

Qualitätssicherung in der Photovoltaik

Bauliche Sicherheit – Anforderungen an Montagesysteme



Gliederung:

1. Einleitung
2. PV im Sinne der Bauordnung
3. Nachweis der Standsicherheit
4. Lasteinwirkungen
5. Bauteilwiderstände
6. Tragreserven bestehender Gebäude
7. Zusammenfassung



1. Einleitung

Bilder: 



Schrägdach dachparallel



Flachdach aufgeständert



Aufdach ballastarm



Freilandanlagen



Carportanlagen Park@Sol

2. Regelungen und Verantwortliche

Photovoltaik im Sinne der Bauordnung (MBO)

Teil 3

§ 9 Gestaltung

Form, Maßstab, Verhältnisse, Werkstoffe und Farben dürfen das Straßen-, Orts- und Landschaftsbild **nicht verunstalten**

§ 12 Standsicherheit

Jede bauliche Anlage muss im Ganzen und in ihren einzelnen Teilen für sich **standsicher** sein

bauliche Anl.

Teil 4

§ 53 Bauherr

- bestellt Beteiligte (sofern nicht selbst)
- Anträge/Anzeigen
Nachweise

§ 54 Entwurfsverfasser

- verantwortet Entwurf
- Zeichnungen/Berechnung
- Anweisungen
- koordiniert Fachplaner

§ 55 Unternehmer

- verantwortet Ausführung
- Sicherheit der Baustelle
- Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte

Beteiligte

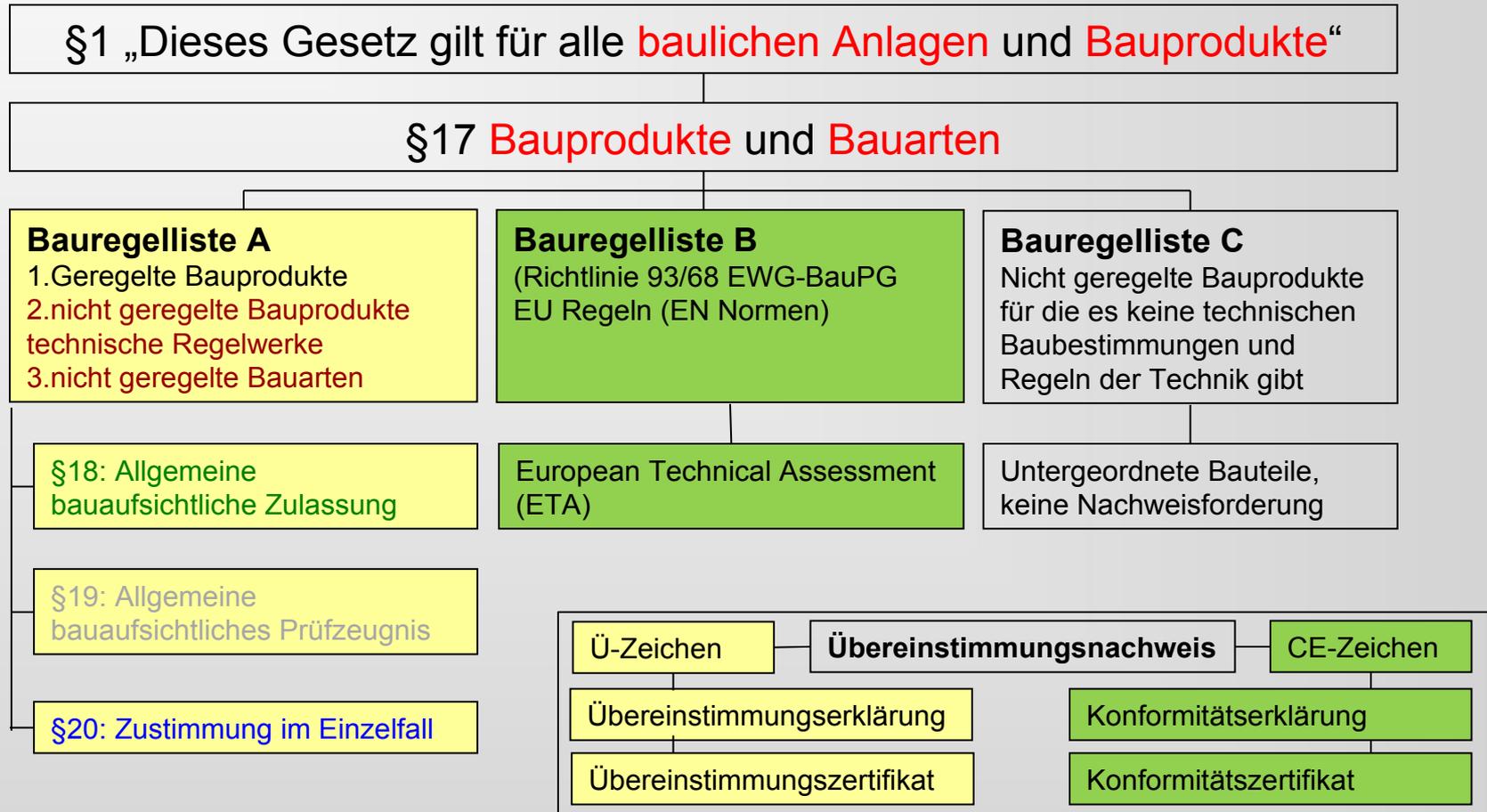
Teil 5

§ 59 Grundsatz: Errichtung, Änderung und Nutzungsänderungen bedürfen der **Baugenehmigung**, soweit in den §§ 60-62 nichts anderes bestimmt ist:

§ 61 Verfahrensfreie Bauvorhaben: b) **Solarenergieanlagen** und Sonnenkollektoren **in und an Dach, und Außenwandflächen** sowie **gebäudeunabhängig** mit einer **Höhe bis zu 3 m** und einer **Gesamtlänge bis zu 9 m**.

Verfahren

Einordnung von Montagegestellen in den Kontext der Bauordnung



MBO: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

§ 18 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

(1) Das **Deutsche Institut für Bautechnik** erteilt eine **allgemeine bauaufsichtliche Zulassung** für nicht geregelte Bauprodukte, wenn deren **Verwendbarkeit** im Sinne des § 3 Abs. 2 nachgewiesen ist.

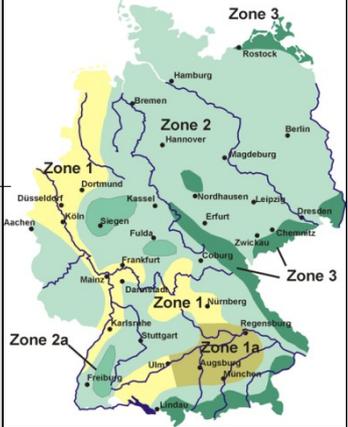
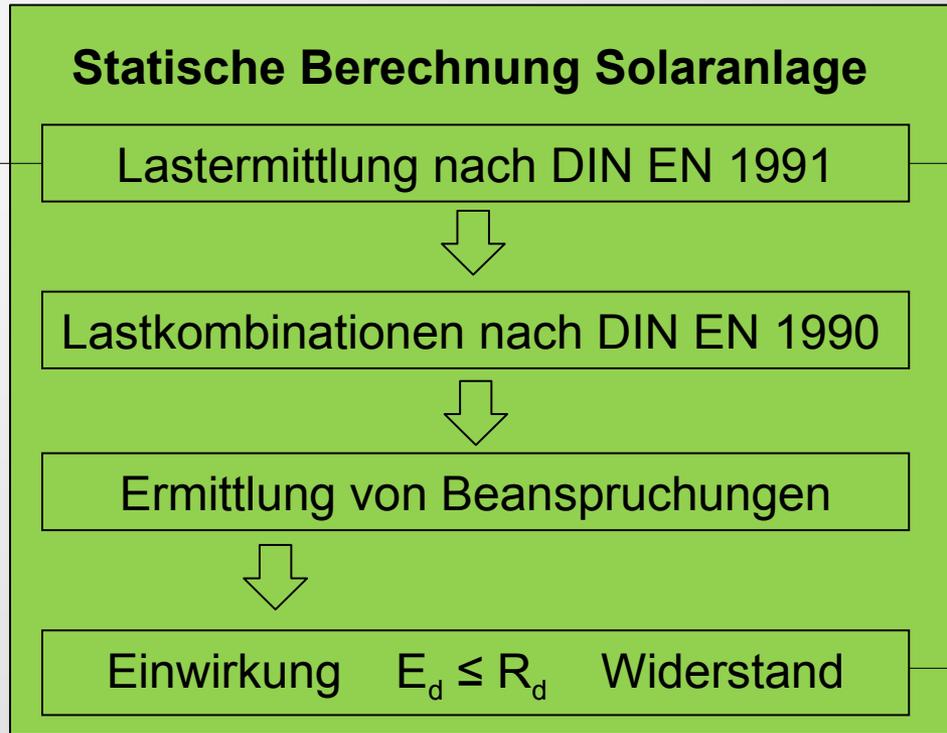
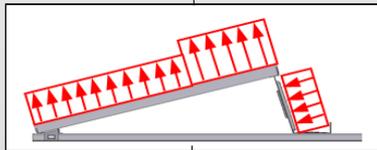
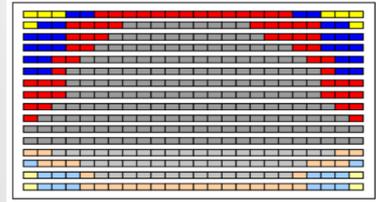
(2) Die zur Begründung des Antrags erforderlichen Unterlagen sind beizufügen. Soweit erforderlich, sind Probestücke vom Antragsteller zur Verfügung zu stellen oder durch Sachverständige, die das Deutsche Institut für Bautechnik bestimmen kann, zu entnehmen oder Probeausführungen unter Aufsicht der Sachverständigen herzustellen.

(3) Das Deutsche Institut für Bautechnik kann für die Durchführung der Prüfung die sachverständige Stelle und für Probeausführungen die Ausführungsstelle und Ausführungszeit vorschreiben.

(4) Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird widerruflich und für eine bestimmte Frist erteilt, die in der Regel fünf Jahre beträgt. Die Zulassung kann mit Nebenbestimmungen erteilt werden. Sie kann auf schriftlichen Antrag in der Regel um fünf Jahre verlängert werden

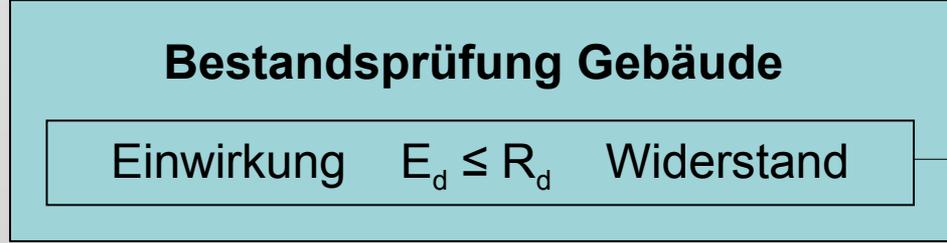


3. Nachweis der Standsicherheit



**DIN EN 1993
 DIN EN 1999
 oder abZ**

Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**



Lastreserve gemäß Statik des Gebäudes

4. Lasteinwirkungen und Lastkombinationen

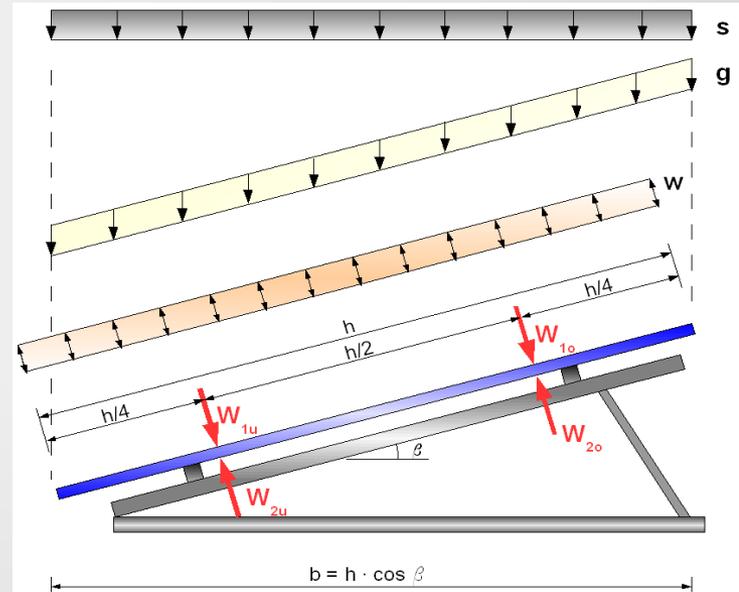
Lastkombinationen

LK 1: $1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s + 0,6 \cdot 1,5 \cdot w$

LK 2: $1,35 \cdot g + 0,5 \cdot 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot w$

LK 3: $0,9 \cdot g + 1,5 \cdot w$
(Lagesicherung)

LK 1a: $1,00 \cdot g + 2,3 \cdot s$
(Norddt. Tiefland)

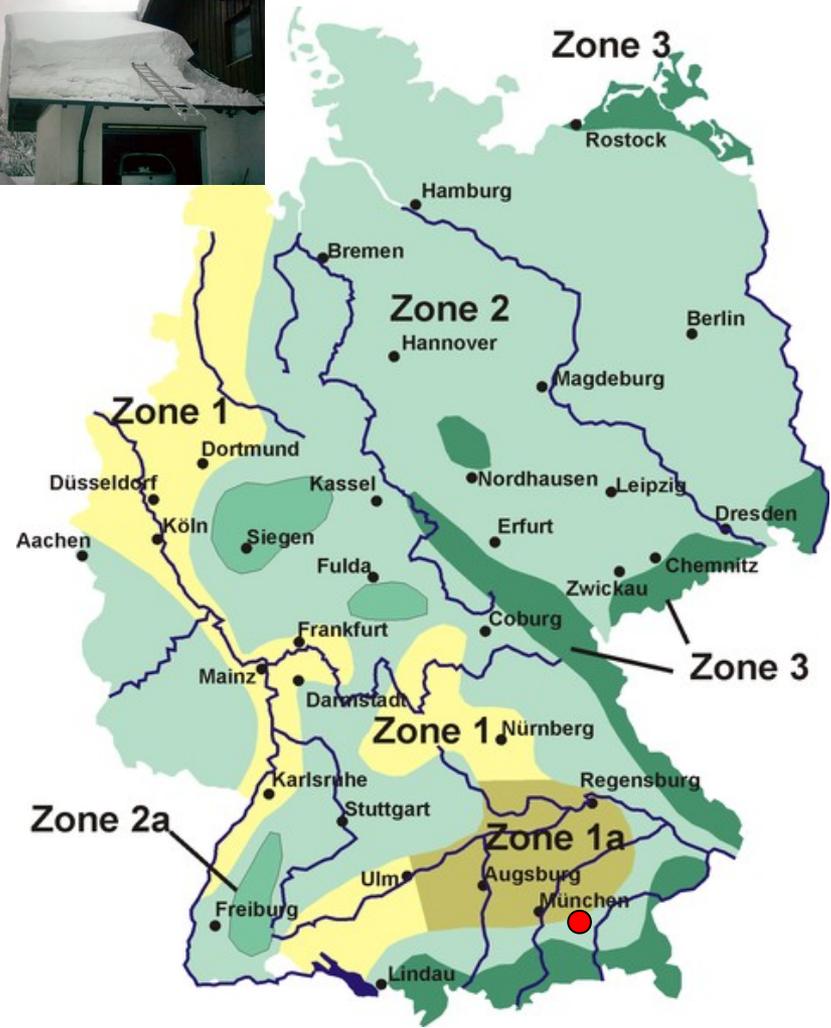


Nachweise

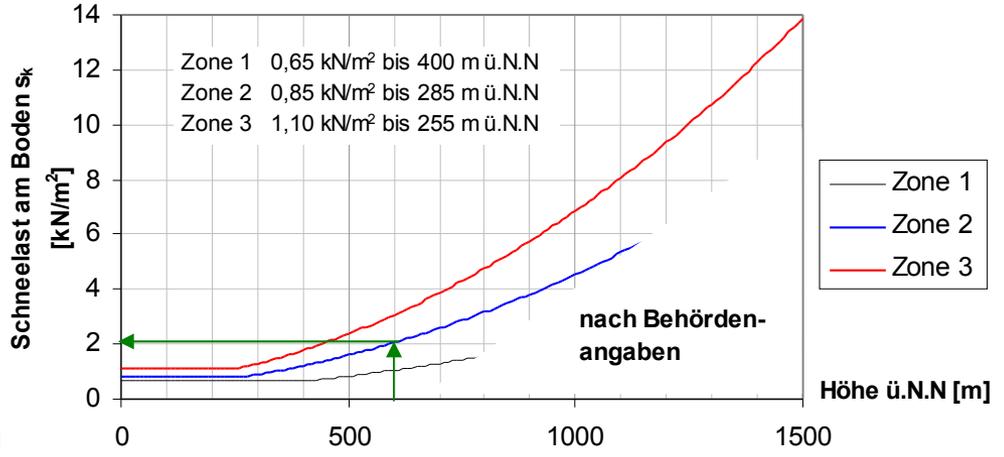
- Kippen
- Gleiten
- Abheben



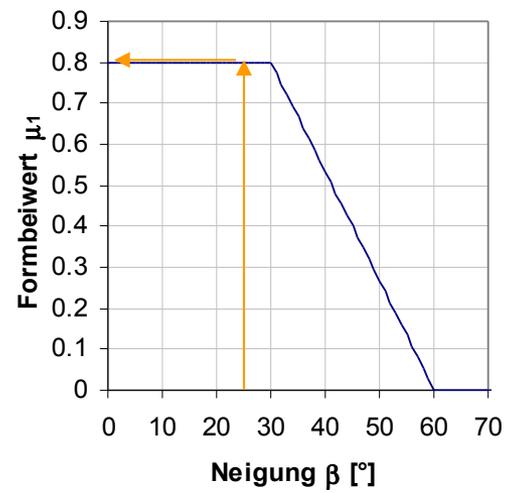
Schneelasten nach DIN EN 1991-1-3:NA



Schneelast am Boden (bez. auf Höhe ü.N.N)



Beispiel
 Standort :
Glonn
600 m ü.N.N
 Schneelast Zone 2
 Modulneigung 25°
 $s = 0,8 \cdot 2,0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$

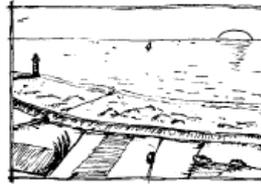


Windlasten nach DIN EN 1991-1-4:NA 2010-12



Geländekategorie 0

See, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind



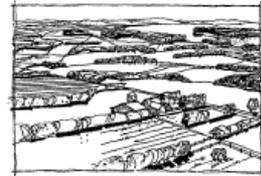
Geländekategorie I

Seen oder Gebiete mit niedriger Vegetation und ohne Hindernisse



Geländekategorie II

Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelnen Hindernissen (Bäume, Gebäude) mit Abständen von mindestens der 20-fachen Hindernishöhe



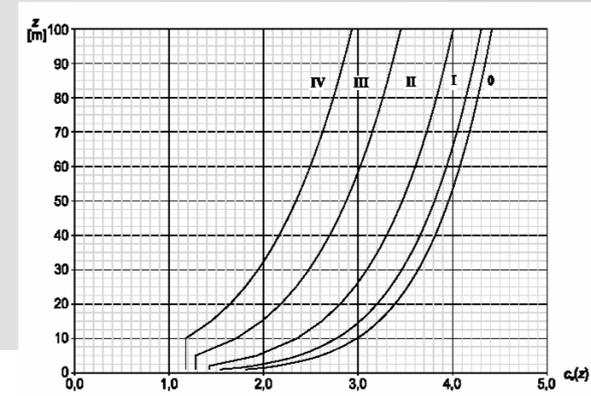
Geländekategorie III

Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhe (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete).



Geländekategorie IV

Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe von 15 m bebaut ist



Grundlage:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (\text{Basisdruck})$$

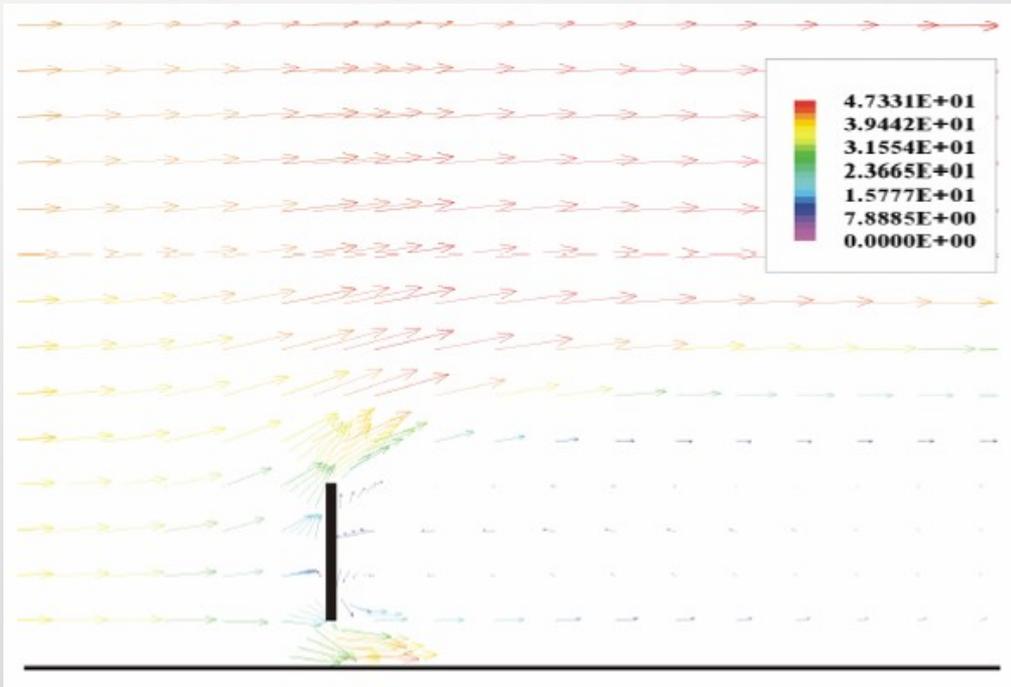
Böengeschwindigkeitsdruck

$$q_b(z) = C_e(z) \cdot q_b$$

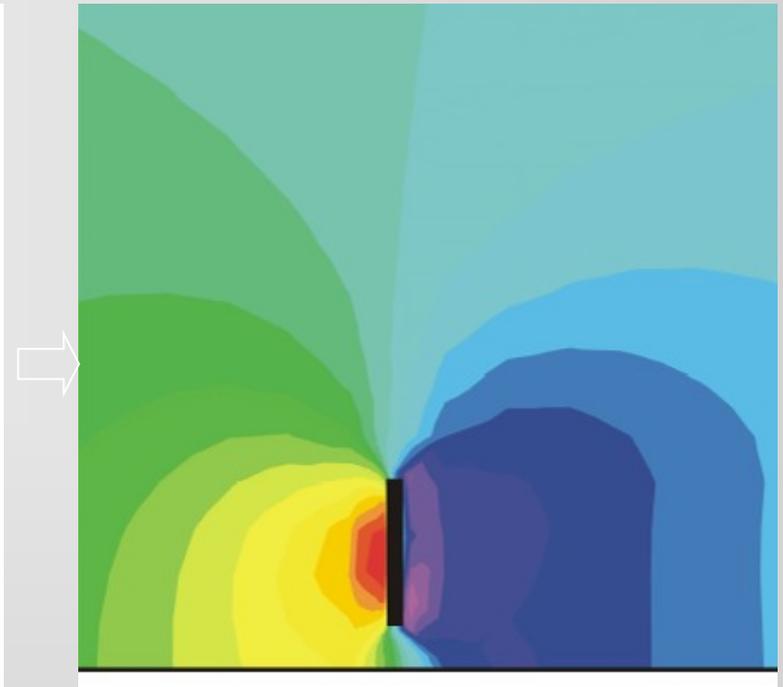
Aerodynamische Eigenschaften

Druckfeld bei senkrecht angeströmter Scheibe

Strömungsgeschwindigkeiten



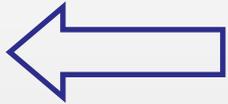
Druckfeld (qualitativ)



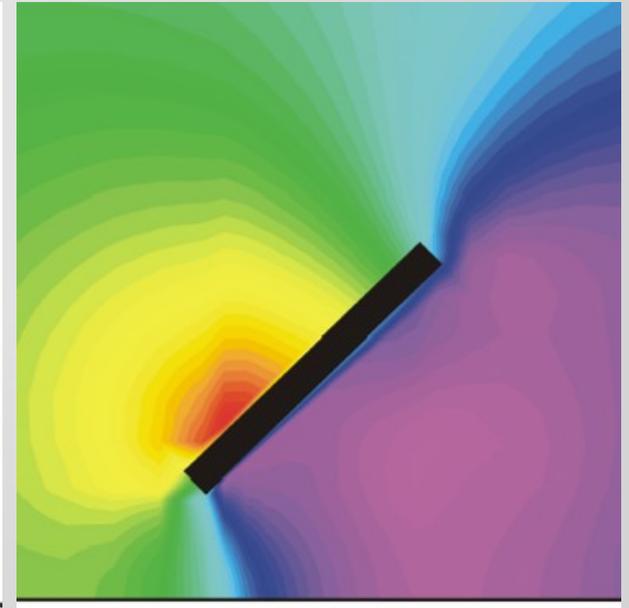
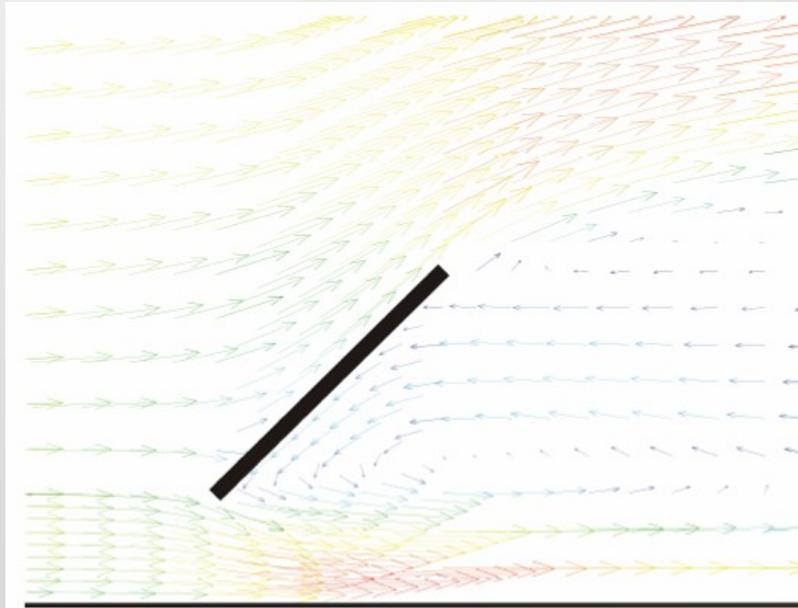
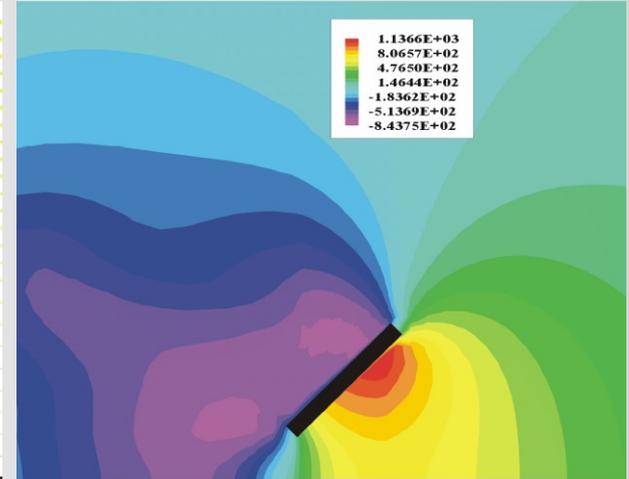
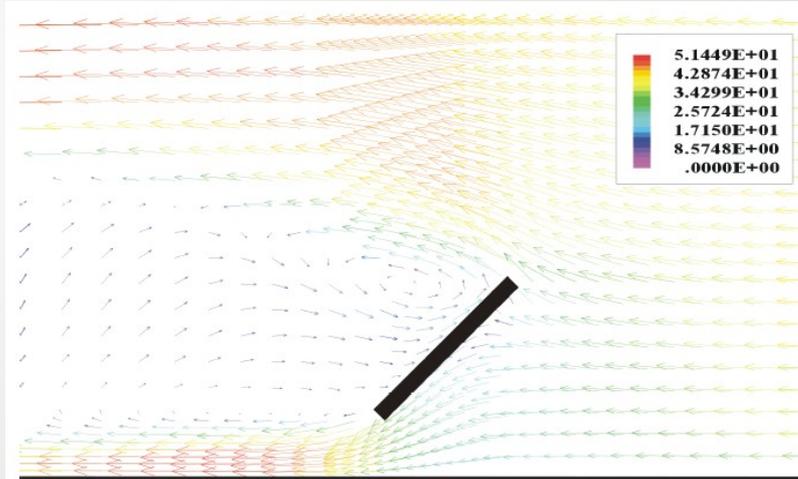
Quelle: Abschlussbericht 0327229 A gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

aerodynamische Zusammenhänge

(45° Inklinationswinkel)



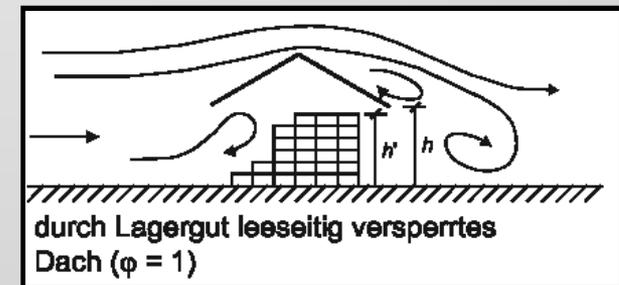
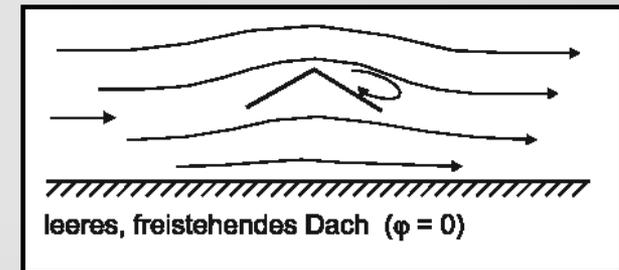
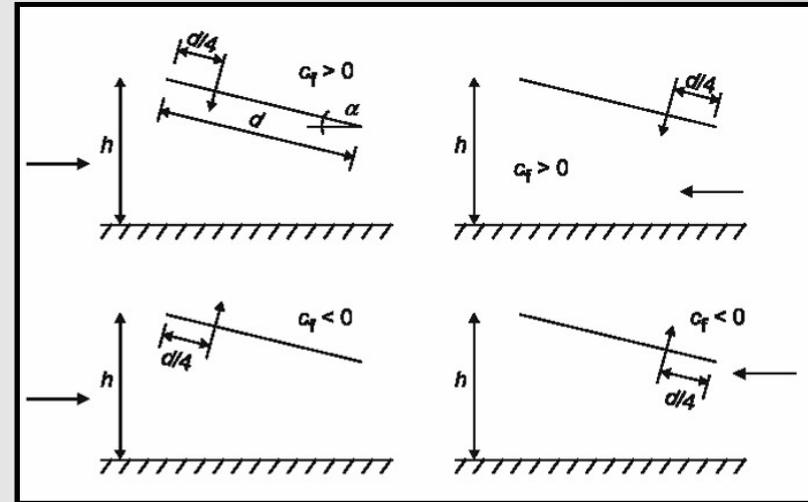
Anström-
richtung



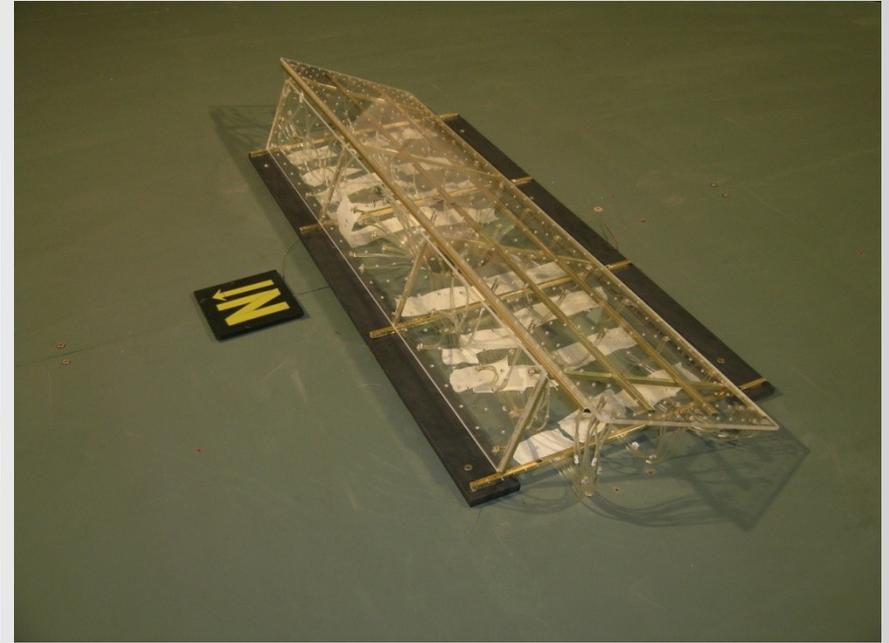
Quelle: Abschlussbericht 0327229 A gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Druck- und Kraftbeiwerte (DIN EN 1991-1-4)

Flächeneinrichtung					
Neigungswinkel α	Versperrungsgrad φ	Kraftbeiwert c_f	Bereich A	Bereich B	Bereich C
0°	Maximum alle φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum alle φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum alle φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 2,1	- 2,6	- 2,7
15°	Maximum alle φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maximum alle φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maximum alle φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maximum alle φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7



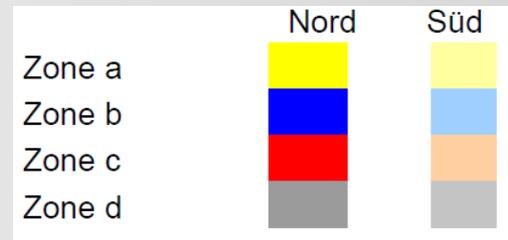
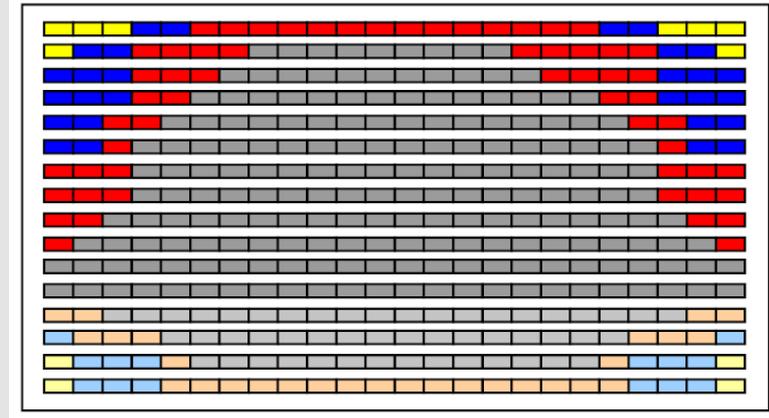
Windtunnel-Tests



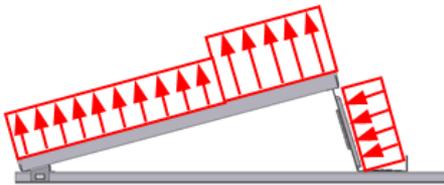
6.3 Weitergehende Untersuchungen

- (1) Die Berücksichtigung weitergehender Untersuchungen, die dem Stande des Wissens entsprechen, ist zulässig.
- (2) Falls Windkanalversuche herangezogen werden, ist hierfür ein geeigneter Grenzschichtwindkanal (z. B. entsprechend dem WTG-Merkblatt „Windkanalversuche in der Gebäudeaerodynamik“, Windtechnologische Gesellschaft WTG e. V.) zu verwenden, in dem die Profile der mittleren Windgeschwindigkeit und der Turbulenzintensität hinreichend genau modelliert werden. Die Messungen und deren Auswertung sind mit geeigneten Verfahren durchzuführen.

Aerodynamisch optimierte Systeme nach Ruscheweyh (AluGrid)



Nordwind



Gesamtzugkraft bezogen auf ein Modul:
Gesamtschubkraft bezogen auf ein Modul:

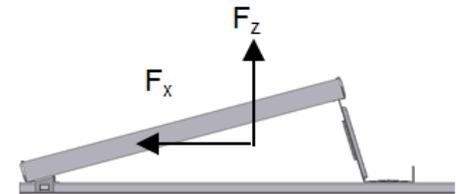
Südwind



$$F_z = \sum q_{b,i} \cdot (c_{p,res,i} \cdot A_i \cdot \cos \alpha_i)$$

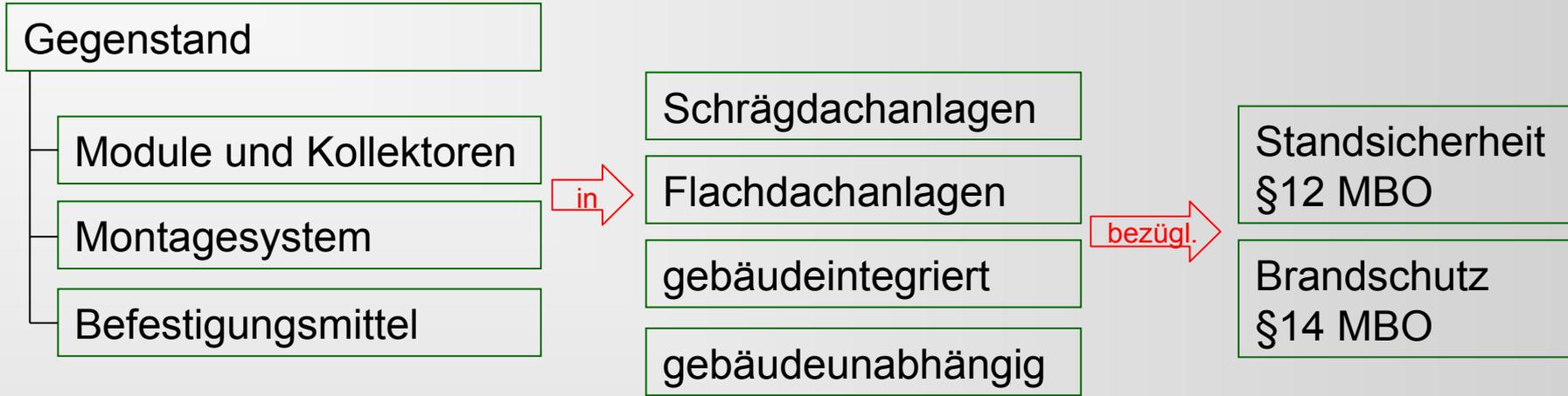
$$F_x = \sum q_{b,i} \cdot (c_{p,res,i} \cdot A_i \cdot \sin \alpha_i)$$

Ersatz: Abheben und Gleiten



5. Bauteilwiderstände

Hinweise DIBt Stand Juli 2012



Module und Kollektoren

Es gibt keine eingeführten Produktregeln für bautechnische Nachweise

~~DIN EN 61215~~
~~DIN EN 61646~~
~~DIN EN 61730~~

➡ **abZ oder ZiE oder Nachweis nach TRLV/TRAV/TRPV (konstr. Glasbau)**

Ausnahmen: Module und Kollektoren: $\leq 2,0 \text{ m}^2$ $\leq 75^\circ$ Glas mech. gehalten
 $\leq 3,0 \text{ m}^2$ bei Thermie
Freilandanlagen (eingezäunt)

Dachbahnen mit PV und kleinformatige Fassadenelemente: $\leq 0,4 \text{ m}^2$ $\leq 5 \text{ kg}$

Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen (07/12)

2.1.4 Montagesysteme

Das PV-Modul bzw. der Solarkollektor wird von einem Montagesystem getragen, das die Eigenlasten, die Wind- und Schneelasten und ggf. Nutzlasten, die auf das PV-Modul bzw. den Solarkollektor einwirken, sicher und dauerhaft aufnehmen und in das Gebäude, andere bauliche Anlagen oder den Baugrund weiterleiten muss.

Für die Standsicherheit gelten die technischen Regeln der Liste der Technischen Baubestimmungen. Bei der Ausführung von Stahl- und Aluminiumkonstruktionen sind die in dieser Liste aufgeführten **Eurocodes DIN EN 1993-1** und **DIN EN 1999-1** einschließlich ihrer nationalen Anhänge und die Ausführungsnorm DIN EN 1090-2 und DIN EN 1090-3 zu beachten.

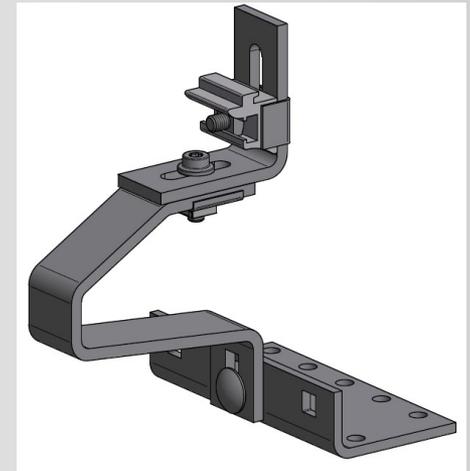
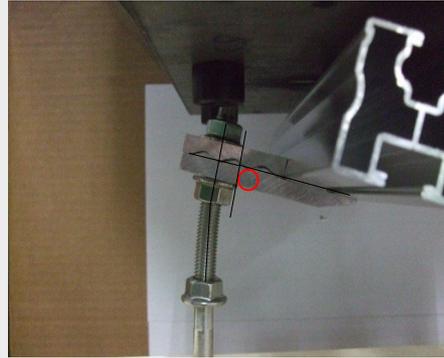
Die Standsicherheit und die Ausführung von Tragkonstruktionen aus nichtrostendem Stahl sind derzeit nicht durch die geltenden Technischen Baubestimmungen geregelt. Hier ist die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-30.3-6 zu beachten.

Außerdem ist für den Nachweis der Standsicherheit und Dauerhaftigkeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich (ausgenommen Bauprodukte nach Liste C lfd. Nr. 5.8), sofern

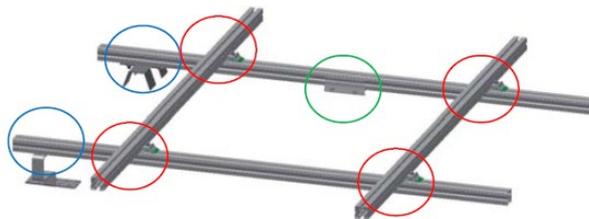
- die **Tragfähigkeit von Metallkonstruktionen** durch **Versuche** ermittelt wird,
- die relevanten Teile des Montagesystems aus **Kunststoffbauteilen** bestehen,
- die Montageträger oder Aussteifungselemente des PV-Moduls bzw. Solarkollektors **geklebt** sind.

Befestigungsmittel für Montagesysteme (Schrauben/Dübel/Anker): genormt oder ETA oder abZ

Zulassungsmerkmale



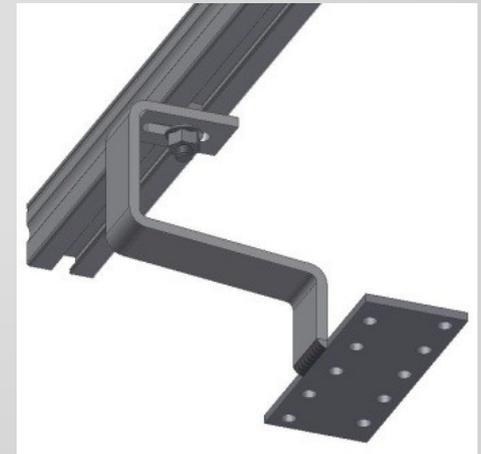
KlickTop Kreuzverbinder
Schraube in Schraubkanal
Profilverbinder
zweischnittig ungestützte Verbindung



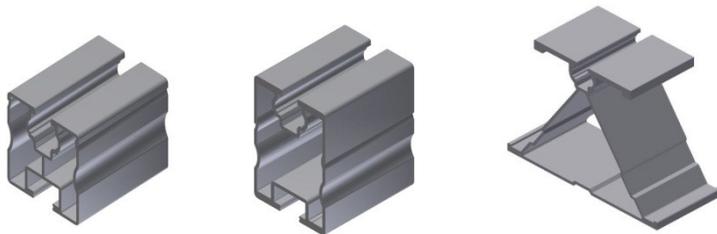
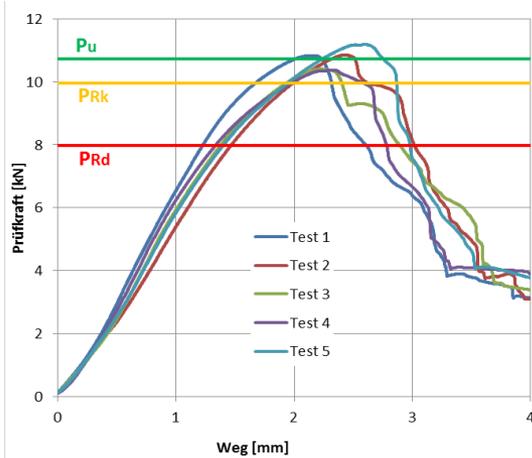
Kreuzverbinder und Profilverbinder



Knotenpunkte der Aufständersdreiecke

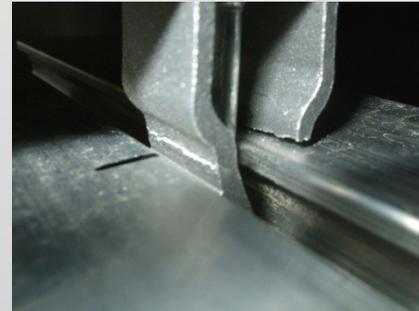


Beispiel Modulklemmen



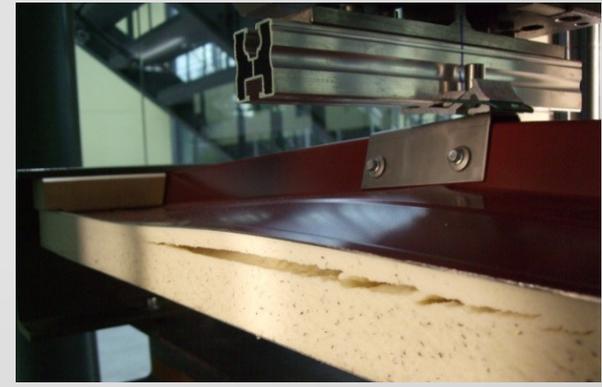
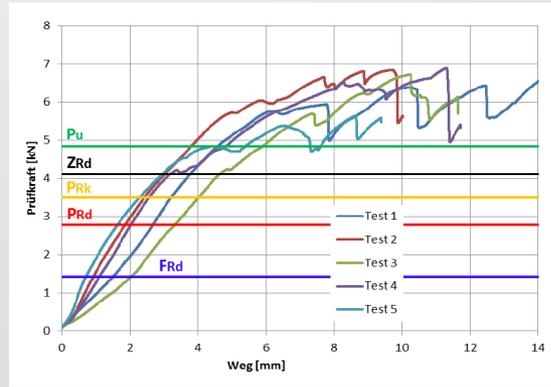
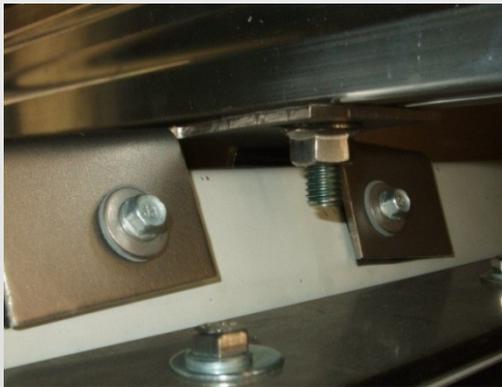
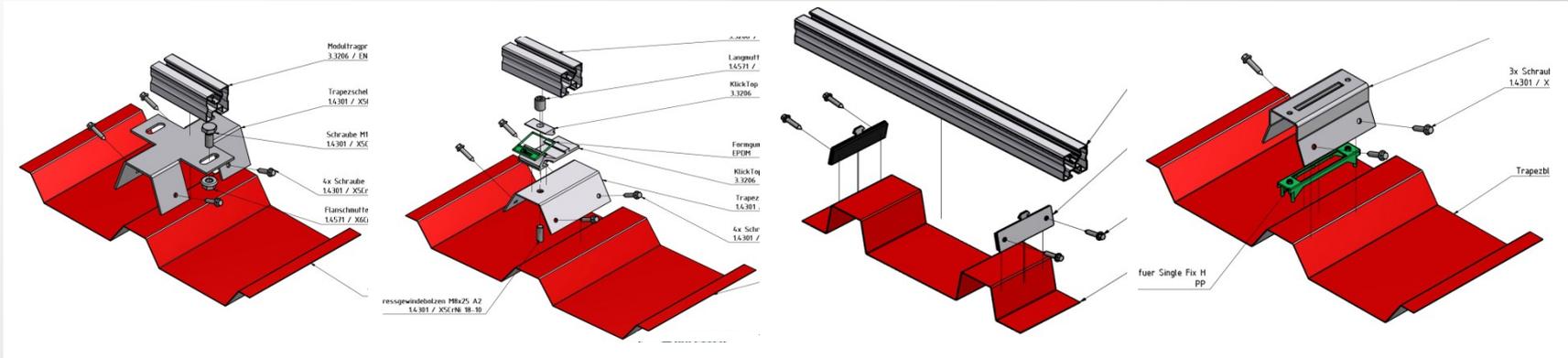
Schubtragfähigkeit Standard Modulklemmen

Schubtragfähigkeit [kN/Klemme]		Lastkonfiguration 1			Lastkonfiguration 2			Lastkonfiguration 3		
		$V_{R,k}$	$V_{R,d}$	V_{zul}	$V_{R,k}$	$V_{R,d}$	V_{zul}	$V_{R,k}$	$V_{R,d}$	V_{zul}
Standard	Mittelklemme gemäß Anlage 4.1	0,88	0,59	0,39	1,21	0,81	0,54	0,92	0,61	0,41
	Randklemme gemäß Anlage 4.2	0,94	0,63	0,42	1,44	0,96	0,64	0,52	0,35	0,23



Beispiel Trapezblechbefestigungen Z-14.4-646

Befestigungen/Trapezschellen

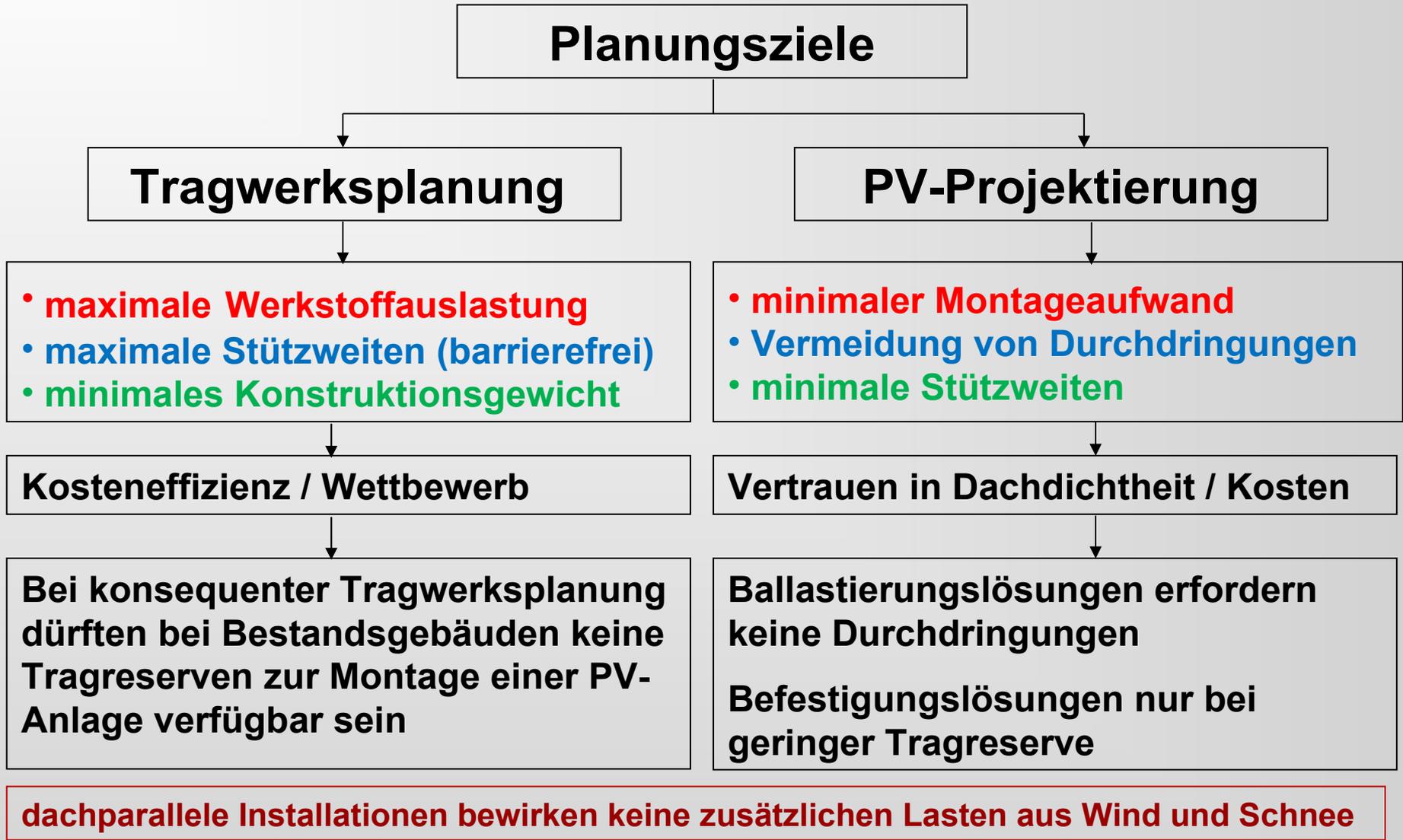


Sandwichelemente: Regelung in der abZ der Sandwichelemente

Fischer Profile: Z-10.4-540

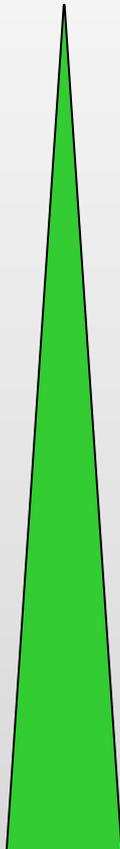
Metecno: (steht bevor)

6. Tragreserven bestehender Gebäude



Belegung in Abhängigkeit der Tragreserven

0 kg



0 -10 kg/m²

Folien mit PV
evtl. Isotop (Schletter)

10 -15 kg/m²

Befestigungslösungen
Ballast bei Kies/Gründach

10 -25 kg/m²

aerodynamisch optimierte
Gestelllösungen (ballastarm)

20 -35 kg/m²

Rückwandbleche
Reihenkopplung

35 -50 kg/m²

Standard mit Reihenkopplung

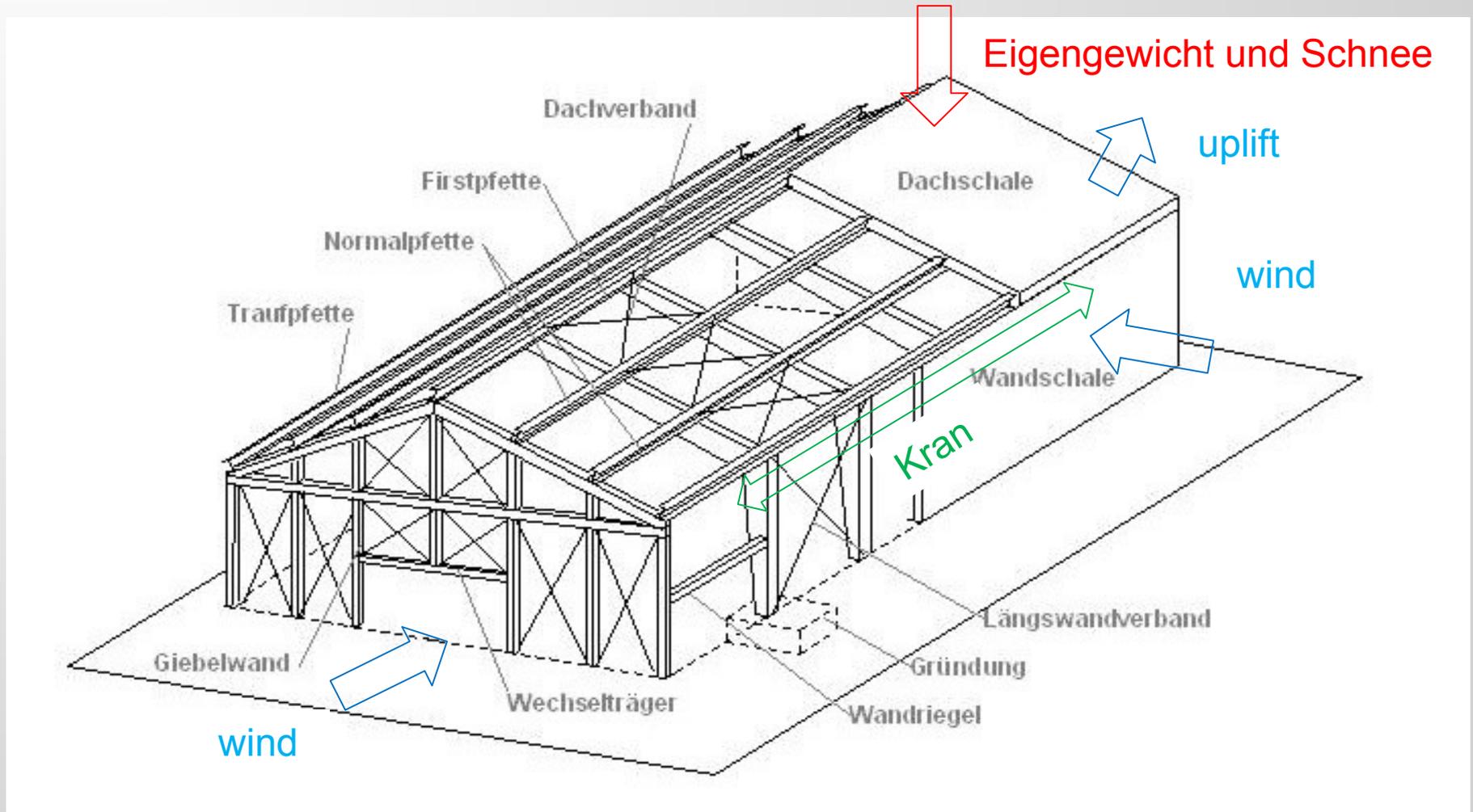
> 50 kg/m²

freie Systemwahl



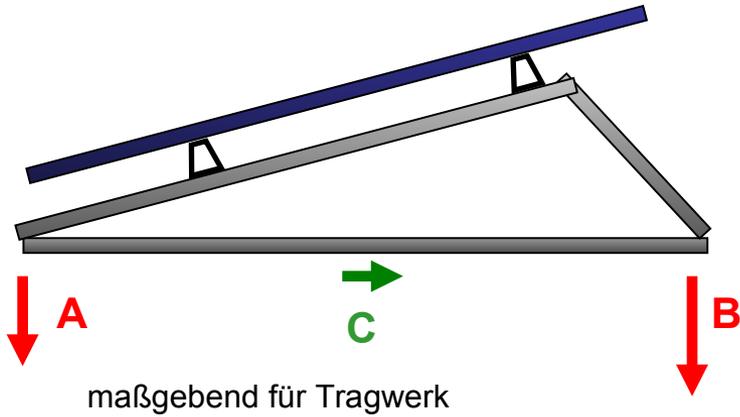
Faktoren: Windzone / Gelände / Gebäudehöhe / Modulneigung usw.

Gebäudekomponenten und Lasten

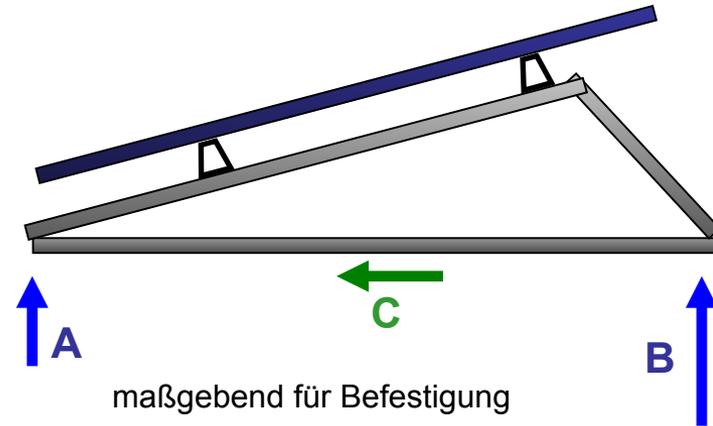


äquivalente Ersatzlast q

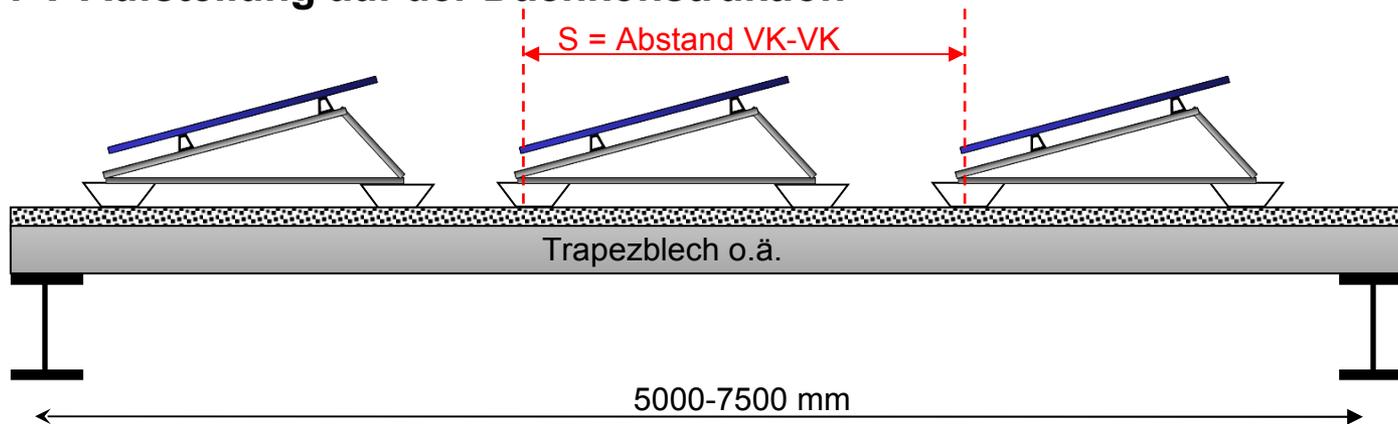
Druckkräfte (Lastkombination 1 und 2)



Druckkräfte (Lastkombination 3)



PV-Aufstellung auf der Dachkonstruktion

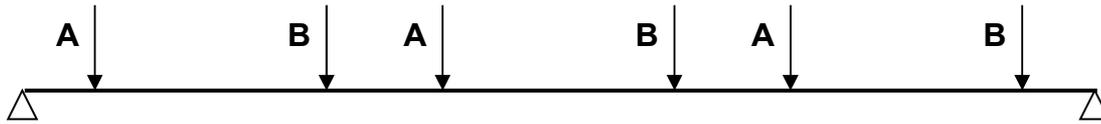


$$q = \frac{A+B}{S \cdot a}$$

a = Abstand der Unterstützung der Modulträger

Lösungskonzepte für PV-Montagesysteme

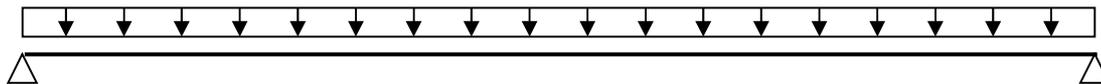
Vergleichsbetrachtung Schnittgrößen



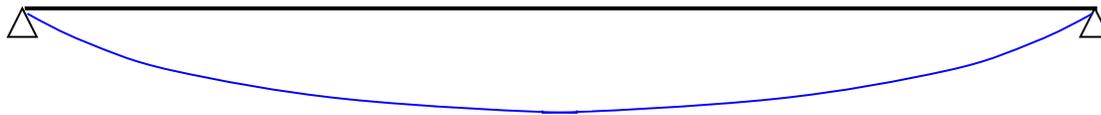
Biegemomentenverlauf polygonal



äquivalente Flächenlast q



Biegemomentenverlauf parabelförmig



Die Berechnung der Beanspruchungen mit äquivalenten Ersatzlasten liefert bei weittragenden Industriedächern einen affinen Biegemomentenverlauf zur tatsächlichen Belastung. Daher ist es für den Ingenieur, der im Regelfall über keine Kenntnisse über PV-Anlagen verfügt, stets einfacher mit äquivalenten Ersatzlasten zu rechnen.

$$q \leq \text{Tragreserve}$$

Aussteifungslasten (horizontal)

Die Berechnung der globalen Horizontalkräfte für das Gebäude erfolgt über Reibbeiwerte multipliziert mit der Dachfläche in Haupt- und in Querrichtung. Bei großen Gebäudebreiten darf eine zusätzliche Abminderung vorgenommen werden.



$$F_x = c_{fx} \cdot A_{\text{roof}} \cdot q_p \cdot F_G$$

$$F_y = c_{fy} \cdot A_{\text{roof}} \cdot q_p \cdot F_G$$

Width of the building perpendicular to the wind direction	F_G	note
< 10 m	1.0	Linear interpolation between the values
30 m	0.9	
> 100 m	0.7	

System angle α	Friction coefficient c_{fx}	Friction coefficient c_{fy}
35°	0.037	0.024
25°	0.032	0.021
15°	0.027	0.015
5°	0.020	0.010

Werte systemspezifisch

7. Zusammenfassung

- Statische Berechnungen für
 - Module
 - Gestelle
 - Gebäude
- Lastermittlung weltweit standardisiert
 - Windkanalversuche für PV
- Bauteilwiderstände
 - Berechnung
 - Versuch (abZ/ZiE)
- Nachweis der Stand**sicherheit** ist gesetzlich vorgeschrieben



**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**

