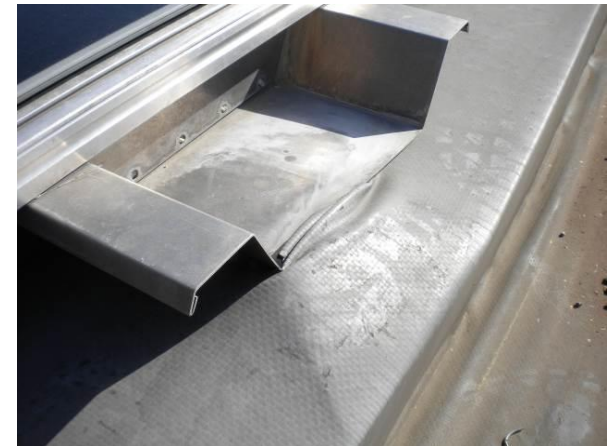


Dr.- Ing. Cedrik Zapfe

ö.b.u.v. Sachverständiger Metallbau

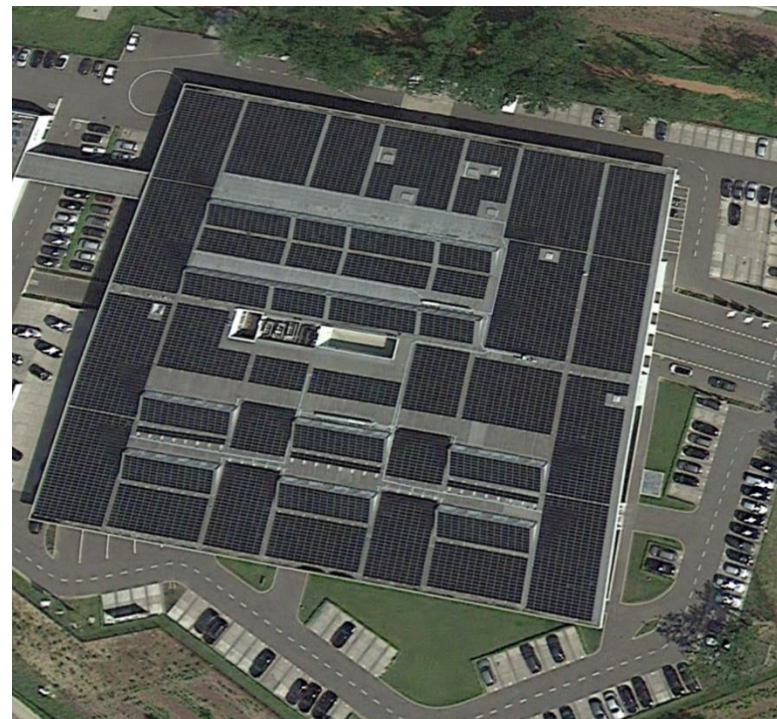
**pv magazine Webinar:**

# Sichere und korrekte Ballastierung von Solar-Flachdachsystemen



## Gliederung:

1. Einleitung
2. Risiken
3. Nachweise
4. Standsicherheit
5. Gebrauchstauglichkeit
6. Dauerhaftigkeit
7. Zusammenfassung



# 1. Einleitung

## Verantwortung für Standsicherheit im Sinne von §12 MBO

### § 53 Bauherr

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

Investor

### § 54 Entwurfsverfasser

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

### § 55 Unternehmer

- verantwortet Ausführung
- Sicherheit der Baustelle
- Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte

Installateur/EPC Contractor

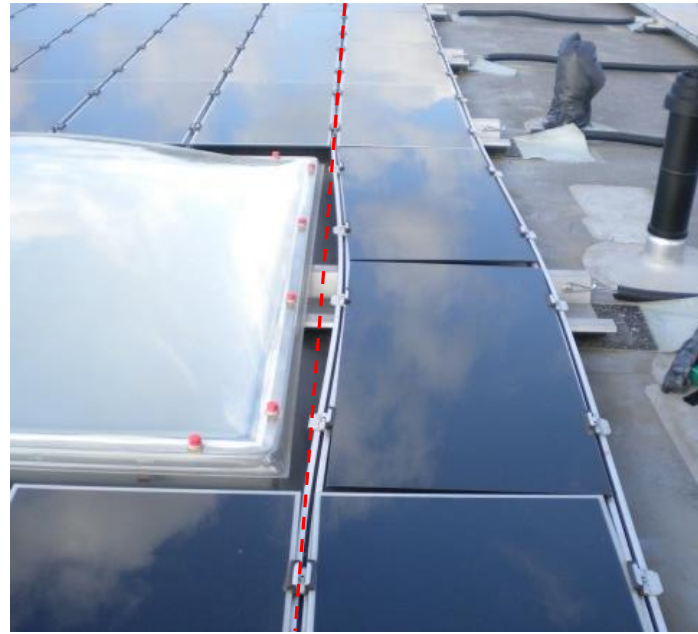
- **Prüfung** der Eignung des aufnehmenden Gebäudes
- **Planung** im Sinne der anerkannten Regeln der Technik
- **Nachweisführung** Standsicherheit des Gestells
- **Ausführung** nach den Vorgaben der Planung



## 2. Risiken - Wind



## 2. Risiken - Temperatur





## 2. Risiken – Planung und Ausführung



Ballastmenge



Ballastposition

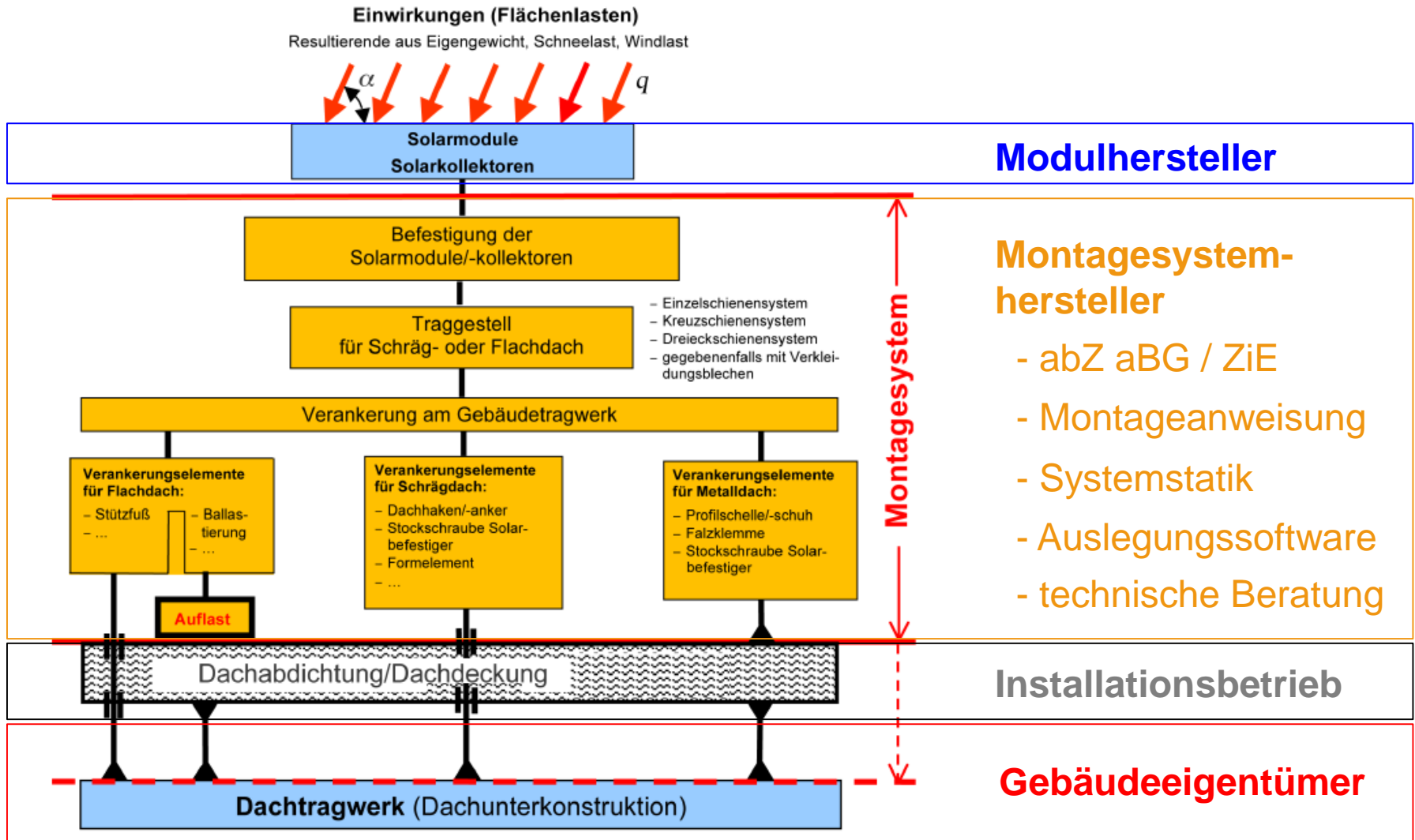


Kabelführung

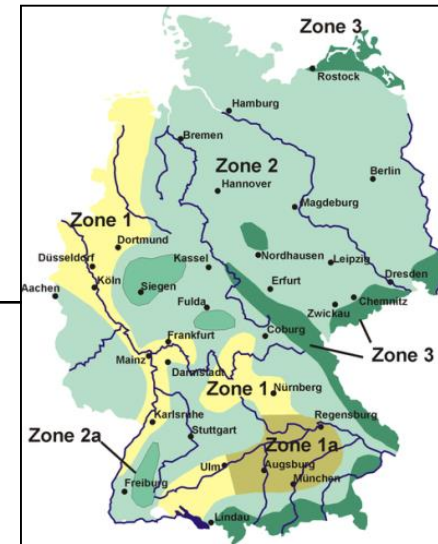
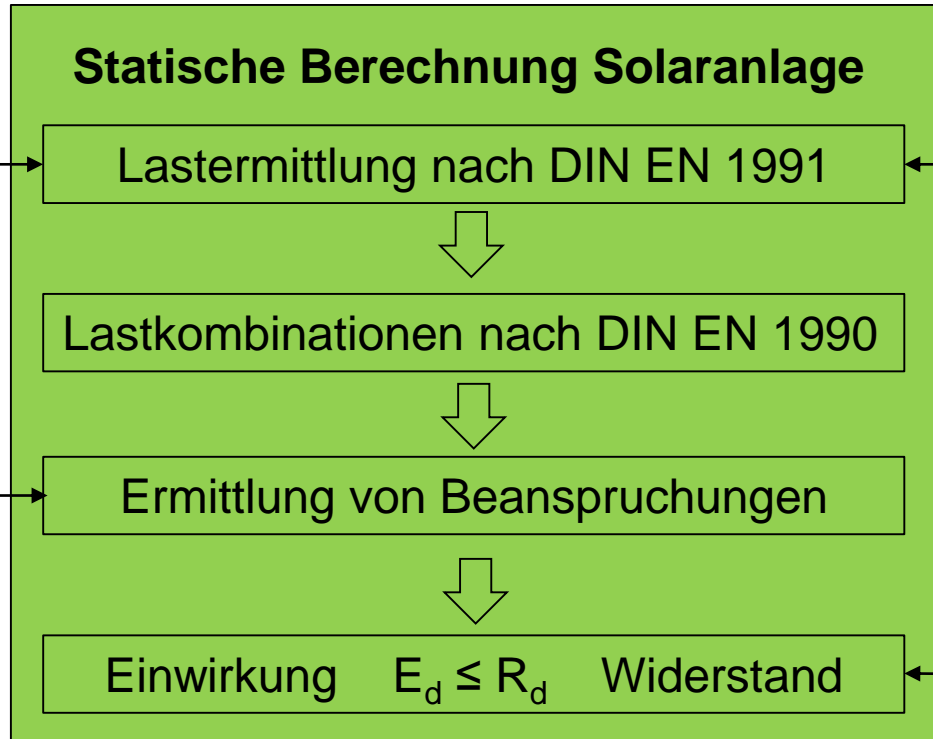
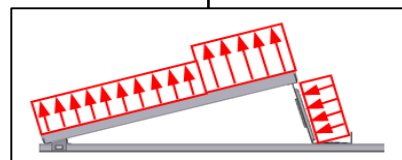
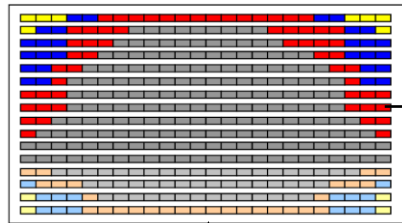


Dachhaut / Dämmung

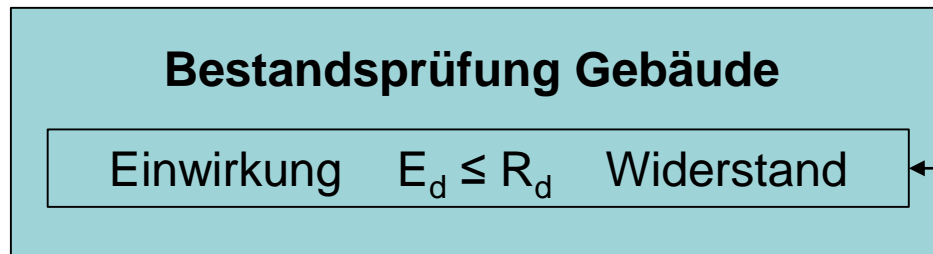
# 3. Nachweise (VDI 6012 Blatt 1.4)



# 4. Stand- und Lagesicherheit



DIN EN 1993  
 DIN EN 1999  
 bzw:  
 ZiE / vBG  
 abZ / aBG



Lastreserve  
 gemäß Statik des  
 Gebäudes



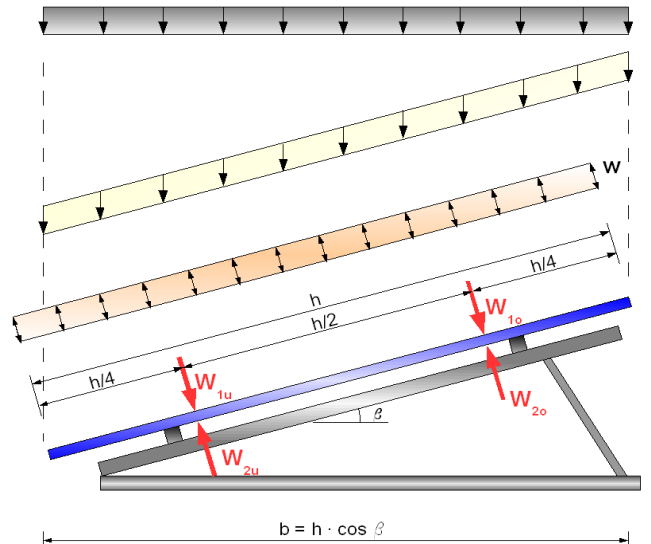
# Lasteinwirkungen und Lastkombinationen

## 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)

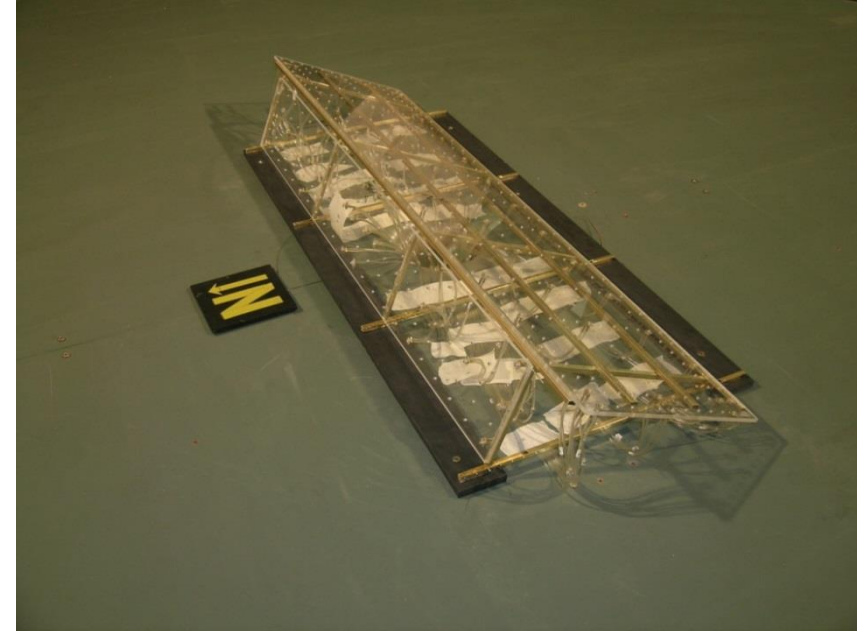


## Nachweise

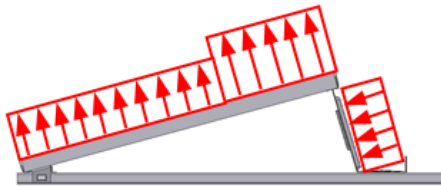
- Kippen
- Gleiten
- Abheben



# Aerodynamisch optimierte Systeme (Prof. Ruscheweyh)



**Nordwind**



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

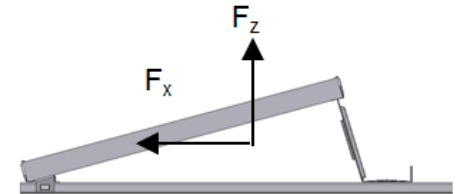
**Südwind**



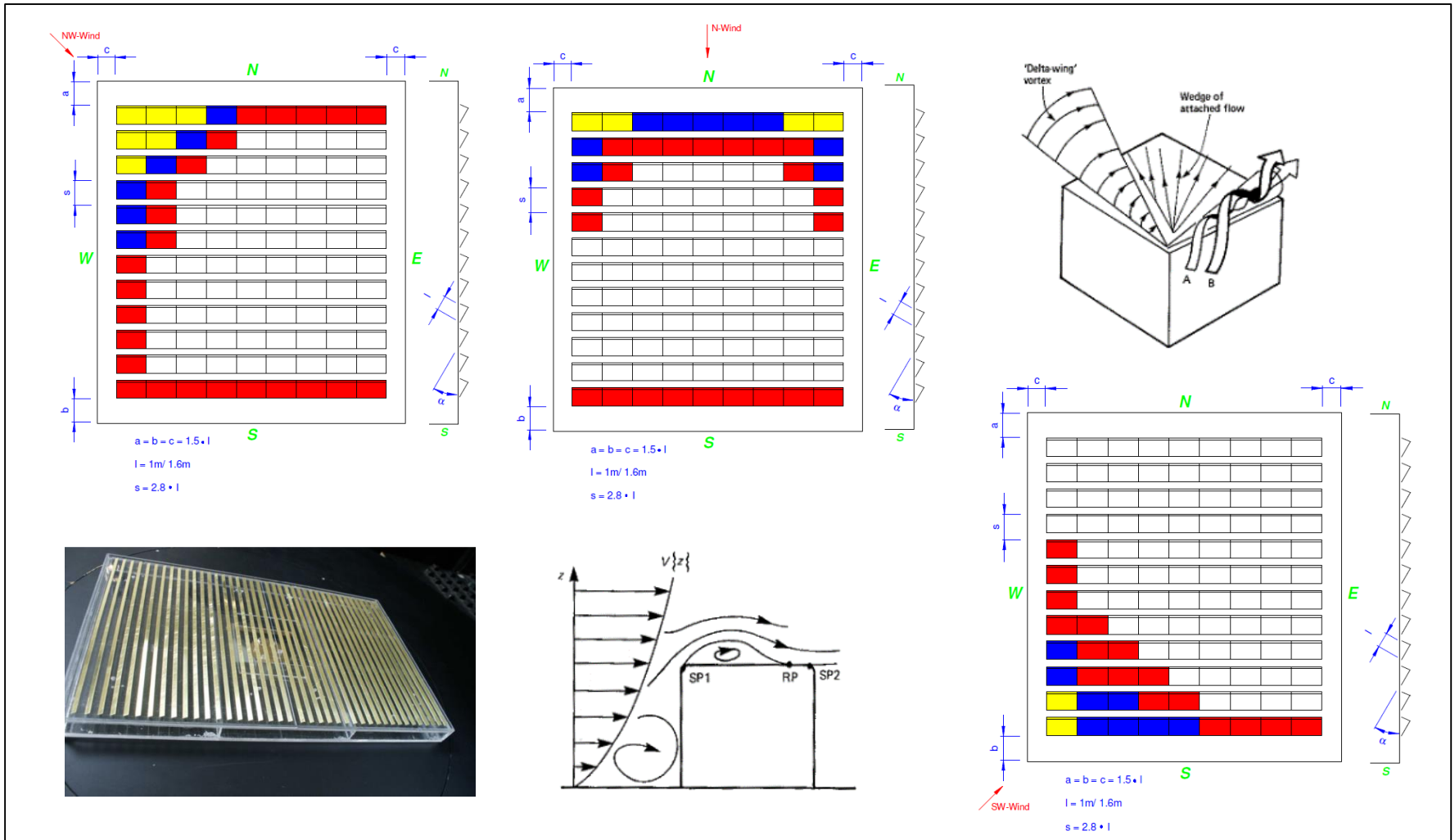
$$F_z = \sum q_b \cdot (c_{p,res,i} \cdot A_i \cdot \cos \alpha_i)$$

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

**Ersatz: Abheben und Gleiten**

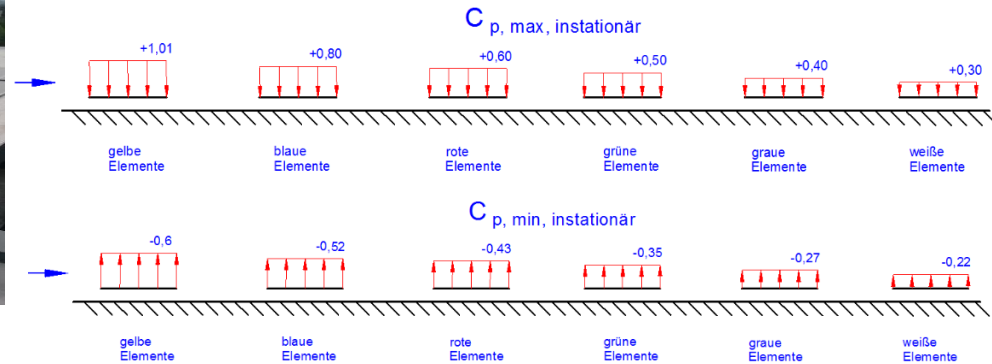
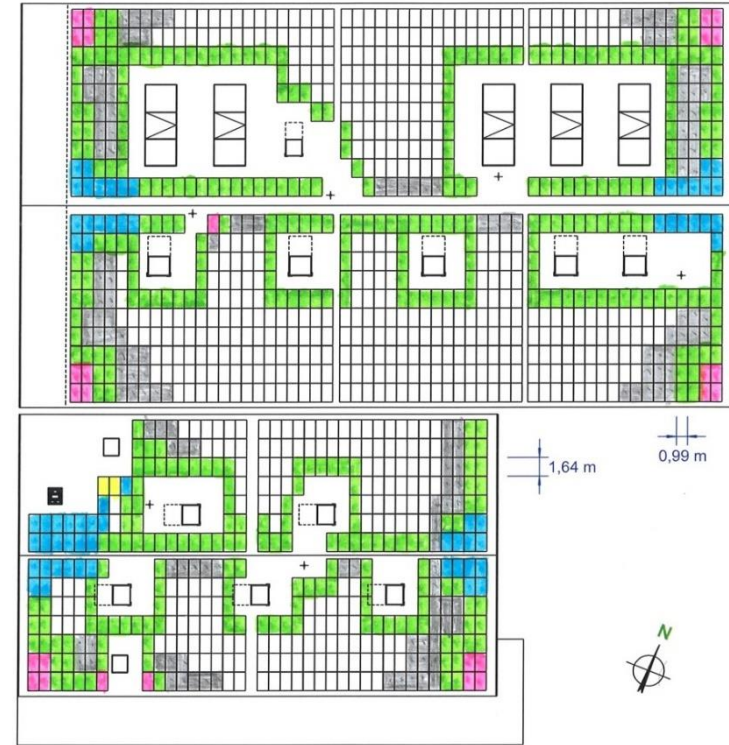


# Beispiel für die Windlastverteilung (Druckbeiwerte)





# Aerodynamisch optimierte Systeme (Prof. Ruscheweyh)



# Reibbeiwerte

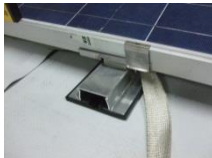
µh trocken/nass Abdichtung	Vlies* (Polyester)	Bautenschutzmatte (gummibasiert)	Bautenschutzmatte alukaschiert
PVC	0,2	0,5**	0,5
Polyolefin (z.B. TPO)			
PE			
PVC, modifiziert			0,3
EVA			
Bitumenelastomer / Polymerbitumen	0,6	0,6	0,2
EPDM	0,6	0,6	0,7



A Aluminium-Bautenschutzmatte Regupol-Dachhaut

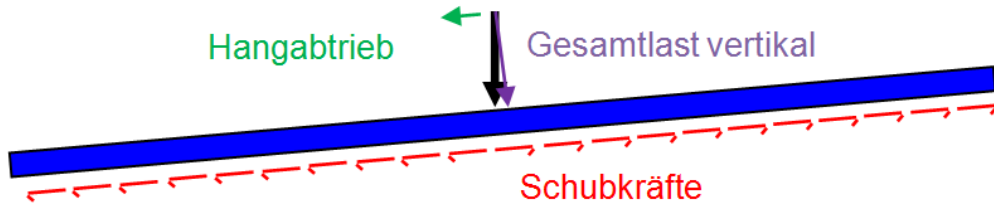
B Aluminium-EPDM Formprofil-Dachhaut

C Aluminium-EPDM Formprofil- Bautenschutzmatte Regupol-Dachhaut



Tabellenwerte in kg.		Aufbau:					Versagenskriterium/ Gleitfuge:	Min. Zugkraft	Masse	
		1	2	3	4	5			Versuchsaufbau*	µ
DACHAUFBAU TROCKEN	Aluminiumgestell - Bautenschutzmatte - Dachhaut.	36	37	37	38	36	Bautenschutzmatte - Dachhaut	36	52	0,69
	Aluminiumgestell - EPDM-Formprofil - Dachhaut.	45	51	46	45	48	EPDM-Unterlage - Dachhaut	45	55	0,82
	Aluminiumgestell - EPDM-Formprofil - Bautenschutzmatte - Dachhaut.	36	38	40	36	39	Bautenschutzmatte - Dachhaut	36	55	0,65
<i>Minimum: 0,65</i>										
DACHAUFBAU NASS, Simulation mit Seifenlauge 15%ig	Aluminiumgestell - Bautenschutzmatte - Dachhaut.	27	27	27	27	27	Montagegestell - Bautenschutzmatte	27	52	0,52
	Aluminiumgestell - EPDM-Formprofil - Dachhaut.	30	28	28	30	29	EPDM-Unterlage - Dachhaut	28	55	0,51
	Aluminiumgestell - EPDM-Formprofil - Bautenschutzmatte - Dachhaut.	28	30	30	32	31	Bautenschutzmatte - Dachhaut	28	55	0,51
<i>Minimum: 0,51</i>										

# 5. Gebrauchstauglichkeit



Faktoren: Reibbeiwert und Scherfestigkeit

Längenänderung  $\Delta l = \alpha_T \cdot \Delta T_u \cdot l$

Zwängung  $N = -\alpha_T \cdot \Delta T_u \cdot E \cdot A$

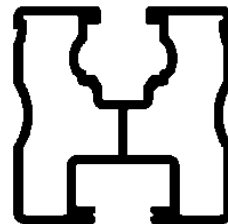
Beispiel: Tragprofil Solo05

$A = 3,64 \text{ cm}^2$   $\Delta T = 20 \text{ K}$   $l = 10,0 \text{ m}$

$\Delta l = 4,8 \text{ mm}$

$N = 12,23 \text{ kN}$  (3,36 kN/cm<sup>2</sup>)

$N = 1,22 \text{ to}$



BSW - Hinweispapier

Lagesicherung von PV-Flachdachanlagen

gegen Verschiebung aufgrund thermischer Dehnungen („Temperaturwanderung“)





# Konfliktsituation

Sich widersprechende Forderungen:

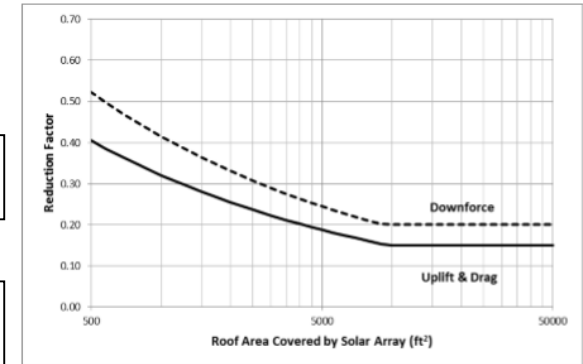
Wind

möglichst große zusammenhängende Generator-Einheiten, um den Einfluss von Sogspitzen zu reduzieren



Temperatur

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



# 6. Dauerhaftigkeit



Zulässige Belastung von Rockwool Dachplatten durch Photovoltaik (Eigengewicht und Schnee)						
	flächige Belastung	kleinflächige / linienförmige Belastung bis 0,15 m Breite bzw. bis 0,50 x 0,50 m			punktförmige Belastung bis 0,20 m $\varnothing$	
Produkt	zul. flächige Belastung kN/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	zul. kleinflächige bzw. linienförmige Belastung kN/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	bei z.B. 0,40 x 0,40m kN [kg]/Auflager	bei z.B. 0,10 m Breite kN [kg]/lfdm	zul. punktförmige Belastung kN/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	bei z.B. 0,15m $\varnothing$ kN [kg]/Auflager
Megarock	6,0 [600]	12,0 [1200]	1,9 [190]	1,2 [120]	60 [6000]	1,1 [110]
Hardrock 040/038 Georock 038 Bondrock 040 MV Georock 040 MV	5,0 [500]	11,0 [1100]	1,7 [170]	1,1 [110]		
Bestand: Durock 040/037 Georock 037	4,0 [400]	10,0 [1000]	1,6 [160]	1,0 [100]		
andere	3,6 [360]	9,0 [900]	1,1 [110]	0,9 [90]		

- Pressung auf Dämmung nach Herstellerangaben (Bsp. Rockwool)
- chemische Beständigkeit (Weichmachermigration)
- Wasserführung (Verschmutzung)

⇒ grundsätzlich ist eine regelmäßige Wartung erforderlich

# 7. Zusammenfassung

- Nachweise der Stand- und Lagesicherheit
  - PV-Konstruktion
  - Ballast
  - Gebäude
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
  - Temperatur (**Wartung!**)
- Nachweis der Dauerhaftigkeit
  - Dämmung / Entwässerung





# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**Dr.-Zapfe GmbH**  
Dr. Ing. Cedrik Zapfe  
Alustraße 1  
D-83527 Kirchdorf

08072 9191 280  
info@ing-zapfe.de  
www.ing-zapfe.de  
www.sv-dr-zapfe.de