

Anwendungstechnische Informationen

# Gesundes Wohnen Feuchteschutz und Lüftung



## LUFT UND FEUCHTIGKEIT



84 Mio.

### Gesundes Wohnen

Luft, unsere wichtigste Lebensgrundlage, umgibt uns im Alltag so selbstverständlich, dass wir nicht darüber nachdenken. Die meiste Zeit unseres Lebens verbringen wir jedoch nicht draußen in der freien Natur, sondern in geschlossenen Gebäuden. Deshalb ist eine gute Raumluftqualität von so großer Bedeutung für die menschliche Gesundheit. Luft ist ein Gemisch aus verschiedenen Gasen und enthält neben dem für uns lebensnotwendigen Sauerstoff auch Feuchtigkeit in Form von unsichtbarem Wasserdampf. Dieser Wassergehalt der Luft spielt für gesundes Bauen und Wohnen eine gewichtige Rolle.

Gemäß einer aktuellen Studie\* ist Feuchtigkeit einer der größten Mängel im Europäischen Gebäudebestand. Als Ursachen wurden unzureichende Baukonstruktionen und mangelnde Lüftung identifiziert. In Europa leben zirka 84 Millionen Menschen in feuchten Wohnungen, mit teilweise erheblichen Folgen für ihre Gesundheit. In feuchten oder von Schimmel befallenen Gebäuden ist das Risiko, an Allergien, Asthma oder anderen Atemwegsbeschwerden zu erkranken, signifikant erhöht. Dabei besteht bereits ab wenigen Quadratzentimetern schimmelnder Fläche dringender Handlungsbedarf. Durch die in ungesunden Gebäuden erkrankten Menschen entstehen erhebliche Mehrkosten im Gesundheitswesen. Hinzu kommt weiterer volkswirtschaftlicher Schaden durch Einbußen in der Leistungsfähigkeit. Gut geplante und sorgfältig ausgeführte Sanierungen senken die Anzahl feuchter Gebäude und schaffen so die Voraussetzung für gesundes Wohnen.

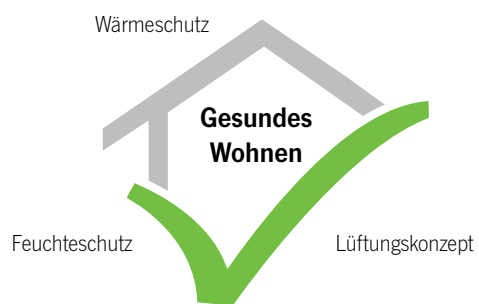
\*Velux Deutschland GmbH. Healthy Homes Barometer 2017.  
Gebäude und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit der Europäer.



Wegen der Wechselbeziehungen der Einflussfaktoren ist das Thema jedoch ziemlich komplex: Bei sehr schlecht gedämmten Gebäuden kann es im Winter bereits bei normalen Raumluftfeuchten auf der Raumseite großflächig oder lokal an Wärmebrücken zu starker Abkühlung und damit zur Erhöhung der oberflächennahen Luftfeuchte kommen. Hoher Wärmeschutz wirkt sich durch höhere raumseitige Oberflächentemperaturen positiv auf den Feuchteschutz aus. Mehr Behaglichkeit und Aufenthaltsqualität in Räumen sind die Folge. Allerdings ist höherer Wärmeschutz nur mit luftdichten Gebäudehüllen möglich, bei denen die zwangsweise Belüftung (Infiltration) durch Undichtigkeiten fehlt. Fehlt aber ein geeignetes Lüftungskonzept, können teilweise sehr hohe Raumluftfeuchten entstehen. Dann besteht an schlecht belüfteten Stellen oder an Wärmebrücken auch bei weniger kühlen Oberflächentemperaturen die Gefahr von Feuchteschäden und gesundheitsschädlicher Schimmelbildung. Deshalb müssen bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen, aber auch bei Neubauten immer alle drei Aspekte gleichermaßen bedacht werden: der Wärmeschutz, der Feuchteschutz und das Lüftungskonzept. Diese Forderung hat sich inzwischen in der Normierung niedergeschlagen.

Weiterführende Informationen zu den bauphysikalischen Grundlagen siehe auch SANCO Glasbuch 6. Auflage 2018: Kapitel 3.1 Wärme und Kapitel 3.2 Feuchte und Klima

#### Wichtige Aspekte für Gesundes Wohnen





# KLIMABEDINGTER FEUCHTESCHUTZ

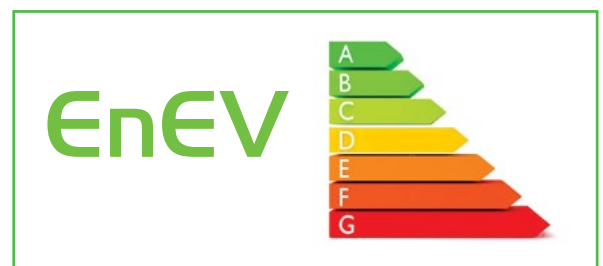
## Feuchtetechnische Unbedenklichkeit von Gebäuden (DIN 4108-3)

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) nimmt als gesetzliche Vorgabe in Deutschland Bezug auf die Normenreihe DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“. Deren Geltungsbereich erstreckt sich auf die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten, die ihrer Bestimmung nach auf normale Innentemperaturen (mehr als 19 °C) bzw. auf niedrige Innentemperaturen (mehr als 12 °C und weniger als 19 °C) beheizt werden. In den einzelnen Normteilen werden Mindestanforderungen für den winterlichen und den sommerlichen Wärmeschutz festgelegt, Berechnungsverfahren definiert und Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden und ähnliches gestellt.

Teil 3 der DIN 4108 befasst sich mit dem klimabedingten Feuchteschutz. Sie dient dem Nachweis der feuchtetechnischen Unbedenklichkeit von Baukonstruktionen. DIN 4108-3 legt Anforderungen fest, erläutert ein Rechenverfahren und gibt Hinweise für Planung und Ausführung. Ziel ist die richtige Auslegung des Wärmeschutzes. Dieser muss so gestaltet sein, dass unter planmäßigen Bedingungen eine bestimmte kritische Mindesttemperatur auf den raumseitigen Oberflächen nicht unterschritten wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Phase der Bauaustrocknung bereits abgeschlossen ist, denn die Beseitigung der Rohbaufeuchte kann vorübergehend zusätzliche Maßnahmen erfordern.

Prinzipiell gilt natürlich: Je besser die Wärmedämmung der Gebäudehülle, umso höher bleibt im Winter die raumseitige Oberflächentemperatur, desto geringer ist das Risiko von Schimmelbefall und ungesunden Wohnverhältnissen. Mit normativen Vorgaben werden immer nur die Mindestanforderungen definiert.

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung darf an keiner Stelle einer Bauteiloberfläche die relative Luftfeuchte von 100 % erreicht und zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung an keiner Stelle die relative Luftfeuchte von 80 % erreicht oder überschritten werden. Zur Vermeidung von Baustoffkorrosion kann es weitere Vorgaben für maximal zulässige Oberflächenfeuchten geben.





Gemäß DIN 4108-3 gelten folgende Luftfeuchten an raumseitige Bauteiloberflächen als kritisch:

- für Tauwasserbildung  
 $\Phi_{si,cr} = 1$  (entspricht 100 % rel. Luftfeuchte)
- für Schimmelpilzbildung  
 $\Phi_{si,cr} = 0,8$  (entspricht 80 % rel. Luftfeuchte)

Je nach Temperatur und relativer Feuchte der Raumluft lassen sich daraus die einzuhaltenen niedrigsten Oberflächentemperaturen ausrechnen. Für das sogenannte Normklima (20 °C, 50 % rel. Luftfeuchte) ergeben sich folgende Forderungen an die Mindest-Oberflächentemperaturen:

- für Tauwasserbildung  
 $T_{si,cr} = 9,3 \text{ °C}$
- für Schimmelpilzbildung  
 $T_{si,cr} = 12,6 \text{ °C}$

$\Phi$  Relative Luftfeuchte (Griech. Buchstabe Phi)  
si Raumseitige Oberfläche (surface internal)  
cr Kritischer Wert (critical)



## Schimmel – die nicht immer sichtbare Gefahr\*

Schimmel bezeichnet das Wachstum von Mikroorganismen auf Inventar, an oder in Wänden und anderen Bauteilen, hervorgerufen durch Schimmelpilze, aber auch durch Hefen und Bakterien. In der Natur spielen Schimmelpilze eine wichtige Rolle bei der Zersetzung von organischem Material. Ihre Sporen werden mit dem Wind verbreitet, weshalb sie immer in der Luft vorhanden sind, egal ob drinnen oder draußen. Die meisten Schimmelpilzarten haben Sporen mit einem Durchmesser von unter 10 µm. Weil sie so winzig sind, können sie eingeatmet werden.

Schimmelpilze gibt es in großer Artenvielfalt. Allen gemeinsam ist das Wachstum mit Zellfäden zu einem mit bloßem Auge oft kaum erkennbaren Fadengeflecht (Myzel). Erst wenn die Schimmelpilze zur Vermehrung und Verbreitung in großer Zahl farbige Sporen bilden, wird der Befall deutlich sichtbar. Durch erhöhte Sporenkonzentration in der Raumluft kann es zu diversen gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen.

Sind Menschen in Innenräumen Schimmel ausgesetzt, ist das Risiko vielfältiger Atemwegserkrankungen deutlich größer. Der Zusammenhang zwischen feuchten Innenräumen und/oder Schimmelbefall und der Entstehung von Asthma, insbesondere bei Kindern, gilt als gesichert. Dabei muss der Schimmelbefall nicht sichtbar sein, Schimmelpilzwachstum kann auch verdeckt vorstattengehen, hinter Möblierung, hinter Fußleisten oder in den Bauteilen.

Zum Auskeimen der Sporen und Wachstum des Pilzmyzels benötigen die Schimmelpilze drei Dinge: Nährstoffe, Temperatur und Feuchtigkeit. Je mehr von diesen drei Faktoren in einem günstigen Bereich liegen und je länger dieser Zustand andauert, umso wahrscheinlicher wird ein Schimmelpilzbefall. In Hausstaub oder Baumaterial sind nahezu immer Nährstoffe vorhanden, und ausreichend warm ist es in Gebäuden meistens auch. Deshalb spielt Feuchtigkeit die entscheidende Rolle.

Dabei muss ein Substrat nicht sichtbar nass sein, damit Schimmelpilze wachsen können. Es reicht, wenn über eine längere Zeit eine relative Luftfeuchte von 70 % bis 80 % an der Oberfläche oder im Material vorhanden ist. Bei 80 % relativer Feuchte sind die Voraussetzungen für das Wachstum von vielen innenraumrelevanten Schimmelpilzarten erreicht. Bei mehr als 80 % Oberflächenfeuchte können nahezu alle Schimmelpilzarten sowie Bakterien wachsen. Wird an einer lokalen Stelle 100 % Luftfeuchte erreicht, d.h. die Taupunkttemperatur unterschritten, kondensiert die Feuchtigkeit an der Oberfläche zu Wassertropfen. Dann sind die Wachstumsbedingungen nicht nur für Schimmelpilze, sondern auch für Bakterien ideal.

Die erhöhte Feuchte, die schließlich zu Schimmelbildung führt, kann durch Baumängel, Wasserschäden oder durch die Raumnutzer oder auch durch Kombinationen davon verursacht werden.

\*Leitfaden „Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“. Herausgeber Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Dessau November 2017

Weichen Lufttemperatur und Luftfeuchte in einem Raum vom Normklima ab, gelten zwar immer noch dieselben Werte für kritische relative Luftfeuchten an Bauteiloberflächen. Es ergeben sich jedoch andere minimal zulässige Oberflächentemperaturen.

Bei individuellen Raumklimabedingungen kann die kritische Mindesttemperatur einer raumseitigen Oberfläche  $T_{s,cr}$  entweder im Einzelfall berechnet oder näherungsweise mit Hilfe der Tabellen A.1 und A.2 aus Anhang A der DIN 4108-3 bestimmt werden.



### Teildruck für Wasserdampf in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte (Tabelle A.1)

| Temperatur   | Wasserdampfdruck Pa bei einer relativen Luftfeuchte |      |      |      |      |      |             |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|---|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 30 %  | 35 % | 40 % | 45 % | 50 % | 55 % | 60 %        | 65 % | 70 % | 75 % | 80 % | 85 % | 90 % | 95 % |
| 30 °C        | 1272  | 1484 | 1696 | 1908 | 2120 | 2332 | 2544        | 2756 | 2968 | 3180 | 3392 | 3604 | 3816 | 4028 |
| 29 °C        | 1201  | 1401 | 1601 | 1801 | 2002 | 2202 | 2402        | 2602 | 2802 | 3002 | 3203 | 3403 | 3603 | 3803 |
| 28 °C        | 1133  | 1322 | 1511 | 1700 | 1889 | 2078 | 2267        | 2455 | 2644 | 2833 | 3022 | 3211 | 3400 | 3589 |
| 27 °C        | 1069  | 1247 | 1425 | 1603 | 1782 | 1960 | 2138        | 2316 | 2494 | 2672 | 2851 | 3029 | 3207 | 3385 |
| 26 °C        | 1008  | 1176 | 1344 | 1512 | 1680 | 1848 | 2016        | 2184 | 2352 | 2520 | 2688 | 2856 | 3024 | 3191 |
| 25 °C        | 950   | 1108 | 1266 | 1425 | 1583 | 1741 | 1900        | 2058 | 2216 | 2374 | 2533 | 2691 | 2849 | 3008 |
| 24 °C        | 895   | 1044 | 1193 | 1342 | 1491 | 1640 | 1789        | 1938 | 2088 | 2237 | 2386 | 2535 | 2684 | 2833 |
| 23 °C        | 842   | 983  | 1123 | 1264 | 1404 | 1544 | 1695        | 1825 | 1965 | 2106 | 2246 | 2387 | 2527 | 2667 |
| <b>22 °C</b> | 793   | 925  | 1057 | 1199 | 1321 | 1453 | <b>1585</b> | 1718 | 1850 | 1982 | 2114 | 2246 | 2378 | 2510 |
| 21 °C        | 746   | 870  | 994  | 1119 | 1243 | 1367 | 1491        | 1616 | 1740 | 1864 | 1988 | 2113 | 2237 | 2361 |
| 20 °C        | 701   | 818  | 935  | 1052 | 1168 | 1285 | 1402        | 1519 | 1636 | 1753 | 1870 | 1986 | 2103 | 2220 |
| 19 °C        | 659   | 769  | 878  | 988  | 1098 | 1208 | 1318        | 1427 | 1537 | 1647 | 1757 | 1867 | 1977 | 2086 |
| 18 °C        | 619   | 722  | 825  | 928  | 1031 | 1135 | 1238        | 1341 | 1444 | 1547 | 1650 | 1753 | 1857 | 1960 |
| 17 °C        | 581   | 678  | 775  | 871  | 968  | 1065 | 1162        | 1259 | 1356 | 1452 | 1549 | 1646 | 1743 | 1840 |
| 16 °C        | 545   | 636  | 727  | 818  | 909  | 1000 | 1090        | 1181 | 1272 | 1363 | 1454 | 1545 | 1636 | 1726 |
| 15 °C        | 511   | 597  | 682  | 767  | 852  | 937  | 1023        | 1108 | 1193 | 1278 | 1364 | 1449 | 1534 | 1619 |
| 14 °C        | 479   | 559  | 639  | 719  | 799  | 879  | 959         | 1039 | 1118 | 1198 | 1278 | 1358 | 1438 | 1518 |
| 13 °C        | 449   | 524  | 599  | 674  | 748  | 823  | 898         | 973  | 1048 | 1123 | 1198 | 1272 | 1347 | 1422 |
| 12 °C        | 421   | 491  | 561  | 631  | 701  | 771  | 841         | 911  | 981  | 1051 | 1121 | 1192 | 1262 | 1332 |
| 11 °C        | 394   | 459  | 525  | 590  | 656  | 722  | 787         | 853  | 918  | 984  | 1050 | 1115 | 1181 | 1246 |
| 10 °C        | 368   | 430  | 491  | 552  | 614  | 675  | 736         | 798  | 859  | 920  | 982  | 1043 | 1105 | 1166 |

Aus Tabelle A.1 wird in Abhängigkeit von der relativen Feuchte und Temperatur der Raumluft der Wasserdampfdruck in Pascal abgelesen. Beispiel: Bei **60%** rel. Luftfeuchte und **22 °C** Raumlufttemperatur herrscht ein Wasserdampfdruck von **1585 Pa** (ca. 1600 Pa).



**Mindestwerte der raumseitigen Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserdampf der Raumluft und vom kritischen Höchstwert der relativen Luftfeuchte an der Oberfläche (Tabelle A.2, Anhang A, DIN 4108-3)**

| Dampfdruck     | Mindestwert der Oberflächentemperatur °C für eine kritische relative Luftfeuchte an der Oberfläche % RF |      |      |             |      |             |
|----------------|---|------|------|-------------|------|-------------|
|                | 50 %  | 60 % | 70 % | 80 %        | 90 % | 100 %       |
| 3000 Pa        | 36,2  | 32,9 | 30,2 | 27,9        | 25,9 | 24,1        |
| 2900 Pa        | 35,6  | 32,3 | 29,6 | 27,3        | 25,3 | 23,5        |
| 2800 Pa        | 34,9  | 31,7 | 29,0 | 26,7        | 24,7 | 23,0        |
| 2700 Pa        | 34,3  | 31,0 | 28,4 | 26,1        | 24,1 | 22,4        |
| 2600 Pa        | 33,6  | 30,4 | 27,7 | 25,4        | 23,5 | 21,7        |
| 2500 Pa        | 32,9  | 29,7 | 27,0 | 24,8        | 22,8 | 21,1        |
| 2400 Pa        | 32,2  | 29,0 | 26,3 | 24,1        | 22,2 | 20,4        |
| 2300 Pa        | 31,4  | 28,3 | 25,6 | 23,4        | 21,5 | 19,7        |
| 2200 Pa        | 30,6  | 27,5 | 24,9 | 22,7        | 20,7 | 19,0        |
| 2100 Pa        | 29,8  | 26,7 | 24,1 | 21,9        | 20,0 | 18,3        |
| 2000 Pa        | 29,0  | 25,9 | 23,3 | 21,1        | 19,2 | 17,5        |
| 1900 Pa        | 28,1  | 25,0 | 22,4 | 20,3        | 18,4 | 16,7        |
| 1800 Pa        | 27,2  | 24,1 | 21,6 | 19,4        | 17,5 | 15,9        |
| 1700 Pa        | 26,2  | 23,1 | 20,6 | 18,5        | 16,6 | 15,0        |
| <b>1600 Pa</b> | 25,2  | 22,2 | 19,6 | <b>17,5</b> | 15,7 | <b>14,0</b> |
| 1500 Pa        | 24,1  | 21,1 | 18,6 | 16,5        | 14,7 | 13,0        |
| 1400 Pa        | 23,0  | 20,0 | 17,5 | 15,4        | 13,6 | 12,0        |
| 1300 Pa        | 21,7  | 18,8 | 16,3 | 14,3        | 12,5 | 10,9        |
| 1200 Pa        | 20,4  | 17,5 | 15,1 | 13,0        | 11,2 | 9,7         |
| 1100 Pa        | 19,0  | 16,1 | 13,7 | 11,7        | 9,9  | 8,4         |
| 1000 Pa        | 17,5  | 14,7 | 12,3 | 10,3        | 8,5  | 7,0         |
| 900 Pa         | 15,9  | 13,0 | 10,7 | 8,7         | 7,0  | 5,5         |
| 800 Pa         | 14,0  | 11,2 | 8,9  | 7,0         | 5,3  | 3,8         |
| 700 Pa         | 12,0  | 9,2  | 7,0  | 5,1         | 3,4  | 1,9         |

Schimmelgrenze    Tauwassergrenze



Mit dem aus Tabelle A.1 abgelesenen Wert kann dann aus Tabelle A.2 die mindestens erforderliche **Oberflächen**-Temperatur entnommen werden – in Abhängigkeit davon, welcher kritische Höchstwert  $\Phi_{si,cr}$  der relativen **Oberflächen**-Luftfeuchte gefordert wird. Beispiel: Bei einem Wasserdampfdruck von ca. **1600 Pa** (für 60 % rel. LF und 22 °C)

ist die kritische Oberflächentemperatur für Schimmelpilzbildung bereits bei einer Abkühlung auf nur **17,5 °C** erreicht, Kondensat tritt ab **14 °C** auf.

Höhere Raumlufttemperaturen und/oder höhere relative Raumluftfeuchten führen zu einem höheren Wasserdampf-Teildruck. Dann werden die kritischen Oberflächenfeuchten von 80 % (Schimmelpilzbildung) bzw. 100 % (Tauwasserbildung) schon bei höheren Oberflächentemperaturen erreicht. (siehe auch SANCO Glasbuch, Taupunktogramm, Seite 96).



## Raumklima und Außenklima ergeben zusammen die Klimarandbedingung

Aus den Vorgaben für die einzuhaltenden Mindesttemperaturen der raumseitigen Oberflächen und den geforderten Klimarandbedingungen ergibt sich der erforderliche Mindestwärmeschutz.

Die Fähigkeit eines Bauteils zur Wärmedämmung wird durch den U-Wert beschrieben. Für die Beurteilung des Feuchteschutzes reicht der U-Wert jedoch nicht aus, weil er als gemittelter Wert über die gesamte Bauteilfläche gilt, aber nichts über lokale Störstellen aussagt. Deshalb wird bei thermisch nicht homogenen Bauteilen die Aussage benötigt, welche tiefste Einzeltemperatur raumseitig auf einem Bauteil erreicht wird. Diese Angabe kann mit dem  $f_{Rsi}$ -Faktor des Bauteils (Temperaturfaktor) berechnet werden, auch bei Fenster und Fassaden.

Mit dem  $f_{Rsi}$ -Faktor lässt sich die Stelle eines Bauteils identifizieren, an der unter bestimmten Klimarandbedingungen die tiefste raumseitige Temperatur und damit am ehesten Tauwasser zu erwarten ist. Ist der  $f_{Rsi}$ -Faktor eines Bauteils einmal ermittelt, kann die niedrigste Oberflächentemperatur für jede andere Klimarandbedingung berechnet werden. (Für eine ausführliche Erläuterung des f-Faktors siehe SANCO Glasbuch Kap. 3.2.3).

Die Norm DIN 4108-3 fordert für die Bemessung des erforderlichen Wärmeschutzes sowohl für ebene, thermisch homogene Bauteile als auch für Bauteile mit geometrisch bedingten oder konstruktionsbedingten Wärmebrücken die Einhaltung von Mindest-f-Faktoren:

### Geforderte Mindestwerte des f-Faktors nach DIN 4108-3:

- zur Vermeidung von Tauwasserbildung  
 $f_{Rsi,min} = 0,57$
- zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung  
 $f_{Rsi,min} = 0,7$

Diese f-Faktoren ergeben sich aus den Normklima-Vorgaben für kritische Oberflächentemperaturen (Tauwasser 9,3 °C, Schimmel 12,6°C) und den Klimarandbedingungen aus Teil 2 der DIN 4108 (Raumseite 20 °C, Außentemperatur -5°C). Gegebenenfalls ist die Konstruktion im Bereich von Wärmebrücken so zu verbessern, dass der Bemessungstemperaturfaktor eingehalten wird.

## Mit modernen Fensterkonstruktionen mit Dreifach-Isolierglas und warmer Kante ist es in der Regel möglich, die geforderten Mindest-f-Faktoren einzuhalten.\*

Weitere Vorgaben der DIN 4108-3 betreffen die Tauwasserbildung und Verdunstung im Innern von Bauteilen und den Schlagregenschutz von Wänden.

Bei der Bemessung nach der Norm bleibt das Nutzerverhalten unberücksichtigt. Dennoch herrscht nicht in jedem Wohnraum zu jeder Zeit ein Normklima. Das individuelle Raumklima wird durch die Belüftung und die Beheizung des Raumes bestimmt. Auch sonstiges Nutzerverhalten spielt eine Rolle, z.B. wie viele Personen sich in den Räumen aufhalten und ob durch viele Zimmerpflanzen, Kochen, Wäschetrocknen in Wohnräumen usw. übermäßig viel Feuchtigkeit freigesetzt wird. Für die Schimmelgefahr sind außerdem die Anordnung der Einrichtungsgegenstände sowie das gesamte Thema Lüften relevant (siehe Hinweise im nachfolgenden Abschnitt). Eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 60% ist für das menschliche Atmungssystem sinnvoll. Eine zu hohe Raumluftfeuchtigkeit ist aber sowohl für die Bewohner wie auch für die Bausubstanz schädlich.

Ist die Raumluft feuchter als nach Normklimavorgabe, so wie es in luftdichten, rundherum zwar gut wärmedämmten, aber nicht ausreichend belüfteten Gebäuden schnell der Fall sein kann, bildet sich Schimmel bzw. Tauwasser auch schon bei weniger tiefen Außentemperaturen bzw. höheren raumseitigen Oberflächentemperaturen. Noch gefährlicher ist der Fall, wenn bei Sanierungen lediglich die Fenster ausgetauscht werden, ohne die restliche Gebäudehülle thermisch zu verbessern. Dann sind Feuchte- und Schimmelschäden vorprogrammiert. Durch die dicht schließenden Fenster reichert sich Feuchte im Innenraum an. Wird dann nicht ständig gelüftet, kommt es durch die hohe Raumluftfeuchte an den nach wie vor kalten Außenwänden sehr schnell zum Auftreten von Schimmel und Tauwasser.

\*Anmerkung: Gemäß Absatz 5.1.3 der DIN 4108-3 gilt bei Fenstern und Fenstertüren nach DIN EN ISO 13788 ein kurzfristiges Auftreten von Oberflächtauwasser als unkritisch. Was unter kurzfristig zu verstehen ist, wird jedoch nicht näher definiert. Gemäß DIN EN ISO 10077-2 zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern wird im Abschnitt 6.3.4 ‚Allgemeine Randbedingungen‘ aber zumindest eine Beurteilung der Oberflächenkondensation auf der Grundlage der niedrigsten Temperatur der raumseitigen Oberflächen gefordert.



# LUFTDICHT BAUEN – RICHTIG LÜFTEN



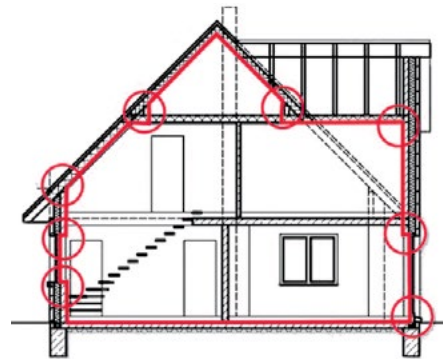
Für luftdichtes Bauen ist sicherlich der Hauptgrund, dass dadurch unkontrollierte Lüftungswärmeverluste über Leckagen vermieden werden. DIN 4108-3 weist in Absatz 7 auf einen weiteren wichtigen Umstand hin: Wände und Dächer müssen luftdicht sein, um eine Durchströmung und Mitführung von Raumluftfeuchte zu unterbinden, denn diese kann ansonsten zu Schimmelpilz- bzw. Tauwasserbildung in der Konstruktion führen. Das gilt auch für Anschlüsse und Durchdringungen sowie bei Installationen von Steckdosen und ähnlichem. Luftdichtheit hat außerdem Vorteile für den Schallschutz.

## Lüftungskonzept (DIN 1946-6)

Lüften ist die wirksamste Maßnahme, um Feuchtigkeit aus Wohnungen zu entfernen. Experten empfehlen, genutzte Wohnräume mindestens dreimal, besser vier- bis fünfmal pro Tag zu lüften. Viele Nutzer sind jedoch mit der Lüftungsaufgabe überfordert oder wegen berufsbedingter Abwesenheit gar nicht in der Lage, diese ausreichend wahrzunehmen. Mit der zunehmenden Verbreitung von luftdichten Gebäudehüllen hatte sich die Situation deshalb trotz vieler Anleitungen zum richtigen Lüften eher verschärft. Dieser Tatsache wird seit 2009 mit der Norm 1946-6 Rechnung getragen. Die Norm hat zum Ziel, den Bautenschutz durch eine NUTZERUNABHÄNGIGE Lüftung zum Feuchteschutz sicherzustellen. Damit wird auch die Gesundheitsgefährdung durch Schimmelwachstum minimiert.

Die Norm DIN 1946-6 zum Lüften von Wohnungen definiert die Anforderungen an Planung, Ausführung und Inbetriebnahme sowie Betrieb und Instandhaltung der notwendigen Lüftungskomponenten und -geräte. Dabei werden bauphysikalische, lüftungstechnische, hygienische und energetische Gesichtspunkte berücksichtigt.

Die Norm gilt für freie und für ventilatorgestützte Lüftung von Wohnungen, von gleichartig genutzten Raumgruppen (Nutzungseinheiten) und von Kellerräumen in Wohngebäuden und Gebäuden mit Nutzungseinheiten. Lüftungsformen mit aktivem Kühlen sowie aktives Be- und Entfeuchten werden durch die Norm nicht behandelt. Für die Lüftung von fensterlosen Räumen gelten zusätzliche Normen und Bauaufsichtliche Richtlinien.



Für Neubau oder für lüftungstechnisch relevante Änderungen an bestehenden Gebäuden ist ein Lüftungskonzept zu erstellen. Die Verantwortung dafür liegt beim Planer, also beim Architekten, beim ausführenden Unternehmer oder Handwerker. Lüftungstechnisch relevant sind Instandsetzungen/Modernisierungen von bestehenden Gebäuden, wenn mehr als ein Drittel der vorhandenen Fenster der Nutzungseinheit ausgetauscht oder mehr als ein Drittel der Dachfläche abgedichtet wird. Der gesamte Außenluftvolumenstrom wird in Lüftungsstufen unterteilt:

- **Lüftung zum Feuchteschutz (FL):** notwendige Lüftung zur Sicherstellung des Bautenschutzes unter üblichen Nutzungsbedingungen, bei teilweise reduzierten Feuchtelasten (diese Stufe muss ständig, 24h/365 Tage pro Jahr bei geschlossenen Fenstern nutzerunabhängig sichergestellt werden).
- **Reduzierte Lüftung (RL):** stellt bei teilweise reduzierten Feuchte- und Stofflasten neben dem Bautenschutz auch die hygienischen Anforderungen sicher.
- **Nennlüftung (NL):** stellt bei Anwesenheit der Nutzer und normaler Nutzung der Wohnung die hygienischen Anforderungen und den Bautenschutz sicher.
- **Intensivlüftung (IL):** Lüftung mit erhöhtem Luftvolumenstrom zum Abbau von Lastspitzen



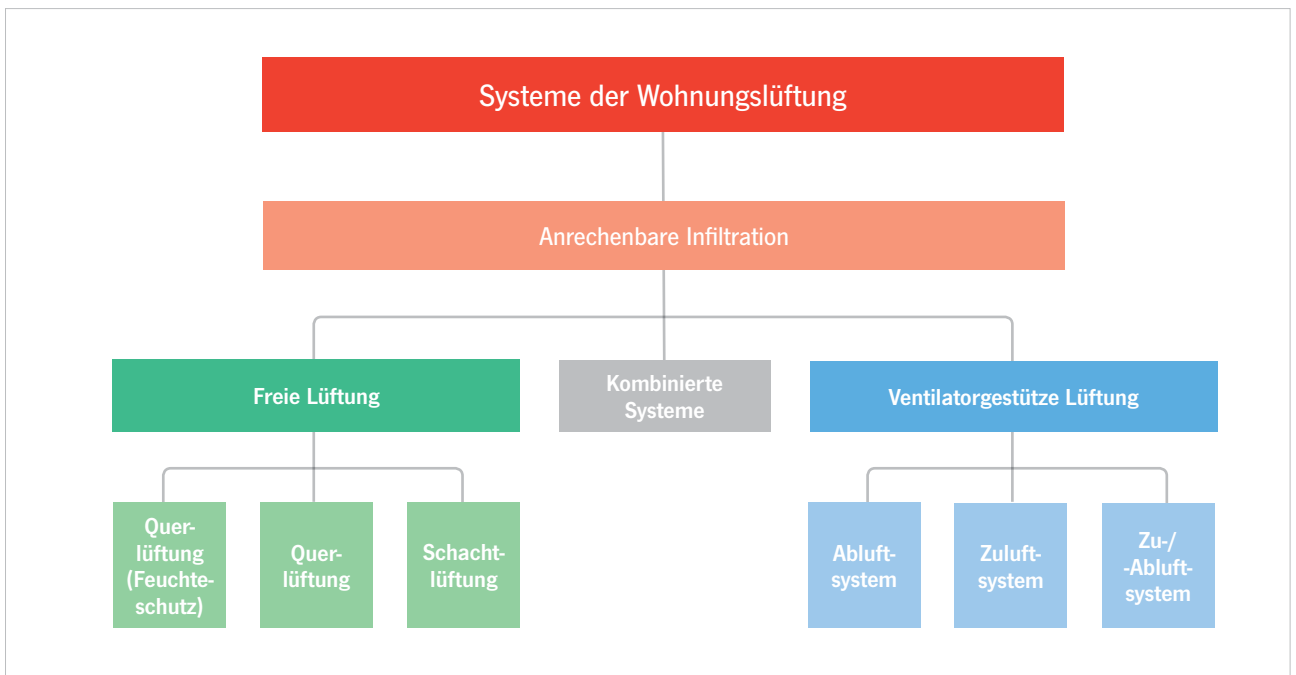
**Mit dem Lüftungskonzept wird zunächst festgestellt, ob lüftungstechnische Maßnahmen überhaupt notwendig sind.**

Das ist dann der Fall, wenn der Luftvolumenstrom durch Infiltration für die Stufe, 'Lüftung zum Feuchteschutz' nicht ausreicht. Dann muss die Situation der gesamten Nutzungseinheit betrachtet und unter Beachtung bauphysikalischer und hygienischer Erfordernisse ein Lüftungssystem festgelegt werden.

Der Begriff Lüftungstechnische Maßnahme bezeichnet eine Einrichtung zur freien Lüftung oder zur ventilatorgestützten Lüftung oder eine Kombination von beidem, zur Sicherstellung eines nutzerunabhängigen Luftaustausches in der geplanten Lüftungsstufe.

Einrichtungen zur Freien Lüftung sind: Öffenbare Fenster, Außenwand- bzw. Außenbauteil-Luftdurchlässe, Lüftungsschächte. Die Stufe Lüftung zum Feuchteschutz muss in jedem Fall nutzerunabhängig funktionieren. Für die weiteren Lüftungsstufen ist bei Freier Lüftung jedoch meist eine Nutzerunterstützung durch manuelles Fensteröffnen erforderlich.

Ventilatorgestützte Lüftung wird mit Lüftungsanlagen oder -geräten mittels Ventilatoren betrieben, um planmäßig nutzerunabhängig mindestens die Nennlüftung für den gelüfteten Bereich zu erzielen. Nutzerunterstützung durch Fensteröffnen ist nur für Intensivlüftung erforderlich.



Der notwendige Gesamt-Außenluftvolumenstrom  $q_{v,ges}$  wird gemäß den Vorgaben der Norm für die einzelnen Lüftungsstufen als Mindestwert bestimmt. Der für den Feuchteschutz notwendige Gesamt-Außenluftvolumenstrom  $q_{v,ges,FL}$  ist abhängig vom Wärmeschutzniveau des Gebäudes sowie davon, ob die Nutzungseinheit mit einer hohen oder einer geringen Personenzahl belegt ist.

Der wirksame Außenluftvolumenstrom durch Infiltration  $q_{v,Inf,wirk}$ , der durch die Gebäudehülle eindringt, wird aus der Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa Differenzdruck (n50-Wert), der Hüllfläche (Innenseite), dem Innenvolumen des Gebäudes und einem Koeffizienten berechnet, der berücksichtigt ob die Nutzungseinheit ein- oder mehrgeschossig ist und sich in einem windschwachen oder windstarken Gebiet befindet. Der n50-Wert ist entweder ein vorgegebener Tabellenwert oder er wird durch eine Luftdichtheitsmessung ermittelt.

Die Auswahl eines Lüftungssystems wird allgemein durch die Anforderungen an Brandschutz, Schallschutz, thermische Behaglichkeit, Raumluftqualität und Luftvolumenstrom bestimmt. Hinzu können projektbezogene erhöhte Anforderungen an Energieeffizienz, erhöhten Schallschutz, Zuluftqualität oder Luftvolumenströme für besondere Räume kommen.

Lüftungskonzepte lassen sich insbesondere im Bereich der Altbauseanierung gut mit dezentralen, ins Fenster integrierten Lüftungssystemen umsetzen.



## Empfehlungen für die Nutzerunterstützung (Lüftung durch Fensteröffnen)

### Fenster nie auf Kippstellung

Feuchte warme Raumluft strömt bei Kippstellung nur sehr langsam nach draußen. Bis die Raumluft im Winter auf diesem Weg erneuert ist, sind die Wohnräume ausgekühlt. Durch die lange Kippstellung kühlen aber vor allem der Fenstersturz und die seitlichen Leibungen aus. Stammt die warme Raumluft aus Räumen mit hohem Feuchteanteil wie z.B. Küchen oder Badezimmern, schlägt sich an diesen kalten Flächen Tauwasser nieder, und es kann zu Schimmelbildung kommen. Auch auf der Außenseite sind solche Fenster schon von weitem am darüber liegenden Algenbewuchs der Fassade erkennbar.

### Luftwechselraten in Abhängigkeit von der Fensterstellung

| Fensterstellung   | Luftwechsel (1/h) |
|---|-------------------|
| Fenster und Türen geschlossen                                   | 0 - 0,5           |
| Fenster gekippt, Rolladen geschlossen                           | 0,3 - 1,5         |
| Fenster gekippt, kein Rolladen                                  | 0,8 - 4           |
| Fenster halb offen  | 5 - 10            |
| Fenster ganz offen (Stoßlüftung)                                | 9 - 15            |
| Fenster und Fenstertüren gegenüberliegend ganz offen (Durchzug) | etwa 40           |

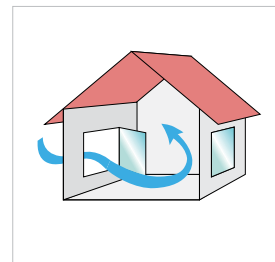
1/h bedeutet einen vollständigen Austausch der Raumluft innerhalb von einer Stunde.

### Stoßlüften statt Dauerlüftung

Beim Lüften kommt es nicht auf eine möglichst lange Dauer an, sondern einfach auf den kompletten Austausch der Raumluft. Das geht am schnellsten durch Stoßlüftung, wenn Fensterflügel ganz geöffnet werden. Am besten funktioniert es bei Querlüftung durch Öffnung an gegenüberliegenden Wohnungs- oder Gebäudeseiten. Bei Durchzug genügen für den kompletten Luftwechsel schon wenige Minuten. Die in den Wänden und der Möblierung gespeicherte Wärme heizt die frische Luft schnell wieder auf.

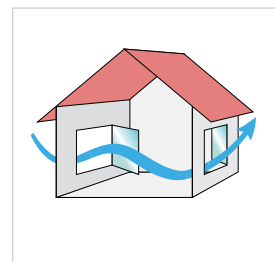
### Stoßlüftung

Die effektive Art die Raumluft auszutauschen. Der Fensterflügel wird dabei komplett geöffnet und die Luft innerhalb von ca. 10 Minuten ausgetauscht. Dadurch, dass der Luftaustausch sehr schnell stattfindet, tritt keine Auskühlung der Bauteile auf.



### Querlüftung

Zehn Minuten Querlüftung durch zwei gegenüberliegende, offene Fenster ist die beste Art des Lüftens, die gesamte Raumluft wird ausgetauscht.





#### **Nicht an heißen, schwülen Tagen lüften (das gilt vor allem für Kellerräume)**

Im Idealfall wird gelüftet, wenn es draußen kühler ist als drinnen. Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Strömt sie z.B. in einen Kellerraum mit kühlen Wänden, wird sie daran abgekühlt, und die Feuchtigkeit schlägt sich nieder. Dann wird der muffige Keller erst Recht schimmeln. Kellerräume bevorzugt im Winter lüften.

#### **Kühlere Räume wie z. B. Schlafzimmer keinesfalls durch offene Türen temperieren**

Kühlere Räume sollen keinesfalls über den Raumverbund beheizt werden. Die Luft aus den wärmeren Räumen bringt Feuchte mit, die sich dann z.B. im kühleren Schlafzimmer hinter Schränken oder an Außenecken niederschlägt. Um die in der Nacht durch die schlafenden Personen entstandene Feuchte abzuführen, sollten auch Schlafzimmer tagsüber durch Stoßlüften entfeuchtet und im Winter leicht beheizt werden.

#### **Feuchtelast gezielt und sofort dort abführen, wo sie entsteht**

Die größten Feuchtemengen werden in Bad und Küche freigesetzt. Sie sollten möglichst umgehend direkt ins Freie weggeführt werden und nicht durch die komplette Wohnung hindurchströmen. Am besten geht dies durch komplettes Öffnen des Fensters bei geschlossener Türe. Restfeuchte im Badezimmer mit einem Wischer abziehen. In Küchen möglichst Dunstabzugshauben mit Abluftsystem verwenden, damit die feuchte Luft beim Kochen nach draußen abgeführt wird. Umluft-Dunstabzüge reduzieren nur die Gerüche, nicht aber die Feuchtelast. Freies Trocknen von Wäsche in Wohnräumen sollte vermieden werden.

#### **Auch wenig genutzte Räume wie Gästezimmer oder ähnliches regelmäßig mitlüften**

Damit wird vermieden, dass sich dort Feuchte aus dem Wohnbereich anreichert.

#### **Neubauten sorgfältig trockenlüften**

Um die Baufeuchte vollständig zu entfernen, muss in den ersten beiden Heizperioden verstärkt geheizt und regelmäßig gelüftet werden. Dabei kommt es nicht auf die Dauer des Lüftens an, sondern auf die Häufigkeit.



#### **Weitere Empfehlungen für das Nutzerverhalten**

##### **Heizung tagsüber bei Abwesenheit nicht drosseln!**

Feuchtigkeit wird raumseitig auch von Oberflächen aufgenommen und zwischengespeichert. Damit sie von dort abgeführt werden kann, müssen die Innenoberflächen der Außenhülle tagsüber warm genug bleiben.

##### **Luftzirkulation an Außenwänden und Ecken ermöglichen**

Große Möbel wie Schränke, Schrankwände, Sofas, Betten, nicht an der Außenwand, vor allem nicht in Außenecken aufstellen. Das ist umso wichtiger, je schlechter die Gebäudehülle wärmedämmend ist. Falls dies jedoch nicht vermeidbar ist, sollten die Möbel zumindest so weit von der Wand abgerückt sein, dass eine Luftzirkulation möglich ist.



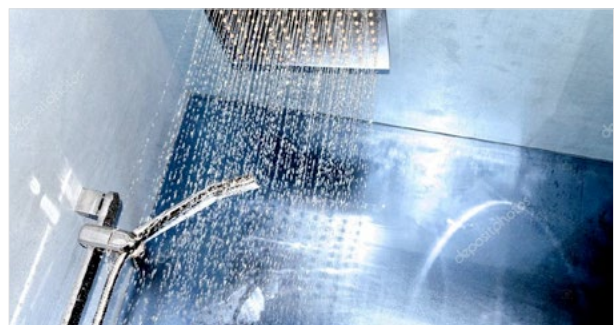
**Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder durch Einrichtungsgegenstände bei Raumtemperatur von 20 °C\***

| Feuchtequelle   | Feuchteabgabe pro Stunde oder Tag bzw. pro m <sup>2</sup> und Stunde  |
|---|---|
| Mensch, leichte Aktivität   | 30 - 40 g/h   |
| Trocknende Wäsche (4,5 kg Trommel)  | geschleudert: 50 - 200 g/h<br>tropfnass: 100 - 500 g/h  |
| Kochen/Duschen pro Person   | je 270 g/d  |
| Zimmerpflanzen  | 1 - 5 g/h**   |
| Wasseroberfläche  | Offenes Aquarium:<br>ca. 40 g/m <sup>2</sup> /h***<br>Abgedecktes Aquarium:<br>ca. 2 g/m <sup>2</sup> /h*** |
| <p>* Angabe der Wassermenge in Gramm pro Stunde (g/h) bzw. Gramm pro Tag (g/d).</p> <p>** Kann nach Anzahl und Art der Zimmerpflanzen auch deutlich darüber liegen</p> <p>*** Gramm pro Quadratmeter und Stunde, je nach Umgebungsbedingungen</p> |   |

In einen durchschnittlichen 3-Personen-Haushalt werden durch die Aktivitäten der Bewohner pro Tag etwa 6 bis 12 Litern Feuchtigkeit in die Raumluft abgegeben.



Neubauten sorgfältig trockenlüften



Feuchtelast gezielt und sofort dort abführen, wo sie entsteht

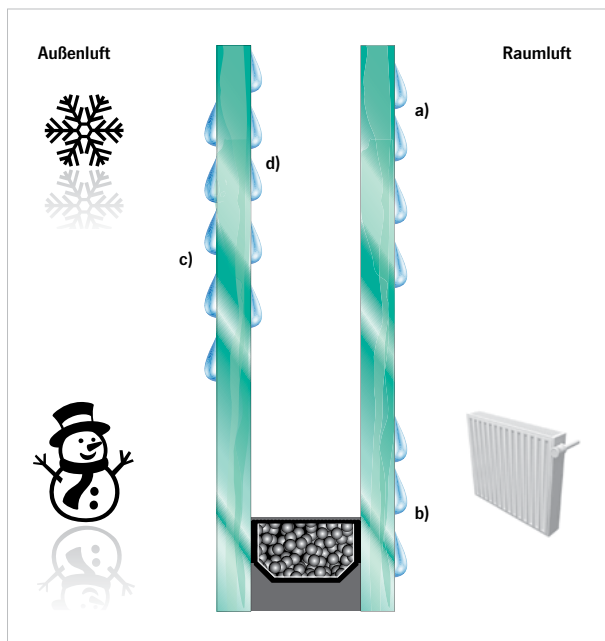


In Küchen möglichst Dunstabzugshauben mit Abluftsystem verwenden



# KONDENSATION BEI ISOLIERGLAS

Glasoberflächen von hochwärmedämmenden Mehrscheiben-Isoliergläsern sind nicht mehr zwangsläufig die kältesten raumseitigen Stellen der thermischen Gebäudehülle. Wird trotzdem ein Tauwasserniederschlag auf den Glasscheiben bemängelt, muss zuerst geklärt werden, an welcher Stelle er auftritt.



## Kondensat kann auftreten

- a) auf der raumseitigen Oberfläche der Innenscheibe
- b) an der Glaskante der Innenscheibe
- c) auf der Außenoberfläche der Außenscheibe
- d) im Scheibenzwischenraum

## Woher kommt Kondensat?

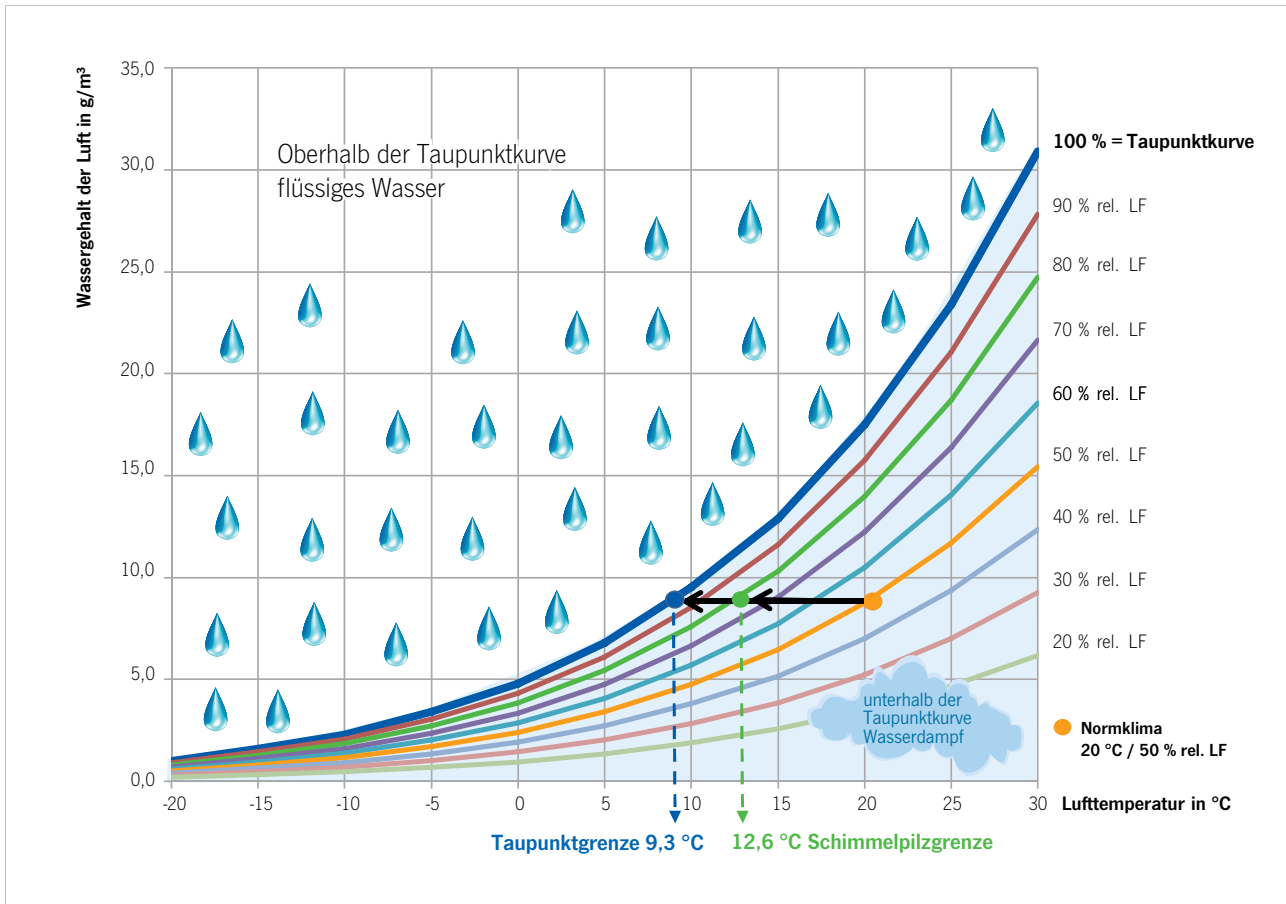
Brillenträger, die aus der Kälte in einen beheizten Raum kommen, kennen das Problem des Beschlagens nur zu gut: Wird eine kalte Oberfläche in warme, mit Feuchtigkeit beladene Luft gebracht, bildet sich darauf Kondensat – ob Brille oder Bierflasche aus dem Kühlschrank, die Physik funktioniert immer.

Luft nimmt Feuchtigkeit auf. Je wärmer die Luft, umso mehr Wasser kann sie in Form von Wasserdampf binden und - umgekehrt - je kühler, umso kleiner ist die aufnehmbare Wassermenge. Ausgehend vom maximalen Fassungsvermögen (100 %) bei einer bestimmten Temperatur wird der tatsächliche Feuchtegehalt der Luft als relative Luftfeuchtigkeit in Prozent angegeben (siehe Taupunkt-diagramm).

Wird warme Luft an einer kalten Fläche abgekühlt, steigt an dieser Stelle die relative Luftfeuchte an. Mit 100 % ist das Maximum erreicht: Das in der Luft gelöste Wasser beginnt als Tautropfen zu kondensieren. Die Temperatur, bei der das passiert, wird Taupunkttemperatur genannt. Diese theoretische Temperaturangabe hängt vom ursprünglichen Feuchtegehalt und der Ausgangstemperatur der Luft ab.



## Taupunkt diagramm



Aus dem Diagramm kann abgelesen werden, wie viel Gramm Wasser bei einer bestimmten relativen Feuchte und Temperatur in einem Kubikmeter Luft enthalten sind.

Beispiel: 1 m<sup>3</sup> Luft mit 20 °C und 40 % rel. Feuchte enthält 7 g Wasserdampf. Bei 60 % rel. Feuchte sind es schon 10,5 g.

Bei Sättigung bzw. 100 % kann ein Kubikmeter Luft der Temperatur 20 °C maximal 17,5 g Wasserdampf aufnehmen. Die gleiche Luftmenge kann bei 0 °C jedoch nur noch 4,8 g Wasser in sich halten. Wird ein mit Wasserdampf gesättigter Kubikmeter Luft von 20 °C auf 0 °C abgekühlt, kondensiert deshalb die Differenz von 12,7 g, es bilden sich Tautropfen.

Aus den Kurven kann auch entnommen werden, wie kalt eine Grenzfläche sein darf, bis die Luft mit einer bestimmten Feuchte und Temperatur darauf zu kondensieren beginnt. Noch einfacher lässt sich diese Taupunkttemperatur aus der nachfolgenden Tabelle ablesen. Bei 20 °C warmer Luft mit 40 % rel. Feuchte ist der Taupunkt bei 6 °C erreicht. Bei 60 % rel. Feuchte beginnt diese Luft schon bei 12 °C zu kondensieren. Das bedeutet auch: Bei sehr feuchter Luft liegt die Taupunkttemperatur nahe bei der Lufttemperatur (niedriger Taupunkttafstand). Umgekehrt muss es bei trockener Luft schon sehr kalt werden, bis Tauwasser ausfällt (hoher Taupunkttafstand).

Bei Normklimabedingungen von 20 °C Raumlufttemperatur und 50 % relative Raumluftfeuchte beträgt die Taupunkttemperatur 9,3 °C. Sind die Oberflächen wärmer, ist kein Kondensat zu erwarten. Schimmelbildung beginnt jedoch nicht erst bei Tauwasserausfall, sondern bereits bei ca. 80 % relativer Luftfeuchte. (Siehe vorstehender Abschnitt, „Klimabedingter Feuchteschutz in Gebäuden“).



### Taupunkttemperatur in Abhängigkeit von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte

| Lufttemperatur | Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Luftfeuchte von |      |      |      |            |      |      |      |      |      |      |      |             |      |  |
|----------------|--|------|------|------|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|--|
|                | 30 %   | 35 % | 40 % | 45 % | 50 %       | 55 % | 60 % | 65 % | 70 % | 75 % | 80 % | 85 % | 90 %        | 95 % |  |
| 30 °C          | 10,5   | 12,9 | 14,9 | 16,8 | 18,4       | 20,0 | 21,4 | 22,7 | 23,9 | 25,1 | 26,2 | 27,2 | 28,2        | 29,1 |  |
| 29 °C          | 9,7  | 12,0 | 14,0 | 15,9 | 17,5       | 19,0 | 20,4 | 21,7 | 23,0 | 24,1 | 25,2 | 26,2 | 27,2        | 28,1 |  |
| 28 °C          | 8,8  | 11,1 | 13,1 | 15,0 | 16,6       | 18,1 | 19,5 | 20,8 | 22,0 | 23,2 | 24,2 | 25,2 | 26,2        | 27,1 |  |
| 27 °C          | 8,0  | 10,2 | 12,2 | 14,1 | 15,7       | 17,2 | 18,6 | 19,9 | 21,1 | 22,2 | 23,3 | 24,3 | 25,2        | 26,1 |  |
| 26 °C          | 7,1  | 9,4  | 11,4 | 13,2 | 14,8       | 16,3 | 17,6 | 18,9 | 20,1 | 21,2 | 22,3 | 23,3 | 24,2        | 25,1 |  |
| <b>25 °C</b>   | 6,2  | 8,5  | 10,5 | 12,2 | 13,9       | 15,3 | 16,7 | 18,0 | 19,1 | 20,3 | 21,3 | 22,3 | <b>23,2</b> | 24,1 |  |
| 24 °C          | 5,4  | 7,6  | 9,6  | 11,3 | 12,9       | 14,4 | 15,8 | 17,0 | 18,2 | 19,3 | 20,3 | 21,3 | 22,3        | 23,1 |  |
| 23 °C          | 4,5  | 6,7  | 8,7  | 10,4 | 12,0       | 13,5 | 14,8 | 16,1 | 17,2 | 18,3 | 19,4 | 20,3 | 21,3        | 22,2 |  |
| 22 °C          | 3,6  | 5,9  | 7,8  | 9,5  | 11,1       | 12,5 | 13,9 | 15,1 | 16,3 | 17,4 | 18,4 | 19,4 | 20,3        | 21,2 |  |
| 21 °C          | 2,8  | 5,0  | 6,9  | 8,6  | 10,2       | 11,6 | 12,9 | 14,2 | 15,3 | 16,4 | 17,4 | 18,4 | 19,3        | 20,2 |  |
| <b>20 °C</b>   | 1,9  | 4,1  | 6,0  | 7,7  | <b>9,3</b> | 10,7 | 12,0 | 13,2 | 14,4 | 15,4 | 16,4 | 17,4 | 18,3        | 19,2 |  |
| 19 °C          | 1,0  | 3,2  | 5,1  | 6,8  | 8,3        | 9,8  | 11,1 | 12,3 | 13,4 | 14,5 | 15,5 | 16,4 | 17,3        | 18,2 |  |
| 18 °C          | 0,2  | 2,3  | 4,2  | 5,9  | 7,4        | 8,8  | 10,1 | 11,3 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 15,4 | 16,3        | 17,2 |  |
| 17 °C          | -0,6   | 1,4  | 3,3  | 5,0  | 6,5        | 7,9  | 9,2  | 10,4 | 11,5 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 15,3        | 16,2 |  |
| 16 °C          | -1,4   | 0,5  | 2,4  | 4,1  | 5,6        | 7,0  | 8,2  | 9,4  | 10,5 | 11,6 | 12,6 | 13,5 | 14,4        | 15,2 |  |
| 15 °C          | -2,2   | -0,3 | 1,5  | 3,2  | 4,7        | 6,1  | 7,3  | 8,5  | 9,6  | 10,6 | 11,6 | 12,5 | 13,4        | 14,2 |  |
| 14 °C          | -2,9   | -1,0 | 0,6  | 2,3  | 3,7        | 5,1  | 6,4  | 7,5  | 8,6  | 9,6  | 10,6 | 11,5 | 12,4        | 13,2 |  |
| 13 °C          | -3,7   | -1,9 | -0,1 | 1,3  | 2,8        | 4,2  | 5,5  | 6,6  | 7,7  | 8,7  | 9,6  | 10,5 | 11,4        | 12,2 |  |
| 12 °C          | -4,5   | -2,6 | -1,0 | 0,4  | 1,9        | 3,2  | 4,5  | 5,7  | 6,7  | 7,7  | 8,7  | 9,6  | 10,4        | 11,2 |  |
| 11 °C          | -5,2   | -3,4 | -1,8 | -0,4 | 1,0        | 2,3  | 3,5  | 4,7  | 5,8  | 6,7  | 7,7  | 8,6  | 9,4         | 10,2 |  |
| 10 °C          | -6,0   | -4,2 | -2,6 | -1,2 | 0,1        | 1,4  | 2,6  | 3,7  | 4,8  | 5,8  | 6,7  | 7,6  | 8,4         | 9,2  |  |

Näherungsweise darf geradlinig interpoliert werden

25 °C warme Luft mit hoher Feuchte: Der Taupunkt liegt nahe an Lufttemperatur (Badezimmerspiegel)

Bei Normklima 20 °C / 50 % rel. LF liegt die Taupunkttemperatur bei 9,3 °C



#### Zusammengefasst:

Fällt die Lufttemperatur unter den Taupunkt, tritt Kondensation auf. Je feuchter die Luft, umso früher tritt der Effekt auf.

Programm zur Berechnung des Tau-/Schimmelpunktes:  
[www.sanco.de/taupunktrechner](http://www.sanco.de/taupunktrechner)





### Kondensat auf der raumseitigen Oberfläche der Innenscheibe

Manch einer kennt aus seiner Kindheit noch die schönen Eisblumen, die sich in strengen Wintern auf der Innenseite eines einfachverglasten Fensters gebildet haben. Wegen der schlechten Wärmedämmung war die Einfach-Glasscheibe raumseitig fast so kalt wie die Außenluft und die an der Glasoberfläche kondensierte Raumluftfeuchte wurde zu Eis.

Bei modernem Wärmedämm-Isolierglas kommt großflächiges Kondensat auf der Scheibe praktisch nicht mehr vor. Die raumseitigen Oberflächentemperaturen von modernen Zweifach- oder Dreifach-Isoliergläsern liegen wegen der guten Wärmedämmung in der Regel weit über dem Taupunkt. Je besser (kleiner) der  $U_g$ -Wert einer Verglasung, umso näher bleibt die Oberflächentemperatur der raumseitigen Scheibe an der Temperatur der Raumluft. Damit trotzdem der Taupunkt erreicht wird, müssen schon extreme Bedingungen wie eine sehr kalte Außenlufttemperatur oder eine sehr hohe Raumluftfeuchte oder beides vorliegen.



### Kondensat an der Glaskante der Innenscheibe

Eher als auf der raumseitigen Scheibenmitte kommt es in der kalten Jahreszeit bei modernen Isoliergläsern im Randbereich zu Kondensatbildung. Das hat mit dem Einfluss von Wärmebrücken zu tun.

Der Übergangsbereich von Verglasung zu Fensterrahmen stellt eine geometrische und materialbedingte Wärmebrücke dar. Der Randverbund, der die zwei oder drei Scheiben miteinander verbindet und hermetisch versiegelt, kann nicht so gut dämmen wie der edelgasgefüllte Zwischenraum eines Wärmedämm-Isolierglases. Dies gilt vor allem wenn der Abstandhalter im Randverbund des Isolierglases aus Aluminium oder Stahl ist. Ihre hohe Wärmeleitfähigkeit führt zu erhöhten Wärmeverlusten in diesem Bereich und dadurch zur Absenkung der raumseitigen Oberflächentemperatur.

Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter aus schlecht leitenden Materialien („Warme Kante“) können diese Wärmebrücke minimieren. (siehe SANCO Glasbuch S. 87ff).

Tritt trotz wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern an der raumseitigen Glaskante Tauwasser auf, sollte durch eine Aufzeichnung des Raumklimas zunächst festgestellt werden, ob eine relative Luftfeuchte von 50 % über längere Zeit deutlich überschritten wird. Ist das der Fall, so ist die Ursache mit hoher Wahrscheinlichkeit im Nutzerverhalten, mangelhafter Lüftung bzw. einem fehlenden Lüftungskonzept nach Fenstersanierung zu suchen. (siehe vorstehende Empfehlungen für das Lüftungsverhalten von Nutzern).

Allerdings können auch konstruktive Fehler bei der Planung eine Tauwasserproblematik verursachen. Bei Wohnräumen mit Fußbodenheizung fehlt der Heizkörper direkt unter dem Fenster, der dem Kaltluftabfall entgegenheizt. Bei Zweifach-Isolierglas kann das im Randbereich schon kritisch werden. Ganzglasecken an Gebäuden sind hinsichtlich solcher Problematiken extrem anfällig.



Ungünstige bauliche Gegebenheiten wie tiefe Fensterleibungen mit weit außen sitzenden Fenstern führen zu einem ungünstigen Isothermenverlauf mit großer Einbauwärmebrücke. Raumseitig ausladende Fensterbänke, Kommoden oder Einbauten direkt vor Fenstern oder eine schlechte Anordnung von Heizkörpern behindern die Luftzirkulation. Das führt zur Abkühlung eines stehenden Luftpösters. Auch das kann die Ursache für Tauwassererscheinungen sein. Dasselbe gilt für Fenster, die mit Blumentöpfen zugestellt oder mit Vorhängen und Jalousetten verhangen sind.

Sofern keine anderen ungünstigen baulichen Gegebenheiten oder fehlerhaftes Nutzerverhalten vorliegen, ist Tauwasserbildung im Randbereich von Dreifach-Isolierglas mit warmer Kante jedoch sehr unwahrscheinlich.



### Kondensat auf der Außenoberfläche der Außenscheibe

Häufiger als Kondensat an der raumseitigen Glaskante wird inzwischen ein Beschlagen der Fenster auf der Außenseite bemängelt, insbesondere bei Dreifach-Verglasungen. Dass dies ein Beweis für die hervorragende Wärmedämmung der Scheibe ist, ist schwer zu vermitteln.

Bei einem schlecht gedämmten Isolierglas geht im Winter ständig Wärme nach draußen verloren. Dadurch wird die raumseitige Scheibe deutlich kälter als die Raumluft, und die äußere Scheibe wird zwangsläufig von innen beheizt. Bei einem modernen Dreifach-Isolierglas liegt die Temperatur auf der Innenscheibe nahe an der Raumlufttemperatur und auf der Außenscheibe nicht weit von der Außenlufttemperatur entfernt. Der Aufbau der Verglasung überbrückt mit seiner guten Dämmleistung ein großes Temperaturgefälle. Das ist eine zur Energieeinsparung ja geradezu erwünschte Qualitätseigenschaft von modernem Isolierglas.

Sinkt in der kalten Jahreszeit die Temperatur der ohnehin schon kühlen Außenscheibe durch Wärmeabstrahlung an den klaren Nachthimmel bis unter die Taupunkttemperatur der Außenluft, passiert dasselbe wie bei einem im Freien abgestellten Auto: Kondensat fällt aus und behindert am Morgen die freie Durchsicht. Eine feuchte Umgebung, z.B. in der Nähe von Gewässern, verstärkt das Problem. In Extremfällen kann das Kondensat auf der Fensteraußenseite sogar anfrieren. Ähnlich wie bei einem Pkw die Front- und Heckscheibe sind schräg eingebaute Dachflächenfenster wegen des günstigeren Abstrahlwinkels zum Himmel von dem Effekt stärker betroffen als vertikal eingebaute Fenster.



Meist ist das Tauwasser mit den ersten Sonnenstrahlen schnell wieder verschwunden. Bleibt es jedoch länger bestehen, lässt sich der Effekt beseitigen, indem die Wärmeabstrahlung der Scheibe an den Nachthimmel verhindert wird. Das ist durch eine Außenverschattung mit Fensterläden machbar. Alternativ lässt sich Außenbeschlag auch durch Einsatz von Verglasungen mit einer Antibeslag-Beschichtung auf der Außenseite verhindern.

### Kondensat im Scheibenzwischenraum

Tritt Kondensat im Scheibenzwischenraum (SZR) auf, ist das Isolierglas irreparabel kaputt. Es muss ausgetauscht werden.

Von dubiosen Werbeversprechen zur Reparatur in eingebautem Zustand ist dringend abzuraten.

Trockenmittel, welches bei der Herstellung von Isolierglas in den Abstandhalter gefüllt wird, trocknet den Scheibenzwischenraum sehr stark, die Taupunkttemperatur muss tiefer als  $-60\text{ °C}$  liegen. Dringt durch einen beschädigten Randverbund Wasserdampf ein, wird das Trockenmittel gesättigt. Dann steigt die Luftfeuchte im SZR, und die Taupunkttemperatur wird immer höher. Wird sie von der Temperatur an der Glasinnenfläche unterschritten, bildet sich dort Tauwasser. Wird eine neue Scheibe bereits ein bis zwei Jahren nach dem Einbau blind, liegt entweder ein Fertigungsfehler vor oder der Randverbund ist wegen Nichtbeachtung der Verglasungsrichtlinien undicht geworden.



# SANCO® WÄRMEDÄMMGLÄSER

Modernes Wärmedämm Isolierglas kann bei bestimmten Wetterbedingungen von außen beschlagen. Dieser physikalische Effekt lässt sich auf die verbesserte Wärmedämmung der Isoliergläser zurückführen – er tritt umso eher auf, je niedriger der U-Wert des Fensters ist. Die unmittelbare Folge der optimierten Wärmedämmung ist, dass sich die innere Scheibe nahezu auf Raumtemperatur erwärmt, die äußere Scheibe durch den geringen Wärmefluss stark abkühlt. Isoliergläser beschlagen, wenn ihre äußere Oberflächentemperatur unter die Taupunkttemperatur der umgebenden Luft fällt. Dies geschieht besonders bei hoher Außenluftfeuchte, insbesondere im Frühling und Herbst, und starkem Temperaturabfall, z.B. bei klarem Himmel abends oder in den frühen Morgenstunden. Mit sinkender Temperatur steigt bei gleichem Wassergehalt die relative Luftfeuchte. Erreicht der Sättigungsgrad 100 Prozent, kondensiert die Luftfeuchtigkeit und schlägt sich auf den kalten Isolierglas Oberflächen nieder.

## Die Lösung: SANCO® Plus FREE VISION T

Mit SANCO Plus FREE VISION T wurde eine Glasbeschichtung entwickelt, die Außenbeschlag effektiv unterbindet und stets für ungetrübte Aussicht sorgt. Unabhängig von der Witterungslage kann die Anti-beschlag-Beschichtung Kondensat absorbieren ohne die optischen Eigenschaften des Glases zu beeinträchtigen – die lichttechnischen Werte werden zum Teil sogar verbessert. SANCO Plus FREE VISION T ist farbneutral, unempfindlich gegen mechanische Einwirkungen, langlebig und optimal geeignet für Wärmedämm Isoliergläser mit tiefem Ug-Wert.

### Intelligentes Schichtdesign

- Der Außenbeschlag wird nahezu 100 %ig verhindert
- Die Beschichtung ist optimal geeignet für Isoliergläser mit tiefem Ug-Wert, z.B. SANCO ESI oder SANCO Plus TRIII E
- Es ist ein umweltfreundliches, im Hochvakuum-Magnetronverfahren hergestelltes Antibeschlagglas

Sowohl beim 2-fach- als auch beim 3-fach-Aufbau ist die Außenscheibe stets als Einscheibensicherheitsglas (ESG) auszuführen

- Die Funktion der SANCO SILVERSTAR Plus VISION T Schicht ist nur in Kombination mit Einscheibensicherheitsglas (ESG) gegeben
- Es wird empfohlen beim 3-fach Scheibenaufbau die mittlere Scheibe vorzuspannen



Diese AWT Info ersetzt nicht das sorgfältige Studium der relevanten Normen und Regelwerke.

### Weiterführende Literatur:

- SANCO Glasbuch 6. Auflage 2018
- DIN 4108-3 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth-Verlag Berlin, Oktober 2018.
- DIN 1946-6 Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung. Beuth-Verlag Berlin, Mai 2009. (siehe auch E DIN 1946-6 Normentwurf, dto., Januar 2018)



# GLAS KANN MEHR!



Für das Wohlbefinden in Gebäuden ist ein gesundes Raumklima mit frischer Luft sehr wichtig. Deshalb muss bei einem Neubau die feuchtetechnische Unbedenklichkeit ebenso nachgewiesen werden wie ein ausreichendes Lüftungskonzept. Damit soll sichergestellt werden, dass es nicht zu Feuchteschäden und gefährlicher Schimmelbildung kommen kann. Tritt trotzdem auf Mehrscheiben-Isolierglas Tauwasser auf, sind gleich mehrere Fragen zu klären.

Ihr SANCO Partner berät Sie gerne!