

7. Photovoltaik-Betriebs- und Sicherheitstagung 12.10.2023 Berlin

Martin Schäfer (novotegra) & Ralf Haselhuhn (DGS)

**Anforderungen aus den Bauregeln und erweiterte Lasttests
für die PV-Modulnorm EN IEC 61730**



1

Anwendungen

Vergleich Glasbau und PV-
Module

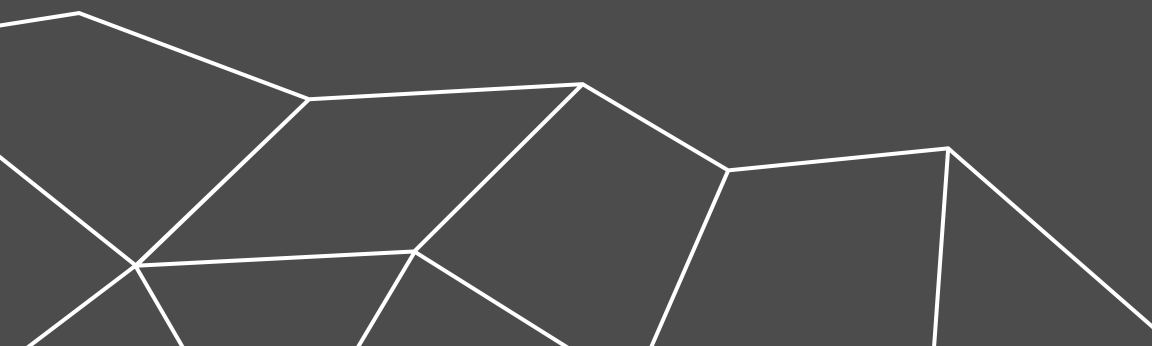
2

Mech. Tests Normen

Vergleich
Glasbau und PV-Module

3

Ausblick



Einsatzgebiete Beispiele Glas

Vertikale Verglasung Fassade



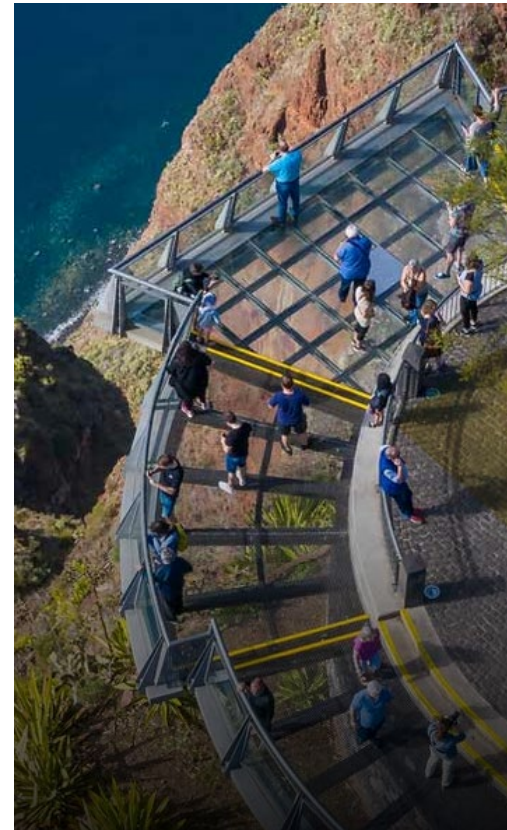
Paul Löbe Haus eigenes Foto.

Horizontale Verglasung Carport, Wintergarten



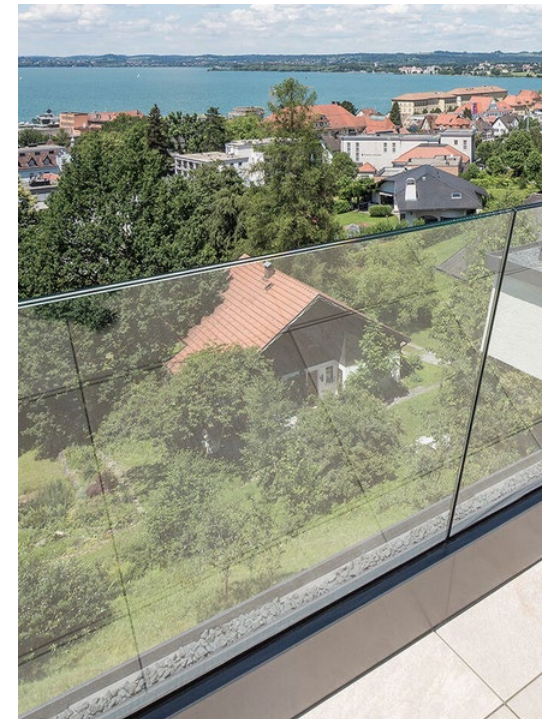
Quelle: Tchibo Wintergarten TJ.

Begehbare Verglasung Treppen, Podeste



Quelle: visitmadeira.pt

Absturzsicherung Geländer



Quelle: Glasmarte.at

Einsatzgebiete Photovoltaik-Module anstatt Glas

Beispiele Photovoltaik

Vertikale Verglasung

PV-Fassade



Quelle: BayWa r.e.

Horizontale Verglasung

Carport, Wintergarten



Quelle: Ralf Haselhuhn, DGS

Begehbare Verglasung

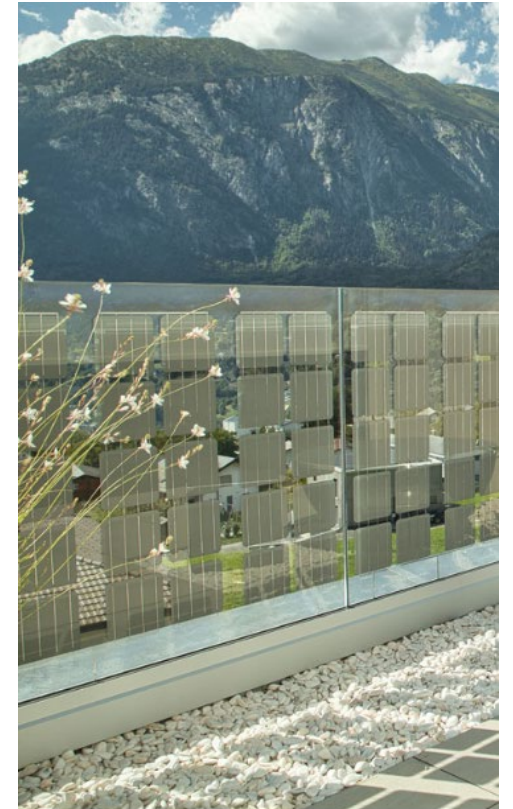
Treppen, Podeste



<https://www.photovoltaik.eu/recht/gruss-die-sonne>

Absturzsicherung

Geländer



Quelle: a2-solar

Konstruktive Einsatzgebiete Glas im Bauwesen

erforderliche Nachweise

Vertikale Verglasung

Fassade

Windbelastung

DIN EN 1991-1-4

- Statischer Nachweis

DIN 18008

- Resttragfähigkeit, wenn darunter Verkehrsfläche
20% der Windlast

Horizontale Verglasung

Carport, Wintergarten

Schneebelastung

DIN EN 1991-1-3

- Statischer Nachweis
- Resttragfähigkeit bei Verkehrsfläche

bei Wartungszwecken:

Durchsturz sichere/ Betretbare Verglasung

DIN 18008-6

- Mannlast 1,5 kN

DIN EN 12600

Weicher Stoß:

- Pendelschlagversuch

DIN 52338 bzw. DIN 356

Harter Stoß (Werkzeug):

- Kugelfallversuch

Begehbare Verglasung

Treppen, Podeste

Personenlasten

DIN EN 1991-1-1

- Statischer Nachweis
- Resttragfähigkeit

Stoßbelastungen:

“begehbar” höhere Anforderung als “betretbar”

DIN 18008-5

Absturzsicherung

Geländer

horizontale Last

DIN EN 1991-1-1

statischer Nachweis

horizontaler Stoß

DIN 18008-4

Pendelschlagversuch

DIN EN 12600

Erläuterung:

DIN 18008: Glasbau (dt. Norm)

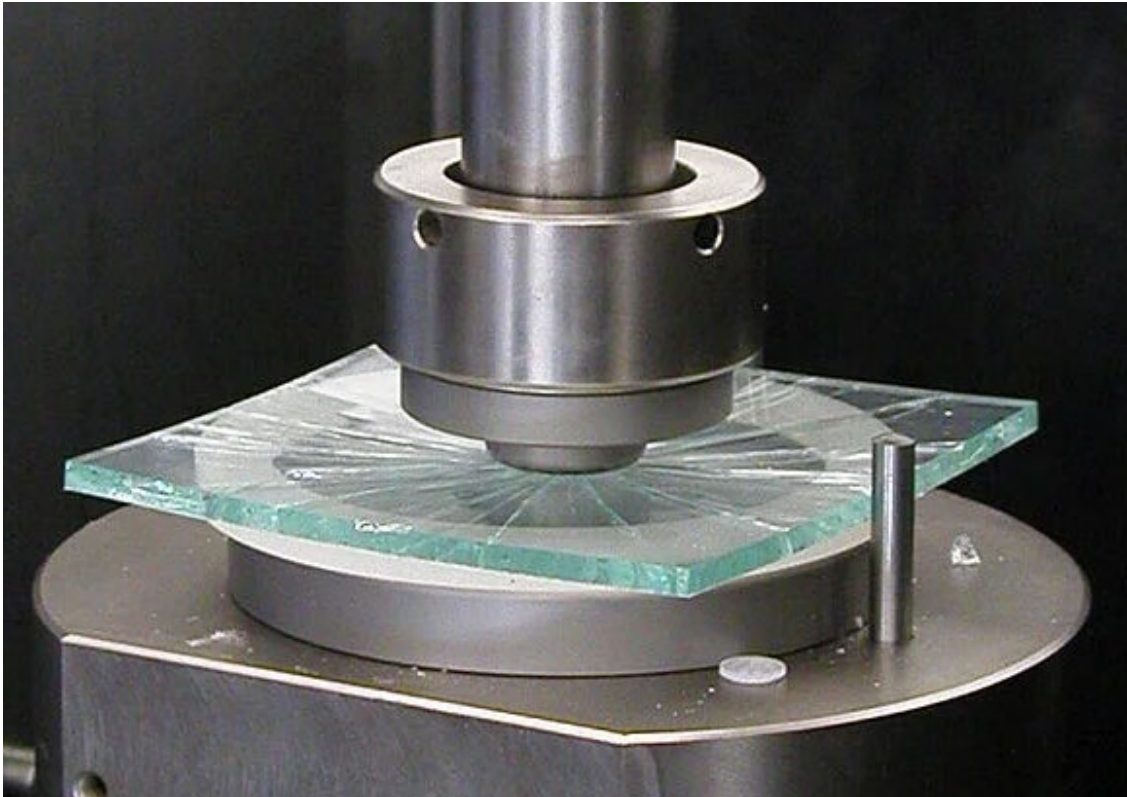
DIN EN 1991: Lastannahmen Eurocode

Versuche Materialfestigkeit Glas

- Elementarversuche, die nur Umrechnungsfaktoren übertragbar auf größere Formate und andere Dicken sind

Doppelring Biegeversuch

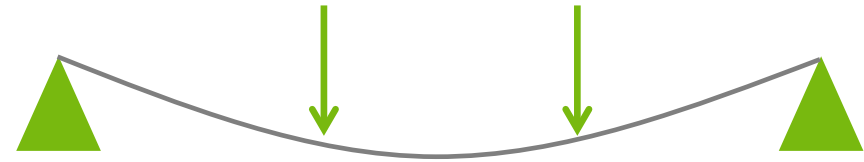
DIN EN 1288 Teil 2 und 5



<https://www.zwickroell.com/de/branchen/baustoffe/pruefung-an-glas-und-keramik/>

4-Schneiden-Biegeversuch

DIN EN 1288-3



<https://www.zwickroell.com/de/branchen/baustoffe/pruefung-an-glas-und-keramik/>

Nach IEC 61730-2 mechanische Belastungsprüfung MST 34 = Prüfung IEC 61215-2, MQT 16:

MQT 16 weist die *Funktionsfähigkeit* des Moduls nach Mindest-Prüfbelastungen ggf. höheren Lasten nach.

Sog- und Druckbelastungstest je 3 Zyklen mit

Prüfgewicht = γ_m x Auslegungslast

γ_m Sicherheitsbeiwert mindestens $\geq 1,5$

Mindestausleglast 1600 Pa = Prüflast 2400 Pa

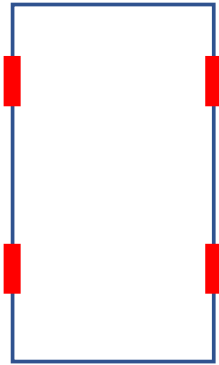
Optional Prüflast z.B. 5400 Pa -> Ausleglast 3600 Pa

Letztere wird oft von Glas/Glas-Modulen erreicht.

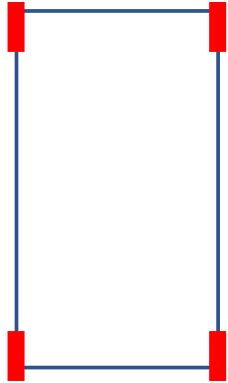


Modul wird mit Befestigungsmittel (Klammern/Klemmen + jegliche Befestigungselemente) und den Tragschienen nach vom Hersteller vorgeschriebenen Verfahren an einem starren Aufbau befestigt.

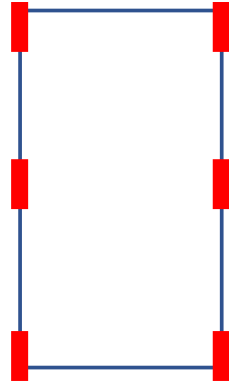
Klemmpunkte PV-Modul



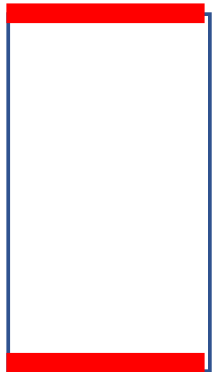
a) ¼ Punktlagerung
Kreuzschienenverband



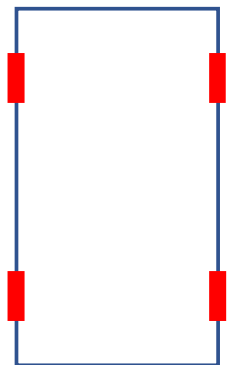
b) Ecklagerung
Flachdach



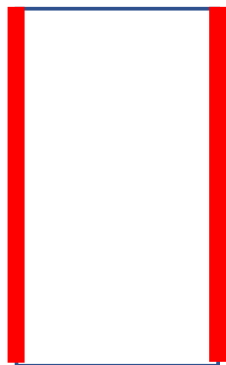
c) mit Unterstützungsschiene
für hohe Lasten und lange Module



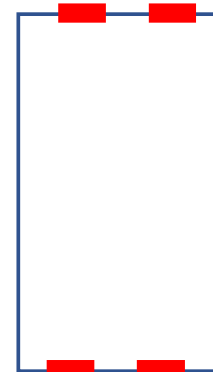
d) kurze Seite
ES Portrait



e) 1-lagig
Ziegeldach

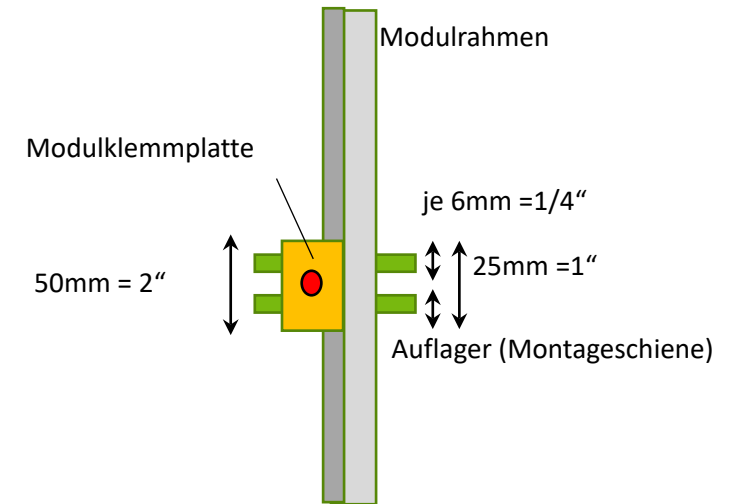


f) lange Seite
ES Landscape



g) ¼ Punkt
Landscape

Gibt es mehrere Möglichkeiten, so ist jede Befestigungskonfiguration einzeln zu beurteilen.



Entwurf der neuen IEC 61730-2 Anhang D.2.1 Erweiterter statisch-mechanischer Belastungstest mit MST 34 festgelegte Worst-Case-Montagekonfiguration
Zusätzliche Prüfungen mit unterschiedlichen Montagekonfigurationen sind möglich.

mit mindestens **fünf Proben** durchführen

Proben vorher der Feuchte-Wärme-Prüfung MST 53 aussetzen

anfängliche Prüflast nach Herstellervorgabe in der Regel höher als die in MST 34 getestete Maximallast.

Prüflast (in **Schritten von z.B. 600 Pa**) erhöhen, bis ein **Bruch auftritt**, der die mechanische Integrität des Moduls beeinträchtigt.

= **Bruchlast**

Die mechanische Integrität kann z. B. durch Glasbruch, Versagen von Rahmen, Trennung von Glas vom Rahmen oder Montagematerial beeinträchtigt werden.



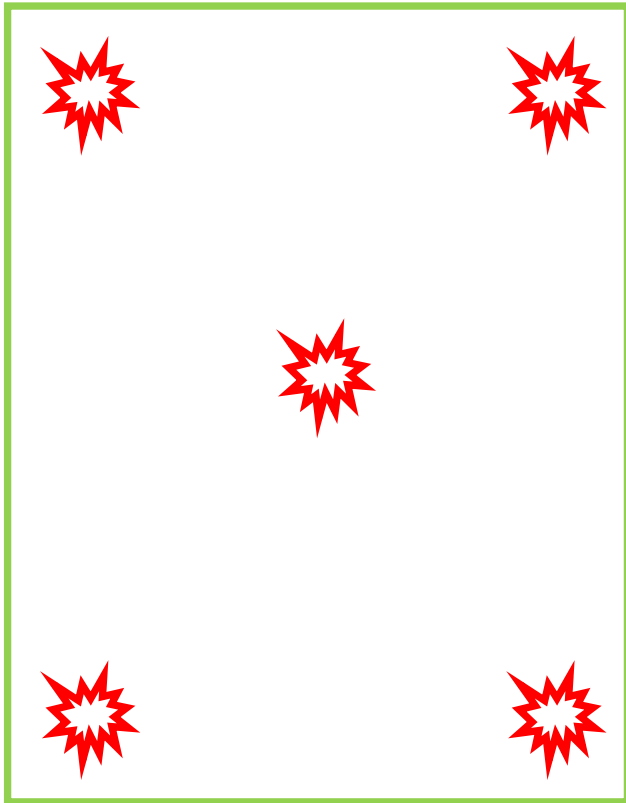
[Foto: TÜV Rheinland]

Versuche

Resttragfähigkeit Glas mit Verbundfolie

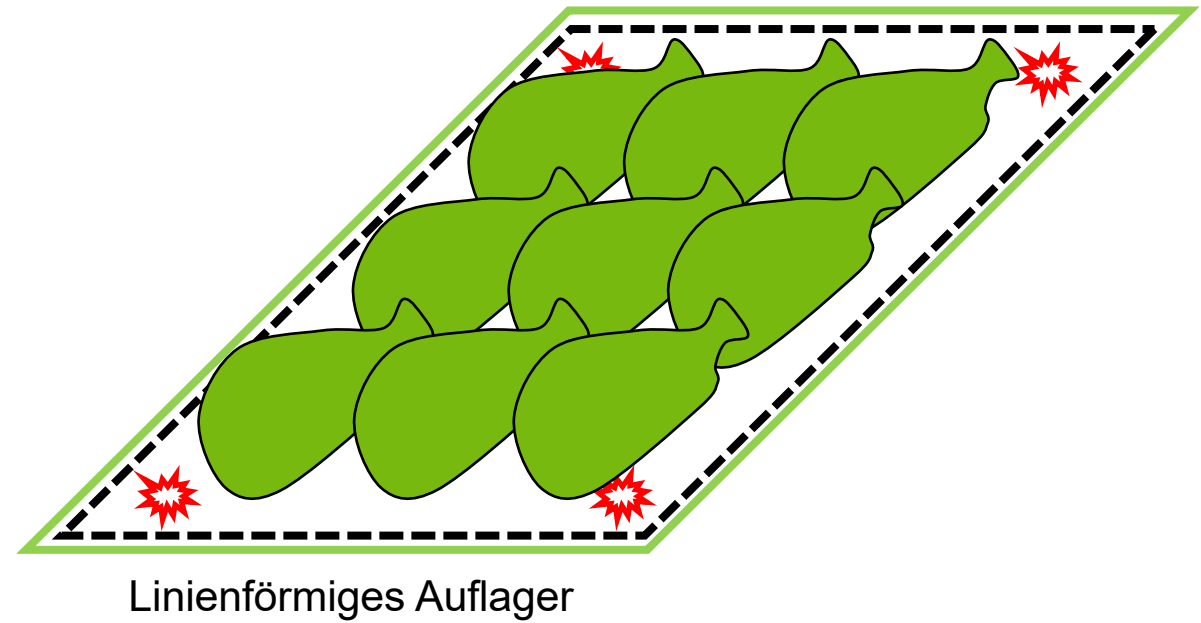
Vorschädigung

DIN 18008-1 Anhang B



Belastungstest 24 Stunden (Bsp. Sandsäcke)

DIN 18008-1 Anhang B



Dauertragfähigkeit Belastungstest mit Sandsäcken



Weicher Stoß: Belastungstests im Vergleich

Stoßbelastung Glas

Pendelschlagversuch mit Doppelreifen

DIN EN 12600

Klassifizierung	Fallhöhe mm
3	190
2	450
1	1.200



„Der Zweck dieser Prüfung ist der Nachweis der Gewissheit, dass Verletzungen auf ein Mindestmaß verringert werden können, falls das PV-Modul in seiner festgelegten Installation zerbrochen ist.“

MST 32 beruht auf ANSI Z97.1.

Aufprallkörper muss ein Beutel aus einem geeigneten Werkstoff sein, der mit gefordertem Gewicht von 45 kg mit einem geeigneten Füllstoff (z. B. Stahl- oder Schrotkugeln) gefüllt ist und mit einem Stahllitzenseil versehen. Fallhöhe von 300 mm von der Modulmitte

Annahmekriterien

Wenn es folgenden Kriterien a) und entweder b) oder c) erfüllt sind:

- Das PV-Modul darf sich nicht aus der Montagekonstruktion oder dem Rahmen lösen.
- kein Bruch.
- Beim Bruch darf sich keine Schnittstelle oder Öffnung entwickeln, durch die eine 76 mm große Kugel ungehindert hindurchpasst, und es dürfen keine Partikel lösen, die größer als 65 cm² sind.



Pendelschlagversuch nach MST 32
nach Norm [Foto: ww.pse.de]

Dieser optionale Test ist identisch mit MST 32 und soll **mit fünf Modulen** durchgeführt werden. Die Worst-Case-Montagekonfiguration ist zu verwenden. Zusätzliche Prüfungen mit unterschiedlichen Montagekonfigurationen sind möglich.

Die anfängliche Fallhöhe nach Herstellervorgabe in der Regel höher als die maximale Fallhöhe von MST 32.

Die Prüfungen sind mit einer **schrittweisen Erhöhung der Fallhöhe (z.B. in Schritten von 300 mm)** bis zum Glasbruch fortzusetzen.

Alle bestandenen und nicht bestandenen Fallhöhen sind zu dokumentieren. Nach jeder Prüfung sind Fotos des Moduls anzufertigen.



Pendelschlagversuch nach MST 32
[Foto: www.pse.de]

Impuls der beiden unterschiedlichen Versuche ähneln sich deutlich.

Fallhöhe	Masse	Impuls
Modulbruchprüfung (DIN EN IEC 61730)		
300 mm	45,5 kg	110,4 kg·m/s
Pendelschlagversuch (DIN EN 12600)		
190 mm	50,0 kg	96,5 kg·m/s
450 mm	50,0 kg	148,6 kg·m/s
1.200 mm	50,0 kg	242,6 kg·m/s

Untersuchungen der TU Siegen 2023 im Projekt STAGIMO:
 Prof. Dr.-Ing. Thorsten Weimar, Esther Müscher, Laura Vuylsteke



Pendelschlagversuchsaufbau mit Doppelreifen und Stahlkugel nach DIN EN 12600 der TU Siegen

Versuche

Stoßbelastung im Vergleich

Hagelprüfung mit Eiskugeln MQT 17

IEC 61215 MQT 17 Mindestdurchmesser 25 mm mit 23,0 m/s an 11 Stellen verteilt, weitere Hagelprüfungen in Tab. 2

Tabelle 2 – Massen der Eiskugeln und Prüfgeschwindigkeiten

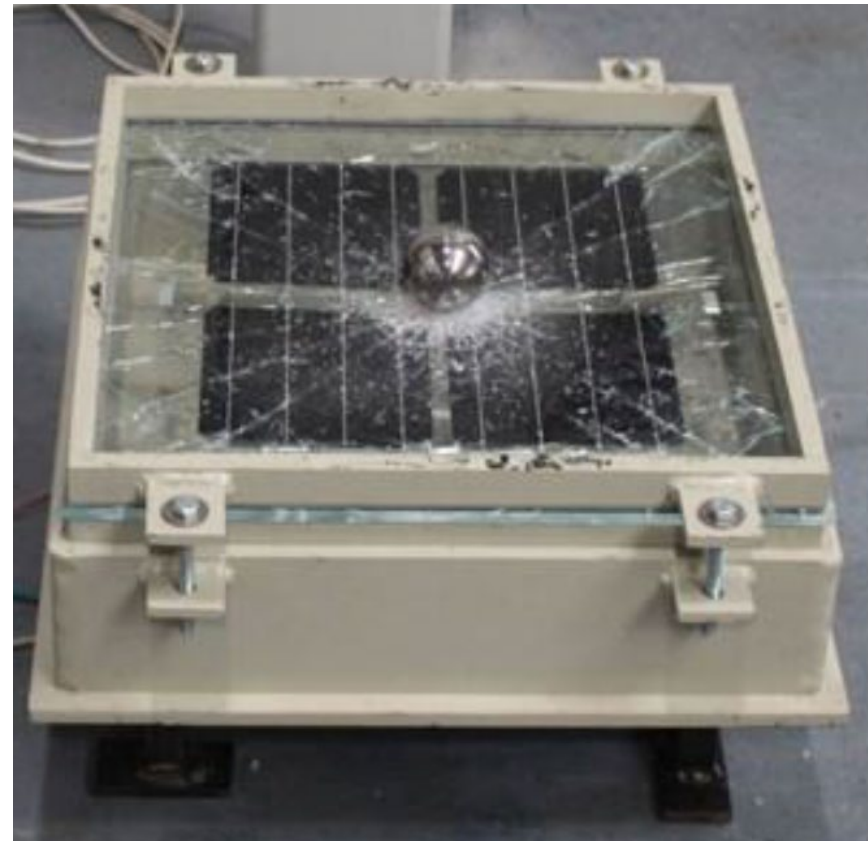
Durchmesser mm	Masse g	Prüfgeschwindigkeit m/s	Durchmesser mm	Masse g	Prüfgeschwindigkeit m/s
25	7,53	23,0	55	80,2	33,9
35	20,7	27,2	65	132,0	36,7
45	43,9	30,7	75	203,0	39,5



TÜV Rheinland: Größenvergleich Hagelkörner für Tests mit Golfball

Kugelfallversuch

DIN 52338 (bzw. DIN 356 an größeren Versuchskörpern)



Uni Siegen Zwischenbericht StaGiMo

Gerahmte Standard PV-Module rechnerisch nachweisbar als Glasbauteil?

Modulrahmen

Vierseitige Lagerung erhöht wesentlich die Tragfähigkeit

Glaseinstand

Glaseinstand PV < 10mm ist zu gering

DIN 18008-2 B.1.2, mit bauaufsichtlicher Zulassung ggf. 8mm

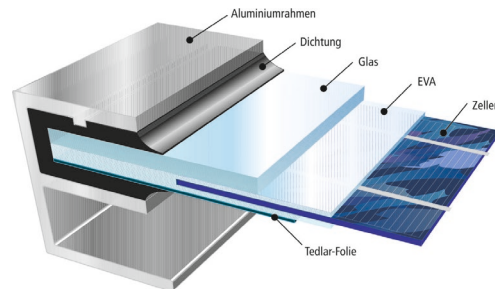
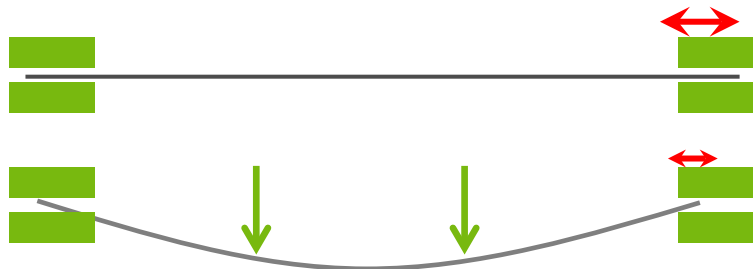


Bild: www.dgs-berlin.de

Gebrauchstauglichkeit:

Glaseinstand min. 5mm unter Belastung kann vom Modul eingehalten werden



Verbund Rahmen mit Glas Silikon

nicht anrechenbar (abZ)

Tests:

Haftzugversuch

ETAG002-1 Fig.7

Ermüdung

ETAG002-2

>5.000 Zyklen verschiedene Lastniveaus

Korrosive Medien

ETAG002-2 Alterung prEN 12206-1 Abs. 5.14.3

Gerahmte Standard PV-Module rechnerisch nachweisbar als Glasbauteil?

Einfachglas

3,2mm TVG oder ESG

DIN 572 + DIN 12150, mit abZ ggf. höhere Werte

Mindestwerte Festigkeit

unabhängig von Belastungsdauer

ESG

geringe Resttragfähigkeit Ni-Sulfid
Einschlüsse (Heißbehandlung
erforderl.)

Doppelglasmodul (VSG)

2x1,6mm TVG oder ESG

DIN 18008 Abs. 7.2

Keine Anrechnung von Schubverbund

=> Tragfähigkeit halbiert sich beim
statischen Nachweis

Alternativ bauaufsichtliche Zulassung
mit Tests

- Belastungsdauer
- Zyklischer Belastung
- Alterung

Bsp. abZ -70.3-197

Verbund ist temperaturabhängig

Resttragfähigkeit

Nachweismöglichkeiten

1. konstruktiv nicht möglich

DIN 18008-1 Anhang B.2:

Mindestanforderung

2x4mm VSG mit PVB Folie

2. Belastungsversuch an beschädigter
Glascheibe 24h

DIN 18008-1 Anhang B

IEC: Pendelschlagversuch mit Sack

3. Sicherungsmaßnahme gegen
herabfallende Glasteile

Netze 40mm x 40mm

DIN 18008-2 Anhang B

**Wenn erforderlich, z.B. Fassade:
bauaufsichtliche Zulassung (Versuche)
=> übersteigt den Produktzyklus der Module**

**+ rechnerische Nachweis
=> unwirtschaftlich**

Verbund Silikon- Modulrahmen

Verbundwirkung bei VSG

mechanische Belastungsprüfung: Belastungsdauer Bruchlast

IEC61215/61730 MST 34

NEU langsame
Laststeigerung

Wie in Folie 8 beschrieben

Weicher Stoß:

Pendelschlagversuch nach
MST 32 langsame
Fallhöhensteigerung

siehe Folie 14

*Resttragfähigkeit analog
24h Sandsack*

siehe Folie 10

Korrosive Medien (IEC)

- Salznebeltest IEC 61701
- Ammoniak IEC 62716
- Prüfung mit trockener Wärme
IEC 61730-2 (MSTT 13) 200h
105°C 50% RH
- Prüfung mit feuchter Wärme
(MQT 13) 1000h 80°C 85% RH

Klimakammer (IEC 612125)

- UV-Vorbehandlung (MQT10)
15 kWh/m²
- Temperaturwechselprüfung
(MQT 11) 50 Zyklen -40° auf
80°C
- Feuchte-Frost-Prüfung (MQT
12) 50 Zyklen -40° auf 80°C
85% RH

NEU => IEC Ergänzung

Versuche analog zum Glasbau

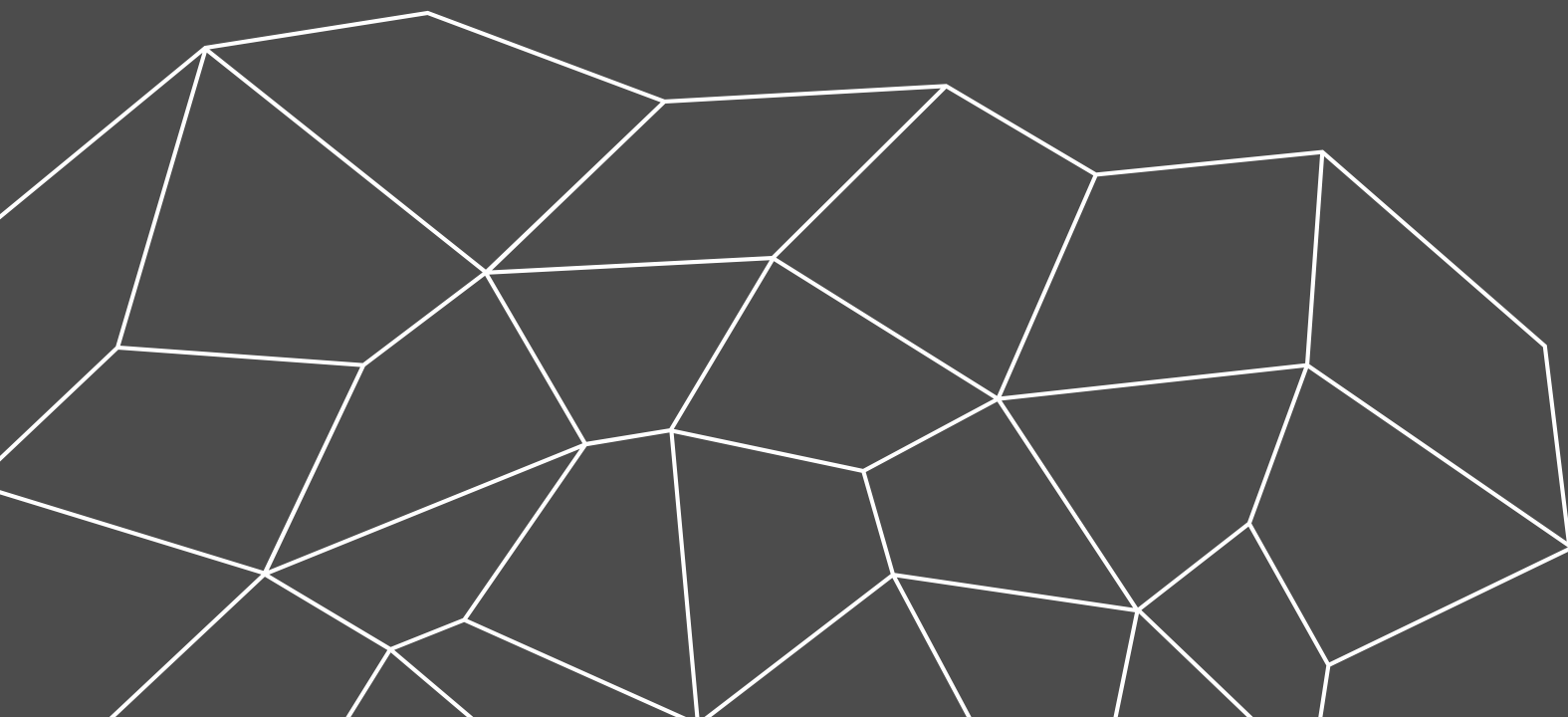
Weicher Stoß

- Pendelschlagversuch
Glas Reifen/ PV Sack

Harter Stoß

Glas Kugelfallversuch
PV Hagel

Bruchlast und Resttragfähigkeit ist mit erweiterten IEC-Prüfungen möglich!
Ziel: Nachweis der Standsicherheit



Ralf Haselhuhn

Head of committee Photovoltaics of the DGS
and Senior Engineer of DGS

rh@dgs-berlin.de

Martin Schäfer

Produktmanager PV-Montagesysteme
martin.schaefer@novotegra.com

Copyright

© Copyright novotegra GmbH & DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V. 2023

The content of this presentation (including text, graphics, photos, tables, logos, etc.) and the presentation itself are protected by copyright. They were created by novotegra GmbH independently.

Any dissemination of the presentation and/or content or parts thereof is only permitted with written permission by novotegra without written permission of novotegra, this document and/or parts of it must not be passed on, modified, published, translated or reproduced, either by photocopies, or by others – in particular by electronic procedures. This reservation also extends to inclusion in or evaluation by databases. Infringements will be prosecuted.



FKI-Gebäude, Foto: HTW Berlin

StaGiMo



Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV): Fachregeln und Prüfmethoden für eine standardisierte Modulanwendung in Dach und Fassade

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dipl. Ing. Ralf Haselhuhn

Vorsitzender des DGS-Fachausschusses Photovoltaik
und Mitarbeiter im DKE-Normungskomitee im DIN und VDE
Komitee 373 „Photovoltaische Solarenergiesysteme“

<http://www.dke.din.de>





**Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences



StaGiMo_Sys

- Projektkoordination
- Konstruktive und gestalterische Fragestellungen
- Kosten und Wirtschaftlichkeit
- Simulation und Teststand

StaGiMo_Proof

- Verbundsicherheitsglas
- Simulation von Trag- und Resttragverhalten
- Bauteilversuche, Entwicklung von Prüfmethoden
- Zusammenarbeit mit TÜV Rheinland

StaGiMo_Praxis

- Vor-Ort-Untersuchungen
- Erarbeitung von Anforderungskatalog und Fachregeln
- Schulungsunterlagen dazu
- Brücke zur Praxis



TÜVRheinland®
Precisely Right.

StaGiMo_Proof

- Simulation von Trag- und Resttragverhalten
- Validierung IEC-Modultests
- Bauteilversuche, Entwicklung von Prüfmethoden

SUNOVATION



BayWa r.e.

novotegra

Unterstützt von:



StaGiMo