

## **Feuchtigkeit und Tauwasser im Falzraum von Metall- Glaskonstruktionen**

### **Auswirkung**

Der größte Schadensumfang bei Fassadenkonstruktionen resultiert aus mangelhafter Ausbildung der Profalfalträume. Die Schäden entstehen vorrangig an Einselementen wie Verglasungen und Paneelen.

Bei heute im Hochbau üblichen Metall- Glaskonstruktionen in senkrechter oder geneigter Form ist aus der Erfahrung heraus davon auszugehen, dass eine absolute Wasser- und Dampfdichtigkeit nicht zu erreichen ist.

Feuchtigkeit im Falzraum durch Niederschlagswasser tritt insbesondere dann häufig auf, wenn die äußere und/oder innere Dichtung durchbrochen wird oder Stoßstellen aufweist, wie z.B. bei Einsatz von äußerem Sonnenschutz- oder Seilsicherungssystemen. Nahezu unvermeidbar sind diese bei Trockendichtungssystemen mit regelmäßigen Profilstößen.

Hinzu kommt Tauwasser im Falz durch Luftundichtigkeiten zum Raum. Zunehmend hohe Anforderungen an den Wärmeschutz führen zu größerer Temperaturspreizung zwischen Innen- und Außenschalen von Profilen und damit zu erhöhtem Tauwasserrisiko bei Luftundichtigkeit zum Innenraum.

Der entstehende Schaden wirkt sich massiv ökologisch und ökonomisch aus.

Ökologisch zeigt sich der Schaden in erheblicher Minderung der Wärmedämmung des Einselementes und, damit verbunden, der Erhöhung des Heiz-Energieverbrauches und entsprechender Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Nicht erkannte Mängel erweisen sich innerhalb kurzer Zeit als Energieverschwender, welche die hohen Ziele der Energieeinsparverordnung auf die Dämmqualität vor Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung aus dem Jahre 1977 zurückwirft.

Der ökonomische Schaden äußert sich unmittelbar in erhöhtem Energieverbrauch, entsprechend erhöhten Energiekosten und langfristig in Sanierungskosten für zerstörte Bauteile. Der ökonomische Schaden kann deutlich über die ursprünglichen Erstellungskosten ansteigen.



Bild 1: Kondensatwasserbildung im Scheibenzwischenraum von Isolierverglasungen in einer Glasdachkonstruktion

## **Richtige Planung**

Moderne Fassaden- und Glasdachkonstruktionen, mit häufig komplizierten Geometrien, bedürfen damit einer sorgfältigen und qualifizierten Planung und entsprechender Ausführungsüberwachung. Am Ende erfordern sie eine sorgfältige Ausführung durch Fachunternehmen.

Die Schäden entstehen durch direkte Einwirkung von Feuchtigkeit und erhöhtem Dampfdruck im Falzraum, wodurch der Randverbund der Einselemente überbeansprucht und damit die Funktion beeinträchtigt wird. Vorhandene Feuchtigkeit bewirkt unter wechselnden Klimabedingungen die Diffusion über die vermeintlich gegen Feuchtigkeit geschützten Ränder in die Einselemente, wie Isolierglas und Paneele.



Bild 2: Kondensatwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche einer Isolierverglasung

Es ist also sicher zu stellen, dass kein dauerhafter oder lang anhaltender Wasserdampfdruck auf den Glasrand oder Paneelrand einwirkt. Diese eigentlich simple bauphysikalische Bedingung wurde bis heute oft missverstanden, so dass sich lediglich die Forderung nach Dampfdruckausgleich und Falzraumbelüftung in den Köpfen der „Fachleute“ festsetzte. Häufig herrscht noch die Meinung vor, dass eine Falzraumdrainage nicht gefordert und auch nicht notwendig sei, da die Normen als allgemein anerkannte Regeln der Technik und vermeintlich auch der Stand der Technik lediglich die Forderung nach einem Dampfdruckausgleich enthielte, Falzräume also nur zu belüften seien.

Immerhin hat sich der Grundsatz durchgesetzt:

### **„innen dichter als außen“**

Keineswegs ist der hierbei gedachte Diffusionswiderstand zwischen Innen und Außen bei einer Metall-Glaskonstruktion maßgeblich, auf den diese Formulierung zielt. Die Zeiten, in denen diese Forderung für die Diffusion galt sind im modernen Fassadenbau weitgehend passé, da es sich im Hochbau üblicherweise um Metall- und Glaskonstruktionen handelt, die in sich absolut dampfdicht sind. Die Formulierung gilt hinsichtlich Metall-Glaskonstruktionen vielmehr für die Luftdichtheit auf der Raumseite. Durch Diffusionsvorgänge entstehen in Metall-Glaskonstruktionen nur geringe Wassermengen. Die im Laufe einer Heizperiode durch Diffusion in Wandflächen eindringenden Wassermengen liegen in der Regel im Bereich weniger Gramm. Metall-Glaskonstruktionen, wie Warmfassaden sind wegen der eingesetzten Baustoffe mit hohem Diffusionswiderstand nahezu ungefährdet.

Durch ein kleines Loch im raumseitigen Dichtsystem von Fassadenkonstruktionen kann aber das zehnfache bis hundertfache durch Tauwasserausfall aus Raumluftdurchgang in den Falzraum entstehen. Diese Problematik steht in direktem Zusammenhang mit der Möglichkeit des Luftaustausches zwischen Raum und Außenklima, also der s.g. Luftdurchlässigkeit.

Schadensursache ist neben Undichtigkeiten in der äußeren Abdichtungsebene in der weit überwiegenden Zahl eine zu große Luftdurchlässigkeit der Konstruktion von innen.

Raumlufte von +22°C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit besitzt etwa 7,3 g Wasser je Kilogramm Luft bzw. etwa 9,5 g Wasser je Kubikmeter Luft. Gelangt diese Luft durch Undichtigkeit an kältere Profilflächen, z.B. von +5°C, fällt etwa 6 g Wasser je Kubikmeter Luft aus, da bei +5°C der absolute Feuchtegehalt bei einer gleichbleibenden relativen Luftfeuchtigkeit von 50% nicht über etwa 2,7 g Wasser je Kilogramm Luft, bzw. etwa 3,5 g Wasser je Kubikmeter Luft ansteigen kann. Geht man davon aus, dass die Konstruktion einen üblicherweise anzusetzenden a-Wert (Luftdurchlässigkeit) von  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}(10 \text{ Pa})^{2/3}$  aufweist, so würden hiermit unter vereinfachten Annahmen während einer Tauperiode von 60 Tagen (1.440 h) gemäß DIN 4108-3 etwa

$$\begin{aligned} X_{T,L} &\approx \text{Tauwasserausfall durch Luftdurchlässigkeit} \\ X_{T,L} &\approx \frac{6 \text{ g/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 1,35 \text{ m} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ Tage}}{1.000 \text{ g/l}} \\ X_{T,L} &\approx 20 \text{ l} \end{aligned}$$

an einem Fassadenelement von z.B. 1,35 m Breite und 3,5 m Höhe ausfallen.

Dagegen wirken sich im Vergleich falsch aufgebaute Paneelkonstruktionen harmlos aus. Während einer Tauperiode von 60 Tagen (1.440 h) fällt z.B. in einem Paneelaufbau – 8 mm Glas / 120 mm Wärmedämmung / 12 mm Faserzementplatte (von außen nach innen) – ohne raumseitige Dampfsperre eine Tauwassermenge  $[m_{W,T}]$  bedingt durch Dampfdiffusion von ca.  $0,18 \text{ kg/m}^2$  nach Glaser aus.

Geht man davon aus, dass das v.g. Fassadenelement mit 1,35 m Breite und 3,5 m Höhe üblicherweise eine Flächenverteilung von 1/3 Paneelfläche zu 2/3 Glasfläche aufweist, so würden hiermit unter vereinfachten Annahmen während der Tauperiode etwa

$$\begin{aligned} X_{T,D} &\approx \text{Tauwasserausfall durch Dampfdiffusion} \\ X_{T,D} &\approx \frac{0,18 \text{ kg/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 1,35 \text{ m}}{1 \text{ kg/l} \cdot 3} \\ X_{T,D} &\approx 0,28 \text{ l} \end{aligned}$$

an einem Fassadenelement ausfallen.

Aus diesen Betrachtungen lässt sich bereits ableiten, dass jegliche Feuchtigkeit aus den Falzräumen möglichst schnell und ungehindert abzuführen ist.

Da bei Riegelausbildungen diese Bedingung allein schon aus der Thematik der unvermeidbaren Durchbiegungen nicht oder nur sehr schwer erfüllt werden kann, unabhängig ob bei Vertikalfassaden oder flach geneigten Glaskonstruktionen, kommt der Falzraumbelüftung grundsätzlich eine besondere Bedeutung zu.

## **Normen und Richtlinien**

In den allgemein anerkannten Regeln der Technik für Verglasungsarbeiten DIN 18361:2002-12 wird unter Absatz 3.1.2 u. a. die Vorgabe gemacht, dass Außenverglasungen regendicht sein müssen.

Die Norm regelt weiter unter Absatz 3.3.2, dass bei Verglasungen mit Dichtprofilen im Falzraum Öffnungen zum Dampfdruckausgleich vorhanden sein müssen. Bei Dichtprofilen sind die Profilstöße dicht auszuführen.

Punkt 3.3.1 der Norm regelt, dass für Verglasungssysteme mit Dichtstoffen die DIN 18545-1 bis DIN 18545-3 „Abdichtung von Verglasungen mit Dichtstoffen gelten.“ Diese Norm gilt für Glasfalze in Fenstern, Fensterwänden und Türen zum Einbau von Verglasungseinheiten (Einfachglas oder Mehrscheiben-Isolierglas), wenn die Bauteile mindestens auf einer Seite dem Außenraum oder Freiluftklima nach DIN 50010 Teil 1 ausgesetzt sind.

Die VOB, DIN 18361:2002-12, Verglasungsarbeiten gibt damit in Verbindung mit DIN 18545 nur für die Falzraumgeometrie und die Öffnungen zum Dampfdruckausgleich Vorgaben.

Die wesentliche Tatsache der unvermeidlichen Undichtigkeiten der äußeren Dichtebene wird vergessen. Für besonders gefährdete Bereiche, wie geneigte Fassaden und Glasdachkonstruktionen fehlen die erforderlichen Konstruktionshinweise völlig.

Weiter weist die DIN 18361 unter Pkt. 3.1.5 darauf hin, dass der Auftragnehmer bei seiner Prüfung Bedenken insbesondere geltend zu machen hat bei Verglasungssystemen mit freiem Glasfalzraum, wenn Öffnungen zum Dampfdruckausgleich fehlen oder diese ungenügend bemessen sind. Vollkommen vernachlässigt werden in der zitierten Norm, wie auch deren aktuellen Version DIN 18361:2010-04 die notwendigen Maßnahmen zur Falzraumentwässerung.



Bild 3: Auswirkung einer mangelhaften Falzraumentwässerung

Die allgemein anerkannten Regeln der Technik bleiben hier weit hinter dem Stand der Technik zurück.

Maßgeblich ist an dieser Stelle die Berücksichtigung des Standes der Technik.

Als Stand der Technik ist hier, neben den bereits über zwanzig Jahren alten Montageanleitungen aller maßgeblichen Systemhersteller zur Erzielung kaskadenförmiger Falzraumentwässerungen der Kommentar zur VOB Teil C und so u.a auch zur DIN 18361 aus Sicht der Autoren anzusehen.

Hierbei wird insbesondere auf den Beck'schen VOB-Kommentar zur VOB Teil C, herausgegeben von Englert-Katzenbach-Motzke, Verlag C.H. Beck – Beuth-Verlag (2. Auflage, Ausgabe 2008 – ISBN Beuth 978 3 410 16723 5) Bezug genommen.

In DIN 18361:2002-12 – Verglasungsarbeiten – wird unter Absatz 3.1.2 angemerkt:

*„Außenverglasungen müssen regendicht sein... „*

Im Beck'schen Kommentar wird hierzu ausgeführt:

*„Die Forderung an die **Regendichtheit** von Außenverglasungen muss insofern relativiert werden, als eine absolute Dichtheit der Verbindung zwischen Glas und Rahmen nur bei der Abdichtung mit Dichtstoff erreichbar und notwendig ist.(.....)  
**Bei Verglasungen mit Dichtprofilen ist die absolute Dichtheit nicht erreichbar** und auch deshalb nicht notwendig, weil bei Wassereintritt, der bei hoher Wind- und Regenbeanspruchung stattfindet, nur eine vorübergehende Beeinträchtigung gegeben ist. (.....)  
**Die vorübergehende Beeinträchtigung der Schlagregendichtheit ist insbesondere bei Fassaden eine Konstruktionsvorgabe, da sichergestellt sein***

*muss, dass eintretendes Niederschlagswasser kontrolliert abgeleitet wird. Kontrolliert abgeleitet heißt, dass sich innerhalb der Konstruktion kein Wasser ansammeln darf, welches zu Schäden führt. Es darf auch kein Wasser zur Raumseite durchtreten.“*

Hier ist zumindest schon einmal die Drainage und nicht nur die Belüftung genannt.

Lediglich in der DIN 18360:2002-12 – Metallbauarbeiten – wie auch in der aktuellen Version DIN 18360:2010-04 wird in Absatz 3.1.2.8 definitiv ausgeführt, dass

*„Niederschlags- und Tauwasser durch konstruktive Maßnahmen abzuleiten sind.“*

Im Beck'schen Kommentar wird dazu ausgeführt:

**„Niederschlagwasser** ist durch Ausbildung eines entsprechenden Gefälles, durch Wetterschenkel oder Schwellen abzuleiten.  
**Tauwasser**, das sich innerhalb der Konstruktionen bildet, ist durch eine **Drainage** nach außen abzuleiten.“

Ein Gefälle dient grundsätzlich dazu, fließendes Wasser aus Niederschlägen an kritischen Stellen möglichst schnell vorbei zu führen und stehendes Wasser zu vermeiden.

Kommt Wasser in flüssiger Form einmal in den Falzraum hinein, ist es nur schwer wieder abzuführen.

Das gilt insbesondere für Feuchtigkeit in horizontal verlaufenden Falzräumen wie nahezu allen Riegelprofilen aufgrund der unvermeidbaren Durchbiegungen.



Bild 4: Glasdachkonstruktion mit mangelhafter Falzraumtzwässerung im flach geneigten Dachbereich

Besonders gefährdet hinsichtlich der Entstehung von Schäden ist hier die von Architekten oft gestalterisch unabdingbare Forderung nach flach geneigten Dächern. Führt die zulässige Konstruktionsdurchbiegung zu Tiefpunkten der Profalfalzräume, die durch die Dachneigung nicht mehr zum Abfließen des Wassers führt, dann nützen auch die besten Entwässerungs- und Dampfdruckausgleichsöffnungen nichts mehr.

Deutlicher wird da schon der Kommentar zur Verglasung.

DIN 18361:2002-12 - Verglasungsarbeiten – wie auch die aktuellen Version DIN 18361:2010-04 weist unter Punkt 3.1.5 darauf hin, dass der Auftragnehmer bei seiner Prüfung insbesondere dann Bedenken geltend zu machen hat,

*„bei Verglasungssystemen ohne ausgefüllten Glasfalzraum, wenn Öffnungen zum Dampfdruckausgleich fehlen oder ungenügend bemessen sind.“*

Im Beck'schen VOB-Kommentar wird dazu ausgeführt:

*„Die Ausführung von Verglasungen ohne ausgefüllten Falzraum ist heute Stand der Technik. (...)  
Der freie Falzraum ist insbesondere bei Mehrscheiben-Isolierglas notwendig, um die Belastung des Randverbundes zu minimieren. (...)  
Die Öffnung des Glasfalzes sollte grundsätzlich so gestaltet sein, dass der Falz im tiefsten und im höchsten Punkt geöffnet wird.“*

*Bei Fenstern reicht es in der Regel aus, wenn die Öffnungen im unteren Bereich vorhanden sind. (.....)*

*Mit der Forderung zum Öffnen des Glasfalzes zur Außenseite ist die Abdichtung zur Raumseite verbunden, um den Eintritt von feuchter, warmer Raumluft zu verhindern. (.....)*

Als Faustformel kann hier gelten, dass die Öffnungen zur Außenseite bei Bohrungen einen Durchmesser von mindestens 8 mm haben sollen und bei Schlitzen mindestens eine Größe von 4 x 20 mm aufweisen sollen“

Die Norm regelt weiter unter Absatz 3.3.2, dass bei Verglasungen mit Dichtprofilen im Falzraum Öffnungen zum Dampfdruckausgleich vorhanden sein müssen. Bei Dichtprofilen sind die Profilstöße dicht auszuführen.

Im Beck'schen VOB-Kommentar wird dazu ausgeführt:

*„Die Forderung, dass bei Verglasungen mit Dichtprofilen der Falzraum zur Außenseite geöffnet werden muss, gilt für alle Verglasungen, bei denen der Falzraum nicht ausgefüllt ist.*

***Sie gilt damit auch für die Verglasung mit Dichtstoffen.***

*Die Forderung, dass Profile dicht sein müssen, ist berechtigt, wobei die Ausführung auf das System abgestimmt sein muss. Dies gilt nicht nur für Fenster, sondern auch für Fensterwände, Fassaden und Wintergärten.“*

Die Normen sind nicht die Handlungs- und Denkanweisung und schon gar nicht der Freibrief für mangelfreies Bauen. Die Normen drücken sich trotz der vorliegenden Aktualisierung ungenau und ungenügend aus. Arbeitet man nach diesen Normen, werden die häufigsten Planungs- und Ausführungsfehler keinesfalls vermieden.

Aber auch der Stand der Technik ist hier nicht ohne das fachliche Nachdenken einfach zu übernehmen. Was heißt z.B. dichtstofffreier Falzraum angesichts der Klimzüge zur Erreichung niedriger Rahmen-U-Werte? Falzräume werden heute zur Erreichung niedriger U-Werte z.B. mit Schaumstoffprofilen fast vollständig ausgefüllt. Das kann nur schadensfrei funktionieren, wenn ausreichender Freiraum verbleibt. Andernfalls entstehen bereits nach relativ kurzer Zeit solche Bilder:



Bild 5: Zerstörende Korrosion durch Wärmedämmung im Falzraum

## Fazit

Die vorstehenden Ausführungen zeigen aus Sicht der Autoren eindeutig auf, dass die anerkannten Regeln der Technik in Form der DIN 18360 sowie der DIN 18361 keineswegs geeignet sind, die eingangs erwähnten ökologischen sowie ökonomischen Schäden bei Fassadenkonstruktionen durch Feuchtigkeit im Falzraum sicher auszuschließen.

Da die Erfahrung gezeigt hat, dass eine absolute Wasser- und Dampfdichtigkeit bei Metall- Glaskonstruktionen in senkrechter oder geneigter Form nicht zu erreichen ist, muss Feuchtigkeit im Falzraum, resultierend aus Niederschlagwasser und Tauwasser grundsätzlich möglichst schnell und ungehindert nach außen abgeführt werden können.

Bei Konstruktionen mit einer Neigung von  $\geq 10^\circ$  sind die hieraus resultierenden konstruktiven- wie auch bauphysikalischen Anforderungen aus Sicht der Autoren leichter und überwiegend mit bestehenden Profilsystemen relativ problemlos zu lösen. Konstruktionen mit einer Neigung unter  $10^\circ$  sind aus Sicht der Autoren technisch zulässig, erfordern aber ein zunehmend hohes Maß an Planungs- und Ausführungsqualität.

Je flacher Konstruktionen ausgeführt und/oder hohe Wärmeschutzanforderungen gestellt werden, umso eingehender muss die konstruktive Lösung mit ingenieurtechnischen Methoden untersucht und die ungehinderte und schnelle Abführung von Feuchtigkeit im Falzraum nach außen sichergestellt werden.

Ein verschließen der Falzräume mit Schaumstoffen ist aus Sicht der Autoren dahingehend kontra produktiv.

Kann die im Falzraum anfallende Wassermenge nicht vollständig über Entwässerungsöffnungen wieder nach außen abgeführt werden, so muss die im Falzraum verbleibende Wassermenge über eine wirksame Belüftung des Falzraums wieder nach außen gelangen können. Das darf durch Verfüllung mit Schaumstoffprofilen nicht behindert werden.

Eine einseitige Belüftung der Falzräume ist aufgrund der nicht möglichen Luftströmung bzw. des nur bedingt möglichen Luftaustauschs relativ unwirksam.

Wirksam kann im Falzraum verbliebene Feuchtigkeit nur durch eine Belüftung abgeführt werden, wenn Zu- und Abluftöffnungen zum Falzraum zur Sicherstellung einer kontrollierten Luftströmung vorhanden sind.