

Isolierglaseinheiten nach ihrer Herstellung:

Einflußfaktoren bei der Austrocknung des Scheibenzwischenraumes

Dr. Fritz Kilthau und Dr. Horst Thamm

Durch Messung des zeitlichen Taupunkttemperaturverlaufes von Isolierglaseinheiten unmittelbar nach ihrer Herstellung wurde die Austrocknungsgeschwindigkeit des Scheibenzwischenraumes (SZR) untersucht. Hierbei standen die folgenden Parameter im Mittelpunkt: Anzahl und Größe der Perforationsöffnungen der Profile, Anzahl der mit Trocknungsmittel gefüllten Profelseiten, Position der gefüllten Profelseiten, Größe der Isolierglaseinheit, Argonfüllung des SZR und Typ des Trocknungsmittels. Aus den Testergebnissen ergeben sich Empfehlungen, wie eine schnelle Austrocknung des SZR erreicht werden kann.

Bei der Fertigung von luftgefüllten Isolierglaseinheiten wird zwangsläufig Feuchtigkeit im SZR eingeschlossen. Nach Versiegelung der Isolierglaseinheiten wird diese Feuchtigkeit von dem im Abstandhalter enthaltenen Trocknungsmittel aufgenommen. Dieser Prozeß nimmt einige Zeit in Anspruch: Die im SZR eingeschlossenen Wassermoleküle müssen

- zur Oberfläche der Profile diffundieren¹⁾,
- durch die Profilöffnungen in den Abstandhalter hineindiffundieren und
- vom Trocknungsmittel aufgenommen werden.

¹⁾ Diffusion ist der Transport von Atomen/Molekülen aufgrund von Konzentrationsunterschieden.

Häufig müssen Isolierglasscheiben unmittelbar nach ihrer Herstellung ausgeliefert werden. Hierbei kann es vorkommen, daß der Austrocknungsprozeß noch nicht abgeschlossen ist. Beim Transport der Scheibe zum Kunden kann dann in der kalten Jahreszeit, bei tiefen Außentemperaturen, die noch nicht vom Trocknungsmittel aufgenommene Feuchtigkeit an den Innenseiten der Glasscheiben kondensieren. Der Kunde wäre beim Anblick einer solchen Scheibe verunsichert, wenn nicht verärgert. Im ungünstigen Fall kann dieses Kondenswasser zur Fleckenbildung an den Glasoberflächen führen.

Um optimale Bedingungen für eine schnelle Austrocknung des SZR herauszufinden, wurden umfangreiche Taupunktmessungen an verschiedenen Isolierglassystemen unmittelbar nach Herstellung der Isolierglaseinheiten durchgeführt. Hierbei wurde der Einfluß der folgenden Parameter untersucht:

- Profiltyp (zwei unterschiedliche Profiltypen)
- Anzahl der mit Trocknungsmittel gefüllten Profelseiten (1-, 2- und 4-Seiten-Füllung)
- Lage der gefüllten Profelseiten relativ zueinander (angrenzend oder gegenüber)
- Größe der Isolierglaseinheit (60 × 60 cm, 100 × 100 cm und 200 × 200 cm)
- Argonfüllung
- Trocknungsmitteltyp (Molekularsieb, „Silica Gel“).

Experimentelles

Für jedes Isolierglassystem wurden mehrere identische Isolierglaseinheiten (vier bis zehn Einheiten pro System) hergestellt. An diesen Einheiten wurde nacheinander zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Herstellung der Einheiten der Taupunkt bestimmt. Die auf diese Weise in Abhängigkeit vom Zeitpunkt nach der Fertigung erhalte-

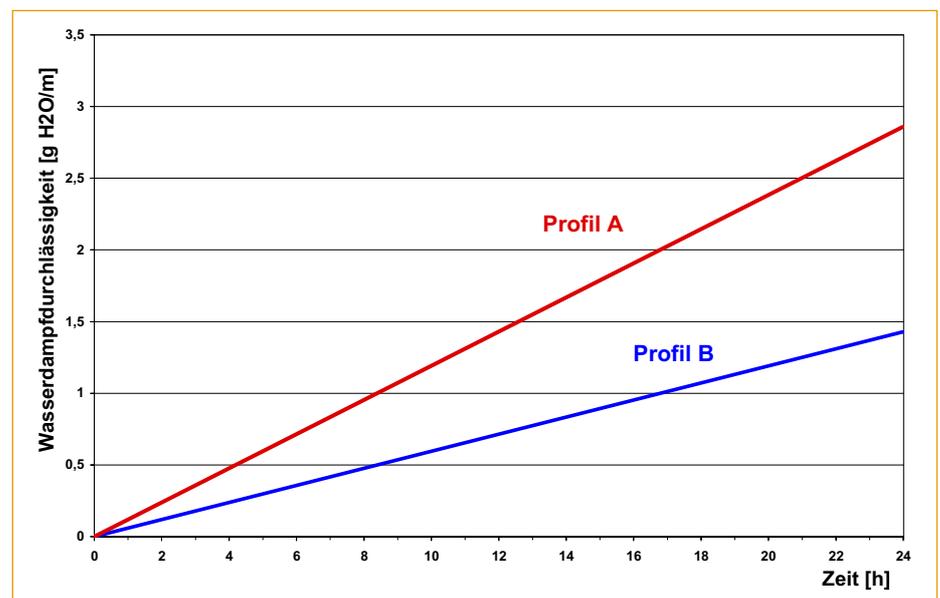


Bild 1: Wasserdampfdurchlässigkeit durch die Öffnungen zweier unterschiedlicher Profile

nen Taupunkttemperaturen ergeben die Austrocknungsgeschwindigkeit des SZR für das jeweilige System.

Eine Beschreibung der Methode der Taupunkttemperaturmessung ist im Entwurf der Europäischen Norm prEN 1279-2, Annex A [1], bzw. im Standard DIN 52 345 [2] gegeben.

Das Prinzip der Messung besteht darin, die Mitte einer Außenseite der Isolierglaseinheit solange langsam abzukühlen, bis an der Innenseite der Scheibe Taubildung auftritt. In der Praxis wird ein längsseitig halbmittler Plastikbecher mit „Butyl“ in der Scheibenmitte befestigt. Danach wird der Plastikbecher mit Ethanol oder Aceton gefüllt und ein Spiegel in der Flüssigkeit an der Glasoberfläche mit der Spiegelfläche zum SZR plaziert. Durch vorsichtiges Einbringen von festem Kohlendioxid in die Kühlflüssigkeit wird dann die Scheibenmitte langsam abgekühlt und gleichzeitig von der anderen Seite der Isolierglaseinheit der Spiegel beobachtet. Sobald im Spiegel erste Anzeichen für Kondensation im SZR erkennbar sind, wird die Temperatur der Kühlflüssigkeit notiert. Diese entspricht der Taupunkttemperatur der Isolierglaseinheit. Diese Taupunkttemperatur ist ein Maß für die Wasserkonzentration in der Isolierglaseinheit: Je niedriger die Taupunkttemperatur, desto trockener ist die im SZR enthaltene Luft bzw. das entsprechende Füllgas.

Austrocknungsgeschwindigkeiten – Ergebnisse

Der Einfluß des verwendeten Profiltyps:

Bei der Herstellung von Isolierglaseinheiten werden Profiltypen mit sehr unterschiedlichen Perforationen eingesetzt. Hierbei variieren sowohl die Anzahl als auch die Größen der Perforationslöcher in einem sehr weiten Bereich. Bei der Austrocknung des SZR diffundieren die Wassermoleküle durch diese Öffnungen zum Trocknungsmittel. Je geringer die Anzahl und je kleiner die Größe der Öffnungen, desto langsamer ist die Austrocknungsgeschwindigkeit. Zur Charakterisierung der Wasserdampfdurchlässigkeit

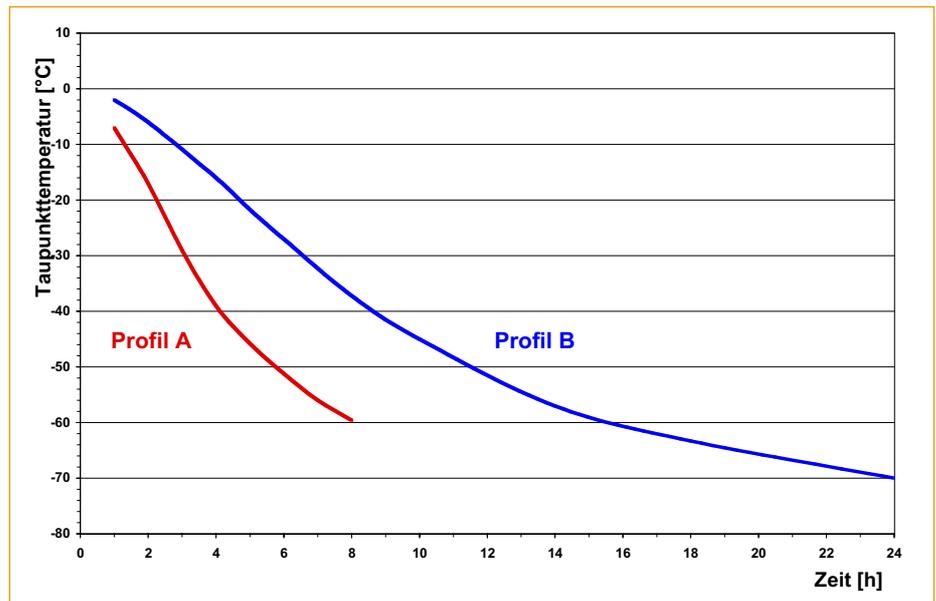


Bild 2: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß der Profilöffnungen (luftgefüllte Scheiben, 100 × 100 cm; Scheibenabstand 16 mm; zwei Seiten mit Molekularsieb gefüllt)

keit von Profilen wird im anwendungstechnischen Labor der Firma Grace der folgende Test durchgeführt: Das zu prüfende Profilstück wird mit Trocknungsmittel gefüllt, an beiden Enden mit „Butyl“ versiegelt und in einer Klimakammer bei 25 °C und 50 % relativer Feuchte gelagert. Je nach Wasserdampfdurchlässigkeit des Profilstückes wird das Trocknungsmittel mehr oder weniger Wasser aufnehmen. Die Wasserdampfdurchlässigkeit des Profilstückes kann quantitativ durch Wägung des Profilstückes in Abhängigkeit von der Lagerzeit in der Klimakammer bestimmt werden. (Ein derartiger Profilttest ist nicht nur von Bedeutung für die Bestimmung von Austrocknungsgeschwindigkeiten im SZR, sondern ist auch von Interesse bei der Abschätzung der zulässigen Lagerzeit von gefüllten Abstandhaltern während des Herstellungsprozesses von Isolierglaseinheiten. Profile mit einer hohen Wasserdampfdurchlässigkeit dürfen nicht lange gelagert werden, wenn ein schädlicher Anstieg der Wasservorbelastung des Trocknungsmittels und damit eine Verkürzung der Lebensdauer der Isolierglaseinheit vermieden werden soll.)

Bild 1 zeigt für zwei verschiedene Profile die Wasserdampfmenge, angegeben in g Wasser pro Meter Profillänge, die in Abhängigkeit von der Lagerzeit durch die Profilöffnungen diffundiert.

Das Austrocknungsverhalten von Isolierglaseinheiten, die mit diesen Profilen hergestellt wurden, ist in Bild 2 dargestellt. Wie erwartet, zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse eine relativ langsame Austrocknung des SZR für Profil B und eine schnelle Austrocknung der mit Profil A gefertigten Isolierglaseinheit. Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Profil A ist ungefähr doppelt so hoch wie die von Profil B. (Die Untersuchung einer großen Anzahl unterschiedlichster Profile im anwendungstechnischen Labor von Grace ergab, daß Profile mit einem breiten Spektrum von Wasserdampfdurchlässigkeiten angeboten werden: Dieser Bereich reicht von 0,18 g Wasser in 24 Stunden pro Meter Profillänge bis 2,9 g Wasser in 24 Stunden pro Meter Profillänge. Dies entspricht einem Verhältnis der Profildurchlässigkeiten von 1:16.)

Fazit: Um eine schnelle Austrocknung der Isolierglaseinheit zu erreichen, sollten Profile mit hoher Wasserdampfdurchlässigkeit eingesetzt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß die Lagerzeit vorgefüllter Profile während des Herstellungsprozesses der Isolierglaseinheiten kurz zu halten ist.

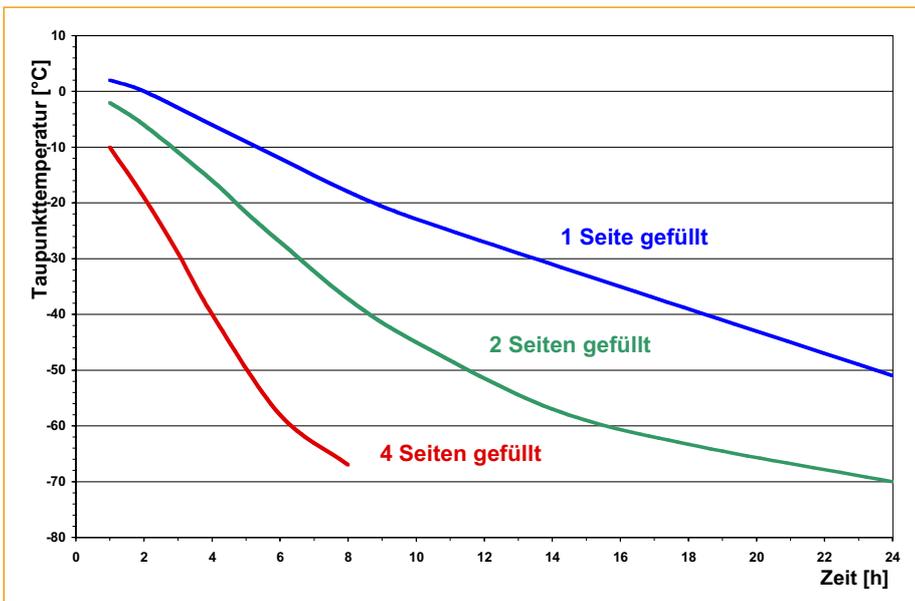


Bild 3: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß der Anzahl der gefüllten Seiten (luftgefüllte Scheiben; 100×100 cm; Scheibenabstand 16 mm; „langsames“ Profil; zwei Seiten mit Molekularsieb gefüllt)

Einfluß der Anzahl der mit Trocknungsmittel gefüllten Profilseiten:

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Austrocknungstests für Isolierglaseinheiten mit einer, mit zwei und mit vier gefüllten Profilseiten.

Im Fall der nur einseitig mit Trocknungsmittel gefüllten Isolierglaseinheit müssen alle im SZR befindlichen Wassermoleküle zu dieser Seite diffundieren. Dies führt zu einer relativ langsamen Austrocknung der Scheibe. Je mehr Seiten mit Trocknungsmittel gefüllt werden, desto kürzer werden die Diffusionswege und um so mehr Profilöffnungen können für den Wasserdampfdurchlaß genutzt werden – hierdurch wird eine schnellere Austrocknung des SZR erreicht.

Fazit: Um eine schnelle Austrocknung des SZR zu erreichen, müssen alle vier Profilseiten mit Trocknungsmittel gefüllt werden.

Einfluß der Größe der Isolierglaseinheit:

Je größer die Isolierglaseinheit, desto länger ist der Diffusionsweg für die Wassermoleküle vom SZR zum Profil. Dies führt mit zunehmender Scheibengröße zu einer langsameren Austrocknung des SZR. Die Testergebnisse für 60×60 cm, 100×100 cm und 200×200 cm große Isolierglaseinheiten bestätigen diese Abhängigkeit (Bild 4).

Fazit: Vor allem große Isolierglaseinheiten erfordern spezielle Vorichtsmaßnahmen, z. B. eine vierseitige Füllung mit Trocknungsmittel oder der Einsatz von „schnellen“ Profilen, wenn hohe Austrocknungsgeschwindigkeiten erforderlich sind.

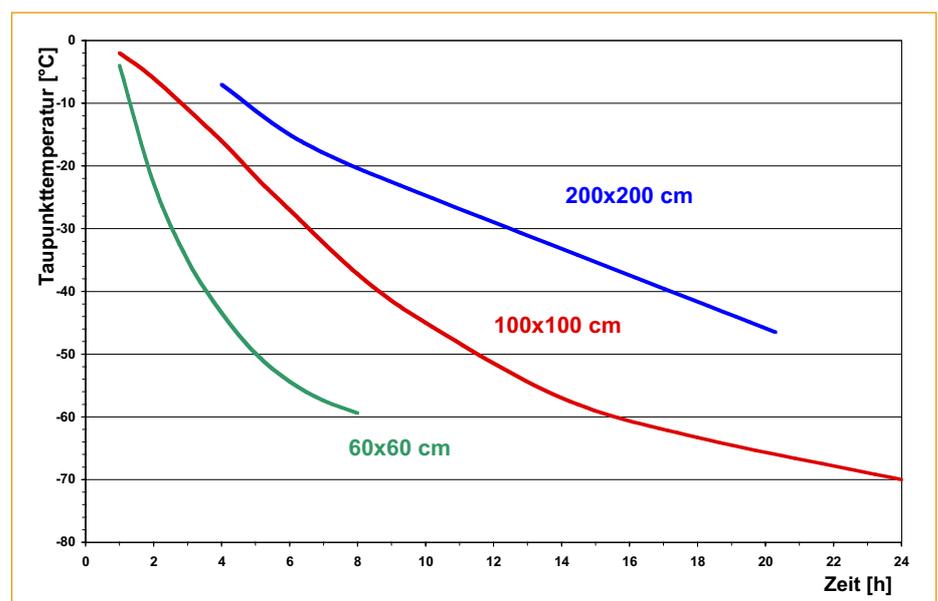


Bild 4: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß der Scheibengröße (luftgefüllte Scheiben, Scheibenabstand 16 mm; zwei Seiten mit Molekularsieb gefüllt; „langsames“ Profil für 60 und 100 cm lange Einheiten; Profil für 200 cm lange Einheit zeigt 50 % größere Wasserdampfdurchlässigkeit im Vergleich zum „langsamen“ Profil)

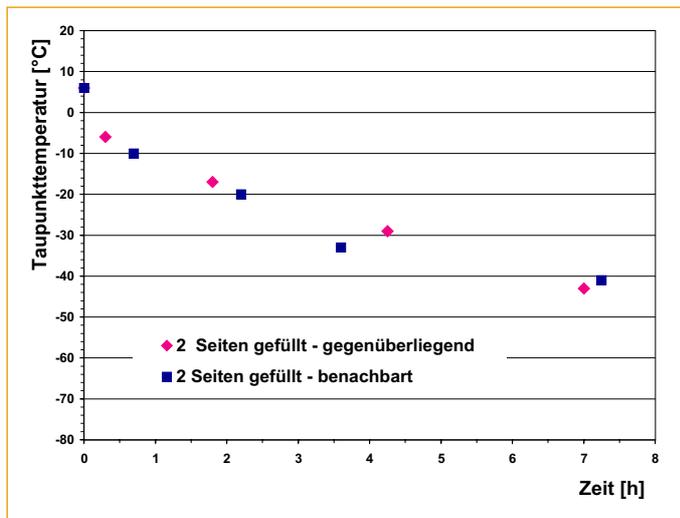
Einfluß der relativen Lage der gefüllten Profilseiten in der Isolierglaseinheit:

Sind in einer Isolierglaseinheit nur zwei Profilseiten mit Trocknungsmittel gefüllt, können die gefüllten Seiten aneinander grenzen bzw. einander gegenüber positioniert sein. Das Experiment zeigt für quadratische Scheiben keinen signifikanten Unterschied (Bild 5). Im Fall nicht-quadratischer Scheiben sollte jedoch ein Unterschied in der Austrocknungsgeschwindigkeit zu beobachten sein, denn je größer die Anzahl der Öffnungen der gefüllten Profile und je kürzer die Diffusionswege der Wassermoleküle zu den gefüllten Profilen, desto schneller ist die Austrocknungsgeschwindigkeit.

Einfluß der „Gasfüllung“:

Wird in einer Isolierglaseinheit die eingeschlossene Luft durch ein anderes Gas zur Verbesserung der Schall- oder Wärmedämmung ersetzt (z. B. Argon oder Argon/SF₆-Mischungen), so ist im allgemeinen schon von Anfang an der SZR sehr trocken, denn diese Gase werden bereits sehr trocken geliefert. Daher sind bereits unmittelbar nach Fertigung der Scheibe die Anfangstaupunkttemperaturen

Bild 5: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß der Position der gefüllten Profile (luftgefüllte Scheiben; 100 × 100 cm; Scheibenabstand 16 mm; „mittelschnelles“ Profil; zwei Seiten mit Molekularsieb gefüllt)



in diesen Isolierglaseinheiten verglichen mit luftgefüllten Scheiben sehr niedrig, vorausgesetzt, daß ein hoher Gasaustauschgrad erzielt wurde. Das in Bild 6 dargestellte Testergebnis bestätigt diese Aussage.

Fazit: Mit Argon oder Argon/SF6-Gemischen gefüllte Isolierglaseinheiten zeigen bereits unmittelbar nach ihrer Herstellung niedrige Taupunkttemperaturen.

Einfluß des Trocknungsmittels:

Üblicherweise wird heute in Isolierglaseinheiten ein Molekularsieb vom Typ 3A als Trocknungsmittel einge-

setzt. Dies ist ein Trocknungsmittel, das Wassermoleküle sehr stark bindet, jedoch Luft und die üblichen Dämmgase nicht adsorbiert.

Neben Molekularsieb 3A wird auch Silica Gel eingesetzt, überwiegend jedoch in Mischungen mit Molekularsieb zur Aufnahme von flüchtigen organischen Verbindungen („Anti-Fogging-Trocknungsmittel“). Bild 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Taupunkttemperaturen für Isolierglaseinheiten mit 100 % Molekularsieb 3A-Füllung und mit 100 % „Silica Gel“-Füllung. Bis zu Taupunkttemperaturen von -40 °C fallen die Austrocknungs-

geschwindigkeiten beider Scheiben nahezu zusammen. Darunter zeigt die mit „Silica Gel“ gefüllte Scheibe eine langsamere Austrocknungsgeschwindigkeit gegenüber der Scheibe mit Molekularsiebfüllung. Diese Abweichung erklärt sich aus der höheren Bindungskraft des Molekularsiebes gegenüber Wasser, verglichen mit „Silica Gel“. Hieraus ergibt sich beim Molekularsieb eine prinzipiell niedrigere Wasserdampfkonzentration im Profil als beim „Silica Gel“ und somit ein größerer Konzentrationsgradient zum SZR, der sich mit sinkenden Taupunkttemperaturen im SZR zunehmend auf die Austrocknungsgeschwindigkeit auswirkt.

In den meisten Fällen ist dieser Unterschied jedoch ohne praktische Bedeutung, da Außentemperaturen unterhalb -40 °C nur in wenigen Regionen auftreten.

Dr. Fritz Kilthau ist Leiter des weltweiten Technischen Kundendienstes für Adsorbentien (Technical Customer Service Manager Adsorbents) bei der Grace GmbH & Co. KG, Worms. Dr. Horst Thamm ist Referent Entwicklung und Anwendung Adsorbentien (Research Associate Adsorbents) im selben Unternehmen. Der Artikel basiert auf einem Vortrag, der bei den Glass Processing Days, Tampere, im Juni 2001 gehalten wurde.

An dieser Stelle muß auch darauf hingewiesen werden, daß die oben erwähnten, gelegentlich zum Einsatz kommenden „Anti-Fogging-Trocknungsmittelmischungen“ nur sehr geringe Anteile „Silica Gel“ enthalten, so daß in diesen Fällen praktisch keine Unterschiede im Austrocknungsverhalten zu reinen Molekularsieben zu beobachten sind.

Fazit: Molekularsieb und „Silica Gel“ zeigen in den meisten Einsatzfällen keine signifikanten Unterschiede im Austrocknungsverhalten im relevanten Temperaturbereich.

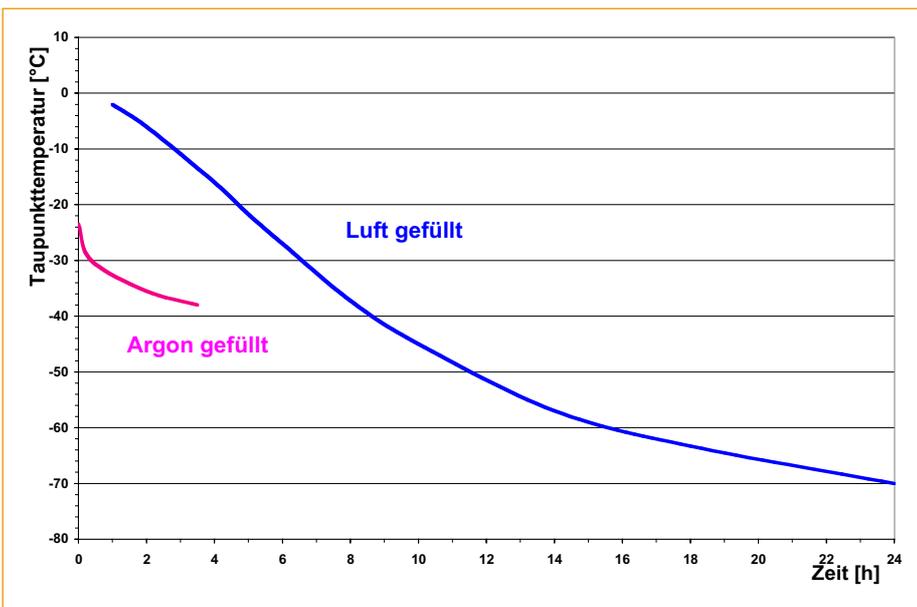


Bild 6: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß der Gasfüllung (100 × 100 cm; Scheibenabstand 16 mm; zwei Seiten mit Molekularsieb gefüllt; Argon gefüllte Einheit „sehr langsames“ Profil, luftgefüllte Einheit „langsames“ Profil)

Was tun bei luftgefüllten Isolierglaseinheiten?

Ist bei luftgefüllten Isolierglaseinheiten eine schnelle Austrocknung erforderlich, sollten die folgenden Punkte beachtet werden:

- Es sollten „schnelle“ Profile, d. h. Profile mit möglichst vielen und großen Perforationsöffnungen eingesetzt werden (aber: derartige Profile dürfen im gefüllten Zustand nur kurzzeitig gelagert werden).
- Es sollten alle vier Profilmitten mit Trocknungsmittel gefüllt werden.
- Beide Empfehlungen gelten besonders für große Isolierglaseinheiten.

„Gasgefüllte“ Isolierglaseinheiten ohne Kondensat

Isolierglaseinheiten, die mit Gasen wie z. B. Argon gefüllt sind, zeigen in der Regel bereits unmittelbar nach ihrer Fertigung hinreichend niedrige Taupunkttemperaturen, so daß sie auch im Winter schnell ausgeliefert werden können, ohne daß Kondensationserscheinungen zu erwarten sind.

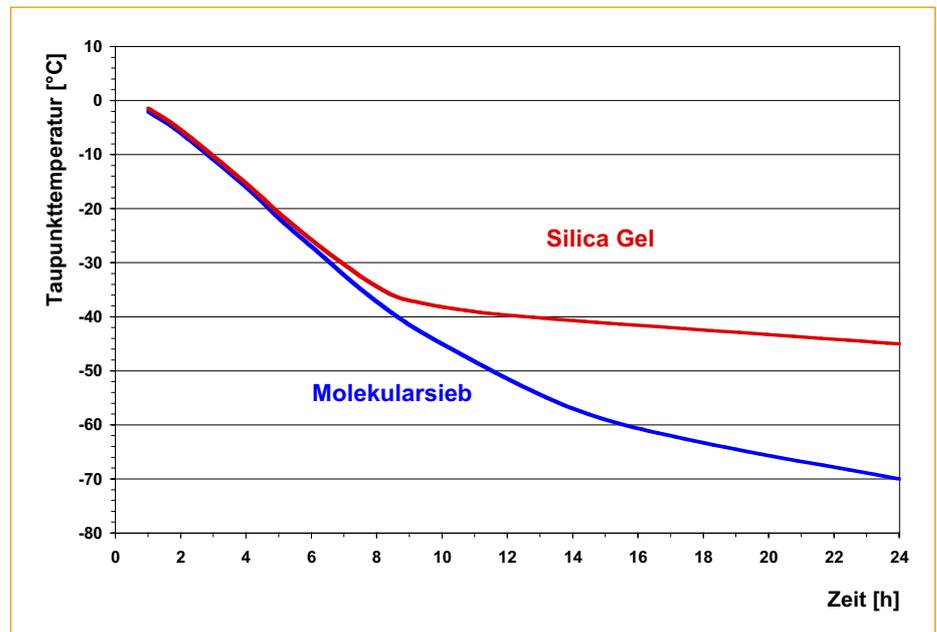


Bild 7: Austrocknungsgeschwindigkeit – Einfluß des Trocknungsmittels (luftgefüllte Scheiben; 100 × 100 cm; Scheibenabstand 16 mm; „langsame“ Profil; zwei Seiten gefüllt)

Literatur

- [1] Entwurf des Europäischen Standards prEN 1279-2, „Glass in Building/Insulating Glass Units/Part 2: Long term test method and requirements for moisture penetration“, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, Mai 2000
- [2] DIN 52 345 „Bestimmung der Taupunkttemperatur an Mehrscheiben-Isolierglas“, Normenausschuß Materialprüfung im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., April 1980

Die Autoren danken Andreas Herzog (Glas-Herzog, Waghäusel), Winfried Ullmann (Glas-kontor Bamberg, Bamberg) sowie Bernhard Heller (Grace GmbH & Co. KG, Worms) für ihre Unterstützung bei den Experimenten.