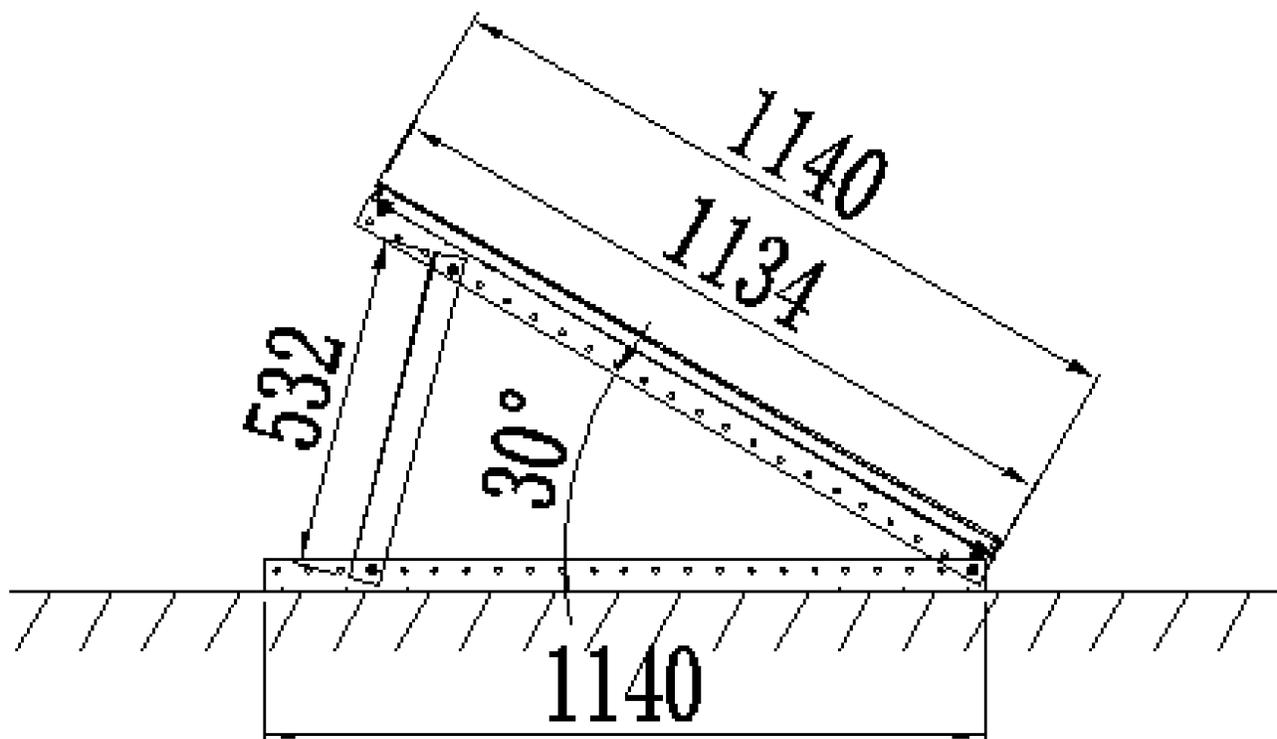


PV-Aufständerung Tria aus Aluminium

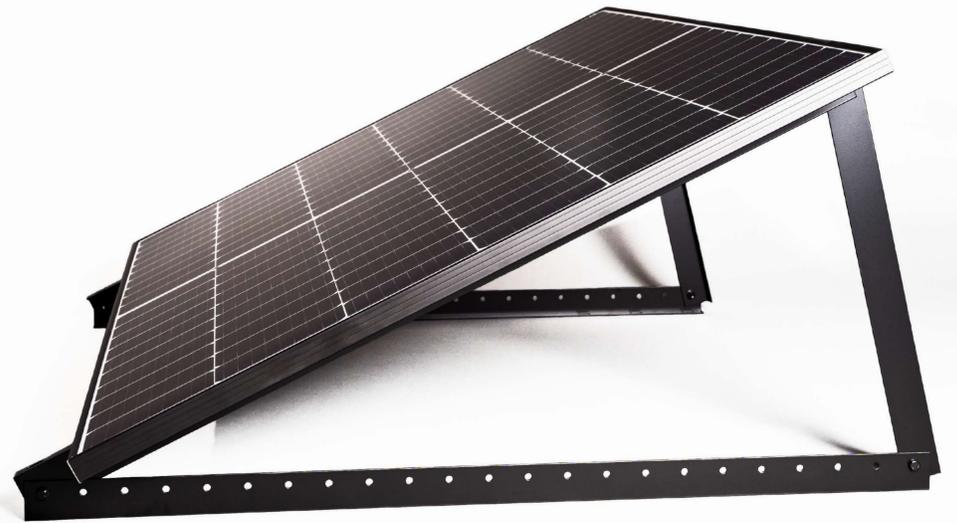
Mechanische Festigkeitsberechnung gemäß DIN-EN-1090-3



1 Einführung:

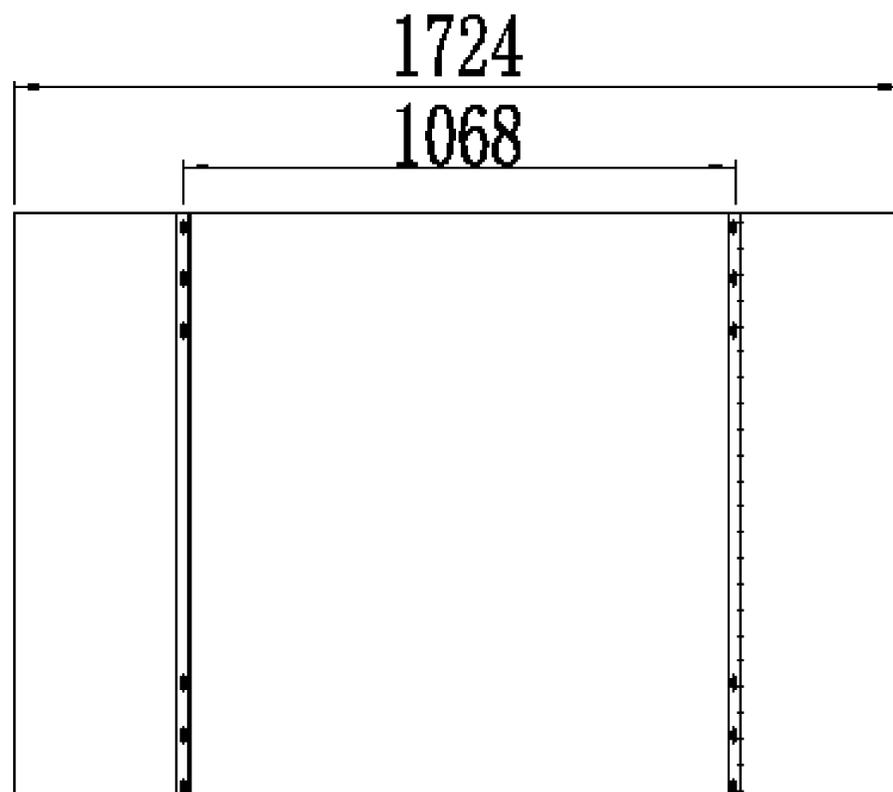
1.1 Systemüberprüfung

- Solarpanel: L 1724 x W 1134 x H 30 20,5Kg
- Layout: 1 x 1
- Winkel: 30°
- Schneelast auf dem Boden: $S_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$
- Windlast auf dem Boden: $V = 27,5 \text{ m/s}$

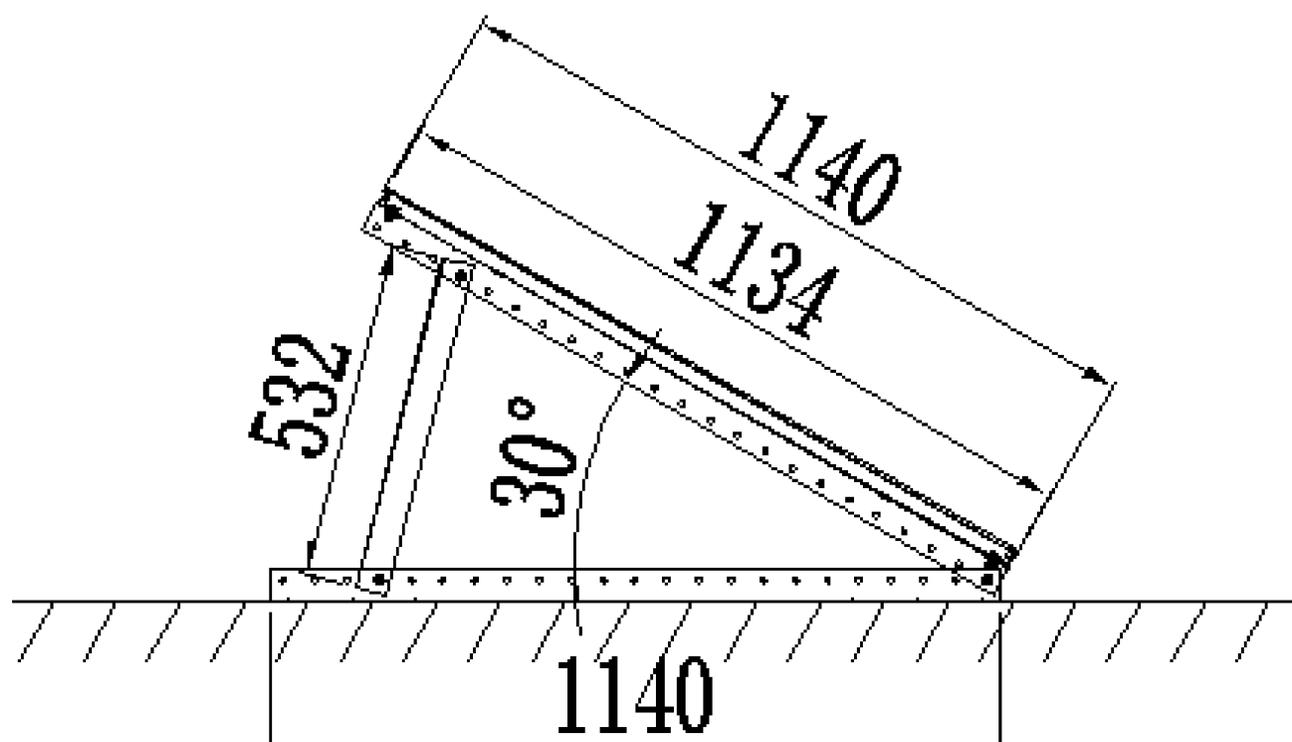


1.2 Skizze der Halterung

- Draufsicht



- Seitenansicht



2 Lastberechnung:

2.1 Eigengewicht

■ Solarpanel

Eigengewicht des Panels $G1 = 20,5 \text{ kg} = 200,9 \text{ N}$

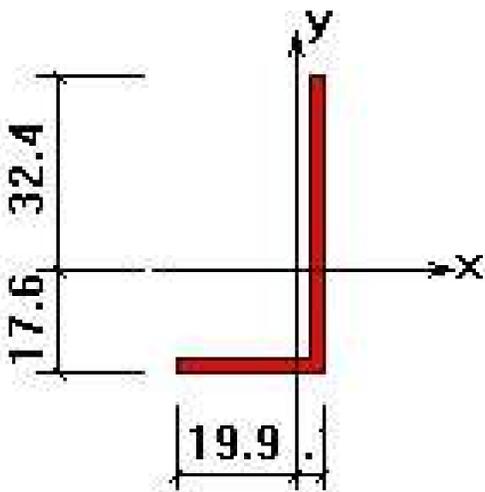
Standardlast des Panels $G1/m^2 = 200,9 / (1,724 \times 1,134) = 102,7613 \text{ N/m}^2$

(Last für jeden Quadratmeter Solarmodul)

■ Trägerwinkel Aluminium AL6005-T5

Elastizitätsmodul $E = 7 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$ (Elastizitätsmodul der Aluminiumlegierung)

Zug-/Druck-/Biegefestigkeit $f = 24000 \text{ N/cm}^2$ (Streckgrenze der Aluminiumlegierung)



A	181,2500	I_p	56452,2764
I_x	47952,6982	I_y	8499,5781
i_x	16,2655	i_y	6,8479
W_x (Spitze)	1481,3617	W_x (links)	427,7445
W_x (Boden)	2720,0553	W_x (rechts)	1657,0606
Flächenmoment um die X-Achse	1309,8269	Flächenmoment um die Y-Achse	493,5554
Abstand vom Schwerpunkt zur linken Kante	19,8707	Abstand vom Schwerpunkt zum rechten Rand	5,1293
Abstand vom Schwerpunkt zur oberen Kante	32,3707	Abstand vom Schwerpunkt zum unteren Rand	17,6293
Hauptmoment I1	51068,462	Richtung des Hauptmoments 1	(0,965 ; -0,261)
Hauptmoment I2	5383,825	Richtung des Hauptmoments 2	(0,261 ; 0,965)

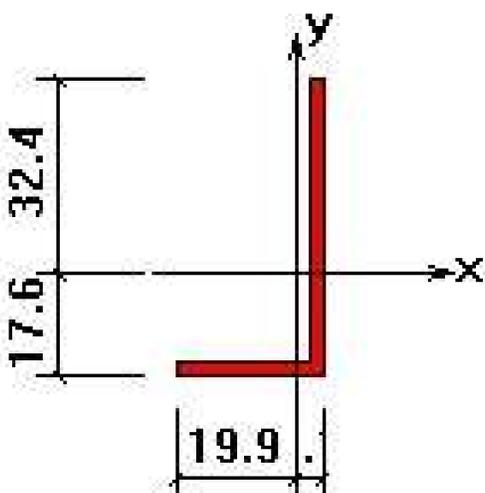
Eigengewicht der Schiene $G2 = 1140 \text{ mm} \times 0,489375 \text{ kg/m} = 0,558 \text{ kg} = 5,467 \text{ N}$

Standardlast der Schiene $G2/m = 0,489375 \text{ kg/m} = 4,795875 \text{ N/m}$

■ Stützwinkel Aluminium AL6005-T5

Elastizitätsmodul $E = 7 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$ (Elastizitätsmodul der Aluminiumlegierung)

Zug-/Druck-/Biegefestigkeit $f = 24000 \text{ N/cm}^2$ (Streckgrenze der Aluminiumlegierung)



A	181,2500	I_p	56452,2764
I_x	47952,6982	I_y	8499,5781
i_x	16,2655	i_y	6,8479
W_x (Spitze)	1481,3617	W_x (links)	427,7445
W_x (Boden)	2720,0553	W_x (rechts)	1657,0606
Flächenmoment um die X-Achse	1309,8269	Flächenmoment um die Y-Achse	493,5554
Abstand vom Schwerpunkt zur linken Kante	19,8707	Abstand vom Schwerpunkt zum rechten Rand	5,1293
Abstand vom Schwerpunkt zur oberen Kante	32,3707	Abstand vom Schwerpunkt zum unteren Rand	17,6293
Hauptmoment I1	51068,462	Richtung des Hauptmoments 1	(0,965 ; -0,261)
Hauptmoment I2	5383,825	Richtung des Hauptmoments 2	(0,261 ; 0,965)

Eigengewicht von Träger $G3 = 532 \text{ mm} \times 0,489375 \text{ kg/m} = 0,260 \text{ kg} = 2,551 \text{ N}$

Standardlast der Schiene $G2/m = 0,489375 \text{ kg/m} = 4,795875 \text{ N/m}$

3 Lasten:

3.1 Berechnung der Windlast

$V_b = 27,5 \text{ m/s}$

■ Berechnung des Gelände-Rauheitsfaktors

Gelände IV gemäß Konstruktionszeichnung $Z = 10 \text{ m}$

$$Cr(Z) = Kr \times \ln(Z/Z_0) = 0,19 \times (1 / 0,5)^{0,07} \times \ln(10 / 1) = 0,54$$

$$Cr(Z) = Kr \times \ln(Z/Z_0) \text{ für } Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$$

$$Cr(Z) = Cr(Z_{\min}) \text{ für } Z \leq Z_{\min}$$

Wobei:

$$Kr = 0,19 \times (Z_0/Z_{0II})^{0,07}$$

$Z_0 = 1 \text{ m}$ (ist die Rauheitslänge für Geländekategorie III, entnommen aus Tabelle 4.1)

$Z_{\min} = 10 \text{ m}$ (ist die Mindesthöhe für Geländekategorie III, entnommen aus Tabelle 4.1)

$Z_{0II} = 0,05 \text{ m}$ (Geländekategorie II, entnommen aus Tabelle 4.1)

Z_{\max} ist als 200 m anzunehmen

Tabelle 4.1 - Geländekategorien und Geländeparameter

GELÄNDEKATEGORIE		Z_0 m	Z_{\min} m
0	Meer oder Küstenbereich, der dem offenen Meer ausgesetzt ist	0,003	1
I	Seen oder flache, horizontal ausgedehnte Flächen mit vernachlässigbarer Vegetation und ohne Hindernisse	0,01	1
II	Bereich mit geringer Vegetation wie Gras und isolierten Hindernissen (Bäumen, Gebäuden) mit Abständen von mindestens 20 Hindernishöhen	0,05	2
III	Bereich mit regelmäßiger Vegetationsbedeckung oder Gebäuden oder mit isolierten Hindernissen mit einem Abstand von maximal 20 Hindernishöhen (wie Dörfer, Vorstadtgelände, Dauerwald)	0,3	5
VI	Bereich, in dem mindestens 15% der Oberfläche von Gebäuden bedeckt ist und deren durchschnittliche Höhe 15 m übersteigt	1,0	10

Die Geländekategorien sind in Anhang A.1 dargestellt.



- Höhe Z, durchschnittliche Windgeschwindigkeit

$$V_m(Z) = C_r(Z) \times C_o(Z) \times V_b = 0,54 \times 1 \times 28 = 14,84 \text{ m/s}$$

Wobei:

$C_o(Z)$ ist der Orografiefaktor, der als 1,0 angenommen wird.

$C_r(Z)$ ist der Rauheitsfaktor.

- Windturbulenzberechnung

Gemäß der Konstruktionszeichnung $Z = 10 \text{ m}$

$$I_v(Z) = \sigma_v / V_m(Z) = K_l / \{ C_o \times \ln(Z/Z_0) \} = 1 / (1 \times \ln(10 / 1)) = 0,43$$

$$I_v(Z) = \sigma_v / V_m(Z) = K_l / \{ C_o(Z) \times \ln(Z/Z_0) \} \text{ für } Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$$

$$I_v(Z) = I_v(Z_{\min}) \text{ für } Z \leq Z_{\min}$$

Wobei:

K_l ist der Turbulenzfaktor, der als 1 angenommen wird.

C_o ist der Orografiefaktor, der als 1 angenommen wird.

Z_0 ist die Rauheitslänge, die als 1 m angenommen wird, wie in Tabelle 4.1 angegeben.

- Berechnung des Spitzen-Geschwindigkeitsdrucks

$$q_p(Z) = \{ 1 + 7 \times I_v(Z) \} \times 0,5 \times \rho \times V_m^2(Z) = (1 + 7 \times 0,43) \times 0,5 \times 1,25 \times 14,84 \times 14,84 = 555,92 \text{ N/m}^2$$

Wobei:

$q_p(Z)$ ist der Spitzen-Geschwindigkeitsdruck (N/m^2).

ρ ist die Luftdichte, die als $1,25 \text{ kg/m}^3$ angenommen wird.

$I_v(Z)$ ist die Turbulenzintensität.

$V_m(Z)$ ist die mittlere Windgeschwindigkeit.



Windbelastung auf Solarmodule

$$W = qp(Z) \times C_{p.net}$$

Wobei:

W der Nettowinddruck (N/m²) ist.

qp(Z) der Spitzen-Geschwindigkeitsdruck in der Höhe h gemäß Abbildung 7.16-BS EN1991-1-4:2005 ist.

Cp.net ist der Nettodruckkoeffizient, der aus Tabelle 7.4a-BS EN1991-1-4:2005 wie folgt bestimmt wird:

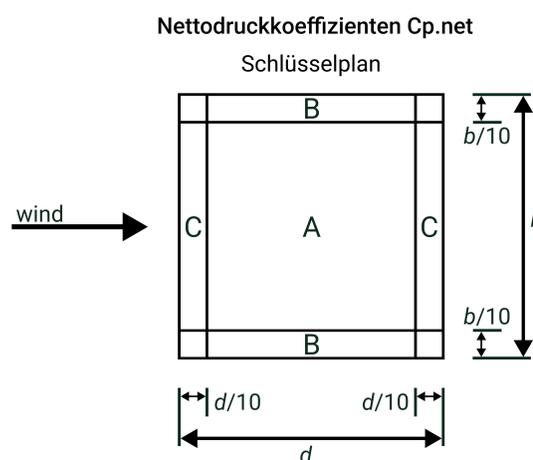
Aus Blatt 7.4a, bei einer Neigung von 30° beträgt der positive Druck Cp.net = 2,2;

der negative Druck Cp.net = -3.

Positiver Druck: $W_1 = 555,925 \times 2,2 = 1223,3 \text{ N/m}^2$

Negativer Druck: $W_2 = 555,925 \times -3 = -1667,77 \text{ N/m}^2$

Tabelle 7.6 - Cp- und Ct-Werte für Einfachdach-Vordächer



Dachneigung α	Blockierung φ	Gesamtkraft- koeffizienten C_t	Zone A	Zone B	Zone C
0°	Maximal alle φ	+0,2	+0,2	+1,8	+1,1
	Maximal $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	Minimal $\varphi = 0$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Maximal alle φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	Maximal $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Maximal alle φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	Maximal $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Maximal alle φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	Maximal $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Maximal alle φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	Maximal $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Maximal alle φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	Maximal $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Maximal alle φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	Maximal $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	Minimal $\varphi = 0$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

+ Werte zeigen eine nett nach unten wirkende Windbelastung an
 - Werte repräsentieren eine nett nach oben wirkende Windbelastung

3.1 Berechnung der Schneelast

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k$$

μ_i ist der Schneelastformkoeffizient (aus Tabelle 5.2-EN1991-1-3:2003)

S_k ist der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Boden

C_e ist der Expositionsbeiwert

C_t ist der thermische Koeffizient

Die Expositionsbeiwert C_e sollte zur Bestimmung der Schneelast auf dem Dach verwendet werden. Die Wahl für C_e sollte die zukünftige Entwicklung in der Umgebung des Standorts berücksichtigen. C_e sollte als 1,0 angenommen werden, es sei denn, es sind spezielle Werte für verschiedene Topographien angegeben.

Tabelle 4.1 - Geländekategorien und Geländeparameter

Topographie	Inklusive
Windgepeitscht ^a	0,8
Normal ^b	1,0
Geschützt ^c	1,2

^a **Windgepeitschte Topographie:** Flache, unverbaute Bereiche, die von allen Seiten exponiert sind, ohne oder mit wenig Schutz durch Gelände, höhere Bauwerke oder Bäume.

^b **Normale Topographie:** Gebiete, in denen aufgrund des Geländes, anderer Bauwerke oder Bäume keine signifikante Schneeverwehung auftritt.

^c **Geschützte Topographie:** Gebiete, in denen das zu betrachtende Bauwerk erheblich niedriger ist als das umliegende Gelände oder von hohen Bäumen und/oder höheren Bauwerken umgeben ist.

Der thermische Beiwert C_t sollte verwendet werden, um die Reduzierung der Schneelasten auf Dächern mit hoher Wärmedurchlässigkeit ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$) zu berücksichtigen, insbesondere bei einigen glasbedeckten Dächern, aufgrund von Schmelzen durch Wärmeverlust.

Für andere Fälle:

$$C_t = 1,0$$



■ Einseitige Dächer

Der Schneelastformfaktor μ , der für einseitige Dächer verwendet werden sollte, ist in Tabelle 5.2 aufgeführt und in Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 dargestellt.

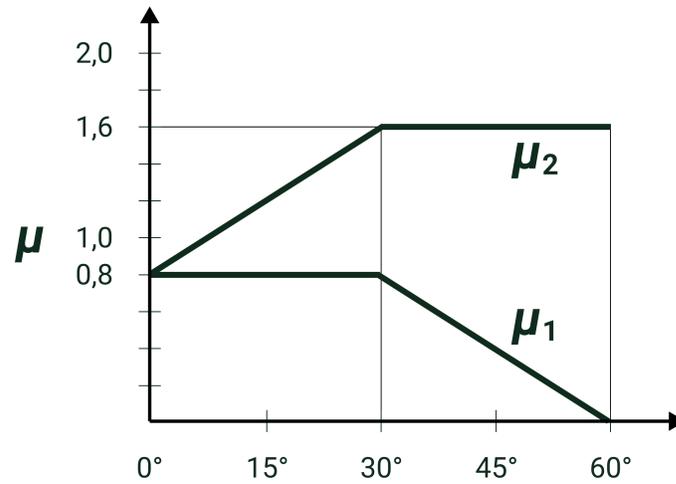


Abbildung 5.1: Schneelastformfaktoren

Die in Tabelle 5.2 angegebenen Werte gelten, wenn der Schnee nicht daran gehindert wird, vom Dach abzurutschen. Wenn Schneezäune oder andere Hindernisse vorhanden sind oder wenn der untere Rand des Daches mit einer Brüstung endet, sollte der Schneelastformfaktor nicht unter 0,8 reduziert werden.

Tabelle 5.2 - Schneelastformfaktoren

Neigungswinkel des Dachs α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60-\alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha / 30$	1,6	-

$\mu_i = 0,8$

$S_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$

$C_e = 1$

$C_t = 1$

$S_{1i} = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k = 0,8 \times 1 \times 1 \times 0,85 = 0,68 \text{ kN/m}^2$

3.1 Lastkombination

■ Kombination zwei

$0,9 \times D + 1,5 \times W_s$

■ Kombination der Lastwirkungen im Grenzzustand dritte

$1,35 \times D + 1,5 \times W_p + 1,5 \times 0,5 \times S$

■ Kombination vierte

$1,35 \times D + 1,5 \times S + 1,5 \times 0,6 \times W_p$

4 Festigkeitsberechnung:

4.1 Angewandte Belastung

$$D = 1 \times 1 \times G1 + 2 \times G2$$

$$= 1 \times 1 \times 200,9 + 2 \times 5,4672975 = 211,83 \text{ N}$$

$$A_r = 1 \times 1 \times 1,724 \times 1,134 = 1,955016 \text{ m}^2$$

$$W_p = W_1 \times A_r = 1223,03 \times 1,955016 = 2391,05 \text{ N}$$

$$W_s = W_2 \times A_r = -1667,8 \times 1,955016 = -3260,53 \text{ N}$$

$$S = S_1 \times A_r \times \cos 30^\circ = 0,68 \times 1,955016 \times \cos 30^\circ \times 1000 = 1151,30 \text{ N}$$

$$F_1 = 1,35 \times D \times \cos 30^\circ + 1,5 \times W_p + 1,5 \times 0,5 \times S \times \cos 30^\circ$$

$$= 1,35 \times 211,835 \times 0,866 + 1,5 \times 2391,1 + 1,5 \times 0,5 \times 1151,304 \times 0,866 = 4582,04 \text{ N}$$

$$F_2 = 1,35 \times D \times \sin 30^\circ + 1,5 \times 0,5 \times S \times \sin 30^\circ = 1,35 \times 211,835 \times 0,500 + 1,5 \times 0,5 \times 1151,3 \times 0,500 = 574,73 \text{ N}$$

$$F_3 = 1,35 \times D \times \cos 30^\circ + 1,5 \times S \times \cos 30^\circ + 1,5 \times 0,6 \times W_p$$

$$= 1,35 \times 211,835 \times 0,866 + 1,5 \times 1151,3 \times 0,866 + 1,5 \times 0,6 \times 2391,1 = 3895,20 \text{ N}$$

$$F_4 = 1,35 \times D \times \sin 30^\circ + 1,5 \times S \times \sin 30^\circ = 1,35 \times 211,835 \times 0,500 + 1,5 \times 1151,3 \times 0,500 = 1006,47 \text{ N}$$

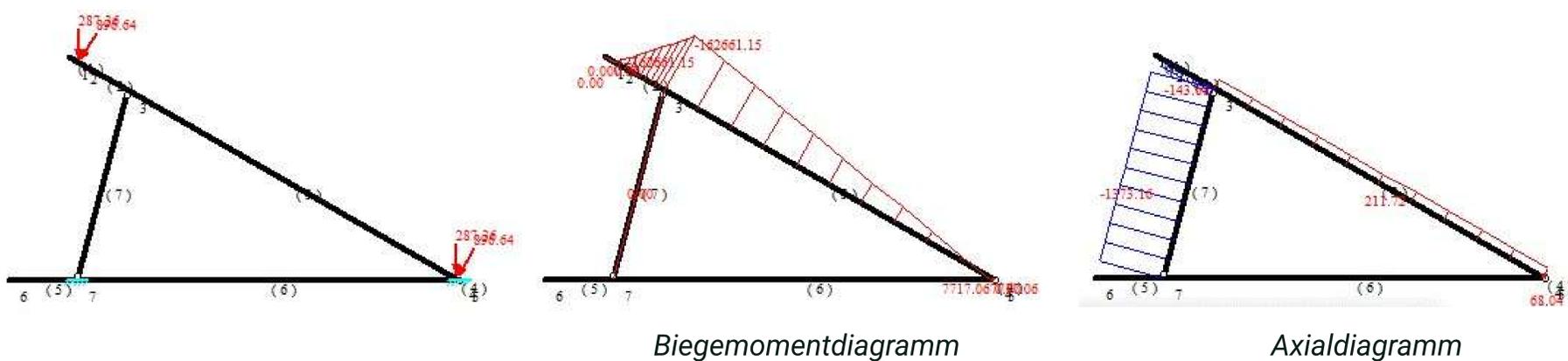
$$F_5 = 0,9 \times D \times \cos 30^\circ + 1,5 \times W_s = 0,9 \times 211,835 \times 0,866 + 1,5 \times -3260,5 = -4725,680829 \text{ N}$$

$$F_6 = 0,9 \times D \times \sin 30^\circ = 0,9 \times 211,835 \times 0,500 = 95,33 \text{ N}$$

5 Berechnung der vormontierten Stütze:

5.1 Wind von der Vorderseite der Module

$$F = 896,64 \text{ N} \quad F_h = 287,36 \text{ N}$$



■ $M_{\max} = 162661,15 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$$\sigma_m = M_{\max}/W_X = 162661,15 / 1481,36 = 109,81 \text{ N/mm}^2$$

■ $F_{\max} = 211,72 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$$\sigma_f = F_{\max}/A = 211,72 / 181,25 = 1,17 \text{ N/mm}^2$$

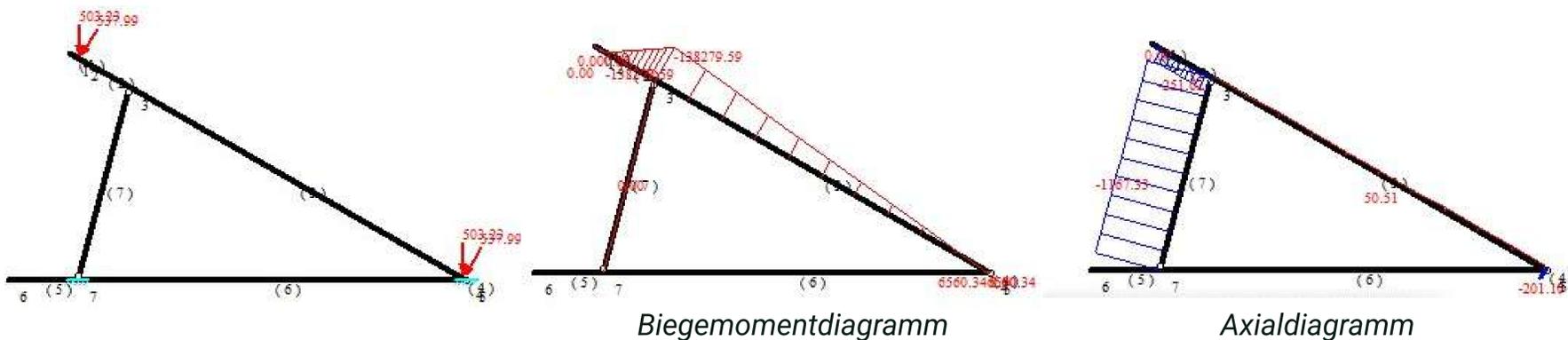
$$\sigma = \sigma_m + \sigma_f = 109,81 + 1,17 = 110,97 \text{ N/mm}^2$$

■ $F_{\max} = 1373,16 \text{ N}$ (Unterstützung)

$$\sigma = F_{\max}/A = 1373,16 / 181,25 = 7,58 \text{ N/mm}^2$$

5.2 Wind von der Vorderseite der Module

$F = 537,99 \text{ N}$ $F_h = 503,23 \text{ N}$



■ $M_{max} = 138279,59 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$\sigma_m = M_{max}/WX = 138279,59 / 1481,36 = 93,35 \text{ N/mm}^2$

■ $F_{max} = 251,62 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$\sigma_f = F_{max}/A = 251,62 / 181,25 = 1,39 \text{ N/mm}^2$

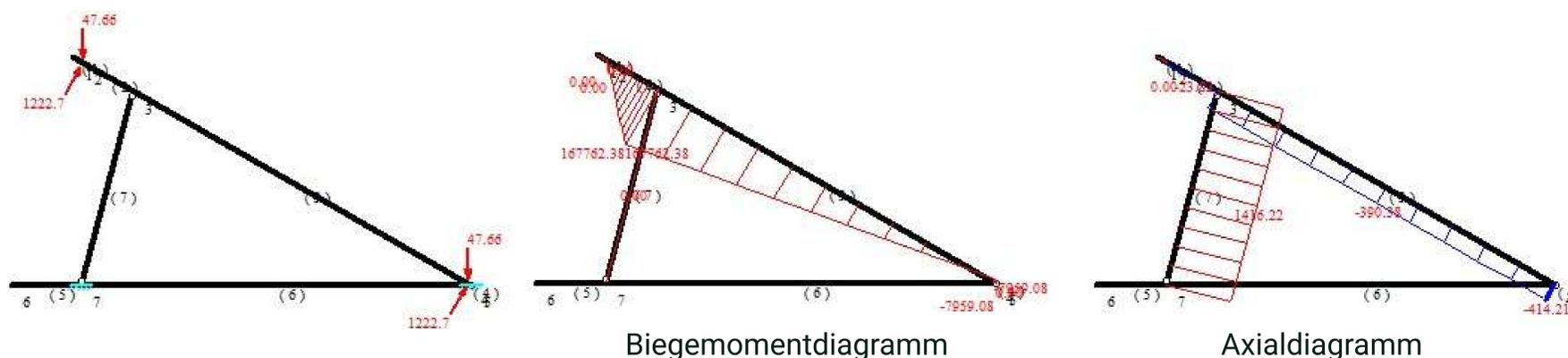
$\sigma = \sigma_m + \sigma_f = 93,35 + 1,39 = 94,73 \text{ N/mm}^2$

■ $F_{max} = 1167,33 \text{ N}$ (Unterstützung)

$\sigma = F_{max}/A = 1167,33 / 181,25 = 6,44 \text{ N/mm}^2$

5.3 Wind von der Rückseite der Module

$F = -1222,70 \text{ N}$ $F_h = 47,66 \text{ N}$



■ $M_{max} = 167762,38 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$\sigma_m = M_{max}/WX = 167762,38 / 1481,36 = 113,25 \text{ N/mm}^2$

■ $F_{max} = 414,21 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Träger)

$\sigma_f = F_{max}/A = 414,21 / 181,25 = 2,29 \text{ N/mm}^2$

$\sigma = \sigma_m + \sigma_f = 113,25 + 2,29 = 115,53 \text{ N/mm}^2$

■ $F_{max} = 1416,22 \text{ N}$ (Unterstützung)

$\sigma = F_{max}/A = 1416,22 / 181,25 = 7,81 \text{ N/mm}^2$

6 Zusammenfassung:

Positionen	Berechnet [N/mm ²]	Zulässige Festigkeit (240 N/mm ²)
Träger	115,534 N/mm ²	240 N/mm ²
Unterstützung	7,814 N/mm ²	240 N/mm ²

Fazit: Das Montagesystem ist gut konzipiert, alle Teile gewährleisten ausreichende strukturelle Festigkeit gemäß den Eurocode-Ingenieurdesignrichtlinien gegenüber den vorgegebenen Windgeschwindigkeitsbelastungen und Extrembedingungen.