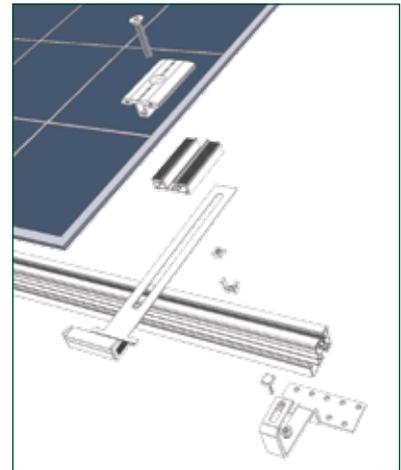


Laminatmontage

Allgemeine Hinweise



Für die Befestigung von Laminatmodulen existieren generell keine allgemeingültigen Vorgaben. Aufgrund der Vielfalt unterschiedlicher Typen ist es nicht möglich, allgemeingültige Montagevorschriften zu erstellen; auch eine Normung der mechanischen Schnittstellen ist hier in naher Zukunft nicht zu erwarten.

Bei der Verwendung von Laminatmodulen obliegt es deshalb der **Sorgfaltspflicht** des verantwortlichen Installateurs, vom Modulhersteller die entsprechenden **Montagevorschriften** schriftlich anzufordern und bei der Anlagenplanung zu berücksichtigen:

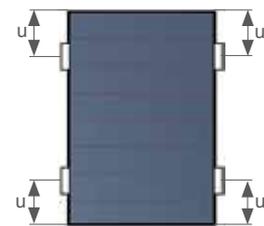
- Freigabe für die Verwendung der geplanten Klemmenbaureihe
 - IEC-Zulassung des betreffenden Modules inclusive mechanischer Belastungsprüfung
 - Angaben zu geprüften und zertifizierten Flächenlasten
 - Generelle Freigabe für punktförmige Lagerung
 - Eindeutige Montagevorschriften für das Modul
-
- Verbaut der Installateur Laminatmodule ohne diese Angaben, so übernimmt er damit eigenverantwortlich die komplette Anlagengewährleistung bei eventuellen Modulschäden und kann die Abwicklung in einem Schadensfall nicht an den Modulhersteller weitergeben.
 - Generell ist nicht jedes Laminatmodul für eine punktförmige Befestigung mit Klemmen geeignet! Durch die Flächenbelastung entstehen in Abhängigkeit von der Anordnung der Auflagepunkte Spannungen im Glas. Deshalb muß der Hersteller die punktförmige Befestigung generell freigeben und auch die zulässige Lage der Aufnahmepunkte für eine ordnungsgemäße Befestigung vorgeben.
 - Das verwendete Modul muß generell für die am Montageort auftretenden Flächenlasten geeignet sein. Der Installateur muß die zulässigen Flächenlasten des Modules mit den tatsächlichen Lasten am Installationsort vergleichen.
 - In diesem Zusammenhang ist auch besonders zu erwähnen, dass viele ungerahmte Module nicht als echtes Laminatmodul gesondert zur IEC-Prüfung vorgestellt werden, sondern oft nur „ohne Rahmen verkaufte Standardmodule“ sind. Oftmals existiert auch kein offizielles Datenblatt des ungerahmten Modules. Solche Module wurden in ungerahmter Ausführung oft keinerlei mechanischen Belastungstests gemäß IEC unterzogen und können somit u.U. größeren mechanischen Belastungen nicht standhalten.

1 Montageformen - Technische Details

Bei der Zulassung nach IEC 61215 bzw. IEC 61646 werden Module üblicherweise mit einer Flächenlast von 2400 Pa (entspricht 2,40 kN/m² oder ca. 240kg/m²) beaufschlagt. Dass diese Flächenlast bei der Montage von Modulen in Gebieten mit höheren Schneelasten überschritten wird, wird oftmals nicht beachtet. Bei der IEC-Prüfung wird optional auch eine größere Prüflast von 5400 Pa empfohlen, jedoch nicht zwingend vorgeschrieben.

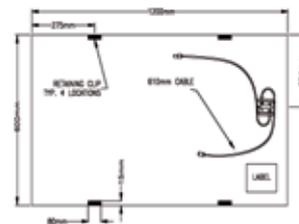
Die Prüflasten sind in die Praxis nur dann übertragbar, wenn die Module am Dach auch gemäß den Prüfbedingungen verbaut werden; aus diesem Grunde muß der Modulhersteller die Vorgaben für die Befestigung am Dach angeben.

Bei gerahmten Modulen reicht es im allgemeinen aus, die zulässigen Bereiche des Modulrahmens anzugeben, in denen die Modulklemmen bzw. die Querträgerschienen zu positionieren sind. Die Gewährleistung des Modulherstellers gilt bei ordnungsgemäßer Befestigung dann i.a. für örtliche Normschneelasten unterhalb der Prüflast (strenggenommen sind die verschiedenen Fälle der Lastüberlagerung von Wind und Schnee zu berücksichtigen).



162mm/6,4inches $\leq u \leq$ 393mm/15,5inches
Modulmontagevorschrift
Beispiel für ein **gerahmtes** Modul

Bei ungerahmten Modulen sind die statischen Besonderheiten der verschiedenen Modulverbände (Doppelglas, Glas-EVA, Glas-Dünnschicht usw.) maßgebend, so dass die Befestigungsart und auch die zulässige Art der Klemmung (z.B. Klemmenabstände, schwimmende oder feste Klemmung usw.) genau im Detail definiert werden muß. Nur dann sind auch hier die realen Lastbedingungen mit den Prüfbedingungen vergleichbar.



"center point of the clip shall be located between 250mm and 300mm"
Modulmontagevorschrift
Beispiel für ein **ungerahmtes** Modul

2 Klemmenbauformen

Die zwei Klemmenbauformen Laminat Eco und Laminat Profi stehen für unterschiedliche Anforderungen bzw. unterschiedliche Optimierungen bei der Laminatbefestigung:

Laminat Eco

Die Klemmenbauform „Laminat Eco“ steht für verschiedene Moduldicken (4, 6, 8mm) zur Verfügung. Bei passender Abstimmung ist das Modul schwimmend (ohne größere Pressung) in der Klemme geführt. Bei senkrechter Montage muß das Modul gegen Abrutschen anderweitig gesichert werden (Sicherheitshaken). Die Pressung des Modules in der Klemme ist bei geeigneter Abstimmung unabhängig vom Anzugsmoment der Schraube; Soll-Anzugsmoment ist ca. 15 bis 20 Nm.



Die Abstimmung der Klemmenbauform zur Moduldicke muß der Installateur oder Planer vornehmen, dabei sind insbesondere auch Dickentoleranzen des Modules zu berücksichtigen.

- Durch die Bauform mit Mittelnut kann die verwendete Imbus-schraube auch mit einer Diebstahlsicherung versehen werden, da die Schraube nicht mit einer Zange gelöst werden kann.
- Die Laminatklemme Eco ist auf eine spiellose Führung ausgelegt, das Laminat wird (bei entsprechender Dicke) nicht gepresst!
- Die Klemme hat **kein Unterteil**, das Modul stützt sich über den EPDM-Gummi direkt auf der Schiene oder auf dem untergelegten Sicherheitshaken ab
- Da kein Unterteil verwendet wird, muß auch die Mindestbreite der Auflageschiene vom Modulhersteller freigegeben werden; auf Wunsch kann optional auch eine untere Auflageplatte mitgeliefert werden.



Beispiel Prüffertifikat

Laminat Profi

Die Klemmenbauform „Laminat Profi“ ist für Moduldicken von 3 bis 14mm (durchgehend) geeignet. **Eine zuverlässige Modulmontage ist aber bei dieser variablen Klemmenbauform wesentlich von der Montagequalität abhängig:**



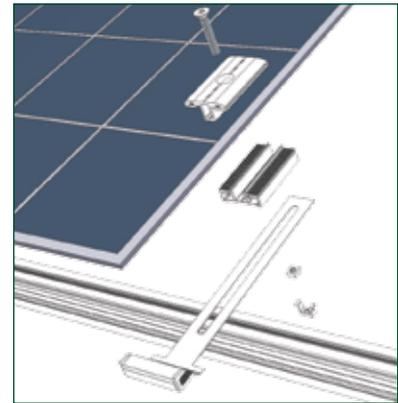
- Die Pressung des Modules hängt zu 100% vom Anzugsmoment der Schraube ab! Das Anzugsmoment und der zulässige Pressdruck ist deshalb mit dem Modulhersteller abzustimmen.
- Die Module sind allseitig, auch an der Stirnkante in EPDM-Gummi geführt; bei der Montage ist allerdings darauf zu achten, dass das Modul auch richtig in die Klemmen eingelegt wird (sh. auch Bild).
- Im Gegensatz zu einfachen Edelstahlklemmen, in denen die Module nur eingelegt werden, ist durch die Klemmung auch Windsogsicherheit gewährleistet.
- Die Mittelklemme ist für Module von 3 bis 14mm geeignet. Am Ende der Modulreihe schließt eine analog konstruierte Endklemme die Modulreihe ab. Die Klemmen stehen generell in zwei verschiedenen Bauformen für Glaseinstände von 11mm oder 15mm zur Verfügung.



3 Abrutschsicherung

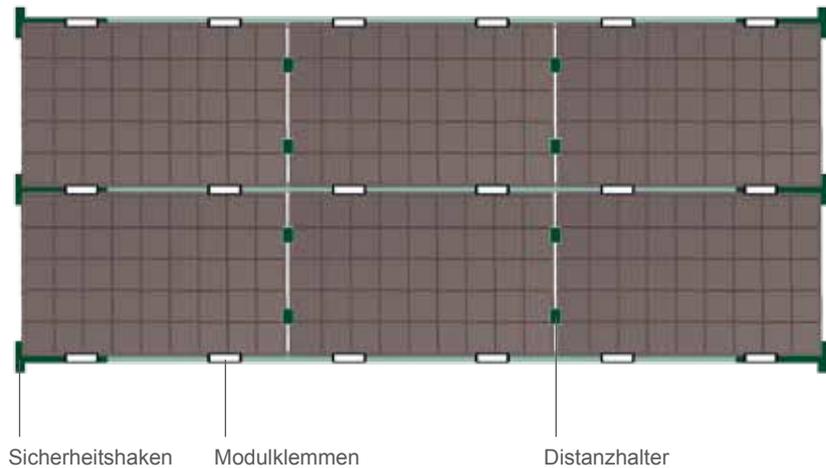
Bei allen Arten von Klemmen für ungerahmte Module kann das Modul alleine durch die Klemmung nicht gegen Abrutschen gesichert werden. Bei senkrechter Montage wird deshalb das Modul meist mit sog. Sicherheitshaken gegen Abrutschen gesichert.

Alternativ kann das Modul auch durch Montage an senkrechten Schienen direkt durch die Modulklemmen am Abrutschen gesichert werden; in diesen Fällen ist zu prüfen, ob die Klemmwirkung der verwendeten Klemmen reicht, um seitliche Verschiebung z.B. durch Windkräfte zu verhindern, ggfs. sind die Module gegen seitliche Verschiebungen zusätzlich zu sichern.



Beispiel: Montage mit Sicherheitshaken

Auch bei horizontal angeordneten Modulen kann es durch thermische Längenausdehnung der Profile zu einem Wandern der Module kommen. Um dies zu verhindern sollten Modulfeldgrößen von über 10m Länge vermieden werden. Wir empfehlen die Module durch Distanzhalter und Sicherheitshaken (siehe Schema) zu sichern.



4 Modulklemmung - charakteristische Daten

Bei **gerahmten** Modulen ist es meist möglich, die Klemmgeometrie des Moduls verbindlich anzugeben und dadurch systemunabhängige Schnittstellen zwischen Modul und Montagesystemen zu schaffen. Sehr viel anspruchsvoller ist dagegen die Schnittstellendefinition bei ungerahmten Modulen, da hier der Abstimmung zwischen Montagesystem und Modul eine sehr viel höhere Bedeutung zukommt und für eine richtige Systemauslegung sehr viele Parameter maßgeblich sind.

Die vorliegende Zusammenstellung soll im Sinne einer Checkliste der zu definierenden Parameter eine gute Abstimmung zwischen Modul und Montagesystem ermöglichen und die zu definierenden Schnittstellen und Vorgaben aufzeigen.

Moduldicke

Die Laminatklemme ist so auszuwählen, dass die Klemmgeometrie grundsätzlich zur Moduldicke passt. Dies ist bei zweiteiligen Modulklemmen (Laminat Profi, sh. Punkt 2) i.a. in einem weiten Bereich der Fall, allerdings mit dem Nachteil, dass die Klemmung des Moduls vom Anzugsmoment der Schraube abhängig ist und dadurch unzulässige Klemmzustände entstehen können.

Bei einteiligen Laminatklemmen (Laminat Eco, sh. Punkt 2) ist die Montagequalität praktisch unabhängig vom Anzugsmoment der Schraube; für jede Moduldicke ist aber eine spezifische Ausführung der Klemme notwendig. Einen Sonderfall stellen Klemmen ohne Schraubverbindung dar; hier liegt i.a. dieselbe Geometrie vor wie bei einteiligen geschraubten Laminatklemmen.

Dickentoleranz

Bei der Auswahl der Klemmen für das jeweilige Modul sind neben dem Nenn-Dickenmaß auch die Toleranzen der Klemme und der Module zu berücksichtigen.

Gewünschte Klemmung (schwimmend oder leicht gefasst)

Grundsätzlich sollte das Modul bei der Klemmung rundum in Gummi gefasst sein und an keiner Stelle auch bei bestimmungsgemäßer Verformungen Kontakt zu Metallteilen haben. Zu verwenden ist i.a. UV-beständiger EPDM-Gummi. In Abhängigkeit von der statischen Berechnungsmethode des Glasmoduls ist auszuwählen, ob das Modul im Gummi elastisch geklemmt werden soll (wenn ja, mit welcher Kraft), oder ob eine definierte „Mindest-Luft“ einzuhalten ist (schwimmende Lagerung).

Toleranz gegenüber Fehlstellung der Klemmen

Bei der Lagerung und Klemmgeometrie sind auch leichte Fehlstellungen der Klemmen (Abweichung in der Flucht der Module) zu tolerieren, die aufgrund von Dachunebenheiten zustande kommen können.

Sind solche Unparallelitäten generell für die Modullagerung nicht akzeptabel, so ist

- a) eine Prüfmethode festzulegen, die dem Installateur vorgeschrieben wird
- oder b) ein Kreuzschienensystem generell vorzuschreiben

Gummi-Härte

Sollte im Rahmen der Klemmen-Zertifizierung betrachtet werden.

Länge der Klemmen (Einspannlänge)

Auch die Einspann-Länge im Zusammenhang mit allen anderen Faktoren ist von seiten des Modulherstellers zu definieren. Große Einspannlängen ergeben minimale Flächendrücke im Klemm-bereich und geringe Spannungen. Gleichzeitig behindern aber große Einspannlängen die Verformung des Moduls und können damit zu Spannungsspitzen führen. Das Optimum ist anhand der Modulstatik zu ermitteln.

Ausführung obere Einspannkante

Eine geeignete „weiche“ Ausführung der oberen Einspannkante der Modulklemme kann helfen, Spannungsspitzen bei Modulverformung zu begrenzen.

Einspanntiefe für Zugbelastung (obere Einspanntiefe)

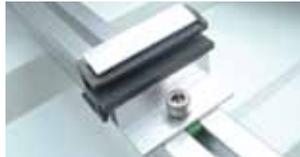
Die Einspanntiefe ist zu definieren. Große Einspanntiefen begrenzen Flächendruck und Spannungen, können aber gleichzeitig in die aktive Modulfläche hineinragen bzw. diese beschatten.

Einspanntiefe und Einspannlänge für Druckbelastung (untere Auflagefläche)

Auch hier ist die Einspanntiefe zu definieren. Durch eine unsymmetrische Ausführung der Klemmgummis kann auf der Unterseite der Klemme u.U. eine größere Einspanntiefe erreicht werden als oben. Bei Druckbelastung ist nicht nur die unter der Modulfläche liegende Gummifläche maßgeblich, sondern bei einteiligen Klemmen insbesondere die darunter liegende Auflagefläche. So ist z.B. bei einteiligen Klemmen, die senkrecht auf dem Trägerprofil verbaut werden, die minimale Breite des Querträgers zu definieren.



Beispiel einteilige Klemme mit Unterlegplatte



Beispiel einteilige Klemme senkrecht zur Trägerschiene

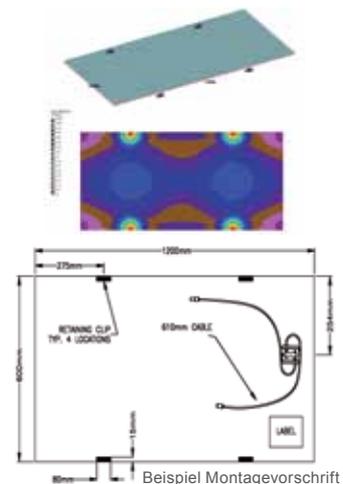
5 Klemmgeometrie – charakteristische Daten

Rechteckige Module werden üblicherweise so eingespannt, dass sich die Klemmen an den langen Seiten des Moduls befinden. Durch flächige Belastung des Moduls (Sog und/oder Druck) ergibt sich daraus ein dreidimensionales Verformungs- und Spannungsbild.

a) Biegelinie in Richtung Modulhöhe

Die Optimale Position der Klemmen ist so zu bestimmen, dass in Modul-Längsrichtung ein optimales Verformungsbild mit **minimierten Spannungsspitzen** entsteht (Vorgabe Modulhersteller). Dies ist im Regelfall rechnerisch zu ermitteln.

Zusätzlich zur optimalen Position sollte auch ein Toleranzbereich mit angegeben werden, der für die Klemmposition einzuhalten ist.

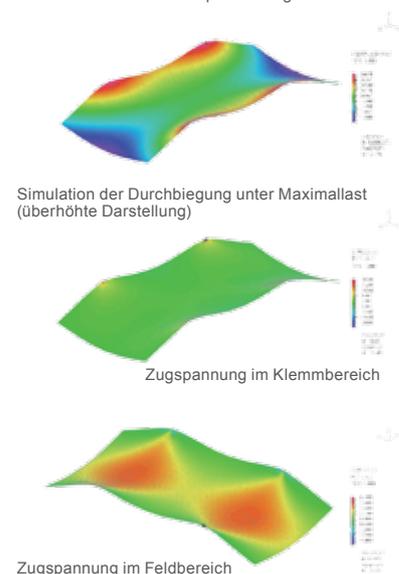


Beispiel Montagevorschrift

b) Biegelinie in Richtung Modulbreite

Die Biegelinie in Richtung der Modulbreite definiert im Allgemeinen die maximal mögliche bzw. sinnvolle Modulgröße bei gegebener Glasdicke und bei einer definierten Maximalbelastung (sh. auch Abschnitt Modulprüfung).

Da bezüglich Sogbelastung die Module nur an den Rändern abgestützt werden können, ergibt sich damit eine technologische Begrenzung der Modulgröße. Eine Änderung dieser maximal zulässigen Modulgröße bei gegebenen Flächenbelastungen ist nur möglich, wenn die Glasdicke und/oder Glasqualität entsprechend angepasst werden. Aus diesem Grunde ist i.a. auch eine wirtschaftliche Maximalgröße der Module definiert, auch wenn die Produktionskosten bei größeren Modulen natürlich grundsätzlich niedriger sind.

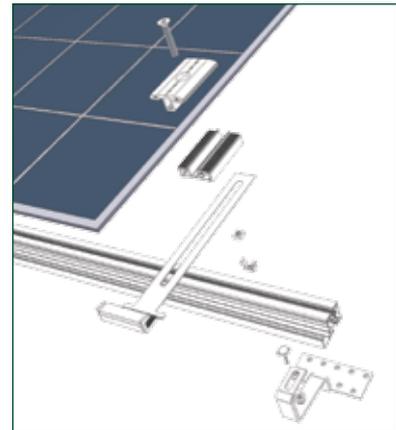


6 Klemmgeometrie – Anordnung

In Abhängigkeit von der Modulbelastbarkeit sind verschiedene Montagefälle möglich oder u.U. auch auszuschließen.

- **Senkrecht ohne Abrutschsicherung**
- **Senkrecht mit Abrutschsicherung**

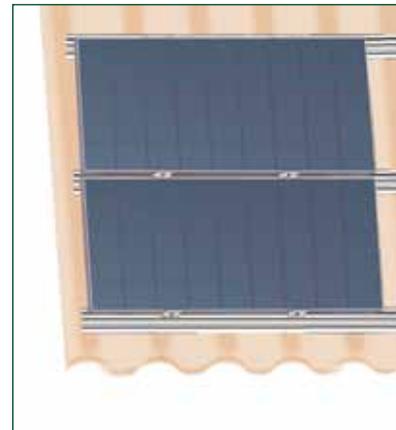
Wird das Modul senkrecht verbaut, so ist i.a. eine Abrutschsicherung normalerweise wegen der Hangabtriebskräfte erforderlich. Es ist zu beachten, dass an den Modul-Stirnseiten große Flächendrücke entstehen können. Bei sehr flachen Dächern kann (in Abhängigkeit von der Abstimmung Klemme – Modul) u.U. auf eine Abrutschsicherung verzichtet werden.



Laminatmontage senkrecht mit Abrutschsicherung

- **Waagrecht ohne Querstabilisierung**

Wird das Modul quer verbaut, so übernimmt die Modulklemme i.a. auch die Funktion der Abrutschsicherung in Richtung Traufe. In dieser Geometrie ist zu prüfen, ob u.U. seitliche Windkräfte das Modul in der Klemme verschieben können, oder ob dies durch eine ausreichende Klemmreibung ausgeschlossen werden kann.



Laminatmontage quer

Evtl. Beschränkung auf Kreuzschienensysteme wegen Parallelität der Klemmgeometrie.

7 Sonderfall linienförmige Lagerung

Quer verbaute Module können z.B. in Freilandanlagen auch linienförmig in Pfettenprofilen gelagert werden. In den meisten Profilen liegt aber formal auch hier eine punktförmige Lagerung vor, da das Modul ohne Verformung nur in den Klemmen aufliegt. Bei Beanspruchung durch Windsog ist das Modul nur in den Klemmen gelagert. Bei Beanspruchung durch Drucklasten liegt das Modul primär in den Klemmen; bei stärkeren Verformungen kann das Modul je nach Dicke der Klemmen u.U. auf den Trägern aufliegen. Hier ist zu klären, ob ein Aufliegen auf den Trägern toleriert werden kann, oder ob der Durchhang bei maximaler Belastung kleiner als die Dicke der Klemme ist und dadurch das Modul nicht auf Metall aufliegen kann. Ggfs. sind mehr Klemmen pro Modul bis hin zur kompletten linienförmigen Lagerung einzusetzen; auch dafür ist aber eine genaue statische Simulationsrechnung notwendig, damit nicht Verformungen des Trägersystems durch die statisch überbestimmte Einspannung des Moduls wiederum Spannungen im Modul hervorrufen können.



Laminatmontage quer

8 Beispiele für die Modulprüfung

Es ist primär auch das gewünschte Belastungsniveau für die Tests zu definieren. Mögliche Maximallasten sind z.B. 2400 Pa (vorgeschrieben lt. IEC 61215) oder 5400 Pa (optional lt. IEC). Bei der Definition der Prüflast ist auch die spätere Freigabe für ggfs. verschiedene Einsatzregionen zu berücksichtigen.

Maßgebliche Normen sind:

DIN EN 61215 (Prüfung für kristalline Module)

DIN EN 61646 (Prüfung für Dünnschichtmodule)

In den Prüfnormen ist keine Prüfmethode fest vorgeschrieben. Möglichkeiten sind z.B. Wassersack, Vakuum-Überdruck oder Vakuumsauger. Es ist nicht gesichert, ob gerade bei rahmenlosen Modulen alle Prüfmethoden exakt die gleichen Ergebnisse liefern, deshalb sollte die Prüfmethode für Zertifizierungen definiert werden.

Weiterhin ist darauf zu achten, dass der Ablauf der Prüfung (Belastung von vorne, Belastung von hinten) und die Prüfdauer gerade bei Doppelglasmodulen einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben kann (sh. auch Abschnitt Versagensmechanismen).



Beispiel Modulbelastungsprüfung mit Vakuumsauger (TÜV Rheinland)



Beispiel Modulbelastungsprüfung mit Wassersack (Schletter) (Vorbereitung des Prüfaufbaus)



Beispiel Modulbelastungsprüfung im Überdruck/Unterdruck-Prüfstand (VDE)

9 Versagensmechanismen bei Einfach-Glasmodulen

Die Belastbarkeit der Einfach-Glasmodule ist i.a. durch die Belastbarkeit der Glasscheibe in der vorgegebenen Befestigungsgeometrie begrenzt. Die Grenze der Belastbarkeit stellt die Bruchgrenze oder/und die Grenze der maximalen Durchbiegung des Glasmodules dar. Zu beachten ist aber in jedem Falle auch, dass die aktive Schicht des Modules durch die auftretende maximale Durchbiegung nicht geschädigt werden darf. Ein Nachweis dafür in Form einer Prüfung ist im Prinzip nur mit einer statistisch relevanten Anzahl von Prüflingen und einer begleitenden elektrischen Funktionsprüfung möglich!

10 Versagensmechanismen bei Doppelglasmodulen

Doppelglasmodule weisen bedingt durch die Technologie statische Besonderheiten auf:

Analog zu Einfach-Glasmodulen wird die Belastbarkeit der Doppelglasmodule primär durch die vorgegebene Befestigungsgeometrie bestimmt. Der zweite Faktor ist das Tragvermögen des Glasverbundes; folgende Faktoren sind dabei zu beachten:

- Grundsätzlich sind wiederum neben den statischen Belastungen der Glaselemente bei Belastung und Verformung der Module die Verformungen der aktiven Schichten des Moduls zu betrachten.
- Die minimale Belastbarkeit des Modulverbundes ergibt sich rechnerisch aus der Summe der Werte der einzelnen verwendeten Glasscheiben. Diese konservativ ermittelte Belastbarkeit des Moduls kann auch rein rechnerisch ohne experimentellen Nachweis angegeben werden.
- Ein Glasverbund kann aber je nach Qualität und Dauerhaftigkeit der verbindenden Mittelschicht auch wesentlich höheren Belastungen standhalten, als es der Summe der Einzelglasscheiben entspricht. Diese erhöhte Belastbarkeit kann u.U. rechnerisch nachgewiesen werden; bei der Validierung durch Versuche sind speziell auch Versuchszeit, Belastungsmodell und Lastwechselzyklen zu beachten, da diese zu einem langfristigen „schleichenden“ Versagen des Verbundes führen können.
- Positiv für die Beanspruchbarkeit des Glasverbundes bei Druckbelastung wirkt sich z.B. eine thermisch vorgespannte untere Glasscheibe aus. Hier ist allerdings wiederum zu beachten, dass bei Modulen in der sog. **Substrat-Technologie** i.a. die aktiven Schichten auf die untere Trägerscheibe durch einen thermischen Prozess aufgebracht wird, wodurch die durch eine vorherige thermische Behandlung optimierten mechanischen Eigenschaften der Scheibe nachträglich wiederum verloren gehen können. Bei Modulen in **Superstrat-Technologie** wird i.a. die obere Scheibe technologisch behandelt; dies kann z.B. eine Optimierung der mechanischen Eigenschaften der unteren Scheibe und damit der Druckbelastbarkeit des Gesamtmoduls ermöglichen.

