



ISOLAR[®] KOMPASS 01/17



© Arnold Glas

ALLES KLAR IM WINTER.

BESCHLAGENE FENSTERSCHEIBEN
IM WINTER SIND DOCH
VERGANGENHEIT – ODER?

Spätestens seit Wärmedämmglas Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts zum Standard in Fenstern wurde, sind beschlagene Fensterflächen weitgehend aus der täglichen Wahrnehmung verschwunden. Welche Überraschung also, wenn gerade an Fenstern mit modernem, hoch wärmedämmendem Isolierglas außen morgens ein Beschlag zu sehen ist – und das nicht erst im Winter, sondern schon im Herbst! Diese Ausgabe des ISOLAR[®] Kompasses zeigt, dass dieser Beschlag auf der Außenseite ein natürliches Phänomen und ein Zeichen guter Wärmedämmung ist.

TAU AUF ISOLIERGLAS – EIN NATÜRLICHES PHÄNOMEN



TAU AUF DER AUSSENSEITE VON ISOLIERGLAS

So sieht Tau auf der Außenseite von Isolierglas aus: Die Bildung von Tau setzt immer in der Fläche ein und nicht am Rand. Auch wenn die komplette Scheibe von der Bildung von Tau betroffen ist, bleibt der Randbereich frei von Tau. Der Grund hierfür ist die bessere Wärmedämmung in der „Hauptfläche“ des Isolierglases, die frei von Einflüssen durch den Isolierglas-Rand ist.

Klare und kalte Nächte gibt es nicht nur im Winter, sondern schon im August und September. Sie sind ein sicheres Anzeichen dafür, dass der Sommer sich dem Ende nähert und die kühleren Jahreszeiten bald beginnen. Am frühen Morgen nach solchen Nächten lässt sich in Tälern und Senken ein faszinierendes Phänomen beobachten. Nebelschwaden stehen dann über Wasserflächen und über dem Erdboden.

Die um diese Jahreszeit noch kräftige Sonneneinstrahlung während des Tages sorgt dafür, dass Wasser verdunstet und die Luft entsprechend mit Feuchtigkeit beladen wird. In klaren Nächten wird die Wärmestrahlung der Erde nicht durch eine Wolkendecke reflektiert, es wird kalt. Der „kalte“ Nachthimmel bewirkt, dass die bodennahe Luft besonders stark abkühlt. Dabei wird der Taupunkt der Luft unterschritten und es bilden sich unzählige kleine Wassertröpfchen, die wir als Nebel wahrnehmen.

Manchmal ist im Wetterbericht in dieser Zeit sogar von Bodenfrost die Rede, obwohl zugleich noch von Lufttemperaturen über dem Gefrierpunkt gesprochen wird. Auch dieses Phänomen wird durch den „kalten“ Nachthimmel verursacht. Der Erdboden steht in einem ständigen Strahlungsaustausch mit dem Himmel. Die „Strahlungstemperatur“ des Himmels liegt in klaren Nächten bei weit unter 0 °C und ist somit viel niedriger als die des Erdbodens. Der Erdboden kühlt massiv ab, schneller und stärker als die darüber liegende Luft. Dann schlägt sich das Kondensat am Boden als „Tau“ nieder.

Sind die Temperaturen bei der Bildung des Kondensats unter dem Gefrierpunkt von Wasser, bildet sich das Kondensat sogar in Form von Eis – und wir nennen es „Reif“.

„Laternenparker“ kennen die Zusammenhänge ziemlich gut. Sie wissen, dass nach kalten Herbst- und Winternächten damit zu rechnen ist, dass sie am Morgen erst einmal die Autoscheiben vom Eis - besser: vom Reif - befreien müs-

sen, bevor sie losfahren können. Und natürlich kennen sie auch morgendliches Wasser – besser: Tau – auf ihren Autoscheiben. Sie wissen auch, dass sich Wasser (Tau) und Eis (Reif) nicht nur auf den Autoscheiben bildet, denn sie haben beides sicher auch schon auf dem Autodach gesehen. Was aber hat der Tau auf dem Auto mit Isolierglas zu tun?

Es ist exakt das gleiche Phänomen, wenn morgens nach einer solchen klaren, kalten Nacht ein großer Teil der Glasflächen an Fenstern oder am Wintergarten auf der Außenseite mit Tau bedeckt ist. Wie der Morgentau auf der Wiese verschwindet auch dieser Tau wieder, wenn etwa die Sonne die Glasflächen und die Luft wieder erwärmt hat. Denn wärmere Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen und das Wasser verdunstet wieder.

Alles in allem ist das Auftreten und das Verschwinden von Tau und im Extremfall von Reif auf der Außenseite von Glasflächen ein völlig natürlicher Prozess.



REIF AUF EINEM PARKENDEN AUTO

So sieht Reif auf einem parkenden Auto aus: Die Bildung von Reif beginnt immer dort, wo es den direkten Strahlungsaustausch mit dem Nachthimmel gibt (Windschutzscheibe, Dach). Auf der Motorhaube setzt die Reifbildung erst später ein („Motorwärme“).

WANN KANN TAU AUF ISOLIERGLAS AUFTRETEN?



ÜBER U_g -WERTE

Der U_g -Wert ist das Maß für die Wärmedämmung eines Isolierglases. Der U_g -Wert wird nach der Norm DIN EN 673 berechnet und in W/m^2K angegeben. Es gilt: Je kleiner der U_g -Wert, desto besser ist die Wärmedämmung. Typische Werte der Wärmedämmung für Isolierglas sind: Zweifach-Wärmedämmglas mit U_g -Wert = $1,1 W/m^2K$, Dreifach-Wärmedämmglas mit U_g -Wert = $0,5-0,7 W/m^2K$.

Für Tau auf einem Auto und für Tau auf der Außenseite von Isolierglas gelten dieselben Grundregeln. Die erste Regel lautet: Tau kann sich nur auf einer Fläche bilden, die kälter ist als die unmittelbar angrenzende Luft. Dieser Fall kann bei Isolierglas grundsätzlich nur dann eintreten, wenn die Außenseite im Strahlungsaustausch mit dem Nachthimmel als einem wesentlich „kälteren“ Strahlungspartner steht. Dazu muss die betreffende Scheibe den Nachthimmel „sehen“.

Bei parkenden Autos sind die Windschutzscheiben besonders betroffen. Bei Autos, die am Straßenrand neben einer Hauswand parken, frieren die zu dieser Wand zeigenden Seitenscheiben zuletzt zu, wenn überhaupt. Unter einem Carport stehende Autos kennen das Problem von Eis auf den Scheiben nicht. Manche Autofahrer ersparen sich auch mit einer nachts auf die Windschutzscheibe gelegten Folie das morgendliche Kratzen.

Im Haus sind Dachfenster sehr gute Kandidaten für Tau auf der Außenseite. Glasflächen am Haus mit freier Aussicht stehen im Strahlungsaustausch mit dem Nachthimmel. Direkt gegenüber liegende Häuser verhindern den Strahlungsaustausch mit dem Himmel weitgehend. Dachüberstände müssen schon sehr groß sein, damit sie den Strahlungsaustausch vermindern können. Geschlossene Klappläden und Rollläden sind dagegen ein sehr wirksames Mittel gegen das Auskühlen der Außenseite von Fensterflächen. Baumbewuchs hilft nur bedingt, da im Winter zum Beispiel das Laub fehlt.

Die zweite Regel lautet: Tau kann sich auf einer Fläche nur dann bilden, wenn ihre Temperatur niedriger ist als die Taupunkt-Temperatur der unmittelbar angrenzenden Luft. Dieser Teil der Angelegenheit entzieht sich leider nahezu völlig unserem Einfluss, weil wir Feuchte und Temperatur der Außenluft nicht gezielt verändern können.



AUF WELCHEM ISOLIERGLAS KANN TAU AUFTRETEN?

Allgemein wird das Auftreten von Tau auf der Außenseite erst wahrgenommen, seitdem Dreifach-Wärmedämmglas verwendet wird. Vereinzelt wurde Tau jedoch auch schon auf Zweifach-Wärmedämmglas beobachtet. Ob es auf einer bestimmten Glasfläche mit Strahlungsaustausch zum Nachthimmel zur Taubildung kommt, hängt davon ab, ob die Glasfläche kalt genug und die Beladung der angrenzenden Luft mit Feuchte hoch genug ist. Wie kalt die Glasfläche wird, hängt neben dem Strahlungsaustausch mit dem Himmel davon ab, wie gut die Wärmedämmung „hinter“ der Glasoberfläche ist.

Damit wird der U_g -Wert zu einer bestimmenden Größe. Dieser Wert ist das Maß für die Wärmedämmung des Glases. Es gilt: Je kleiner der U_g -Wert eines Isolierglases ist, desto besser ist die Wärmedämmung. Weiterhin gilt: Je besser die Wärmedämmung des Isolierglases ist, umso kälter wird bei sonst gleichen Bedingungen seine Außenseite. Und schließlich gilt: Je kälter die Außenseite eines Isolierglases ist, desto häufiger kann sich darauf bei sonst gleichen Bedingungen Tau bilden.

Man kann also sagen: Je kleiner der U_g -Wert eines Isolierglases ist, desto häufiger kann sich auf seiner Außenseite Tau bilden.

Oder anders ausgedrückt: Wenn sich auf einem Isolierglas Tau bildet, ist das ein Indiz für eine besonders gute Wärmedämmung.

Modernes Dreifach-Wärmedämmglas hat einen U_g -Wert deutlich unter $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Damit ist ein Niveau der Wärmedämmung durch Isolierglas erreicht, das zuvor nicht möglich war. Damit ist es auch nicht mehr verwunderlich, warum Tau auf der Außenseite gerade bei Dreifach-Wärmedämmglas auftreten kann.



GIBT ES EINEN WEG ZU WENIGER TAU AUF ISOLIERGLAS?

ÜBER SCHEIBENTEMPERATUREN I

Je kleiner der U_g -Wert eines Isolierglases ist, desto niedriger ist im Winter die Temperatur der Außenseite. Die Temperatur an der Außenseite von Isolierglas lässt sich mit einer einfachen Faustformel abschätzen:

$$T_{ge} = T_e + U_g \frac{T_i - T_e}{h_e}$$

T_{ge} : Glastemperatur außen (Ebene 1) [°C]

T_i : Raumtemperatur [°C]

T_e : Außentemperatur [°C]

U_g : U-Wert des Isolierglases [W/m²K]

h_e : Wärmeübergangskoeffizient außen,
25 W/m²K

Bei einer Raumtemperatur von 20 °C und einer Außentemperatur von 5 °C wird so für ein Zweifach-Wärmedämmglas ($U_g = 1,1$ W/m²K) auf der Außenseite eine Scheibentemperatur von

$T_{ge} = 5,7$ °C errechnet.

Für ein Dreifach-Wärmedämmglas ($U_g = 0,5$ W/m²K) ist $T_{ge} = 5,3$ °C.

Der Schlüssel zur Antwort ist die Temperatur auf der Außenseite des Isolierglases, die nicht unter die Temperatur der angrenzenden Luft sinken darf. Naheliegender wäre es, in Lagen mit „Tauwasser-Risiko“ einfach Isoliergläser mit einem höheren U_g -Wert einzubauen. Das wäre im Hinblick auf den Verbrauch an Heizwärme kontraproduktiv und ist natürlich kein ernsthafter Ansatz.

Viel gewitzter ist es da, die Natur gewissermaßen mit ihren eigenen Waffen zu schlagen.

Bei Dunkelheit geschlossene Roll- und Klappläden „schützen“ das Isolierglas vor dem Strahlungsaustausch mit dem Nachthimmel. Nebenbei verbessern sie auch noch die Wärmedämmung, selbst bei Fenstern mit Dreifach-Wärmedämmglas, und senken damit den Verbrauch von Heizenergie.

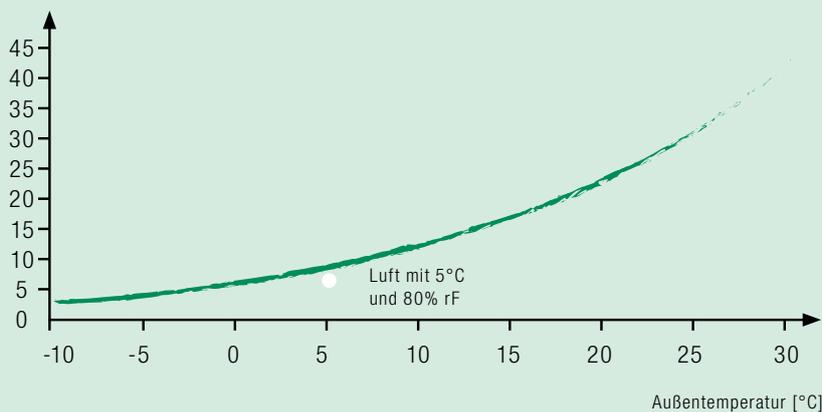
Auch die moderne Beschichtungstechnik kann helfen. Ganz ähnlich wie bei der Verringerung des Wärmedurchgangs durch Isolierglas besteht die Lösung auch hier in einer Beschichtung, die das Emissionsvermögen der beschichteten Oberfläche für Wärmestrahlung herabsetzt. Auf der Außenseite des Isolierglases, der „Ebene 1“, verringert eine solche Beschichtung die Abstrahlung von Wärme zum kalten Nachthimmel und verzögert so das Abkühlen der Außenseite. Damit behindert sie die Bildung von Tau auf der Außenseite und wird daher auch als „Anti-Kondensat-Beschichtung“ bezeichnet.

„Anti-Kondensat-Beschichtungen“ sind speziell für den Einsatz auf der Außenseite von Isolierglas ausgerichtet. Aktuell gehören sie noch zu den Sonderprodukten, die ISOLAR® Partner beraten dazu gerne.



ÜBER TAUPUNKTE

Wasserdampf-
Partialdruck
[hPa]



Die Temperatur an der Außenseite von Isolierglas und der Feuchtegehalt der angrenzenden Luft entscheiden darüber, ob sich auf dieser Glasfläche Tau bilden kann. Die Taupunktkurve der Luft zeigt an, bei welchem Wasserdampf-Partialdruck und welcher Temperatur die Sättigung erreicht ist. Sinkt die Scheibentemperatur unter die Taupunkt-Temperatur ab, ist die Bildung von Tau die Folge. Beispiel: Außenluft von 5 °C mit einer relativen Feuchte von $rF = 80\%$ hat einen Wasserdampf-Partialdruck von etwa $p_{H_2O} = 7$ hPa. Zu diesem Wasserdampf-Partialdruck gehört eine Taupunkt-Temperatur von $T_s = 1,9$ °C. Sinkt die Scheibentemperatur T_{ge} unter 1,9 °C, so bildet sich auf der Außenseite Tau. Steigt die Scheibentemperatur wieder über 1,9 °C an, so beginnt der Tau wieder zu verschwinden. Der Tau beginnt auch wieder zu verschwinden, wenn die Luftfeuchte sinkt (z. B. durch Wind).



WÄRMEÜBERGANGSKOEFFIZIENTEN

U_g -Werte nach der Norm DIN EN 673 werden für Standardbedingungen berechnet. Für die tatsächliche Wärmeübertragung durch ein Isolierglas sind auch die Prozesse an den äußeren Oberflächen von Bedeutung. Der Wärmeübergang an der Außenseite des Isolierglases wird durch den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten h_e beschrieben. Bei der Berechnung der U_g -Werte von Isoliergläsern nach DIN EN 673 ist für h_e ein Wert von $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ festgeschrieben. Tatsächlich ist h_e natürlich eine veränderliche Größe. Der Zahlenwert hängt ab u. a. von der Himmelstemperatur, dem Emissionsvermögen der Außenoberfläche und von der Windgeschwindigkeit an der Außenoberfläche.

ÜBER SCHEIBENTEMPERATUREN II

Die Faustformel zur Temperatur der Außenscheibe reicht für eine erste Näherung gut aus. Sie berücksichtigt außer der Außentemperatur aber nicht das Außenklima (Himmelstemperatur, Wind). Deshalb kann mit der Faustformel die Temperatur der Außenscheibe nicht unter die Außentemperatur sinken. Um diesen natürlichen Effekt richtig abzubilden, sind komplexere Modelle und Berechnungen notwendig. Darin geht es vor allem um eine schlüssige Beschreibung für den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten h_e und seine Einflussgrößen.

IMPRESSUM

Der ISOLAR® Kompass ist ein Produkt der der ISOLAR GLAS Beratung GmbH.

Verantwortlicher Redakteur:
Dr. Klaus Huntebrinker

Der ISOLAR® Kompass behandelt Themen, die unsere Kunden und die Branche bewegen. Wenn Sie selbst Vorschläge für ein Thema haben, schreiben Sie uns an kompass@isolar.de oder kontaktieren Sie Ihren ISOLAR® Partner vor Ort.

Herausgeber:
ISOLAR GLAS Beratung GmbH
Auf der Mauer 13
55481 Kirchberg
Tel.: +49 (0) 6763 521
www.isolar.de
Geschäftsführer: Dr. Klaus Huntebrinker
Vorsitzender des Aufsichtsrates:
Hans-Joachim Arnold
Ausgabe: 01/2017