das außenseitige Aufbringen nachträglicher Wärmedämmungen, beispielsweise in Form eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS), stellt in dem beschriebenen Spektrum an Instandsetzungs- und Optimierungsmaßnahmen die wirksamste und bauphysikalisch sinnvollste Maßnahme dar. Sie umfasst idealerweise das gesamte Gebäude und trägt auf diese Weise nicht nur zu einer Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten im Bereich von Wärmebrücken bei, sondern – in Verbindung mit einer geeigneten bzw. ebenfalls entsprechend modernisierten Heizungsanlage – zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs respektive zur Energieeinsparung.

In diesem Zusammenhang wird in den vergangenen Jahren jedoch zunehmend Kritik am nachträglichen Einbau außenseitiger Dämmsschichten laut, da

- die in § 9 bzw. in der Anlage 3 zur Energieeinsparverordnung [EnEV, 2013] für den nachträglichen Einbau von außenseitigen Dämmsschichten im Bestand geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten einerseits Dämmsschichtdicken erfordern, die vergleichsweise aufwendige Maßnahmen im Bereich von Fenstern, Gebäudesockeln, Dachkästen etc. zur Folge haben [Galvin, 2014],
- sich andererseits aber auch aus seriösen Untersuchungen belastbare Hinweise darauf ergeben, dass die über die in der [EnEV, 2013] verankerten Nachweisverfahren prognostizierten Energieeinsparungen tatsächlich nur bedingt eintreten und mit zunehmender energetischer Qualität des Gebäudes von anderen Faktoren – insbesondere den sogenannten Prebound- und Rebound-Effekten – überlagert werden [Galvin, 2012], [Hoffmann, 2017], [vom Stein, 2018], [Schröder, 2018] sowie
- insbesondere im Kontext städtischer Bebauung mit entsprechend großen Kubaturen großflächige Wärmedämmverbundsysteme mit Dämmsschichtdicken, wie sie aus den Anforderungen aus der Anlage 3 zur [EnEV, 2013] resultieren, nicht zuletzt auch erhebliche ästhetische bzw. städtebauliche

Auswirkung haben können, wenn diese Aspekte in der Planung nicht in besonderer Weise berücksichtigt werden.

In Bezug auf die Verringerung des Schimmelrisikos im Bereich kritischer Wärmebrücken ist jedoch festzustellen, dass zu einer entsprechenden Anhebung der Oberflächentemperaturen häufig vergleichsweise geringe Dämmstoffdicken ausreichen. In diesem Zusammenhang sind in den vergangenen Jahren bei der Auslegung der Energieeinsparverordnung [EnEV, 2013] durch die Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz eine ganze Reihe von Ausnahmetbeständen geschaffen worden, die in vielen Fällen wärmeschutztechnische Verbesserungen der Gebäudehülle erlauben, ohne insgesamt die Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Anlage 3 zur [EnEV, 2013] einhalten zu müssen. Weiterhin betreffen diese Ausnahmetbestände auch die sogenannte 10 %-Regel, sodass in vielen Fällen auch teilflächige Wärmeschutzmaßnahmen an einzelnen Fassaden möglich sind [FK Bautechnik, 2014], [FK Bautechnik, 2015-1], [FK Bautechnik, 2016]. Insofern besteht auch die Möglichkeit, den Wärmeschutz lediglich im Bereich besonders kritischer Wärmebrücken, wie Traufgesimsen aus Beton oder kritischen Außenwandflächen und -kanten (Bild 53), zu verbessern.



Bild 53 ■ Nachträglich mit einem Wärmedämmverbundsystem versehene Brandwand; die Wärmédämmung ist um die Außenkanten herum auf die Fassaden gezogen.

Ergänzend sei an dieser Stelle erwähnt, dass vor dem Hintergrund einzelner spektakulärer Brandereignisse insbesondere die Verwendung von expandiertem Polystyrol (EPS) in Wärmedämmverbundsystemen in den vergangenen Jahren Gegenstand öffentlicher Diskussionen und teilweise auch unsachlicher medialer Darstellung geworden ist. Hierauf ist von bauaufsichtlicher Seite mit ergänzenden Empfehlungen bzw. Regelungen u. a. zur Vermeidung kritischer Brandlasten unmittelbar angrenzend an entsprechende Fassadenflächen (z. B. hinsichtlich der Aufstellung von Müllcontainern [FK Bautechnik, 2015-2])

sowie zur Verringerung des Risikos von Brandüberschlag (zusätzliche Brandriegel [DIBt, 2015]) reagiert worden.

Bezüglich der nach wie vor an einzelnen Stellen fälschlicherweise behaupteten Unwirksamkeit von Dämmstoffen hinsichtlich der Verringerung des Wärmedurchgangs (Stichwort »Lichtenfelser Experiment« [Meier, 2001]) und nachteiligen Auswirkungen von Dämmstoffen auf den Feuchtegehalt insbesondere von Außenwandkonstruktionen (»atmende Wände«) wird auf die einschlägigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen z.B. [Vogdt, 2000] und [Richter, 2005] verwiesen, in denen diese Behauptungen widerlegt sind.

8.3.2 Innendämmung

Nicht immer ist es mit vertretbarem Aufwand möglich, das gesamte Gebäude nachträglich mit einer Außendämmung zu versehen. Unter ästhetischen oder denkmalpflegerischen Aspekten scheiden oft auch partielle außenseitige Dämmmaßnahmen von vornherein aus. Für derartige Fälle besteht eine Möglichkeit der Verbesserung des Wärmeschutzes darin, ganze Außenwandflächen oder kritische Bereiche innenseitig mit einer Wärmedämmung zu versehen. Hierbei sind jedoch grundlegende bauphysikalische Problemstellungen zu beachten:

- Herkömmliche Innendämmungen benötigen in aller Regel auf der Raumseite eine diffusionshemmende Schicht (sogenannte Dampfbremse), um Tauwasserausfall in der Berührungsfläche von Wärmedämmung und Außenwand zu verhindern. Diese diffusionshemmende Schicht muss nicht nur den diffusionsbedingten Tauwasserschutz sicherstellen, sondern insbesondere auch konvektiven Feuchteintrag in die Konstruktion verhindern. Sie ist insofern luftdicht im Sinne der DIN 4108-7 auszuführen.
- Nicht zuletzt aufgrund der Empfindlichkeit derartiger innengedämmter Konstruktionen gegenüber konvektivem Feuchteintrag haben sich mittlerweile für die Ausbildung von Innendämmungen bei Außenwänden aus Mauerwerk kapillaraktive Dämmsysteme auf der Basis von Calciumsilikat oder anderen mineralischen Baustoffen etabliert, die aufgrund ihrer hohen Kapillaraktivität verhältnismäßig große Tauwassermengen schadenfrei aufnehmen können [Häupl, 1999]. Die Dämmschichten dieser Systeme besitzen zwar eine höhere Wärmeleitfähigkeit als herkömmliche Wärmedämmstoffe, erfordern jedoch keine raumseitige diffusionshemmende Schicht (Dampfbremse). Die Funktionsweise dieser Systeme beruht auf der Schaffung eines durchgehenden kapillaren Gefüges in der zu erwartenden Tauwasserebene, das während des Winters anfallendes Tauwasser schadenfrei aufnehmen und während des Sommers über Umkehrdiffusion zur Raumseite transportieren kann und auf diese Weise ein Abtrocknen

ermöglicht. Insofern ist die wesentliche Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit einer kapillaraktiven Innendämmung eine vollflächige Verklebung mit dem Mauerwerk über einen geeigneten systemzugehörigen mineralischen Mörtel [Häupl, 2010], [Plagge, 2012].

- Vollflächige Innendämmungen erzeugen in Bereichen, in denen sie z. B. von Innenwänden durchstoßen werden, Wärmebrücken, die unter Umständen zu wiederum kritischen Oberflächentemperaturen führen können. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass verhältnismäßig gut wärmeleitende Bauteile, die eine Innendämmung durchdringen, hinsichtlich der auftretenden innenseitigen Oberflächentemperaturen wesentlich kritischer zu bewerten sind als gut wärmeleitende Bauteile, die eine Außendämmung durchdringen (z.B. Balkonbodenplatten). Diese Bereiche bedürfen insofern einer gesonderten Betrachtung.
- Besonderes Augenmerk im Rahmen der Planung erfordern im Hinblick auf die Vermeidung von Fäulniserscheinungen auch Durchdringungen der Dämmsschichten durch die Balkenköpfe von Holzbalkendecken [Stopp, 2009].
- Abschnittsweise Innendämmungen finden Anwendung beispielsweise im Bereich von Außenkanten, Deckenixeln, Laibungen o. Ä. Zu beachten ist hierbei, dass die Oberflächentemperaturen dort, wo die Innendämmungen enden, wenn auch nur auf geringer Breite, deutlich absinken (sogenannter Kanteneffekt) und ggf. dort auch zu kritischen Oberflächenverhältnissen führen können (Bild 54). Analog zu flächigen Innendämmungen mit einbindenden Innenwänden sollten auch die Kanteneffekte im Vorfeld näher betrachtet werden.
- Durch die innen liegende Wärmedämmung wird der gedämmte Wandquerschnitt vom Innenraumklima abgekoppelt, mit der Folge, dass er einer wesentlich größeren Temperaturschwankung im Jahresgang ausgesetzt wird. Hierdurch kann es gegenüber dem Ursprungszustand zu erheblich verstärkten thermisch und hygrisch bedingten Verformungen und entsprechenden Schadensbildern kommen (z. B. Rissbildung im Bereich von Bau teilanschlüssen). Auch diese möglichen Folgen einer Innendämmung sind im Vorfeld der Dämmmaßnahme zu untersuchen.
- Insbesondere im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz ist die nach dem Einbau einer Innendämmung geringere speicherfähige Masse der raumumschließenden Bauteile von Bedeutung.

Innenseitige Wärmedämmungen erfordern vor dem Hintergrund der vorstehenden Ausführungen in jedem Fall eine detaillierte, auf die spezifischen Randbedingungen des Objektes abgestimmte Planung. Einschlägige Planungsregeln finden sich in DIN 4108-3 sowie ergänzend in [WTA, 2014] und [WTA, 2016].



Bild 54 ■ Bis auf etwa halbe Höhe einer Außenwandkante geführte Innendämmung aus keilförmigen Calciumsilikatplatten mit oberhalb angrenzender Schimmelbildung

8.3.3 Vermeidung thermischer Abschirmung von kritischen Außenwandflächen

Die physikalischen Auswirkungen thermischer Abschirmung von Außenwandflächen wurden in Kapitel 6.3.2.5 ausführlich dargestellt. Im Bereich wärmeschutztechnisch kritischer Außenbauteile oder Außenwandbereiche sollte eine derartige Abschirmung prinzipiell vermieden werden.

Dies kann sichergestellt werden, indem Möbel in einem seitlichen Abstand von mindestens etwa einem halben Meter von Außenkanten aufgestellt und zudem – je nach Größe des Möbelstücks – mindestens 10 cm von der Außenwand abgerückt werden. Zudem sollten die an kritischen Außenwänden platzierten Möbelstücke keine geschlossenen Sockel aufweisen. Auch schwere Vorhänge und Jalousien sollten kritische Laibungs- oder Sturzbereiche von Fenstern nicht dauerhaft abschirmen, sondern insbesondere tagsüber so weit zurückgezogen werden, dass die warme Raumluft an den kritischen Laibungsbereichen entlangströmen kann.

Problematisch kann die Forderung nach der Einhaltung dieser Empfehlungen allerdings aus rechtlicher Sicht insbesondere bei Mietwohnungen werden, denn in diesem Zusammenhang wird immer auch nach der Zumutbarkeit solcher Maßnahmen zu fragen sein (Kapitel 9.3.1.5).

8.3.4 Verbesserung der Sorptionsfähigkeit der raumumschließenden Wandoberflächen

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 6.3.4.5 zur Feuchtespeicherung der raumumschließenden Flächen und deren Pufferwirkung auf Feuchtespitzen kann es für eine Instandsetzung bzw. zur Vorbeugung von Schäden auch hilfreich sein, die Wandoberflächen kritischer Räume mit Bekleidungen zu versehen, die ein hohes Sorptionsvermögen aufweisen.

Bewährt haben sich hier insbesondere im Bereich der Denkmalpflege, aber auch im Wohnungsbau Lehmwerkstoffe. Hier steht seit einigen Jahren eine breite Palette von Produkten zur Verfügung, die konventionelle Baustoffe ersetzen können. Trockenbauarbeiten können z.B. mit sogenannten Lehm-bauplatten ausgeführt und Wandoberflächen mit werkmäßig hergestellten, farblich eingestellten Lehmputzen ausgeführt werden. Aber auch ein Kalk-Zement-Putz kann unter Umständen bereits eine diesbezügliche Verbesserung der Situation herbeiführen (Tabelle 9). Wichtigste Voraussetzung für eine entsprechende Wirksamkeit einer Wandbekleidung ist jedoch, dass eine ggf. aufzubringende Beschichtung in hohem Maße diffusionsoffen ist (z.B. Anstriche auf Silikatbasis).

8.3.5 Wärmebrückenbeheizung

In besonderen Fällen kann eine Instandsetzung auch dadurch erfolgen, dass in den Schadensbereichen gezielt die Oberflächentemperatur auf ein unkritisches Maß angehoben wird. Dies kann durch Wärmebrückenbeheizungen erfolgen. Man unterscheidet zwischen passiven Beheizungen, bei denen z.B. über oberflächennah eingebundene dünne, gut wärmeleitende Bleche eine erhöhte Wärmequerleitung in den kritischen Bereich erfolgt, und aktiven Beheizungen, die über elektrische Heizdrähte oder -gewebe wirken [Rahn, 1998], [Cziesielski, undatiert]. Während mit passiven Wärmebrückenbeheizungen erfahrungsgemäß die Oberflächentemperaturen in kritischen Bereichen um 1 bis 2 K angehoben werden können, kann mit einer aktiven Wärmebrückenbeheizung nahezu jede gewünschte Oberflächentemperatur erzielt werden. Hierfür ist jedoch mit zusätzlichen Kosten für eine Strommenge von ca. 10 kWh pro Jahr und laufendem Meter Wärmebrückenbeheizung zu rechnen [Cziesielski, undatiert].

8.4 Raumklimatisch wirksame Maßnahmen

8.4.1 Erhöhung des Luftwechsels durch angepasste Initiativlüftung

Die in Räumen durch nutzerseitige Feuchteinträge produzierte Feuchte muss durch Strömungsvorgänge über planmäßige Öffnungen in der Gebäudehülle nach außen abgeführt werden. Dies kann über Stoßlüftung in regelmäßigen Intervallen erfolgen (etwa zwei- bis dreimal täglich; Kapitel 6.3.4.4 und 6.4.4). Stoßlüftung ist insbesondere bei in Wohnungen typischen, punktuell hohen Feuchteinträgen, z. B. im Zusammenhang mit Duschen oder Kochen, besonders wirksam. Für die Durchführung wirksamer Stoßlüftungen ist es notwendig, vorhandene Fensterflügel vollständig und möglichst in einem Öffnungswinkel von mindestens 90° in Drehstellung zu öffnen. Lüftung lediglich mit gekippten Fensterflügeln ist im Hinblick auf die Feuchteabfuhr weitaus weniger wirksam. Folglich erfordert Kipplüftung entsprechend längere Zeiträume, über die gekippte Fensterflügel geöffnet gehalten werden müssen. Derartige »Dauerlüftung« kann aber wiederum zu einem Auskühlen der Sturzbereiche oberhalb der Fensteröffnungen führen und hier – insbesondere bei eher ungünstigen wärmeschutztechnischen Bedingungen – schimmelkritische Oberflächenverhältnisse sogar begünstigen (Bild 55).

Auch wenn die in Kapitel 6.3.4.4 erläuterten Untersuchungen [Richter, 2003] ergeben haben, dass eine Querlüftung über gegenüberliegende Räume und deren Fenster im Hinblick auf den erzielbaren Luftwechsel bei Stoßlüftung nicht erforderlich sind, sollten regelmäßige Stoßlüftungen – soweit sie nicht das Ablüften hoher Feuchteinträge aus Kochen und Duschen betreffen – gleichzeitig in sämtlichen Räumen einer Nutzungseinheit durchgeführt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die angestrebte Entfeuchtung der Raumluft über Durchmischung mit feuchteangereicherter Raumluft aus anderen, nicht gelüfteten Räumen erheblich gemindert wird.



Bild 55 ■ Schimmelbildung im Sturz oberhalb eines regelmäßig über längere Zeit in Kippstellung geöffneten Badfensters

In diesem Zusammenhang sollten aus technischer Sicht die zur Stoßlüftung herangezogenen Fenster auch von Einrichtungsgegenständen, z. B. auch Dekoration auf Fensterbänken etc., freigehalten werden, um das erforderliche weite Öffnen nicht zu behindern oder zu erschweren. So zeigt die Erfahrung der Autoren, dass zugestellte und zugehängte Fenster (Bild 56) zur Lüftung nicht genutzt werden und Räume mit so dekorierten Fenstern auch dementsprechend selten gelüftet werden.

Um den nutzerseitige Obliegenheiten zu erforderlichen Lüftung von Räumen (siehe Kapitel 9.3.1.5), insbesondere in Mietwohnungen, nachkommen zu können, müssen dem Nutzer umgekehrt jedoch auch Fenster zur Verfügung stehen, die eine ordnungsgemäße Lüftung als Stoßlüftung in der oben beschriebenen Weise gestatten. Hierzu gehört, dass die Fenster gang- und schließbar, auf zumutbarer Weise zugänglich und bedienbar sind sowie die Nutzung des Raums durch die Fensteröffnung nicht beeinträchtigt wird. Im Rahmen von Instandsetzungs- oder weitergehenden baulichen Verbesserungsmaßnahmen sollten insofern

- Fenster, die lediglich über einen Kippflügel verfügen, gegen solche ersetzt werden, die eine Stoßlüftung ermöglichen,
- Fenster an schwer zugänglichen Stellen, wie oberhalb von Badewannen, nach Möglichkeit vermieden werden (Bild 57),
- bei breiten, liegenden Fensterformaten – im Hinblick sowohl auf zu erwartende Einschränkungen in der Gang- und Schließbarkeit als auch auf mögliche Beeinträchtigungen der Raumnutzung (Bild 58) – einflügelige gegen mehrflügelige Konstruktionen ausgetauscht werden sowie
- darüber hinaus bei großen Fensterformaten festverglaste Felder oberhalb der Brüstung angeordnet werden, um z. B. Dekorationsgegenstände auf der Fensterbank platzieren zu können, ohne die Lüftung zu behindern (Bild 59).



Bild 56 ■ Zur Durchführung regelmäßiger Stoßlüftungen ungeeignete Möblierung und Raumausstattung im unmittelbaren Fensterbereich



Bild 57 ■ Ungünstige Bedingungen für die Lüftung: einflügeliges Klappfenster oberhalb einer Badewanne



Bild 58 ■ Ungünstige Bedingungen für Lüftung: liegendes Format eines Fensterflügels, der bei Stoßlüftung die Nutzung der Küche erschwert



Bild 59 ■ Günstige Bedingungen für die Lüftung: fest verglaste Brüstungsfelder unterhalb von Öffnungsflügeln, die eine Nutzung der Innenfensterbank auch bei Stoßlüftung ermöglichen

Unabhängig hiervon erfordern Fenster als technisch komplexe Bauteile mit einer Vielzahl von zu erfüllenden Anforderungen (Lüftung, Belichtung, Sichtverbindung Witterungs-, Wärme- und Schallschutz) zwingend eine kontinuierliche Instandhaltung. Dies betrifft zum einen die Sicherstellung der Gang- und Schließbarkeit über die Wartung der Beschläge. Hier empfehlen die Fenster- und Beschlaghersteller Inspektionsintervalle zwischen halbjährlich und zweijährlich für Schul-, Hotel-, Büro oder öffentliche Gebäude [VFF, 2016]. Für den Wohnungsbau werden entsprechende Intervalle hier jedoch nur für sicherheitsrelevante Fenster und Türen empfohlen (ein- bis zweijährlich).

Zum anderen erfordern Holzfenster eine ebenso kontinuierliche Instandhaltung der Beschichtungen insbesondere an der Außenseite, um neben der Vermeidung substanzialer Schäden auch die Gang- und Schließbarkeit langfristig sicherzustellen. Je nach Lage und Exposition, Zustand der Rahmenhölzer sowie Art und Tönung des Beschichtungssystems (z. B. dunkel getönte Lasur oder hell getönte deckende Beschichtung) können Überholungsbeschichtungen hier in Abständen zwischen zwei und zehn Jahren erforderlich werden [BFS, 2006]. Spätestens im Rahmen derartiger Maßnahmen sollten dann auch die Beschläge von nicht sicherheitsrelevanten Fenstern im Wohnungsbau einer Inspektion im oben genannten Sinne unterzogen werden.

8.4.2 Erhöhung des Luftwechsels durch nutzerunabhängige Maßnahmen

8.4.2.1 Vorbemerkung

Alternativ oder in Ergänzung zur oben dargestellten manuellen Fensterlüftung können auch nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen zur Anwendung kommen. Eine über die nachfolgenden allgemeinen Hinweise hinausgehende, ausführliche Darstellung der vielfältigen, hierfür etablierten Systeme mit ihren Vor- und Nachteilen, Auslegungsmöglichkeiten und Kombinationen würde den Rahmen des vorliegenden Buches allerdings sprengen. Wesentlich erschien dagegen eine Zusammenfassung der in der Fachöffentlichkeit bisweilen sehr kontrovers geführten Diskussion um das generelle Erfordernis nutzerunabhängiger lüftungstechnischer Maßnahmen.

8.4.2.2 Nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen

Die Bandbreite der marktgängigen Systeme reicht von Fensterfalzlüftern, die planmäßig bis zu einem bestimmten Grad die Durchlässigkeit der Fensterfugen erhöhen, über dezentrale Lüftungsgeräte bis hin zu zentralen, ventilatorgestützten Lüftungsanlagen. Dem entsprechend breit ist auch das Leistungs-

spektrum nutzerunabhängiger Lüftungssysteme. Während ventilatorgestützte Systeme je nach Bauart und Auslegung in der Lage sind, den erforderlichen Luftwechsel unter Umständen ohne die Mitwirkung der Nutzer vollständig sicherzustellen, erhöhen Fensterfalzlüfter den Infiltrationsluftwechsel und unterstützen damit die nutzerinitiierte Fensterlüftung. Vor dem Hintergrund der Ausführungen in Kapitel 6.3.4.3 können Maßnahmen zur Anhebung des Grundluftwechsels zwar nutzerinitiierte Fensterlüftung insbesondere bei hohen Feuchteinträgen im Zusammenhang mit der Nutzung von Bädern und Küchen in Wohnungen keinesfalls ersetzen, führen nach Erfahrung der Autoren jedoch insbesondere bei kritischen baulichen Randbedingungen zu einer deutlichen Entspannung der raumklimatischen Situation und einer entsprechenden Verringerung des Schimmelrisikos.

In fensterlosen, innen liegenden Bädern, Toilettenräumen und Küchen sind ventilatorgestützte Abluftanlagen obligatorisch und bauordnungsrechtlich gefordert [FK Bau, 2010]. In Anbetracht der hohen Feuchteinträge insbesondere in innen liegenden Bädern im Wohnungsbau bietet es sich an, diese Abluftanlagen in ein lüftungstechnisches Gesamtkonzept für die jeweilige Nutzungseinheit einzubinden und hierüber die nutzerinitiierte Lüftung in den übrigen Räumen zumindest zu unterstützen.

Außerhalb des Wohnungsbaus, insbesondere in Schulbauten, Versammlungsstätten o. Ä. sind anlagentechnische Lösungen zur Lüftung weniger im Hinblick auf feuchteschutztechnische Aspekte, als vielmehr zur Abführung von Schadstoffen und zur Begrenzung des CO₂-Gehaltes in der Raumluft erforderlich.

Zumindest für alle ventilatorgestützten Lüftungssysteme gilt, dass sie zum einen mit Betriebskosten verbunden sind und zum anderen eine regelmäßige Inspektion und Wartung erfordern. So müssen die von Luft durchströmten Teile in regelmäßigen Abständen gereinigt und Filter ausgetauscht werden, um die Funktionssicherheit hinsichtlich der geförderten Luftpunktmengen zu erhalten und hygienischen Anforderungen gerecht zu werden.

Über diese konventionellen Lüftungssysteme hinaus existieren am Markt mittlerweile auch Lüftungslösungen, die auf einer automatisierten Fensteröffnung beruhen, jedoch bislang nur bei Dachflächenfenstern eine gewisse Verbreitung gefunden haben. Im Zusammenhang mit der Kritik an der DIN 1946-6:2009 LÜFTUNG VON WOHNUNGEN (siehe Kapitel 8.4.2.3) sind hierfür auch Ansätze zur Bemessung der ausgetauschten Luftvolumenströmen formuliert worden [Schulze, 2013].

8.4.2.3 Diskussion um das generelle Erfordernis nutzerunabhängiger lüftungstechnischer Maßnahmen in Geschosswohnungen nach DIN 1946-6

Die Planung, Bemessung und Auslegung von Raumlufttechnik zur Lüftung von Wohnungen erfolgt seit vielen Jahren nach DIN 1946-6. Im Spannungsfeld zwischen der notwendigen Abfuhr insbesondere nutzungsbedingter Feuchte einerseits und zunehmend luftdichter Gebäudehüllen andererseits wurde die DIN 1946-6 mit der Normausgabe vom Mai 2009 über den Anwendungsbereich der Gebäudetechnik hinaus erweitert. Sie fordert für den Neubau wie auch für relevante Modernisierungen von Bestandsgebäuden ein Lüftungskonzept. In diesem Zusammenhang wurde zum einen eine neue Lüftungsstufe, die »Lüftung zum Feuchteschutz« als geringste Lüftungsstufe eingeführt. In den Abschnitten 4.2.1 f. der Norm wird darüber hinaus ein »Eingangskriterium« dafür formuliert, ob diese Lüftungsstufe alleine über Infiltration sichergestellt wird und insofern überhaupt ohne nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen im Sinne dieser Norm geplant werden darf. Damit greifen die Festlegungen der Norm weit über den ursprünglichen gebäudetechnischen Bereich hinaus.

Dies ist insbesondere insoweit von Tragweite, als die Anwendung der in den genannten Abschnitten formulierten Gleichungen de facto stets zu folgendem Ergebnis führt: Bei für den Geschosswohnungsbau typischen eingeschossigen Nutzungseinheiten sind stets nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich, wenn Fenster über umlaufende Dichtungen verfügen und insofern von einer entsprechend geringen Infiltration auszugehen ist⁹. Der Ansatz der DIN 1946-6 geht insofern davon aus, dass sich kritische raumklimatische Verhältnisse in üblichen Geschosswohnungen ausschließlich durch nutzerunabhängige lüftungstechnische Maßnahmen verhindern lassen. Im Umkehrschluss hieße das: In Wohnungen mit Fenstern, die entsprechend den energiesparrechtlichen Grundsätzen seit der Wärmeschutzverordnung von 1977 [WschVO, 1977] mit umlaufenden Dichtungen ausgestattet sind, wären im Bereich von Wärmebrücken schimmelkritische Oberflächenverhältnisse in der Regel nicht vermeidbar, wenn Maßnahmen im Sinne der DIN 1946-6 unterblieben.

Nach Auffassung der Autoren geht ein derartiger Ansatz weit über die tatsächlichen Erfordernisse hinaus, vernachlässigt wesentliche Aspekte und ist insofern in mehrreli Hinsicht nicht haltbar:

⁹ Für die Berechnung des Infiltrationsluftwechsels im Rahmen des »Eingangskriteriums« ist nach den Vorgaben aus Tabelle 9 der Norm ein $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ anzusetzen (Kapitel 4.7)

1. Ein generelles Erfordernis nutzerunabhängiger lüftungstechnischer Maßnahmen ist empirisch nicht nachweisbar. Vielmehr ergibt sich selbst für hochwärmegedämmte Wohngebäude mit dementsprechend luftdicht ausgeführter Gebäudehülle nicht nur ein erhöhtes Schadensrisiko, sondern mit einer Schadensquote von lediglich ca. 10 % gegenüber dem übrigen Bestand sogar eine eher geringere Schadensneigung [Oswald, 2008].
2. Dass zur Vermeidung raumklimatisch bedingter Schimmelbildung ein für den Feuchteschutz ausreichender nutzerunabhängiger Luftwechsel ohne Berücksichtigung nutzerinitierter Fensterlüftung allein über Infiltration erforderlich sei, widerspricht jeder Erfahrung.
3. Gerade die hohen Feuchteinträge in Küchen und Bädern, die nach [Heinz, 2004] mehr als die Hälfte der schadensbetroffenen Räume in Wohnungen ausmachen, lassen sich über Stoßlüftung besonders effektiv und kurzfristig abführen, sofern es sich nicht um innen liegende, fensterlose Räume handelt.
4. Die sachverständige Begutachtung von Schadensbildern in mehreren Hundert Wohnungen unterschiedlichster Baualtersklassen unter Anwendung der in den Kapiteln 6.3 und 6.4 dargestellten Verfahren ergab, dass sich hier – abgesehen von Ausnahmen im einstelligen Prozentbereich – alleine durch unmittelbares Ablüften hoher Feuchteinträge und ansonsten regelmäßige Stoßlüftung in längeren Intervallen übliche raumklimatische Verhältnisse herstellen und dementsprechend Schimmelbildungen im Bereich von Wärmebrücken vermeiden lassen.
5. Eine wesentliche Voraussetzung für diese Vermeidung von Schadensbildern ist eine Beheizung der Räume durch einen im Wesentlichen kontinuierlichen Betrieb der vorgesehenen Heizflächen auf eine angemessene Raumlufttemperatur; dieses Erfordernis findet in DIN 1946-6 keinerlei Erwähnung, ist jedoch eine elementare Grundlage für den Nachweis des bauaufsichtlich geforderten Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2, der auf einer Raumlufttemperatur von 20 °C beruht (Kapitel 4.8 und 6.3.2).
6. Die sich für den Geschosswohnungsbau aus DIN 1946-6, Abschnitt 4 ergebenden weitreichenden Maßnahmen sind in Anbetracht der hieraus resultierenden Lüftungswärmeverluste aus energetischer Sicht kontraproduktiv, sofern nicht eine ausreichend wirksame Wärmerückgewinnung sichergestellt wird.

Vor diesem Hintergrund ist das sich aus der Anwendung der DIN 1946-6, Abschnitt 4 de facto ergebende grundsätzliche Erfordernis nutzerunabhängiger Lüftungsmaßnahmen in eingeschossigen Wohnungen nach Auffassung der Autoren weder empirisch belegt noch wissenschaftlich nachgewiesen. Damit entspricht die Anwendung der Regelungen im Abschnitt 4 der DIN 1946-6 nicht dem Stand der Technik, geschweige denn den allgemein anerkannten

Regeln der Technik [Oster, 2010] und [Oster, 2011]. Regelungen, die weder den Stand der Technik noch die allgemein anerkannten Regeln der Technik wiedergeben bzw. dem jeweils sogar entgegenstehen, dürften jedoch eigentlich weder verpflichtender Anwendung noch überhaupt einer Normung zugänglich sein [DIN, 2013]. Folgerichtig sind die Regelungen zum Lüftungskonzept aus DIN 1946-6, Abschnitt 4 seit vielen Jahren Gegenstand kontroverser Diskussionen in der Fachöffentlichkeit (z. B. [Gottschalk, 2010], [Oster, 2010] und [Oster, 2011], [Jung, 2012], [Swensson, 2013]).

9 Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Bewertung von Schimmelschäden an Wänden und Decken

9.1 Übersicht zu den Inhalten

Sachverständigen und Juristen begegnet die Frage nach konstruktiven Ursachen und Nutzereinflüssen auf Schimmelschäden an Wänden und Decken im Rahmen zivilrechtlicher Auseinandersetzungen, wenn

- zwischen Gebäudeeigentümer und nutzungsberechtigtem Dritten,
- zwischen (ggf. werdendem) Gebäudeeigentümer bzw. Grundstückskäufer und Grundstücksverkäufer oder Bauträger, bauausführendem Unternehmen und Planern
- zwischen Gebäudeeigentümer und Versicherung

Streit über die Schadensursache bzw. die Verantwortung für den Schaden besteht. Die Rechtsbeziehungen dieser Beteiligten werden durch die gesetzlichen und vertraglichen Regelungen des materiellen Zivilrechts bestimmt. Diese Regelungen sollen daher in Kapitel 9.3 näher betrachtet werden.

Streitigkeiten zwischen diesen Beteiligten werden oft genug auch gerichtlich ausgetragen. Gerichtliche Auseinandersetzungen, in deren Verlauf ein oder mehrere Sachverständige zur Klärung technischer Fragen hinzugezogen werden müssen, tragen zumeist hohe Prozesskostenrisiken in sich. Schon wegen dieser Prozesskostenrisiken, aber natürlich auch, weil Parteien jahrelange Rechtsstreitigkeiten vermeiden wollen oder angesichts dauerhafter Geschäftsbeziehungen eine einvernehmliche Lösung vorziehen, lohnt es sich, die Möglichkeit einer außergerichtlichen Streitbeilegung ins Auge zu fassen. Insbesondere bei einem Streit über die Verursachung von Gebäudeschäden empfiehlt sich hierzu die Einschaltung eines Sachverständigen, z.B. als Schiedsgutachter oder Schlichter. In Kapitel 9.4 werden daher die rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Streitbeilegung unter Beteiligung eines Sachverständigen dargestellt.

Gelingt eine außergerichtliche Streitbeilegung nicht oder ist sie nicht gewünscht, müssen die Gerichte die im Raum stehenden rechtlichen und tatsächlichen Fragen klären. Neben dem materiellen Zivilrecht, das die rechtliche Verantwortung für den eingetretenen Gebäudeschaden klärt, kommt daher dem Zivilprozessrecht erhebliche Bedeutung zu. Das Prozessrecht regelt

neben dem formalen Ablauf eines gerichtlichen Verfahrens auch die Darlegungs- und Beweislast für die in Erscheinung getretenen Schäden und deren Ursachen. Es enthält zudem die wesentlichen Regelungen für die Hinzuziehung von gerichtlich bestellten Sachverständigen und deren Verhältnis zu den Prozessparteien und dem Gericht. Einem kurzen Blick auf die wichtigsten Aspekte des Zivilprozessrechtes ist Kapitel 9.5 gewidmet.

9.2 Allgemeine Überlegungen

In der überwiegenden Zahl der Fälle, in denen Streit über die Verantwortung für einen Schimmelschaden besteht, werden die Beteiligten zunächst zu klären haben, ob der Schaden kausal auf einem Einfluss des Gebäudenutzers (selbst nutzender Eigentümer, Mieter, Pächter usw.) beruht oder auf anderen Ursachen wie in erster Linie konstruktiven Mängeln oder seltener zufälligen und unbeeinflussbaren Umweltereignissen, Unfällen oder Vandalismus.

Ist ein – wie auch immer gearteter – Nutzereinfluss als (Mit-)Ursache des Schimmelschadens einmal ausgemacht, wird man sich weiter fragen müssen, ob ein Verschulden des Nutzers gegeben ist oder ob der Nutzer sich trotz der Ursächlichkeit seines Einflusses gesetzes- oder vertragskonform verhalten hat.

Nach der gesetzlichen Konzeption haftet für einen Schaden am Gebäude grundsätzlich derjenige, der den Schaden schuldhaft, also fahrlässig oder vorsätzlich, verursacht hat (§ 276 BGB). Aber dieser Grundsatz kennt viele Ausnahmen: So haften z. B. Vermieter, Verkäufer oder Bauunternehmer verschuldensunabhängig für Mängel des Gebäudes und bis zum sogenannten Gefahrenübergang sogar auch für Gebäudeschäden, die durch Umwelteinflüsse entstehen.

Zudem lässt sich die Verantwortung aufgrund der Wirkung gesetzlicher oder vertraglicher Haupt- und Nebenpflichten nicht immer auf den ersten Blick zuweisen: So produziert beispielsweise der Nutzer einer Wohnung durch natürliche Feuchteabgabe des menschlichen Körpers, also unwillkürlich, eine erhebliche Menge an Luftfeuchtigkeit, die neben anderen Feuchtigkeitsquellen die Gebäudeteile beansprucht (vgl. Kapitel 6.3.4.2). Dies ist dem Nutzer ebenso wenig vorwerfbar wie der unvermeidbare Feuchtigkeitseintrag durch Duschen, Wäschewaschen, Kochen u. s. w. Andererseits trifft den Nutzer aber in zumutbaren Grenzen eine (vertragliche) Pflicht zum regelmäßigen Lüften der Wohnung [BGH, 2018-1], [LG Frankfurt a. M., 2015]. Erst eine Verletzung dieser zusätzlichen Pflicht führt bei einem unwillkürlichen oder unvermeidbaren Nutzereinfluss zu einer Verantwortlichkeit für Schimmelschäden an Gebäuden.

Umgekehrt ausgedrückt führt auch ein gewillkürtes, für das Gebäude schädliches, Nutzerverhalten nicht ohne Weiteres zu einer Verantwortlichkeit, denn es liegen dem Nutzer nicht zuzuschreibende konstruktive Mängel des Gebäudes vor, wenn der Gebäudeschaden nur darauf zurückzuführen ist, dass das Gebäude für einen zulässigen, aber schädlichen Nutzereinfluss nicht ausreichend gewappnet ist. Das dem üblichen Mietgebrauch entsprechende »Abwohnen« der Mietsache, also der übliche nutzungsbedingte Verschleiß von Bauteilen bzw. die planmäßige nach üblichem Geschehensverlauf zu erwartende Beanspruchung eines Gebäudes durch den Nutzer, ist nicht vorwerfbar [BGH, 2008-1].

Die Kenntnis des üblicherweise zu erwartenden, erlaubten bzw. vertraglich vorausgesetzten Nutzereinflusses ist eine wesentliche Voraussetzung schadenfreien Bauens einerseits und der Vertragsgestaltung bei Nutzungsüberlassung eines Gebäudes andererseits: Ein neues Gebäude muss für den vertraglich vorausgesetzten, bzw. üblicherweise zu erwartenden, Nutzereinfluss tüchtig sein. Ein Bestandsgebäude muss, wenn nichts anderes vereinbart ist, diese Tüchtigkeit jedenfalls dann aufweisen, wenn die zum Zeitpunkt seiner Errichtung geltenden Bauvorschriften und technischen Normen eine Ausführung vorsahen, die einem üblicherweise zu erwartenden Nutzereinfluss gewachsen ist, ohne dass die Gefahr von Schimmelschäden besteht.

Die Frage nach der Gesetzes- bzw. Vertragskonformität und Üblichkeit des als Schadensursache festgestellten Nutzereinflusses stellt dabei eine wesentliche Schnittstelle zwischen bautechnischer Ursachenergründung und juristischer Sachverhaltsbewertung dar, bei der beide Fachgebiete ineinander greifen.

9.3 Die einzelnen Rechtsbeziehungen

Die Rechtsbeziehungen der oben in Kapitel 9.1 genannten Beteiligten werden in den verschiedenen Rechtsquellen des materiellen Zivilrechts geregelt. Neben den gesetzlichen Bestimmungen – allen voran des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) – kommt dabei den vertraglichen Regelungen, die die Parteien sich selbst verbindlich auferlegen, große Bedeutung zu.

9.3.1 Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Nutzungsberechtigtem

Bei der Bewertung konstruktiver oder nutzungsbedingter Schimmelschäden an Gebäuden haben die Rechtsbeziehungen zwischen geschädigtem Gebäudeeigentümer und Nutzungsberechtigtem naturgemäß besondere praktische

Relevanz. Diese Rechtsbeziehungen können sich z. B. aus einem Miet-, Pacht- oder Leihvertrag ergeben.

Eine Rechtsbeziehung ganz eigener Art ist das Verhältnis zwischen dem Sondereigentümer einer Eigentumswohnung, bzw. von Teileigentum, und der Wohnungseigentümergemeinschaft. Zwar ist die Wohnungseigentümergemeinschaft nicht Eigentümer des bebauten Grundstücks, sie ist aber wirtschaftlich für die Erhaltung des Gemeinschaftseigentums – und damit fast der gesamten Gebäudehülle – zuständig. Es liegt auf der Hand, dass Schäden am Gemeinschaftseigentum, die auf Nutzereinflüsse des Sondereigentümers zurückzuführen sind, einiges an Konfliktpotential in sich bergen.

Während die gesetzlichen Regelungen zur Pacht im Wesentlichen auf diejenigen des Mietrechts Bezug nehmen (§ 581 Abs. 2 BGB) und hier daher mit diesem abgehandelt werden, kommt der Leihvertrag bei Überlassung von bebauten Grundstücken nur eine geringe praktische Bedeutung zu. Sie ist in den §§ 598 BGB ff. geregelt und unterscheidet sich vom Mietverhältnis vor allem in der Unentgeltlichkeit der Überlassung der Leihgabe und der daraus folgenden reduzierten Gewährleistungspflicht und Erhaltungspflicht des Verleiher, der – ganz anders als der Vermieter – nur für arglistig verschwiegene Mängel der Leihgabe sowie Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit haftet.

Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen das Wohn- und das Gewerberaum-Mietverhältnis, dem wir uns in den folgenden Kapiteln zuwenden.

9.3.1.1 Das Mietverhältnis

Wer gegen Mietzins einem Anderen den Gebrauch an einer Sache überlässt, ist Vermieter dieser Sache (§ 535 BGB). Die Mietsache kann auch ein unbebautes oder bebautes Grundstück sein, das ganz oder teilweise zu Wohn- oder gewerblichen Zwecken überlassen wird.

Der Vermieter muss nicht zwangsläufig Eigentümer der überlassenen Sache sein. Er kann beispielsweise als Nießbrauchnehmer oder Hauptmieter zur Weiterüberlassung an einen (Unter-)Mieter berechtigt sein. Auch wer eine Sache vermietet, ohne dazu berechtigt zu sein, ist gleichwohl Vermieter (der Mietvertrag ist nicht unwirksam) – er wird aber dem Mieter im Zweifel die Mietsache nicht zur Verfügung stellen können und sich daher schadenersatzpflichtig machen.

Das Gesetz regelt die grundsätzlichen Pflichten von Mieter und Vermieter: Der Vermieter hat gegen Zahlung des Mietzinses den Gebrauch an der Mietsache zu gewähren und diese in gebrauchsfähigem Zustand zu erhalten. Das Mietobjekt muss sich also zum Mietgebrauch eignen, was demnach vom

konkreten vereinbarten Nutzungszweck abhängt. Eine Wohnraumnutzung stellt andere Anforderungen an die Mietsache als eine Nutzung als Lagerraum, als Arztpraxis oder als Gaststätte. Hierin liegt ein häufiger Fehler bei der Gestaltung von Mietverträgen, wenn vertraglich vorausgesetzter Gebrauch und Tüchtigkeit des Gebäudes sich widersprechen: Wer Lagerräume in Obergeschossen vermietet, haftet für eine unzureichende Statik, wer Büroräume vermietet, haftet dafür, dass das Gebäude den Anforderungen an den Arbeitsschutz genügt, wer Wohnraum vermietet, haftet für unzureichenden Schallschutz usw. Dies gilt aufgrund der gesetzlichen Gebrauchsüberlassungspflicht jedenfalls immer dann, wenn die Parteien nichts Abweichendes wirksam vertraglich geregelt haben. Deshalb muss zumindest in einer neuen Mietwohnung ein übliches Wohnen möglich sein, ohne dass dadurch die Gefahr von Schimmelschäden entsteht.

Die Hauptpflicht des Mieters besteht darin, den vereinbarten Mietzins zu zahlen. Das Gesetz geht dabei von einer Bruttoinklusivmiete aus, also einer Miete, die neben der reinen Nettokaltmiete auch die laufenden warmen und kalten Betriebskosten umfasst. Vertraglich kann und wird zumeist davon abweichend eine gesonderte Zahlungspflicht des Mieters für anfallende Betriebskosten vereinbart, entweder als vom Vermieter abzurechnende Vorauszahlung oder nachträglich aufgrund Abrechnung. Die Nettokaltmiete zuzüglich Anteil für warme und kalte Betriebskosten wird als Bruttowarmmiete bezeichnet. Im gewerblichen Mietverhältnis kann, wenn der Vermieter die Möglichkeit zur Umsatzsteueroption nach §§ 4 Nr. 12 a, 9 UStG nutzt, noch die Umsatzsteuer hinzukommen. Besondere Formen der Mietstruktur im gewerblichen Mietverhältnis stellen die Umsatz- oder Ertragsmieten dar, bei denen die Miete sich nach einer vertraglich festzulegenden Formel aus dem Umsatz oder Ergebnis des Mieters ergibt.

Neben den gesetzlichen Hauptpflichten treten allgemeine Nebenpflichten, die teilweise nicht ausdrücklich im Gesetz genannt sind, sich aber aus allgemeinen Rechtsgrundsätzen ergeben. Als Beispiel im Zusammenhang mit Schimmelschäden kann die Obhuts-, Fürsorge- und Schutzpflicht genannt werden, die den Mieter verpflichtet, die Mietsache pfleglich zu behandeln. Hieraus wird geschlossen, dass der Mieter in zumutbarem Umfang verpflichtet ist, die Mieträume zu lüften.

Zusätzliche Pflichten sowohl für den Vermieter als auch für den Mieter können vertraglich vereinbart werden. Üblich sind Vereinbarungen zum Leisten einer Mietsicherheit für Mietrückstände und vom Mieter zu vertretende Schäden des Mietobjektes, Abwälzung von Instandhaltungs- oder Instandsetzungspflichten oder besondere Regelungen für Umbauten. Auch besondere vertragliche Sorgfalts- oder Obhutspflichten sind üblich, ebenso wie

bestimmte Verhaltensregeln. Zur Vermeidung von Schimmelschäden können z. B. konkrete Regeln zum Heiz- und Lüftungsverhalten aufgestellt werden.

Allerdings sind der vertraglichen Gestaltung durch das Gesetz Grenzen auferlegt. Das Wohnraum-Mietverhältnis ist aufgrund seiner besonderen sozialen Bedeutung im BGB und verschiedenen Nebengesetzen stark reglementiert, was die Möglichkeit vertraglicher Gestaltungen deutlich einschränkt, zumal die meisten gesetzlichen Regelungen zum Schutz des Wohnraum-Mieters nicht dispositiv sind, also nicht vertraglich abbedungen werden können. Demgegenüber haben die Parteien des gewerblichen Mietverhältnisses erheblich mehr Gestaltungsspielraum, wenn alle Vereinbarungen individuell, also frei, ausgehandelt wurden.

In der Praxis kommen solche Individualvereinbarungen aber selten vor und zwar nicht nur, weil Vermieter mit umfangreichem Immobilienbestand nicht bei jeder Neuvermietung einen ganz neuen Vertrag entwerfen können, sondern auch, weil die Parteien häufig mangels ausreichender Rechtskenntnisse auf Formularmietverträge zurückgreifen, die im Internet oder Buchhandel bezogen werden können. Bei Verwendung von Formularmietverträgen gelten aber die gesetzlichen Bestimmungen zu Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) in den §§ 305 ff. BGB. Je nachdem, ob der jeweilige Vertragspartner des Verwenders solcher Geschäftsbedingungen ein Verbraucher ist (z. B. der Wohnraum-Mieter) oder selbst Unternehmer (zumeist bei Gewerberaum-Mietern der Fall), beschränken die gesetzlichen Bestimmungen mehr oder weniger stark die Verwendung von Vertragsklauseln, die für den Vertragspartner ungünstig ausgestaltet sind.

Die zentralen Fragen bei Schimmelschäden betreffen den Gewährleistungsanspruch des Mieters und spiegelbildlich den Schadensersatzanspruch des Vermieters bei einer über den vereinbarten oder üblichen Mietgebrauch hinausgehenden Beschädigung der Mietsache. Im Folgenden wenden wir uns diesen zu.

9.3.1.2 Erhaltungspflicht des Vermieters

Als Gegenleistung für die andauernde, sich wiederholende Pflicht des Mieters zur Entrichtung des Mietzinses hat der Vermieter die Pflicht, für die gesamte Dauer des Mietverhältnisses den – dem vereinbarten Nutzungszweck entsprechenden – Gebrauch an der Mietsache zu gewähren, indem er sie unabhängig von der Dauer des Mietverhältnisses ständig in dem vertraglich vereinbarten Zustand erhält (§ 535 Abs. 1 S.2 BGB). Gibt es keine besonderen Vereinbarungen dazu, wie dieser vertragliche Zustand auszusehen hat, dann gilt der Zustand zu Beginn des Mietverhältnisses als vereinbart.

Der Vermieter hat daher grundsätzlich alle Schäden des Mietobjektes zu beseitigen, gleich, ob diese auf Abnutzung des Mietobjektes (Nutzereinfluss bzw. Mietgebrauch), Naturereignis oder Beschädigung durch Dritte beruhen.

Er hat für die laufende Instandhaltung und Instandsetzung des Mietobjekts ebenso zu sorgen wie für die Erneuerung oder Wiederherstellung der Mietsache. Im Rahmen des Mietverhältnisses versteht die Rechtsprechung unter Instandsetzung die Reparatur [BGH, 2004-1] und auch die Wiederbeschaffung [BGH, 2005-1] des Mietobjekts oder von Teilen davon. Unter Instandhaltung wird in Anlehnung an § 28 Abs. 1 Zweite Berechnungsverordnung die Beseitigung der durch Abnutzung, Alterung oder Witterungseinflüsse entstandenen Mängel an der Mietsache verstanden [BGH, 2004-1]. Der Begriff der Instandhaltung ist zudem in der DIN 31051 definiert, allerdings nur für technische Anlagen. Daher ist der Instandhaltungsbegriff der DIN 31051 nicht mit dem mietrechtlichen Instandhaltungsbegriff gleichzusetzen. Eine ausdrückliche vertragliche Einbeziehung der DIN 31051 ist aber im Rahmen eines Gewerberaum-Mietverhältnisses möglich.

Nur eine völlige Zerstörung der Mietsache entbindet den Vermieter von seiner Erhaltungs- und Überlassungspflicht wegen Unmöglichkeit der Gebrauchsüberlassung (§ 275 BGB), führt aber zu Schadensersatzansprüchen des Mieters wegen Vorenthalterung der Mietsache.

Die Erhaltungspflicht trifft auch den Vermieter einer Eigentumswohnung, selbst wenn die Ursache des Mietmangels im Bereich des gemeinschaftlichen Eigentums liegt [BGH, 2005-2]. Die Verpflichtung zur Erhaltung der Mietsache ist somit sehr weitreichend, aber nicht unbegrenzt, wie wir in den folgenden Kapiteln aufzeigen werden.

9.3.1.3 Abwälzung der Erhaltungspflicht auf Mieter

Es liegt auf der Hand, dass der Vermieter ein hohes wirtschaftliches Interesse daran hat, die gesetzliche Erhaltungspflicht möglichst umfassend durch vertragliche Vereinbarungen auf den Mieter abzuwälzen. Denn ist der Mieter vertraglich selbst zur Erhaltung der Mietsache verpflichtet, haftet der Vermieter nicht mehr für solche Mängel der Mietsache, die dieser vertraglich übernommenen Erhaltungspflicht des Mieters unterliegen.

Eine Abwälzung der Erhaltungspflicht sollte immer ausdrücklich im Vertrag geregelt sein. Zwar sind auch konkordante Vereinbarungen denkbar, das damit verbundene Auslegungsrisiko aber erheblich.

Da die Erhaltungspflicht des Vermieters eine wesentliche Hauptleistungspflicht (auch sogenannte Kardinalspflicht) aus dem Mietverhältnis ist, sind

auch ausdrückliche vertragliche Regelungen zur Abwälzung der Erhaltungspflicht auf den Mieter grundsätzlich eng auszulegen und nach den Maßstäben von Treu und Glauben sowie – bei Formularverträgen – des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen zu bewerten.

Zudem haben nicht dispositive, also nicht abänderbare, gesetzliche Regelungen immer Vorrang vor vertraglichen Vereinbarungen. Insbesondere in den gesetzlichen Regelungen zum Wohnraum-Mietrecht finden sich zahlreiche solcher nicht dispositiver gesetzlicher Regelungen. So kann u. a. das Recht des Wohnraum-Mieters zur Mietminderung bei Mietmängeln nicht ausgeschlossen werden (§ 536 Abs. 4 BGB), woraus sich auch ergibt, dass die Abwälzung von Erhaltungspflichten auf den Wohnraum-Mieter zur Vermeidung von Gewährleistungsansprüchen nur ausnahmsweise möglich ist.

Die wirksame Abwälzung von Instandsetzungs- und Instandhaltungspflichten auf den Mieter beschränkt sich daher im Wohnraum-Mietverhältnis, auch in individuell ausgehandelten Verträgen, nach der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs im Wesentlichen auf Kleinreparaturen und Schönheitsreparaturen.

Kleinreparaturklauseln sind in Wohnraum-Mietverhältnissen wirksam, wenn dem Mieter nur die Pflicht zur Reparatur von Teilen der Mietsache auferlegt wird, die seinem ständigen Zugriff unterliegen (Beispiel: Armatur, Türklinke, Fenstergriff usw.) und die Kosten der Reparaturen im Einzelfall und im Jahr bestimmte Betragsgrenzen nicht übersteigen.

Schönheitsreparaturen sind Maßnahmen zur dekorativen Instandhaltung der Mietsache, wenn diese durch Gebrauch abgewohnt ist. Hierzu zählen insbesondere das Anstreichen oder Tapezieren von Wänden und das Anstreichen von Holzelementen oder Heizkörpern. Die Instandsetzung der Mietsache bei Schäden, die mehr als nur den rein dekorativen Charakter der Mietsache berühren, gehört nicht zu den Schönheitsreparaturen.

In Formularmietverträgen sind nur solche Regelungen zulässig, die dem Mieter die Schönheitsreparaturen im Inneren der Mieträume übertragen. Unwirksam sind daher z. B. Klauseln, die auch den Außenanstrich von Fenstern und Türen beinhalten [BGH, 2010-1]. Unwirksam sind zudem Regelungen in Formularmietverträgen, die dem Mieter während der Mietzeit eine bestimmte Form der Dekoration vorschreiben, da diese den Mietgebrauch unzulässig beschränken [BGH, 2011]. Hingegen ist es zulässig zu verlangen, dass der Mieter – unabhängig vom Bestehen sonstiger Verpflichtungen zur Ausführung von Schönheitsreparaturen – bei Beendigung des Mietverhältnisses die Mieträume mit Wänden in hellen und neutralen Farben zurückgibt [BGH, 2013-1]. Ob diese hell und neutral gestrichenen Wände dann allerdings Gebrauchs-

spuren aufweisen dürfen, ist wieder eine Frage der generellen Wirksamkeit von Schönheitsreparaturverpflichtungen.

Hinsichtlich der Abwälzung von Schönheitsreparaturen auf den Mieter in Formularmietverträgen findet seit Jahren eine fortwährende Verschärfung durch die Rechtsprechung statt: Nachdem bis Ende der 1990er-Jahre nahezu unumstritten war, dass dem Mieter Schönheitsreparaturen innerhalb fest vorgegebener Fristen auferlegt werden konnten, entschied der BGH zunächst, dass derartige starre Fristenpläne unwirksam seien und es für die Verpflichtung zur Durchführung von Schönheitsreparaturen vielmehr nur auf deren objektive Erforderlichkeit ankommen dürfe [BGH, 2004-2]. Fristenpläne dürfen demnach in Formularmietverträgen nur so formuliert sein, dass sie als Anhaltspunkte dem Mieter zur zeitlichen Orientierung dienen (z.B. »im Allgemeinen«). Nach zahlreichen Urteilen zur Präzisierung dieser Rechtsprechung in Einzelfällen entschied der BGH im Jahr 2015, dass Regelungen zur Abwälzung von Schönheitsreparaturen in Formularmietverträgen unabhängig von deren inhaltlicher Ausgestaltung immer dann unwirksam sind, wenn dem Mieter das Mietobjekt unrenoviert übergeben wird [BGH, 2015-1]. Ob hierzu eine Ausnahme gilt, wenn die Anfangsrenovierung durch den Mieter mittels anfänglichem oder generellem Mietnachlass abgegolten wird [LG Berlin, 2015], ist höchstrichterlich noch nicht entschieden. Sind Teile von Regelungen zur Durchführung von Schönheitsreparaturen in einem Formularmietvertrag unwirksam, kann das zur »Gesamtinfektion« führen, also zur Gesamtunwirksamkeit der Regelung, auch wenn die Regelungen sich im Vertrag an unterschiedlicher Stelle finden [BGH, 2015-2].

Besonders schwierig ist die wirksame Gestaltung von vertraglichen Regelungen in Formularmietverträgen bezüglich der finanziellen Abgeltung des Vermieters für den Fall, dass bei Ende des Mietverhältnisses eine an sich wirksame Verpflichtung zur Durchführung von Schönheitsreparaturen noch nicht fällig ist, weil der Gebrauchszustand diese noch nicht notwendig macht. In zahllosen Formularmietverträgen wurde versucht, diese dem Gebrauchs-zustand entsprechende anteilige, aber noch nicht fällige, Verpflichtung durch sogenannte Quotenabgeltungsklauseln zu regeln. Derartige Quotenabgeltungsklauseln sehen vor, dass der Mieter bei Ende des Mietverhältnisses einen bestimmten Bruchteil derjenigen voraussichtlichen Sanierungskosten an den Vermieter zahlt, die entstehen würden, wenn das Mietobjekt abgewohnt wäre. Bisher hat die Rechtsprechung nahezu alle derartigen Klauseln in Formularmietverträgen als unwirksam angesehen [BGH, 2015-3]. Da eine Quotenabgeltungsklausel für den durchschnittlich verständigen Mieter nachvollziehbar und transparent formuliert sein müsste, ist fraglich, ob es überhaupt möglich ist, eine wirksame Quotenabgeltungsklausel in Formularmietverträge einzubinden.

Vereinzelt wird in der Rechtsprechung angenommen, dass auch Instandhaltungsaufgaben, wie z.B. die Überwachung und Wartung der Warmwasserversorgung, auf einen Wohnraum-Mieter in einem Formularmietvertrag abgewälzt werden können [OLG Düsseldorf, 1996]. Dies würde dazu führen, dass der Mieter bei unterlassener Überprüfung und Wartung selbst für Mängel und Folgeschäden haftet. Angesichts der restriktiven höchstrichterlichen Rechtsprechung ist aber fraglich, ob derartige Klauseln auch einer Prüfung durch den Bundesgerichtshof standhalten würden.

Während die obigen Ausführungen zu den Grenzen wirksamer Abwälzung von Schönheitsreparaturverpflichtungen in Formularmietverträgen im Großen und Ganzen auch auf Gewerberaum-Mietverhältnisse übertragbar sind [BGH, 2008-2], unterscheiden sich Wohnraum- und Gewerberaum-Mietverhältnis vor allem bei der formularmäßigen Abwälzung sonstiger Instandhaltungs- und Instandsetzungspflichten. Im Gewerberaum-Mietverhältnis ist es – anders als im Wohnraum-Mietverhältnis – möglich, auch jenseits der oben skizzierten Kleinreparaturen die Instandsetzung des Mietobjektes auf den Mieter abzuwälzen.

Denkbar ist die –auch formularmäßige –vollständige Abwälzung der Instandhaltungs- und Instandsetzungspflicht auf den Gewerberaum-Mieter für die Teile der Mietsache, die dem alleinigen Zugriff des Mieters unterliegen, also in der Regel im Inneren der Mieträume. Auch hinsichtlich der übrigen Teile des Gebäudes (»Gemeinflächen, Dach und Fach«) ist eine – u.U. anteilige – Abwälzung auf den Gewerberaum-Mieter grundsätzlich möglich, je nach vertraglicher Ausgestaltung, aber nur unter Einbeziehung einer summenmäßigen Begrenzung [BGH, 2005-1] (vgl. auch zum Ganzen instruktiv: [Neuhaus, 2014]). Problematisch fallen dabei aber vor allem die sog. »Dach- und Fachklauseln« aus, da weder im Gesetz noch in technischen Regelwerken eindeutig definiert ist, was genau unter »Dach und Fach« zu verstehen ist. So ist z.B. unklar, ob es sich dabei nur um die Gebäudehülle oder diese nebst integrierter Gebäudetechnik handeln soll. Dies ist im Einzelfall eine Auslegungsfrage, so dass es sich empfiehlt, vertraglich genau zu definieren, welche Gebäudeteile der übertragenen Instandhaltungs- und Instandsetzungspflicht des Gewerberaum-Mieters unterliegen sollen.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich weitreichende Konsequenzen auch für die Frage der Verantwortlichkeit für Schimmelschäden, wenn diese auf das Unterlassen von vertraglich wirksam auf den Mieter abgewälzter Instandhaltungs- oder Instandsetzungspflichten zurück zu führen sind. Beruht ein Schimmelschaden beispielsweise auf der unterlassenen Reparatur von Leitungen, Sanitärinstallationen oder der Dachkonstruktion, stellt sich die Frage, welcher Vertragspartner diese Reparaturpflicht verletzt hat. Während

im Wohnraum-Mietverhältnis allenfalls eine Mieterpflicht bei Kleinreparaturen an Teilen der Mietsache vertraglich begründet werden kann, die dem häufigen Zugriff des Mieters ausgesetzt sind, ist es durchaus möglich, dass der Mieter eines Gewerbeobjektes verpflichtet wird, in weitreichendem Umfang anstehende Reparaturen vorzunehmen. Die vertragliche Übertragung von – eigentlich dem Vermieter obliegenden – Instandhaltungs- und Instandsetzungspflichten auf den Mieter von Gewerberäumen hat zur Konsequenz, dass der Mieter bei Unterlassen der ihm vertraglich übertragenen Pflichten ggf. für eintretende Feuchtigkeits- und Schimmelschäden haftet, die aufgrund von Gebäudeschäden auftreten, die nach Überlassung der Mietsache entstanden sind. Wird z. B. die Wärmedämmung des Gebäudes nach Beginn des Mietvertrages aus Gründen beschädigt, für die der Vermieter nicht einzustehen hat und wurde die Pflicht zur Reparatur des Schadens vertraglich wirksam auf den Mieter übertragen, haftet der Mieter auch für Schimmelschäden die infolge der beschädigten Wärmedämmung eintreten. Diese Überlegung lässt sich allerdings nicht uneingeschränkt auf anfängliche Mietmängel übertragen: Auch, wenn dem Mieter wirksam die Pflicht zur Instandsetzung der Mietsache vertraglich übertragen wurde, ist in Literatur und Rechtsprechung aus gutem Grund umstritten, ob dies auch für sogenannte »Anfangsmängel«, wie z. B. eine von Anfang an ungenügende Wärmedämmung gelten kann. Im Einzelfall bedarf die Beurteilung einer solchen Frage der genauen Prüfung und ggf. Auslegung der vertraglichen Vereinbarung und Beurteilung der einschlägigen Rechtsprechung.

9.3.1.4 Umfang der Gewährleistungspflicht des Vermieters

Gibt es keine wirksame vertragliche – ggf. anteilige– Abwälzung auf den Mieter, bleibt es bei der umfassenden Erhaltungspflicht des Vermieters und damit auch bei seiner Beseitigungspflicht bei Mietmängeln, um den vertragsgemäßen Zustand der Mietsache und den dauernden Mietgebrauch zu gewährleisten.

Dabei ist, da die Erhaltungspflicht des Vermieters während des gesamten Mietverhältnisses fortdauert, der Gewährleistungsanspruch des Mieters während der gesamten Mietzeit unverjährbar [BGH, 2010-2].

Den Vermieter trifft bei Mängeln –mit Ausnahme des Schadensersatzanspruchs – eine verschuldensunabhängige Gewährleistungspflicht. Die Mängelbeseitigungspflicht des Vermieters betrifft nicht nur Mängel der Mietsache, die aus der Sphäre des Vermieters selbst stammen (z. B. bauseitige Mängel des Mietobjektes), sondern auch Mängel aufgrund zufälliger Ereignisse (z. B. Elementarschäden) und Mängel der Mietsache durch Schäden, die Dritte schuld-

haft verursacht haben, solange diese Dritten nicht der Verantwortungssphäre des Mieters zuzurechnen sind (z. B. Kunden oder eingeladene Besucher).

Ein gewährleistungspflichtiger Mangel der Mietsache liegt immer vor, wenn die Tauglichkeit der Mietsache zum vertragsgemäßen Gebrauch – auch teilweise – aufgehoben ist, was bei Schimmelschäden häufig der Fall ist. Dies kann vielschichtige Ursachen haben, z. B. Feuchtigkeit in den Mieträumen, undichte Leitungen oder defekte Heizungs- bzw. Sanitärinstallationen.

Ein Mangel der Mietsache liegt allerdings nicht vor, wenn dessen Vorhandensein als Beschaffenheit der Mietsache vereinbart ist oder der Mieter aus anderen Gründen vom Vorhandensein des Mangels bei Abschluss des Mietvertrages Kenntnis hat (§ 536b BGB). Die Vereinbarung einer minderen Qualität der Mietsache kann ausdrücklich erfolgen oder sich aus den Umständen ergeben.

So hängt es beispielsweise vom Baualter eines Gebäudes ab, welcher Standard als von den Parteien stillschweigend vereinbart angesehen werden kann, wenn ausdrückliche Vereinbarungen fehlen. Grundsätzlich gilt mangels abweichender ausdrücklicher Vereinbarung der bauliche Standard geschuldet, den das Gebäude zum Zeitpunkt seiner Errichtung oder letzten umfassenden Sanierung hatte. Der Mieter einer Altbauwohnung muss möglicherweise mit Feuchtigkeit im Keller rechnen [LG Dresden, 2014]. Treffen die Parteien eines Mietvertrags keine darüber hinaus gehende Beschaffenheitsvereinbarung, muss der Mieter auch damit leben, dass aufgrund von Wärmebrücken in den Außenwänden die Gefahr von Schimmelbildung in der Mietwohnung besteht, wenn der Zustand des Gebäudes mit den zum Zeitpunkt seiner Errichtung geltenden Bauvorschriften und technischen Normen im Einklang steht. Das Vorhandensein von Wärmebrücken in den Außenwänden einer Mietwohnung und die damit – bei unzureichender Lüftung und Heizung – einhergehende Gefahr einer Schimmelpilzbildung stellt daher in einem solchen Fall keinen Mietmangel dar, den der Vermieter zu beseitigen hat [BGH, 2018-1]. In welchem Maß der Vermieter in einem solchen Fall Anforderungen an das Heiz- und Lüftungsverhalten des Mieters stellen kann, ist eine nach den Gegebenheiten im Einzelfall zu beurteilende Frage. Nach Auffassung des BGH sind auch erhöhte Anforderungen an das Heiz- und Lüftungsverhalten nicht pauschal und ohne Einzelfallbewertung als unzumutbar einzustufen, wenn die konstruktionsbedingten Wärmebrücken wegen der Übereinstimmung mit den damaligen rechtlichen und technischen Bauvorschriften eben gerade keinen Mangel der Mietsache darstellen.

Durch ausdrückliche Vereinbarungen können diese nach Baualtersklasse zu erwartenden Standards allerdings sowohl unter- als auch überschritten werden, beispielsweise durch die Vereinbarung, in einer Altbauwohnung Elektrogeräte nur im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten zu nutzen [BGH, 2010-3].

Ebenso sind Vereinbarungen denkbar, wonach bei einer durch die Baualtersklasse hervorgerufenen Geneigtheit für Schimmelschäden eine bestimmte Nutzung (z.B. das Aufhängen von Wäsche) untersagt wird.

Die Grundsätze von Treu und Glauben und das Recht der Allgemeinen Geschäftsbedingungen setzen derartigen Vereinbarungen zur Qualität oder baulichen Standards der Mietsache aber Grenzen, ebenso die Bestimmungen des öffentlichen Rechts. Zum Beispiel müssen bei Gebäudesanierungen und teilweise auch bei Bestandsgebäuden die Bestimmungen der EnEV eingehalten werden. Die Regelungen zum Arbeitsschutz zwingen den Gewerberaum-Mieter, die im Arbeitsschutzgesetz bestimmten Standards im Mietobjekt einzuhalten und eine Nutzung als Wohnraum ist öffentlich rechtlich nur zugelassen, wenn die in den Regelungen des Landesrechts zur Wohnraumnutzung gestellten Mindestanforderungen erfüllt sind (z.B. § 4 Abs. 2 Wohnaufsichtsgesetz Berlin – Vorhandensein von Heizung und Wasserversorgung usw.).

Besteht ein Mietmangel, weil der vereinbarte Mietgebrauch eingeschränkt ist, stehen dem Mieter verschiedene Gewährleistungsrechte gegen den Vermieter zu:

Ist die Einschränkung der Tauglichkeit der Mietsache nicht nur unerheblich, ist die Miete in angemessenem Umfang herabgesetzt (§ 536 BGB). Hierzu bedarf es grundsätzlich keiner besonderen Erklärung oder Ankündigung des Mieters, die Herabsetzung erfolgt von Gesetzes wegen automatisch und muss nur im verbleibenden Umfang noch gezahlt werden. Allerdings verlangt das Gesetz vom Mieter eine Mangelanzeige (§ 536c Abs. BGB), wenn dem Vermieter der Mangel nicht ohnehin bekannt oder offensichtlich ist. Eine ganz überraschende Mietminderung scheidet somit aus.

Insbesondere auch im Zusammenhang mit Schimmelschäden gilt deshalb, dass der Mieter wahrgenommene Gebäudeschäden wie undichte Leitungen oder ein undichtes Dach ebenso unverzüglich anzeigen muss wie das Auftreten erster Schimmelerscheinungen. Ein Mieter, der mit der ersten Meldung an seinen Vermieter abwartet, bis die gesamte Wohnung wegen Schimmels unbewohnbar ist, verwirkt nicht nur sein Minderungsrecht, sondern haftet darüber hinaus dem Vermieter auch wegen Verletzung der Anzeigepflicht für den Teil des Schadens, der bei rechtzeitiger Anzeige vermeidbar gewesen wäre.

Die angemessene Minderung bezieht sich immer auf die Bruttomiete, also die Kaltmiete zzgl. Nebenkostenvorauszahlungen [BGH, 2005-3].

Die vom Gesetz angeordnete automatische Mietminderung ist die Konsequenz aus der dauernden Erhaltungspflicht des Vermieters. Daher reduziert sich die vereinbarte Miete in dem Verhältnis und dauerhaft für den Zeitraum,

in dem der Vermieter seiner Erhaltungspflicht nicht nachgekommen ist. Ein Streitpunkt, der häufig erst vor Gericht geklärt werden kann, ist dabei, in welcher Höhe der Mieter zur Mietminderung berechtigt ist, denn das Gesetz gibt hierfür keine konkreten Anhaltspunkte. Lediglich die Vielzahl an inzwischen vorliegenden und veröffentlichten Gerichtsentscheidungen zur angemessenen Höhe der Mietminderung kann für Mieter und Vermieter ein gewisser Kompass bei der Beurteilung der gerechtfertigten Minderungshöhe sein. Für den Mieter ist es nicht ohne Risiko, sich bei der Höhe der Mietminderung zu vergreifen.

Denn mindert er mehr als nach § 536 BGB angemessen ist, bleibt er einen Teil der Miete schuldig, was den Vermieter bei Erreichen der betragsmäßigen Voraussetzungen (§ 543 Abs. 2 Nr. 3 BGB) zur außerordentlichen Kündigung des Mietverhältnisses berechtigen kann [LG Berlin, 2017]. Zwar kann der Mieter sich in einem gewissen Umfang auf einen – das Kündigungsrecht ausschließenden – Rechtsirrtum berufen, gerade weil das Gesetz keine konkreten Anhaltspunkte gibt. Wer aber ins Blaue hinein die Miete kürzt, obwohl bei Anwendung verkehrsüblicher Sorgfalt erkennbar war, dass die tatsächlichen Voraussetzungen des Minderungsrechts nicht bestehen, genießt keinen Schutz [BGH, 2012].

Neben der Mietminderung hat der Mieter natürlich Anspruch auf Mängelbeseitigung durch den Vermieter. Dies gilt auch dann, wenn der Mieter die Mietsache gar nicht nutzt, also eigentlich nicht auf eine gebrauchsfähige mangelfreie Mietsache angewiesen wäre [BGH, 2018-2].

Bis zur Beseitigung des Mietmangels kann der Mieter neben der Minderung zusätzlich auch einen weiteren Betrag – den sogenannten Druckzuschlag – von der Miete einbehalten, um den Vermieter zur Mängelbeseitigung anzuhalten. Der Druckzuschlag ist jedoch – anders als die Mietminderung – nach Mängelbeseitigung an den Vermieter zurück zu zahlen.

Setzt der Mieter dem Vermieter zur Mängelbeseitigung eine angemessene Frist, die der Vermieter fruchtlos verstreichen lässt, steht dem Mieter ferner das Recht zu, den Mietmangel selbst auf Kosten des Vermieters zu beseitigen (§ 536 a BGB). Die zur Mängelbeseitigung gesetzte Frist muss angemessen sein, wobei ein Zeitraum genügt, der den Vermieter in die Lage versetzt, den Mangel zu beseitigen, wenn er unmittelbar nach Zugang der Mängelanzeige damit beginnt. Die Fristsetzung ist entbehrlich, wenn ganz ausnahmsweise die umgehende Beseitigung des Mangels zur Erhaltung oder Wiederherstellung des Bestands der Mietsache notwendig ist.

Kommt der Vermieter mit der Mängelbeseitigung in Verzug hat der Mieter – in der Regel aber nur nach entsprechender Androhung – auch das Recht, das

Mietverhältnis außerordentlich zu kündigen. Er kann dann vom Vermieter zusätzlich auch Schadensersatz verlangen, z. B. in Höhe der notwendigen Umzugs- und Maklerkosten oder auch in Höhe der Differenzmiete zu einem neuen, aber vergleichbarem Mietobjekt.

9.3.1.5 Zulässiger Mietgebrauch und Erhaltungspflicht

Angesichts der wirtschaftlichen Folgen eines gewährleistungspflichtigen Mangels für den Vermieter nimmt es nicht Wunder, wenn zwischen Vermieter und Mieter häufig Streit darüber besteht, ob ein Schaden am Gebäude bzw. ein Mietmangel auf einem Nutzereinfluss beruht und ob dieser Nutzereinfluss vom Mieter zu vertreten ist.

Denn der Vermieter haftet lediglich für solche Mängel der Mietsache nicht, die der Mieter selbst oder ihm zuzurechnende Dritte verschuldet haben. Ein Verschulden des Mieters ist aber nicht gleichbedeutend mit der Verursachung eines Mangels. Wie bereits in Kapitel 9.2 skizziert, gibt es durchaus zulässiges oder vertraglich vorausgesetztes Nutzerverhalten des Mieters, das zwar zu einem Schaden führt, dem Mieter jedoch nicht vorgeworfen werden kann. Denn Veränderungen oder Verschlechterungen der Mietsache, die durch den vertragsgemäßen Gebrauch herbeigeführt werden, hat der Mieter nach § 538 BGB nicht zu vertreten.

Dieser übliche Mietgebrauch wird nicht nur durch gesetzliche Regelungen oder vertragliche Vereinbarungen definiert, sondern auch durch Gewohnheitsrecht oder die durch Richterrecht näher ausgestalteten Grundsätze von Treu und Glauben (§ 242 BGB).

Vertragliche Regelungen können den zulässigen Mietgebrauch erweitern oder beschränken und dadurch auch die Grenzen des mieterseitigen Verschuldens verschieben. Ist grundsätzlich das Halten von Katzen in der Wohnung gestattet, muss der Vermieter bei Beendigung des Mietverhältnisses Kratzspuren im Parkett entschädigungslos hinnehmen, da diese unvermeidbar sind und mit dem vertraglich erweiterten Mietgebrauch einhergehen [AG Koblenz, 2013].

Grenzen vertraglicher Vereinbarungen zum Mietgebrauch ergeben sich aus dem Recht der Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB-Recht, §§ 305 ff. BGB). So beispielsweise, dass der Vermieter von Wohnräumen den Mietern formularmäßig kein Rauchverbot auferlegen darf [BGH, 2015-4], wohingegen sich aus dem allgemeinen Gebot gegenseitiger Rücksichtnahme ergeben soll, dass Mitmieter durch das Rauchen auf Balkonen nicht beeinträchtigt werden dürfen [BGH, 2015-5]. Nur bei ganz exzessivem Rauchen innerhalb der Mieträume jenseits des üblichen Mietgebrauchs bestehen daher bei Rückgabe der Mietsache Schadensersatzansprüche des Vermieters [BGH, 2008-3].

Der BGH betont in seinem Urteil vom 05.12.2018 [BGH, 2018-1], dass dem Mieter zur Vermeidung der Gefahr von Schimmelpilzen vertraglich besondere Pflichten auferlegt werden können. Gleichwohl gilt für solche ausdrücklichen vertraglichen Regelungen weiterhin das Recht der Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Es bleibt daher fraglich, ob der Vermieter von Wohnraum formularmäßig von seinem Mieter verlangen kann, dass dieser seine Möbel nur in einem bestimmten Abstand von den Wänden aufstellen darf. Das LG Gießen [LG Gießen, 2014] hatte dies in einem früheren Urteil verneint, weil eine formularmäßige, also für eine Vielzahl von Fällen vorformulierte, Klausel dieser Art für den Mieter unangemessen sei. Dies dürfte nach hiesiger Auffassung weiterhin zutreffend sein, denn der BGH verlangt für die Beantwortung der Frage, welches Nutzerverhalten vom Mieter verlangt werden darf, eine Einzelfallabwägung nach den konkreten Umständen. Für eine Vielzahl an Fällen vorformulierte Klauseln (AGB) können der vom BGH geforderten Einzelfallabwägung naturgemäß nicht genügen.

Nach einem älteren Urteil des AG Osnabrück [AG Osnabrück, 2005] hat der Vermieter Schimmelschäden an Wänden, die durch eine unzureichende Wärmedämmung hervorgerufen werden, auch dann zu vertreten, wenn diese bei abgerückten Möbeln hätten vermieden werden können. Dies dürfte auch im Lichte der neueren höchstrichterlichen Rechtsprechung weiterhin jedenfalls dann zutreffend sein, wenn das Gebäude zum Zeitpunkt seiner Errichtung nicht den rechtlichen und technischen Vorgaben zum Wärmeschutz entsprach.

Dass ein übermäßiges Heizen und Lüften formularmäßig nicht verlangt werden darf (so schon: [LG Nürnberg-Fürth, 1987]) ist unbestritten. Freilich stellt sich aber die Frage, was in diesem Sinne als »übermäßig« anzusehen ist – eine Frage die mit der jüngsten höchstrichterlichen Rechtsprechung keinesfalls pauschal, sondern nur noch unter Berücksichtigung der Umstände des jeweiligen Einzelfalls beurteilt werden kann.

Hingegen ergibt sich auch ohne ausdrückliche vertragliche Regelung aus der Obhuts-, Fürsorge- und Schutzpflicht des Mieters, dass er das Mietobjekt regelmäßig in zumutbarem – also gerade nicht übermäßigem – Umfang lüften und heizen muss. Dem berufstätigen Wohnraum-Mieter soll es nach Ansicht des LG Frankfurt a. M. sogar zumutbar sein, drei- bis viermal täglich zu lüften [LG Frankfurt a. M., 2015]. Hieran wird man nicht mehr ohne Weiteres festhalten können, denn von derart pauschalen und abstrakt-generellen Festlegungen der Mieterpflichten distanziert sich der Bundesgerichtshof nunmehr ausdrücklich. Demnach kann die Frage, in welchem Umfang der Mieter zum Beheizen und Lüften der Mietwohnung ohne eine diesbezügliche ausdrückliche – und auch AGB-rechtlich wirksame – Vereinbarung im Mietvertragver-

pflichtet ist, nur unter Berücksichtigung der Umstände des jeweiligen Einzelfalles beantwortet werden [BGH, 2018-1]. Der BGH benennt als derartige Umstände des Einzelfalls beispielhaft die Baualtersklasse des Gebäudes, das konkrete Nutzerverhalten und die üblichen Anwesenheitszeiten der Nutzer.

Auch aus dem Gewohnheitsrecht, das infolge Veränderung gesellschaftlicher oder technischer Standards einem fortwährenden Wandel unterliegt, ergeben sich Erweiterungen und Grenzen des zulässigen Mietgebrauchs. Heute gehört das tägliche Duschen zum üblichen Mietgebrauch, so dass Schimmelschäden in einem fensterlosen Bad ohne Innenlüftung für den Mieter unvermeidbar sein können [LG Bochum, 1991].

Aus den vorstehenden Rechtsprechungsbeispielen wird deutlich, dass hinsichtlich der Frage, ob ein Gebäudeschaden bzw. Mangel der Mietsache vom Mieter verschuldet ist oder nicht, immer zunächst geprüft werden muss, ob ein möglicherweise ursächlicher Nutzereinfluss dem zulässigen Mietgebrauch entspricht oder nicht.

Auch eine Überbelegung – die aufgrund von erhöhtem menschlichem Feuchtigkeitseintrag regelmäßig die Gefahr von Schimmelbildung in sich trägt – kann ein Verstoß gegen die Pflicht des Mieters zum üblichen Mietgebrauch darstellen. Sieht der Mietvertrag nur eine bestimmte Personenanzahl ausdrücklich vor, kann bei Überschreitung eine Überbelegung vorliegen, wenn die Vereinbarung nach allgemeinen Grundsätzen wirksam ist, also z. B. nicht unangemessen oder unverhältnismäßig. Fehlt die ausdrückliche Vereinbarung einer Personenzahl im Mietvertrag, lässt sich juristisch nicht immer zweifelsfrei klären, wann eine Überbelegung vorliegt, denn es gibt keine gesetzlichen Beschränkungen für die Belegung von Wohnungen im Mietrecht. Zwar existieren in den Bundesländern Wohnungsaufsichtsgesetze, wonach eine Wohnung durch den Vermieter nur mit einer bestimmten Anzahl an Personen pro m² Wohnfläche belegt werden darf. Am Beispiel des Wohnungsaufsichtsgesetzes von Berlin (§ 7 Abs. 1 WoAufG Berlin = 9 m² pro Erwachsenem und 6 m² pro Kind) wird aber deutlich, dass die zulässigen Belegungsraten so hoch sind, dass aus technischer Sicht auch schon bei niedrigerer Belegung eine deutlich erhöhte Gefahr von Schimmelbildung besteht (vgl. Kapitel 6.4.9). Die Wohnungsaufsichtsgesetze der Bundesländer sind zudem öffentlich-rechtliche Regelungen und haben daher keine unmittelbare Wirkung auf das (zivil-rechtliche) Mietrecht. Die Rechtsprechung der Instanzgerichte greift daher kaum auf die Grenzwerte der Wohnungsaufsichtsgesetze zurück. Vielmehr hat sich in der Instanzenrechtsprechung und mietrechtlichen Literatur eine Ansicht durchgesetzt, wonach die Frage, ob eine Überbelegung vorliegt, sich nach den Umständen des Einzelfalls richtet, ohne dass es hierzu feste Grenzwerte gibt. Nach dieser Auffassung soll in erster Linie das Verhältnis der Anzahl der

Zimmer und der Größe der Räume zu der Anzahl der Bewohner maßgebend sein aber auch das Alter der Bewohner und das Verhältnis der Bewohner zueinander (ob familiär verbunden oder nicht). Das Amtsgericht Kreuzberg meint, dass eine Überbelegung überhaupt erst ab einer Wohnfläche von unter 15 m² pro erwachsener Person bzw. zwei bis zu 12-jährigen Kindern oder bei über zwei Personen pro Zimmer in Erwägung gezogen werden könne [AG Thf.-Kreuzbg., 2014]. Das Amtsgericht München nimmt als Faustregel an, dass eine Überbelegung im mietrechtlichen Sinne noch nicht vorliege, wenn auf jede erwachsene Person oder auf je zwei Kinder bis zum 13. Lebensjahr ein Raum von jeweils ca. 12 m² entfällt oder durchschnittlich 10 m² pro Person bei der Unterbringung von Familien [AG München, 2015]. Auch diese Werte (10 bis 12 m² pro Erwachsenem und 5 bis 6 m² pro Kind) sind aber aus technischer Sicht immer noch bedenklich (vgl. Kapitel 6.4.9). Im Ergebnis führt diese unterschiedliche Definition in Grenzfällen dazu, dass eine aus technischer Sicht gegebene Überbelegung kein geeignetes Kriterium zur Lösung von Streitfällen ist. Entspricht nach Vorstehendem letztlich ein für den Gebäudeschaden ursächlicher Nutzereinfluss noch dem vertraglich zulässigen Mietgebrauch und hält der Mieter sich zudem an ihm gegebenenfalls zusätzlich wirksam übertragene Verhaltenspflichten, wie das regelmäßige Lüften, besteht keine Verantwortlichkeit des Mieters.

Beruhen Feuchtigkeits- und Schimmelschäden alleine nur auf Bauwerksschäden, etwa, weil aufgrund defekter Abdichtung der Gebäudehülle von außen Feuchtigkeit in die Bausubstanz eindringt, ist die rechtliche Bewertung noch einfach: Wenn nichts Anderes wirksam vereinbart ist oder der Mangel nicht bei Vertragsschluss bekannt war, liegt ein gewährleistungspflichtiger Mietmangel vor, den der Vermieter zu beseitigen hat und für dessen Folgen er haftet.

Ist die Ursache für den Feuchtigkeits- oder Schimmelschaden aber ein Feuchtigkeitseintrag innerhalb der Mieträume, kann kein universal anwendbares Lösungsschema für die Zuordnung der Verantwortlichkeit gegeben werden. Ob ein Mietmangel vorliegt, den der Vermieter zu beseitigen hat oder ein vom Mieter schuldhaft verursachter Schaden, richtet sich entsprechend den vorstehenden Ausführungen nach der gesetzlich oder vertraglich definierten Zuständigkeit für die Erhaltung der Mietsache, den Grenzen des zulässigen Mietgebrauchs und der – ggf. von der Baualtersklasse abhängigen – konstruktiven Tüchtigkeit der Gebäudesubstanz für diesen zulässigen Mietgebrauch und kann daher nur in jedem Einzelfall entschieden werden.

Dem beteiligten Sachverständigen kommt dabei die Aufgabe zu, die tatsächlichen Gegebenheiten unter Berücksichtigung dieser rechtlichen Kriterien aufzuklären, so dass alle technischen Fragen, die sich den beteiligten Juristen

stellen, beantwortet werden können. Neben der Aufklärung etwaiger konstruktiver Mängel sollte auch dargelegt werden, welches konkrete Nutzerverhalten ergänzend zu oder anstelle von konstruktiven Maßnahmen mindestens erforderlich wäre, um künftige Schimmelschäden zu vermeiden. Denn die Kenntnis des notwendigen konkreten Nutzerverhaltens zur Vermeidung von Schimmelschäden ist zwingende Voraussetzung einer rechtlichen Klärung der Frage, ob und welches konkrete Nutzerverhalten verlangt werden kann.

9.3.2 Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Verkäufer, Unternehmer oder Planer

Anders als den Vermieter trifft weder den Verkäufer eines bebauten Grundstücks noch den Bauträger oder das Bauunternehmen bzw. den Planer eine anhaltende Pflicht zur Erhaltung des einmal hergestellten bzw. veräußerten Gebäudes. Das Gebäude muss lediglich zum Zeitpunkt der werkvertraglichen Abnahme bzw. der Kaufvertraglichen Übergabe frei von Mängeln sein.

Die Probleme, die sich beim Mietverhältnis im Zusammenhang mit der Abnutzung bzw. dem Abwohnen des gemieteten Gebäudes oder der gemieteten Räume ergeben, entfallen daher weitestgehend, wenn wir die Rechtsbeziehungen zwischen Gebäudeeigentümer und Verkäufer, Bauträger, Bauunternehmer oder Planer betrachten.

Allerdings muss das verkaufte oder hergestellte Gebäude gleichwohl für den vereinbarten Nutzungszweck geeignet sein, es muss die Abnutzung oder das Abwohnen also innerhalb der üblichen Lebensdauer der einzelnen Bauteile oder Gewerke aushalten können. Zudem ist zwischen den Beteiligten häufig streitig, ob etwaige Mängel des Gebäudes auf mangelnder Wartung beruhen, für die grundsätzlich – sofern kein Wartungsvertrag z.B. mit dem Bauunternehmen besteht – der Gebäudeeigentümer zuständig ist.

Abgesehen von den hier nicht näher behandelten Fällen, in denen ein Dritter als Strohmann für den (späteren) Gebäudeeigentümer einen Kauf-, Bau- oder Planervertrag abschließt, ist bei allen im Folgenden betrachteten Rechtsbeziehungen der Gebäudeeigentümer der wirtschaftlich Geschädigte, wenn ein Gebäudeschaden besteht.

Er wird daher versuchen, den Verkäufer, Bauträger, Bauunternehmer oder Planer in Anspruch zu nehmen, um sich schadlos zu halten. Dabei führen allerdings nur konstruktive Ursachen des Schimmelschadens auch zu einem Anspruch des Gebäudeeigentümers. Denn wenn der Schaden auf einer eigenen Nutzung oder der Nutzung eines Dritten (z.B. des Mieters) beruht, die über das hinausgeht, für was das Gebäude nach der vertraglich vorausgesetz-

ten oder ausdrücklich vereinbarten Beschaffenheit konstruktiv geeignet sein muss, ist der Gebäudeeigentümer selbst verantwortlich.

Daraus wird die dem Streit mit dem Nutzungsrechtigem gleichende Interessenlage ersichtlich: Während einerseits der Gebäudeeigentümer einen konstruktiven Mangel nachzuweisen sucht, will andererseits der Verkäufer, Bauträger, Bauunternehmer oder Planer einen schuldhaften Nutzereinfluss oder einen Wartungsfehler belegen. Der beteiligte Sachverständige muss daher auch bei einer solchen Rechtsbeziehung alle möglichen Ursachen untersuchen.

Die folgenden Kapitel befassen sich daher vorrangig mit dem Gewährleistungsanspruch des Käufers eines bebauten Grundstücks bzw. Bestellers eines Bauwerks.

9.3.2.1 Der Grundstückskauf- und Bauträgervertrag

Der Kaufvertrag (§ 433 BGB) über ein bebautes Grundstück erfolgt durch beurkundungspflichtigen (§ 311 b BGB), also notariellen, Vertrag. Gegen Zahlung des Kaufpreises erfolgt die Eigentumsübertragung durch Eintragung im Grundbuch.

Der Verkäufer ist verpflichtet, dem Käufer die Kaufsache frei von Mängeln zu übergeben. Für die Beurteilung, ob ein Mangel vorliegt, kommt es also auf den Zeitpunkt der Übergabe an.

Ein Mangel der Kaufsache besteht dann, wenn diese nicht die vereinbarte Beschaffenheit aufweist, oder wenn sie sich nicht für die nach dem Vertrag vorausgesetzte Verwendung eignet (§ 434 BGB).

Für das Vorhandensein eines Mangels kommt es im Kaufrecht also wesentlich auf die Vereinbarung der Parteien an. Nicht in der Kaufvertragsurkunde enthaltene Vereinbarungen oder einseitige Zusagen des Verkäufers haben in aller Regel keine Verbindlichkeit [BGH, 2015-6], sie können allerdings ein Indiz dafür sein, was die Parteien als Beschaffenheit stillschweigend vorausgesetzt haben [OLG Brandenburg, 2014] und somit letztlich doch auf die geschuldeten Anforderungen Einfluss haben.

Dass die auf dem verkauften Grundstück aufstehenden und mitverkauften Gebäude also den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend errichtet wurden und eine Baugenehmigung vorliegt, entspricht im Normalfall der von den Kaufvertragsparteien stillschweigend vorausgesetzten Beschaffenheit, gilt also als vereinbart. Das Gleiche gilt für die Geeignetheit des Gebäudes für die beabsichtigte Nutzung, allerdings nur dann, wenn diese Nutzungsabsicht Gegenstand der vertraglichen Vereinbarungen ist. In der

Regel enthalten Grundstückskaufverträge daher zumindest eine Klarstellung, ob z. B. ein Wohngebäude, ein Bürohaus usw. verkauft wird.

Da ein Mangel der Kaufsache nur dann gegeben ist, wenn er bereits zum Zeitpunkt der Übergabe bestand, scheidet späteres Nutzerverhalten nach Übergabe als Mangelursache aus. Es wird allerdings dann relevant, wenn zwischen den Kaufvertragsparteien streitig ist, ob die Kaufsache für die vertraglich vereinbarte Verwendung geeignet war und ob das konkrete Nutzerverhalten noch dieser vertraglich vereinbarten Nutzung entsprach. So kann ganz ähnlich den bereits dargestellten mietrechtlichen Konstellationen beim Verkauf eines Wohngebäudes fraglich sein, ob ein später auftretender Schimmelschaden auf unüblichem und vertraglich nicht vorausgesetztem Nutzerverhalten beruht oder auf einem baulichen Mangel, der darin besteht, dass bei üblicherweise zu erwartendem Feuchtigkeitseintrag trotz üblichem und zumutbarem Lüftungsverhalten Schimmel entsteht.

Bei einem Mangel der Kaufsache hat der Käufer zunächst nur einen Anspruch auf Nacherfüllung, also Herstellung der Mangelfreiheit. Erst wenn eine zur Nacherfüllung gesetzte Frist fruchtlos abgelaufen ist, kann der Käufer Schadensersatz verlangen, den Kaufpreis mindern oder bei einem nicht nur unerheblichen Mangel auch vom Kaufvertrag zurücktreten (§ 437 BGB).

Mit Ausnahme des Schadensersatzanspruchs besteht eine verschuldensabhängige Gewährleistungshaftung des Verkäufers. Seine Haftung scheidet nur dann aus, wenn der Käufer selbst oder diesem zuzurechnende Dritte den Schaden verursacht haben.

Beim Kauf eines bebauten Grundstücks unterliegen diese Gewährleistungsrechte einer fünfjährigen Verjährungsfrist, beginnend mit der Übergabe des Grundstücks (§ 438 BGB).

Beim Verkauf bebauter Grundstücke von privat an privat werden zumeist pauschale Gewährleistungsausschlüsse vereinbart. Das bebaute Grundstück wird dann gekauft, wie es »steht und liegt« bzw. »wie gesehen«. In einem solchen Fall bestehen aber Gewährleistungsansprüche nur bei arglistigem Verschweigen eines dem Verkäufer bekannten und aufklärungspflichtigen Mangels oder bei Fehlen einer ausdrücklich zugesicherten Eigenschaft. Zudem umfasst ein pauschaler Gewährleistungsausschluss in der Regel auch einen Verstoß gegen eine ausdrückliche Beschaffenheitsvereinbarung nicht [BGH, 2015-6] und [BGH, 2016]. Ausdrückliche Beschaffenheitsvereinbarungen führen also bei einem vereinbarungswidrigen Zustand auch dann zu Gewährleistungsansprüchen, wenn die Gewährleistung allgemein ausgeschlossen ist.

Wird zum Beispiel ein Bestandsgebäude unter Ausschluss jeder Gewährleistung aber mit der Zusicherung »die Kellerwände sind zum Zeitpunkt des Kauf-

vertragsabschlusses dicht« verkauft und treten später Schimmelschäden auf, weil die Kelleraußenwände zu diesem Zeitpunkt nachweislich nicht dicht waren, haftet der Verkäufer trotz des allgemeinen Gewährleistungsausschlusses.

Im Geschäftsverkehr zwischen Unternehmen („B2B“) oder bei Beteiligung von Privatpersonen mit großem Immobilienbestand werden Grundstückskaufverträge heutzutage regelmäßig unter Einbeziehung einer „due diligence“-Prüfung abgeschlossen. Der Verkäufer stellt dabei einen Datenraum mit allen relevanten Unterlagen und Erkenntnissen zur Kaufsache zur Verfügung und beschränkt seine Haftung auf deren Vollständigkeit und Richtigkeit. Es ist dann Sache des Käufers, diese Unterlagen und die verkauften Grundstücke und Gebäude selbst einer genauen rechtlichen, steuerlichen und technischen Überprüfung zu unterziehen.

Eine besondere Vertragsform stellt der Bauträgervertrag (§ 650u BGB) dar, da dieser eine Mischform aus Grundstückskaufvertrag und Bauvertrag ist. Der Bauträger verkauft dem Erwerber ein in der Regel noch unbebautes – häufig nach dem Wohnungseigentumsgesetz geteiltes – Grundstück bzw. eine Eigentumswohnung und verpflichtet sich, ein Gebäude nach den Vorgaben einer vereinbarten Baubeschreibung zu errichten. Der Kaufpreis wird gem. § 650 v BGB nach den Vorschriften der Makler- und Bauträgerverordnung (MaBV) in Raten nach Baufortschritt gezahlt.

Die Gewährleistungsrechte im Bauträgervertrag hinsichtlich des zu errichtenden Gebäudes richten sich nach dem im Folgenden dargestellten Bauvertragsrecht. Ein vollständiger Gewährleistungsausschluss kommt hier nicht in Betracht.

9.3.2.2 Der Bauvertrag

Der Bauvertrag – bisher ein schlichter Unterfall des Werkvertrags – ist seit dem 01.01.2018 gesetzlich in den §§ 650 a ff. BGB geregelt. Eine weitere wesentliche Rechtsquelle waren bisher wegen der ungenügenden Regelungstiefe im Gesetz die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil B (VOB/B), die auch in vielen Bauverträgen zwischen Privatunternehmen und teilweise auch in Verbraucher-Bauverträgen einbezogen war. Ob die Neuregelung des Bauvertragsrechts dies künftig ändert, bleibt abzuwarten.

Im Rahmen des Bauvertrages verpflichtet sich der Unternehmer (in der VOB/B: der Auftragnehmer) gegenüber dem Besteller (Auftraggeber) zur Herstellung, Wiederherstellung, Beseitigung oder Umbau eines Bauwerks, einer Außenanlage oder eines Teils davon. Da zudem auch die Instandhaltung eines Bauwerks Gegenstand eines Bauvertrages sein kann, unterliegen auch viele Handwerkerleistungen dem Bauvertragsrecht – im Übrigen dem Werkver-

tragsrecht, das hinsichtlich der Gewährleistungshaftung ähnlich ausgestaltet ist. Eine bestimmte Form muss beim Bauvertrag nicht eingehalten werden, er kann theoretisch also auch mündlich abgeschlossen werden.

Für die so vereinbarte Bauleistung schuldet der Besteller die vereinbarte Vergütung, entweder pauschal oder aufgrund eines Aufmaßes nach Massen und Einheitspreisen abgerechnet. Zusätzliche oder geänderte Leistungen, die ursprünglich nicht geschuldet waren, kann der Besteller unter bestimmten Voraussetzungen anordnen, muss diese dann aber im Rahmen eines Vergütungsnachtrags bezahlen. Von großer praktischer Bedeutung sind im Bauvertrag die Abschlagszahlungen nach Baufortschritt (§ 632 a BGB, im Bauträgervertrag entsprechend den Raten des § 3 MaBV) und die Bauhandwerkersicherheiten nach §§ 650 e und f BGB.

Welche Bauleistung konkret geschuldet ist, richtet sich nach den vertraglichen Vereinbarungen. Diese können vom einfachen Global-Pauschalvertrag, in dem die geschuldete Bauleistung nur grob funktional beschrieben ist, bis hin zum Einheitspreisvertrag mit detaillierten Leistungsverzeichnissen reichen. Beim Verbraucherbauvertrag (inkl. Bauträgervertrag) richtet sich seit 01.01.2018 der Mindestinhalt der Leistungsbeschreibung (Baubeschreibung) nach Art. 249 § 2 EGBGB (§ 650 j BGB). Ist dieser Mindestinhalt nicht gegeben, gehen alle etwaigen Auslegungsrisiken wegen vertraglicher Lücken zulasten des Bauunternehmers bzw. Bauträgers.

Wie beim Grundstückskaufvertrag kommt es also bei der Frage, ob ein Mangel der Bauleistung vorliegt, zunächst entscheidend auf die vertraglichen Vereinbarungen an.

Ein Mangel der geschuldeten Bau- oder Werkleistung liegt aber nicht nur vor, wenn das Werk nicht die vereinbarte Beschaffenheit hat, sondern auch, wenn es sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte oder gewöhnliche Verwendung nicht eignet (§ 633 BGB). Daher ist auch die im Vertrag nicht ausdrücklich erwähnte übliche Beschaffenheit von erheblicher Bedeutung bei der Beurteilung eines Baumangels.

Ist Gegenstand der Bauleistung nicht die Neuherstellung eines Bauwerks, sondern die Sanierung oder Modernisierung eines Bestandsgebäudes, spiegeln sich Probleme mit der vorausgesetzten Geeignetheit der bestellten Bauleistung für die bestehende Verwendung des Gebäudes in den häufig problematischen Sanierungsfällen wider: Die Einhaltung der EnEV oder die KfW-gerechte Sanierung der Gebäudehülle verlangt zusätzliche Dämmmaßnahmen des Bestandsgebäudes. Kommt es dann zu Schimmel- oder Feuchtigkeitserscheinungen in den Wohnungen wegen des nachträglichen Einbaus dichtschließender Fenster [LG Gießen, 2014], besteht ein gewährleistungspflichtiger Mangel der

vermieteten Räume. Dem Gebäudeeigentümer bleibt dann nur der Regress beim Unternehmer, der je nach Umständen verpflichtet war, auf Bedenken oder Gefahren hinzuweisen.

Zu dieser geschuldeten üblichen Beschaffenheit gehört immer, dass das Werk den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Dies sind diejenigen Prinzipien und Lösungen, die in der Praxis erprobt und bewährt sind und sich bei der Mehrheit der Praktiker durchgesetzt haben [BVerwG, 1996], bzw., »*diejenigen technischen Regeln für den Entwurf und die Ausführung baulicher Anlagen, die in der technischen Wissenschaft als theoretisch richtig erkannt sind und feststehen sowie insbesondere in dem Kreise der für die Anwendung der betreffenden Regeln maßgeblichen, nach dem neuesten Erkenntnisstand vorgebildeten Techniker durchweg bekannt und aufgrund fortdauernder praktischer Erfahrung als technisch geeignet, angemessen und notwendig anerkannt sind.*« [Kniffka, 2008]. Daher sind allgemein anerkannte Regeln der Technik weder mit den DIN-Normen oder anderen geschriebenen technischen Regelwerken gleichzusetzen, da diese zeitlich verzögert in Kraft treten, d. h. »hinterherhinken« können [BGH, 2013-2]. Dabei kommt es auch nicht auf die persönliche Meinung oder die subjektive Erfahrung eines einzelnen Sachverständigen an, sondern auf die überwiegende Anzahl der relevanten bundesweiten Verkehrskreise [BGH, 2004-3]. Um sie im Einzelfall rechtssicher bestimmen zu können, bedarf es folglich unter Umständen einer umfassenden Erhebung von Meinungen und Ansichten.

Inwieweit die Vorschriften des öffentlichen Rechts, wie die Regelungen der Landesbauordnungen oder der EnEV, Teil der allgemein anerkannten Regeln der Technik sind, ist umstritten, da im Bauvertrag grundsätzlich die Planungshoheit beim Besteller liegt. Der Besteller entscheidet daher, ob das von ihm geplante Bauwerk den Vorgaben der Baugenehmigung oder des öffentlichen Rechts genügen soll oder nicht. Man wird aber auch bei Planung durch den Besteller grundsätzlich erwarten dürfen, dass der Bauunternehmer oder Handwerker auf Bedenken hinweist, wenn er einen Verstoß gegen öffentliches Recht erkennt. Liegt die Planungshoheit allerdings beim Bauunternehmer oder Handwerker, wie bei rein funktional ausgeschriebenen Leistungen, schuldet er auch die Einhaltung einschlägiger öffentlicher Vorschriften [KG Berlin, 2014].

Im Rahmen eines Bauträger- oder Schlüsselfertigbauvertrages kommt zudem den vom Besteller bzw. Erwerber billigerweise zu erwartenden ungeschriebenen Qualitäts- und Komfortstandards eine erhebliche Bedeutung zu. Denn Qualitätsanforderungen können sich nicht nur aus dem Vertragstext, sondern auch aus sonstigen vertragsbegleitenden Umständen, den konkreten Verhältnissen des Bauwerks und seines Umfelds, dem qualitativen Zuschnitt, dem architektonischen Anspruch und der Zweckbestimmung des Gebäudes er-

geben [BGH, 2013-2]. Dies ist regelmäßig der Qualitäts- und Komfortstandard vergleichbarer und zeitgleich fertig gestellter oder abgenommener Gebäude [BGH, 2009].

Ein Mangel des Bauwerks liegt auch immer dann vor, wenn es nicht die erwartete Funktionstauglichkeit aufweist [BGH, 2007]. Dies gilt auch, wenn diese Funktionstauglichkeit nicht ausdrücklich im Vertrag erwähnt oder eine bestimmte Ausführungsart vereinbart ist. Ein Dach beispielsweise muss immer dicht sein [BGH, 1999]. Der Unternehmer schuldet auch dann die Funktionalität des Bauwerks, wenn die Planungshoheit beim Besteller liegt. Der Unternehmer hat dann auf Bedenken hinsichtlich der vorgegebenen Planung oder der Anordnungen des Bestellers hinzuweisen [BGH, 2007]. Dies gilt sowohl nach dem Bauvertragsrecht des BGB als auch nach den VOB/B (§§ 4 Abs. 3, 13 Abs. 3 VOB/B).

Vereinbaren die Parteien allerdings – ggf. nach entsprechendem Hinweis des Unternehmers auf Lücken oder Fehler in der Leistungsbeschreibung bzw. den Bauplänen – ausdrücklich und im vollen Bewusstsein über die damit einhergehende Qualitätseinbuße eine Beschaffenheit, die hinter den Erwartungen an die übliche Beschaffenheit zurückbleibt (»Beschaffenheitsvereinbarung nach unten«), ist der Unternehmer von der Haftung im Umfang der Vereinbarung befreit. Eine »Beschaffenheitsvereinbarung nach unten« ist aber nicht schon dann gegeben, wenn – wie meist – zur Kostensparnis günstigere Varianten der Bauausführung vereinbart werden. Denn auch bei einem günstigen Preis hat der Besteller Anspruch auf ein mangelfreies und der Funktionalitätserwartung entsprechendes Bauwerk.

Ein häufiges Argument der Bauunternehmer gegen die drohende Gewährleistungspflicht ist die vermeintlich mangelnde Wartung wartungsbedürftiger Teile der neu hergestellten Bauleistung seitens des Bestellers.

Nach § 13 Abs. 4 Nr. 2 VOB/B gilt bei Bauverträgen mit wirksamer Einbeziehung der VOB/B eine kürzere Gewährleistungsfrist, wenn der Auftraggeber keinen Wartungsvertrag mit dem Auftragnehmer abgeschlossen hat. Daraus schließt so mancher Bauunternehmer bzw. Handwerker, eine Gewährleistung für wartungsbedürftige Bauteile entfalle ganz. Dies ist falsch: Die Gewährleistungspflicht besteht für wartungsbedürftige Teile des Bauwerks ebenso wie für alle anderen Gewerke und ganz unabhängig vom Abschluss eines Wartungsvertrags mit dem Unternehmer.

Zunächst ist in diesem Zusammenhang zu klären, welche Bauteile in diesem Sinne wartungsbedürftig sind und welche nicht. Während die VOB/B ausdrücklich nur Teile von maschinellen und elektrotechnischen/elektronischen Anlagen nennt, gibt es eine Vielzahl weiterer Bauteile, die einem mehr oder

weniger intensiven Wartungsbedarf unterliegen, wie z.B. elastische Fugen, Holzelemente oder Beschichtungen. Dies bedeutet allerdings nicht, dass eine Gewährleistungspflicht des Unternehmers bei solchen Bauteilen per se ausscheidet, nur, weil der Besteller bzw. Erwerber keine regelmäßige Wartung durchgeführt hat. Zunächst gilt dies immer dann, wenn feststeht, dass die fehlende Wartung keinerlei ursächlichen Zusammenhang mit dem Schaden am Gebäude bzw. Bauteil aufweist.

Beruht ein Feuchtigkeits- oder Schimmelschaden beispielsweise auf einer Silikonfuge, die zwei bis drei Jahre nach der Abnahme versagt hat, stellt sich zudem die Frage, wie lange eine solche Wartungsfuge tatsächlich halten muss.

Ein gewährleistungspflichtiger Mangel der Bauleistung besteht aber auch dann, wenn unüblich verkürzte Wartungsfristen gegeben sind, das Bauteil also schon zu einem Zeitpunkt der Wartung bedarf, zu dem üblicherweise ein Wartungsaufwand noch nicht erforderlich ist. Es geht in diesen Fällen also um eine herabgesetzte Haltbarkeit der verwendeten Baumaterialien oder Bauteile bzw. eine erhöhte – ggf. gar geplante – Obsoleszenz.

Auch wenn der Besteller die Instandhaltung bzw. Instandsetzung des neu hergestellten oder sanierten Bauwerks an einen nutzungsberechtigten Dritten, z.B. Mieter, überträgt, bleibt er im Verhältnis zum Unternehmer dem Einwand mangelnder Wartung ausgesetzt, sodass ein Streit über die Durchführung der gegebenenfalls gebotenen Wartung oftmals auf mehreren Ebenen ausgetragen wird.

Relevanter Zeitpunkt für die Beurteilung der Mangelfreiheit des Bauwerks ist dessen rechtsgeschäftliche Abnahme im Sinne des § 640 BGB [BGH, 1998], nicht also der Zeitpunkt des Bauantrags oder der Baugenehmigung. Der Unternehmer schuldet zum Zeitpunkt der Abnahme daher – unter Umständen aber nur gegen Zusatzvergütung – einen höheren Standard als ursprünglich geplant, wenn die einschlägigen technischen Regelwerke oder öffentlich-rechtlichen Vorschriften zwischenzeitlich angepasst wurden. Ist der Unternehmer wegen eines Mangels zur Nacherfüllung verpflichtet und kommt es in der Nacherfüllungsphase zu einer Erhöhung der geschuldeten Standards, sind auch diese einzuhalten [OLG Stuttgart, 2012].

Auch für den Beginn der Gewährleistungsfristen ist grundsätzlich der Zeitpunkt der Abnahme ausschlaggebend. Die Frist beträgt bei Bauwerken 5 Jahre (§ 634 a Abs. 1 Nr. 2 BGB). Eine Verkürzung dieser im Gesetz festgelegten Gewährleistungsfrist kann formalmäßig nur in engen Grenzen vereinbart werden und scheidet bei Verbraucher-Bauverträgen regelmäßig aus, ebenso wie ein Verweis auf die kürzeren Fristen nach § 13 Abs. 4 VOB/B. Denn die VOB/B sind selbst nur Allgemeine Geschäftsbedingungen und nach § 310

Abs. 1 BGB nur bei Verwendung gegenüber einem Unternehmen oder der öffentlichen Hand privilegiert.

Die Gewährleistungspflicht des Unternehmers ist – abgesehen vom Schadensersatzanspruch – verschuldensunabhängig. Ist der Mangel nicht durch den Besteller selbst oder einen diesem zuzuordnenden Dritten verschuldet worden, haftet der Unternehmer für die Beseitigung. Dies gilt im Rahmen des BGB-Bauvertrags (zum Teil abweichend: §7 VOB/B) insbesondere auch bei Beschädigung oder Zerstörung des Bauwerks durch Naturgewalten, solange es noch nicht abgenommen wurde und somit noch kein Gefahrenübergang stattgefunden hat (§ 644 BGB).

Eine gewisse Entschärfung hat das neue Bauvertragsrecht seit dem 01.01.2018 für den Unternehmer gebracht, der mangelhafte Materialien einbaut, die ihm wiederum durch einen Lieferanten verkauft wurden. Nunmehr kann der Unternehmer auch in diesem Fall unter den Voraussetzungen des § 439 Abs. 3 BGB Regress bei seinem Lieferanten auch für die meist erheblichen Kosten des Aus- und Wiedereinbaus nehmen.

Der Besteller muss zunächst den Mangel anzeigen und eine angemessene Frist zur Mängelbeseitigung setzen. Erst wenn diese fruchtlos abgelaufen ist, stehen ihm weitere Rechte wie Minderung, Kostenvorschuss oder Erstattung der Kosten der Ersatzvornahme oder Schadensersatz zu. Vor einer mangelbedingten Kündigung muss diese angedroht werden.

9.3.2.3 Der Planervertrag

Die Ursachen für durch Mängel der Bauleistung hervorgerufene Feuchtigkeits- oder Schimmelschäden liegen oft nicht nur in einer fehlerhaften Bauausführung oder dem Einbau mangelhaften Materials, sondern auch in der Planungsleistung der beteiligten Architekten und Ingenieure.

Je nachdem, ob der Bestseller selbst die Planung des Bauwerks erbringt oder diese vom Unternehmer kommt, wird der eine oder der andere bei einem Baumangel den planenden Architekten oder Ingenieur in Anspruch nehmen wollen. Schuldet der Architekt auch die Bauüberwachung der durch den Unternehmer ausgeführten Leistungen, haftet er zudem – und zwar entsprechend der umfangreichen Judikatur sehr streng – neben dem ausführenden Unternehmer. Seit dem 01.01.2018 ist die Haftung neben dem bauausführenden Unternehmer teilweise subsidiär (§ 650 t BGB).

Gesetzliche Grundlage des Planervertrags ist das Werkvertragsrecht des BGB, seit dem 01.01.2018 speziell die Regelungen der §§ 650 p BGB ff. Die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) ist hingegen gewerb-

liches Preis- und Wettbewerbsrecht und enthält lediglich Regelungen zur Berechnung der zulässigen Höchst- und Mindesthonorare, innerhalb deren Grenzen die Vergütung des Architekten vollkommen frei vereinbart werden kann, nicht nur was die Höhe, sondern auch, was die Vergütungsstruktur anbelangt. Erst durch vertragliche Einbeziehung der HOAI erhält diese eine weitergehende Bedeutung in der Rechtsbeziehung zwischen Auftraggeber und Architekt bzw. Ingenieur. Im Übrigen ist seit der Entscheidung des EuGH vom 04.07.2019 [EuGH, 2019] zumindest fraglich, ob die Höchst- und Mindestsätze der HOAI weiterhin Gültigkeit haben.

Aufgrund der Verweisung auf die Regelungen des allgemeinen Werkvertragsrechts in § 650 g BGB kann hinsichtlich des Planungs- bzw. Überwachungsmangels weitestgehend auf die obenstehenden Ausführungen zum Gewährleistungsanspruch im Bauvertragsrecht verwiesen werden.

Ein wesentlicher Unterschied zum Bauvertrag besteht bei der dort obligatorischen Fristsetzung zur Nachbesserung durch den Auftraggeber: Hat sich ein Planungsmangel im Bauwerk bereits verwirklicht ist die Fristsetzung gegenüber dem Planer entbehrlich, denn die Erstellung einer mangelfreien Planung führt nicht zur Behebung des eigentlichen Problems, des Baumangels. In diesen Fällen schuldet der Architekt bzw. Ingenieur Schadensersatz.

Auch im Rahmen des Architekten- bzw. Ingenieurvertrages beginnt die – ebenfalls fünfjährige – Gewährleistungsfrist mit der Abnahme des Architektenwerks (nicht: des Bauwerks). Da die Abnahme eine Fertigstellung der gesamten Planungs- bzw. Überwachungsleistung voraussetzt, kann dies im Rahmen der Bauüberwachung und insbesondere der Baubetreuung zu einer nahezu endlosen Gewährleistungshaftung führen, denn diese Leistungsphasen umfassen u. a. die Überwachung von Mängelbeseitigungsmaßnahmen der bauausführenden Unternehmen bzw. die Überprüfung auf Baumängel vor Ablauf der Gewährleistungsfristen der bauausführenden Unternehmen.

Die üblichen Architekten- bzw. Ingenieurverträge sehen daher Teilabnahmen nach einzelnen Leistungsphasen vor. Zudem besteht nunmehr auch ohne ausdrückliche vertragliche Vereinbarung gemäß § 650 s BGB Anspruch auf Teilabnahme der bis dahin erbrachten Planungs- bzw. Überwachungsleistungen, nachdem die Leistungen der bauausführenden Unternehmen abgenommen wurden.

9.3.3 Rechtsbeziehung zwischen Gebäudeeigentümer und Versicherung

Scheitert eine Inanspruchnahme des Nutzungsberechtigten, weil ein Schimmelshaben nicht auf einem vertragswidrigen oder unüblichen Gebrauch beruht, und scheiden zudem Gewährleistungsansprüche gegenüber Verkäufer oder Unternehmen aus, rücken Ansprüche des Gebäudeeigentümers gegen die eigene Gebäudeversicherung in den Fokus.

Trägt der Mieter im Rahmen der abgewälzten Betriebskosten auch (anteilig) die Prämien der Gebäudeversicherung, ist der Vermieter auch bei leicht fahrlässig durch den Mieter verursachten Schäden gehalten, die eigene Gebäudeversicherung in Anspruch zu nehmen, sofern ein versicherter Schaden eingetreten ist [BGH, 2014]. In einem solchen Fall ist der Gebäudeversicherungsvertrag so auszulegen, dass die Versicherung trotz Schadensverursachung auf einen Regress beim Mieter verzichtet [BGH, 2006].

Ist der Gebäudeschaden aber durch den Mieter mit einem höheren Verschuldengrad verursacht worden, scheidet die Deckung durch die Gebäudeversicherung aus. Für den Schaden haftet dann der Mieter bzw. – sofern vorhanden und verpflichtet – dessen Haftpflichtversicherung.

Die Verpflichtung des Mieters zum Abschluss einer Haftpflichtversicherung findet sich daher in den meisten Mietverträgen. Im Rahmen des Wohnraum-Mietverhältnisses ist dies allerdings problematisch, da hierdurch neben der Vereinbarung einer Mietsicherheit unter Verstoß gegen § 551 Abs. 4 BGB eine weitere Sicherheit vereinbart wird, was die Sicherungsabrede unwirksam macht [LG Berlin, 1992].

Ob und in welcher Höhe nach den jeweils einbezogenen Versicherungsbedingungen ein deckungspflichtiger Versicherungsschaden sowohl im Rechtssinne als auch rein tatsächlich vorliegt, ist in der Praxis nicht selten Gegenstand langwieriger Auseinandersetzungen unter Beteiligung von Versicherungssachverständigen. Dabei kann es sich im Einzelfall für den geschädigten Gebäudeeigentümer durchaus empfehlen, aus Gründen der Waffengleichheit einen eigenen Sachverständigen hinzuzuziehen.

9.4 Außergerichtliche Streitbeilegung unter Beteiligung eines Sachverständigen

Hohe Prozesskosten und die Unwägbarkeiten gerichtlicher Verfahren führen dazu, dass die außergerichtliche Streitbeilegung im Rahmen eines förmlichen Schlichtungs- oder Schiedsverfahrens in der Praxis zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Nicht selten vereinbaren die Beteiligten für den Fall später auftretender Streitigkeiten schon im zugrundeliegenden Vertrag (Mietvertrag, Kaufvertrag usw.) eine Schlichtung. Solche Schieds- oder Schlichtungsvereinbarungen können aber auch jederzeit nachträglich geschlossen werden, wenn Probleme auftreten und die Beteiligten eine gerichtliche Auseinandersetzung vermeiden wollen. In wenigen Ausnahmefällen, wie z.B. nachbarrechtlichen Streitigkeiten, sind Schlichtungsverfahren von Gesetzes wegen obligatorisch. Der Weg zur ordentlichen Gerichtsbarkeit ist dann nur eröffnet, wenn die Parteien zuvor einen Schlichtungsversuch unternommen haben.

In der Wahl der zugrundeliegenden Schiedsregeln sind die Parteien – ausgenommen bei den obligatorischen Schlichtungsverfahren -frei. Sie können ein echtes schiedsgerichtliches Verfahren nach den Regelungen der §§ 1025 ff. ZPO vereinbaren, sich nach Regelungen richten, die Schlichter, Mediatoren oder Sachverständige vorschlagen (z.B. den Schlichtungsordnungen anerkannter Schlichtungsstellen bzw. Verbraucherschlichtungsstellen, der Schiedsgerichtsbarkeitsordnung der Institution für Schiedsgerichtsbarkeit e.V. usw.) oder eigene Regeln individuell aushandeln. Während das echte schiedsgerichtliche Verfahren nach den §§ 1025 ff. ZPO ein ordentliches Gerichtsverfahren grundsätzlich ausschließt, sollten die Parteien in allen übrigen Fällen immer auch festlegen, ob der Schieds- oder Schlichtungsspruch sie endgültig binden oder der spätere Weg zur ordentlichen Gerichtsbarkeit weiterhin möglich bleiben soll, wenn eine der Parteien mit dem Ergebnis der Schlichtung unzufrieden ist.

Die Parteien können einem Sachverständigen im Rahmen der Schieds- oder Schlichtungsvereinbarung unterschiedliche Aufgaben zuordnen. Angefangen von einer Begutachtung, die lediglich in die spätere abschließende Vereinbarung der Parteien einfließen soll, bis hin zur Bestimmung des Sachverständigen als Schiedsgutachter oder Schlichter, der durch einen eigenen Schieds- oder Schlichtungsspruch den Streit endgültig zugunsten der einen oder anderen Partei beilegt.

Dabei können die Parteien einen Sachverständigen selbst im Rahmen der Schieds- oder Schlichtungsvereinbarung einvernehmlich bestimmen oder die

Bestimmung einer dritten Stelle überlassen, wie z.B. der örtlichen IHK oder der Architekten- und Ingenieurkammer.

Wann immer einem Sachverständigen vertraglich ein Bestimmungsrecht und/oder Entscheidungsrecht eingeräumt wird, gelten zusätzlich zu den Vereinbarungen der zugrundeliegenden Schieds- oder Schlichtungsvereinbarung die Regelungen der §§ 317 ff. BGB. Von praktischer Bedeutung ist insoweit vor allem § 319 Abs. 1 BGB, wonach die Entscheidung des Sachverständigen unverbindlich ist, wenn sie »offenbar unbillig« ist, was z.B. der Fall ist, wenn ein Gutachten in grober Weise gegen wissenschaftlich-methodische Grundsätze verstößt, ein Schlichtungsspruch offenkundig und ohne nachvollziehbare inhaltliche Begründung einseitig ist oder persönliche oder sonstige Gründe eine Befangenheit des Sachverständigen (auf welche grundsätzlich hinzuweisen ist) nahelegen. Nach § 319 BGB kann die »offenbar unbillige« Bestimmung oder Entscheidung eines Sachverständigen auch dann gerichtlich überprüft werden, wenn die Parteien den Weg zu den ordentlichen Gerichten eigentlich ausgeschlossen haben.

9.5 Prozessrechtliche Rahmenbedingungen

Misslingen Versuche zur außergerichtlichen Streitbeilegung oder sind solche von den Beteiligten gar nicht gewünscht, bleibt bei Streitigkeiten über Schimmelbeschäden oft nur noch der Weg zum Gericht.

Welcher der Beteiligten dabei den ersten Schritt macht, ob Vermieter oder Mieter, Käufer oder Verkäufer, Versicherungsnehmer oder Versicherer usw., bleibt dabei egal. Die jeweils andere Partei, Beklagter oder Antragsgegner, kann sich dem gerichtlichen Verfahren nicht entziehen und die – ggf. erst nach mehreren Instanzen rechtskräftige – Entscheidung des Gerichtes bindet beide Seiten endgültig.

Bei Auseinandersetzungen über Umfang und Ursache von Schimmelbeschäden sind in aller Regel die Zivilgerichte zuständig. Nur in seltenen Ausnahmefällen tangieren solche Probleme das öffentlich-rechtliche Verhältnis zwischen Bürger und Staat oder gar strafrechtliche Fragen und gehören dann in die Zuständigkeit der Verwaltungs- oder Strafgerichtsbarkeit.

Abhängig vom – im Zweifel durch das Gericht zu schätzenden – Streitwert sind die örtlichen Amts- oder Landgerichte als Eingangsinstanz zuständig. In Auseinandersetzungen aus Wohnraum-Mietverhältnissen, in Angelegenheiten zwischen Mitgliedern einer Wohnungseigentümergemeinschaft oder in nachbarrechtlichen Angelegenheiten sind unabhängig vom Streitwert immer die

Amtsgerichte in erster Instanz zuständig. Der Instanzenzug bei Anfechtung gerichtlicher Entscheidungen (z. B. Berufung oder Revision) erstreckt sich dann je nach Eingangsinstanz über die Land- und Oberlandesgerichte (in Berlin: Kammergericht) bis hin zum Bundesgerichtshof als dritte und letzte Instanz, wobei die Zivilprozessordnung im Einzelnen regelt, ob und unter welchen Voraussetzungen Rechtsmittel gegen gerichtliche Entscheidungen möglich sind, was keineswegs bei jeder gerichtlichen Entscheidung der Fall ist.

Die Zivilprozessordnung kennt zahlreiche Verfahrensarten, unter denen dem streitigen Klageverfahren und dem selbstständigen Beweisverfahren die höchste praktische Bedeutung zukommen.

9.5.1 Selbständiges Beweisverfahren

Während das streitige Klageverfahren mit einem (ggf. auch nur teilweise) ob-siegenden bzw. unterliegendem Urteil des Gerichtes endet, ergeht am Ende eines selbstständigen Beweisverfahrens keine Entscheidung des Gerichtes, die die Rechtsstreitigkeit der Prozessparteien abschließend regelt. Das selbstständige Beweisverfahren dient lediglich der für die Prozessparteien verbindlichen Beweiserhebung, beispielsweise durch einen gerichtlich bestellten Sachverständigen, und kann somit helfen, ein streitiges Verfahren zu vermeiden.

Wird zum Beispiel im Rahmen eines selbstständigen Beweisverfahrens zwischen Bauträger und Käufer einer Eigentumswohnung durch den gerichtlich bestellten Sachverständigen festgestellt, dass ein Schimmelschaden keine nutzerbedingten Ursachen hat, sondern auf einem Baumangel beruht, werden die Prozessparteien gut beraten sein, nicht weiter zu streiten, wenn neben dieser tatsächlichen/technischen Frage keine weiteren Rechtsfragen (wie z. B. die Verjährung des Gewährleistungsanspruchs) im Raum stehen.

Gleichwohl kann das selbständige Beweisverfahren auf Wunsch einer der Prozessparteien in ein streitiges Klageverfahren übergeleitet werden und endet dann mit einem Urteil. In der Praxis dient das Ergebnis eines selbstständigen Beweisverfahrens den Prozessparteien aber häufig als Ausgangspunkt für eine gerichtliche Streitbeilegung, also einen gerichtlichen Vergleich.

Aus Sicht mancher Beteiligter bietet das selbständige Beweisverfahren gegenüber einem außergerichtlichen Schlichtungs- oder Schiedsverfahren unter Beteiligung eines Sachverständigen den Vorteil, dass der Sachverständige durch das Gericht ausgewählt und in seiner Tätigkeit nach Maßgabe der §§ 404 a ff. ZPO einer gewissen gerichtlichen Überwachung und Kontrolle unterliegt (vgl. auch Kapitel 9.5.5).

9.5.2 Gerichtliche Streitbeilegung

Ganz unabhängig von der prozessualen Verfahrensart soll aber auch das Gericht in jeder Lage des Verfahrens auf eine gütliche Einigung der Parteien hinwirken (§ 278 Abs. 1 ZPO).

Auch im streitigen Klageverfahren ist daher mit der ersten mündlichen Verhandlung immer auch eine Güteverhandlung verbunden, also der Versuch des Gerichtes, beide Parteien zu einer Einigung im Rahmen eines gerichtlichen Vergleiches zu bewegen. Zudem eröffnen die Gerichte den Parteien die Möglichkeit, freiwillig an einer gerichtlichen Mediation teilzunehmen.

Auch im Rahmen von gerichtlichen Einigungsversuchen können die Parteien ähnlich wie bei der außergerichtlichen Streitbeilegung die Hinzuziehung eines Sachverständigen vereinbaren, der tatsächliche bzw. technische Fragen im Vorfeld weiterer Einigungsgespräche abklärt oder nach erfolgter Einigung einzelne Punkte zugunsten der einen oder anderen Partei abschließend bestimmt.

Gelingt die gerichtliche Streitbeilegung, endet das gerichtliche Verfahren mit einem gerichtlichen Vergleich, der wie ein rechtskräftiges Urteil abschließend und auch vollstreckbar ist.

9.5.3 Streitverkündung

Vor allem in Bauprozessen, aber auch in Miet- oder Versicherungsstreitigkeiten kommt der Streitverkündung (§§ 72 ff. ZPO) hohe praktische Bedeutung zu. Durch die Streitverkündung einer Prozesspartei wird ein bisher am gerichtlichen Verfahren nicht beteiligter Dritter (der freilich aber zumindest aus Sicht des Streitverkünders irgendwie an dem Streit beteiligt sein muss) zum Nebenintervenienten, also quasi zu einer weiteren Prozesspartei. Dies hat zur Folge, dass Feststellungen des Gerichtes auch dem Streitverkündeten gegenüber wirksam sind.

Die Konstellationen, in denen für die eine oder andere Prozesspartei eine Streitverkündung sinnvoll ist, sind mannigfaltig. Ein Beispiel soll das Prinzip verdeutlichen:

Vermieter V hat vom Bauträger B eine Eigentumswohnung erworben und diese an den Mieter M vermietet. M mindert die Miete und rügt Feuchtigkeitsniederschlag und starke Schimmelbildung im Bereich der Dachflächenfenster. V verklagt B auf Mängelbeseitigung und verkündet M den Streit. Im Prozess zwischen V und B bestellt das Gericht einen Sachverständigen, der feststellt, dass Feuchtigkeit und Schimmel nicht auf einem Baumangel beruhen, sondern auf unzureichendem Lüftungsverhalten und auf der Tatsache, dass M die Wäsche im Dachgeschoß regelmäßig zum Trocknen aufhängt.

V verliert deshalb zwar den Prozess mit B, kann aber von M die geminderte Miete zurückverlangen. Sollte es in diesem Zuge zu einem weiteren Prozess zwischen V und M kommen, kann M sich wegen der Bindungswirkung der Streitverkündung nicht mehr auf einen Baumangel berufen.

9.5.4 Darlegungs- und Beweislast

Bei der streitigen Entscheidung von gerichtlichen Verfahren, z.B. Klageverfahren oder Verfahren in einstweiligen Verfügungssachen, spielt die Beweislast eine ganz erhebliche Rolle.

Das Gericht kennt in aller Regel die Umstände, über die die Prozessparteien streiten, nicht aus eigener Wahrnehmung. Deshalb müssen die Prozessparteien tatsächliche Umstände, die streitig sind, etwa die Ursache einer Schimmelbildung oder der Grad an Gesundheitsgefahr, die von einem Schimmelbefall ausgeht, beweisen (in Antragsverfahren auch: glaubhaft machen).

Damit das Gericht einem Beweisantritt überhaupt nachgeht, müssen die zugrunde liegenden Tatsachen substanziert, also detailliert und nachvollziehbar, dargelegt sein. Eine Ausforschung von Tatsachen durch das Gericht findet also im Grundsatz nicht statt. Man spricht diesbezüglich von der Darlegungslast.

Ein oberflächlicher, pauschaler und somit nicht substanziierter Vortrag kann wegen Verstoßes gegen die Darlegungslast für sich schon zum Unterliegen im Prozess führen. Zu diesem Grundsatz gibt es allerdings Ausnahmen. Eine der wichtigsten bildet die Symptom-Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs, wonach bei einem Baumangel keine Darlegung zu den möglichen Ursachen eines Schadens (dem Mangelsymptom) erfolgen muss. Wird ausreichend zum Mangelsymptom vorgetragen, muss das Gericht die Ursache – in der Regel unter Hinzuziehung eines gerichtlich bestellten Sachverständigen – ergründen.

Umgekehrt entbindet aber auch ein detaillierter und fundierter Vortrag das Gericht nicht von der Pflicht, Beweis über streitige Tatsachen zu erheben. Deshalb genügt es auch nicht, wenn eine Prozesspartei im Verfahren ein schon zuvor außergerichtlich eingeholtes Gutachten (sogenannte Parteigutachten) vorlegt, um ihrer Darlegungs- und Beweislast zu genügen. Greift die Gegenpartei ein Parteigutachten inhaltlich an, d.h. stellt dieses streitig, dann muss das Gericht auf Beweisantritt der Gegenpartei ein weiteres – gerichtlich bestelltes – Gutachten einholen. Da nicht selten zwei Sachverständige unterschiedliche Meinungen haben, kann dies zu prozessualen Unwägbarkeiten führen.

Ebenso, wie die Darlegungslast trägt auch die Beweislast im Grundsatz diejenige Prozesspartei, für die die behauptete streitige Tatsache günstig ist.

Tritt die beweisbelastete Prozesspartei gar keinen Beweis an oder gelingt der Beweis nicht, kann die Prozesspartei alleine aus diesem Grund das Verfahren durch Beweislasturteil verlieren, selbst wenn sie eigentlich im Recht wäre.

In aller Regel genügt zur Erfüllung der Beweislast nur der sogenannte Vollbeweis. Das heißt, dass die beweisbelastete Partei zweifelsfrei oder mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die für sie entscheidungserhebliche Tatsache nachweisen muss. Kommt zum Beispiel ein gerichtlich bestellter Gutachter letztlich zu keinem klaren Ergebnis und kann nur Vermutungen anstellen, gilt der Beweis als nicht erbracht. Zwar muss das Gericht einem Beweisangebot bis zur vollständigen Aufklärung nachgehen, ggf. auch unter Hinzuziehung weiterer Sachverständiger, aber es sind durchaus Fälle denkbar, in denen ein Sachverständiger wegen Ineinanderreifen verschiedener Ursachen oder infolge Zeitablaufs nicht mehr feststellbarer Tatsachen keine eindeutigen Aussagen treffen kann.

Die Beweislastverteilung kann daher bisweilen zu überraschenden Wendungen in einem Prozess führen. Juristisch einfach gelagerte Sachverhalte können oft aufgrund sehr schwieriger Beweislage zu langwierigen Prozessen mit ungewissem Ausgang führen.

Vom Grundsatz der Beweislast bei derjenigen Prozesspartei, für die die behauptete Tatsache günstig ist, kennen Gesetz und Rechtsprechung zahlreiche Ausnahmen, z. B. im Rahmen von Anscheinsbeweisen, Beweisvereitelungen, Beweiserschwerungen usw. Man spricht dann von einer Beweislastumkehr. Zudem hat die Rechtsprechung zahlreiche Konstellationen herausgearbeitet, in denen eine abgestufte Darlegungs- und Beweislast gilt. Eine vollständige Übersicht zu den Beweislastregeln würde den Rahmen dieser Darstellung sprengen. Die folgenden Beispiele sind bei Schimmelschäden an Gebäuden besonders relevant:

Bei Streit über Schäden in einer Mietsache gilt die Beweislast nach Obhuts-Sphären. Bei ungeklärter Schadensursache muss zunächst der Vermieter darlegen und beweisen, dass die Schadensursache im Sorgfalts- und Obhutsbereich des Mieters liegt. Dazu muss er zunächst alle Schadensursachen ausräumen, die in seinem Verantwortungs- und Pflichtenkreis liegen – also, dass z. B. keine undichten Leitungen oder sonstige baulichen Mängel der Gebäudehülle vorhanden sind [BGH, 1994] und [BGH, 1997]. Gelingt dem Vermieter in der ersten Beweisstufe dieser Beweis, hätte der Mieter zu seiner Verteidigung in der zweiten Beweisstufe darzulegen und zu beweisen, dass Schäden innerhalb der Wohnung nicht durch ihn verursacht wurden. Bei Schimmelschäden umfasst dies den Beweis, dass kein vertragswidriges Nutzerverhalten ursächlich ist [LG Konstanz, 2012] und [LG Berlin, 2001].

Im Rahmen von Bau- oder Bauträgerverträgen tritt eine Beweislastumkehr mit der Abnahme ein. Für alle im Zeitpunkt der Abnahme festgestellten Schäden trägt der Bauunternehmer bzw. Bauträger die Beweislast dafür, dass diese nicht auf seine Bauleistung zurückzuführen sind. Für alle nach der Abnahme zutage tretenden Schäden trägt die Beweislast insoweit der Besteller bzw. Käufer. Diese Beweislastverteilung kann sich bei Schimmelschäden, die in aller Regel erst einige Zeit nach der Abnahme auftreten, ungünstig für den Besteller bzw. Käufer auswirken.

9.5.5 Sachverständigenbeweis

In einem Rechtsstreit über die Frage welche Ursachen und Auswirkungen ein Schimmelschaden hat, wird in aller Regel die Einholung eines gerichtlichen Sachverständigungsgutachtens unvermeidbar sein, was – wie in Kapitel 9.5.4 bereits erläutert – zumeist auch dann gilt, wenn eine der Prozessparteien bereits ein eigenes Sachverständigungsgutachten eingeholt und vorgelegt hat. Die hier in Grundzügen dargestellten Regelungen zum Sachverständigenbeweis gelten gleichermaßen für streitige Verfahren (z. B. Klageverfahren) wie auch das selbständige Beweisverfahren.

Auswahl und Beauftragung des gerichtlich bestellten Sachverständigen erfolgen – in der Regel nach Anhörung der Prozessparteien – durch das Gericht (§ 404 ZPO), wobei das Gericht gehalten ist, die für ein Sachgebiet öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen vorzuziehen. Haben sich die Prozessparteien auf einen Sachverständigen geeinigt, hat das Gericht diesem jedoch den Vorrang zu geben.

Der Sachverständige muss prüfen, ob er fachlich zur Gutachtenerstattung in der Lage ist und dies dem Gericht mitteilen (§ 407 a Abs. 1 ZPO). Er ist zudem gehalten, auf eine Vorbefassung oder sonstige Befangenheitsgründe hinzuweisen (§ 407 a Abs. 2 ZPO), ein etwaiges Ablehnungsverfahren erfolgt unter den Voraussetzungen des § 406 ZPO.

Das Gericht leitet den von ihm bestellten Sachverständigen nach § 404a ZPO: Es kann ihm für Art und Umfang seiner Tätigkeit Weisungen erteilen, weist ihn in seine Aufgabe ein, bestimmt welche Tatsachen der Sachverständige der Begutachtung zugrunde legen soll und in welchem Umfang der Sachverständige zur Aufklärung der Beweisfrage befugt ist, inwieweit er mit den Parteien in Verbindung treten darf und wann er ihnen die Teilnahme an seinen Ermittlungen zu gestatten hat.

Zur Erstattung des Gutachtens setzt das Gericht eine Frist, bei deren Versäumen dem Sachverständigen ein Ordnungsgeld droht (§ 411 Abs. 2 ZPO).

Liegt das Gutachten vor, haben die Prozessparteien binnen einer vom Gericht zu setzenden Frist Gelegenheit zur Stellungnahme und für Ergänzungsfragen, die durch Ergänzungsgutachten beantwortet werden. Auf Antrag hat das Gericht den bestellten Sachverständigen auch zur mündlichen Erläuterung seines Gutachtens zu laden.

Hält das Gericht das erstattete Gutachten für ungenügend kann es auch einen anderen Sachverständigen (»Zweitgutachter« oder auch »Obergutachter«) zur Erstattung eines Zweit- bzw. Obergutachtens bestellen.

Während die Bestellung eines Sachverständigen im Rahmen eines gerichtlichen Verfahrens für die Prozessparteien den Vorteil hat, dass das Verfahren formal streng nach den Grundsätzen der Waffengleichheit geregelt ist und der Sachverständige der gerichtlichen Kontrolle unterliegt, stellen die meist sehr hohen Gesamtkosten eines Verfahrens einen eindeutigen Nachteil dar. Die Beteiligten sind daher immer gut beraten, über die Möglichkeit einer außergerichtlichen Streitbeilegung unter Beteiligung eines Sachverständigen nachzudenken.

9.6 Fazit

Aus rechtlicher Sicht lässt sich einem Streit über Schimmelschäden nicht nur durch sorgfältiges Planen und Bauen vorbeugen, sondern auch durch sinnvolle Vertragsgestaltung. Die Vertragsparteien eines Miet- oder Kaufvertrags sollten für die nutzende Partei Pflichten konstituieren und Grenzen der Nutzung entsprechend dem vereinbaren, was das jeweilige Gebäude aushalten kann.

Das Urteil des Bundesgerichtshofs vom 05.12.2018[BGH, 2018-1] zeigt, dass die Verantwortung für einen Schimmelschaden zumindest bei einem nach älteren Baustandards errichteten Bestandsgebäude teilweise nur mit erheblichen juristischen Schwierigkeiten der einen oder anderen Partei oder gegebenenfalls auch gar nicht zugeordnet werden kann. Umso wichtiger ist es für die Parteien eines Miet- oder Kaufvertrags über eine Immobilie, derartige Fragen rechtssicher vertraglich schon im Vorfeld zu klären, denn ein Streit über die Ursachen und Verantwortung kann bisweilen teurer werden, als die Schadensbeseitigung selbst.

Aus den skizzierten rechtlichen Rahmenbedingungen ergibt sich für den Sachverständigen die Aufgabe, neben etwaigen konstruktiven Ursachen auch ein mögliches Nutzerfehlverhalten als Ursache von Schimmelschäden an Decken und Wänden zu identifizieren und zudem Empfehlungen für ein schadensvermeidendes Nutzerverhalten abzugeben.

10 Schadensbeispiele

10.1 Vorbemerkungen

Die folgenden Schadensbeispiele sollen das in den vorstehenden Kapiteln theoretisch beschriebene Vorgehen bei der Beurteilung von Schimmelschäden anhand von »Fällen« aus der Praxis erläutern. Das Kapitel 10.2 behandelt dabei die Beurteilung anhand des in Kapitel 6.3 erläuterten ›Verfahrens der erweiterten Wärmebrückeberechnungen‹, das Kapitel 10.3 die Beurteilung anhand des in Kapitel 6.4 erläuterten ›Verfahrens der komplexen Datenloggermessungen‹ und das Kapitel 10.4 Schadensbeispiele zur sogenannten Sommer kondensation. Das Kapitel 10.5 beinhaltet sonstige Schadensbeispiele, für deren Beurteilung weder Wärmebrückeberechnungen noch Datenloggermessungen erforderlich waren. Die in den genannten Kapiteln jeweils beschriebenen Beurteilungen stellen keine Standardlösungen im Sinne eines schematisierten Vorgehens dar. Vielmehr muss jeweils im Einzelfall entschieden werden, welches Verfahren bzw. welcher Weg am sichersten, aber auch am schnellsten bzw. kostengünstigsten zum Ziel – einer belastbaren Beurteilung – führt.

Für sämtliche Schadensbeispiele kann vorausgeschickt werden, dass andere als raumklimatische bzw. nutzungsbedingte oder in einem unzureichenden Wärmeschutz begründete Ursachen – beispielsweise Abdichtungsprobleme, ein ungenügender Schlagregenschutz etc. – für den jeweils zu bewertenden Schimmelbefall ausgeschlossen werden konnten. Auf diese Aspekte wird vorliegend zur Straffung der Darstellung nicht näher eingegangen. Ebenso wurden, soweit in den nachfolgenden Kapiteln nicht anders dargestellt (z. B. bei dem Schadensbeispiel in Kapitel 10.2.6.1), der Mindestwärmeschutz und ggf. weitergehende Anforderungen aus der Bauzeit der betreffenden Gebäude eingehalten. Dies ist insofern von Bedeutung, als entsprechend [BGH, 2018-1] beispielsweise in mietrechtlichen Auseinandersetzungen zumindest die Einhaltung dieser technischen Standards von einem Mieter erwartet werden kann.

Abschließend ist auf Folgendes hinzuweisen: Unter Berücksichtigung der Ausführungen in Kapitel 5 gehen die nachfolgenden Schadensbeispiele insoweit über den dort gesteckten Rahmen hinaus, als hier – quasi im Vorgriff auf die entsprechende Bewertung durch ein Gericht – ergänzend zur technischen Beurteilung der baulichen Nutzungsrandsbedingungen jeweils bereits eine Zuordnung zur Sphäre des Nutzers (z. B. »ungenügende Lüftung«) bzw. der Bausubstanz aus technischer Sicht erfolgt.

10.2 Beurteilung von Schimmel anhand erweiterter Wärmebrückeberechnungen

10.2.1 Schäden aufgrund ungenügender Lüftung – Beispiel 1

Schadensbild

In einer Mietwohnung unterhalb eines ungenutzten, ungeheizten Dachraumes wurde an den Außenwänden und der Wand zum Treppenhaus, insbesondere in den oberen Wandbereichen, erhebliche Schimmelbildung gerügt (Bild 60). Das Gebäude, ein zu Beginn der 1960er-Jahre in Leichtbeton-Großblockbauweise errichteter Typenbau, wurde Ende der 1990er-Jahre durch den Einbau eines Wärmedämmverbundsystems und von Kunststoff-Fenstern modernisiert, wobei das aus Stahlbeton-Fertigteilen bestehende Dachgesims (Sparrenwiderlager) nachträglich zwar oberseitig, nicht jedoch außenseitig wärmedämmt wurde.



Bild 60 ■ Erhebliche Schimmelbildung in der oberen Raumecke zwischen der Außenwand und der Wand zum Treppenhaus

Schadensursachen

Anhand der Auswertung bauzeitlicher Unterlagen [Minist. f. Aufbau, 1957], [VEB Typ., 1960] und aktueller Literatur zu der betreffenden Typenbauweise [BMBau, 1992], [Ahnert, 2000] konnten die Konstruktionsaufbauten in den zu untersuchenden Bereichen zerstörungsfrei mit hinreichender Genauigkeit rekonstruiert werden (Bild 61). Durch die im Rahmen der Modernisierung vorgenommenen baustofflichen Untersuchungen standen zudem detaillierte Informationen zu den wärmeschutztechnischen Eigenschaften der Außenwände zur Verfügung (haufwerksporige Leichtbetonblöcke mit einer mittleren Rohdichte von $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ und einer rechnerischen Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 1,1 \text{ W/(mK)}$).

Die Überprüfung hinsichtlich der wärmeschutztechnischen Mindestanforderungen aus der zur Planungs- und Ausführungszeit der Fassadenmodernisierung gültigen Fassung der DIN 4108-3:1981-08 ergab für die unterhalb des Dachgesimses angrenzenden Außenwandbereiche (Deckenixel und Fenstersturz) Oberflächentemperaturen von 10,4 °C und 11,3 °C, d.h. deutlich oberhalb des tauwassergefährdeten Bereichs (Bild 61). Für die an das Treppenhaus grenzenden Wandbereiche wurde unter Zugrundelegung einer Lufttemperatur von -5 °C für den Dachraum und von 10 °C für das Treppenhaus eine noch weitaus günstigere Oberflächentemperatur von $\theta_{si,min} = 13,2 °C$ errechnet.

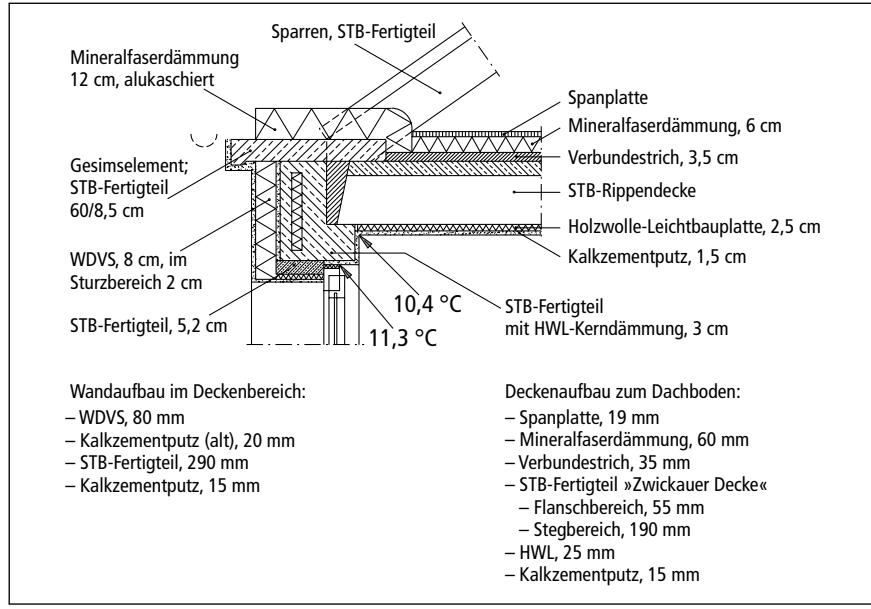


Bild 61 ■ Konstruktionsaufbau im Bereich von Dachgesims (Sparrenwiderlager)/Deckenanschluss/Fenstersturz und die errechneten, tauwasserunkritischen, minimalen Oberflächentemperaturen

Entsprechend der in Kapitel 6.3.2.6 beschriebenen Vorgehensweise wurden die Berechnungen unter den Randbedingungen aus der aktuellen Ausgabe der DIN 4108-2¹⁰ wiederholt und ergaben für die genannten Bereiche Oberflächentemperaturen von 11,0 °C und 11,8 °C (Deckenixel und Fenstersturz). Hieraus resultierte für den ungünstigsten Bereich eine Grenzluftfeuchte von ca. 45 %, bei deren Einhaltung (Nichtüberschreitung) das Auskeimen von Schimmelpilzen in den entsprechenden Bereichen sicher vermieden werden kann. Dies wäre insbesondere an kalten Tagen im Winter – vorausgesetzt,

10 Ausgaben 2003-07 und 2013-02

dass sehr hohe, punktuelle Feuchteeinträge aus Duschen oder Kochen unmittelbar abgelüftet werden – durch ein angemessenes Heiz- und Lüftungsverhalten ohne Weiteres zu gewährleisten gewesen.

Aufgrund der ungewöhnlichen Schadensintensität, die sich in erheblichem Umfang auch auf wärmeschutztechnisch unkritische Bereiche erstreckte (z. B. Fläche der Wand zum Treppenhaus mit $\theta_{si\ min} = 13,2^\circ\text{C} > 12,6^\circ\text{C} = \theta_{si\ krit.}$, Bild 60), war hier trotz der festgestellten, nur gering ausgeprägten Schwachpunkte im Bereich des Sparrenwiderlagers insgesamt ein in hohem Maße ungeeignetes Heiz- und Lüftungsverhalten der Nutzer in technischer Sicht als schadensursächlich einzustufen.

Zwar musste grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass durch die Modernisierungsmaßnahmen und nicht zuletzt den Austausch der Fenster der Grundluftwechsel über Infiltration signifikant reduziert wurde. In Anbetracht der bereits angeführten ungewöhnlichen Intensität und räumlichen Ausdehnung der Schadensbilder kam dies jedoch kaum als wesentlicher Auslöser infrage. Vielmehr ließ dies auch vor dem Hintergrund der Ausführungen zur Wirkung und Erforderlichkeit von Stoßlüftung in den Kapiteln 6.3.4.4 und 8.4.1 darauf schließen, dass entweder bereits vor der Modernisierung – in entsprechend geringerem Umfang – Schimmelbildung vorhanden war oder aber sich mit der Modernisierung das Nutzerverhalten hinsichtlich Lüftung und insbesondere auch Beheizung grundlegend verändert hatte.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Zur Vermeidung der gerügten Schadensbilder war aus technischer Sicht in erster Linie eine ausreichende, möglichst kontinuierliche Beheizung und eine regelmäßige Stoßlüftung der Wohnung im Sinne der Ausführungen in den Kapiteln 6.3.4.4 und 8.4.1 durch den Nutzer erforderlich.

Darüber hinaus war grundsätzlich zu empfehlen, bauseits die verbliebenen Schwachpunkte im Bereich von Sparrenwiderlager bzw. Ringanker durch wärmeschutztechnische Verbesserung zu beseitigen. Hierfür kamen neben der Ergänzung des Wärmedämmverbundsystems in diesem Bereich alternativ auch partielle Innendämmungen, z. B. auf der Basis von Calciumsilikatplatten, infrage (Kapitel 8.3.1 und 8.3.2).

Darüber hinaus ist hinsichtlich der vorgenommenen Modernisierungsmaßnahmen ganz allgemein auf Folgendes hinzuweisen: Werden an einer bestehenden Bausubstanz Veränderungen vorgenommen, die die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle verändern, sind diese zum einen fachgerecht und qualifiziert zu planen und sorgsam aufeinander bzw. auf sämtliche Randbedingungen abzustimmen.

Kann die Gefahr von Schimmelbildung infolge nachträglicher baulicher Maßnahmen auch bei Einhaltung der vorgenannten Kriterien nicht gänzlich ausgeschlossen werden, ist zudem dringend eine Information der Nutzer über ein konkret notwendiges Nutzerverhalten zur Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelschäden erforderlich (hinsichtlich der rechtlichen Grenzen bei den Anforderungen an ein bestimmtes Nutzerverhalten verweisen wir auf die Ausführungen unter Kapitel 9.3.1.5).

10.2.2 Schäden aufgrund ungenügender Lüftung – Beispiel 2

Schadensbild

In einer Wohnung einer größeren, mehrgeschossigen Wohnanlage wurde zum Teil erhebliche Schimmelbildung in mehreren Außenwandbereichen gerügt. Die um 1928 in geschlossener Bebauung errichtete Anlage stand unter Denkmalschutz und wurde vor dem Auftreten der Schäden umfassend modernisiert. Hierbei wurde eine Zentralheizung eingebaut, die denkmalgeschützten Kastenfenster umfassend überarbeitet und kleinere Fenster auf den Gebäuderückseiten gegen isolierverglaste Holzfenster ausgetauscht. Die Fassaden aus 38 cm dickem Ziegelmauerwerk blieben ansonsten in wärmeschutztechnischer Hinsicht unverändert.

Schadensursache

Auffällig war zunächst, dass das Auftreten der Schadensbilder auch hier scheinbar in einem unmittelbaren Zusammenhang mit den durchgeföhrten Modernisierungsmaßnahmen stand, da die Nutzer die Wohnung vorher bereits über mehrere Jahre schadenfrei genutzt hatten. Im Rahmen der Modernisierung wurde der Grundluftwechsel sowohl durch die umfassende Überarbeitung der Kastenfenster als auch den Austausch von Feuerungsstätten (Öfen) gegen eine Zentralheizung erheblich reduziert.

Die durchgeföhrten Wärmebrückeneberechnungen für die schadensbetroffenen Bereiche ergaben unter Zugrundelegung der Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02 für den ungünstigsten Bereich eine minimale Oberflächentemperatur von $\theta_{si} = 9,0^{\circ}\text{C}$ und eine hieraus resultierende Grenzluftfeuchte von ca. $\varphi_{Grenz} = 39\%$ (Kapitel 6.3.3; Bild 62).

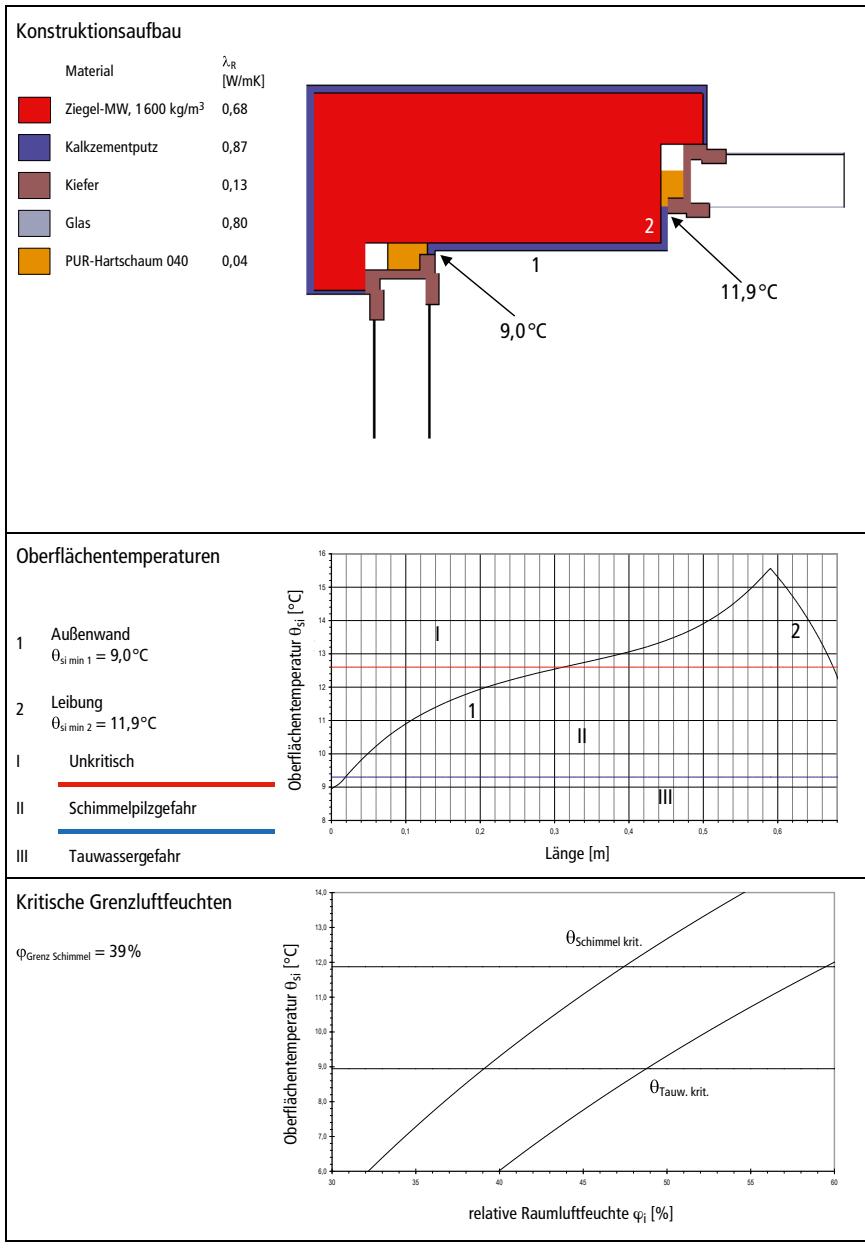


Bild 62 ■ Konstruktionsaufbau im ungünstigsten Bereich, Temperaturverteilung an den betreffenden Wandoberflächen sowie die hieraus resultierende kritische Grenzluftfeuchte

Die errechnete Oberflächentemperatur lag zwar im schimmel- und tauwassergefährdeten Bereich, dennoch hätte sich die Situation durch ein angepasstes

Nutzerverhalten auch hier ohne Weiteres schadenfrei halten lassen. Ehe nämlich bei dem vorliegenden großen Volumen der Wohnung von etwa 240 m^3 (ca. 80 m^2 Grundfläche, 3 m Raumhöhe) diese Grenzluftfeuchte nach einem vollständigen Luftaustausch infolge einer Stoßlüftung und unter Zugrundelegung eines für den Standort des Gebäudes eher ungünstigen Außenklimas von $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ und $\varphi_e = 90\%$ erreicht worden wäre, hätte ein Feuchteeintrag entsprechend der nachfolgenden, vereinfachten Berechnung erfolgen können, ohne kritische Oberflächenverhältnisse hervorzurufen (Kapitel 6.3.4.4):

Nach einem vollständigen Luftaustausch infolge einer Stoßlüftung stellt sich rechnerisch die folgende relative Raumluftfeuchte ein (Gleichung 14):

$$\begin{aligned}\Phi_i &= \frac{v_{e;90\%;-5^\circ\text{C}}}{v_{\text{sat},i}} \\ &= \frac{2,92 \text{ g/m}^3}{17,27 \text{ g/m}^3} \\ &= 0,17 (=17\%) \end{aligned}$$

Ehe dann ohne weiteren Luftwechsel der kritische Grenzwert von 39 % (Wassergehalt $v_{39\%;20^\circ\text{C}} = 6,74 \text{ g/m}^3$) erreicht wird, kann rein rechnerisch der folgende Feuchteeintrag zugelassen werden (Gleichung 15)):

$$\begin{aligned}\Delta v &= v_{i;39\%;20^\circ\text{C}} - v_{e;90\%;-5^\circ\text{C}} \\ &= 6,74 \text{ g/m}^3 - 2,92 \text{ g/m}^3 \\ &= 3,82 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Δv ist die Menge an Wasser, die je Kubikmeter Volumen der betreffenden Wohnung oder Nutzungseinheit in die Raumluft eingetragen werden kann, ehe im Bereich der betrachteten Wärmebrücke erneut eine oberflächennahe relative Luftfeuchte von $\varphi_s = 80\%$ auftritt. Demzufolge wäre im vorliegenden Fall ein unkritischer Feuchteeintrag möglich von (Gleichung 16))

$$\begin{aligned}M_{\text{Grenz}} &= \Delta v \cdot V \\ &= 3,82 \text{ g/m}^3 \cdot 240 \text{ m}^3 \\ &\approx 915 \text{ g} \end{aligned}$$

Davon ausgehend, dass ein ordnungsgemäßes Nutzerverhalten ein umgehendes Ablüften punktuell hoher Feuchteeinträge aus Duschen, Baden und Kochen beinhaltet und diese hier insofern unberücksichtigt bleiben können, ergibt sich aus der vorstehenden Berechnung, dass bei Anwesenheit auch von drei Personen mit einer durchschnittlichen stündlichen Feuchteabgabe von jeweils 50 g/h ($G_{\text{ges.}} = 150 \text{ g/h}$; Kapitel 6.3.4.2) die genannte Gesamtmenge von $M_{\text{Grenz}} = 915 \text{ g}$ erst nach mehr als sechs Stunden erreicht wird, und erst dann eine neuerliche Stoßlüftung erforderlich wird.

Berücksichtigt man darüber hinaus einen Grundluftwechsel von ca. $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$ über die Fugen der (überarbeiteten) Kastenfenster, verlängert sich entsprechend der in Kapitel 6.3.4.4 erläuterten näherungsweisen Berechnung für den genannten Feuchteintrag das Lüftungsintervall auf ca. 9,5 Stunden.

Auch das Aufhängen von Wäsche bei Abwesenheit von Personen wäre unter Annahme eines mittleren Feuchteintrags von $G = 130 \text{ g/h}$ und Berücksichtigung des Grundluftwechsels über etwas mehr als 12 Stunden unkritisch (Tabelle 9).

Weiterhin unberücksichtigt ist in der vorstehenden Betrachtung die Pufferwirkung der raumumschließenden Oberflächen durch Sorptionsvorgänge (Kapitel 6.3.4.5), wodurch sich die errechneten Lüftungsintervalle eher noch verlängern dürften.

Im vorliegenden Fall wurde Schimmelbildung zudem nicht nur in den betrachteten kritischen Bereichen, sondern sowohl in der Außenwandfläche, z.B. hinter einem dünnen Vorhang, als auch – infolge eines offensichtlich hohen Tauwasserausfalls auf den Wärmeschutzverglasungen – in erheblichem Umfang auf den Glashalteleisten der isolierverglasten Fenster vorgefunden (Bild 15). Insofern war davon auszugehen, dass das vorgenannte, zur Gewährleistung der Schadenfreiheit erforderliche Lüftungsverhalten bei Weitem nicht eingehalten wurde und in der betreffenden Wohnung über längere Zeiträume in hohem Maße unzuträgliche klimatische Verhältnisse geherrscht hatten.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Die Wohnung ließ sich durch das vorstehend erläuterte Lüftungsverhalten und die Einhaltung einer Raumlufttemperatur von 20°C an kalten Tagen ohne Weiteres schadenfrei halten. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass die einzuhaltende maximale relative Raumluftfeuchte von 39 % (an kalten Tagen) durchaus noch als behaglich einzustufen ist (Kapitel 6.3.4.1; Bild 32). Erfahrungsgemäß ist eine solche relative Luftfeuchte gerade an kalten Tagen im Übrigen oft sogar nur durch bewusstes Zuführen von Feuchtigkeit in die Raumluft, beispielsweise durch Verdunster o. Ä., zu erzielen. Das im Winter weitverbreitete Phänomen juckender Haut und trockener Nasenschleimhäute verdeutlicht die Problematik trockener Innenraumluft.

Unabhängig davon gilt wie bei dem vorherigen Schadenbeispiel auch hier, dass Maßnahmen, die die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle verändern, einer fachgerechten Planung bedürfen, und auch die Information der Nutzer über ggf. erforderliche Anpassungen ihres Lüftungsverhaltens unbedingt zu empfehlen ist.

10.2.3 Schäden infolge ungenügender Beheizung – Beispiel 1

Schadensbild

In einem Ende der 1970er-Jahre unter Verwendung von Porenbeton-Mauerwerk und außenseitig gedämmtem Stahlbeton erbauten mehrgeschossigen Wohnhaus in geschlossener Bebauung wurde Schimmelbildung im Bereich von Außenkanten und Fensterlaibungen gerügt. Die Gebäudehülle befand sich in wärmeschutztechnischer Hinsicht in ihrem ursprünglichen Zustand.

Schadensursachen

Ein Abgleich mit den zur Planungs- und Bauzeit gültigen Anforderungen aus DIN 4108, Ausgabe 1969 ergab, dass die allgemein anerkannten Regeln der Technik in wärmeschutztechnischer Hinsicht eingehalten worden waren und die Gebäudehülle einen für die damalige Zeit verhältnismäßig hohen wärmeschutztechnischen Standard aufwies. Dennoch ergaben die Wärmebrückeberechnungen, die zweidimensional entsprechend den Ausführungen in Kapitel 6.3.2.6 unter Zugrundelegung der Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02 erfolgten, dass die minimal zu erwartenden Oberflächentemperaturen nicht zuletzt aufgrund der ungewöhnlichen Geometrie der untersuchten Bereiche unterhalb der schimmelkritischen Grenztemperatur von 12,6 °C lagen (Bild 63).

Die in Kapitel 6.3.3 erläuterte raumklimatische Bewertung der Oberflächentemperaturen ergab, dass die gesamte Wohnung, also auch die schadensbetroffenen Bereiche, bei einer Raumlufttemperatur von ca. 20 °C bis zu einer relativen Raumluftfeuchte von rechnerisch etwa 45 % grundsätzlich schadenfrei geblieben wären. Die weitere Betrachtung ergab, dass ein derartiges Raumklima im Winter durch eine kontinuierliche Beheizung und ein normales Lüftungsverhalten – im vorliegenden Fall wiederum durch das relativ große Volumen der Wohnung von ca. 250 m³ begünstigt – ohne Weiteres herstellbar gewesen wäre.

Zu den gerügten Schäden hatte in diesem Fall offenbar insbesondere ein ungenügendes Heizverhalten beigetragen, da mehrere Heizkörper vollständig mit großformatigen, geschlossenen Möbelstücken verstellt waren, was auf eine unterbliebene Nutzung der betreffenden Heizkörper hindeutete, in jedem Fall jedoch eine deutlich verringerte Heizwirkung nach sich gezogen hatte. Vor dem Hintergrund der vorstehenden Ausführungen war insofern davon auszugehen, dass insgesamt eine mangelhafte Beheizung der Wohnung ggf. in Kombination mit einem unzureichenden Lüftungsverhalten die entscheidende Schadensursache darstellte.

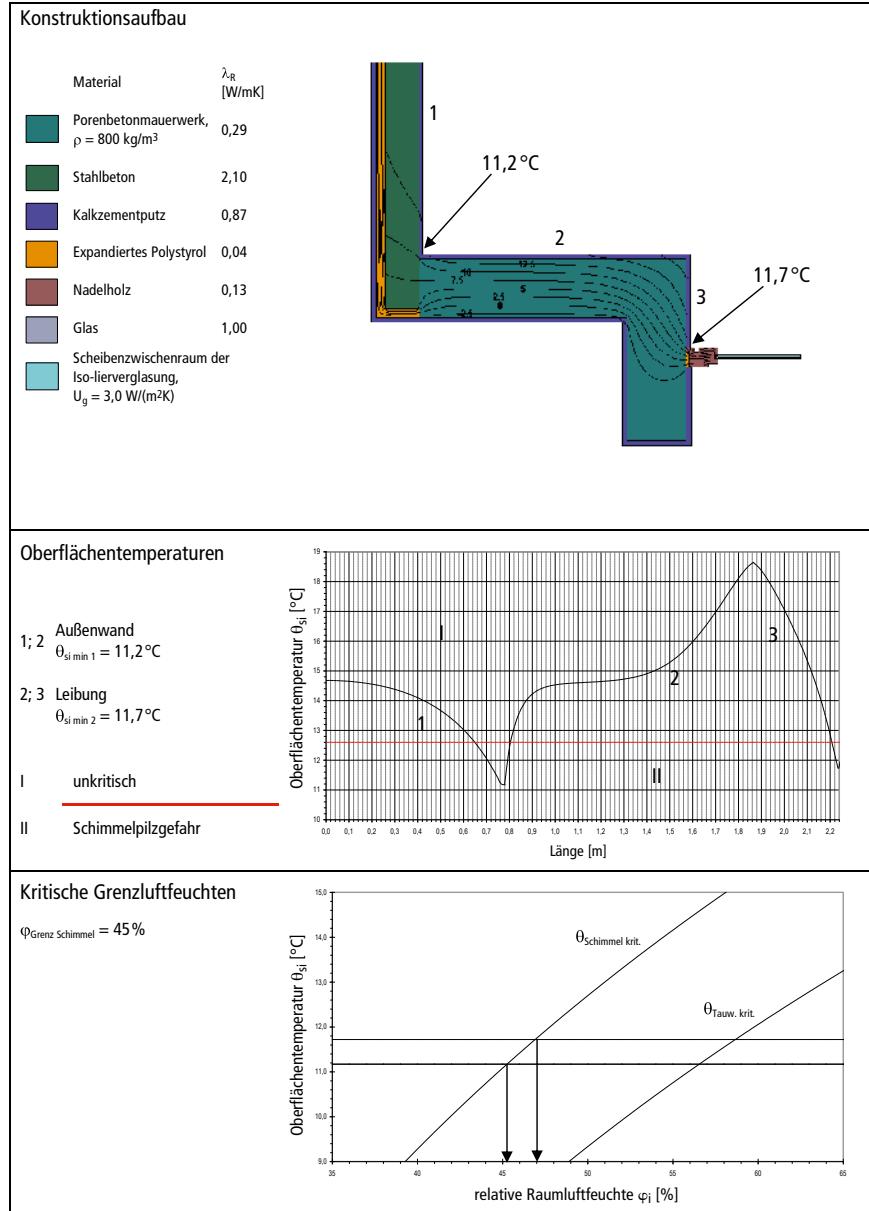


Bild 63 ■ Konstruktionsaufbauten, Isothermen- und Oberflächentemperaturverläufe in den schadensbetroffenen Bereichen

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Die vorliegende bauliche Situation bot auch im Zusammenspiel mit der Größe der betroffenen Wohnung keinerlei Hinweise auf eine besondere Anfälligkeit für Schimmelpilzschäden, die durch ein unzumutbares Heiz- und Lüftungsverhalten der Nutzer hätten kompensiert werden müssen. Sie konnte insofern durch ein normales Nutzerverhalten ohne Weiteres schadenfrei gehalten werden. Es war lediglich eine fachgerechte Beseitigung der vorhandenen Schimmelbildung erforderlich ([UBA, 2017]; Kapitel 8.2).

10.2.4 Schäden infolge ungenügender Beheizung – Beispiel 2

Schadensbild

In einer größeren, etwa um 1930 errichteten Wohnanlage wurde ausgeprägte Schimmelbildung in mehreren Bereichen, u. a. über die gesamte Höhe einer Gebäudeaußenkante gerügt (Bild 64).

Die streitgegenständliche Wohnung wurde von zwei nicht mehr berufstätigen Personen bewohnt und verfügte über ein Raumluftvolumen von ca. 235 m^3 (Grundfläche $A \approx 81 \text{ m}^2$, Raumhöhe $h \approx 2,9 \text{ m}$). Aus konservatorischen Gründen waren die bauzeitlichen Kastenfenster modernisiert, die Fassaden jedoch wärmeschutztechnisch in bauzeitlichem Zustand belassen worden. Gleichzeitig war eine Abluftanlage mit Zuluftelementen jeweils im Bereich der Fenster installiert worden.



Bild 64 ■ Schimmelbildung in der Gebäudeaußenkante

Schadensursachen

Eine Wärmebrückeberechnung unter den Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02 ergab für die schadensbetroffene Gebäudeaußenkante eine minimale Oberflächentemperatur von $\theta_{si;min.} = 9,3^\circ\text{C}$ (Bild 28 a)) sowie eine schimmelkritische Grenzluftfeuchte von $\varphi_{si,krit.} = 40\%$ (Bild 31).

Mit dem in Gleichung 13) dargestellten Ansatz wurde der Einfluss der vorhandenen Abluftanlage auf die Lüftung abgeschätzt. Hierbei wurde als Worst-Case-Szenario von einer ganztägigen ununterbrochenen Anwesenheit der Mieter und unter Berücksichtigung der Angaben in Tabelle 9 von folgenden Feuchteinträgen ausgegangen:

$$\begin{aligned}
 & 2400 \text{ g/d} \quad \text{für die Anwesenheit von zwei Personen} \\
 & \quad (2 \cdot 50 \text{ g/h} \cdot 24 \text{ h}) \\
 & + 800 \text{ g/d} \quad \text{für Badnutzung} \\
 & + 800 \text{ g/d} \quad \text{für Küchenutzung} \\
 & + 2000 \text{ g/d} \quad \text{für trocknende Wäsche} \\
 \hline
 & 6000 \text{ g/d}
 \end{aligned}$$

Hieraus folgte ein mittlerer stündlicher Feuchteintrag von $G = 250 \text{ g/h}$. Der angesetzte Gesamtfeuchteintrag von 6000 g/d überstieg dabei sogar deutlich den Feuchteintrag, der sich ergeben hätte, wenn man die Angaben aus [Richter, 2001] in Kapitel 6.3.4.2 von ca. 7800 g/d für einen 3-Personen-Haushalt auf den vorliegend streitgegenständlichen Haushalt mit lediglich 2 Personen bezogen hätte ($G_d = 5200 \text{ g/d}$).

Entsprechend den vorgelegten Unterlagen zur vorhandenen Abluftanlage wurde zur Abführung dieser Feuchteinträge von einer über den Tag gemittelten Luftwechselrate von $n = 0,26 \text{ h}^{-1}$ ausgegangen.

Unter Ansatz der Klimarandbedingungen für die Wärmebrückeberechnung aus DIN 4108-2:2013-02 sowie einer eher ungünstig hohen relativen Außenluftfeuchten von $\varphi_e = 0,9$ (= 90 %; Kapitel 6.3.4.4) ergab sich aus Gleichung 13) folgende relative Raumluftfeuchte:

$$\begin{aligned}
 \varphi_i &= \varphi_e \cdot \frac{v_{sat;e}}{v_{sat;i}} \cdot \frac{T_e}{T_i} + \frac{G}{(n \cdot V \cdot v_{sat;i})} \\
 &= 0,9 \cdot \frac{3,25 \text{ g/m}^3}{17,27 \text{ g/m}^3} \cdot \frac{268,15 \text{ K}}{293,15 \text{ K}} + \frac{250 \text{ g/h}}{(0,26 \text{ h}^{-1} \cdot 235 \text{ m}^3 \cdot 17,27 \text{ g/m}^3)} \\
 &= 0,39
 \end{aligned}$$

Demzufolge konnte auch bei ungünstig hohen Feuchteinträgen und winterlich kalten Außenlufttemperaturen alleine über die vorhandene Abluftanlage,

d. h. ohne Berücksichtigung zusätzlicher Luftwechsel aus Fensteröffnung o. Ä. eine relative Raumluftfeuchte von 39 % hergestellt werden. Diese unterschritt, wenn auch knapp, die schimmelkritische Grenzluftfeuchte für die schadensbetroffene Außenkante von $\varphi_{si; krit.} = 40\%$ (Bild 31). Hieraus folgte, dass die Schadensbilder durch eine unzureichende Lüftung kaum erklärbar waren. Die vorliegende rechnerische Betrachtung ging von einer Raumlufttemperatur von 20°C aus, die gerade bei den vorhandenen Luftwechselraten einen kontinuierlichen Betrieb der vorhandenen Heizflächen erforderte. Daher musste auch in Anbetracht der Intensität der Schadensbilder unterstellt werden, dass diese durch eine bei Weitem unzureichende Beheizung der schadensbetroffenen Räume, wenn nicht alleine, so doch erheblich mitverursacht wurden.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Wie auch bei den beiden vorangegangenen Schadensbeispielen wäre die ausgeprägte Schimmelbildung durch ein angepasstes Nutzerverhalten ohne Weiteres zu vermeiden gewesen. Insofern war zur Instandsetzung eine fachgerechte Beseitigung der Schadensbilder entsprechend den Ausführungen in [UBA, 2017] (Kapitel 8.2) und zur zukünftigen Schadensvermeidung neben dem Betrieb der Abluftanlage insbesondere eine kontinuierliche Beheizung der Räume erforderlich.

10.2.5 Überlagerung nutzungsbedingter und baulicher Einflüsse

10.2.5.1 Dreidimensionale Wärmebrücke

Schadensbild

In einer Mietwohnung wurde Schimmelbildung im obersten, unter einem unbeheizten Dachraum befindlichen Geschoss in den deckennahen Außenwandbereichen (Deckenixeln) sowie in den Gebäudeaußenkanten gerügt. Bei dem betreffenden Gebäude handelte es sich um ein freistehendes Mehrfamilienhaus, das Mitte der 1950er-Jahre als Mauerwerksbau mit Stahlbetondecken errichtet wurde. In den 1970er-Jahren wurden die bauzeitlichen Fenster gegen Schallschutz-Kastenfenster mit Einfachverglasungen in einer Aluminium-Konstruktion ausgetauscht, während die übrigen Fassadenbereiche wärmeschutztechnisch unverändert blieben. Ende der 1990er-Jahre wurden der Fußboden des Dachraumes und der Bereich des Dachkastens nachträglich oberseitig mit einer Wärmedämmung versehen. Das umlaufende Dachgesims (Stahlbeton-Fertigteil als Sparrenwiderlager) blieb außenseitig jedoch ungedämmt (Bild 13).

Schadensursachen

Aufgrund vollständig fehlender Planungsunterlagen wurden zur Ermittlung der wärmeschutztechnischen Kennwerte mittels Kernbohrungen Materialproben entnommen (Bild 14). Die nähere visuelle und labormäßige Untersuchung der Proben ergab, dass ein Leichtbeton-Hohlblöck-(Hbl)-Mauerwerk aus 3-Kammer-Steinen mit einer Rohdichte von $\rho = 1\,400 \text{ kg/m}^3$ und demzufolge einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,42 \text{ kcal/(mh}^\circ\text{)}$ entsprechend DIN 4108, Ausgabe 1952-07 – umgerechnet in die heute gebräuchliche Einheit: $\lambda = 0,49 \text{ W/(mK)}$ (Tabelle 1) – verwendet wurde.

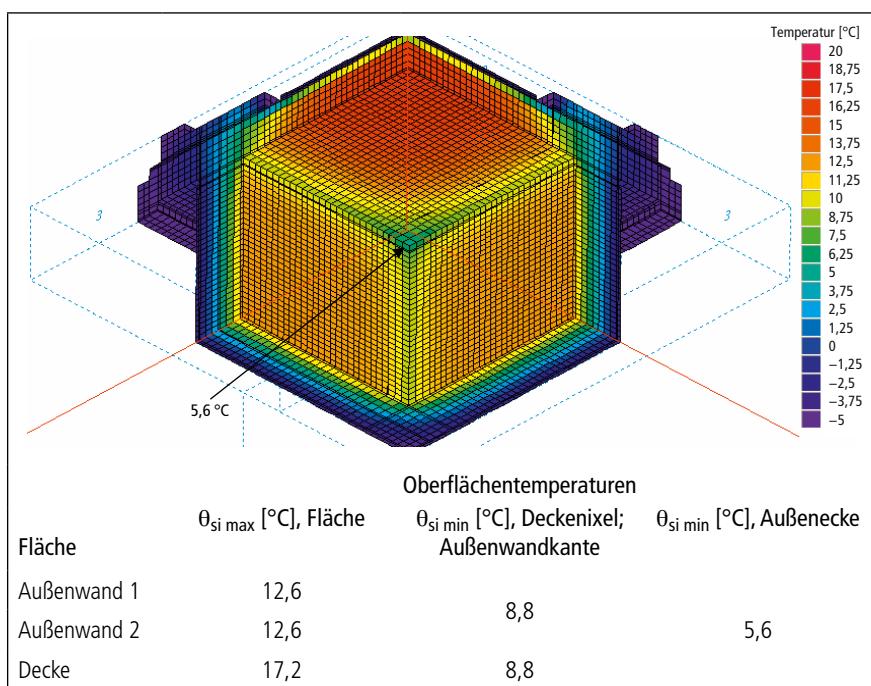


Bild 65 ■ Ergebnis der dreidimensionalen Wärmebrückeberechnung für die oberen Raumecken unterhalb des ungedämmten Sparrenwiderlagers

Für den Bereich der Deckenixel und der Außenkanten erfolgten auf der Grundlage der DIN 4108-2:2013-02 zunächst zweidimensionale EDV-gestützte Wärmebrückeberechnungen zur Ermittlung der innenseitigen Oberflächentemperaturen. Diese lagen in den Deckenixeln und den Außenkanten jeweils bei $8,8^\circ\text{C}$ und damit im tauwassergefährdeten Bereich. Um den Einfluss des Dachgesimses (Walmdach) auch in dem besonders gefährdeten Bereich der Außenkanten abzuschätzen, wurden ergänzend dreidimensionale

Berechnungen durchgeführt, die für die obere Raumecke erwartungsgemäß eine noch wesentlich geringere minimale Oberflächentemperatur von 5,6°C ergaben (Bild 65).

Einerseits ergaben sich im Rahmen der weiteren rechnerischen Betrachtung für die schadensbetroffenen linienförmigen Wärmebrücken in den Deckenixeln und den Außenwandkanten Grenzluftfeuchten von ca. 39 %. Hieraus resultierte bei dem vorliegenden großen Volumen der Wohnung von ca. 325 m³ (ca. 120 m² Grundfläche, 2,70 m Raumhöhe) nach einem vollständigen Luftaustausch infolge einer Stoßlüftung bei einem beispielhaft angenommenen, für den Standort des Gebäudes eher ungünstigen Außenklima von $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ und $\varphi_e = 90\%$ eine ohne weitere Stoßlüftung unkritisch eintragbare Feuchtemenge von ca. $M_{\text{Grenz}} = 1240 \text{ g}$. Dies wiederum bedeutete unter Annahme eines in Anbetracht der älteren Schallschutz-Kastenfenster eher ungünstig angesetzten Grundluftwechsels von lediglich $n = 0,04 \text{ h}^{-1}$, dass auch bei einem Aufenthalt von vier Personen ($G = 4 \cdot 50 \text{ g/h}$) erst nach etwas mehr als sieben Stunden eine neuerliche Stoßlüftung erforderlich gewesen wäre (Kapitel 6.3.4.4).

Andererseits ergaben sich für die oberen Raumecken in den Gebäudeaußenkanten aus den errechneten Oberflächentemperaturen ($\theta_{\text{si min}} = 5,6^\circ\text{C}$, Bild 64) Grenzluftfeuchten von lediglich ca. 31 %, die – auch wenn dies nur sehr kleine Flächen betraf – im Hinblick auf die Behaglichkeit als grenzwertig einzustufen waren (Kapitel 6.3.4.1).

Insofern ergab sich insgesamt, dass die Schimmelbildung im Bereich der linienförmigen Wärmebrücken in den Deckenixeln und den Gebäudeaußenkanten durch ein nicht an die baulichen Gegebenheiten angepasstes Nutzerverhalten verursacht wurde. Dagegen wäre das gerügte Schadensbild im Bereich der dreidimensionalen Wärmebrücken in den oberen Raumecken nur durch Gewährleistung einer relativen Raumluftfeuchte im Grenzbereich der Behaglichkeit zu vermeiden gewesen. Hier spielten insofern auch bauliche Defizite eine Rolle.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Die bestehenden wärmeschutztechnischen Probleme wären durch eine nachträgliche außenseitige Wärmedämmung zumindest des auskragenden Beton gesimses im Wesentlichen zu beseitigen gewesen. In Anbetracht der in hohem Maße ungünstigen wärmeschutztechnischen Eigenschaften der Außenwände einerseits und des vergleichsweise hohen Aufwandes bereits für eine partielle Dämmung des Gesimses (Gerüstkosten etc.) bei Maßnahmen von außen

andererseits war eine vollflächige außenseitige Wärmedämmung bereits aus energetischen Gründen grundsätzlich in Betracht zu ziehen (Kapitel 8.3.1).

Sollte eine solche umfassende energetische Modernisierung nicht oder erst mittelfristig erfolgen, hätten alternativ die wärmeschutztechnischen Schwachpunkte hier auch mithilfe partieller Innendämmungen beispielsweise auf der Basis von Calziumsilikat-Keilen beseitigt oder die betroffenen Bereiche hierdurch zumindest deutlich ertüchtigt werden können (Kapitel 8.3.2). Die betreffende Wohnung hätte dann durch ein im Übrigen an die baulichen Randbedingungen angepasstes Heiz- und Lüftungsverhalten ohne Weiteres schadenfrei gehalten werden können. In jedem Fall waren die Schimmelpilze fachgerecht zu beseitigen ([UBA, 2017], Kapitel 8.2).

10.2.5.2 Thermische Abschirmung durch dichte Vorhänge

Schadensbild

Im Schlafzimmer einer Mietwohnung in einem Wohn- und Geschäftshaus wurde in den Laibungen raumhoher Fenster Schimmelbildung gerügt (Bild 66). Das Gebäude wurde Mitte der 1980er-Jahre in konventioneller Bauweise mit einem einschaligen, 30 cm dicken Leichthochlochziegel-Mauerwerk für die Außenwände errichtet. Sämtliche Fenster der straßenseitigen Räume des Hauses wurden raumhoch und so angeordnet, dass teilweise Fenster verschiedener Wohnungen im Bereich der Wohnungstrennwand lediglich durch einen etwa 40 cm breiten Mauerwerkspfeiler getrennt sind. Die Heizkörper befanden sich an den angrenzenden Innenwänden. Bei den Fenstern handelte es sich um Verbundfensterkonstruktionen aus Kunststoff; Außenrollläden oder Jalousien waren nicht vorhanden.

Schadensursachen

Die Auswertung des Wärmeschutznachweises wie auch die rechnerische Überprüfung der Tauwasserfreiheit mittels zweidimensionaler Wärmebrückenberechnungen ergaben, dass die zur Planungs- und Bauzeit geltenden wärmeschutztechnischen Anforderungen aus der Wärmeschutzverordnung von 1982 [WschVO, 1982] sowie der DIN 4108-2 und -3 (Ausgabe 1981-08) eingehalten wurden. So ergaben die Wärmebrückenberechnungen, denen die Randbedingungen aus DIN 4108-3:1981-08 und entsprechend dem Wärmeschutznachweis eine rechnerische Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks von $\lambda = 0,35 \text{ W}/(\text{mK})$ zugrunde gelegt wurden, für die kritischen Laibungsbereiche eine minimale innenseitige Oberflächentemperatur von $10,4^\circ\text{C}$, also oberhalb der tauwasserkritischen Grenztemperatur von $9,3^\circ\text{C}$.



Bild 66 ■ Ansicht des schadensbetroffenen Fensters

Die weitere Betrachtung erfolgte auf der Grundlage von Berechnungen unter den Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02. Diese ergaben unter Ansatz der innenseitigen Wärmeübergangswiderstände von $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ für die Laibungen sowie $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ für Rahmen und Verglasungen der Fenster sowie für die Wohnungstrennwand im Bereich der Laibung eine auch nach heutigen Maßstäben hinsichtlich Schimmelbildung unkritische Oberflächentemperatur von $12,6^\circ\text{C}$.

Problematisch wurde die Situation im vorliegenden Fall jedoch zum einen dadurch, dass sich aufgrund des raumhohen Fensters der Heizkörper nicht unterhalb des Fensters befand, sondern an einer Innenwand angebracht war, weshalb die hiervon ausgehende Konvektion die Fensterlaibungen nicht direkt erfasste. Zum anderen war an der belebten und viel befahrenen Straße die Anordnung blickdichter Vorhänge als Sichtschutz und zur Verdunkelung erforderlich (Bild 66). Hierdurch entsteht insbesondere zur zumeist kältesten Tageszeit (nachts) eine thermische Abschirmung der betreffenden Laibungsbereiche. Diesbezügliche Vergleichsberechnungen mit einem erhöhten raumseitigen Wärmeübergangswiderstand von $R_{si} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ zur Berücksichtigung der thermischen Abschirmung ergaben eine um mehr als $3,5 \text{ K}$ reduzierte minimale Oberflächentemperatur von lediglich noch $9,2^\circ\text{C}$ (Bild 67).

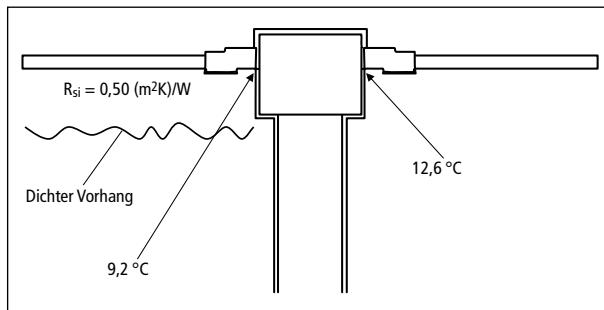


Bild 67 ■ Minimale Oberflächentemperaturen in den Laibungsbereichen mit und ohne Vorhang

Bedingt durch die Nutzung als Schlafzimmer und die damit in aller Regel gegebene Reduzierung der Raumlufttemperatur nachts (z. B. durch Nachtabsenkung) dürfte dieser Wert jedoch eher noch unterschritten werden. Ganz allgemein ist in diesem Zusammenhang festzustellen, dass Schimmelschäden in Schlafräumen vergleichsweise häufig auftreten, was auch mit der spezifischen Nutzung dieser Räume zusammenhängt¹¹. So schlafen viele Menschen gerne in eher kühlen Räumen, weshalb die Schlafzimmer – auch zur Reduzierung der Heizkosten – häufig durchgehend unbeheizt bleiben und die Außenbauteile während des Winters entsprechend auskühlen. Zudem erfolgt auch bei geschlossener Tür tagsüber Wasserdampfeintrag aus den angrenzenden Räumen über die Fugen der Tür und insbesondere den unteren Türspalt. Dies wiederum kann im Bereich der ausgekühlten Wandoberflächen zu schimmelkritischen Oberflächenfeuchten oder sogar Tauwasserausfall führen.

Insofern ist das beschriebene Schadensbild durchaus als nicht ungewöhnlich einzustufen.

Insgesamt konnten im vorliegenden Fall im Winter aus den für sich genommen eigentlich wärmeschutztechnisch günstigen baulichen Randbedingungen aufgrund

- der kritischen Anordnung der Heizkörper,
- einer notwendigen thermischen Abschirmung durch schwere Vorhänge in Ermangelung außenseitiger Verdunkelungsmöglichkeiten sowie
- der hinsichtlich der Raumluftfeuchte oft problematischen Nutzung als Schlafzimmer

schimmelkritische Oberflächenverhältnisse im Bereich der Laibungen entstehen. Es muss davon ausgegangen werden, dass diese – trotz des ansonsten

¹¹ Entsprechend einer repräsentativen Erhebung [Brasche, 2003] entfallen bei von Schimmelbildung betroffenen Wohnungen ca. 20 % der Schäden auf Schlafzimmer, die damit nach Bädern und WCs mit ca. 37 % die am zweithäufigsten betroffenen Räume sind.

vergleichsweise günstigen wärmeschutztechnischen Standards der Gebäudehülle – nur mit einem verhältnismäßig hohen Lüftungsaufwand hätten schadenfrei gehalten werden können.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Neben einer weiteren Verbesserung des Wärmeschutzes insbesondere der Laibungsbereiche (z.B. durch partielle Innendämmungen; Kapitel 8.3.2) ist im vorliegenden Fall insbesondere der Einbau eines außen liegenden Sichtschutzes (Rollläden, Jalousien o.ä.) zu erwägen, um die thermische Abschirmung der Laibungsbereiche zu verringern. Zusätzlich bringt dies auch eine Erhöhung des sommerlichen Wärmeschutzes mit sich.

Aus juristischer Sicht ist an dieser Stelle Folgendes zu ergänzen: Da die Nutzung des betreffenden Raumes als Schlafzimmer und somit auch die nächtliche Absenkung der Temperatur grundsätzlich mit der vertragsgemäßen Nutzung als Wohnraum vereinbar ist, ist fraglich, ob aus rechtlicher Sicht ein Mietmangel vorliegt, auf dessen Beseitigung der Mieter einen Anspruch hat, oder ob andererseits der Vermieter vom Mieter besondere Maßnahmen zur Schadensvermeidung verlangen kann. Das Gebäude entsprach zum Zeitpunkt seiner Errichtung grundsätzlich den damaligen behördlichen und technischen Anforderungen, was zunächst gegen einen durch konstruktive Maßnahmen zu vermeidenden Mietmangel spricht (vgl. Kapitel 9.3.1.4). Allerdings muss die Mietsache auch geeignet sein, den vereinbarten Mietzweck »Wohnen« zuzulassen. Dies ist in diesem Beispiel zumindest fraglich, da an der viel befahrenen Straße die Anordnung der schadensursächlichen bzw. zumindest erheblich mitursächlichen blickdichten Vorhänge als Sichtschutz und zur Verdunkelung erforderlich war. Das Fehlen eines außen liegenden Sichtschutzes könnte daher durchaus als Mietmangel einzustufen sein, sodass die entsprechenden konstruktiven Maßnahmen vermieterseits durchzuführen wären.

Sollte diese Frage aber rechtlich anders zu bewerten sein, stellt sich die anschließende Frage, ob vom Mieter der hohe Lüftungsaufwand verlangt werden kann, der erforderlich wäre, um ohne vermieterseitige konstruktive Maßnahmen künftige Schäden zu verhindern. In diesem Fall wäre auch ein verhältnismäßig hoher Lüftungsaufwand nicht ohne Weiteres pauschal als unangemessen anzusehen (vgl. Kapitel 9.3.1.5).

10.2.6 Baulich bedingte Schadensbilder

10.2.6.1 Schimmelbildung im Einflussbereich einer ausgeprägten Wärmebrücke

Schadensbild

In einer Mietwohnung eines Ende der 1990er-Jahre errichteten Mehrfamilienhauses wurde Schimmelbildung unterhalb einer Dachterrasse gerügt (Bild 68). Das Gebäude bestand aus einem Stahlbetonskelett mit Ausfachungen aus vorgefertigten Holztafelementen.

Schadensursachen

Die Freilegung und Untersuchung der an den Schadensbereich angrenzenden Konstruktionsaufbauten ergab, dass die Stirnseiten und teilweise die Oberseiten der Stahlbetondecke in dem schadensbetroffenen Bereich ungedämmt waren. Zudem wurden ebenfalls ungedämmte massive Stahlprofile als Unterkonstruktion der Brüstung der Dachterrasse vorgefunden (Bild 69).

Wärmebrückeberechnungen zur Überprüfung der Tauwasserfreiheit der Konstruktion unter den Randbedingungen aus der zur Planungs- und Bauzeit geltenden DIN 4108-3, Ausgabe 1981-08 ergaben für das innenseitige Deckeninxel eine minimale Oberflächentemperatur nicht nur im deutlich tauwasser-, sondern sogar frostgefährdeten Bereich ($\theta_{si,min} \approx 0^\circ\text{C}$). Vergleichsberechnungen unter den Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02 ergaben ebenfalls in hohem Maße schimmel- und tauwasserkritische Oberflächentemperaturen von $3,4^\circ\text{C}$.

Ursächlich für diese eklatant niedrigen Oberflächentemperaturen und insofern für das beschriebene Schadensbild waren konstruktive Wärmebrücken aufgrund eines grob mangelhaften Wärmeschutzes der Stirnfläche und der Oberseite der Deckenplatte im Attikabereich sowie der Attikaunterkonstruktion. Ein Mitwirken der Nutzer an der Entstehung der festgestellten Schadensbilder durch ein ggf. unzureichendes Heiz- und Lüftungsverhalten konnte angesichts der gravierenden Mängel und des daran gemessen noch moderaten Schadensbildes ausgeschlossen werden.



Bild 68 ■ Schadensbild unterhalb der Dachterrasse



Bild 69 ■ Außenseitig freigelegter Konstruktionsaufbau im Bereich der Deckenstirnseite unterhalb der Attika

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Für die Instandsetzung bzw. die zukünftige Schadensvermeidung war neben der fachgerechten Beseitigung des Schimmels ([UBA, 2017]; Kapitel 8.2) zumindest eine Verbesserung und Ergänzung der Wärmedämmung in den betroffenen Bereichen erforderlich. Ob diese Maßnahmen im Hinblick auf die räumlich begrenzten Möglichkeiten des Einbaus von Wärmedämmungen in den betreffenden Bereichen (Bild 69) alleine ausreichend gewesen wären, konnte erst im Rahmen einer detaillierten Planung der Instandsetzung überprüft werden. Gegebenenfalls hätten zusätzlich auch weitere Maßnahmen wie beispielsweise der Einbau partieller Innendämmungen oder einer Wärmebrückenbeheizung erforderlich werden oder in Betracht gezogen werden können.

10.2.6.2 Thermische Abschirmung durch vorgegebene Möblierung – Beispiel 1

Schadensbild

In einer Einzimmer-Mietwohnung zeigte sich wenige Monate nach dem Einzug eines neuen Mieters insbesondere hinter an den Außenwänden platzierten Möbeln erhebliche Schimmelbildung. Die Wohnung besaß eine Grundfläche von etwa 32 m² und eine Raumhöhe von ca. 2,5 m. Sie lag als eine Art Penthouse im obersten Geschoss eines Ende der 1960er-Jahre erbauten siebenstöckigen Wohnhauses und grenzte mit drei Außenwänden direkt an die Außenluft (Bild 70). Anfang der 1990er-Jahre wurden neue Fenster mit zwei Dichtungsebenen und kombinierter Schall- und Wärmeschutzverglasung eingebaut. Die übrigen Fassadenbereiche blieben technisch unverändert und bestanden im Wesentlichen aus einem beidseitig geputzten 24 cm dicken Hbl-Mauerwerk.

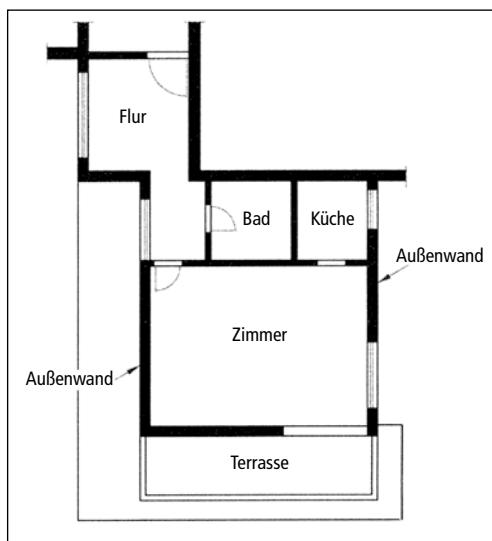


Bild 70 ■ Grundriss der Penthouse-Wohnung

Schadensursachen

Entsprechend der in Kapitel 6.3 dargestellten Vorgehensweise wurden für den schadensbetroffenen Wandbereich zunächst die minimal zu erwartenden Oberflächentemperaturen unter Annahme der Randbedingungen aus DIN 4108-2:2013-02 errechnet. Hierbei wurde für die infrage kommende Spannbreite der rechnerischen Wärmeleitfähigkeiten des Außenwandmauerwerks – entsprechend DIN 4108, Ausgabe 1960-05 und umgerech-

net in die heute gebräuchlichen Einheiten (Tabelle 1) $\lambda_R = 0,44 \text{ W}/(\text{mK})$ bis $0,56 \text{ W}/(\text{mK})$ – Variantenberechnungen durchgeführt. Die errechneten minimalen Oberflächentemperaturen lagen zwischen $11,8$ und $13,0^\circ\text{C}$ und damit im ungünstigsten Fall schon in der Fläche der Wand im schimmelgefährdeten Bereich. Im Bereich von naturgemäß vorhandenen und nicht vermeidbaren geometrischen Wärmebrücken (vertikale Außenwandkante) ergaben sich, je nach angesetzter Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks, sogar Temperaturen zwischen $8,0$ und $9,2^\circ\text{C}$, also im tauwassergefährdeten Bereich. In dem schadensbetroffenen Bereich, in dem es aufgrund des unmittelbar vor der Außenwandfläche platzierten Sideboards zu einer thermischen Abschirmung kam, war den Berechnungen ein entsprechend höherer Wärmeübergangswiderstand von $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ zugrunde zu legen (Tabelle 6). Damit ergaben sich minimale innenseitige Oberflächentemperaturen von $\theta_{si \min \text{Fläche}} = 7,6$ bis $9,0^\circ\text{C}$.

Die weitere rechnerische Betrachtung für die betroffenen Bereiche (errechnete Oberflächentemperaturen $\theta_{si \min \text{Fläche}} = 7,6$ bis $9,0^\circ\text{C}$) entsprechend Kapitel 6.3.3 ergab, dass bei einer Raumlufttemperatur von 20°C eine relative Raumluftfeuchte von ca. 36 bzw. 39 % nicht überschritten werden darf, damit auch an kalten Tagen Schimmelbildung sicher vermieden wird. Legt man ein Außenklima von $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ und $\varphi_e = 90\%$ zugrunde, ergibt sich hieraus im vorliegenden Fall, dass nach einem vollständigen Luftaustausch durch Stoßlüftung eine Feuchtemenge zwischen 265 g und 305 g schadenfrei ohne weitere Lüftung eingetragen werden konnte. Diese Feuchtemenge erhöht sich noch geringfügig infolge des zu erwartenden Grundluftwechsels über die Fensterfugen ($n \sim 0,04 \text{ h}^{-1}$, Kapitel 6.3.4.3).

Geht man von den in Tabelle 9 genannten typischen Feuchteinträgen in einer Wohnung aus, so ist festzustellen, dass das Trocknen von Wäsche in der Wohnung bei geschlossenen Fenstern nur über einen Zeitraum von gut drei Stunden möglich war, ohne dass ein unzuträgliches Raumklima entstanden wäre. Bei Anwesenheit von zwei Personen mit leichter körperlicher Tätigkeit (z.B. Hausarbeit) hätte etwa alle eineinhalb Stunden eine Stoßlüftung durchgeführt werden müssen.

Anzumerken ist, dass im Hinblick auf die in der betreffenden Wohnung nur in äußerst begrenztem Umfang zur Verfügung stehende Stellfläche für Möbel auch das Aufstellen von großflächigen Möbelstücken vor einer Außenwand im vorliegenden Fall geradezu unvermeidlich erschien.

Insgesamt war festzustellen, dass zwar die bauzeitlichen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz aus DIN 4108, Ausgabe 1960-05 eingehalten wurden, aber die Wohnung nur mit einem im Allgemeinen als unzumutbar

einzustufenden Nutzerverhalten sicher schadenfrei gehalten werden konnte. Dies lag darin begründet, dass

- der Wärmeschutz der Außenwände selbst die zur Bauzeit gestellten Anforderungen nur knapp einhielt und nach heutigen Maßstäben als ungenügend einzustufen war,
- durch den Einbau hochwertiger Fenster der Grundluftwechsel erheblich reduziert wurde,
- die Wohnung nur über ein sehr geringes Raumluftvolumen verfügte und
- der Grundriss der Wohnung im Hinblick auf die Möglichkeiten Möbel aufzustellen sehr ungünstig war.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Hinsichtlich der juristischen Einordnung wird auf die Ausführungen in Kapitel 10.2.5.2 verwiesen, die hier sinngemäß Anwendung finden können.

Eine Instandsetzung der baulichen Situation war aus technischer Sicht lediglich durch eine grundlegende Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwände, beispielsweise durch den Einbau eines Wärmedämmverbundsystems, als sinnvoll einzustufen. Für eine derartige grundlegende Ertüchtigung des Wärmeschutzes sprachen im vorliegenden Fall nicht zuletzt auch die baulichen Randbedingungen mit einer guten Zugänglichkeit der Außenwände über die angrenzenden Dachflächen einerseits und dem vergleichsweise geringen Gesamtumfang der Maßnahmen andererseits.

10.2.6.3 Thermische Abschirmung durch vorgegebene Möblierung – Beispiel 2

Schadensbild

In einer Mietwohnung in einem in den 1990er-Jahren unter Verwendung von Hochlochziegelmauerwerk erbauten Mehrfamilienhaus wurde erhebliche Schimmelbildung im Bereich einer Gebäudeaußenkante hinter einer Küchenzeile gerügt, die auch Teile der Unterschränke befallen hatte (Bild 71). Diese waren unmittelbar an den Außenwänden platziert und wiesen einen geschlossenen Sockel auf. Die auf den Unterschränken befestigte Arbeitsplatte war in die Kante eingepasst und mit einer Leiste an die Wand angeschlossen. Der Heizkörper der Küche befand sich nicht an einer der betroffenen Außenwände, sondern an einer Innenwand.



Bild 71 ■ Schimmelbildung an der Rückwand des Küchenunterschranks im Bereich der Gebäudeaußenkante

Schadensursachen

Die vorhandenen Installationen und die gegebene räumliche Situation ließen das Aufstellen einer Küchenzeile ausschließlich in dem betreffenden Bereich zu, was den Planungsunterlagen zufolge auch der Planung des Architekten entsprach. Zudem war die Küchenzeile als Teil der Objektplanung von vornherein fest eingebaut, sodass die Nutzer für die durch die Möblierung geschaffene Gesamtsituation nicht verantwortlich gewesen sein konnten.

Zur Überprüfung der Oberflächentemperaturen wurden Wärmebrückenberechnungen für die betreffende Außenkante durchgeführt. Diese erfolgten zunächst unter Anwendung der Randbedingungen aus DIN 4108-3:1981-08, um die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bauzeit zu überprüfen. Aufgrund der guten wärmeschutztechnischen Eigenschaften des Mauerwerks ($\lambda = 0,21 \text{ W}/(\text{mK})$) ergab sich für die unmöblierte Situation ($R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$) eine unkritische minimale Oberflächentemperatur von $13,7^\circ\text{C}$. Um die fest eingebaute Küchenzeile rechnerisch zu berücksichtigen, wurden Variantenberechnungen mit erhöhten Wärmeübergangswiderständen durchgeführt. Dabei ergab sich jedoch bereits bei einem für die oben beschriebene Einbausituation der Küchenunterschränke eher moderaten R_{si} -Wert von $0,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ eine deutlich im tauwassergefährdeten Bereich liegende minimale Oberflächentemperatur von $8,0^\circ\text{C}$ (Tabelle 6). Für einen R_{si} -Wert

von $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ wurde eine Oberflächentemperatur von sogar nur noch $3,0^\circ\text{C}$ errechnet.

Die diesbezüglich maßgebende DIN 4108-3, Ausgabe 1981-08 sah unter Punkt 3.1 auch seinerzeit schon eine Berücksichtigung derartiger kritischer Situationen im Rahmen rechnerischer Überprüfungen durch die Wahl erhöhter raumseitiger Wärmeübergangswiderstände explizit vor. Folglich waren die zur Bauzeit geltenden allgemein anerkannten Regeln der Technik und die Anforderungen an die Tawasserfreiheit im vorliegenden Fall bei Weitem nicht eingehalten. Da die Problematik schon allein aufgrund der genannten Ausführungen in der DIN 4108-3:1981-08 zur Planungs- und Bauzeit als hinlänglich bekannt vorausgesetzt werden mussten, waren die gerügten Schäden insofern im Verantwortungsbereich einer unzureichenden Planung anzuseheln. Der an einer Innenwand angeordnete Heizkörper konnte die Situation nicht entschärfen.

Die vergleichsweise rechnerische Überprüfung unter den aktuellen Randbedingungen aus DIN 4108-2, Ausgabe 2013-02 ergab für die genannten erhöhten Wärmeübergangswiderstände jeweils minimale Oberflächentemperaturen von $11,4^\circ\text{C}$ (für $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$) und $7,9^\circ\text{C}$ (für $R_{si} = 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$) im schimmelkritischen Bereich, sodass die Konstruktion auch nach heutigen Maßstäben als mangelhaft einzustufen wäre.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Die Auswirkungen thermischer Abschirmung von kritischen Außenwandbereichen infolge von Möblierung wurden in Kapitel 6.3.2.5 eingehend beschrieben. Deuten sich derartige bauphysikalisch problematische Situationen schon im Rahmen der Planung als unvermeidbar an, bzw. sind entsprechende Einbaumöbel wie im vorliegenden Fall sogar Bestandteil der Planung, muss dies in diesem Stadium bereits Berücksichtigung finden. So sind für diese Bereiche entweder zusätzliche Wärmedämmungen, ausreichende Belüftungsmöglichkeiten oder eine Kombination aus beidem zu planen.

Im vorliegenden Fall wurde empfohlen, die Küchenzeile inklusive Arbeitsplatte vollständig etwa 10 cm von den Außenwänden abzurücken, den Zwischenraum zwischen Arbeitsplatte und Wandoberflächen mit Lüftungsgittern abzudecken und die Sockelverblendung zu entfernen bzw. analog zur Arbeitsplatte ebenfalls gegen Lüftungsgitter auszutauschen.

Alternativ oder ergänzend wäre auch hier eine wärmeschutztechnische Ertüchtigung durch den Einbau von Innendämmungen auf der Basis von Calciumsilikatplatten möglich (Kapitel 8.3.2).

10.3 Beurteilung von Schimmel anhand komplexer Datenloggermessungen

Die bei den nachfolgenden Schadensbeispielen angewendeten Beurteilungskriterien bzw. Auswertungsschritte sind in den Kapiteln 6.4.2 bis 6.4.9 ausführlich beschrieben. Sie werden insofern als grundsätzlich bekannt vorausgesetzt, sodass bei den einzelnen Schadensbeispielen lediglich noch erläuternd auf deren jeweilige Anwendung eingegangen wird.

10.3.1 Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens trotz guter Beheizung und Lüftung im Messzeitraum – Beispiel 1

Ausgangssituation und Schadensbild

In einer Mietwohnung einer in den 1970er- und 1980er-Jahren errichteten Wohnanlage wurde nach mehreren Jahrzehnten schadenfreier Nutzung ab dem Jahr 2013 plötzlich erheblicher Schimmelbefall im Bereich typischer Wärmebrücken gerügt. Betroffen waren insbesondere Fensterlaibungen, Außenwandkanten und die Auflager der Decken auf den Außenwänden (Bild 72).



Bild 72 ■ Schimmelbefall im Bereich typischer Wärmebrücken

Es handelte sich um eine ca. 80 m² große Wohnung mit einer für die Bauzeit typischen lichten Raumhöhe von etwa 2,5 m, die von zwei Personen bewohnt wurde. Wesentliche bauliche oder heizungstechnische Veränderungen hatten in dem fraglichen Zeitraum nicht stattgefunden. Bei den Fenstern handelte es sich vor allem um Holzverbundfenster mit nachträglich eingeklebten bzw. eingefrästen Dichtungen, lediglich einzelne Fenster waren zwischenzeitlich durch neue Holzfenstern mit Isolierverglasungen ausgetauscht worden.

Schadensursachen

In einem typischen Schadensbereich, einem Deckenixel, wurde ein Oberflächentemperaturfühler aufgeklebt und über eine gesamte Heizperiode die Temperatur im Abstand von jeweils fünf Minuten gemessen und aufgezeichnet. Ergänzend wurde an einer geeigneten Stelle des Raumes zu den jeweils selben Zeitpunkten die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte aufgezeichnet. Die Auswertung der Datenloggermessungen ergab über den gesamten Messzeitraum ein sehr einheitliches Bild mit einer relativ gleichmäßigen Raumlufttemperatur von durchschnittlich 21,5 °C und einer mittleren relativen Raumluftfeuchte von knapp 46 %. Die gemessenen Daten sind ergänzt um die Außenklimadaten, die der Deutsche Wetterdienst als Stundenwerte zur Verfügung stellt, in dem Diagramm in Bild 73 für einen Zeitraum von acht Tagen exemplarisch dargestellt.

Schon in diesem Diagramm sind die regelmäßig dreimal täglich durchgeführten Stoßlüftungen anhand der gleichzeitigen sprunghaften Absenkungen von relativer Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur deutlich erkennbar. Noch deutlicher wird dies in dem Diagramm in Bild 74, in dem für den betreffenden Zeitraum die absolute Raumluftfeuchte und die absolute Außenluftfeuchte sowie die sich aus der Subtraktion beider ergebende Feuchtelast dargestellt sind. Hier ist erkennbar, dass auch die absolute Raumluftfeuchte sprunghaft und deutlich um jeweils mehrere g/m³ absinkt und erst nach mehreren Stunden wieder auf das vorherige Niveau ansteigt. Das ist der typische Verlauf bei einer erfolgreichen, d. h. wirksamen Stoßlüftung.

Anzumerken ist, dass die Kurven im gesamten Messzeitraum einen im Wesentlichen gleichen Verlauf aufwiesen wie in dem exemplarisch für Bild 73 und Bild 74 ausgewählten Zeitraum.

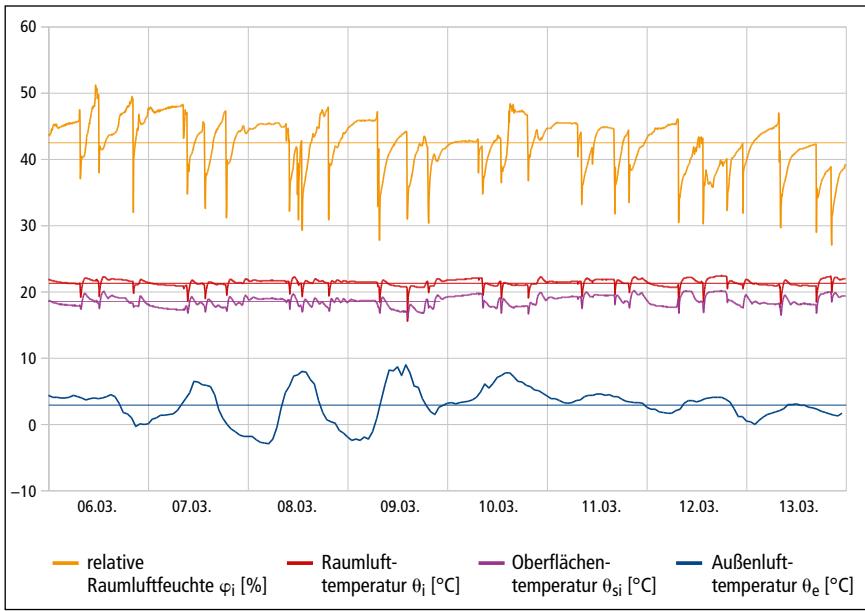


Bild 73 ▀ Verlauf von Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchte und Oberflächentemperatur in einem exemplarisch ausgewählten Zeitraum von acht Tagen

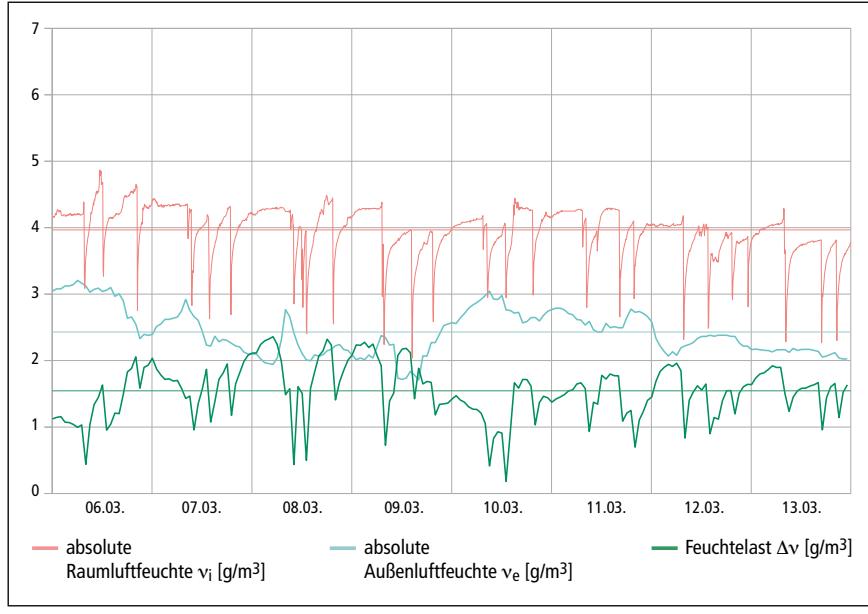


Bild 74 ▀ Verlauf von absoluter Raumluftfeuchte, absoluter Außenluftfeuchte und Feuchtelast in dem exemplarisch ausgewählten Zeitraum von acht Tagen

Für eine weitergehende Beurteilung der festgestellten Lüftungsintervalle wurde die Feuchtelast in der Wohnung näher betrachtet. Für die betroffene Wohnung mit ca. 80 m² Grundfläche und einer Belegung mit zwei Personen, d. h. einem zur Verfügung stehenden Raumvolumen von etwa 100 m³/Person, kann die Feuchtelast B (normale Feuchtelast) entsprechend Kapitel 6.4.5 als typisch angenommen werden. Stellt man die in der betroffenen Wohnung ermittelte Feuchtelast dieser typischen Feuchtelast gegenüber, so zeigt sich über den gesamten Messzeitraum eine sehr gute Übereinstimmung in den Kurvenverläufen, wobei die gemessene Feuchtelast sogar geringfügig unter der typischen Feuchtelast lag (Bild 75).

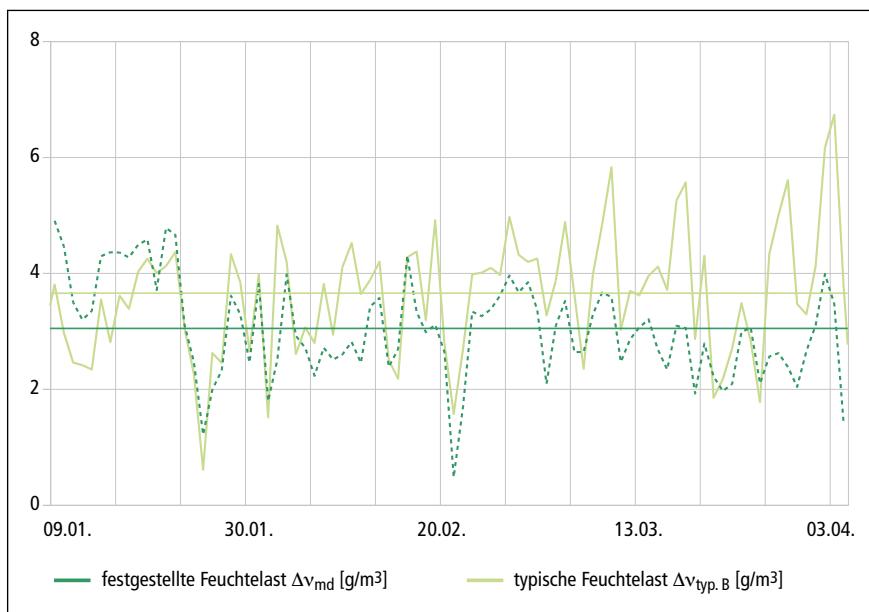


Bild 75 Gegenüberstellung der ermittelten Feuchtelast und der für eine derartige Wohnung typischen Feuchtelast für den Messzeitraum

Um zu überprüfen, ob das festgestellte Heiz- und Lüftungsverhalten ausreichend war, um im Messzeitraum schimmelkritische Oberflächenverhältnisse im Bereich der untersuchten Wärmebrücke zu verhindern, wurde die Differenzkurve zwischen den tatsächlich gemessenen Oberflächentemperaturen und den kritischen Oberflächentemperaturen zu jedem Messzeitpunkt ermittelt und in Bild 76 dargestellt. Die kritischen Oberflächentemperaturen werden dabei aus den Raumklimadaten berechnet (vgl. Kapitel 6.4.7). Wie die Kurve in Bild 76 zeigt, traten zu keinem Zeitpunkt schimmelkritische Oberflächenverhältnisse im Bereich der untersuchten Wärmebrücke auf. Vielmehr

ist zu erkennen, dass die Differenz der tatsächlich gemessenen Oberflächentemperaturen zu den kritischen Oberflächentemperaturen im Wesentlichen deutlich mehr als 5 K betrug. Insofern erwartungsgemäß hatte sich das gerügte Schadensbild in dem betreffenden Winter auch nicht verschlechtert.

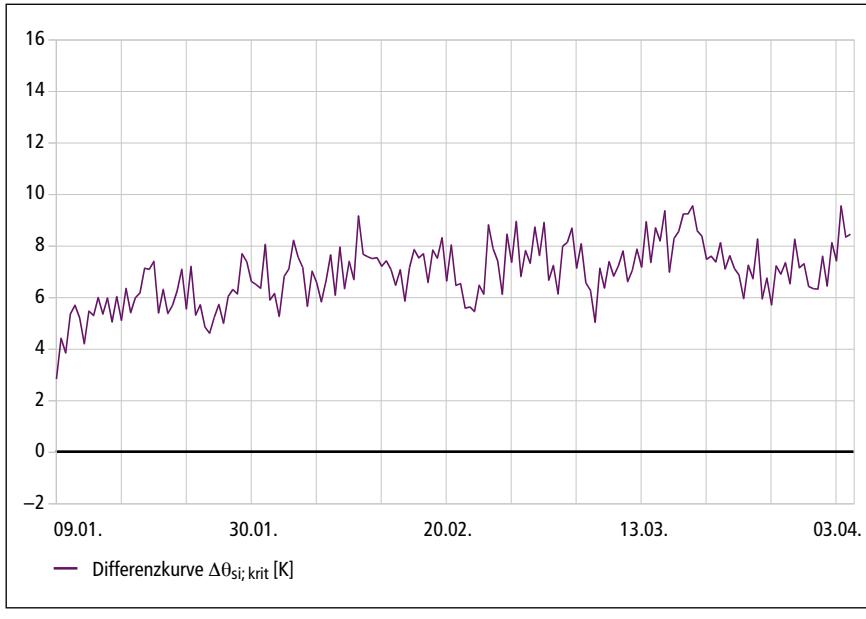


Bild 76 ▪ Differenzkurve zwischen der tatsächlich gemessenen Oberflächentemperatur und der berechneten jeweils kritischen Oberflächentemperatur für den Messzeitraum als Halbtagsmittelwerte

Anzumerken ist, dass der Messzeitraum hinsichtlich der mittleren Außenlufttemperaturen und -feuchten einem durchschnittlichen Winter entsprach und überdies auch kältere Phasen mit Außenlufttemperaturen von weniger als -10°C umfasste. Vor diesem Hintergrund konnte auf der Basis der Messdaten und der sonstigen getroffenen Feststellungen davon ausgegangen werden, dass in dem Zeitraum, in dem der gerügte massive Schimmelbefall aufgetreten war, ein deutlich abweichendes, wesentlich ungünstigeres Heiz- und Lüftungsverhalten der Mieter vorgeherrscht haben musste. Andernfalls hätten nämlich nicht über längere Zeiträume schimmelkritische Oberflächenverhältnisse vorherrschen und das ausgeprägte Schadensbild hervorrufen können. Da die Außenlufttemperaturen im Untersuchungszeitraum das gesamte Spektrum eines typischen Winters umfassten, konnte überdies davon ausgegangen werden, dass ähnliche Oberflächentemperaturen wie im Messzeitraum auch in dem Zeitraum vorgeherrscht hatten, in dem der streitgegenständliche Schimmelbefall entstanden war. Demnach mussten seinerzeit aber deutlich

höhere Raumluftfeuchten vorgeherrscht haben, da ansonsten keine für die Ansiedelung von Schimmelpilzen geeigneten Oberflächenverhältnisse hätten eintreten können.

Das Beispiel zeigt, dass sich die Ursachen eines Schimmelbefalls auch bei einem veränderten Nutzerverhalten mit dem in Kapitel 6.4 beschriebenen »Verfahren der komplexen Datenloggermessungen« sicher nachweisen lassen.

In aller Regel kommen noch weitere Indizien hinzu, die die Interpretation der Datenloggermessungen bestätigen. Im vorliegenden Fall waren dies von den Miethaltern geschilderte häufige flächige Tauwasserbildungen an den Verglasungen der Fenster. Derartige Tauwasserbildungen treten aber, auch bei den hier vorhandenen wärmeschutztechnisch eher ungünstigen Verbundfenstern, bei üblichen Raumklimaten eher selten auf.

Schadensvermeidung

Auch wenn es sich bei der vorliegenden Bausubstanz sowohl bei den opaken als auch bei den transparenten Außenbauteilen um wärmeschutztechnisch eher ungünstige Aufbauten handelte, lassen sich diese mit einem üblichen Nutzerverhalten ohne Weiteres schadenfrei halten (wie die durchgeführten Datenloggermessungen gezeigt haben). Insofern würde die Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenbauteile natürlich zu einer Reduzierung des Schimmelrisikos führen. Allerdings wäre ein ebensolcher Effekt auch durch ein verändertes Nutzerverhalten, wie es im Untersuchungszeitraum bereits geübt wurde, zu erzielen.

10.3.2 Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens trotz guter Beheizung und Lüftung im Messzeitraum – Beispiel 2

Ausgangssituation und Schadensbild

In einem Anfang des vergangenen Jahrhunderts aus Ziegelmauerwerk mit Holzbalkendecken errichteten viergeschossigen Wohngebäude wurde in einer Wohnung im 1. Obergeschoß Schimmelbefall an verschiedenen wärmeschutztechnischen Schwachstellen der Außenwände (Wärmebrücken), insbesondere im Bereich von Außenwandkanten und Fensterlaibungen eines Erkers gerügt (Bild 77 und Bild 78).



Bild 77 ■ Ansicht des betroffenen Erkers



Bild 78 ■ Schadensbild im Bereich von Außenwandkante und Fensterlaibung mit dem zur Messung der Oberflächentemperatur installierten Datenlogger

Die Außenwände besaßen Dicken zwischen 29 cm (Giebelwand zum Nachbarn und Außenwände des Erkers) und 53 cm (hof- und straßenseitige Außenwände). Die bauzeitlichen Fenster waren durch Kunststofffenster mit Isolierverglasungen ersetzt worden. Die betroffene Wohnung besaß eine Grundfläche von knapp 90 m² bei einer lichten Raumhöhe von im Wesentlichen ca. 3,2 m und wurde von einer vierköpfigen Familie bewohnt. Pro Kopf stand somit ein Raumluftvolumen von ca. 70 m³ zur Verfügung, sodass als typische Feuchtelast der Lastfall C (normale Feuchtelast +5 %) zugrunde gelegt wurde (vgl. Kapitel 6.4.5).

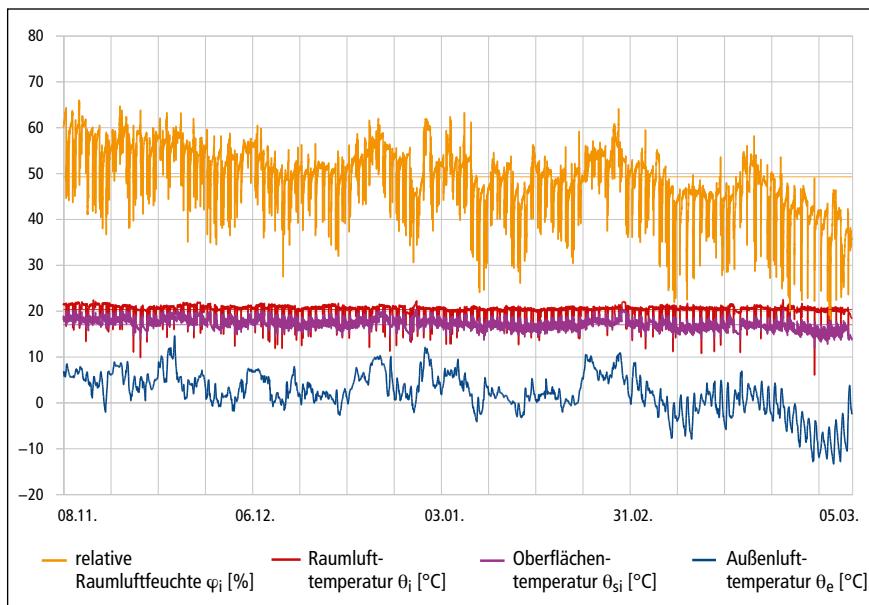


Bild 79 ▀ Verlauf von Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchte und Oberflächentemperatur im Messzeitraum

Schadensursachen

Die Beurteilung der Ursachen des bemängelten Schimmelbefalls im Rahmen einer mietrechtlichen Auseinandersetzung erfolgte auf der Basis »komplexer Datenloggermessungen«. Die Auswertung der über einen Zeitraum von Anfang November bis Anfang März aufgezeichneten und in Bild 79 dokumentierten Messdaten ergab Folgendes:

- Die mittlere Außenlufttemperatur im Messzeitraum und die mittlere relative Außenluftfeuchte entsprachen in etwa den langjährigen Mittelwerten. Auch hinsichtlich der Temperaturverteilung im Messzeitraum ergab die Auswertung keine nennenswerten Besonderheiten, sodass von einem im Wesentlichen typischen Winter gesprochen werden konnte.
- Die Wohnung wurde im Messzeitraum im Wesentlichen kontinuierlich und mit im Mittel knapp 21 °C in einem üblichen Maß beheizt.
- Stoßlüftungen wurden über den gesamten Messzeitraum in der Regel etwa zweimal täglich erfolgreich, d. h. raumklimatisch wirksam durchgeführt.
- Die relative Raumluftfeuchte lag im Mittel knapp unter 50 % und war insofern als eher unauffällig zu bezeichnen.
- Die mittlere Feuchtelast lag geringfügig oberhalb der für die betreffende Wohnung als typisch zu bezeichnenden Feuchtelast (Lastfall C, siehe oben).

- Die gemessenen Oberflächentemperaturen lagen im gesamten Messzeitraum im Wesentlichen deutlich oberhalb 15 °C und selbst in der kältesten Periode mit Außenlufttemperaturen von über mehrere Tage wiederkehrend weniger als –10 °C nicht darunter.
- In dem betrachteten Schadensbereich traten im gesamten Messzeitraum keine schimmelkritischen Oberflächenverhältnisse auf. Die Oberflächentemperaturen lagen vielmehr im Wesentlichen mehrere Kelvin oberhalb der kritischen Werte.

Insgesamt war im Ergebnis insofern festzustellen, dass die streitgegenständlichen Bereiche mit einer üblichen kontinuierlichen Beheizung und zweimal täglichem Stoßlüften ohne Weiteres schadenfrei gehalten werden konnten. Erwartungsgemäß konnte mit diesem während des Messzeitraums an den Tag gelegten Nutzerverhalten das Auftreten schimmelkritischer Oberflächenverhältnisse vermieden werden. Es musste insofern weiter davon ausgegangen werden, dass ein solches Heiz- und Lüftungsverhalten in den Zeiträumen, in denen der Schimmelbefall aufgetreten war, von den Mietern nicht geübt wurde. Da sich zudem auch aus den gemessenen Oberflächentemperaturen keine Hinweise auf übermäßige wärmeschutztechnische Defizite ergaben, war die Ursache der streitgegenständlichen Schäden aus technischer Sicht in einem unzureichenden Nutzerverhalten zu suchen.

Anmerkungen

Auf zwei Aspekte dieses Schadensfalls sei an dieser Stelle gesondert hingewiesen, da derartige Phänomene relativ häufig festgestellt werden. So war zum einen schon anhand des Verlaufs der relativen Raumluftfeuchte (Bild 79) erkennbar, dass das Feuchteniveau in der Wohnung erst nach Beginn des Messzeitraums signifikant abgesenkt wurde. Die Betrachtung des Verlaufs der in der Wohnung festgestellten Feuchtelast und im Vergleich hierzu der typischen Feuchtelast in Bild 80 bestätigte diese Feststellung. Hier war deutlich zu erkennen, dass am Anfang des Messzeitraums die vorhandene Feuchtelast deutlich oberhalb der für die betroffene Wohnung typischen Feuchtelast lag. Erst nach gut vier Wochen näherten sich die Kurven an, um dann im übrigen Messzeitraum auf etwa gleichem Niveau zu verlaufen.

Dies wirkte sich natürlich auch auf die Oberflächenverhältnisse aus. So ist in Bild 81 anhand des ansteigenden Verlaufs der Differenzkurve deutlich zu erkennen, dass die Oberflächentemperatur im untersuchten Bereich im Verlauf des Messzeitraums immer deutlicher oberhalb der kritischen Oberflächentemperatur lag. Demnach konnte mit dem im Messzeitraum geübten Lüftungsverhalten das Risiko eines Schimmelbefalls gesenkt werden.

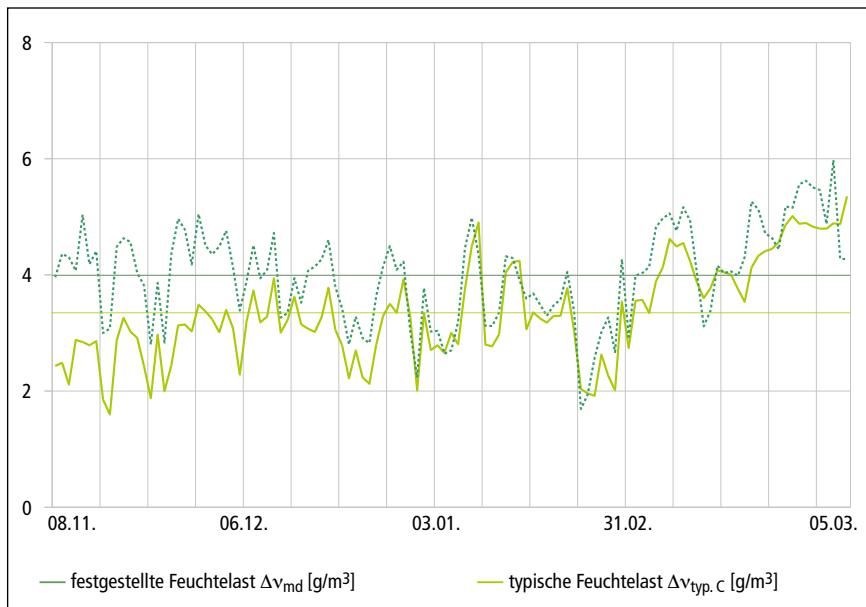


Bild 80 ■ Verlauf der vorhandenen Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum

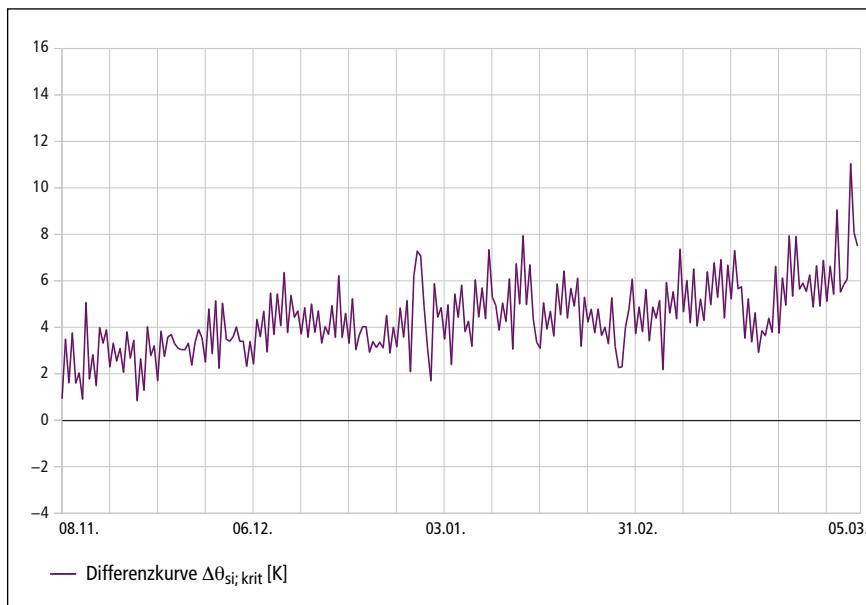


Bild 81 ■ Verlauf der Differenzkurve zwischen der gemessenen und der berechneten kritischen Oberflächentemperatur

Zum anderen zeigte sich, dass in der kältesten Periode am Ende des Messzeitraums der Abstand der Differenzkurve von der Nulllinie am größten war. Auch hierbei handelt es sich um ein typisches Phänomen, das insbesondere in Wohnungen festzustellen ist, in denen wärmeschutztechnische Defizite für das Auftreten eines Schimmelbefalls eine untergeordnete Rolle spielen.

Schadensvermeidung

Im Hinblick auf die vorstehende Beurteilung wäre es für die Vermeidung zukünftiger Schäden ausreichend, wenn nach fachgerechter Beseitigung des Schimmelbefalls ein Heiz- und Lüftungsverhalten, ähnlich dem im Untersuchungszeitraum festgestellten, geübt würde. Unabhängig davon würde die Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenbauteile natürlich auch hier zu einer Reduzierung des Schimmelrisikos führen und zudem eine energetische Aufwertung des Gebäudes bedeuten.

10.3.3 Nachweis eines ursächlichen Nutzerverhaltens bei ungenügender Lüftung im Messzeitraum

Ausgangssituation und Schadensbild

In einer etwa um 1930 errichteten größeren Wohnanlage wurde in einer Wohnung über mehrere Jahre hinweg wiederkehrend in sämtlichen Räumen erhebliche Schimmelbildung gerügt. Die etwa 70 m² große Wohnung befand sich direkt unterhalb eines nicht ausgebauten unbeheizten Dachgeschosses und wurde von einer dreiköpfigen Familie bewohnt. Die lichte Raumhöhe betrug ca. 2,7 m.

Die Außenwände bestanden aus Ziegelmauerwerk mit einer Dicke von ein- bis zweieinhalb Steinen im sogenannten Reichsformat, also im Rohbaumaß von ca. 38 cm ohne Putz, wie dies für die Bauzeit des Hauses typisch war. Nachträglich aufgebrachte Dämmschichten wurden weder innen- noch außenseitig vorgefunden. Die Wohnung war mit älteren Holzkastenfenstern ausgestattet.

Die nähere Untersuchung der Schadensbereiche ergab, dass es sich dabei im Wesentlichen um typische Wärmebrücken handelte.

Schadensursachen

Zur Untersuchung der Ursachen des Schimmelbefalls wurden in dem am stärksten betroffenen Bereich, einer dreidimensionalen Wärmebrücke im Bereich einer oberen Raumecke die Oberflächentemperaturen mithilfe eines aufgeklebten Messfühlers nebst angeschlossenem Datenlogger in einem ty-

pischen Winterzeitraum von ca. sechs Wochen im Abstand von fünf Minuten gemessen und aufgezeichnet. Parallel wurde in dem betreffenden Raum das Raumklima (Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte) aufgezeichnet. Die Messdaten sind in dem Diagramm in Bild 82 dargestellt.

Die Auswertung der Messergebnisse sowie der beigezogenen Daten des Deutschen Wetterdienstes zum Außenluftklima ergaben zunächst einmal hinsichtlich der Lufttemperaturen keine Auffälligkeiten. So waren die Außenlufttemperaturen zwar im Mittel relativ mild, lagen aber zwischen etwa -8 und gut +10 °C und damit in einem für den Winter typischen Spektrum. Die Raumlufttemperatur lag ohne größere Schwankungen im Mittel bei knapp 21 °C, also ebenfalls in einem ganz normalen Bereich (Bild 82).

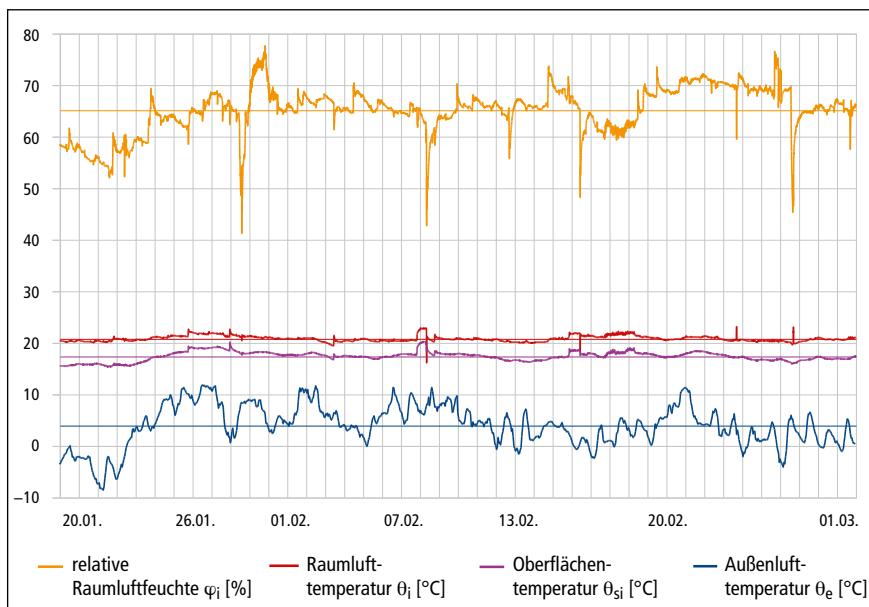


Bild 82 ■ Verlauf der Messkurven für die Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relative Raumluftfeuchte und die Oberflächentemperatur eines schadenbetroffenen Bereichs im Messzeitraum

Die Kurven der absoluten Raumlufthechute und der Raumlufttemperatur zeigten im gesamten Messzeitraum lediglich vereinzelte Stoßlüftungen im untersuchten Raum. Diese waren anhand eines gleichzeitigen sprunghaften Absinkens der absoluten Raumlufthechute und der Raumlufttemperatur erkennbar (vgl. Kapitel 6.3.4). Als Folge dieses sehr mäßigen Lüftungsverhaltens war die relative Raumluftfeuchte mit im Mittel ca. 65 % auch deutlich überhöht. Alle drei Kurvenverläufe sind in Bild 83 dargestellt.

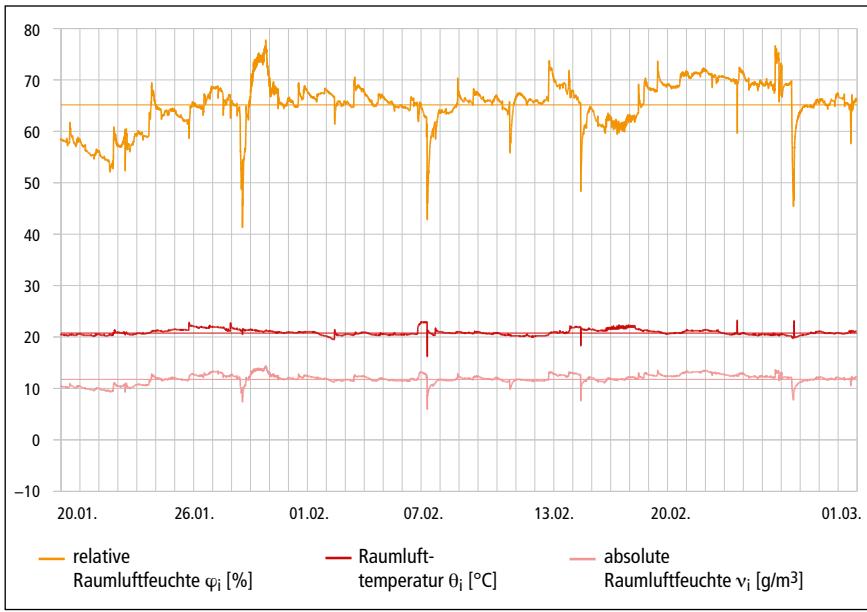


Bild 83 ▀ Verlauf der Raumlufttemperatur sowie der relativen Raumluftfeuchte im Messzeitraum (aus Bild 82) ergänzt um den Verlauf der absoluten Raumluftfeuchte

Die deutlich zu hohe Raumluftfeuchte spiegelte sich ebenfalls in der Feuchtelast wieder, die im Mittel etwa um den Faktor 1,5 über der für die Größe und Belegung der betroffenen Wohnung typischen Feuchtelast lag. Dabei wurde aufgrund des vorliegend lediglich zur Verfügung stehenden Raumvolumens von ca. 60 m³/Person die Feuchtelast C (normale Feuchtelast +5 %) als typisch zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 6.3.5). Die beiden Kurven sind in Bild 84 dargestellt.

Für die weitere Auswertung der Messdaten wurde zunächst aus den Messwerten für die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte die für Schimmelbefall kritische Oberflächentemperatur für jeden Messzeitpunkt berechnet. Anschließend wurden die kritischen Oberflächentemperaturen von den zum jeweiligen Zeitpunkt gemessenen (tatsächlichen) Oberflächentemperaturen im Schadensbereich abgezogen (vgl. Kapitel 6.4.7). Die daraus resultierende Differenzkurve ist im Diagramm in Bild 85 dargestellt. Die Kurve liegt über weite Strecken des Messzeitraums unterhalb der Nulllinie und zeigt damit rechnerisch für das Ansiedeln von Schimmel geeignete Bedingungen im untersuchten Schadensbereich an.

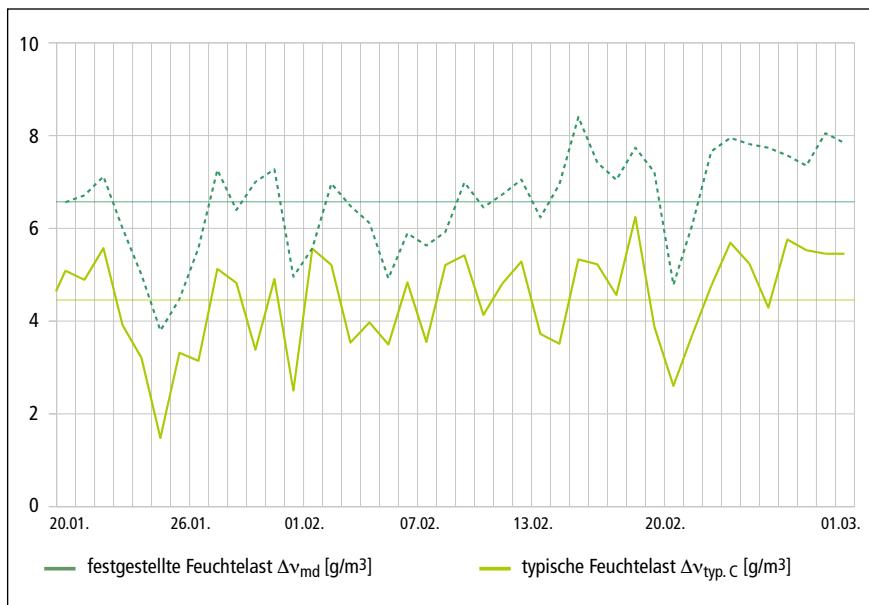


Bild 84 ▀ Verlauf der vorhandenen Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum

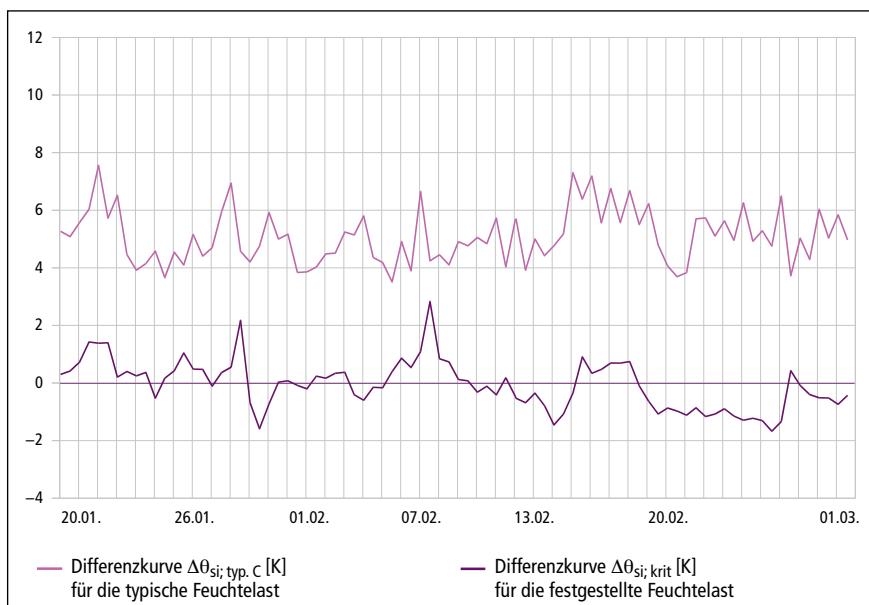


Bild 85 ▀ Verlauf der Differenzkurve zwischen den gemessenen und den berechneten kritischen Oberflächentemperaturen sowie der Differenzkurve unter Zugrundelegung typischer Feuchtelasten jeweils als Halbtagsmittelwerte

Betrachtet man parallel zum Verlauf dieser Differenzkurve den Verlauf der Außenlufttemperatur in Bild 82 sowie den Verlauf der absoluten Raumluftfeuchte in Bild 83, so stellt man fest, dass kritische Oberflächenverhältnisse weniger im Zusammenhang mit kalten Außenlufttemperaturen auftraten, sondern vielmehr mit hohen absoluten Raumluftfeuchten einhergingen. Überdies lagen die Oberflächentemperaturen, selbst in dem untersuchten am stärksten betroffenen Bereich der Wohnung, durchgehend oberhalb 15 °C, im Wesentlichen sogar deutlich über 16 °C und das, obwohl die Außenlufttemperaturen zeitweise über mehrere Tage deutlich unter dem Gefrierpunkt lagen. Dies sind Indizien dafür, dass Defizite des Wärmeschutzes hier nur eine eher untergeordnete Rolle gespielt haben.

Ergänzend wurde eine zweite Differenzkurve berechnet, bei der anstatt der tatsächlich gemessenen Raumluftfeuchten typische Raumluftfeuchten zugrunde gelegt wurden, wie sie sich bei Einhaltung der Feuchtelast C (normale Feuchtelast +5 %, siehe oben) ergeben würden. Die gemessenen Luft- und Oberflächentemperaturen blieben dabei unverändert (vgl. Kapitel 6.4.8). Auch diese Kurve findet sich im Diagramm in Bild 85. Sie liegt durchgehend deutlich oberhalb der Nulllinie (im Wesentlichen mehr als 4 K) und zeigt damit an, dass der untersuchte Bereich bei Einhaltung typischer Raumluftfeuchten ohne Weiteres schadenfrei gehalten werden kann.

Somit ergaben die Messungen keine Hinweise auf einen unzureichenden Wärmeschutz als Ursache für die festgestellten Schimmelbildungen. Vielmehr wäre bei Einhaltung üblicher Raumluftfeuchten das Auftreten von Schimmel vermieden worden. Offensichtlich lag aber das hierfür erforderliche Lüftungsverhalten nicht nur im Messzeitraum nicht vor, sondern auch in den Zeiträumen in denen die gerügten Schimmelbildungen aufgetreten waren.

Schadensvermeidung

Vor dem Hintergrund der vorstehenden Beurteilung sind bauliche Maßnahmen zur Vermeidung eines erneuten Schimmelbefalls nicht erforderlich. Vielmehr sind deutliche Veränderungen des Nutzerverhaltens geboten, nicht nur um ein zukünftiges Ansiedeln von Schimmel zu verhindern, sondern auch um die infolge des zu geringen Luftwechsels vermutlich schlechte Raumluftqualität zu verbessern. Unabhängig hiervon würde natürlich die Durchführung geeigneter Wärmedämmmaßnahmen nicht nur zu einer Verbesserung der energetischen Qualität des Gebäudes, sondern auch zur Vermeidung von Schimmelbefall beitragen.

10.3.4 Nachweis baulicher Defizite als Ursache eines Schimmelbefalls – Beispiel 1

Ausgangssituation und Schadensbild

Im Rahmen einer mietrechtlichen Auseinandersetzung war Schimmelbefall im Bereich der Gebäudeaußenecken eines aus der Fassade vorspringenden Zimmers einer Wohnung in einem Mietshaus aus den 1970 er Jahren zu beurteilen. Die Wohnung besaß eine Grundfläche von 66 m² bei einer Raumhöhe von etwa 2,53 m und wurde von zwei Personen bewohnt. Das betroffene Zimmer wurde zum Zeitpunkt der Begutachtung allerdings nicht mehr aktiv genutzt, sondern lediglich als Abstellraum verwendet.

Schadensursachen

Da eine Beurteilung der Schadensursachen anhand des Konstruktionsaufbaus (z.B. unter Anwendung des ›Verfahrens der erweiterten Wärmebrückenberechnungen‹) mit erheblichen zerstörenden Untersuchungen zur Feststellung des Konstruktionsaufbaus und entsprechenden Kosten verbunden gewesen wäre, wurde trotz der zwischenzeitlich vorgenommenen Nutzungsänderung des betroffenen Raums (vormals Schlafzimmer, jetzt Abstellraum) auf das ›Verfahren der komplexen Datenloggermessungen‹ zurückgegriffen. Dafür wurde über einen Zeitraum von knapp zwei Monaten mit einem Oberflächentemperaturfühler in einer betroffenen unteren Raumecke die Temperatur in Abständen von jeweils fünf Minuten gemessen und mittels eines Datenloggers aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde zu denselben Zeitpunkten mit einem zweiten Datenlogger die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte dokumentiert. Die dabei gemessenen Werte sind, ergänzt durch die vom Deutschen Wetterdienst eingeholten Außenlufttemperaturen, im Diagramm in Bild 86 dargestellt.

Die Auswertung der Messdaten ergab zusammengefasst Folgendes:

- Das betroffene Zimmer wurde während des Messzeitraums mit einer mittleren Raumlufttemperatur von $\theta_{i,m} = 18,0^{\circ}\text{C}$ nur mäßig beheizt (vgl. Bild 86).
- Obwohl im gesamten Messzeitraum lediglich eine Stoßlüftung in dem untersuchten Raum verzeichnet wurde, war die Raumluftfeuchte – vermutlich infolge der fehlenden aktiven Nutzung – vergleichsweise gering und lag sogar unter den für derartige Wohnungen typischen Werten. Dies ist besonders deutlich anhand des Verlaufs der gemessenen Feuchtelast und der für eine derartige Wohnung typischen Feuchtelast in Bild 87 zu erkennen. Im Hinblick auf die Wohnungsgröße von knapp 170 m³ und die

Belegung der Wohnung mit zwei Personen wurde dabei als typisch die normale Feuchtelast Typ B angenommen (Kapitel 6.3.5)

- Trotz der geringen Feuchtelast lagen im Untersuchungszeitraum über längere Phasen schimmelkritische Oberflächenverhältnisse an der Untersuchungsstelle vor. Hätten für derartige Wohnungen im Rahmen einer typischen Nutzung zu erwartende Raumluftfeuchten vorgelegen, wären die Oberflächenverhältnisse sogar noch ungünstiger gewesen, wie das Diagramm in Bild 88 zeigt.
- In Relation zu den Raum- und Außenlufttemperaturen sind die gemessenen Oberflächentemperaturen sehr gering und ein deutlicher Hinweis auf einen ungünstigen Wärmeschutz (Bild 86).

Insgesamt ergab die Auswertung der Messdaten folglich, dass die Wohnung im Bereich der streitgegenständlichen dreidimensionalen Wärmebrücken hinsichtlich des Wärmeschutzes nicht gebrauchstauglich war. So konnten trotz des festgestellten typischen Raumklimas im Messzeitraum über mehrere Tage andauernde schimmelkritische Oberflächenverhältnisse in den neuralgischen Bereichen nicht vermieden werden. Auch im Hinblick auf das nicht untypische Außenklima in dem betreffenden Zeitraum und die insofern ungewöhnlich niedrigen gemessenen Oberflächentemperaturen war daher davon auszugehen, dass in erster Linie bauliche Ursachen (nämlich ein unzureichender Wärmeschutz) zu dem streitgegenständlichen Schimmelbefall geführt hatte.

Offen blieb in diesem Fall, ob zusätzlich auch ein im Entstehungszeitraum des Schimmelbefalls ungünstigeres Raumklima zu den Schadensbildern beigetragen hatte. Dies kann im Falle derartiger wärmeschutztechnischer Defizite anhand von Datenloggermessungen im Nachhinein in der Regel nicht mehr festgestellt werden, was im Allgemeinen aber auch nicht notwendig ist. Sofern nämlich ein baulicher Mangel vorliegt, der als Mietmangel zu werten ist, kommt es auf das Nutzerverhalten als mögliche weitere Schadensursache nur dann an, wenn klar ist, dass auch nach Durchführung entsprechender konstruktiver Maßnahmen zur Beseitigung der baulichen Mängel das Nutzerverhalten erneut zu Schimmelschäden führen würde. Da es hierfür vorliegend keine Anhaltspunkte gab, konnte auf eine Beurteilung des tatsächlichen Nutzerverhaltens im Zeitraum der Schadensentstehung verzichtet werden.

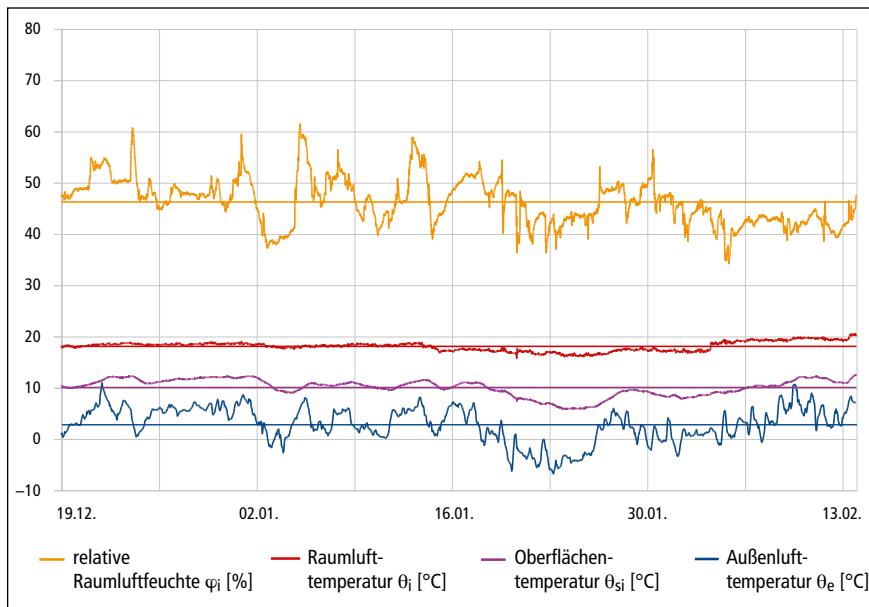


Bild 86 ■ Verlauf von Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchte und Oberflächentemperatur im Messzeitraum

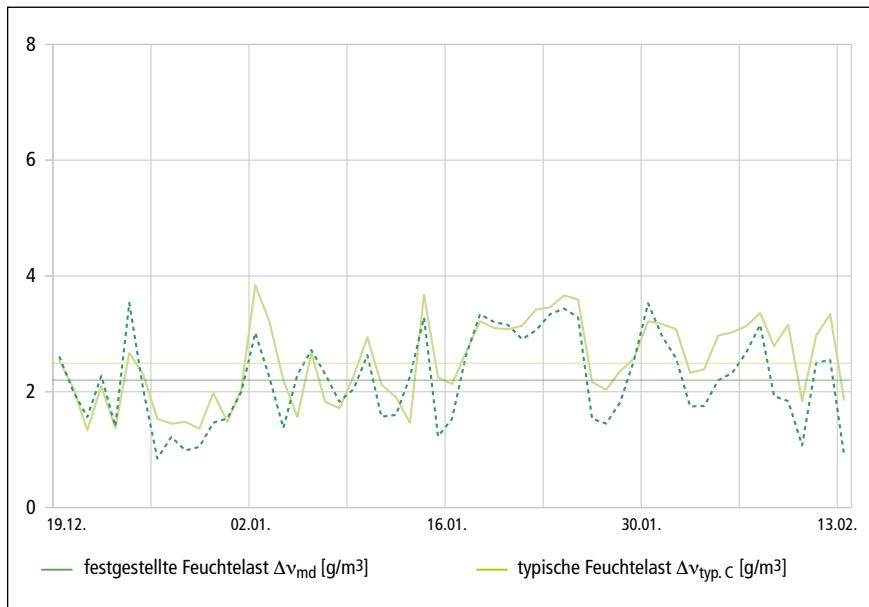


Bild 87 ■ Verlauf der festgestellten Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum

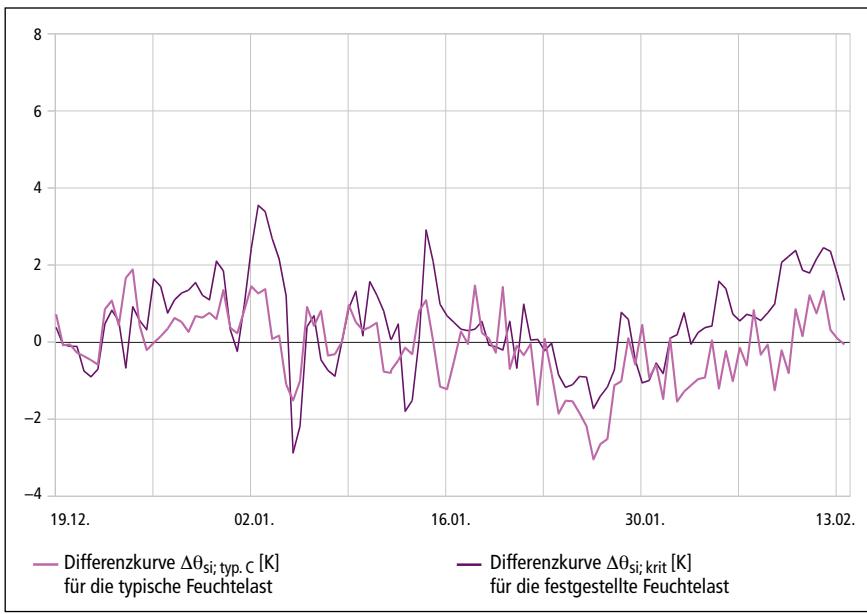


Bild 88 ▀ Verlauf der Differenzkurve zwischen den gemessenen und den berechneten kritischen Oberflächentemperaturen sowie der Differenzkurve unter Zugrundelegung typischer Feuchtelasten (Nutzungsszenario B) jeweils als Halbtagsmittelwerte im Messzeitraum.

Schadensvermeidung

Grundsätzlich stehen zur Verbesserung der schadensursächlichen baulichen Situation mehrere Varianten zur Auswahl. In erster Linie sind dies Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes. Sofern eine grundlegende Verbesserung für das gesamte betroffene Gebäude angestrebt wird, ist die Anbringung einer außenseitigen Wärmedämmung, beispielsweise in Form eines Wärmedämmverbundsystems oder einer Wärmedämmung mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade, zu empfehlen. Sollen dagegen lediglich die betroffenen streitgegenständlichen Bereiche ertüchtigt werden, bieten sich Lösungen mit partiellen Innendämmungen, beispielsweise mit Kalziumsilikatplatten o. Ä. an (vgl. Kapitel 8.3).

Alternativ besteht die Möglichkeit die innenseitige Oberflächentemperatur in den kritischen Bereichen mittels sogenannter Wärmebrückenbeheizungen in einen unkritischen Bereich anzuheben. Dabei werden in den betreffenden Bereichen Heizdrähte oder Heizfolien auf der Bauteiloberfläche befestigt, mit deren Hilfe die Oberflächentemperatur in kritischen Phasen des Winters auf den gewünschten Wert angehoben werden kann (sogenannte aktive

Wärmebrückenbeheizung). Alternativ besteht die Möglichkeit im Bereich der kritischen Bauteiloberflächen großflächig gut wärmeleitende Materialien, beispielsweise Metallfolien bzw. -bleche, aufzubringen. Infolge Wärmequerleitung aus den von der Wärmebrücke weiter entfernten Bereichen mit höheren Oberflächentemperaturen erfolgt hierdurch ein Wärmetransport zu den neuralgischen Bereichen hin. Dadurch steigt dort die Oberflächentemperatur an. Mit derartigen sogenannten passiven Wärmebrückenbeheizungen kann die Oberflächentemperatur in einem kritischen Bereich allerdings im Allgemeinen nur in einer Größenordnung von ein bis maximal 2 K angehoben werden. Dafür ist aber auch keine Zuführung von Heizenergie erforderlich.

10.3.5 Nachweis baulicher Defizite als Ursache eines Schimmelbefalls – Beispiel 2

Ausgangssituation und Schadensbild

In einer vergleichsweise kleinen Wohnung mit nur knapp 45 m² Grundfläche wurde in der kalten Jahreszeit wiederholt auftretender Schimmelbefall an den Außenwänden im Schlafzimmer gerügt. Das Mietshaus, in dem sich die Wohnung befand, war um 1970 errichtet worden und besaß eine für die Bauzeit typische lichte Geschoss Höhe von etwa 2,5 m. Die opaken Außenbauteile waren energetisch im bauzeitlichen Zustand verblieben. Nach Angaben der Mieter, einem Ehepaar mit einem kleinen Kind, trat der Schimmelbefall jeweils kurz nach vorheriger Beseitigung erneut auf.

Schadensursachen

Um die Ursachen für den Schimmelbefall beurteilen zu können, wurden über einen winterlichen Zeitraum von zwei Monaten im Abstand von jeweils fünf Minuten mithilfe von Datenloggern die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte sowie in einem schadensbetroffenen Bereich die Oberflächentemperatur aufgezeichnet und zusammen mit den betreffenden Angaben des Deutschen Wetterdienstes zum Außenklima ausgewertet. Die Messdaten können dem Diagramm in Bild 89 entnommen werden.

Die Auswertung der Messdaten führte zu folgenden Ergebnissen:

- Die Raumlufttemperatur des untersuchten Schlafzimmers entsprach im Messzeitraum üblichen Werten, sodass die Beheizung nicht zu beanstanden war. Ebenso war die Abführung von Nutzungsfeuchte mittels Lüftung im Messzeitraum nicht zu beanstanden. So lag die relative Raumluftfeuchte im Mittel bei etwa 45 % und in der Folge die festgestellte Feuchtelast über weite Strecken sogar unterhalb der für die betreffende Wohnung typischen

Feuchtelast. Aufgrund der vergleichsweise geringen Wohnungsgröße und der Nutzung durch drei Personen war vorliegend allerdings auch eine hohe Feuchtelast, also Kategorie D entsprechend Kapitel 6.3.5, als typisch anzunehmen. Der Verlauf der beiden Feuchtelastkurven ist dem Diagramm in Bild 90 zu entnehmen.

- Trotz der insofern eher geringen Luftfeuchte in der Wohnung, und obwohl im Messzeitraum vergleichsweise milde Außenlufttemperaturen vorherrschten, wurden über nennenswerte Zeiträume schimmelkritische Oberflächenverhältnisse im Untersuchungsbereich ermittelt. Hätte anstatt des festgestellten Raumklimas ein für derartige Wohnungen typisches Raumklima geherrscht, wären die Zeiträume mit schimmelkritischen Oberflächenverhältnissen sogar noch deutlich länger ausgefallen. Zur Veranschaulichung sind die beiden Differenzkurven in dem Diagramm in Bild 91 dargestellt.
- Die gemessenen Oberflächentemperaturen lagen im Mittel bei $\theta_{si;m} = 13,8^\circ\text{C}$ und waren somit in Relation zu den jeweils zugehörigen Raum- und Außenlufttemperaturen ($\theta_{i;m} = 21,9^\circ\text{C}$ und $\theta_{e;m} = 5,8^\circ\text{C}$) als vergleichsweise gering einzuschätzen. Sie gaben insofern einen deutlichen Hinweis auf einen ungünstigen Wärmeschutz des untersuchten Wandbereichs (Bild 89).

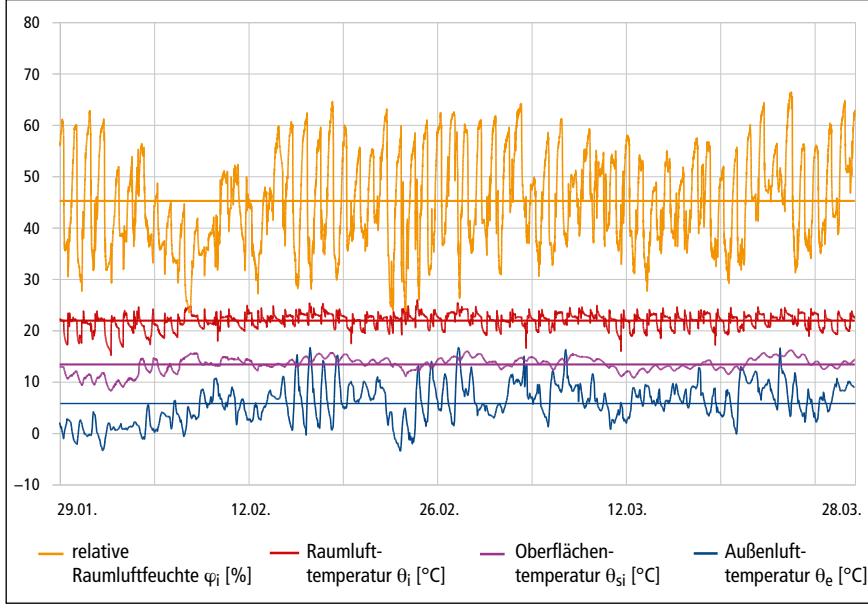


Bild 89 ■ Verlauf von Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchte und Oberflächentemperatur im Messzeitraum

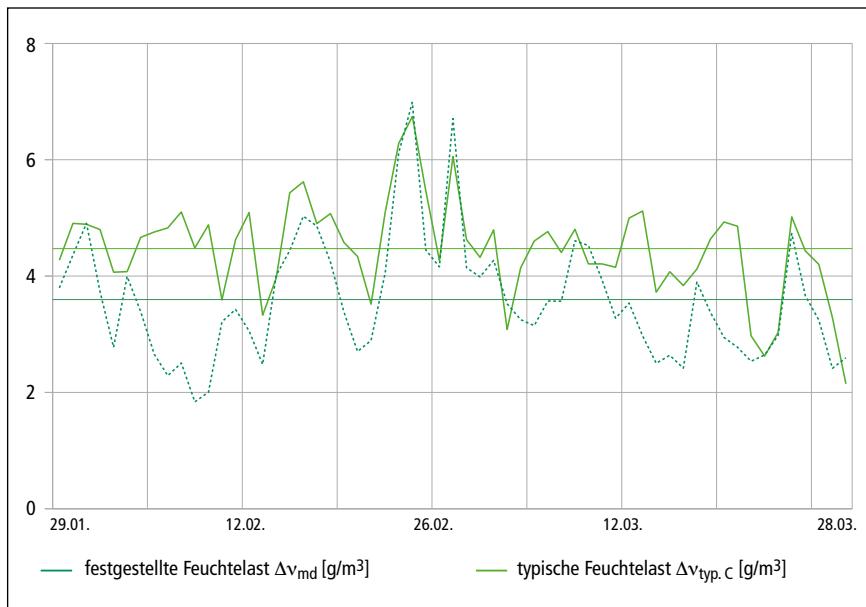


Bild 90 ■ Verlauf der festgestellten Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum

Vor diesem Hintergrund waren im vorliegenden Fall aus technischer Sicht zwei Aspekte von besonderer Bedeutung:

Einerseits besaßen die Außenbauteile der Wohnung – für die Bauzeit typisch – einen vergleichsweise ungünstigen Wärmeschutz, sodass bei einem für die vorliegende Nutzung zu erwartenden typischen Feuchteniveau das Auftreten von Schimmelbefall nicht ohne Weiteres vermieden werden konnte (Bild 91). Auch Hinweise auf ein Fehlverhalten der Mieter beim Heizen und Lüften ergaben sich aus den durchgeföhrten Messungen nicht. Beides sprach für eine bauliche Ursache für den Schimmelbefall, nämlich den nur mäßig ausgeprägten Wärmeschutz der Außenbauteile.

Andererseits entsprach der Zustand des Gebäudes den zum Zeitpunkt seiner Errichtung geltenden Bauvorschriften und technischen Normen, sodass das Vorhandensein von Wärmebrücken in den Außenwänden nicht per se einen Mietmangel darstellte, den der Vermieter zu beseitigen hat [BGH, 2018-1].

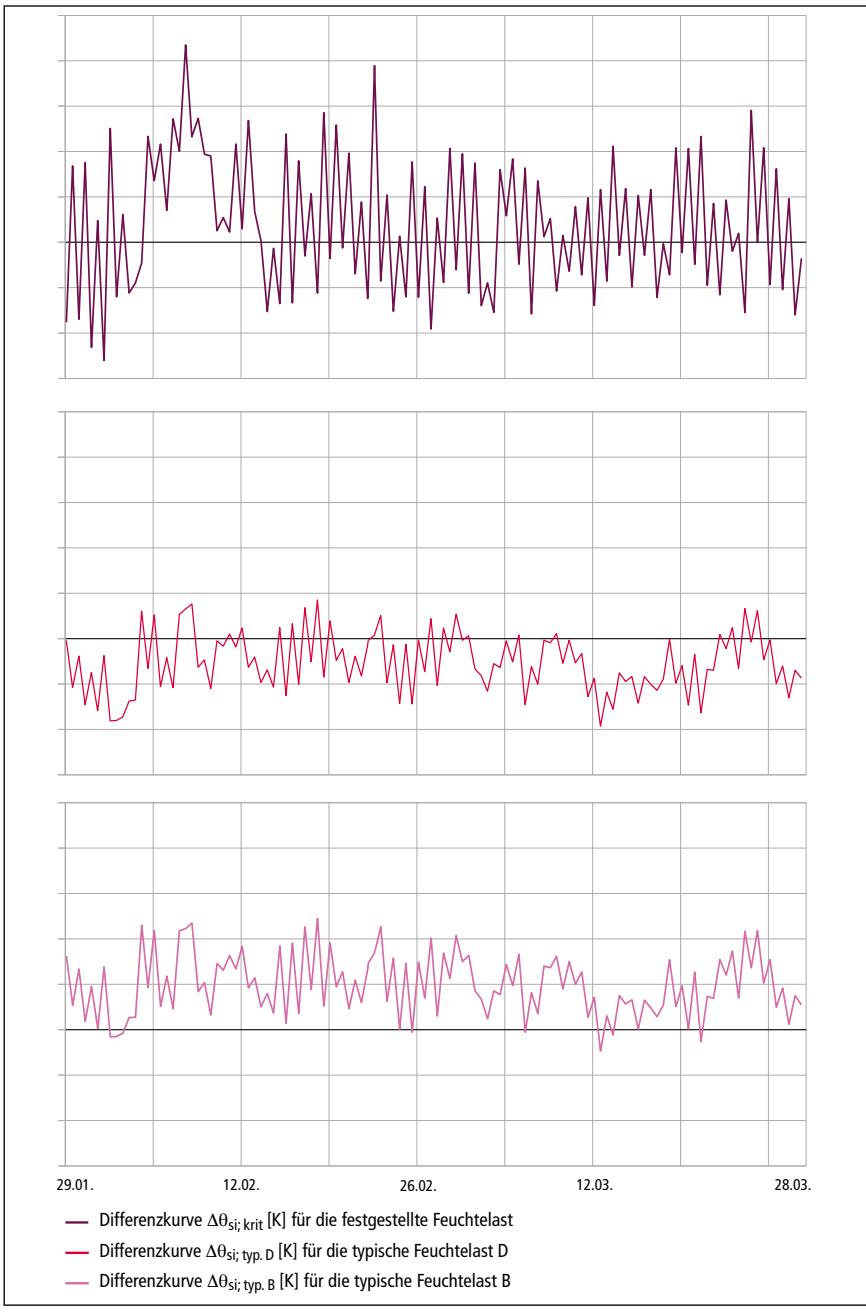


Bild 91 ■ Verlauf der Differenzkurve zwischen den gemessenen und den berechneten kritischen Oberflächentemperaturen (oben) sowie der Differenzkurve unter Zugrundelegung typischer Feuchtelasten (Nutzungsszenario D für drei Bewohner (Mitte) und Nutzungsszenario B für einen Bewohner (unten)) jeweils als Halbtagsmittelwerte im Messzeitraum

Zudem war die Wohnung im Hinblick auf die geringe Grundfläche und die niedrige Deckenhöhe mit drei Personen auch vergleichsweise eng belegt. Aus bauphysikalischer Sicht ergibt sich mit abnehmendem je Bewohner zur Verfügung stehendem Raumvolumen aber eine zunehmende Notwendigkeit der Lüftung, um das Auftreten einer hohen Raumluftfeuchte und in der Folge von Schimmelbefall sicher zu vermeiden. Für den vorliegenden Fall ergaben weitergehende Betrachtungen, dass die Wohnung nur bei einer Nutzung durch lediglich eine Person unter Einhaltung des hierfür typischen Raumklimas ohne Weiteres schadenfrei zu halten wäre (die entsprechende Differenzkurve, die mit Unterschreitungen der Nulllinie Zeiträume mit schimmelkritischen Oberflächenverhältnissen anzeigt, findet sich ebenfalls im Diagramm in Bild 91). Somit war ein erhöhter Lüftungsaufwand erforderlich, um auch bei einer Nutzung durch drei Personen ein vergleichbares Raumklima zu erzielen.

Schadensvermeidung

Unabhängig von der rechtlichen Bewertung des beschriebenen Schadensfalls kamen zur sicheren Vermeidung eines zukünftigen Schimmelbefalls neben einer fachgerechten Beseitigung des vorhandenen Schadensbildes sowohl die im vorstehenden Kapitel 10.3.4 beschriebenen baulichen Maßnahmen infrage als auch ein entsprechend angepasstes, sehr akkurate Heiz- und Lüftungsverhalten der Mieter. Für den Fall, dass allein Letzteres angestrebt werden sollte, wäre zu empfehlen, dem Mieter detaillierte, auf die bauphysikalischen Eigenschaften der betroffenen Wohnung abgestimmte Vorgaben zum Heiz- und insbesondere Lüftungsverhalten an die Hand zu geben.

10.3.6 Grenzen des Verfahrens

Ausgangssituation und Schadensbild

In einer gerichtlichen Auseinandersetzung um Mietminderungen wegen eines Schimmelbefalls war die Ursache des Befalls sachverständig zu ermitteln. Die von zwei Personen bewohnte, etwa 60 m² große Wohnung befand sich im obersten Geschoss unterhalb des Flachdachs eines Anfang der 1970er-Jahre errichteten und energetisch nicht sanierten Wohnhauses. Das Schadensbild zeigte sich im Bereich der Deckenixel der Außenwände und dort insbesondere angrenzend an die Außenwandkanten, also im Bereich typischer Wärmebrücken.

Beurteilung

Um eine Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit der betroffenen Wohnung hinsichtlich ihres Wärmeschutzes einerseits und des Heiz- und Lüftungsverhaltens der Mieter andererseits zu ermöglichen, wurden in der Küche der Wohnung Datenloggermessungen nach dem bekannten Schema durchgeführt, also mittels Messung und Aufzeichnung der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte sowie der Oberflächentemperatur in einem Schadensbereich im Abstand von jeweils fünf Minuten. Ebenso wurden die Messwerte des Deutschen Wetterdienstes zum Außenklima im Messzeitraum einbezogen. Im Hinblick auf eine seitens des Gerichts explizit gewünschte möglichst kurzfristige Bearbeitung wurden die Messungen vergleichsweise spät in der Heizperiode von Anfang Februar bis Anfang April durchgeführt, aber insofern durchaus noch in der eigentlich kalten Jahreszeit. Sämtliche Messwerte sind in dem Diagramm in Bild 92 dokumentiert.

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Außenlufttemperatur im Messzeitraum insgesamt nur an wenigen Tagen überhaupt unter den Nullpunkt sank und im Mittel bei etwa 7 °C lag. Die niedrigste im Messzeitraum gemessene Außenlufttemperatur lag bei -3,5 °C. Die Außenlufttemperaturen waren insofern nicht typisch für die kalte Jahreszeit, was die Möglichkeiten, aus den Messdaten Rückschlüsse auf die Schadensursachen zu ziehen, erheblich einschränkte. Im Einzelnen ergaben sich aus den Messwerten zunächst einmal folgende weitere Einschätzungen:

- Die Raumlufttemperatur war mit knapp 20 °C im Mittel relativ gering. Die Küche wurde aber im Wesentlichen kontinuierlich beheizt. Lediglich in zwei jeweils mehrere Tage andauernden Zeiträumen, in denen die Mieter offenbar verreist waren, wurden um 2 bis 3 K geringere Temperaturen gemessen. Die Raumlufttemperaturen waren daher nicht zu bemängeln.
- Die Raumluftfeuchte bzw. die Feuchtelast lagen im Messzeitraum in einer für die Grundfläche der Wohnung und die Anzahl der Bewohner typischen Größenordnung. Überdies zeigte eine detailliertere Auswertung der Messkurven in größerer Auflösung, dass offenbar auch nutzungsbedingte Feuchtespitzen, wie sie typischerweise in Küchen auftreten, jeweils zeitnah abgelüftet wurden. Auch das Lüftungsverhalten der Mieter im Messzeitraum war insofern nicht zu beanstanden. Folglich wichen die festgestellte Feuchtelast insgesamt auch nicht nennenswert von der für die betreffende Wohnung typischen Feuchtelast ab (Bild 93).
- Als Folge des guten Nutzerverhaltens einerseits und der milden Außenlufttemperaturen andererseits lagen die Oberflächentemperaturen im Untersuchungsbereich während des gesamten Messzeitraums oberhalb kritischer Werte. Das Diagramm in Bild 94 zeigt hierzu die Differenz der

gemessenen Oberflächentemperatur und der jeweils schimmelkritischen Oberflächentemperatur im Untersuchungsbereich als Halbtagsmittelwerte. Unterschreitungen der Nulllinie markieren dabei schimmelkritische Oberflächenverhältnisse. Erkenntbar ist aber auch, dass trotz der milden Außenlufttemperaturen, kritische Oberflächenverhältnisse zeitweise nur relativ knapp vermieden wurden. Dabei zeigte ein Vergleich mit den Diagrammen in den Bild 92 und Bild 93, dass die Annäherungen an die Nulllinie nicht mit Teilzeiträumen zusammenfielen, in denen die gemessene Feuchtelast vergleichsweise deutlich oberhalb der typischen Feuchtelast lag, sondern eher im Nachgang zu Phasen mit geringeren Außenlufttemperaturen. Dies stellt erfahrungsgemäß zumindest einen Hinweis auf einen eher ungünstigen Wärmeschutz dar, was im Übrigen auch mit allgemeinen Erfahrungen bezüglich der Bausubstanz aus den frühen 1970er-Jahren korrespondiert.

Zusammenfassend konnte insofern auf der Grundlage der durchgeföhrten Messungen lediglich festgestellt werden, dass das Heiz- und Lüftungsverhalten der Mieter im Messzeitraum nicht zu beanstanden und die Wärmedämmung in den betroffenen Bereichen – im Hinblick auf das Baujahr erwartungsgemäß – eher schwach ausgeprägt war. Infolge der milden Außenlufttemperaturen während des erst spät in der Heizperiode liegenden Untersuchungszeitraums waren aber weitergehende Rückschlüsse, insbesondere auf das Nutzerverhalten in dem Zeitraum, in dem die streitgegenständlichen Schadensbilder entstanden waren, in diesem Fall nicht möglich. So fehlten Phasen mit typischen winterlich kalten Außenlufttemperaturen und dementsprechend auch die zugehörigen Messwerte für die Oberflächentemperaturen in solchen Zeiträumen. Diese stellen aber die Grundlage für die weitergehende Beurteilung des Konstruktionsaufbaus auf der Basis typischer Feuchtelasten dar. Auch eine Einschätzung zur Wärmedämmung im Untersuchungsbereich war infolge der geringen Temperaturgradienten zwischen Raumluft, Wandoberfläche und Außenluft kaum möglich. Um insofern eine abschließende Beurteilung vornehmen zu können, bestand nur die Möglichkeit, entweder die Messungen in der darauf folgenden Heizperiode zu wiederholen oder auf das ›Verfahren der erweiterten Wärmebrückeberechnungen‹ zurückzugreifen, was allerdings im vorliegenden Fall mit erheblichen Eingriffen in die Bausubstanz zur Untersuchung der Konstruktionsaufbauten und entsprechenden Kosten verbunden war.

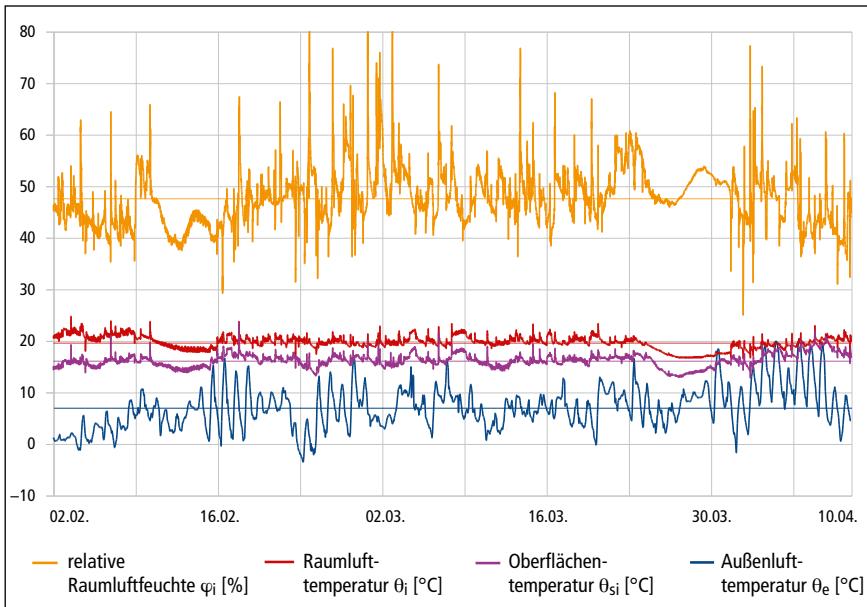


Bild 92 ▀ Verlauf von Außenlufttemperatur, Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchte und Oberflächentemperatur im Messzeitraum

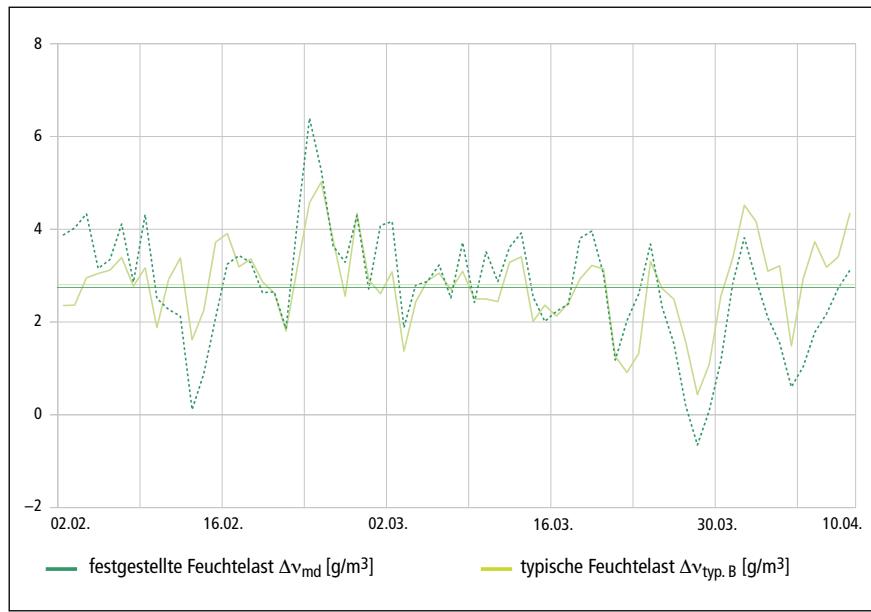


Bild 93 ▀ Verlauf der festgestellten Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum

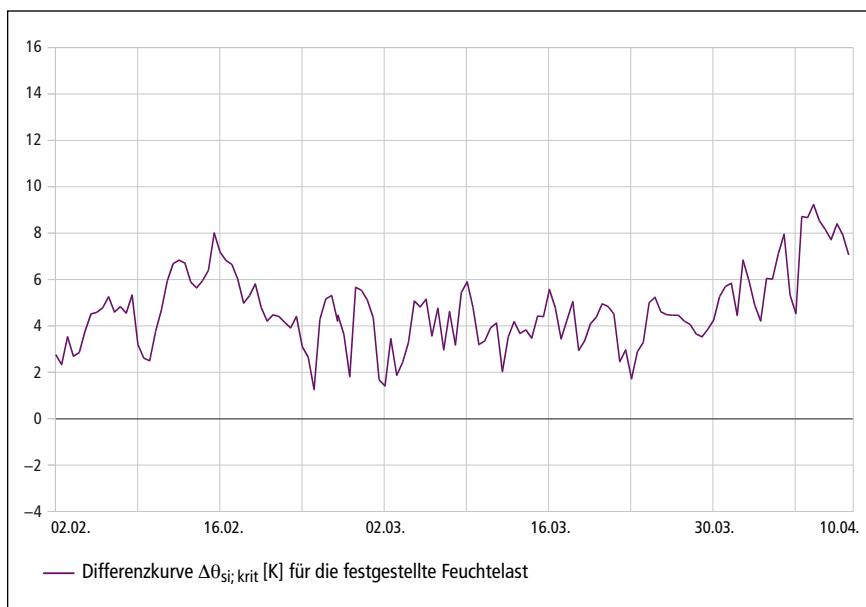


Bild 94 ■ Verlauf der Differenzkurve zwischen den gemessenen und den berechneten kritischen Oberflächentemperaturen als Halbtagsmittelwerte im Messzeitraum

Resümee

Das Schadensbeispiel zeigt eine gewisse Abhängigkeit des ›Verfahrens der komplexen Datenloggermessungen‹ von den Randbedingungen der Messungen. So können insbesondere von üblichen Werten erheblich abweichende Randbedingungen in bestimmten Fällen zu Problemen bei der Beurteilung führen. Dies können zu hohe Außenlufttemperaturen (wie im vorliegenden Fall), aber auch übermäßiges Heizen und Lüften oder wesentlich zu geringe Raumlufttemperaturen im Messzeitraum sein. Ob im Einzelfall tatsächlich eine abschließende Beurteilung möglich oder nicht möglich ist, hängt aber von der gesamten Konstellation ab. So wäre auch bei den im vorliegenden Fall vergleichsweise hohen Außenlufttemperaturen eine abschließende Beurteilung der Schadensursachen ggf. möglich gewesen, beispielsweise wenn dort Schwachstellen mit einer (noch) geringeren Wärmedämmung vorgelegen hätten, an denen trotz des nicht zu beanstandenden Nutzerverhaltens, über nennenswerte Zeiträume schimmelkritische Oberflächenverhältnisse festgestellt worden wären. Insofern ergibt sich in der Regel erst nach Auswertung aller Messdaten, ob eine abschließende Beurteilung letztendlich möglich ist. In der Praxis der Autoren war dies bislang aber lediglich in weniger als 2 % der mit dem ›Verfahren der komplexen Datenloggermessungen‹ beurteilten Schimmelschäden der Fall.

10.3.7 Einfluss des Außenklimas auf die Beurteilung nach dem Verfahren komplexer Datenloggermessungen

Sachverhalt

In einer mietrechtlichen Auseinandersetzung hatte die Beurteilung eines Schimmelbefalls (Bild 95) nach dem ‚Verfahren der komplexen Datenloggermessungen‘ folgendes Ergebnis:

- Im Untersuchungszeitraum im Winter 2016/2017 lag die durchschnittliche Raumlufttemperatur im untersuchten Kinderzimmer bei knapp 20°C, und es wurde im Wesentlichen zwei- bis dreimal täglich stoßgelüftet. Das Raumklima entsprach hinsichtlich der Feuchtelast im Mittel dem für eine derartige Wohnung zu erwartenden Raumklima. Das Nutzerverhalten war insofern im Untersuchungszeitraum nicht zu beanstanden.
- Mit diesem Heiz- und Lüftungsverhalten konnte das Auftreten neuer Schimmelbildungen vermieden werden. Selbst schimmelkritische Oberflächenverhältnisse waren in der untersuchten Raumecke nur punktuell und über kurze unkritische Zeiträume zu verzeichnen.
- Insofern wurde davon ausgegangen, dass in dem streitgegenständlichen Zeitraum, in dem der gerügte massive Schimmelbefall aufgetreten war, ein wesentlich ungünstigeres Raumklima vorgeherrscht haben musste.
- Hierfür sprachen im Übrigen auch die Angaben der Kläger selbst, denen zufolge schon beim Unterschreiten von Außenlufttemperaturen von ca. 0°C raumseitig flächige Tauwasserbildung an den Verglasungen der Fenster aufgetreten waren. Dies konnte jedoch bei den vorgefundenen älteren Isolierverglasungen erst bei relativen Raumluftfeuchten über 60 % der Fall gewesen sein, was wiederum bei Außenlufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt als übermäßig viel einzuschätzen war.
- Dagegen wurde der Einfluss möglicherweise ungünstiger Außenklima in dem Zeitraum, in dem der gerügte Schimmelbefall entstanden war (Winter 2012/2013), gegenüber dem Messzeitraum (Winter 2016/2017) als von untergeordneter Bedeutung eingeschätzt.

Bezüglich der letztgenannten Einschätzung bat das Gericht um eine ergänzende Stellungnahme.

Stellungnahme

Vor diesem Hintergrund wurde die letztgenannte Einschätzung anhand einer Gegenüberstellung des Außenklimas im Winter 2012/2013 und im Winter 2016/2017 sowie einer ergänzenden Auswertung der eigenen Messdaten in diesem Zusammenhang verifiziert.



Bild 95 ■ Schadensbild in der untersuchten Raumecke mit dem zur Messung der Oberflächentemperatur installierten Datenlogger

Die detaillierte Auswertung der betreffenden Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ergab dabei, dass die Außenlufttemperatur im Winter 2012/2013, als der Schimmelbefall entstanden war, im Mittel niedriger als im Messwinter 2016/2017 war. Der Winter 2012/2013 war dabei von kürzeren, aber intensiveren Kälteperioden gekennzeichnet, während der Winter 2016/2017 eine längere, aber nicht so ausgeprägte Kälteperiode aufwies (Bild 96). Die über den gesamten betrachteten Zeitraum geringere Durchschnittstemperatur war aber insbesondere auf die ab etwa Mitte Februar im Jahr 2017 vergleichsweise milden Außenlufttemperaturen zurückzuführen.

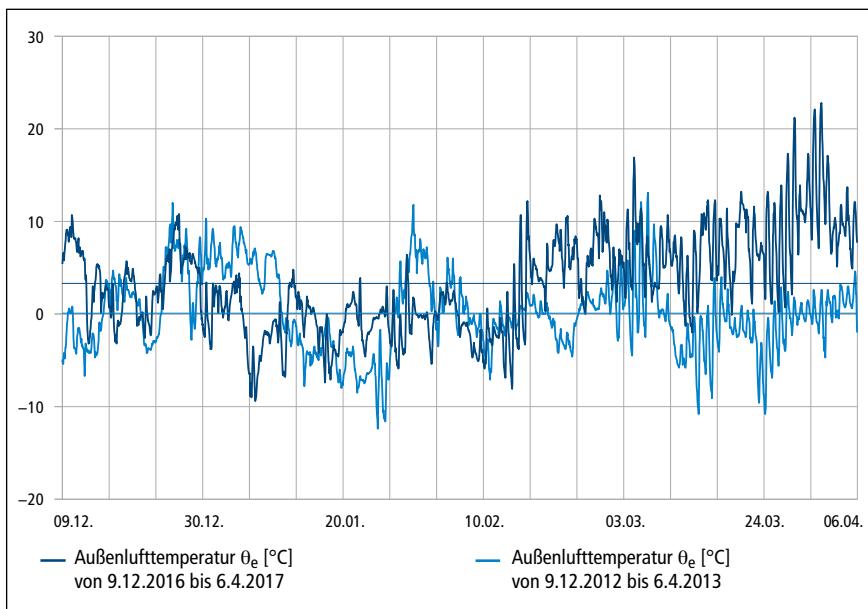


Bild 96 ■ Verlauf der Außenlufttemperaturen in den beiden betrachteten Wintern

Die Außenluftfeuchte war in beiden betrachteten Heizperioden insgesamt gleichermaßen geeignet, um mittels Lüftung Nutzungsfeuchte abzuführen. Insofern lagen in den beiden Wintern zumindest keine gravierend voneinander abweichenden oder ungewöhnlichen Außenluftklima vor.

Die weitergehende Auswertung der Differenzkurve zwischen der gemessenen Oberflächentemperatur und der schimmelkritischen Oberflächentemperatur auf der Basis zwölfstündiger Mittelwerte ergab für den Messwinter 2016/2017, dass kritische Annäherungen an die Nulllinie im Wesentlichen gerade nicht mit besonders kalten Außenlufttemperaturen zusammenfielen (Bild 97).

Darüber hinaus wurden auch die Kurven für die festgestellte und die typische Feuchtelast im Messzeitraum näher analysiert. Dabei zeigte sich, dass insbesondere in den Zeiträumen, in denen die festgestellte Feuchtelast relativ deutlich oberhalb der ansonsten im Wesentlichen parallel laufenden typischen Feuchtelast lag, die Oberflächenfeuchte im Untersuchungsbereich kritischen Werten am nächsten kam (Bild 98).

Die Gefahr kritischer Oberflächenverhältnisse war im Messwinter insofern weniger von der Intensität der Kälteperioden bzw. von den Außenlufttemperaturen beeinflusst als vielmehr von den Phasen mit ungünstigen raumklimatischen Verhältnissen. Insofern konnte aufgrund der überdies in den beiden verglichenen Heizperioden nicht grundsätzlich voneinander abweichenden Außenklima tatsächlich davon ausgegangen werden, dass in dem Winter, in dem der streitgegenständliche Schimmelbefall entstanden war, ein gegenüber dem Messwinter deutlich ungünstigeres Heiz- und Lüftungsverhalten geübt worden war und die Schäden hierauf zurückzuführen waren.

Resümee

Das vorstehende Ergebnis der weitergehenden Auswertung der Messkurven bezüglich der Frage der Vergleichbarkeit der klimatischen Randbedingungen in dem Zeitraum, in dem das Schadensbild entstanden ist, mit denjenigen im Messzeitraum war zu erwarten. So hat die Auswertung der Messdaten einer Vielzahl von vergleichbaren Schadensfällen gezeigt, dass insbesondere bei nutzungsbedingten Schadensbildern, kritische Oberflächenverhältnisse in der Regel im Zusammenhang mit besonders hohen Raumluftfeuchten auftraten und deutlich seltener während besonders kalter Winterperioden.

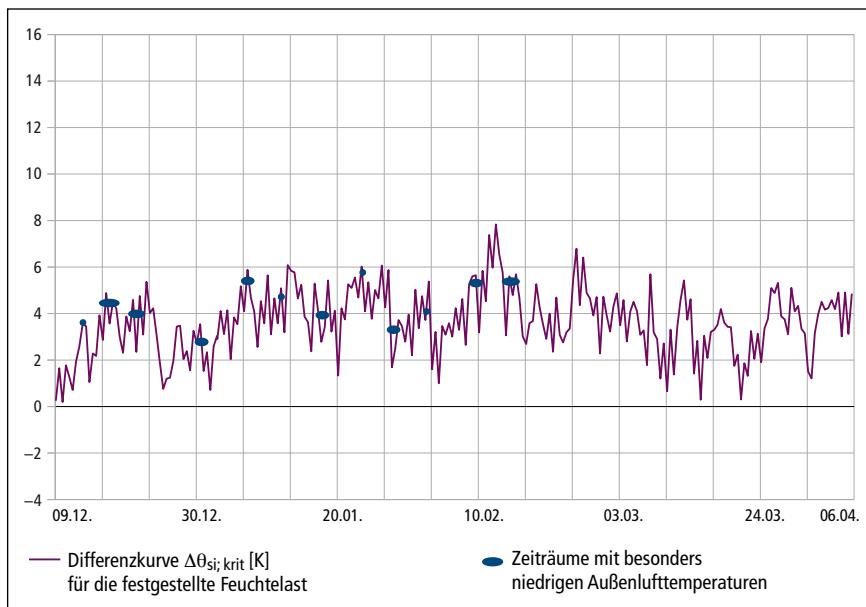


Bild 97 □ Verlauf der Differenzkurve zwischen den gemessenen und den berechneten kritischen Oberflächentemperaturen als Halbtagsmittelwerte im Messzeitraum mit Markierung der Zeiträume mit besonders niedrigen Außenlufttemperaturen (vgl. Bild 96)

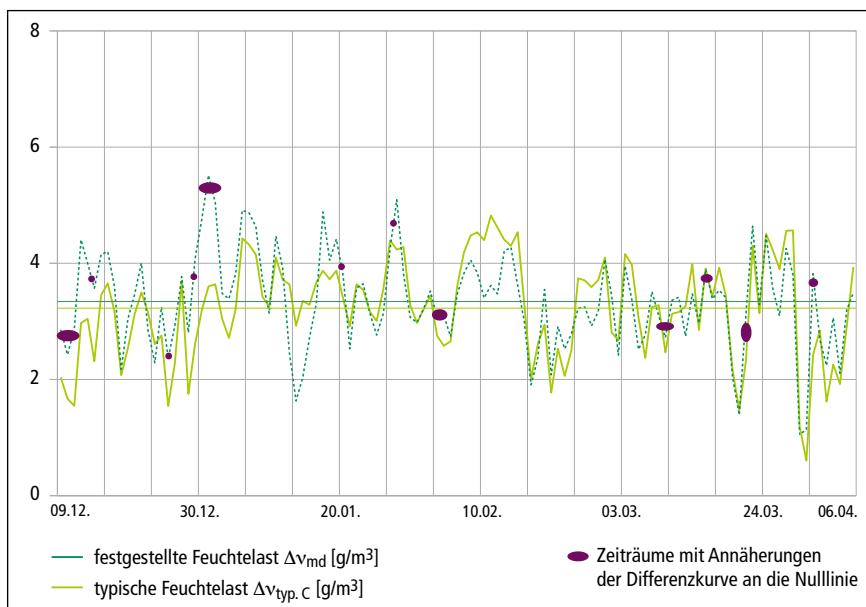


Bild 98 □ Verlauf der festgestellten Feuchtelast und der typischen Feuchtelast im Messzeitraum und Markierung der Zeiträume mit Annäherungen der Differenzkurve an die Nulllinie (vgl. Bild 97)

Hierfür ist insbesondere von Bedeutung, dass typischerweise mit sinkender Außenlufttemperatur auch die Raumluftfeuchte sinkt. Dies hängt mit der höheren Effizienz der Lüftungsereignisse an kalten Tagen zusammen, die wiederum auf den dann geringeren Feuchtegehalt der Außenluft zurückzuführen ist. Der geringere Feuchtegehalt der Außenluft wirkt sich dabei sowohl auf aktive Lüftungsereignisse (z. B. Stoßlüftung) aus als auch auf die passive Lüftung, beispielsweise aufgrund der Luftdurchlässigkeit der Fenster. Die infolge der niedrigeren Außenlufttemperaturen geringeren Oberflächentemperaturen werden insofern zumindest teilweise durch eine quasi zwangsläufig geringere Raumluftfeuchte kompensiert. Die Folge ist eine im Allgemeinen festzustellende weniger ausgeprägte Abhängigkeit der Schadensereignisse von besonders niedrigen Außenlufttemperaturen.

Überdies unterscheiden sich die Winter in unseren Breiten zwar in der Dauer und Häufigkeit kälterer Phasen, aber – zumindest bislang – nicht in deren Auftreten an sich. Insofern kann – einen ausreichend langen Messzeitraum vorausgesetzt – in aller Regel davon ausgegangen werden, dass für die Beurteilung ausreichend repräsentative Außenklima angetroffen werden.

10.4 Beurteilung sommerlicher Schimmelbildung im Bereich von erdberührten Bauteilen

10.4.1 Schimmelbefall in einem als Arbeitszimmer genutzten Kellerraum

Ausgangssituation und Schadensbild

In einem zeitweise als Arbeitszimmer genutzten Kellerraum eines Einfamilienhauses war es nach einer schwül-warmen Sommerperiode zu Schimmelbildung gekommen. Betroffen waren die Außenwände insbesondere hinter vorgestellten Schränken und Bildern, aber auch die Schränke selbst sowie teilweise ihr Inhalt.

Nach Angaben der Mieter wurde der Raum vormals als Abstellraum für Fahrräder, Autoreifen etc. genutzt und erst einige Monate zuvor umgebaut. Seitdem wurde dort gelegentlich auch Wäsche zum Trocknen aufgehängt. Die Lüftung erfolgte über ein vorhandenes Fenster und die zum Treppenhaus geöffnete Tür, allerdings meist nur in den Abendstunden, wenn der Raum auch genutzt wurde.

Die Kelleraußenwände waren Bestandteil einer Weißen Wanne (Stahlbeton, d = 25 cm) und zusätzlich außenseitig mit einer 8 cm dicken Wärmedämmung versehen.

Schadensursache

Hinweise auf von außen eindringendes Wasser als Ursache für die gerügten Schäden wurden nicht vorgefunden. Ursächlich aus technischer Sicht waren vielmehr die raumklimatischen Gegebenheiten, die unzureichend an die bauliche Situation angepasst waren. So wurde sowohl durch die zeitweise Nutzung des Raums zur Trocknung von Wäsche als auch durch das ungünstige Lüftungsverhalten einer hohen relativen Luftfeuchte bei gleichzeitig eher niedrigen Raumtemperaturen Vorschub geleistet. Verstärkend wirkte sich in diesem Zusammenhang auch das Außenklima im fraglichen Zeitraum mit verhältnismäßig hohen Luftfeuchten aus. So kam es nahezu zwangsläufig zu dem gerügten Schadensbild, wobei naturgemäß die am wenigsten durch die Raumluft erwärmten Oberflächen am stärksten betroffen waren.

Schadensvermeidung

Im Hinblick auf die relativ gute Wärmedämmung der Kelleraußenwände hätten die Schäden bei Berücksichtigung der in Kapitel 7 genannten Verhaltensmaßregeln ohne Weiteres vermieden werden können. Dabei hätte vermutlich schon ein entsprechend geändertes Lüftungsverhalten – tagsüber und bei eher geringer Luftfeuchte – sowie das Vermeiden eines zusätzlichen internen Feuchteintrags ausgereicht.

Stellungnahme aus technischer Sicht

Im vorliegenden Fall ist die bauliche Situation im Hinblick auf die vorhandene 8 cm dicke Wärmedämmung als verhältnismäßig unkritisch bezüglich Schimmelbefall einzustufen. Die im Sommer zu erwartenden Oberflächentemperaturen der Außenbauteile liegen nur wenig unter 20 °C (Tabelle 12), sodass kritische Feuchtegehalte an den Bauteiloberflächen und in der Raumluft nicht zu erwarten sind, wenn die genannten lüftungstechnischen Grundregeln beherzigt werden.

Um eine noch größere Unabhängigkeit vom Nutzerverhalten zu erlangen, sind anlagentechnische Maßnahmen vonnöten, mit denen die Raumluft- und Oberflächentemperaturen angehoben oder die Raumluftfeuchten reduziert werden können. Angesprochen sind damit insbesondere Maßnahmen zur Beheizung der Räume bzw. der Wandoberflächen sowie eine durch entspre-

chende Geräte unterstützte Entfeuchtung der Raumluft. Eine Verringerung des Schadensrisikos kann zusätzlich oder alternativ auch durch den Einbau besonders sorptionsaktiver Oberflächenmaterialien (z. B. entsprechender Lehmputz) erzielt werden.

Anders verhält es sich bei ungedämmten Kellerräumen mit Wänden aus Stahlbeton. Bei derartigen Konstruktionen sind auch im Sommer Oberflächentemperaturen der Außenbauteile von deutlich unter 15 °C zu erwarten (Tabelle 12). Dementsprechend hoch ist auch das Risiko von Schimmelpilz- oder sogar Tauwasserbildung zu bewerten. Ohne anlagentechnische Maßnahmen können Schäden bei länger anhaltenden problematischen Außenklimaten nur durch sehr diszipliniertes Nutzerverhalten vermieden werden. Bezuglich der Zumutbarkeit eines solchen Lüftungsverhaltens (gezieltes Lüften nur bei niedriger Außenluftfeuchte, Geschlossenhalten der Räume bei hoher Außenluftfeuchte) bzw. des Betreibens einer Heizung an warmen Sommertagen oder von Entfeuchtungsgeräten wird auf die nachfolgende Stellungnahme aus rechtlicher Sicht verwiesen.

Dass derartige Probleme vorzugsweise in den Kellerräumen von Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäusern auftreten, ist darauf zurückzuführen, dass diese Räume dort häufig intensiver in die Nutzung einbezogen werden als bei Mehrfamilienhäusern. Unabhängig davon, ob diese Räume dafür vorgesehen oder geeignet sind, werden sie zur Erweiterung des Wohnbereiches herangezogen und wahlweise als Kinder-, Gäste- oder sogar Schlafzimmer genutzt, ohne dass geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden.

Stellungnahme aus rechtlicher Sicht

Für die juristische Betrachtung ist es von Bedeutung, ob die Kellerräume zur Nutzung als ständige Aufenthaltsräume, etwa Hobbyräume oder Arbeitszimmer, vermietet wurden. Fehlt es an einer solchen Vereinbarung, ist davon auszugehen, dass die Kellerräume reine Nutzflächen sind und ein Bewohnen dieser Flächen dem vertragsgemäßen Gebrauch der Mietsache zuwider läuft. Der Vermieter schuldet dann baulich nur einen Zustand, der den Gebrauch als reine Nutzflächen zulässt.

Ergibt der Wortlaut oder ggf. die Auslegung des Mietvertrages hingegen, dass die Kellerräume als Wohn- bzw. Aufenthaltsräume genutzt werden durften, schuldete der Vermieter einen Zustand, der diesen Gebrauch auch ermöglicht. Ist dies nicht der Fall, trifft den Vermieter die Verantwortung für eingetretene Schäden. Hierzu bestehen allerdings folgende beiden Einschränkungen: Zum einen dann, wenn im Mietvertrag ausdrücklich – und wirksam (vgl. Kapitel 9.3.1.5) – geregelt ist, dass der Mieter (wegen Schadensgeneigtheit des Ge-

bäudes) bei Nutzung des Kellers als Aufenthaltsraum besondere Maßnahmen zur Schadensvermeidung ergreifen muss, etwa einen erhöhten Lüftungsaufwand zu betreiben hat. Ist dies ausdrücklich vereinbart, haftet der Mieter bei Verletzung der ihm übertragenen Pflicht für auftretende Schimmelschäden. Zum anderen ist auch dann nicht ohne Weiteres von einem durch den Vermieter zu vertretenden Mietmangel auszugehen, wenn – unter Berücksichtigung einer vereinbarten Nutzung der Kellerräume als Aufenthaltsräume – das Gebäude zum Zeitpunkt seiner Errichtung den geltenden Bauvorschriften und technischen Normen für Aufenthaltsräume entsprach [BGH, 2018-1]. In diesem Fall ist vielmehr nach den konkreten Umständen des Einzelfalls zu bewerten, welches Nutzerverhalten der Vermieter zur Schadensvermeidung verlangen kann.

Vor diesem Hintergrund ist dringend zu empfehlen, im Mietvertrag ausdrücklich zu regeln, ob und wenn ja, unter welchen Bedingungen eine Nutzung von Kellerräumen zu Wohnzwecken möglich sein soll.

10.4.2 Weitere Schadensbeispiele

Zwei weitere Schadensbeispiele zur Problematik der sommerlichen Tauwasserbildung in Untergeschossräumen sind in [Jenisch, 2001] enthalten. Weitere Schadensfälle zu diesem Thema finden sich in [Künzel, 2003], [Cziesielski, 1991] und [Kempe, 2000].

10.5 Sonstige Schadensbeispiele

10.5.1 Schimmelbildung in einem unzureichend beheizten Schlafzimmer

Schadensbild

Im Schlafzimmer einer Mietwohnung in einem 1977 aus porosiertem Hochlochziegelmauerwerk errichteten mehrgeschossigen Wohnhaus wurde Schimmelbildung im Bereich einer Gebäudeaußenkante über die gesamte Raumhöhe gerügt.

Schadensursache aus technischer Sicht

Die Nutzer gaben an, dass der betroffene Raum nicht beheizt werde, da man gerne kühl schlafe und zudem die Tür geschlossen halte, um eine Auskühlung der angrenzenden Räume zu vermeiden.

Vor dem Hintergrund, dass der gerügte Schaden der einzige in der betreffenden Wohnung war und vergleichbare Bereiche in allen anderen Räumen der Wohnung nicht betroffen waren, lag es auf der Hand, dass das Schadensbild durch eine Auskühlung der Wandoberfläche im betreffenden Bereich infolge einer fehlenden Beheizung ausgelöst worden war.

Wie bereits zum Schadensbeispiel in Kapitel 10.2.5.2 erläutert, unterliegen Schlafzimmer statistisch gesehen einem vergleichsweise hohen Schimmelrisiko, was durch die spezifischen Nutzungsrandbedingungen erklärbar ist (keine Beheizung, Auskühlen der Außenbauteile, Feuchteeintrag aus angrenzenden Räumen). Bleibt darüber hinaus während der Nacht das Fenster geschlossen, werden schimmelkritische Oberflächenverhältnisse an Außenbauteilen erfahrungsgemäß bereits nach wenigen Stunden erreicht. Insofern ist das beschriebene Schadensbild durchaus als typisch zu bezeichnen, und es zeigt, dass nicht beheizte Schlafzimmer ein hohes Schadenspotenzial bergen.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Erfordern die Lage des Schlafzimmers (z. B. an einer viel befahrenen Straße) oder die Nutzungsrandbedingungen (z. B. bei Schichtarbeit) Fenster während der Schlafenszeit geschlossen zu halten – oder ist dies aus anderen Gründen gewünscht – muss in der Regel tagsüber bzw. außerhalb der Nutzungszeiten eine kontinuierliche Beheizung erfolgen, um einem Auskühlen der Außenbauteile entgegenzuwirken. Auf diese Weise wäre auch im vorliegenden Fall das Schadensbild zu vermeiden gewesen, zumal dies auch in vergleichbaren Bereichen in den übrigen Räumen der Wohnung offenbar kein Problem war.

Darüber hinaus müssen derartige Räume selbstverständlich auch regelmäßig stoßgelüftet werden, insbesondere morgens nach dem Aufstehen und abends vor dem Zubettgehen. Auch aus rechtlicher Sicht ist dies im vorliegenden Fall als zumutbar und somit unproblematisch einzuschätzen (vgl. Kapitel 9.3.1.5).

Zur Instandsetzung und Vermeidung künftiger Schäden waren insofern aus technischer Sicht lediglich eine diesbezügliche Information der Nutzer sowie die fachgerechte Beseitigung der vorhandenen Schimmelpilzschäden entsprechend [UBA, 2017] erforderlich (Kapitel 8.2).

10.5.2 Schimmelbildung aufgrund einer sukzessiven Reduzierung des Grundluftwechsels infolge von Veränderungen im Bereich der Haustechnik

Schadensbild

In einer Mietwohnung in einem 1957/58 errichteten mehrstöckigen Wohnhaus wurde Schimmelpilzbildung im Bereich der Gebäudeaußenkanten gerügt. Die Nutzerin bewohnte die betreffende Wohnung seit mehreren Jahrzehnten.

Die Außenwände bestanden aus einem 30 cm dicken Hbl-Mauerwerk. Ende der 1970er-Jahre wurden die vorhandenen Holz-Verbundfenster zunächst durch Schallschutz-Kastenfenster (zwei Einfachverglasungen in einer Kunststoffkonstruktion mit Flügeldichtungen) ersetzt. Zu Beginn der 1990er-Jahre wurde zuerst die Heizung, später schließlich auch die Warmwasserbereitung von einer Gas-Etagenheizung auf Fernwärme umgestellt und in diesem Zusammenhang auch die zugehörigen Lüftungsöffnungen verschlossen. Die gerügten Schadensbilder waren in der ersten Heizperiode nach Abschluss dieser Maßnahmen erstmals aufgetreten.

Schadensursachen

Bei einem nach Angaben der Nutzerin – und u. a. auch aus den zur Verfügung stehenden Abrechnungsunterlagen ersichtlichen – weitgehend unveränderten Nutzerverhalten wurde der Grundluftwechsel in der betreffenden Wohnung seit der Erbauung durch Veränderungen im Bereich der Fassade und an der Haustechnik im Vergleich zum Ursprungszustand (Gas-Etagenheizung mit Zu- und Abluftöffnungen; Holz-Verbundfenster ohne Flügeldichtungen) sukzessive verringert. Während es zu Beginn des Mietverhältnisses aufgrund des relativ hohen Grundluftwechsels möglich gewesen war, mit diesem Nutzerverhalten die Wohnung auch in wärmeschutztechnisch kritischen Bereichen der ohnehin schon mit einem eher ungünstigen Wärmeschutz versehenen Gebäudehülle ohne Weiteres schadenfrei zu halten, konnten die gleichen Heiz- und Lüftungsgewohnheiten nach einer Reduzierung des Grundluftwechsels dies nicht mehr gewährleisten.

Da zudem aufgrund des prozessartigen Charakters der durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen eine Information der Mieter durch die Hausverwaltung über die bauphysikalische Wirkung der Maßnahmen bzw. über veränderte Anforderungen an das Nutzerverhalten unterblieben war, sah die Nutzerin kein Erfordernis, ihr Heiz- und Lüftungsverhalten zu verändern.

Schadensvermeidung/Instandsetzung

Bei Eingriffen in die Bausubstanz, die mit Veränderungen der bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle verbunden sind, ist neben einer fachgerechten Planung und sorgsamen Abstimmung der Maßnahmen auf sämtliche Randbedingungen auch eine Information der Nutzer über die Auswirkungen auf das Raumklima dringend angeraten. Diese Information sollte Angaben darüber enthalten, welche Maßnahmen im Rahmen der Nutzung erforderlich sind, um Schimmelschäden auch zukünftig zu vermeiden. Aus juristischer Sicht können derartige Maßnahmen verlangt werden, sofern sie zumutbar sind (vgl. im Einzelnen Kapitel 9.3.1.5).

Literaturverzeichnis

Normen

[DIN 1946-6:2009-05]

Raumluftechnik, Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung

[DIN 4108:1952-07]

Wärmeschutz im Hochbau

[DIN 4108:1960-05]

Wärmeschutz im Hochbau

[DIN 4108:1969-08]

Wärmeschutz im Hochbau

[DIN 4108:1974-10]

Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4108 in der Ausgabe 1969-08

[DIN 4108-1:1981-08]

Wärmeschutz im Hochbau, Teil 1: Größen und Einheiten

[DIN 4108-2:1981-08]

Wärmeschutz im Hochbau, Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung, Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung

[DIN 4108-2:2001-03]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[DIN 4108-3:1981-08]

Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung

[DIN 4108-2:2003-04]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[DIN 4108-2:2003-07]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[DIN 4108-2:2013-02]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[DIN 4108-3:2018-10]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

[DIN 4108-4:1981-08]

Wärmeschutz im Hochbau, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

[DIN 4108-4:1998-10]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

[DIN 4108-4:2002-02]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

[DIN 4108-4:2013-02]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

[DIN 4108-4:2017-03]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

[DIN 4108-6:2003-06]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs (mit Berichtigung 2004-03)

- [DIN 4108-7:1995-11] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [DIN 4108-7:1996-11] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [DIN 4108-7:2001-08] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [DIN 4108-7:2011-01] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [DIN 4108-8:2010-09] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 8: DIN-Fachbericht Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden
- [DIN 4108-10:2015-12] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe
- [DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
- [DIN 18055:1981-10] Fenster – Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung, Anforderungen und Prüfung
- [DIN 18055:2014-11] Kriterien für die Anwendung von Fenstern und Außentüren nach DIN EN 14351-1
- [DIN EN 13187:1999-05] Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen – Infrarot-Verfahren
- [DIN EN 13779:2007-09] Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlssysteme (zurückgezogen 2017-11)
- [DIN EN 13829:2001-02] Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (zurückgezogen 2015-12)
- [DIN EN 15026:2007-07] Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation
- [DIN EN 15251:2012-12] Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden
- [DIN EN 16798-1:2015-07] Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innerraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Module M1-6
- [DIN EN ISO 6946:2018-03] Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren
- [DIN EN ISO 7345:2018-07] Wärmeverhalten von Gebäuden und Baustoffen – Physikalische Größen und Definitionen
- [DIN EN ISO 7730:2006-05] Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (mit Berichtigung 2007-06)
- [DIN EN ISO 9972:2018-12] Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren

- [DIN EN ISO 10077-1:2018-01]
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines
- [DIN EN ISO 10077-2:2018-01]
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen
- [DIN EN ISO 10211:2018-03]
Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen
- [DIN EN ISO 10211-1:1995-11]
Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren
- [DIN EN ISO 10211-2:2001-06]
Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken
- [DIN EN ISO 12571:2013-12]
Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der hygrokopischen Sorptions-eigenschaften
- [DIN EN 13788:2013-05]
Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinnern; Berechnungsverfahren
- [DIN V 18599:2018-09]
Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung Teile 1 bis 11
- [DIN V 18599-12:2017-04]
Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung Teil 12
- [TGL 10686:1965]
Wärmeschutz, Blatt 1–6
- [TGL 10686-07:1966]
Wärmeschutz, Blatt 7
- [TGL 28706:1973-12]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blätter 1–10
- [TGL 35424-01:1981-02]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 1. Berichtigte Nachauflage: TGL 35424-01:1987-06
- [TGL 35424-02:1985-12]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 2
- [TGL 35424-03:1985-12]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 3
- [TGL 35424-04:1981-02]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 4
- [TGL 35424-05:1981-02]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 5
- [TGL 35424-06:1987-02]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 6
- [TGL 35424-07:1981-02]
Bautechnischer Wärmeschutz, Blatt 7

Bücher, Urteile, Richtlinien

- [Ackermann, 2019]
Ackermann, T: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben ›Untersuchung zu zeitlichen Schwankungen der Feuchte in Innenräumen im Hinblick auf den Feuchtentransport durch Bauteile und die Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf Bauteilinnenoberflächen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
- [AG Koblenz, 2013]
Amtsgericht Koblenz, Urteil v. 20.12.2013 zu Geschäftszeichen: 162 C 939/13. Abgedruckt u.a. in: NJW 2014, S. 1118
- [AG Thf.-Kreuzbg., 2014]
Amtsgericht Tempelhof-Kreuzberg (Berlin), Urteil v. 06.03.2014 zu Geschäftszeichen: 23 C 226/13. Abgedruckt u.a. bei juris (www.juris.de)

- [AG München, 2015]
Amtsgericht München, Urteil v. 20.05.2015 zu Geschäftszeichen: 415 C 3152/15. Abgedruckt u. a. bei Bayern. Recht (www.gesetze-bayern.de)
- [AG Osnabrück, 2005]
Amtsgericht Koblenz, Urteil v. 04.07.2005 zu Geschäftszeichen: 14 C 385/04. Abgedruckt u. a. in: NZM 2006, S. 224
- [Ahnert, 2000]
Ahnert, R.; Krause, K. H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960. Band I – III. 6. Aufl. Berlin: Verlag Bauwesen, 2000
- [Bargmann, 2013]
Bargmann, H.: Historische Bautabellen – Normen und Konstruktionshinweise 1870 bis 1960. 5. Aufl. Köln: Werner-Verlag GmbH, 2013
- [Bauklimatik DD, 2019]
Bauklimatik Dresden Software GmbH (Hrsg.): Delphin Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Luft-, Feuchte-, Schadstoff- und Salztransport. Version 6.0.20, 2019
- [BFS, 2006]
Bundesausschuss für Farbe und Sachwertsschutz (BFS) (Hrsg.): BFS-Merkblatt Nr. 18 – Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen im Außenbereich. Frankfurt/Main: März 2006.
- [BGH, 1994]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 18.05.1994 zu Geschäftszeichen: XII ZR 188/92. Abgedruckt u. a. in: NJW 1994, S. 2019
- [BGH, 1997]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 26.11.1997 zu Geschäftszeichen: XII ZR 28/96. Abgedruckt u. a. in: NJW 1998, S. 594
- [BGH, 1998]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 14.05.1998 zu Geschäftszeichen: VII ZR 184/97. Abgedruckt u. a. in: NJW 1998, S. 2814
- [BGH, 1999]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 11.11.1999 zu Geschäftszeichen: VII ZR 403/98. Abgedruckt u. a. in: NJW-RR 2000, S. 465
- [BGH, 2004-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 07.04.2004 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 146/03. Abgedruckt u. a. in: NZM 2004, S. 418
- [BGH, 2004-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 23.06.2004 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 361/03. Abgedruckt u. a. in: NZM 2004, S. 653
- [BGH, 2004-3]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 17.6.2004 zu Geschäftszeichen: VII ZR 75/03. Abgedruckt u. a. in: NJW-RR 2004, S. 1248
- [BGH, 2005-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 06.04.2005 zu Geschäftszeichen: XII ZR 158/01. Abgedruckt u. a. in: NZM 2005, S. 863
- [BGH, 2005-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 20.07.2005 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 342/03. Abgedruckt u. a. in: NJW 2005, S. 3284 ff.
- [BGH, 2005-3]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 06.04.2005 zu Geschäftszeichen: XII ZR 225/03. Abgedruckt u. a. in: NZM 2005, S. 455
- [BGH, 2006]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 13.09.2006 zu Geschäftszeichen: IV ZR 378/02. Abgedruckt u. a. in: NZM 2006, S. 949
- [BGH, 2007]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 08.11.2007 zu Geschäftszeichen: VII ZR 183/05. Abgedruckt u. a. in: NJW 2008, S. 511
- [BGH, 2008-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 28.05.2008 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 271/07. Abgedruckt u. a. in: NJW 2008, S. 2432
- [BGH, 2008-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 08.10.2008 zu Geschäftszeichen: XII ZR 84/06. Abgedruckt u. a. in: NJW 2008, S. 3772



- [BGH, 2008-3]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 05.03.2008 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 37/07. Abgedruckt u.a. in: NJW 2008, S. 1439
- [BGH, 2009]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 04.06.2009 zu Geschäftszeichen: VII ZR 54/07. Abgedruckt u.a. in: NJW 2009, S. 2439
- [BGH, 2010-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 10.02.2010 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 222/09. Abgedruckt u.a. in: Entscheidungssammlung des Bundesgerichtshofes (juris.bundesgerichtshof.de)
- [BGH, 2010-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 17.02.2010 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 104/09. Abgedruckt u.a. in: NZM 2010, S. 235
- [BGH, 2010-3]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 10.10.2010 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 343/08. Abgedruckt u.a. in: NZM 2010, S. 356
- [BGH, 2011]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 21.09.2011 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 47/11. Abgedruckt u.a. in: ZMR 2012, S. 97
- [BGH, 2012]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 11.07.2012 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 138/11. Abgedruckt u.a. in: NJW 2012, S. 2882
- [BGH, 2013-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 06.11.2013 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 416/12. Abgedruckt u.a. in: NJW 2014, S. 143
- [BGH, 2013-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 21.11.2013 zu Geschäftszeichen: VII ZR 275/12. Abgedruckt u.a. in: NJW 2014, S. 620
- [BGH, 2014]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 19.11.2014 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 191/13. Abgedruckt u.a. in: WuM 2015, S. 88
- [BGH, 2015-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 18.03.2015 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 185/14. Abgedruckt u.a. in: NZM 2015, S. 374
- [BGH, 2015-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 18.03.2015 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 21/13. Abgedruckt u.a. in: NJW 2015, S. 1874
- [BGH, 2015-3]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 18.03.2015 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 242/13. Abgedruckt u.a. in: NZM 2015, S. 424
- [BGH, 2015-4]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 18.02.2015 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 186/14. Abgedruckt u.a. in: NJW 2015, S. 1239
- [BGH, 2015-5]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 16.01.2015 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 110/14. Abgedruckt u.a. in: NJW 2015, S. 2023
- [BGH, 2015-6]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 06.11.2015 zu Geschäftszeichen: V ZR 78/14. Abgedruckt u.a. in: ZIP 2016, S. 222
- [BGH, 2016]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 22.04.2016 zu Geschäftszeichen: V ZR 23/15. Abgedruckt u.a. in: NJW 2017, S. 150
- [BGH, 2018-1]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 05.12.2018 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 271/17. Abgedruckt u.a. in: NJW 2019, S. 507 [BGH, 2018-2]
- [BGH, 2018-2]
Bundesgerichtshof, Urteil v. 22.08.2018 zu Geschäftszeichen: VIII ZR 99/17. Abgedruckt u.a. in: NJW-RR 2018, S. 1285
- [Bley, 1983]
Bley, H.: Innenküchen. Untersuchung über Feuchte- und Temperaturverhalten von fensterlosen Innenküchen. Universität Dortmund, 1983
- [Blomberg, 2003]
Blomberg, T., L und Gothenburg Group for Computational Building Physics, Department of Building Physics, Lund University: Heat 3, Version 4.0.0.2
- [Blomberg, 2006]
Blomberg, T., L und Gothenburg Group for Computational Building Physics, depart-

- ment of Building Physics, Lund University:
Heat 2, Version 6.0
- [BMBau, 1992]
Bundesministerium für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau (BMBau)
(Hrsg.): Leitfaden für die Instandsetzung
und Modernisierung von Wohngebäuden
in der Plattenbauweise – Blockbauart
0,8 t. Bonn: Selbstverlag, 1992
- [Bonk, 2002]
Bonk, M.: Bauphysikalische Aspekte bei
der Gebäudesanierung. Beispiel Fenster-
erneuerung. In: Cziesielski, E. (Hrsg.): Bau-
physik Kalender 2002. Berlin: Ernst und
Sohn Verlag, 2002
- [Bonk, 2004]
Bonk, M.; Anders, F.: Schäden durch man-
gelhaften Wärmeschutz. Stuttgart: Fraun-
hofer IRB Verlag, 2004 (Schadensfreies
Bauen; 32)
- [Brasche, 2003]
Brasche, S. et al.: Vorkommen, Ursachen
und gesundheitliche Aspekte von Feuch-
teschäden in Wohnungen. Ergebnisse
einer repräsentativen Wohnungsstudie in
Deutschland. Bundesgesundheitsblatt 46
(2003), Nr. 8
- [BVerwG, 1996]
Bundesverwaltungsgericht (BVerwG),
Beschluss v. 30.09.1996 zu Geschäfts-
zeichen: 4 B 175/96. Abgedruckt u.a. in:
BauR 1997, S. 290
- [Cammerer, 1933]
Cammerer, J.S.; Dürhammer, W.: Unter-
suchungen über den notwendigen Min-
destwärmeschutz von Hauswänden in
Deutschland. Wärmeirtschaftliche Nach-
richten für Hausbau, Haushalt und Kleingewerbe 7 (1933/34) Nr. 4. Leipzig: Dr.
Max Jänecke Verlagsbuchhandlung, 1933
- [Cammerer, 1934]
Cammerer, J.S.; Reinhold & Co. GmbH
(Hrsg.): Tabellarium aller wichtigen Grö-
ßen für Wärme-, Kälte- und Schallschutz.
Berlin, 1934
- [Cziesielski, 1991]
Cziesielski, E.; Rahn, A. C.: Außenwand im
Kellerdeckenbereich, Tauwasserbildung
im Sommer. In: Zimmermann, G. (Hrsg.):
Bauschäden-Sammlung, Band 8. 2. unver-
änd. Aufl. Stuttgart: Forum-Verlag, 1991,
S. 90–93
- [Cziesielski, 1999]
Cziesielski, E.: Denkanstöße zu einem
Sicherheitskonzept in der Bauphysik, dar-
gestellt am Beispiel der Schimmelbildung.
In: TU Dresden, Institut für Bauklimatik
(Hrsg.): 10. Bauklimatisches Symposium
Dresden, 27.–29. September 1999. Ta-
gungsband. Dresden: Selbstverlag, 1999
- [Cziesielski, 2004]
Cziesielski, E.; Belaschk, H.: Rechnerische
Methoden zur Erfassung von Wärmebrü-
cken im Hinblick auf einen möglichen Be-
fall mit Schimmel pilzen. In: Bauphysik 26
(2004), Nr. 6, S. 347–352
- [Cziesielski, undatiert]
Cziesielski, E.; Rahn, A. C.; Technische Uni-
versität Berlin, Institut für Baukonstruk-
tionen und Festigkeit (Hrsg.): Beheizung
von Wärmebrücken zur Vermeidung von
Schimmelbildung. Berlin: undatiert
- [DIBt, 2015]
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
(Hrsg.): Konstruktive Ausbildung von
Maßnahmen zur Verbesserung des Brand-
verhaltens von als ›schwerentflammbar‹
einzustufigenden Wärmedämmverbundsys-
temen mit EPS-Dämmstoff. DIBt-Newslet-
ter (2015) Nr. 3, S. 9–15
- [Diem, 1987]
Diem, P.: Bauphysik im Zusammenhang.
Baustoff, Bauteil, Gebäude, Wärme, Feucht-
e, Schall, Brand. 2. überarb. Aufl. Wies-
baden: Bauverlag, 1987
- [DIN, 2013]
Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
(DIN) (Hrsg.): Empfehlungen für die Nor-
mungsarbeit im Bauwesen – Leitfaden
für die Anwendung der DIN 820-4 für
die Normungsarbeit im Bauwesen. Berlin:
2013



- [Dreyer, 2002]
Dreyer, J.: Bauphysikalische Ertüchtigung von Gebäuden. *Bauphysik* 24 (2002), Nr. 6. Berlin: Ernst und Sohn Verlag, 2002
- [DWD, 2011]
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.): Testreferenzjahre (TRY). Offenbach: 2011
- [DWD, 2014]
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.): Handbuch Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach: 2014
- [DWD, 2019]
DWD Climate Data Center (CDC): Aktuelle stündliche Stationsmessung der Lufttemperatur und Luftfeuchte an Stationen des Deutschen Wetterdienstes. URL: http://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/
- [Eberle, 1928]
Eberle, C.: Versuche über die Luftdurchlässigkeit und den Wärmeverlust von Fenstern. Mitteilung aus dem Wärmetechnischen Institut der Technischen Hochschule Darmstadt. *Gesundheitsingenieur* 51 (1928), Nr. 35, S. 566–570
- [EnEV, 2001]
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen-technik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16. November 2001
- [EnEV, 2004]
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen-technik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung – (EnEV) vom 16. November 2001, novellierte Fassung vom 02.12.2004
- [EnEV, 2007]
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen-technik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung – (EnEV) vom 24. Juli 2007
- technik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung – (EnEV) vom 24. Juli 2007
- [EnEV, 2009]
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen-technik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung – (EnEV) vom 24. Juli 2007, geändert durch die Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009
- [EnEV, 2013]
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen-technik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007, geändert durch die zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 08.02.2013, in Kraft getreten am 01.05.2014
- [Erhorn, 1986]
Erhorn, H.; Gertis, K.: Mindestwärmeschutz oder/und Mindestluftwechsel? *Gesundheits-Ingenieur* 107 (1986), Nr. 1, S. 12–14; 71–76
- [Erhorn, 1990]
Erhorn, H.: Schimmelpilzanfälligkeit von Baumaterialien. *IBP-Mitteilung* 17 (1990), Nr. 196
- [EuGH, 2019]
Europäischer Gerichtshof, Urteil v. 4.7.2019 zu Geschäftszeichen: C-377/17. Abgedruckt u.a. in: *NJW* 2019, 2529
- [FK Bau, 2010]
Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (Hrsg.): Bauaufsichtliche Richtlinien über die Lüftung fensterloser Küchen, Bäder und Toilettenräume im Wohnungsbau. Stand: April 2009, zuletzt geändert durch Beschluss der FK Bau vom 1. Juli 2010
- [FK Bautechnik, 2014]
Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (Hrsg.): Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 19, beschlossen am 01.08.2014. URL: <https://www.is-argebau.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>

- [FK Bautechnik, 2015-1]
Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz: Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 20, beschlossen am 09.01.2015. URL: <https://www.is-argebau.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>
- [FK Bautechnik, 2015-2]
Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (Hrsg.): Merkblatt ›Empfehlungen zur Sicherstellung der Schutzwirkung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) aus Polystyrol. URL: <https://www.is-argebau.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991> [Stand 18.06.2015]
- [FK Bautechnik, 2016]
Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz; Projektgruppe ›EnEV‹ (Hrsg.): Beratungsergebnis Nr. 2016-24 der PG-EnEV vom 13.09.2016. Email des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Referat 62, Herrn Daniel Sonnentag, vom 27.09.2016 auf der Homepage des Fachverbands der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg (SAF), Stuttgart. URL: <http://www.stuckerverband.de/daemmstoffstaerken-bei-der-wdvs-daemmung-frei-waehlbar/> [Stand: 12.04.2017]
- [Fouad, 2012]
Fouad, N.A.; Richter, T.: Leitfaden ›Thermografie im Bauwesen‹. 4. überarbeitete und erweiterte Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012
- [Gabrio, 2003]
Gabrio, T. et al.: Handlungsempfehlungen für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. In: Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V. (Hrsg.): Schimmelpilze in Innenräumen sicher erkennen – sicher sanieren. Ergebnisse der 7. Pilztagung des VDB e.V. vom 27. – 28. Juni 2003 in Stuttgart. Fürth: AnBUS, 2003
- [Galvin, 2012]
Galvin, R.; Sunnika-Blank, M.: Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. BRI Building & Research Information 40 (2012) Nr. 3, S. 260–273
- [Galvin, 2014]
Galvin, R.: Why German Homeowners are Reluctant to Retrofit. BRI Building & Research Information 42 (2014), Nr. 4, S. 398-408
- [Garbe-Emden, 2011]
Garbe-Emden, J.: Bauvorschriften zur Lüftung: Wärme drinnen halten – Luft austauschen. Berliner Zeitung vom 16.02.2011, Nr. 39. Berlin: Berliner Verlag GmbH, 2011
- [Gerlach, 1987]
Gerlach, C.: Fenster aus Westfalen – zur Konstruktion und Entwicklung des Fensters im Fachwerkbau. In: Westfälisches Freilichtmuseum (Hrsg.): Schriften des Westfälischen Freilichtmuseums Detmold Band 5. Detmold: Westfälisches Freilichtmuseum, 1987
- [Gertis, 2000]
Gertis, K.; Erhorn, H.; Reiβ, J.: Klimawirkungen und Schimmelbildung bei sanierten Gebäuden. In: Bauphysik der Außenwände. Schlußbericht. DFG Forschungsschwerpunktprogramm. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Gieß, 1990]
Gieß, H.: Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern vom ausgehenden 18. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. München, 1990
- [Glaser, 1959]
Glaser, H.: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik (1959), Nr. 10
- [Gottschalk, 2010]
Gottschalk, H.: Mehr Spielraum beim Lüftungskonzept. TGA Fachplaner (2010), Nr. 10, S. 42–44. Stuttgart: Gentner Verlag, 2010



- [Graef, 1874] Graef, A.: Der praktische Fensterbauer. Reprint der Originalausgabe von 1874. Hannover: Th. Schäfer Verlag 2003.
- [Graupner, 2002] Graupner, K.; Lobers, F: Das Haus Schminke in Löbau/Sachsen (Architekt: Hans Scharoun). Das bauklimatische Konzept für die bauliche und gebäudetechnische Instandsetzung. In: TU Dresden, Institut für Bauklimatik (Hrsg.): 11. Bauklimatisches Symposium Dresden, 26.–30. September 2002. Tagungsband. Dresden: Selbstverlag, 2002
- [Grünberger, 2000] Grünberger, J.: Feuchtelasten in Wohnungen. Diplomarbeit. TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, 2000
- [Häupl, 1999] Häupl, P. et al.: Energetische Verbesserung der Bausubstanz mittels kapillaraktiver Innendämmung. In: Bauphysik 21 (1999), Nr. 4, S. 145–154
- [Häupl, 2010] Häupl, P.: Innendämmung von Außenbauteilen. In: Fouad, N.A. (Hrsg.) Bauphysik-Kalender 2010. Berlin: Ernst und Sohn Verlag, 2010
- [von Hahn, 2007] von Hahn, N.: »Trockene Luft« und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 67 (2007), Nr. 3, S. 103–107. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 2007
- [Hankammer, 2003] Hankammer, G.; Lorenz, W.: Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. Erkennen und Beurteilen von Symptomen und Ursachen. Köln: Rudolf Müller Verlag, 2003
- [Hauser, 2001] Hauser, G.; Stiegel, G.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. 3. Aufl. Berlin: Bauverlag GmbH, 2001
- [Heinicke, 1933] Heinicke: Einfluss der Fugendichtung auf den Wärmedurchgang der Fenster. Wirtschaftliche Nachrichten für Hausbau, Haushalt und Kleingewerbe 7 (1933/34), Nr. 3, S. 39–42
- [Heinz, 2004] Heinz, E.: Feuchtigkeitsschäden einschließlich Schimmelpilz-Wachstum in deutschen Wohnungen – Ergebnisse einer repräsentativen Untersuchung. In: Moderne Gebäudetechnik, Heft 11/2004, Berlin, Huss-Medien, 2004, S. 24-30
- [Hoffmann, 2017] Hoffmann, C.; Geissler, A.: Dem Prebound Effekt auf der Spur – Differenzen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf bei Bestandsgebäuden (Wohnen). In: Bauphysik 39 (2017), Nr. 3, S. 159-174
- [IBP, 2003] Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart: WUFI-Bio, 2003
- [IBP, 2013] Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart: WUFIPro, Version 5.3.0, 2013
- [Jenisch, 2001] Jenisch, R.; Stohrer, M.: Tauwasserschäden. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2001 (Schadenfreies Bauen; 16)
- [Jung, 2012] Jung, U.: Gemischte Lüftungskonzepte für Wohngebäude. Informationsdienst Bauen + Energie, (2012). Köln: Bundesanzeiger Verlag, 2012
- [Karsten, 1963] Karsten, R.: Zur Frage einer Prüfung von Mörtel auf Wasserdichtigkeit. Erfahrungen mit dem Wassereindringprüfer nach Vorschlag des Verfassers. Das Baugewerbe (1963), Nr. 13
- [Kempe, 2000] Kempe, K.: Schimmel in der Erdgeschosswohnung. Ein Krimi aus der Reihe ›Taupunkt und Schwitzwasser. Arconis, 5 (2000), Nr. 3, S. 28-29

- [KG Berlin, 2014]
Kammergericht Berlin, Urteil v. 28.03.2014 zu Geschäftszeichen: 7 U 54/13. Abgedruckt u.a. in: IBR-online 2014, S. 1259. URL: www.ibr-online.de
- [Klopfer, 1988]
Klopfer, H.; Schütte, M.: Außenwände sozialer Mietwohnungen. Schimmelpilzbewuchs nach Einbau dichtschließender Fenster. In: Zimmermann, G. (Hrsg.): Bau-schäden-Sammlung Band 7. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1988, S. 50–53
- [Klopfer, 2002]
Klopfer, H.: Feuchte. In: Lutz et al. (Hrsg.): Lehrbuch der Bauphysik, 5. Aufl. Wiesbaden: B.G. Teubner GmbH, 2002
- [Kniffka, 2008]
Kniffka, R.; Koeble, W.: Kompendium des Baurechts. 3. Aufl. München: C.H. Beck Verlag, 2008
- [Krätschell, 2012]
Krätschell, M.; Anders, F.: Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012 (Schadenfreies Bauen; 32)
- [Künzel, 2003]
Künzel, H.: Bauphysik-Geschichte(n) Nr. 18. Feldsteinkirchen in Norddeutschland. In: Arconis, 6 (2003), Nr. 1, S. 22–24
- [Künzel, 2006]
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Künzel, H.M.; Holm, A.; Sedlbauer, K.; Anretter, F.; Ellinger, M.; Vesely, M.: Feuchtepufferwirkung von Innenraumbekleidungen aus Holz oder Holzwerkstoffen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2006 (Bauforschung für die Praxis; 75)
- [LBNL, 2018]
Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL); Environmental Energy Technologies Division; Building Technologies Department; Windows and Daylighting Group; University of California, Berkeley (USA): THERM Finite Element Simulator, Version 7.7.1.0, 2018
- [LG Berlin, 1992]
Landgericht Berlin, Urteil v. 16.09.1992 zu Geschäftszeichen: 26 O 179/92. Abgedruckt u.a. bei juris. URL: www.juris.de
- [LG Berlin, 2001]
Landgericht Berlin, Urteil v. 23.01.2001 zu Geschäftszeichen: 64 S 320/99. Abgedruckt u.a. in: ZMR 2002, S. 48
- [LG Berlin, 2015]
Landgericht Berlin, Urteil v. 02.10.2015 zu Geschäftszeichen: 63 S 335/14. Abgedruckt u.a. in: NZM 2016, S. 124
- [LG Berlin, 2017]
Landgericht Berlin, Urteil v. 14.06.2017 zu Geschäftszeichen: 65 S 90/17. Abgedruckt u.a. bei juris. URL: www.juris.de
- [LG Bochum, 1991]
Landgericht Bochum, Urteil v. 08.11.1991 zu Geschäftszeichen: 5 S 100/91. Abgedruckt u.a. in: WuM 1992, S. 431
- [LG Dresden, 2014]
Landgericht Dresden, Urteil v. 17.06.2014 zu Geschäftszeichen: 4 S 4/14. Abgedruckt u.a. in: NZM 2015, S. 250
- [LG Frankfurt a.M., 2015]
Landgericht Frankfurt am Main, Urteil v. 16.01.2015 zu Geschäftszeichen: 17 S 51/14. Abgedruckt u.a. in: ZMR 2015, S. 306
Landgericht Frankfurt am Main, Urteil v. 16.01.2015 zu Geschäftszeichen: 17 S 51/14. Abgedruckt u.a. in: ZMR 2015, S. 306
- [LG Gießen, 2014]
Landgericht Gießen, Urteil v. 02.04.2014 zu Geschäftszeichen: 1 S 199/13. Abgedruckt u.a. bei juris. URL: www.juris.de
- [LG Konstanz, 2012]
Landgericht Konstanz, Urteil v. 20.12.2012 zu Geschäftszeichen: 61 S 21/12. Abgedruckt u.a. bei juris. URL: www.juris.de
- [LG Nürnberg-Fürth, 1987]
Landgericht Nürnberg-Fürth, Urteil v. 28.08.1987 zu Geschäftszeichen: 7 S 10158/86. Abgedruckt u.a. in: WuM 1988, 155



- [Maas, 2011]
Maas, A.; Höttges, K.; Klauß, S.; Stiegel, H.: Auswirkung des Einsatzes der DIN V 18599 auf die energetische Bewertung von Wohngebäuden – Reflexion der Berechnungsansätze. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2017
- [Marquardt, 2003]
Marquardt, H.; Fachhochschule Nordostniedersachsen: Tauwasserschutz – Seminarunterlage QS. Buxtehude, 2003
- [MBO, 2019]
Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 22.02.2019
- [Meier, 2001]
Meier, C et al.: Temperaturmessung – Dämmstoffe im Vergleich. Bautenschutz + Bausanierung 8 (2001), S. 9ff.
- [Messal, 2014]
Messal, C.: Masterfaktor Wasser. Der Bau-sachverständige (2014) Nr. 2, S. 40–45.
- [Michaelis, 1933]
Oberbaurat i.R. Michaelis (Hrsg.): Wärmeökonomie und Baupolizei. Wärmeökonomische Nachrichten für Hausbau, Haushalt und Kleingewerbe 7 (1933/34), Nr. 8, S. 99–101
- [Minist. f. Aufbau, 1957]
Deutsche Demokratische Republik, Ministerium für Aufbau (Hrsg.): Typenbauelemente für Hochbauten. Abschnitt 643 – Decken. Serie 6434 – Stahlbeton-Fertigteildecken (Zwickauer Decke). Berlin: Institut für Typung, 1957
- [Müller, 1999]
Müller, R.: Prüfinstitut Türentchnik und Einbruchsicherheit, Rosenheim: Sind unsere Fenster zu dicht? In: DGZFP-Berichtsband BB 69-CD, Poster 5. Feuchtetag 99. Umwelt – Meßverfahren – Anwendungen. Vorträge und Plakatbeiträge Berlin: Selbstverlag, 1999
- [Müntz, 1976]
Müntz, K.: Stoffwechsel der Pflanzen. Köln: Aulis Verlag Deubner, 1976
- [Neuhaus, 2014]
Neuhaus, K.-J.: Instandhaltung und Instandsetzung im gewerblichen Mietrecht. ZAP (2014), S. 313
- [OLG Brandenburg, 2014]
Brandenburgisches Oberlandesgericht, Urteil v. 26.09.2013 zu Geschäftszeichen: 12 U 115/12. Abgedruckt u.a. in: BauR 2014, S. 1005
- [OLG Düsseldorf, 1996]
Oberlandesgericht Düsseldorf, Urteil v. 08.02.1996 zu Geschäftszeichen: 10 U 223/94. Abgedruckt u.a. in: ZMR 1996, S. 435
- [OLG Stuttgart, 2012]
Oberlandesgericht Stuttgart, Urteil v. 03.07.2012 zu Geschäftszeichen: 10 U 33/12. Abgedruckt u.a. in: IBR-online 2012, S. 709. URL: www.ibr-online.de
- [Oster, 2005]
Oster, N.: Sommerliche Tauwasserbildungen in Kellerräumen. Deutsches Architektenblatt (2005) Nr. 11. Esslingen: Forum-Verlag GmbH & Co. KG, 2005
- [Oster, 2007]
Oster, N., Bredemeyer, J.: Energetischer Wärmeschutz versus hygienischer Wärmeschutz. Bauphysik 29 (2007), Nr. 2. Berlin: Ernst und Sohn Verlag
- [Oster, 2010]
Oster, N., Bredemeyer, J.: Wird Wohnungslüftung Vermietersache? Der Bausachverständige (2010), Nr. 6, S. 20–25. Köln: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- [Oster, 2011]
Oster, N., Bredemeyer, J.: Erwiderung zur Stellungnahme von Hans Westfeld zu unserem Artikel ›Wird Wohnungslüftung Vermietersache?‹ in ›Der Bausachverständige‹ Ausgabe 6/2010 und 2/2011. Der Bau-sachverständige (2011) Nr. 3, S. 35–38.

- Köln: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- [Oster, 2018]
Oster, N.: Schimmelschäden in Wohnräumen – Typische Fehler bei der Begutachtung erkennen. Das Grundeigentum (2018), Nr. 21. Berlin: Grundeigentum-Verlag, 2018
- [Oswald, 2008]
Oswald, R.; Liebert, G.; Spilker, R.: Schimmelbefall bei hochwärmegedämmten Neu- und Altgebäuden. Erhebung von Schadensfällen – Ursachen und Konsequenzen. Bauforschung für die Praxis, Band 84, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- [Otto, 2000]
Otto, F.: Die Sorptionsfähigkeit von Bauteilen. Deutsche Bauzeitschrift (DBZ) 48 (2000), Nr. 10, S. 106–110
- [Pels-Leusden, 1951]
Pels Leusden, F.; Freymark, H.; Hygienisches Institut der Universität Kiel (Hrsg.): Darstellungen der Raumbeaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. Gesundheitsingenieur 72 (1951), Nr. 16, S. 271–273
- [Petzold, 2000]
Petzold, K.; Martin, R.: Wechselwirkung zwischen Außenwandkonstruktion und sich frei einstellendem Raumklima. Bauphysik der Außenwände. Schlussbericht. DFG Forschungsschwerpunktprogramm. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Pfrommer, 2003]
Pfrommer, P.: Gekoppelte Simulation zur hygrothermischen Untersuchung erdbehrührter Räume. In: Bauphysik 25 (2003), Nr. 5, S. 285–295
- [Pfrommer, 2004]
Pfrommer, P.: Hygrothermische Simulationen eines Schlafräumes mit Stoßlüftung. Gesundheitsingenieur 125 (2004), Nr. 1, S. 30–42
- [Plagge, 2012]
Plagge, R.: Kapillaraktive Innendämm-systeme – Technologieentwicklung und Anwendung. In: Institut für Hochbau der TU Graz (Hrsg.): Bauphysiktagung 2012 (Tagungsband). Graz: 2012
- [Rahn, 1998]
Rahn, A. C.: Sanierung von Wärmebrücken durch aktive und passive Beheizung. In: Ingenieur-Hochbau. Berichte aus Forschung und Praxis. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Erich Cziesielski. Düsseldorf: Werner Verlag, 1998. S. 67–80
- [Rahn, 2002]
Rahn, A. C.: Wie bewertet man das Nutzer-verhalten bei Tauwasser- und Schimmel-pilzschäden? Bauphysik 24 (2002), Nr. 5
- [Raisch, 1922]
Raisch, E.: Die Wärme- und Luftdurchlässigkeit von Fenstern verschiedener Konstruktion – Mitteilung aus dem Laboratorium für technische Physik der Techn. Hochschule München. Gesundheitsingenieur 45 (1922) Nr. 9. Berlin und München: R. Oldenbourg Verlag, 1922
- [Raisch, 1928]
Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen; in: Gesundheitsingenieur, 30. Heft, 51. Jahrgang (1928), Verlag R. Oldenbourg, Berlin und München, 1928
- [Reichel, 1998]
Reichel, D.: Kritische Anmerkung zur Zuluftversorgung von Etagenwohnungen. Technik am Bau 28 (1998), Nr. 12, S. 53–58
- [Reitmayer, 1940]
Reitmayer, U.: Holzfenster in handwerklicher Konstruktion. Stuttgart: Julius Hoffmann Verlag, 1940
- [Richter, 1999]
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW); TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung; Arbeitsgruppe Raumklimatologie Erfurt der Universität Jena; Ingenieurbüro für Bauphysik Hauser und Partner; Richter, W.; Hartmann, T.; Kremonke, A.; Reichel, D.: Gewährleistung einer



- guten Raumluftqualität bei weiterer Senkung der Lüftungswärmeverluste. Ressortforschungsbericht RS III–67 41–97.118. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1999
- [Richter, 2001] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW); TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Bereich Technische Gebäudeausrüstung; Richter, W.; Hartmann, T.; Gritzki, R.; Bolsius, J.; Kremonke, A.; Perschlk, A.: Bedarfslüftung im Wohnungsbau. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2001
- [Richter, 2003] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung; Richter, W. (Projektleiter); Seifert, J.; Gritzki, R.; Rösler, M.: Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003
- [Richter, 2005] Richter, T.; Fouad-Winkelmann, S.: Anwendung des U-Wertes als Kenngröße für Wärmetransportvorgänge. Bauphysik Kalender (2005)
- [Rode, 2009] Rode, C.; Peuhkuri, R.: Modelling the Hygrothermal Interaction Between Materials and the Indoor Climate. In: WTA-Schriftenreihe 2009
- [Roloff, 2002] Roloff, J.; Meinhold, U.; Weier, H.: Das Raumklima im Wendelgang in der Kuppel der Frauenkirche Dresden. In: TU Dresden, Institut für Bauklimatik (Hrsg.): 11. Bauklimatisches Symposium Dresden, 26.–30. September 2002. Tagungsband. Dresden: Selbstverlag, 2002
- [Ruhland, 1956] Ruhland, W. (Hrsg.): Handbuch der Pflanzenphysiologie. Hamburg: Springer-Verlag, 1956
- [Schrader, 2001] Schrader, M.: Fenster, Glas und Beschläge als historisches Baumaterial. Ein Materialleitfaden und Ratgeber. Suderburg: Edition anderweit, 2001
- [Schröder, 2018] Schröder, F. et al.: Statistische Energiekennzahlen für Deutschland: Heizenergie-Verbrauchsentwicklung im Wohnungsbestand seit 2004. Bauphysik 40 (2018), S. 203–213
- [Schüle, 1949/1952] Schüle, W.; Schäcke, H.: Überlegungen und Beobachtungen zur Frage der Küchenlüftung, insbesondere bei Kleinküchen. In: Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen. Stuttgart: 1949/52
- [Schulze, 2013] Schulze, T.; Eicker, U.: Methodik zur vereinfachten Berechnung kontrollierter natürlicher Lüftung. Bauphysik 35 (2013), Nr. 2
- [Sedlbauer, 2001] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelbildung auf und in Bauteilen. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart, 2001
- [Sedlbauer, 2003] Sedlbauer, K.; Krus, M.: Schimmelpilz in Gebäuden – biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen. In: Cziesielski, E. (Hrsg.): Bauphysik Kalender 2003. Berlin: Ernst und Sohn Verlag, 2003
- [Senkpiel, 1992] Senkpiel, K.; Ohgke, H.: Beurteilung der Schimmelpilz-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. Gesundheitsingenieur 113 (1992), S. 42–45
- [Senkpiel, 2001] Senkpiel, K.; Ohgke, H.: Wohnhygienische Bewertung der mikrobiellen Belastung in feuchten Gebäuden. In: Moriske, H.-J.; Turowski, E. (Hrsg.): Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. 5. Erg.-Lfg. 4/2001. Landsberg: Ecomed, 2001

- [Setzer, 1999]
Reick, M.; Setzer, M.J.; Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität GH Essen: Instationäre Berechnung von Raumfeuchtebilanzen im Zeitbereich mit der Feuchtepufferfunktion und dem Difusions-Sorptions-Modell. In: TU Dresden, Institut für Bauklimatik (Hrsg.): 10. Bauklimatisches Symposium Dresden, 27.–29. September 1999. Tagungsband. Dresden: Selbstverlag, 1999
- [Setzer, 2000-1]
Setzer, M.J.; Hohmann, R.; Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität GH Essen: Mathematische Beschreibung der Feuchtepufferung durch feuchtespeichernde Materialien im Raum. In: Bauphysik der Außenwände. Schlussbericht. DFG Forschungsschwerpunktprogramm. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Setzer, 2000-2]
Setzer, M.J.; Reick, M.; Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität GH Essen: Untersuchung des Sorptionsverhaltens wohnraumschließender Materialien. In: Bauphysik der Außenwände. Schlussbericht, DFG Forschungsschwerpunktprogramm. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Setzer, 2000-3]
Setzer, M.J.; Hohmann, R.; Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität GH Essen: Erstellung eines materialspezifischen Kataloges für wohnraumschließende Materialien. In: Bauphysik der Außenwände. Schlussbericht. DFG Forschungsschwerpunktprogramm. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Siegwart, 1932]
Siegwart, K.: Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern – Mitteilung aus dem Maschinen-Laboratorium der Technischen Hochschule Danzig. Gesundheitsingenieur 55 (1932), Nr. 43. Berlin und München: R. Oldenbourg Verlag, 1932
- [Stade, 1904]
Stade, F.: Die Holzkonstruktionen, XIII. Reprint der Originalausgabe von 1904. Leipzig: Reprint-Verlag, 1989
- [Stegemann, 1941]
Stegemann, R. (Hrsg.): Das große Baustoff-Lexikon – Handwörterbuch der gesamten Baustoffkunde. Stuttgart; Berlin: Deutsche Verlags-Anstalt, 1941
- [vom Stein, 2018]
vom Stein, T.; Sauerwein, D.; Kuhn, C.: Verbrauchsprognosen für Sanierungskonzepte von Gebäuden und Quartieren – Entwicklung eines Prognosemodells zur Vorhersage realistischer thermischer Energieeinsparungen unter Berücksichtigung von Pre-bound- und Rebound-Effekten. Bauphysik 40 (2018), S. 31-40
- [Stopp, 2009]
Stopp, H. et al.: Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung. Bauphysik 32 (2009)
- [Sutter, 2012]
Sutter, M.: Schimmelpilzbildung im Bereich von Wärmebrücken – Auswertung exemplarisch aufgezeichneter Raum- und Außenklimadaten hinsichtlich des Auftretens kritischer Zeiträume sowie diesbezügliche Bewertung der Anwendbarkeit der Ansätze zur Abbildung von Raumklimaten aus DIN EN 15026 und DIN EN ISO 13788 zur Prognose. Studienarbeit. Berlin: Technische Universität, 2012
- [Swensson, 2013]
Swensson, N.: DIN 1946-6:2009-05 – Eine anerkannte Regel der Technik? Deutsches Ingenieurblatt (2013), Nr. 3. Berlin: Fachverlag Schiele & Schön GmbH, 2013
- [Trautmann, 2003]
Trautmann, C.: Schimmelpilzbefall in Wohnräumen. In: Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands e.V. (Hrsg.): Fachaufsätze von Bausachverständigen, Juristen, Umweltmedizinern und Mikro-



- biologen. VBN-Info, Sonderheft April 2001.
3. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag,
2003
- [Trümper, 1979]
Trümper, H.; Bley, H. – Technische Universität Karlsruhe: Innenküchen. Forschungsbericht BI5-800173-138, Karlsruhe: Bundesministerium Bau, 1979
- [UBA, 2002]
Umweltbundesamt – Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (Hrsg.): Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Berlin: Umweltbundesamt, 2002
- [UBA, 2005]
Umweltbundesamt – Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (Hrsg.): Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen (Schimmelpilz-Sanierungs-Leitfaden). Dessau: Umweltbundesamt, 2005
- [UBA, 2017]
Umweltbundesamt – Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (Hrsg.): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden (Schimmel Leitfaden). Dessau; Roßlau: Umweltbundesamt, 2017
- [VDI 2078]
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG); Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung; Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahresimulation). Düsseldorf: Juni 2015 (VDI 2078)
- [VEB Typ., 1960]
VEB Typenprojektierung Berlin: Typenbauelemente für Dachelemente der Großblockbauweise (Gewichtsklasse 750 kp). Dach- und Gesimskonstruktion (Steildach). Bestätigt: Ministerium für Bauwesen am 23. Februar 1960
- [VFF, 2016]
Verband Fenster + Fassade (VFF) (Hrsg.): VFF-Merkblatt WP.02 >Instandhaltung von Fenstern, Fassaden und Außentüren – Wartung/Pflege & Inspektion: Maßnahmen und Unterlagen. Frankfurt am Main: November 2016
- [VFW, 2009]
VFW Bundesverband für Wohnungslüftung e.V.: Lüften nach Konzept – DIN 1946-6: Lüftung von Wohnungen, VFW-Information (2009). URL: http://www.wohnungslueftung-ev.de/uploads/media/DIN1946_Lueftungskonzept.pdf [Stand: 21.10.2010]
- [Vogdt, 2000]
Vogdt, F.U.; Cziesielski, E.: Schäden an Wärmedämmverbundsystemen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000 (Schadefreies Bauen; 20)
- [Waubke, 1990]
Universität Innsbruck, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung (BMI); Waubke, N.V.; Kusterle, W. (Hrsg.): Schimmelbefall in Wohnbauten. Ursachen, Folgen, Gegenmaßnahmen. Symposium Mold Infestations in Residential Buildings, Nr. 1, Innsbruck-Iglis, 11.–19. Januar 1990. Innsbruck: Selbstverlag, 1990
- [Westfeld, 2008]
Westfeld, H.; Lucenti, S.: Lüftungsanforderungen von Wohngebäuden im Wandel. Der Sachverständige 35 (2008) Nr. 11. München: C.H. Beck, 2008
- [Willems, 2006]
Willems, W.; Schild, K.: 3D-Wärmebrücken-katalog für den Hochbau. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2006
- [Willems, 2013]
Willems, W.; Schild, K.: Dämmstoffe im Bauwesen. In: Fouad, N. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2013. Berlin: Ernst und Sohn Verlag, 2013

[WoAufG Bln, 2001]

Gesetz zur Beseitigung von Wohnungsmissständen in Berlin (Wohnungsaufsichtsgesetz – WoAufG Bln) in der Fassung vom 3. April 1990, zuletzt geändert durch Artikel LIII des Gesetzes vom 16. Juli 2001

[WschVO, 1977]

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden – Wärmeschutzverordnung vom 11.08.1977

[WschVO, 1982]

Verordnung über einen energieeinsparenden Wärmeschutz bei Gebäuden – Wärmeschutzverordnung vom 24.02.1982

[WschVO, 1994]

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden – Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994

[WTA, 2002]

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) (Hrsg.): Merkblatt 6-1-01/D. Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Mai 2002.

[WTA, 2014]

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) (Hrsg.): Merkblatt 6-2. Simulation wärme- und feuchte-technischer Prozesse. Dezember 2014

[WTA, 2016]

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) (Hrsg.): Merkblatt 6-4. Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden. Oktober 2016

[Ziegert, 2002]

Ziegert, C.; Holl, H.-G.: Vergleichende Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Werkrockenmörteln. In: KirchBauhof GmbH; Steingass, P. (Hrsg.): Moderner Lehmbau 2002. Internationale Beiträge zum modernen Lehmbau. Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002

[Ziegert, 2004]

Ziegert, C.: In Balance. Das Feuchtesorptionsvermögen von Lehmbaustoffen. In: Claytec e.K. (Hrsg.): Texte zum Lehmbau, Ausgabe 1. Viersen: 2004. URL: <http://www.claytec.de>

[Ziegert, 2006]

Ziegert, C.: Feuchtesorptionsvermögen von unbehandeltem und mit verschiedenen Beschichtungen versehenem Nadelholz. Berlin: 2006 (unveröffentlicht)

[Zimmermann, 2012]

Zimmermann, T.; Zimmermann, M.: Lehrbuch der Infrarotthermografie. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012

Stichwortverzeichnis

A

- Abluftanlage 151, 203–204
- Abnahme 180
- absolute Raumluftfeuchte 103
- Absorption 92, 97
- Abwälzung der Erhaltungspflicht 161
- Aktivitätsgrad 83–84
- allgemein anerkannte Regel der Technik 51, 56–57, 69, 76, 153–154, 178, 218
- allgemeine Geschäftsbedingung 160
- Altbauwohnung 166
- Anemometer 47
- Anfangsrenovierung 163
- Anordnung der Heizkörper 210
- Anscheinsbeweis 189
- Arbeitsschutz 167
- Außendämmung 141
- Außenklima 43, 64, 100, 199, 247
- Außenlufttemperatur 63, 65–66, 68–69, 76

B

- Baulalter 166
- Baufeuchte 37
- baulicher Standard 166
- bauliches Defizit als Ursache 234, 238
- Bauteilfeuchte, Messung 45–46
- Bauträgervertrag 176
- Bauvertrag 176
- Bauwerksabdichtung 37
- Bauwerksschaden 172
- Befangenheitsgrund 190
- Behaglichkeit 80–82, 207
- Beheizung 48, 153, 196, 201, 205
- Beheizung, ungenügende 201, 203
- Beheizung, unzureichende 255
- Belegung einer Wohnung 84–86, 118–119
- Beschaffenheitsvereinbarung nach unten 179
- Bestandsschutz 121–122
- Betriebskosten 159
- Beurteilungskriterium 51
- Beweisantritt 188
- Beweislast 188

Beweislastumkehr 189

Blower Door 46, 47

D

- Dachgesims 205, 206
- Dach und Fach 164
- Dämmstoff 143
- Darlegungslast 188
- Datenloggermessung 42–43, 49, 69, 124
- Desorptionsvorgang 91
- Differenzdruck 46, 88
- Differenzdruckverfahren 46
- Druckzuschlag 168
- due diligence 176
- Durchfeuchtung 39–40

E

- Energieeinsparung 87
- Energieeinsparverordnung 47, 55, 87, 90, 141–142
- Ergänzungsfragen 191
- erweiterte Wärmebrückennberechnung 53, 57–58, 194
- exzessives Rauchen 169

F

- Fenster, Anforderung an die Größe 120
- Fensteranordnung 120
- Fensterlaibung 209–211
- Fensterlüftung 148, 153, 208
- Feuchteabfuhr 87, 147
- Feuchteintrag 82, 84–85, 89, 92–94, 143, 151, 153, 196, 199, 204
- feuchteintensive Nutzung 118
- Feuchtelast 104–108, 118
- Feuchtelast, charakteristische bzw. typische 107, 109–110
- Feuchtemessung 38
- Feuchteproduktion 83
- Feuchtespeicherung 94–95, 97, 146
- Formularmietvertrag 160
- freie Fensterlüftung 87

- Fristenplan 163
Fugendurchlässigkeit 88
Funktionstauglichkeit 179
- G**
- Gebäudeaußenkante 60, 203, 207
Gebäudehülle 41, 46, 61, 86, 88, 153
Gebäudeversicherung 183
Gebot gegenseitiger Rücksichtnahme 169
Gebrauchstauglichkeit 51–52, 56–57, 117
gerichtliche Mediation 187
Gewährleistungsausschluss 175
Gewährleistungsfrist 180
Gewährleistungshaftung des Verkäufers 175
Gewährleistungsrecht 167
Gewohnheitsrecht 171
Grenze des Verfahrens 242
Grenzluftfeuchte 57, 77–80, 91–92, 195, 205
Grundluftwechsel 48, 57, 86–89, 93–94, 196–197, 200, 207, 216
Grundluftwechsel, sukzessive Reduzierung 256
Güteverhandlung 187
- H**
- Haftpflichtversicherung 183
Hauptmieter 158
Heizen und Lüften 42, 56, 92, 124, 166, 170, 196, 208
Heizkörper 49, 209
Heizkörper, Anordnung 209, 216, 218
Heizverhalten 48–49, 201
HOAI 182
Holzfeuchte 42
- I**
- Indikatorfunktion der Verglasung 124–125, 129–134
Individualvereinbarung 160
Infiltration 86–89, 94, 152–153, 196
Infiltrationsluftwechsel 90, 151
Infrarotthermografie 43, 47
Initiativlüftung 88, 90, 147
Innendämmung 143–145, 208, 218
Instandhaltung 150, 161, 180
Instandsetzung 141, 161, 180
Instanzenzug 186
intensive Wohnungsnutzung 118
- Isoplethen 29, 64
Isoplethensystem 31
Isothermen 59
Isothermenverlauf der Fensterkonstruktion 129
- K**
- Kanteneffekt 144
Karsten'schen Prüfrohr 39
Kaufvertrag 174
Kelleraußenwand 135
Kipplüftung 147
Kleinreparaturklausel 162
komplexe Datenloggermessung 63, 219, 242
Konvektion 33, 58, 70–71, 73–74
Küchenzeile 216–218
- L**
- Laibung 208–209
Luftaustausch, vollständiger 120
Luftdichtheit 46, 86, 88
Luftdichtheitsmessung 46
Luftfeuchte 24–26
Lufttemperatur 24–26, 68, 80
Lüftung 90, 196, 204
Lüftung, erforderliche Dauer 120
Lüftungsintervall 80, 93–94, 200
Lüftungsintervall, Beurteilung 222
Lüftungskonzept 152, 154
lüftungstechnische Maßnahme 87–88, 150, 152–153
Lüftungsverhalten 87, 200–201
Lüftungswärmeverlust 86–87, 90, 153
Lüftung, ungenügende 194, 197
Luftvolumenstrom 89
Luftwechsel 86–88, 90–92, 147, 150–151, 153, 204
- M**
- Mangelanzeige 167
Mangel, aufklärungspflichtiger 175
Mangelbeseitigung 168
Mangel der Bauleistung 177
Mangel der Kaufsache 174
Mangel der Mietsache 166
Mangelsymptom 188
Messzeitraum 99
Mietmangel 211



Mietminderung 167
Mietsache 158
Mietzins 159
mikrobiologische Untersuchung 50
Mindestluftwechsel 88
Mindestoberflächentemperatur 66, 68, 69
Mindestwärmeschutz 48, 55, 65, 68, 72, 153
Mykologie 28

N

n_{50} -Wert 152
Nährboden 29, 31
Nährstoffangebot 28
Nutzerverhalten 42–43, 49, 56, 86, 92, 117, 169, 196–197, 199, 203, 205, 207, 216
Nutzerverhalten, Beurteilung 115
Nutzerverhalten, ursächliches 219, 224, 229
Nutzerverhalten, verändertes 224
Nutzung 118
Nutzungsszenario 107–108, 110, 118

O

Oberflächenfeuchte 30, 33, 55, 64, 66–67, 70, 94
Oberflächenrandbedingung 67, 76
Oberflächentauwasser 26, 66
Oberflächentemperatur 33, 43, 55, 57–58, 60–62, 64–65, 68–72, 74–78, 92, 100, 111, 146
Oberflächentemperatur, Beurteilung 111
Oberflächentemperatur, Messung 41, 43–45, 100
Oberflächentemperatur, spezifische schimmelkritische 113, 116
Oberflächentemperatur, typische spezifische schimmelkritische 116
Oberflächenverhältnisse, Bewertung 77–79, 112, 114
Obergutachter 191
Obhuts-, Fürsorge- und Schutzpflicht 159, 170
Obhuts-Sphäre 189
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger 190

P

Parteigutachten 188
Planungshoheit 178
Planungsleistung 181

Q

Qualitäts- und Komfortstandard 178
Querlüftung 91, 147
Quotenabgeltungsklausel 163

R

Raumklima 42, 48, 69, 78, 80, 82, 95
Raumklima, Messung 42, 45, 124
Raumluftfeuchte 26
Raumlufttemperatur 26, 48, 63, 81–82, 92, 100, 102, 205
Raumluftvolumen 92, 201, 207, 216
Recht der Allgemeinen Geschäftsbedingung 169
relative Luftfeuchte 63, 77, 80–82, 90–91, 95, 97, 100, 102, 199, 204

S

Sachverständigengutachten, gerichtlich 190
Sättigungsfeuchte 24, 26, 90
Schadensursache, Abgrenzung 51
Schiedsgutachter 184
Schimmel 28
Schimmelbefall 35, 38, 42, 140
Schimmelbefall, Beseitigung 139–140
Schimmelbefall, erdberührte Bauteile 135
Schimmelbefall, sommerlicher 251
Schimmelbefall, Ursache 37
Schimmelbildung, Beurteilung 53
Schimmelgefährdung, Beurteilung 111, 117
schimmelkritische Oberflächenverhältnisse 113
Schimmelleitfaden 139, 140
Schimmelpilz 28, 29, 66
Schimmelpilzkriterium 66, 68–69, 111, 123
Schimmelpilz, Lebensbedingung 28
Schimmelrisiko 118
Schlafzimmer 210–211
Schlagregendichtheit 37, 39
Schlichtung 184
Schlüsselfertigungsbauvertrag 178
Schönheitsreparatur 162
selbstständiges Beweisverfahren 186

- Sichtschutz 209, 211
Sommerkondensation 35, 135, 251
Sorption 95–96, 146
Stoßlüftung 57, 88, 90–92, 94, 102–103,
147–148, 153, 196, 199, 207
Streitbeilegung, außergerichtliche 184
Streitverkündung 187
Streitwert 185
Substratgruppe 29, 31, 64
Symptom-Rechtsprechung 188
- T**
Taupunkttemperatur 26
Tauwasser 26, 143
Tauwasserausfall 55
Tauwasserbildung 35, 42, 125
Tauwasserkriterium 66
Tauwasserschutz 55, 65, 143
Temperaturfaktor 61, 63, 72
Temperaturrandbedingung 67–68, 76
thermische Abschirmung 70–71, 74, 145,
208–211, 214–216, 218
Treu und Glauben 169
- U**
Überbelegung 119, 171
üblicher Mietgebrauch 169
Umkehrdiffusion 143
U-Wert 122–123
U-Wert-Ermittlung in situ 122
- V**
Verfahren erweiterter Wärmebrückeberechnung 53
Verfahren komplexer Datenloggermessung 53, 99
Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistung Teil B 176
Verglasung, Tauwasserbildung 130
Vergleich, gerichtlich 187
Verschulden des Mieters 169
vertragsgemäßer Gebrauch 169
Vollbeweis 189
- W**
Wärmebrücke 26, 33, 44, 60–61, 68, 144,
212
Wärmebrücke, dreidimensionale 56, 60, 205,
207
Wärmebrücke, geometrische 34, 59, 65
Wärmebrücke, konstruktive 34, 59
Wärmebrücke, linienförmige 60–62, 207
Wärmebrückenatlas 60
Wärmebrückenbeheizung 146
Wärmebrückeberechnung 57–58, 69, 71,
77, 197, 201, 212
Wärmebrückeberechnung, dreidimensionale
59–62
Wärmebrückeberechnung, zweidimensional
59, 67
Wärmebrücke, zweidimensional 56, 60–61
Wärmedämmung 141, 208, 213
Wärmedämmverbundsystem 141–142, 194,
216
Wärmedurchgang 70
Wärmedurchgangskoeffizient U 72, 122–123
Wärmedurchlasswiderstand 61
Wärmeleitfähigkeit 34, 40, 58–59, 143, 206
Wärmequerleitung 146
Wärmeschutz 54–57, 66, 69, 142–143, 216
Wärmeschutz, Anforderung 121–122
Wärmeschutz, hygienischer 69
Wärmeschutz, mangelhafter 212
Wärmeschutzverordnung 55
Wärmestrahlung 70, 72–73
Wärmestrom 33, 58, 70
Wärmestromdichte 70
Wärmeübergang 70, 71, 73
Wärmeübergangskoeffizient 70
Wärmeübergangswiderstand 61, 65–66,
68–76, 209, 215, 217–218
Wartung 180
Wartungsbedarf 180
Wasseraktivität 30–31
Wasserdampfkonzentration 24–25
Wohnungsaufsichtsgesetz von Berlin 171
- Z**
Zerstörung der Mietsache 161
Zivilprozessordnung 186
Zweitgutachter 191

Schadenfreies Bauen

Die Fachbuchreihe »Schadenfreies Bauen« stellt das gesamte Gebiet der Bauschäden dar. Erfahrene Bausachverständige beschreiben die häufigsten Bauschäden, ihre Ursachen und Sanierungsmöglichkeiten sowie den Stand der Technik. Die Bände behandeln jeweils ein einzelnes Bauwerksteil, ein Konstruktionselement, ein spezielles Bauwerk oder eine besondere Schadensart.

Band 42

Nils Oster, Jan Bredemeyer, Oliver Mühlig

Schimmelschäden an Wänden und Decken

Streitigkeiten über Schimmelschäden an Wänden und Decken spielen sich in der Regel zwischen den Polen »baulicher Mangel« und »Nutzerverhalten« ab. Was aber ist einem Nutzer zumutbar? Darf er einen Altbau nutzen wie einen Neubau? Inwieweit spielt die Einhaltung der bautechnischen Regeln zur Erbauungszeit bei der Schadensbewertung eine Rolle? Wann ist ein Gebäude gebrauchstauglich?

Die technische Beurteilung eines Schimmelbefalls allein beantwortet diese Fragen in der Regel nicht. Ebenso kann eine rein juristische Betrachtung ohne Einbeziehung bautechnischer Randbedingungen leicht zu falschen Ergebnissen führen. Dieses Buch nimmt sich beider Aspekte an. Alle Grundlagen für eine sachkundige Beurteilung von Schimmel an Wänden und Decken werden detailliert dargestellt. An Schadensfällen wird gezeigt, wie das Zusammenwirken von Bautechnik und Nutzerverhalten sachkundig analysiert und bewertet werden kann.

Das Buch ist eine konkrete Praxishilfe für alle, die Schimmelschäden beurteilen müssen oder Schimmel vermeiden wollen. Es richtet sich an Bausachverständige und Juristen, aber auch an die Mitarbeiter von Wohnungsbaugesellschaften und Hausverwaltungen sowie an betroffene Mieter und Eigentümer und nicht zuletzt an Planer und Ausführende.

Die Autoren:

Dipl.-Ing. Nils Oster ist Gründungspartner des Ingenieurbüros Ingenieure für das Bauwesen Prof. Vogdt & Oster Partnergesellschaft mbB (IFDB), Berlin, und seit über 25 Jahren als Bausachverständiger für »Schäden an Gebäuden« und Bauphysiker tätig. Er ist ö.b.u.v. Sachverständiger für das Sachgebiet »Wärme- und Feuchteschutz, Abdichtung« (IHK Berlin).

Dipl.-Ing. Jan Bredemeyer, Partner des Ingenieurbüros IFDB, ist ebenfalls ö.b.u.v. Sachverständiger für »Wärme- und Feuchteschutz, Abdichtungen«. Er engagiert sich in verschiedenen Normausschüssen des DIN. Seine Tätigkeits schwerpunkte sind Raumklima, Wärmeschutz, Bauwerksabdichtungen, Fenster und Glas sowie Denkmalpflege.

Dr. jur. Oliver Mühlig ist Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht sowie für Miet- und Wohneigentumsrecht und als Syndikusrechtsanwalt für BONAVA, einen der größten Projektentwickler im Wohnungsbau, tätig.

ISBN 978-3-8167-9605-3



9 783816 796053