



Technische Information

Kondensation bei Isolierglas

Kondensation auf Isolierglas ist ein physikalisches Phänomen, das oftmals Grund für Ärger bei allen Beteiligten bietet. Die Frage, die zuerst geklärt werden muss: An welcher Stelle tritt das sogenannte „Schwitzwasser“ auf?

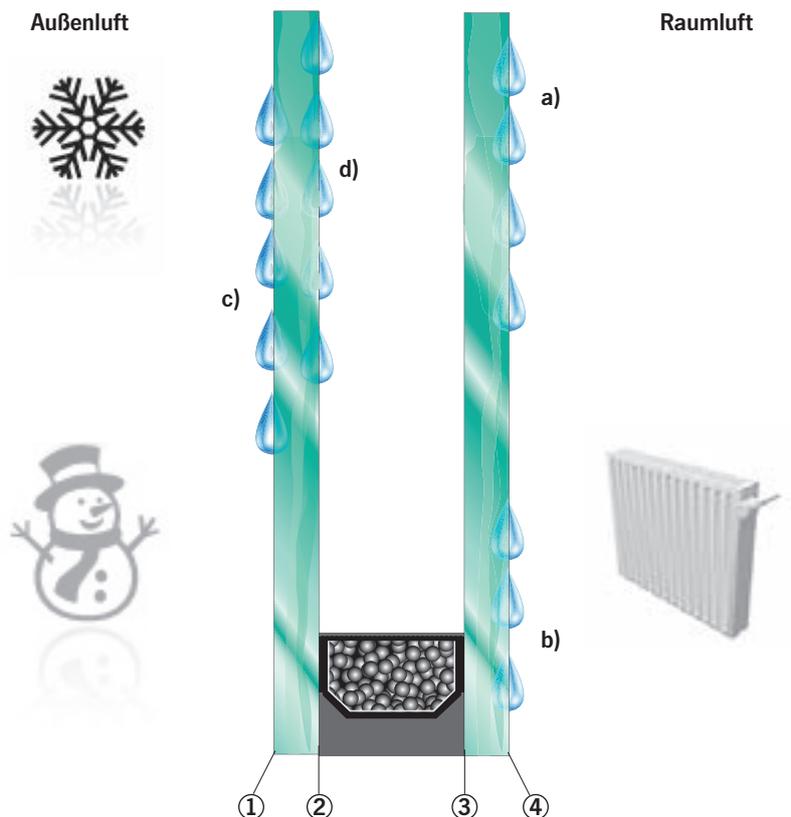


Woher kommt Kondensat?

Brillenräger, 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 Kältschrank, 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. Der Feuchtegehalt der Luft wird als relative Luftfeuchtigkeit in Prozent angegeben, das maximale Fassungsvermögen sind 100 %.

Wird warme Luft mit unverändertem Feuchtegehalt – z.B. durch den Kontakt mit der kalten Bierflasche - abgekühlt, steigt ihre relative Luftfeuchte an. Mit 100 % ist das Maximum und damit der sog. Taupunkt erreicht: Das in der Luft gelöste Wasser beginnt als Tautropfen zu kondensieren. Die Temperatur, bei der das passiert, nennt man die Taupunkttemperatur. Diese theoretische Temperaturangabe hängt vom ursprünglichen Feuchtegehalt und der Ausgangstemperatur der Luft ab. Je kälter die Oberfläche oder je höher die Luftfeuchtigkeit, umso grösser ist der Effekt bzw. die Kondensatmenge.



Kondensat kann auftreten

- a) auf der raumseitigen Oberfläche der Innenscheibe ④
- b) an der Glaskante der Innenscheibe ④
- c) auf der Außenscheibe der Außenscheibe ①
- d) im Scheibenzwischenraum ② ③

Taupunktendiagramm in Abhängigkeit der Temperatur und relativer Luftfeuchte

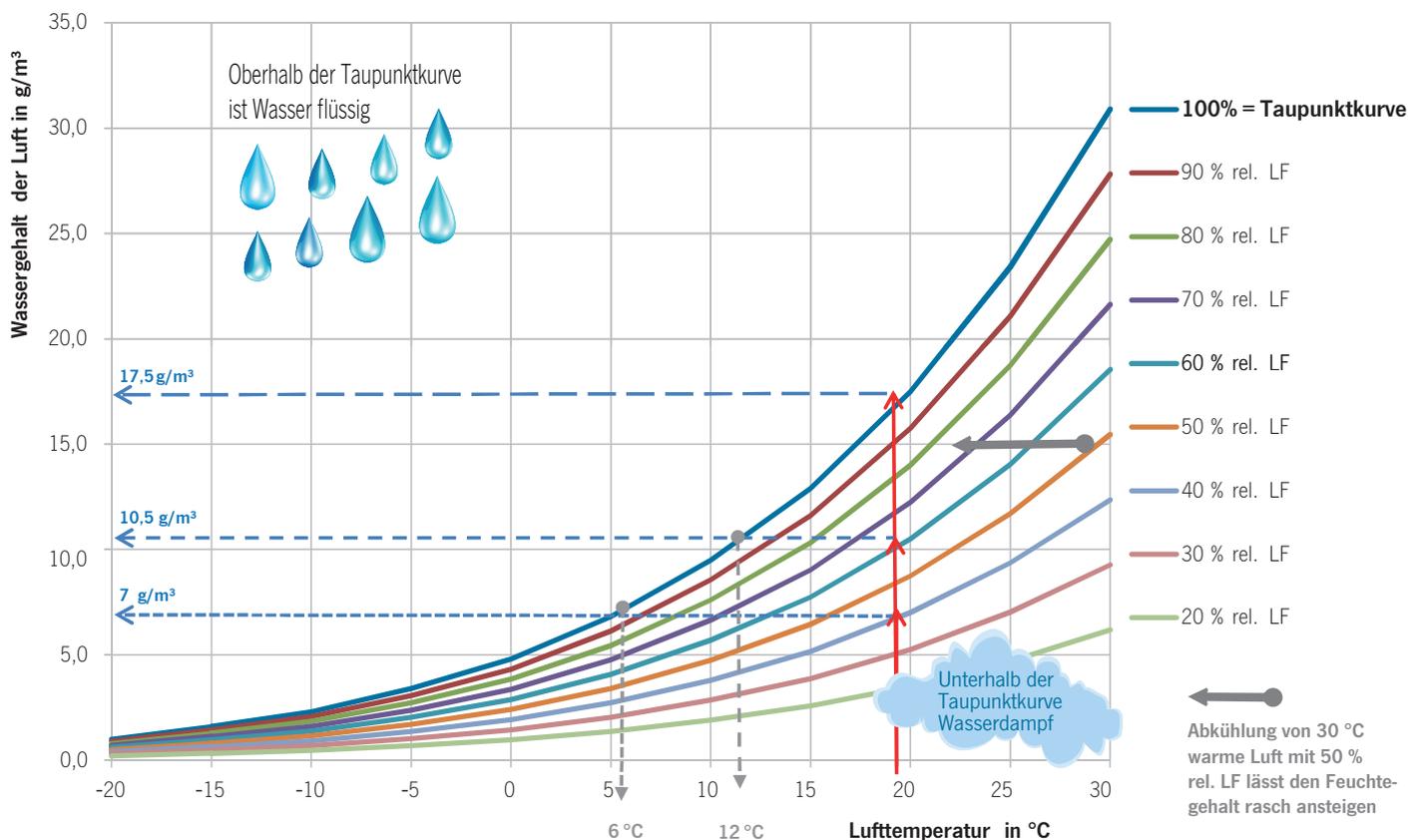


Abbildung: Diagramm mit Kurven gleicher relativer Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Kurve mit 100 % rel. Luftfeuchte wird Taupunktcurve genannt. Sie gibt den Maximalwert von Feuchtigkeit an, welche die Luft bei einer bestimmten Temperatur bis zur Sättigung aufnehmen kann.

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 m³ 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, damit die Luft mit einer bestimmten Feuchte und Temperatur gerade noch nicht darauf kondensiert. Dazu wird die Temperatur unterhalb der Stelle abgelesen, an der in Richtung sinkender Temperatur die Taupunktcurve geschnitten wird. 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 Taupunktstand) - der

Spiegel im Badezimmer muss nach dem Duschen nur minimal kühler sein als die Luft, schon beschlägt er. Umgekehrt muss es bei trockener Luft schon sehr kalt werden, bis Tauwasser ausfällt (hoher Taupunktstand).

Bei den Normklimabedingungen von 20°C Temperatur 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 schon bei ca. 80 % relativer Luftfeuchte. Das wird im Normklima bereits bei einer Oberflächentemperatur von 12,5 °C erreicht.

Taupunkttemperatur in Abhängigkeit von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte

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

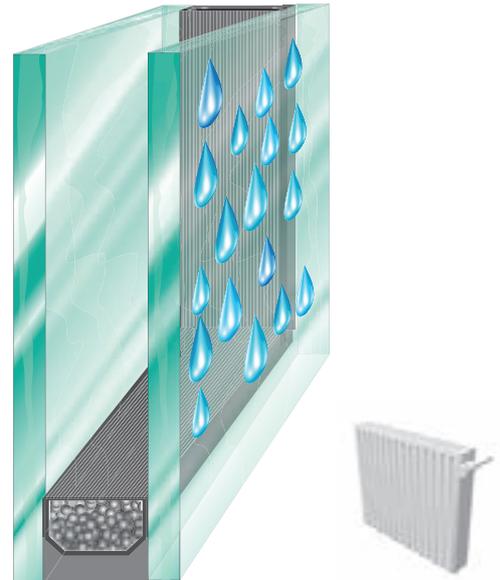
Zusammengefasst: Fällt die Lufttemperatur unter den Taupunkt, tritt Kondensation auf. Je feuchter die Luft, umso früher tritt der Effekt auf.

Quelle: DIN 4108-3, Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 3



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 draußen und das an der Glasoberfläche kondensierte Wasser wurde zu Eis.



Bei modernem Wärmedämm-Isolierglas kommt flächiges Kondensat auf der Scheibe nur noch selten vor. Die raumseitigen Oberflächentemperaturen von gut isolierenden Zweifach- oder Dreifach-Isoliergläsern liegen in der Regel weit über dem Taupunkt. Je besser (kleiner) der Ug-Wert einer Verglasung, d.h. je besser die Dämmung, umso näher bleibt die Oberflächentemperatur der raumseitigen Scheibe an der Raumluft. Damit bei so einer Verglasung trotzdem die Taupunkttemperatur erreicht wird, müssen schon extreme Bedingungen vorliegen: eine sehr kalte Außentemperatur oder eine sehr hohe Raumluftfeuchte oder sogar beides – wie im Badezimmer gleich nach einer heißen Dusche im tiefen Winter.

Regelmäßiges Stoßlüften, bei dem die warme, feuchte Luft ohne Auskühlen des Raumes rasch und

komplett gegen kalte Luft getauscht wird, ist deswegen in einem Gebäude ohne Lüftungsanlage unbedingt notwendig. (Die kalte Luft mag zwar bezogen auf ihre Temperatur zunächst eine hohe relative Luftfeuchte haben, z.B. bei feuchtkaltem Wetter. Im Raum wird sie jedoch erwärmt und ihre relative Luftfeuchte sinkt durch die Temperaturerhöhung ebenso rasch ab. Gegenüber der vorher vorhandenen warmen und feuchten Luft ist das Kondensatrisko jetzt viel geringer.)

Weitere mögliche Ursachen aufgrund ungünstiger baulicher Gegebenheiten werden im nachstehenden Kapitel beschrieben. Eher als in der Scheibenmitte kommt es bei modernen Isoliergläsern im Randbereich zu Kondensatbildung. Dies hat mit dem Einfluss von Wärmebrücken zu tun.



Kondensat an der Glaskante der Innenscheibe

Zu Beginn der kalten Jahreszeit ist einer der häufigsten Gründe für eine Fensterreklamation „Schwitzwasser“ am Glasrandbereich eines Fensters, bevorzugt an der unteren Kante.



Durch eine Aufzeichnung des Raumklimas sollte zunächst festgestellt werden, ob bei ca. 20 °C Raumtemperatur eine relative Luftfeuchte von 50 % über längere Zeit deutlich überschritten wird. Ist das der Fall, so ist die Ursache mit hoher Wahrscheinlichkeit im Nutzerverhalten bzw. mangelhafter Lüftung zu suchen. Oft schafft schon das Beachten einfacher Grundregeln Abhilfe: Regelmäßiges Stoßlüften, übermäßige Feuchteentwicklung (in der Wohnung Wäschetrocknen o.ä.) vermeiden, Feuchte möglichst gleich dort abführen, wo sie entsteht (Abzug in der Küche) und vor allem Türen zu weniger beheizten Räumen geschlossen halten, damit sich feuchtwarme Luft dort nicht an den kälteren Oberflächen niederschlägt. Auch die kühleren Räume müssen regelmäßig mit gelüftet werden, damit der Feuchtegehalt ihrer Raumluft nicht zu hoch wird, ansonsten droht im schlimmsten Fall die Bildung von Schimmel. Außerdem sorgt regelmäßiges Lüften für ausreichend Sauerstoffzufuhr und Abtransport von Schad- und Geruchsstoffen.

Bei unsanierten Altbauten ist ein ausreichender Luftwechsel wegen der vielen Undichtigkeiten an Fugen und Spalten kein Problem, aber Neubauten oder mit modernen Fenstern sanierte Altbauten sind praktisch luftdicht. Hier kann frische Luft nur durch aktives Öffnen der Fenster oder aber durch eine Lüftungsanlage hereinkommen.

Ungünstige bauliche Gegebenheiten wie tiefe Fensterlaibungen mit weit außen sitzenden Fenstern, raumseitig ausladende Fensterbänke, Kommoden oder Einbauten direkt vor Fenstern oder eine schlechte Anordnung von Heizkörpern behindern die Luftzirkulation. Das führt zur Abkühlung eines stehenden Luftpolsters. Auch das kann die Ursache für Tauwassererscheinungen sein. Dasselbe gilt für Fenster, die mit Blumentöpfen zugestellt oder mit Vorhängen und Jalousetten verhangen sind.





Eine erhebliche Absenkung der Oberflächentemperatur kann jedoch auch an Wärmebrücken liegen. Eine solche konstruktive Wärmebrücke bildet der Randverbund von Isolierglas. Der Randverbund, der zwei oder drei Scheiben miteinander verbindet und hermetisch versiegelt, kann nicht so gut dämmen wie der edelgas-gefüllte Zwischenraum eines Wärmedämm-Isolierglases. In diesem Randverbund sind oft noch herkömmliche Abstandhalter aus stark wärmeleitendem Aluminium verbaut. Diese transportieren die Heizwärme rasch nach draußen. Dadurch kühlt der raumseitige Randbereich der Scheibe viel stärker ab als die Mitte und Tauwasserbildung beginnt zuerst an dieser Stelle. Es ist ratsam, gleich von Anfang an ein besser dämmendes „warme-Kante“-Randverbundsystem einzusetzen. Das sorgt für weniger Abkühlung am Rand und reduziert die Tauwassergefahr deutlich.

Nach DIN 4108-2 sind Wärmebrücken mit extrem niedrigen Innenoberflächen-Temperaturen in Gebäuden zu vermeiden, da sie zu Tauwasserniederschlag und Schimmelbildung sowie zu erhöhten Wärmeverlusten führen. An Fenstern sowie an Pfosten-Riegel-Konstruktionen ist Tauwasserbildung jedoch vorübergehend und in kleinen Mengen zulässig, falls die Oberfläche die Feuchtigkeit



nicht absorbiert und entsprechende Vorkehrungen zur Vermeidung eines Kontaktes mit angrenzenden empfindlichen Materialien getroffen werden.

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



Kondensat auf der Außenoberfläche der Außenscheibe



Wer im Winter moderne, gut dämmende Fenster zum Lüften öffnet, kann bei genauer Beobachtung einen vorübergehenden Beschlag auf der Außenseite feststellen – die warme, feuchte Raumluft streicht an der kalten, weil gut gedämmten Außenscheibe entlang. Aufgrund derselben Physik - Abkühlung unter die Taupunkttemperatur - fällt die Feuchtigkeit der Raumluft als Kondensat auf der Außenscheibe aus.

Bei einem schlecht gedämmten Isolierglas geht ständig Wärme nach draußen verloren. Dadurch wird die raumseitige Scheibe deutlich kälter als die Raumluft und die äußere Scheibe wird zwangsläufig erwärmt. Wie im Kapitel „Kondensat auf der raumseitigen Oberfläche der Innenscheibe“ beschrieben, liegen die raumseitigen Oberflächen von gut isolierten Zweifach- oder Dreifach-Isoliergläsern nahe bei der Raumlufttemperatur. Allerdings mit der Folge, dass die Außenscheibe auch nahe an der Temperatur der Außenluft liegt. Das ist eine zur Energieeinsparung ja geradezu erwünschte Qualitätseigenschaft von modernem Isolierglas.

Kommt es durch Wärmeabstrahlung an den klaren Nachthimmel zur Abkühlung der Außenscheibe unter die Temperatur der Außenluft, passiert dasselbe wie bei einem im Freien abgestellten Auto .



Wird die Taupunkttemperatur der Außenluft unterschritten, fällt Kondensat aus. Eine feuchte Umgebung, z.B. in der Nähe von Gewässern, verstärkt das Problem. In Extremfällen kann das Kondensat auf der Fensteraußenseite sogar anfrieren. Schräg eingebaute Dachflächenfenster sind von dem Effekt stärker betroffen – ähnlich wie beim Pkw Front- und Heckscheibe. Der Effekt

lässt sich nur dadurch lindern, dass ein Abstrahlen der Scheiben an den Nachthimmel verhindert wird – durch Außenverschattung mit Fensterläden oder durch eine Außenbeschichtung zur Reduzierung des Abstrahlvermögens. Die Wärmedämmung der Glasscheibe wieder zu verschlechtern, kann keine sinnvolle Lösung sein! Tauwasser an der Außenscheibe ist der Qualitätsbeweis für die gute Wärmedämmung des Isolierglases.





In klaren Winternächten wird es oft sehr kalt. Am Beispiel eines im Freien geparkten Autos lässt sich das mit Hilfe der Physik erklären. Jeder Körper gibt Wärmestrahlung ab, sofern das, was er „sieht“ noch kälter ist als er selbst. Front- und Heckscheibe des Autos sind oft früher und stärker vereist als der Rest. Warum? Diese Scheiben schauen zum kalten Nachthimmel und „sehen“ eine besonders tiefe Temperatur, 270 °C , nahe dem absoluten Nullpunkt. Das bedeutet, dass sie stärker abstrahlen als die Seitenscheiben des Autos, die möglicherweise auf eine wärmere Hauswand ausgerichtet sind. Durch die Abstrahlung kühlen die Scheiben unter die Taupunkttemperatur der Umgebungsluft ab, es bildet sich Kondensat, das festfriert. Aus demselben Grund ist es in der Wüste tagsüber zwar sehr heiß, durch den besonders klaren Himmel kann es nachts aber wegen der Abstrahlung an das eisige Universum oft empfindlich kalt werden.

Kondensat im Scheibenzwischenraum

Tritt Kondensat im Scheibenzwischenraum auf, ist das Isolierglas kaputt und muss ausgetauscht werden. Von Reparaturversuchen ist abzuraten. Passiert das schon innerhalb von ein bis zwei Jahren nach dem Einbau einer neuen Scheibe, so liegt entweder ein Fertigungsfehler vor oder der Randverbund ist wegen Nichtbeachtung der Verlasungsrichtlinien undicht geworden. Trockenmittel, welches bei der Herstellung von Isolierglas in den Abstandhalter gefüllt wird, trocknet den Scheibenzwischenraum sehr stark, die Taupunkttemperatur muss tiefer als 60 °C liegen. Dringt durch beschädigten Randverbund Wasserdampf ein, steigt die Luftfeuchte und damit die Taupunkttemperatur. Wird sie an der Glasinnenfläche unterschritten, bildet sich dort Tauwasser.





Fazit

Ob innen oder außen, Kondensat auf Isolierglas kann auftreten – so ist die Physik. Welche Ursache dies hat und ob es vermeidbar ist, muss durch genaue Betrachtung des Einzelfalls geklärt werden.

