

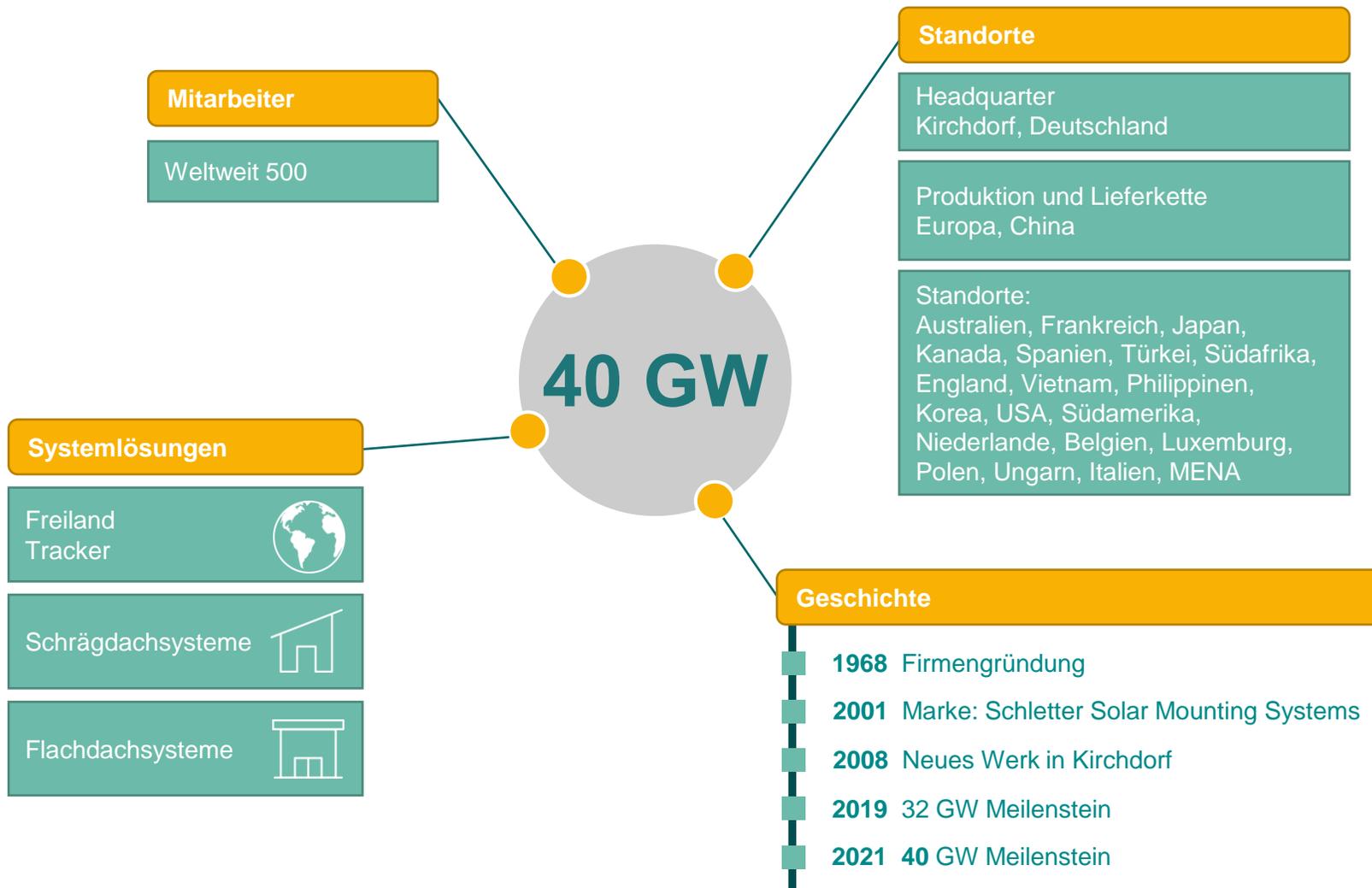
# Schletter Solar GmbH Solar Montagesysteme

**SCHLETTER**  
The Solar Mounting Group

Weniger Ballast durch verbesserte  
Aerodynamik und mehr Flexibilität  
auf dem Flachdach



Die Schletter Group



# Agenda

- Winddesign
- Systemübersicht
- Anordnung Ost-West
- Anordnung Süd
- Ballastierung



## Entstehung des Papiers

Workshop Windkanalversuche Ende 2019 mit drei Windkanalgutachtern

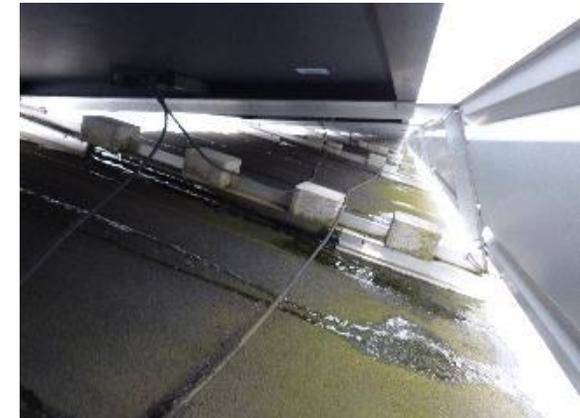
- Rücksprache mit Windkanalgutachtern und Fachgruppe
- Sicherheitskonzept und Sicherheitsbeiwerte
- Systemverbund und Einfluss auf den Ballast
- Einfluss der Gebäudegeometrie
- Windkanalversuche Aufbau/Auswertung/Dokumentation
- Umgebungsparameter
- Berechnungsbeispiele für Süd- und Ost-West-Systeme

## Bearbeitung durch:

- Dr.-Ing. Cedrik Zapfe, Schletter Group / Dr. Zapfe GmbH
- Dr.-Ing. Martin Schäfer, BayWa r.e. Solar Energy Systems GmbH
- Dipl.-Ing. Tilman Elsner, ELSNER Ingenieurbüro für Bauwesen und PV
- Dipl.-Ing. Michael Hacker, Premium Mounting Technologies GmbH & Co KG
- Dipl.-Ing. Achim Michl, Statik Michl engineering
- M.Sc. Jeroen Weller, Esdec B.V.



## Technische Risiken bei ballastierten PV-Anlagen



Fotoquellen: Dr.-Zapfe GmbH/Schletter Solar GmbH

**Verantwortung für Standsicherheit im Sinne von §12 MBO**

<p><b>§ 53 Bauherr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bestellt Beteiligte (sofern nicht selbst)</li> <li>• Anträge/Anzeigen</li> <li>Nachweise</li> </ul> <p>Investor</p>	<p><b>§ 54 Entwurfsverfasser</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verantwortet Entwurf</li> <li>• Zeichnungen/Berechnung</li> <li>• Anweisungen</li> <li>• koordiniert Fachplaner</li> </ul> <p><b>§ 55 Unternehmer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verantwortet Ausführung</li> <li>• Sicherheit der Baustelle</li> <li>• Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte</li> </ul> <p>Installateur/EPC Contractor</p>	
---	--	--

- **Prüfung** der Eignung des aufnehmenden Gebäudes
- **Planung** im Sinne der anerkannten Regeln der Technik
- **Nachweisführung** Standsicherheit des Gestells
- **Ausführung** nach den Vorgaben der Planung

# Ermittlung der Windlast

$$\text{Windlast } w = q_p \cdot C_{p,res}$$

## DIN EN 1991-1-4

- Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p$  in Bezugshöhe  $z$
- Anpassungen an die Landesnorm durch NA

GK I: Offene Seen

GK II: Gelände mit einzelnen Häusern

GK III: Vorstädte

GK IV: Stadtgebiete

Windzone 4  
Windzone 3  
Windzone 2  
Windzone 1

## Windtunneltests

**Wacker Ing.**

**Ruscheweyh**

**I.F.I Aachen**

**DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12**

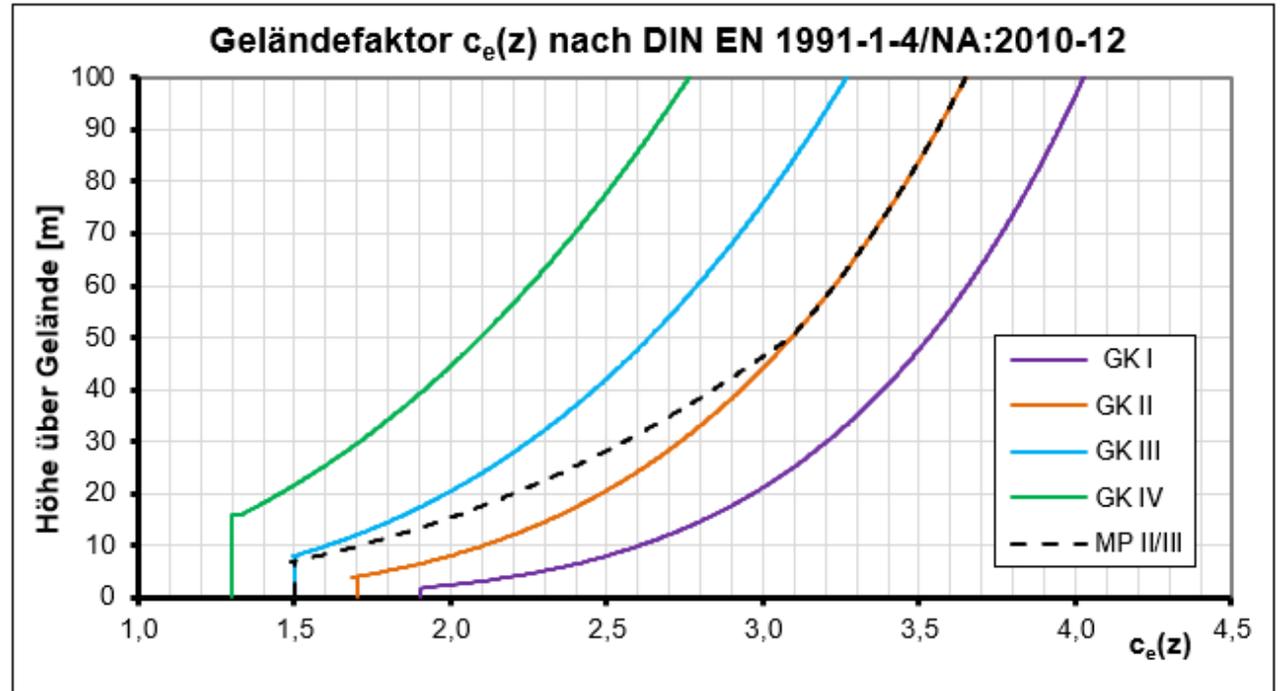
### NDP zu 1.5 (2)

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.

# Windlast nach DIN EN 1991-1-4:NA 2010-12



Windzone	$v_{b,0}$ [m/s]	$q_{b,0}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	22.5	0.32
2	25	0.39
3	27.5	0.47
4	30.0	0.56

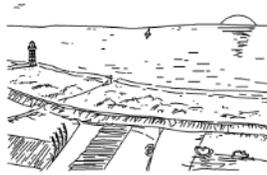


**Basisgeschwindigkeitsdruck:**  
 $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$

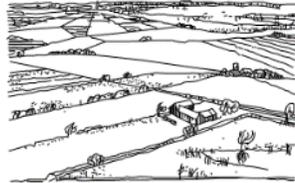
**Böengeschwindigkeitsdruck:**  
 $q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$

Auszüge aus DIN EN 1991-1-4

# Geländekategorie - Umgebungsparameter



GK I: Offene Seen

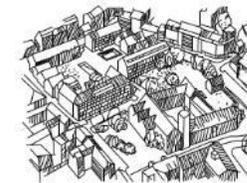


GK II: Gelände mit einzelnen Häusern

MP II/III:  
Mischprofil  
Binnenland

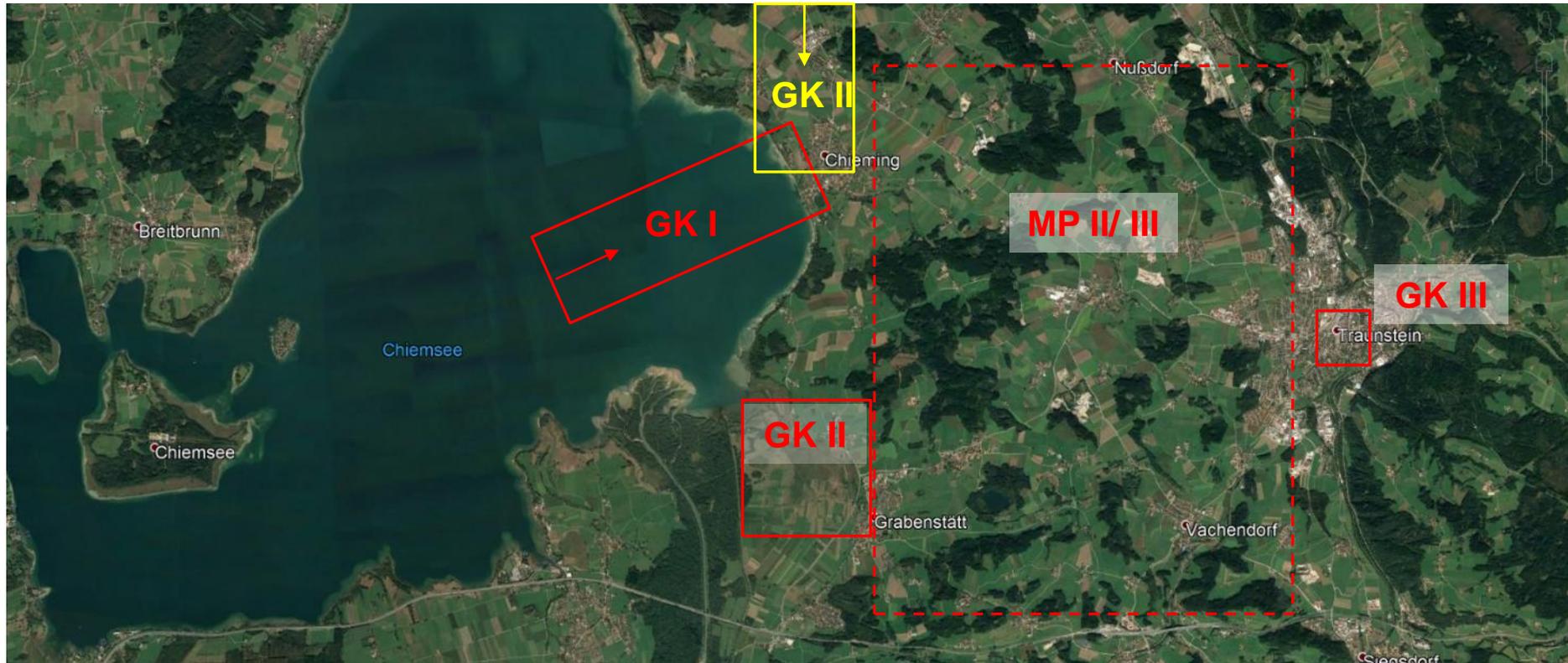


GK III: Vorstädte



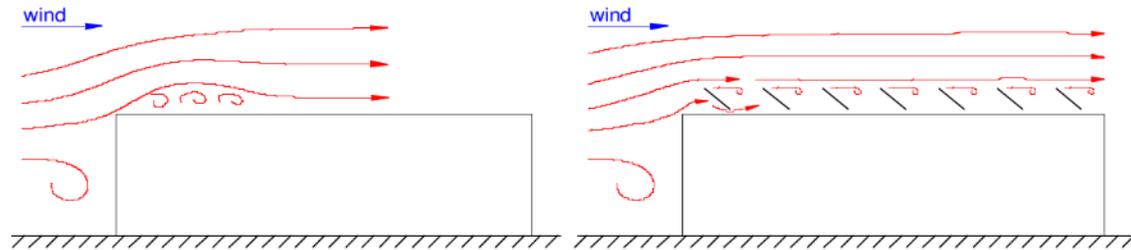
GK IV: Stadtgebiete

Auszüge aus  
DIN EN 1991-1-4

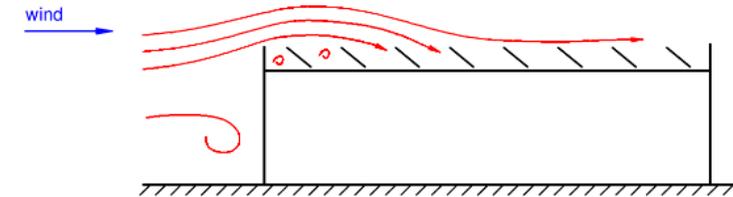


Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

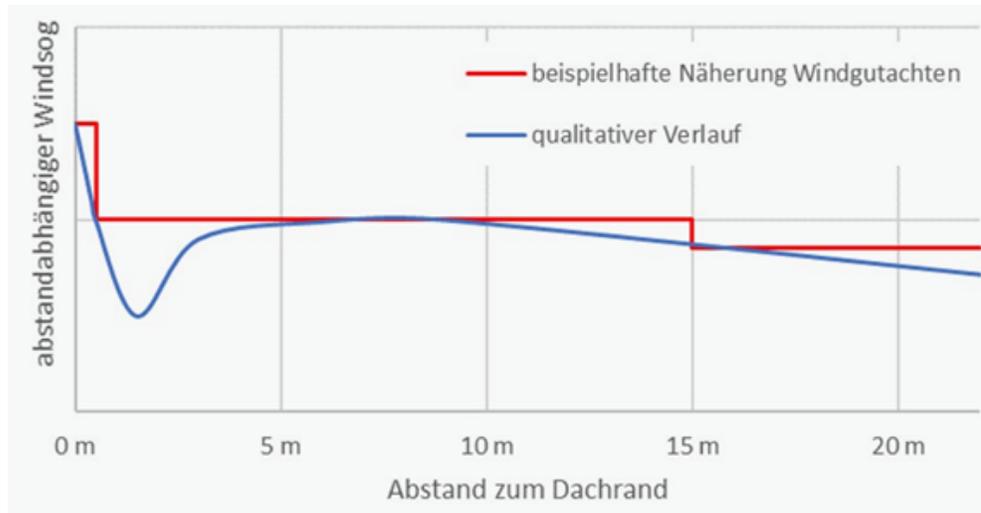
# Grundsätzliche Eigenschaften



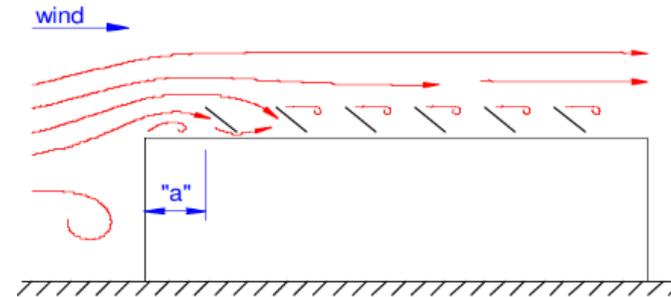
Strömungsverlauf an der oberen Dachecke ohne und mit Modulbelegung



Einfluss einer Attika auf das Strömungsfeld



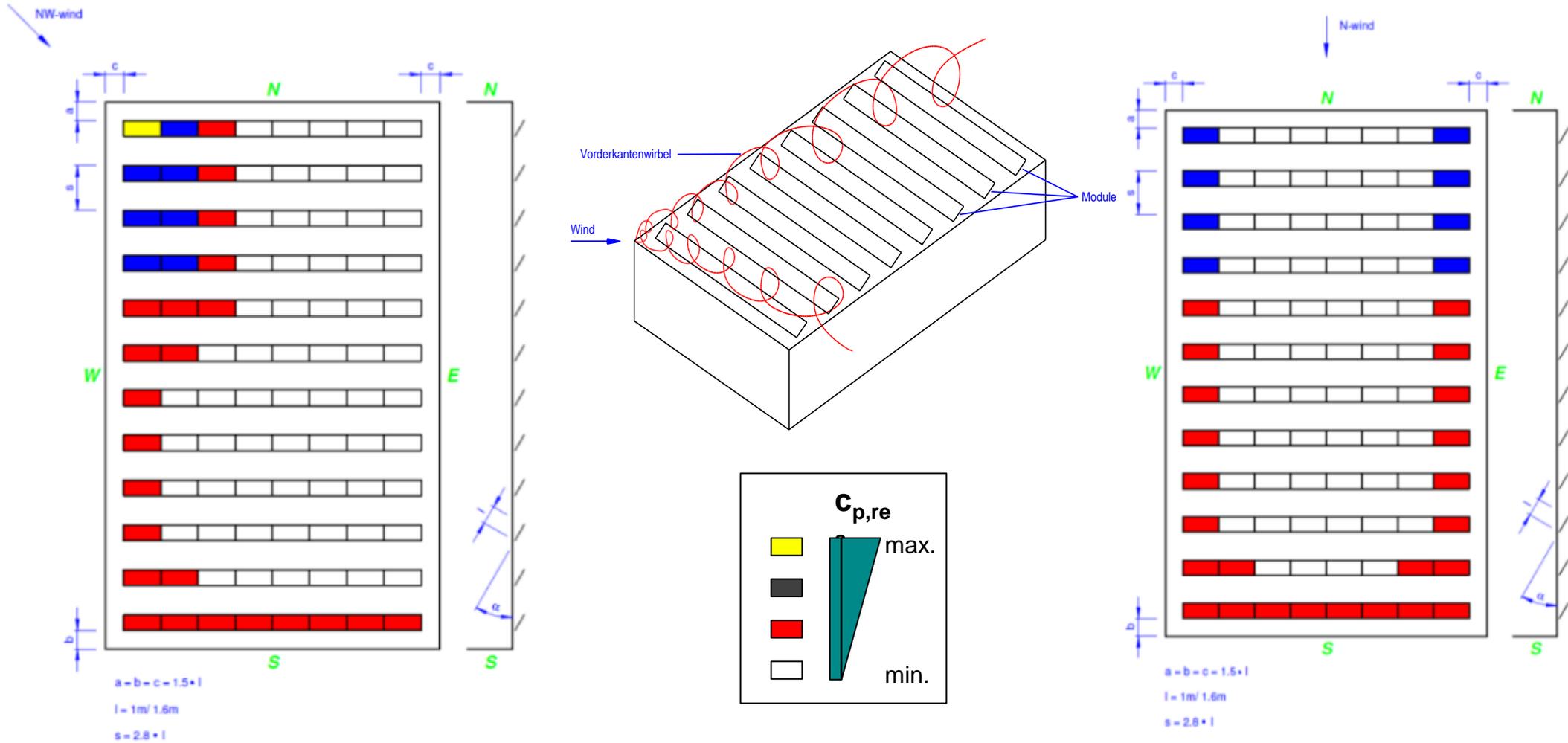
Quelle: BSW Hinweispapier Windkanal



Quelle:

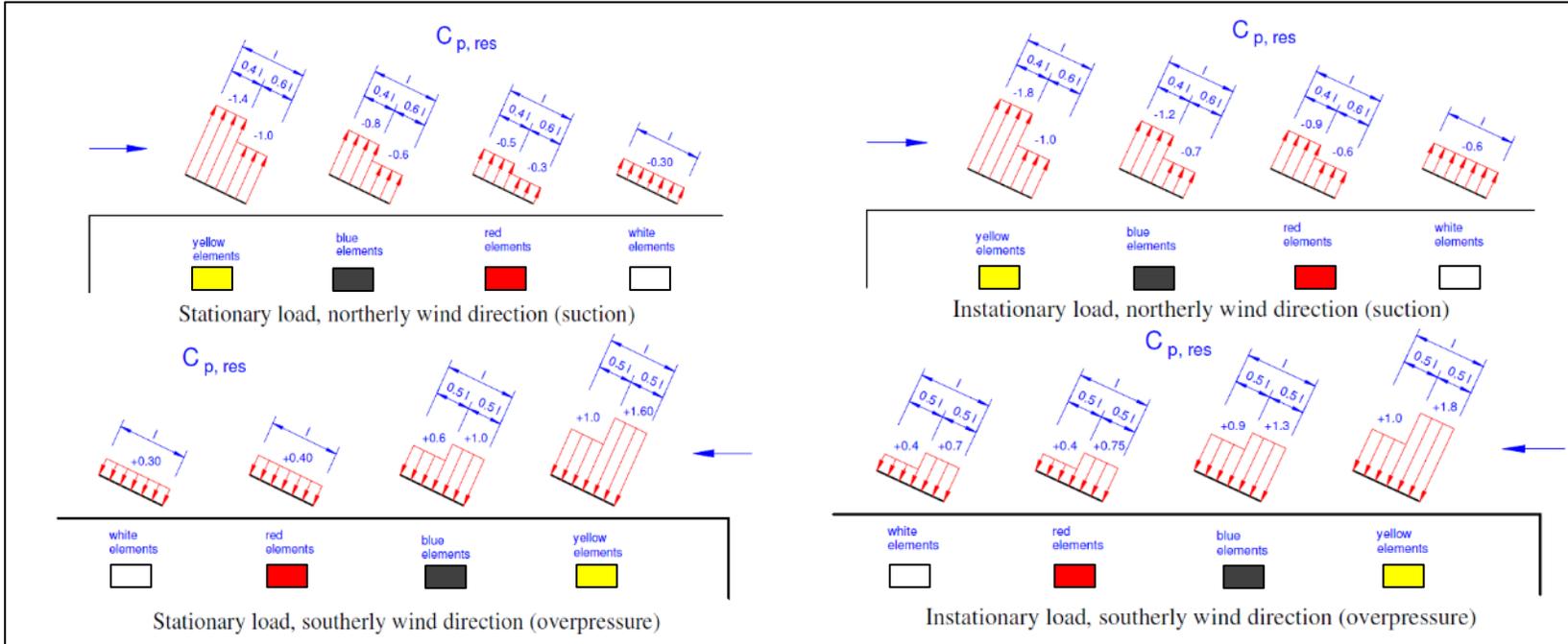
Wind loads at solar and photovoltaic modules for large plants  
 Hans Ruscheweyh, Reiner Windhövel  
 Ruscheweyh Consult GmbH, Teichstr. 8, Aachen, Germany,  
 info@ruscheweyh.de

# Winddruckbeiwerte – Verteilung auf dem Dach

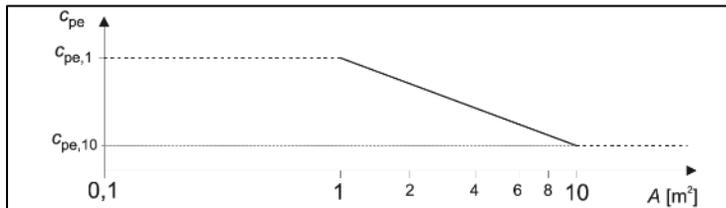


Quelle: Schletter Solar GmbH / Ruscheweyh Consult GmbH

Beispiel: Flachdachmontagesystem ohne Windleitblech 25°



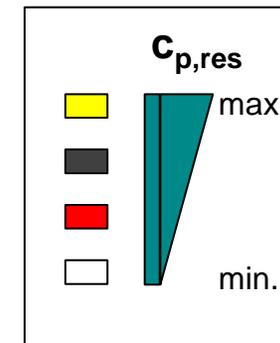
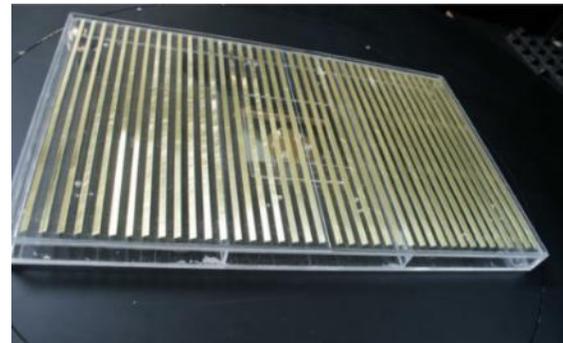
Quelle: Schletter Solar GmbH / Ruscheweyh Consult GmbH



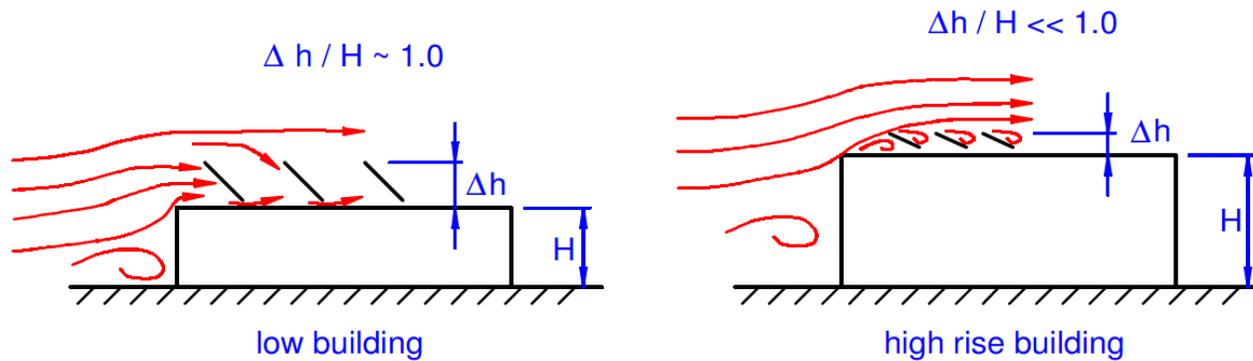
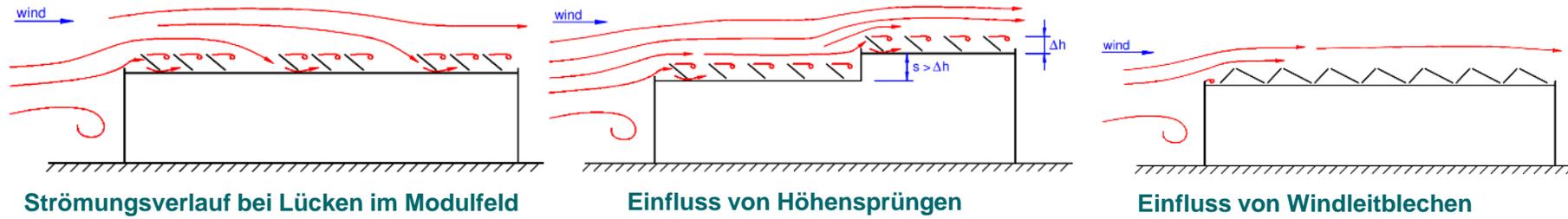
Das Bild liefert folgenden Zusammenhang:  
für  $1 m^2 < A < 10 m^2$   $C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A$

Bild 7.2 — Außendruckbeiwerte  $c_{pe}$  für Gebäude in Abhängigkeit von der Lasteinflussfläche  $A$

Auszug aus DIN EN 1991-1-4

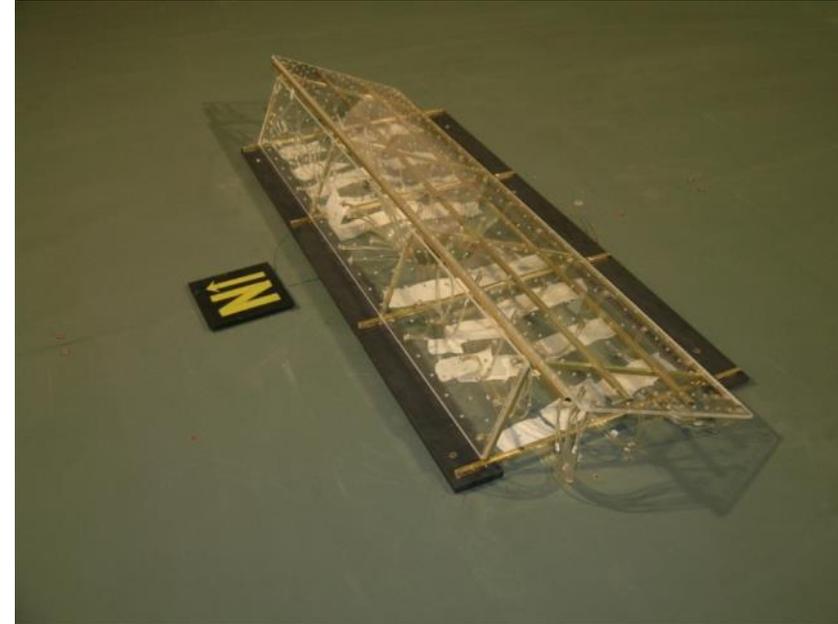


# Weitere Parameter

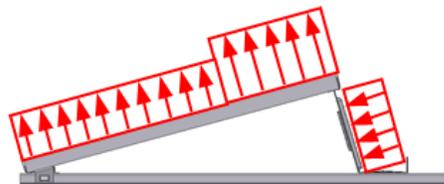


Einfluss der Gebäudehöhe  $\Delta h/H$  auf den die Umströmung der Module

# Aerodynamisch optimierte Systeme mit Windleitblechen



**Nordwind**



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

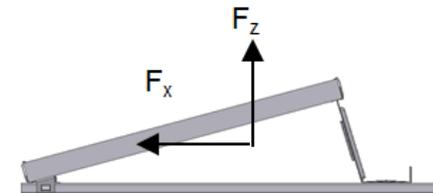
**Südwind**



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

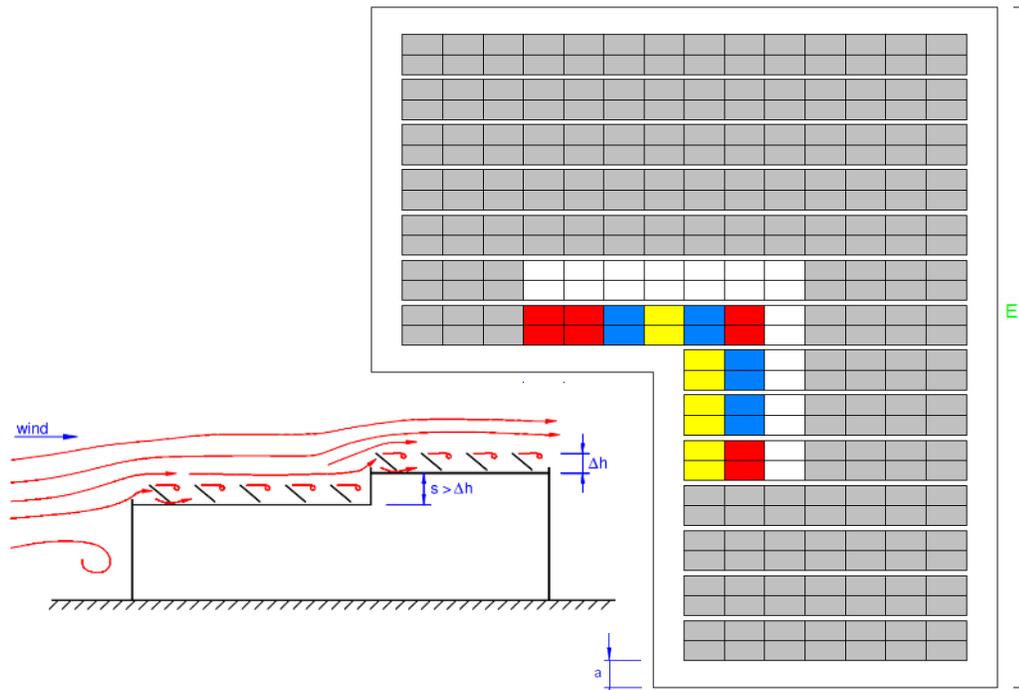
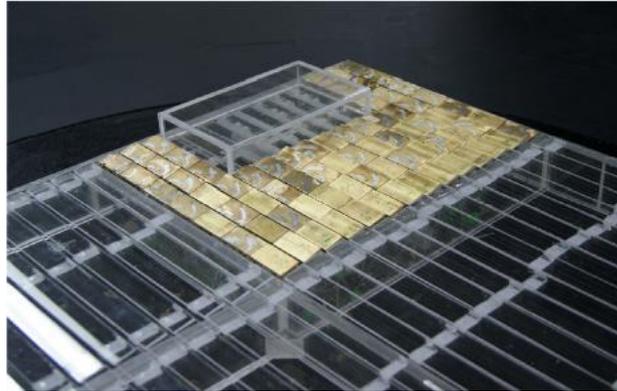
$$F_x = \sum q_{b,i} \cdot (c_{p,res,i} \cdot A_i \cdot \sin \alpha_i)$$

**Ersatz: Abheben und Gleiten**

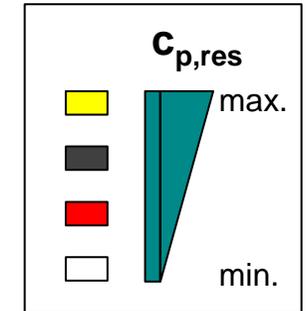
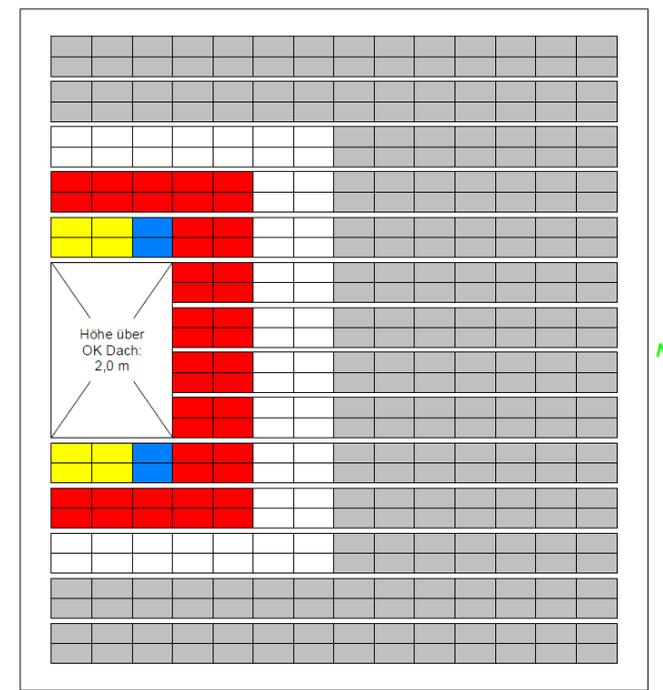
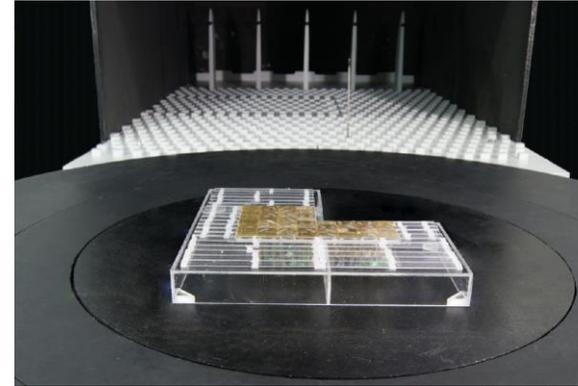


# Besondere Gebäudeformen

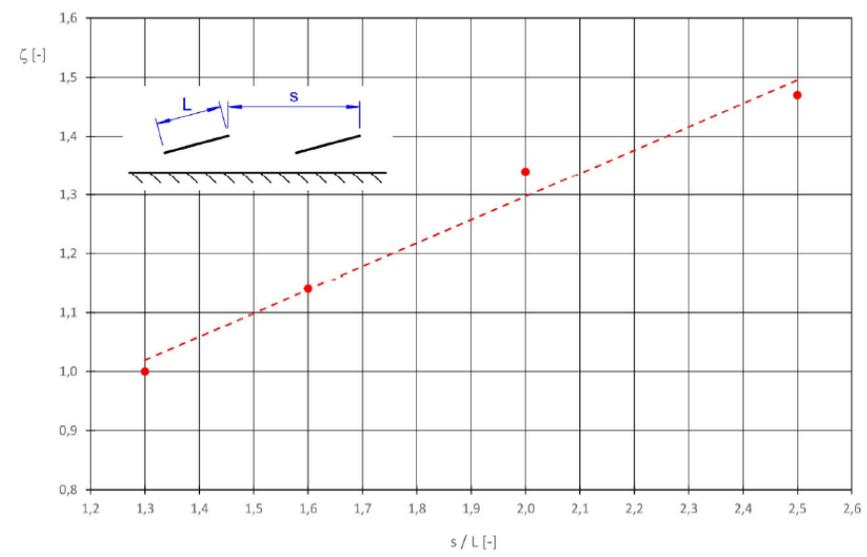
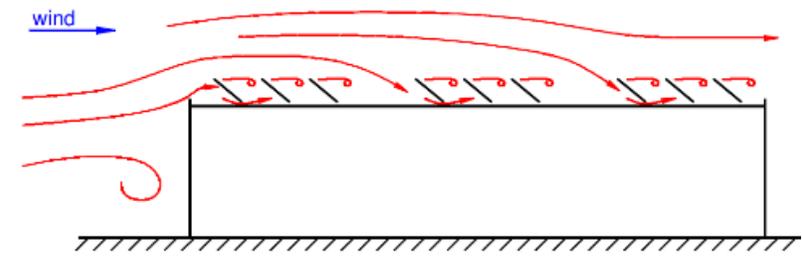
## Höhensprünge



## Gebäudeform



Einfluss der Reihenabstände



# Anforderungen bei Flachdachmontagesystemen

widersprechende Forderungen

Wind

Temperatur

Möglichst große zusammenhängende Generator-Einheiten um den Einfluss von Sogspitzen zu vermeiden

Möglichst kleine zusammenhängende Generator-Einheiten um Verschiebungen aus dem Abbau von Zwängungen zu vermeiden



Fotoquelle: Schletter Solar GmbH

Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

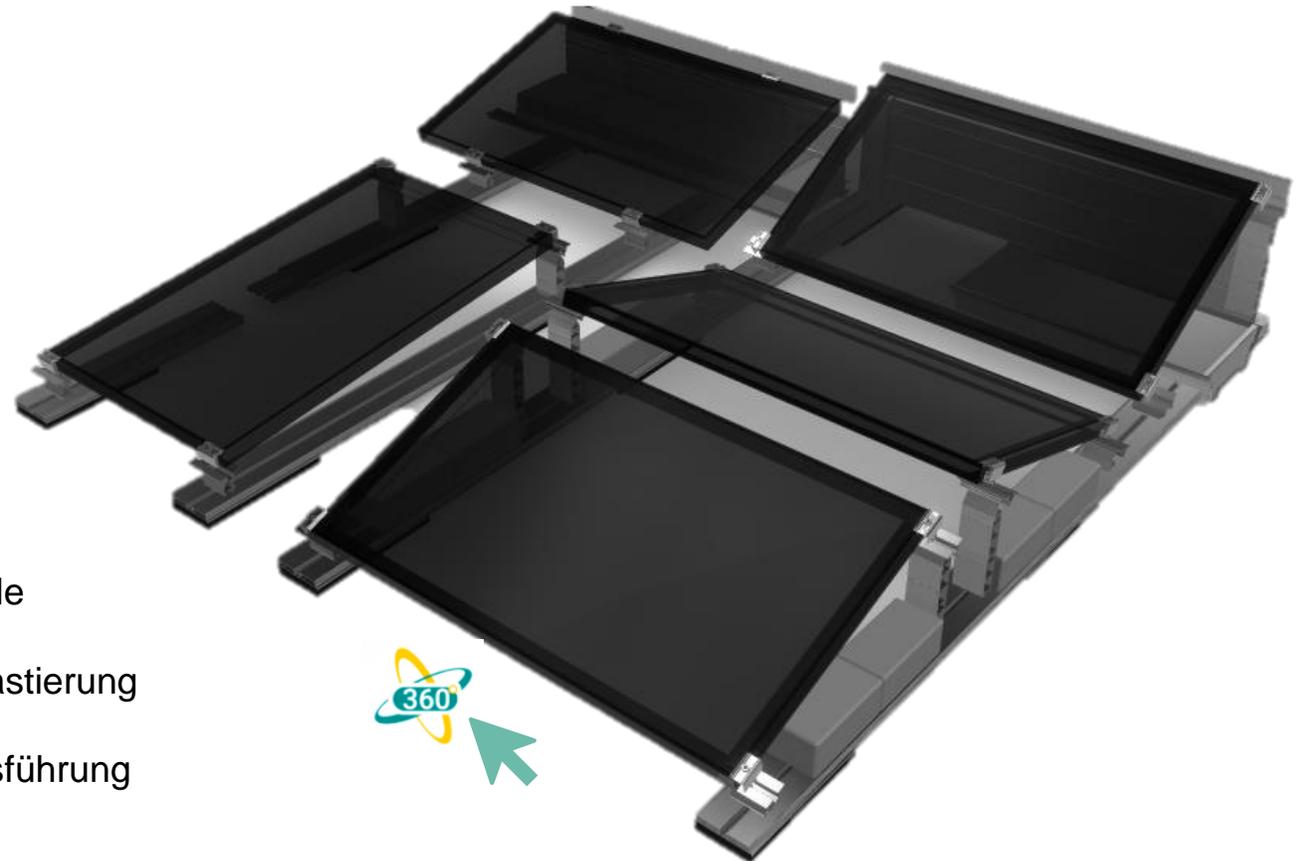
## Ballastoptimierte Flachdachsysteme



## Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

### FixGrid Pro - Systemübersicht

- Aerodynamisch optimiert
- Schnelle Installation
- Modulausrichtung
  - Süd
  - Ost-West
  - Hochkant
  - Quer
- Klemmung
  - Eckpunkt
  - ¼-Punkt
  - Lange Seite
  - Kurze Seite
- Modulwinkel ca. 5°, 10°, 15°
- Zukunftsorientiert - Auch für großformatige Module
- Weniger Komponenten -> Geringere Komplexität
- Neues Winddesign mit bis zu -10% weniger Ballastierung
- Flexible Positionierung des Wartungsgangs
- Planung, Dokumentation und statische Nachweisführung über SchletterConfigurator



# Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

## FixGrid Pro - Komponentenübersicht

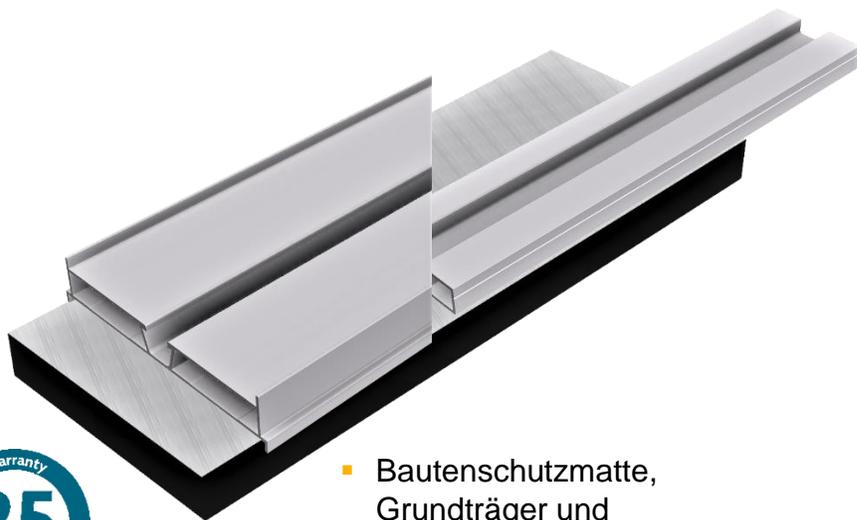
- Bautenschutzmatte mit Aluminiumkaschierung (abZ)
- Verbesserter Abfluss des Regenwasser durch Aufbauhöhe 2cm
- Positionierungshilfe durch Klebeverbindung
- Modulaufleger und Erhöhungselemente mit schnellem Bajonettverschluss und KlickIn-Montage
- Bodenprofile und Ballastschiene für Ballaststeine (20x10x8 cm) mit selbstsichernden, werkzeuglosem Verbinder



▪ Modulaufleger



▪ Erhöhungselement



▪ Bautenschutzmatte, Grundträger und Verbinder



▪ RapidCon 90



▪ Ballastschiene und Verbinder



▪ Windsafe

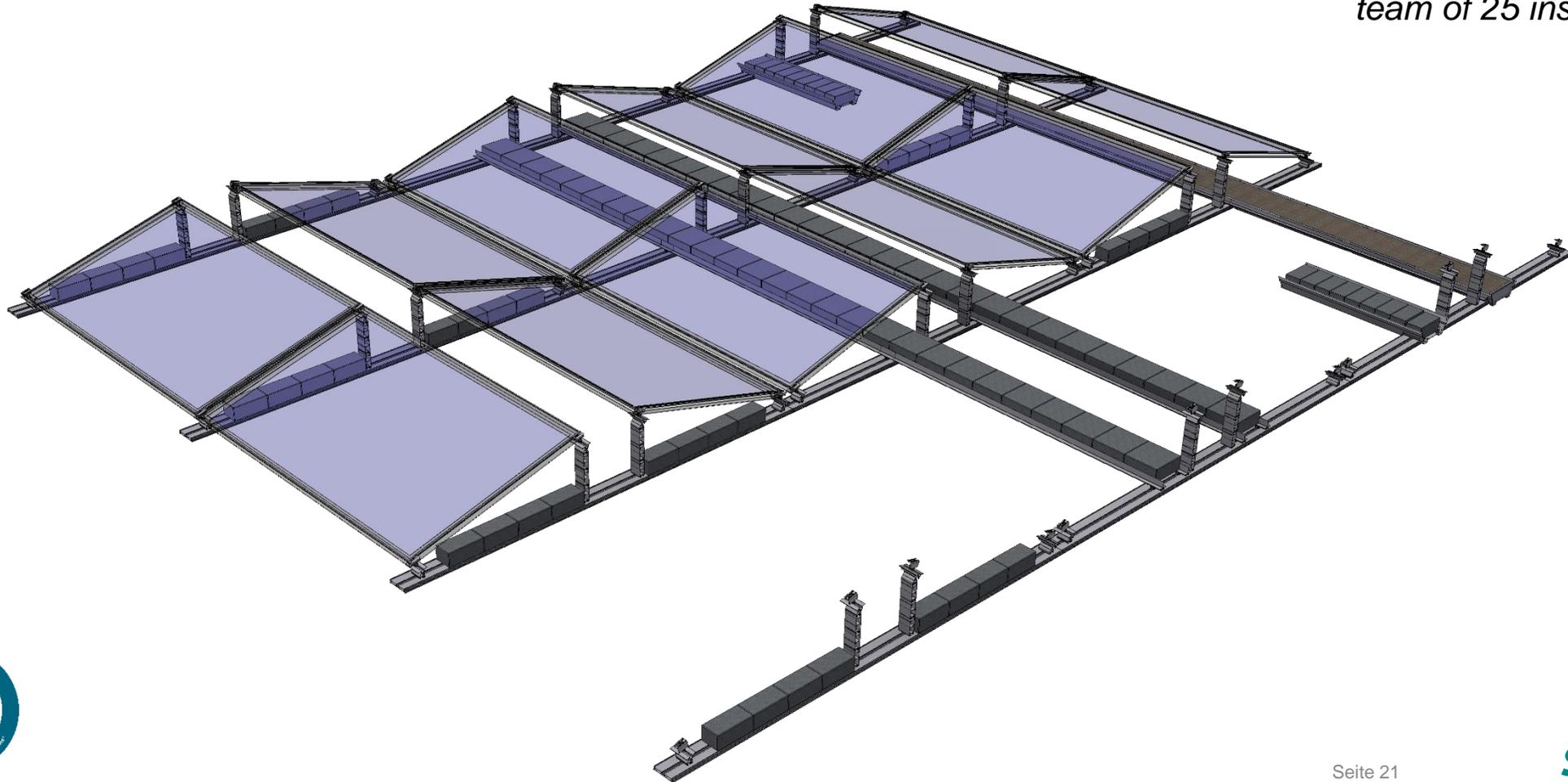


## Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

FixGrid Pro – Ost-West

- Wenige Werkzeuge benötigt: Maßband, Schrauber mit Bit T40
- Schnelle Montage durch Bajonettverbinder

*„We installed a FixGrid project with **20.600 modules** and needed **only 8 weeks** with a team of 25 installers“*

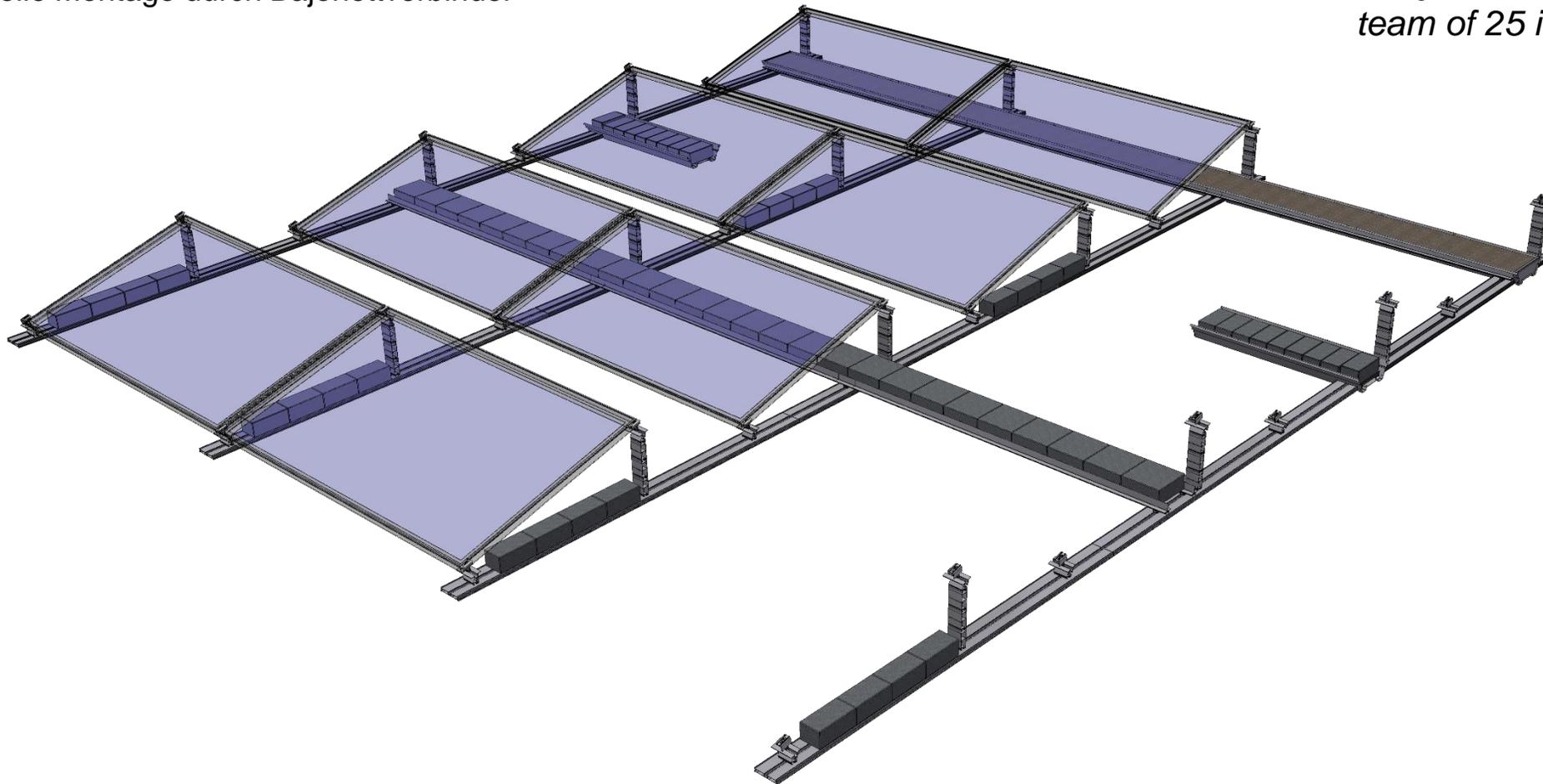


## Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

FixGrid Pro – Süd

- Wenige Werkzeuge benötigt: Maßband, Schrauber mit Bit T40
- Schnelle Montage durch Bajonettverbinder

*„We installed a FixGrid project with **20.600 modules** and needed **only 8 weeks** with a team of 25 installers“*



## Weniger Ballast durch verbesserte Aerodynamik und mehr Flexibilität auf dem Flachdach

### FixGrid Pro – Ballastierung

- Windkanal Test (Prof. Dr. Ruscheweyh)
- Exakte Berechnung des benötigten Ballasts und detaillierte Beschreibung und Anleitung in der Dokumentation
- Ballaststeine direkt auf dem Durchlaufträger
- Bei erhöhter Ballastierung auf zusätzliche Ballastschienen
- Wichtige Faktoren für die Ballastkalkulation:
  - Lokale Wind- und Schneelasten
  - Gebäudehöhe
  - Dachneigung
  - Geländekategorie
  - Modulgröße
  - Gruppenwirkung
  - Gebäudeanordnung und -beschaffenheit

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	61,68 kg (x=↑9 9↓) (y=1)	61,68 kg (x=↑9 9↓) (y=1)	23,54 kg (x=↑4 3↓)							
2	61,68 kg (x=↑9 9↓)	23,54 kg (x=↑4 3↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)							
3	23,54 kg (x=↑4 3↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 0↓)						
4	23,54 kg (x=↑4 3↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 0↓)							
5	23,54 kg (x=↑4 3↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 0↓)							
6	23,54 kg (x=↑4 4↓)	6,85 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)	0,89 kg (x=↑1 1↓)

Ballastierung mit Pflastersteinen (20 x 10 x 8 cm, 3,5 kg)

		Gewicht	
Montagegestell		1.016,5 kg	
Module	(416)	7.488,0 kg	Modulfläche gesamt: 679,5 m <sup>2</sup>
Ballaststeine	(745)	2.607,5 kg	20 x 10 x 8 cm, 3,5 kg
		11.112,0 kg	

### Äquivalente Ersatzlasten, Pressung auf Dämmung

Zone	$q_k$	$q_d$	$\sigma$
a	0,29 kN/m <sup>2</sup>	0,39 kN/m <sup>2</sup>	29,58 kN/m <sup>2</sup>
b	0,18 kN/m <sup>2</sup>	0,24 kN/m <sup>2</sup>	25,73 kN/m <sup>2</sup>
c	0,13 kN/m <sup>2</sup>	0,18 kN/m <sup>2</sup>	24,04 kN/m <sup>2</sup>
d	0,11 kN/m <sup>2</sup>	0,16 kN/m <sup>2</sup>	23,44 kN/m <sup>2</sup>
Maxima	0,29 kN/m <sup>2</sup>	0,39 kN/m <sup>2</sup>	

- $q_k$  Charakteristische Ersatzflächenlast
- $q_d$  Belastungsaufstellung pro m<sup>2</sup> Dachfläche
- $\sigma$  Pressung auf Dämmung (Eigengewicht+Schnee)
- Bautenschutz: Unter jedem Auflager



Dr.-Ing. Cedrik Zapfe  
ö.b.u.v. (IHK München) Sachverständiger für Metallbau  
Dr. Zapfe GmbH  
cedrik.zapfe@schletter-group.com

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Manuel Schwarzmaier  
Schletter Solar GmbH  
manuel.schwarzmaier@schletter-group.com