

## Energieeinsparung und Gefahren für die Bausubstanz – bautechnische Aspekte

### I. Energieeinsparung - Wie „gut“ ist die Bausubstanz in Deutschland?

#### 1. Wohngebäudebestand in Deutschland nach Baujahr

Betrachtet man die Bausubstanz, d.h. den Wohngebäudebestand in Deutschland, so zeigt sich, dass, nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (nach der Gebäude- und Wohnungszählung 2011), die Mehrzahl der insgesamt rund 19 Millionen Wohngebäude in Deutschland vor 1980 erbaut wurden. Mehr als 2/3 der Wohngebäude sind älter als 40 Jahre. Rund 1/4 (rund fünf Millionen) der Wohngebäude sind sogar älter als 70 Jahre. Entsprechend groß ist der energetische Modernisierungsbedarf.

#### 2. Endenergiebedarf des deutschen Wohngebäudebestandes

Dass in Deutschland ein Großteil der Wohngebäude einen erheblichen energetischen Sanierungsbedarf der Gebäudehülle haben, zeigt auch die Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen nach Endenergiebedarf des deutschen Wohngebäudebestands, d. h. die Energieklassen in den Energieausweisen der deutschen Wohngebäude.

Im Gesamtbestand haben ca. 30 % der Gebäude die schlechten Effizienzklassen G und H und nur ca. 26 % der Gebäude die Effizienzklassen A+ bis C, mit einem Endenergiebedarf von unter 100 kWh/m<sup>2</sup>/a.

Die Auswertung des Energiebedarfs nach dem Baujahr zeigt zudem, dass nahezu alle nach 2010 gebauten Gebäude (>98 %) und viele (65% - 79%) zwischen 2001 und 2010 gebauten Gebäude einen Endenergiebedarf von unter 100 kWh/m<sup>2</sup>/a aufweisen. In den Baujahren vor 2000 dominieren die Effizienzklassen D bis F, wobei in den Baujahren vor 1978 über 60 % aller Ein- und Zweifamilienhäuser und 10 % bis 15 % der Mehrfamilienhäuser in die schlechten Effizienzklassen G und H fallen.

#### 3. Beheizung und Wärmebedarf

Es ist sinnvoll, die Energieeffizienz und den Wärmebedarf der deutschen Wohngebäude auch mit deren Geschichte der Beheizung zu betrachten.

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts steigt der Wärmebedarf der Wohngebäude bis Anfang der 80er Jahre an. Erst mit der Ölkrise und mit dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1977 nahm auch der Wärmebedarf der neu errichteten Gebäude kontinuierlich ab.

Anfang des 20. Jahrhunderts, zur Gründerzeit, wurden die Wohngebäude meist mit Holz- oder Kohleöfen beheizt. Für das Beheizungskonzept war es wichtig, dass beim Beheizen eine ausreichende Zuluft gegeben war. Die Luftzufuhr erfolgte in der Regel durch die Undichtigkeit, z. B. durch die nicht dicht schließenden Fenster und die Innenluftabfuhr über den Schornstein. Durch die Ofenheizung kam es im Winter zu einem kontinuierlichen Luftaustausch und einer kontinuierlich starken Warmluft-Zirkulation in den Wohnräumen.

Ab 1945, mit dem Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg, wurde in den Nachkriegsjahren begonnen, auch moderne Heizungsanlagen großflächig zu verbauen. Aber erst in den 1970er Jahren setzten sich die Zentralheizungen in deutschen Wohnungen durch und löste die Ofenheizung ab. Die Raumtemperatur stieg von 18°C auf kontinuierliche 20°C – 22°C. Anteil Strahlungswärme nimmt ab.

Das Beheizungskonzept in den Nachkriegsjahren war vergleichbar mit dem in der Gründerzeit. Mit viel Energie und durch hohe Wärmezufuhr (hohe Vorlauf-Temperatur an Heizköpern) heizen, um eine starke kontinuierliche Luftzirkulation und Erwärmung der Innenraumflächen in den Wohnräumen zu erreichen.

Erst die Ölkrise der 80er Jahre und die steigenden Energiepreise gaben den Anstoß für ein Umdenken in der Beheizung, dem Wärmeschutz und der Energieeinsparung. Im Jahr 1977 trat die erste Wärmeschutzverordnung in Kraft. Um den Energieverbrauch zu verringern, durfte die Gebäudehülle weniger Energie nach Außen ableiten, in dem sie gedämmter und luftdichter sein musste.

Diese hatte eine Veränderung des Beheizungskonzepts zur Folge. Durch den Einsatz von Flächenheizungen (Fußbodenheizungen) und die Reduzierung der Energiezufuhr (niedrigere Heiztemperaturen) kommt es zu einer Verringerung der Warmluft-Zirkulation in den Wohnräumen und allgemein zu einer Verringerung der Energiezufuhr / Erwärmung der Bauteiloberflächen. Eine Warmluft-Zirkulation in den Wohnräumen ist aber notwendig, um die raumumfassenden Bauteile zu erwärmen und durch das Vorbeistreichen der warmen Luft die Feuchtigkeit von der Wand- / Bauteiloberfläche abtransportieren zu können. Dieses kann mit dem Trockenföhnen von nassen Haaren verglichen werden. Je wärmer die vorbeistreichende Föhnluft desto schneller / besser werden die Haare trocken.

#### 4. Fazit

Ein Großteil der Wohngebäude, vorrangig die vor dem Jahr 2000 erbauten Wohngebäude, haben einen erheblichen energetischen Modernisierungsbedarf und benötigen in der kalten Jahreszeit viel Energie und Wärme, um zu funktionieren und ein behagliches Wohnklima zu erzeugen.

## II. Behaglichkeit und Raumklima

### 1. Raumlufttemperatur für zeitgemäße Wohngebäude

Erkenntnisse aus Untersuchungen, bezüglich des Zusammenhangs von relativer Feuchte und Raumlufttemperatur haben gezeigt, dass für ein empfundenes behagliches Wohnen die Raumlufttemperaturen zwischen 19 °C und 23 °C liegen und hierbei die relative Luftfeuchte in einem weiten Bereich von etwa 35 % bis etwa 70 % schwanken kann.

Zu beachten ist, dass in ungedämmten oder schlecht gedämmten Altbauten die Raumlufttemperaturen (in Aufenthaltsräumen) zur Kompensation der geringen Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Bauteile in der Regel um etwa 2°C höher einzustellen sind, damit ein behagliches Raumklima erreicht werden kann.

### 2. Thermische Behaglichkeit

Was ist thermische Behaglichkeit?

Nach DIN 1946-2:1994-01 ist eine thermische Behaglichkeit dann gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht.

Die DIN EN ISO 7730:2003 definiert die thermische Behaglichkeit als Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt.

Einflussfaktoren der thermischen Behaglichkeit sind u.a.:

- Luft (Temperatur, Geschwindigkeit und Feuchte) und
- Strahlung (Oberflächentemperaturen, Wärmestrahlung, kurzwellige Strahlung).
- Bekleidung
- Aktivität

Hierbei stellt aber die empfundene Raumtemperatur die zentrale Bewertungsgröße dar.

### 3. Einfluss der Temperaturabsenkung auf die Behaglichkeit

Eine Absenkung der Raumtemperatur auf unter 18°C hat zur Folge, dass sich das Raumklima aus der Behaglichkeitsraute, abhängig von der Raumluftfeuchte, in den „noch behaglichen“ oder sogar „unbehaglichen“ Bereich verschiebt.

### III. Gefahren für die Bausubstanz – Schimmelpilzschäden

Genau betrachtet, stellt die Energieeinsparung, durch eine Raumtemperaturabsenkung auf z. B. 16°C - 18°C, per se keine direkte Gefahr für die Bausubstanz dar, sondern erhöht das Risiko für die Schimmelpilzbildung.

Die Energieeinsparung hat aber auch einen Einfluss auf die Wohnqualität sowie auf die Anforderungen und Pflichten der Bewohner.

#### 1. Wann entsteht Schimmel?

Schimmelpilzsporen sind ein natürlicher Bestandteil der Luft.

Das Schimmelpilzwachstum wird hauptsächlich durch drei (wesentliche) Faktoren bestimmt:

- Nährstoffangebot

Bezüglich des Nährstoffangebots sind Schimmelpilze in der Regel sehr anspruchslos und es genügen häufig nutzungsübliche Verschmutzungen auf Bauteiloberflächen damit ein Schimmelpilzwachstum möglich ist. Die Intensität und die Wahrscheinlichkeit des Schimmelpilzwachstums ist erheblich vom Nährstoff- und Mineralstoffangebot abhängig.

- Temperatur

Schimmelpilze wachsen in der Regel in einem Temperaturbereich von 10 °C bis 35 °C.

- Feuchtigkeit

Die entscheidende Voraussetzung für das Schimmelpilzwachstum ist eine ausreichende Feuchte auf den Bauteiloberflächen.

#### 2. Typische Ursachen für Schimmelpilzschäden in Wohngebäuden

Typische Ursachen für Schimmelpilzschäden in Wohngebäuden sind Wasserschäden oder nicht ausreichend warme Bauteiloberflächen, wodurch die zulässige Oberflächenfeuchte überschritten wird.

Typische Ursachen für die Unterschreitungen der niedrigsten zulässigen Oberflächentemperatur, bzw. Überschreitung der zulässigen Oberflächenfeuchte sind:

- Wärmebrücken
- unzureichende Beheizung
- unsachgemäße Belüftung der Räume
- eingeschränkte Luftzirkulation an den Außenbauteilen

### 3. Wie entsteht Schimmel in Wohngebäuden?

Das Grundprinzip der Schimmelpilzbildung in Wohnungen ist immer das Gleiche.

In Wohnräumen entsteht eine zu hohe Oberflächenfeuchte durch zu kalte Bauteiloberflächen.

In Wandoberflächennähe ist der absolute Wassergehalt (Wasserdampfgehalt) der Raumluft der Gleiche wie in der Raummitte. Die Raumluft kühlt jedoch bei Annäherung an kalte Bauteiloberflächen, z. B. eine Außenwand, ab und die relative Luftfeuchtigkeit im Bereich der Bauteiloberfläche steigt somit an. An sehr kalten Oberflächen von festen Körpern können sich sogar Wassertröpfchen (Tauwasser) bilden, wenn dort die Taupunkt-Temperatur der Luft unterschritten wird. In der Natur kann man dieses z. B. als Tautropfen an Blättern und Gräsern nach einer nächtlichen Abkühlung beobachten oder auch auf einer kalten Wasserflasche im Sommer.

Die Wassermenge (Wasserdampfgehalt), welche die Luft aufnehmen kann, ist begrenzt und hängt von der Temperatur ab. Bei einer Temperatur vom 30°C kann Luft eine Wassermenge von 30,4 g/m<sup>3</sup> aufnehmen, bei 20°C noch 17,3 g/m<sup>3</sup> und bei 10°C nur noch 9,4 g/m<sup>3</sup>.

Je kälter die Luft, desto weniger Wasser / Wasserdampf kann sie aufnehmen / binden.

In der Wohnung entsteht die Feuchtigkeit durch das Nutzen / Bewohnen. Die Raumluftfeuchte hängt wesentlich von der Zahl der Bewohner, der Wohnungsgröße und der Wohnungsnutzung ab. Nutzungsbedingungen, wie eine hohe Belegungsdichte, freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen, viele Haustiere (Aquarium) usw. führen zu einer hohen Raumluftfeuchte und zu einer höheren Oberflächenfeuchte an den raumumschließenden Bauteilen.

In einem 3-Personen-Haushalt zum Beispiel, summiert sich die von den Raumnutzern produzierte Feuchtemenge in die Luft auf ca. 6 bis 12 Liter am Tag.

Die nutzungsbedingte Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden.

### 4. Schimmelpilzbildung in Wohngebäuden

Für die Schimmelpilzbildung ist das Vorliegen von Wasser, wie z. B. Tauwasser, nicht erforderlich. Es reicht bereits eine umgebende relative Luftfeuchte von ca. 80 % aus.

Die Neufassung der DIN 4108-2 (März 2001) legt daher den Mindestwärmeschutz von Außenbauteilen so fest, dass nicht mehr die Tauwasserbildung, sondern die Schimmelpilzbildung auf den raumseitigen Oberflächen zu vermeiden ist.

In der Praxis kommt es im Allgemeinen zu einer Schimmelpilzbildung, wenn auf der Bauteiloberfläche über einen Zeitraum von mehr als 12 Stunden an 5 aufeinanderfolgenden Tagen der Wert von mehr als 80 % relative Luftfeuchte überschritten wird.

Die niedrigste zulässige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung wird bereits bei 80 % relativer Luftfeuchte erreicht → 80%-Kriterium.

5. 80%-Kriterium – Vermeidung von Schimmelpilzwachstum nach DIN 4108

Das 80%-Kriterium besagt, dass zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum, bei Klimarandbedingungen nach DIN 4108-2 (20°C und 50% rel. LF.), eine Oberflächentemperatur von 12,6 °C nicht unterschritten werden darf. D. h. bei Norm-Klima (20°C und 50% rel. LF.) hat die Luft einen Wasserdampfgehalt von ca. 8,6 g/m<sup>3</sup>. Bei diesem Wasserdampfgehalt in der Raumluft wird bei einer Oberflächentemperatur von 12,6 °C die relative Luftfeuchte von 80 % rel. LF. erreicht. Dieser Oberflächentemperatur darf zur Vermeidung das Schimmelpilzwachstum nicht unterschritten werden.

6. Auswirkungen der Energieeinsparung / Temperaturabsenkung

Bei Energieeinsparung / Temperaturabsenkung und sonstigem gleichbleibenden Nutzerverhalten, d. h. gleicher Wasserdampfgehalt in der Luft, erhöht sich die Schimmelgefahr. Wird die Raumlufttemperatur verringert, steigt die relative Luftfeuchte und das Risiko des Schimmelpilzwachstums erhöht sich.

Senkt man beispielsweise die Lufttemperatur von 20°C auf 15°C ab, bewirkt dieses eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte von ca. 60 % rel. LF. auf ca. 80 % rel. LF. bei konstantem Wasserdampfgehalt in der Luft. Dieses kann nur durch die Verringerung des Wasserdampfgehalts in der Luft kompensiert werden. D. h. bei Energieeinsparung / Temperaturabsenkung muss gleichzeitig der Wasserdampfgehalt in der Luft sinken.

In der Praxis liegt die Raumtemperatur in Wohnungen nicht bei genau 20°C und die relative Luftfeuchtigkeit auch nicht genau bei 50 % rel. LF., der Wasserdampfgehalt der Luft somit auch nicht genau bei 8,6 g/m<sup>3</sup>, sondern in einem Bereich, einem Behaglichkeitsfeld.

In der Praxis liegt die Raumtemperatur zwischen 19°C und 23°C und der Wasserdampfgehalt bei „normalem“, üblichen Nutzerverhalten bei bis zu 10 g/m<sup>3</sup>.

In vielen Wohnungen ist heutzutage aber auch ein höherer Wasserdampfgehalt in der Raumluft von bis zu 14 g/m<sup>3</sup> vorzufinden, welcher in vielen Fällen zu einer Schimmelpilzbildung an den Außenbauteiloberflächen führt.

Eine Temperaturabsenkung bei gleichem Nutzerverhalten, d. h. bei gleichem Wasserdampfgehalt in der Raumluft, erhöht die relative Luftfeuchte und verringert den Temperaturabstand zwischen der Raumlufttemperatur und der kritischen Oberflächentemperatur. Das Risiko der Schimmelpilzbildung erhöht sich.

## 7. Voraussetzungen an die Baukonstruktion für die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum

Nach DIN 4108 muss die Baukonstruktion die Voraussetzung schaffen, dass bei üblicher Nutzung der Räume, ausreichend hohe innere Oberflächentemperaturen (80% Kriterium) für die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auftreten.

Die Baukonstruktion der „älteren“ Wohngebäude besitzt in der Regel die modernen Voraussetzungen, aufgrund der energetisch schlechten Gebäudehülle, aber nicht. Als „ältere“ Wohngebäude können hierbei durchaus auch Gebäude vor dem Baujahr 2000 bezeichnet werden.

Früher konnte es als Voraussetzung und als übliche Nutzung angesehen werden, dass ein Wohngebäude und auch die inneren Außenwandflächen in der kalten Jahreszeit ausreichend beheizt werden. Die älteren Gebäude benötigen, wie vorstehend dargelegt, Wärme und Energie, um in der kalten Jahreszeit zu funktionieren und um ein behagliches Wohnen zu ermöglichen.

→ Bei unzureichender Beheizung besteht die Gefahr von Schimmel in Gebäuden.

## 8. Beispiele von Schimmelpilzschäden

Häufig vorzufindende Ursachen für Schimmelpilzschäden sind:

- kalte Außenwandoberflächen in einer „normal“ beheizten Wohnung, durch z. B. kalte Dachböden (Wärmebrücke) oder unbeheizte Wohnung (Leerstand) im darüberliegenden Geschoss.
- eingeschränkte Luftzirkulation, durch z. B. Möbelstücke, Spiegel, Gardinen
- Wärmebrücken
- ungleichmäßiges Beheizen der Wohnräume., durch z. B. das wenig oder nicht Beheizen von einzelnen Räumen in der Wohnung (wie z. B. das Schlafzimmer)
- zu hoher Wasserdampfgehalt in der Raumluft, durch z. B. unzureichendes Lüften oder übermäßige Feuchtequellen in der Wohnung

## 9. Fazit

Eine Vielzahl von Schimmelpilzschäden sind schon heute auf das Nutzerverhalten, Energieeinsparungen und einen zu hohen Wasserdampfgehalt in der Raumluft zurückzuführen.

Hauptursache für eine Schimmelpilzbildung in Wohnräumen ist in der Regel das Fehlen von ausreichend Energie und Wärme an den Außenwandoberflächen, was durch die Temperaturabsenkmaßnahmen in Wohnräumen gefördert wird.

→ Weniger Wärme erhöht die Gefahr der Schimmelpilzbildung

## VI. Betrachtung des Mindestwärmeschutzes

Die neuen Anforderungen gelten jetzt auch für geometrische Wärmebrücken (z. B. Raumecken), die in der alten Fassung der DIN 4108-2 (August 1989) ausgenommen waren.

Wärmebrücken sind in der Regel die energetisch ungünstigsten Stellen an einem Baukörper.

Nach DIN 4108 ist an der ungünstigsten Stelle (Wärmebrücken bei stationärer Berechnung) mindestens ein Temperaturfaktor von 0,70 nach DIN EN ISO 10211 / eine Mindestinnenoberflächentemperatur von 12,6 °C einzuhalten.

Somit kann mit dem dimensionslosen Temperaturfaktor  $f_{RSi}$  nach DIN 4108 - 2 eine Aussage über die Schimmelpilzwahrscheinlichkeit getroffen werden.

$$f_{RSi} = \frac{T_{Si} - T_e}{T_i - T_e} \geq 0,7$$

$f_{RSi}$  - dimensionsloser Temperaturfaktor in [-]

$T_{Si}$  - Oberflächentemperatur in [°C]

$T_e$  - Außentemperatur der Luft in [°C]

$T_i$  - Innentemperatur der Luft in [°C]

Die Betrachtung des Mindestwärmeschutzes im Bereich von Wärmebrücken bezieht sich auch auf das Normklima (20 °C, 50 % rel. LF.) und auf eine Raumtemperatur von mindestens 20 °C.

Da sich bei einer Innentemperaturabsenkung auch die kritische Oberflächentemperatur ändert, würde bei einer Temperaturabsenkung auf 18°C oder sogar 16°C bei gleichbleibendem Nutzerverhalten (gleicher Wasserdampfgehalt der Luft) die niedrigste zulässige Oberflächentemperatur unterschritten werden und das Risiko einer Schimmelpilzbildung rechnerisch bestehen.

Dieses zeigt, dass bei Temperaturabsenkung der Wasserdampfgehalt in der Innenluft verringern werden muss, um die Kriterien des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108 und die Betrachtung der niedrigsten zulässigen Oberflächentemperatur (80%-Kriterium) in Einklang zu bringen.

## V. Minimierung des Schimmelrisikos durch Lüften

Es stellt sich die Frage, ob durch ein sorgfältiges und verstärktes Lüftungsverhalten das erhöhte Risiko von Schimmelpilzbildung bei einer Temperaturabsenkung ausgeglichen werden kann.

Die Antwort ist, in der Theorie: Ja, in der Praxis (sehr wahrscheinlich) aber: Nein.

Wie vorstehend dargestellt, kann durch die Abminderung des Wasserdampfgehaltes in der Innenluft die Temperaturabsenkung kompensiert werden.



Es ist aber fraglich, wie groß die Neigung zum Lüften einer „kalten“ Wohnung durch einen frierenden Nutzer überhaupt ist. Die Lüftungsneigung entsteht beim Nutzer eher bei einem unbehaglich warm-feuchten Raumklima.

Hinzu kommt, dass ein „sorgfältiges und verstärktes Lüftungsverhalten“ nicht genauer definiert und von der jeweiligen Bausubstanz abhängig ist. Viele Nutzer sind damit überfordert dieses selber herausfinden und angepasst umzusetzen.

#### IV. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammengefasst ist zu sagen: „Weniger Wärme erhöht das Risiko für Schimmelpilzbildung“.

In der Praxis zeigt es sich aber schon heute, dass Energieeinsparung und ein zu hoher Wasserdampfgehalt in der Innenluft zu einer Vielzahl von Schimmelpilzschäden führen.

Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung ist beim Absenken der Raumtemperatur auch der Wasserdampfgehalt in der Innenluft abzusenken.

Ob dies aber klappt, ist mehr als fraglich, da zum einen die „älteren“ Wohngebäude zum Teil nicht die baulichen Voraussetzungen aufweisen und zum anderen dem Nutzer nicht bekannt oder vorgegeben ist, wie er sich verhalten muss um einen ausreichend geringen Wasserdampfgehalt in der Innenluft zu erreichen.

Durch Energieeinsparungen in weiteren Wohngebäuden wird sich, ohne Anpassung des Nutzerverhaltens, die Anzahl von Schimmelpilzschäden noch erhöhen.