

LEITPAPIER

VELUX MODULAR SKYLIGHTS

SELBSTTRAGENDES SATTEL-LICHTBAND

Bestimmung der strukturellen Bemessungswerte

1. Einführung

Ziel dieses Dokuments ist es, in Verbindung mit ETA-17/0467 vom 28.01.2019 die Bestimmung der Bemessungswerte zu ermöglichen.

ETA-17/0467 enthält Informationen zum Set, z. B. das strukturelle System, die mechanischen Komponenten, die Profilquerschnitte und die Kennwerte. Einfachheit halber werden eine Reihe von relevanten Kennwerten in diesem Dokument wiederholt angegeben.

Mittels struktureller Berechnungen und der Bemessungswerte kann gezeigt werden, ob die Anforderungen an die Tragfähigkeit eines spezifischen Sets, das in einem bestimmten Gebäude an einem bestimmten Standort montiert ist, erfüllt werden.

Die Berechnungen sind von einer dazu befähigten Einrichtung durchzuführen.

Die Beispiele in diesem Dokument zeigen, wie die Berechnungen durchgeführt werden **können**. In nationalen Normen und Anhängen können andere Lasten und Kombinationen daraus spezifiziert sein, die in diesem Dokument nicht genannt werden.

Die Tragfähigkeit der Verglasung ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.

2. Prinzip

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit (1) R_d und C_d errechnen sich anhand folgender Gleichungen (vgl. ETAG 010, 6.3.1.1 und 6.3.1.2):

$$R_d = R_k / (\gamma_{MR} \cdot K_t \cdot K_u \cdot K_\theta)$$

und

$$C_d = C_k / (\gamma_{MC} \cdot C_t \cdot C_u \cdot C_\theta)$$

wobei:

R_k	=	Kenntragfähigkeit (ULS) berechnet nach ETA-17/0467
C_k	=	Kenntragfähigkeit (SLS) berechnet nach ETA-17/0467
γ_{MR}	=	Teilsicherheitsbeiwert für ULS
γ_{MC}	=	Teilsicherheitsbeiwert für SLS
K_t	=	Einfluss der Dauer auf ULS (2)
C_t	=	Einfluss der Dauer auf SLS (2)
K_u	=	Alterungs-/Umwelteinfluss auf ULS (2)
C_u	=	Alterungs-/Umwelteinfluss auf SLS (2)
K_θ	=	Temperatureinfluss auf ULS (2)
C_θ	=	Temperatureinfluss auf SLS (2)

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Hinweise:

- (1) Das Eigengewicht, einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte, errechnet sich gemäß Absatz 6.
 (2) Gilt nur für Profile und mechanische Verbindungen, die mit Profilen verbunden sind.

3. Teilsicherheitsbeiwerte, Verstärkungs- und Minderungsfaktoren

Sofern möglich, sind international und/oder national festgelegte Parameter und Faktoren zu berücksichtigen. Als Standard werden die in Tabelle 1, 2 und 5 gezeigten Parameter und Faktoren empfohlen.

Die empfohlenen Parameter basieren auf:

„BÜV-Empfehlung Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB] – Entwurf, Bemessung und Konstruktion - Stand 08/2010“ (BÜV) sowie einige europäische Normen und VELUX Prüfberichte.

Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte

Teilsicherheitsbeiwert	γ_{MR}	γ_{MC}
Rahmenprofile an den Verbindungen	1,5 (1)	Nicht relevant
Bolzen/Niet/Montagebeschlag/Fußbeschlag/Montageklemme	1,25 (2)	Nicht relevant
Rahmenprofile	1,2 (1)	1,1 (3)

Hinweise:

- (1) Vgl. BÜV Tabelle E-1
 (2) Vgl. EN 1993-1-8:2005, Abschnitt 2.2
 (3) Vgl. BÜV Abschnitt 5.5

Tabelle 2: Verstärkungs- und Minderungsfaktoren (8)

ULS			SLS		
K_t (1) (2)	10 Minuten	1,10	C_t (1) (4)	10 Minuten	1,02
	1 Woche	1,48		1 Woche	1,08
	3 Wochen	1,55		3 Wochen	1,09
	1 Monat	1,58		1 Monat	1,10
	3 Monate	1,66		3 Monate	1,11
	6 Monate	1,71		6 Monate	1,11
	25 Jahre	2,02		25 Jahre	1,15
K_u (1) (3)	1,2		C_u (1) (5)	1,2	
K_θ (1)	0 °C (6)	0,95	C_θ (1)	0 °C (6)	1,00
	20 °C (6)	1,00		20 °C (6)	1,00
	40 °C (7)	1,35		40 °C (7)	1,05
	60 °C (6)	1,50		60 °C (6)	1,05
	80 °C (6)	2,05		80 °C (6)	1,10

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com**Hinweise:**

- (1) $K_t = A_1^f$, $C_t = A_1^E$ (Vgl. ETAG 010: 2002, Abschnitt 6.3 und Anhang H, BÜV Abschnitt 5.2)
 $K_u = A_2^f$, $C_u = A_2^E$ (Vgl. ETAG 010: 2002, Abschnitt 6.3 und Anhang H, BÜV Abschnitt 5.2)
 $K_\theta = A_3^f$, $C_\theta = A_3^E$ (Vgl. ETAG 010: 2002, Abschnitt 6.3 und Anhang H, BÜV Abschnitt 5.2)
- (2) Vgl. BÜV Tabelle B-1a und Gleichung 8.2.
- (3) Vgl. BÜV Tabelle B-2.
- (4) Vgl. BÜV Tabelle B-1b und Gleichung 8.2.
- (5) Vgl. BÜV Tabelle B-2.
- (6) Vgl. VELUX Prüfberichte Nr. 147775 und 145611 und DTI-Bericht Nr. 743795-2.
- (7) Konservativer Näherungswert auf Grundlage der Messungen im Rahmen der VELUX Prüfberichte Nr. 147775 und 145611.
- (8) Gilt nur für Profile und deren mechanische Verbindungen.

4. Bemessungswerte der kleintechnischen Prüfungen

Die Bemessungswerte der kleintechnischen Prüfung errechnen sich gemäß Tabelle 3.

Tabelle 3: Kenn- und Bemessungswerte

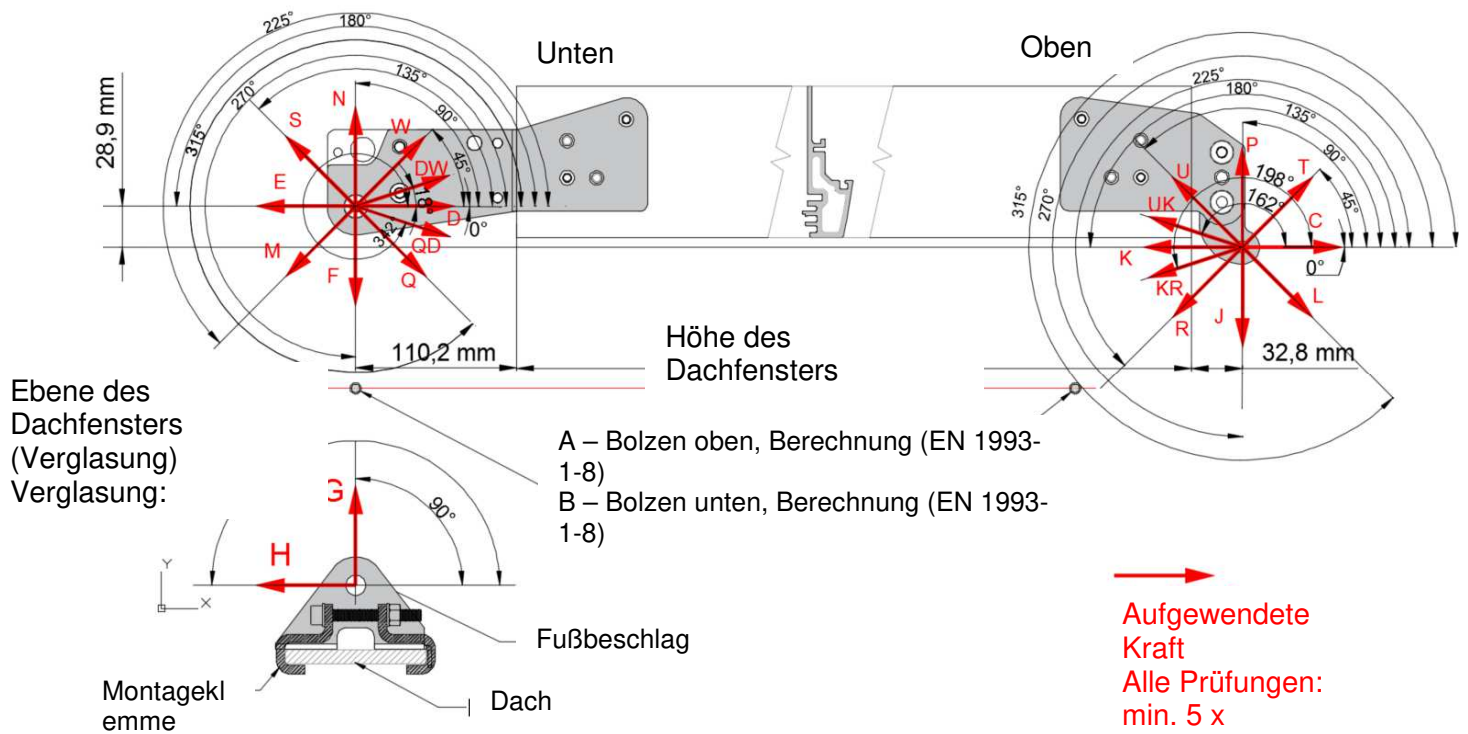
Eigenschaft	Kennwerte Vgl. ETA-17/0467 Anhang D.1	Bemessungswerte Vgl. vorstehende Tabellen 1 und 2
Zugspannung	832,9 MPa	ULS= Kennwert / $(\gamma_{MR} * K_t * K_u * K_\theta)$ SLS= Kennwert / $(\gamma_{MC} * C_t * C_u * C_\theta)$
Druckfestigkeit	465 MPa	
Biegefestigkeit	1257 MPa	
E-Modul	39,5 GPa	
	41,6 GPa (1)(3)	
G-Modul	3,1 GPa	
	3,4 GPa (2)	
Scherfestigkeit	53,8 MPa	

Hinweise:

- (1) Mittelwert, Konfidenzniveau 75 %, unbekannte Standardabweichung (vgl. ISO 16269-6:2014).
- (2) Mittelwert, Konfidenzniveau 75 %, unbekannte Standardabweichung (vgl. ISO 16269-6:2014).
- (3) Für zu öffnende Fenster, die einer abwärts gerichteten Kraft unterliegen, wird das E-Modul mit einem Faktor von 0,83 multipliziert, vgl. „VELUX Bericht 1100005818_06_1 VMS Umfassende Prüfung Sattel-Lichtband – Modulsteifigkeit 29.11.2016“

5. Bestimmung der Werte für mechanische Verbindungen

Abbildung 1: Wirkkraft auf mechanische Komponenten



Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Tabelle 4: Kenn- und Bemessungswerte für mechanische Verbindungen

	Element/Verbindung	Kennwert R_k [kN]	Bemessungswert R_d [kN] vgl. Tabelle 1
A	Bolzenverbindung oben (berechnetes Minimum)	13,5 (1)	ULS= Kennwert / γ_{MR} SLS: Nicht relevant
B	Bolzenverbindung unten (berechnetes Minimum)	17,6 (1)	
G	Fußbeschlag/Montageklemme/Dachanschluss im 90°-Winkel	20,3	
H	Fußbeschlag/Montageklemme/Dachanschluss im 180°-Winkel	28,2	

Hinweis:

(1) Festigkeit der Bolzen unten und oben: 17,6 kN

	Element/Verbindung	Kennwert R_k [kN] (1)			
		Produktvariante			
		HFC 100240 0010B	HVC 100240 0010B	HFC 100240 0016TB	HVC 100240 0016TB
C	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 0°-Winkel	8,5	11,2	9,0	10,9
D	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 0°-Winkel	11,9	11,9	10,9	12,4
E	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 180°-Winkel	8,5	11,2	9,0	10,9
F	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 270°-Winkel	3,9	2,0	4,3	2,1
J	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 270°-Winkel	3,9	2,0	4,3	2,1
K	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 180°-Winkel	11,9	11,9	10,9	12,4
L	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 315°-Winkel	6,2	3,4	6,0	3,5
M	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 225°-Winkel	6,2	3,4	6,0	3,5
N	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 90°-Winkel	6,0	6,0	6,2	5,7
P	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 90°-Winkel	6,0	6,0	6,2	5,7
Q	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 315°-Winkel	5,4	3,0	5,0	3,6
R	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 225°-Winkel	5,4	3,0	5,0	3,6
S	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 135°-Winkel	7,8	8,2	8,1	7,5
T	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 45°-Winkel	7,8	8,2	8,1	7,5
U	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 135°-Winkel	8,6	9,3	8,6	9,0
W	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 45°-Winkel	8,6	9,3	8,6	9,0
DW	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 18°-Winkel	13,8	16,8	13,3	17,1
UK	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 162°-Winkel	13,8	16,8	13,3	17,1
QD	Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 342°-Winkel	10,0	6,4	10,2	6,1
KR	Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 198°-Winkel	10,0	6,4	10,2	6,1

Hinweis:

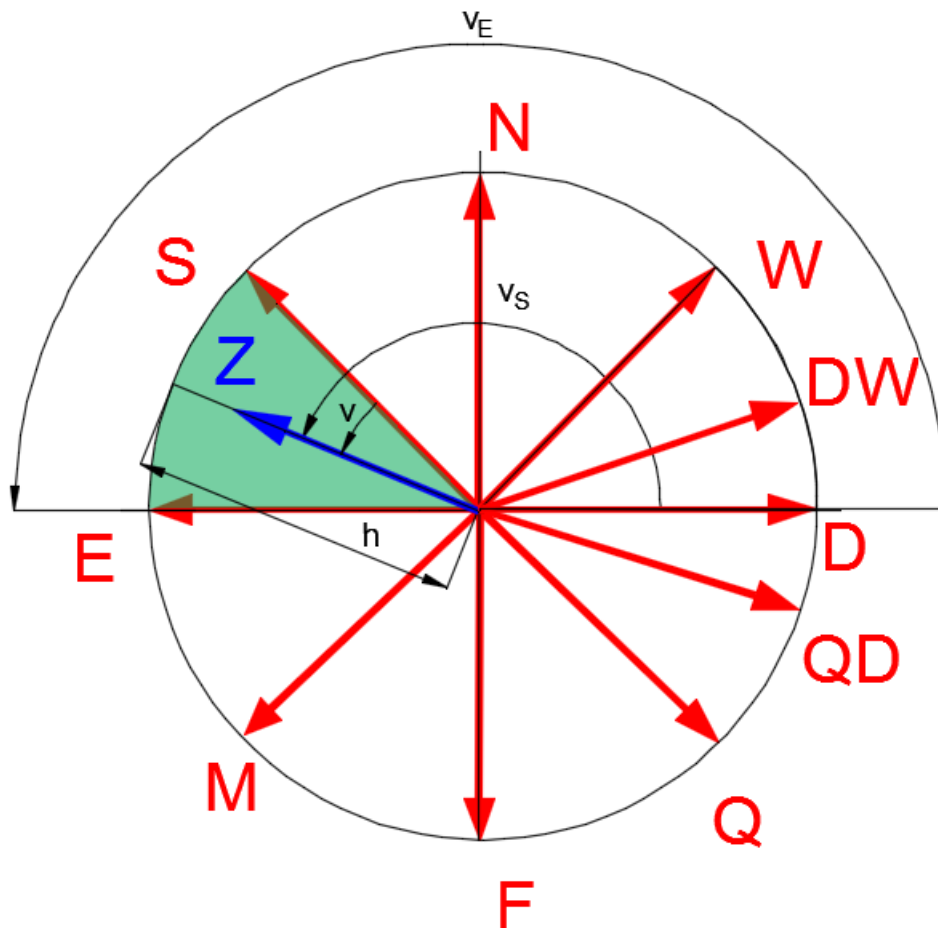
(1) Ohne Berücksichtigung nationaler Verstärkungs- und Minderungsfaktoren (Dauer, Alterung/Umwelt, Temperatur, d. h. $C_t = C_u = C_o = 1$ und $K_t = K_u = K_o = 1$, vgl. ETAG 010, 6.3.1.2)

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Abbildung 2: Bestimmung der Werte für mechanische Verbindungen in andere als die geprüften Richtungen (Prinzip)



Z: Ergebnis struktureller Berechnungen [kN]

v: Ergebnis struktureller Berechnungen [Winkel zum Dachfenster]

h: Ergebnis einer linearen Interpolation [kN]

$$h = S + v^{\circ} * (E - S) / (v_E^{\circ} - v_S^{\circ})$$

Anforderung: $h \geq Z$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

6. Eigengewicht

Das Eigengewicht (einschließlich mechanische Komponenten, Verkleidung, Abdeckung und Eindeckrahmen) des feststehenden Dachfensters (G_f und g_f) und des zu öffnenden Dachfensters (G_v und g_v) ist wie folgt zu berechnen:

$$G_f = (W-12) * (L-96) * t * 25 * 10^{-9} + 2(W+L) * 57 * 10^{-6} \quad [\text{kN}]$$

$$g_f = G_f / (W * L) * 10^6 \quad [\text{kN/m}^2]$$

und

$$G_v = (W-12) * (L-96) * t * 25 * 10^{-9} + 2(W+L) * 96 * 10^{-6} \quad [\text{kN}]$$

$$g_v = G_v / (W * L) * 10^6 \quad [\text{kN/m}^2]$$

wobei:

W = Breite des Dachfensters in mm
 L = Höhe des Dachfensters in mm
 t = Gesamtstärke des Glases in mm

Tabelle 5: Teilsicherheitsbeiwerte für Dauerbetrieb (Eigengewicht):

	Ungünstig $\gamma_{G,\text{sup}}$	Günstig $\gamma_{G,\text{inf}}$	Ungünstig $\xi_{G,\text{sup}}$	Verweis
ULS	1,35	1,0	0,85	EN 1990:2007, Tabelle A1.2(B), Eq. 6.10b
SLS	1,0	1,0	k. A.	EN 1990:2007, Tabelle A1.4

7. Lastkombinationen

Gemäß BÜV Abschnitt 8.2 lassen sich die Lastkombination in 3 Lasten unterschiedlicher Dauer unterteilen.

1. Lange Dauer, nur Eigengewicht
2. Mittlere Dauer, Eigengewicht und Schneelast
3. Kurze Dauer, Eigengewicht, Schnee- und Windlast

In Bezug auf die Lastkombinationen gemäß EN 1990:2007 ist bei mittlerer Dauer nur die Schneelast als primär definiert

Bei kurzer Dauer sind Schnee- bzw. Windlast als primäre Last definiert.

8. Tragfähigkeit für Windsog

Bei einem zu öffnenden Fenster, das einer senkrecht nach oben gerichteten Kraft ausgesetzt ist, ist die Verbindung zwischen Fensterflügel und Rahmenprofil zu untersuchen.

Der VELUX Bericht „11000008316_30_0 VMW Sog bei zu öffnenden Rahmen“ vom 08.12.2017 (vgl. Tab. 6) trifft eine Aussage zur Tragfähigkeit.

Tabelle 6: Kenntragfähigkeit für zu öffnende Fenster zwischen Flügel- und Rahmenprofil bei einer senkrecht zum Fensterrahmen gerichteten Sogkraft

	Tragfähigkeit
2-Scheiben-Isolierverglasung	8,87 kN
3-Scheiben-Isolierverglasung	8,72 kN

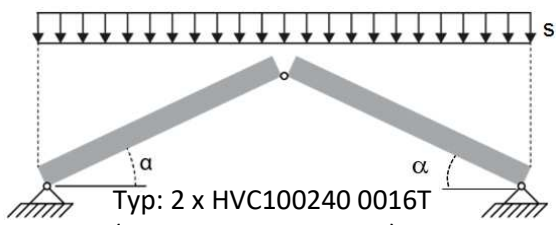
Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

9. Beispiele von Bemessungswerten für die Tragfähigkeit

Tabelle 7a: Kenn- und Bemessungswerte der Tragfähigkeiten für Schneelast

			Konstruktionsberechnung Teilsicherheitsbeiwerte Eigengewicht (vgl. Tabelle 5): $\gamma_{G,sup,ULS}=1,35$ $\xi_{G,sup,ULS}=0,85$ $\gamma_{G,sup,SLS}=1,00$ Material- Teilsicherheitsbeiwerte (vgl. Tabelle 1): $\gamma_{MR,ULS}=1,50$ $\gamma_{MC,SLS}=1,10$ Verstärkungs- und Minderungsfaktoren (vgl. Tabelle 2): Mittlere Dauer – Schneelast (1): Dauer: 3 Monate, 20 °C. $K_t=1,66$; $K_u=1,2$; $K_\theta=1,00$ $C_t=1,11$; $C_u=1,2$; $C_\theta=1,00$ Lastfaktor Schnee, nach EN 1990:2007: $\gamma_{Q,1} = 1,5$ E-Modul: $E= 0,83 \times 41,6 \text{ GPa}$ Vgl. Anmerkung 3 zu Tabelle 3.				
Anwendungsbeispiele – Schneelast	α°	ULS [kN/m ²]	SLS [kN/m ²]		ULS (2) [kN/m ²]	SLS (3) [kN/m ²]	
			1/300	1/150		1/300	1/150
 Typ: 2 x HVC100240 0016T (1.000 mm x 2.400 mm) Verglasung: 22 mm Glas insgesamt	25°	9,0	1,5	3,8	2,33	0,53	1,81
	30°	10,6	1,6	4,0	2,84	0,59	1,93
	35°	12,0	1,7	4,2	3,31	0,67	2,08
	40°	13,7	1,9	4,6	3,81	0,76	2,27

Hinweise:

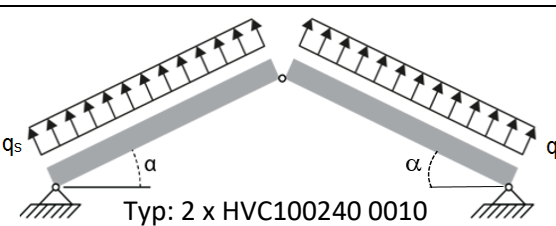
(1) Lastkombination ULS: $\gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot s_k$ SLS: $G_k + s_k$ (2) Tabellenwerte sind Bemessungswerte Schneelast für ULS: $\gamma_{Q,1} \cdot s_k$ (3) Tabellenwerte sind Bemessungswerte Schneelast für SLS: s_k

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Tabelle 7b: Kenn- und Bemessungswerte der Tragfähigkeiten für Windsog

			Bemessungswerte Teilsicherheitsbeiwerte Eigengewicht (vgl. Tabelle 5): $\gamma_{G,inf,ULS}=1,00$ $\gamma_{G,sup,SLS}=1,00$ Material-Teilsicherheitsbeiwerte (vgl. Tabelle 1): $\gamma_{MR,ULS}=1,50$ $\gamma_{MC,SLS}=1,10$ Verstärkungs- und Minderungsfaktoren (vgl. Tabelle 2): Kurze Dauer – Windlast (2): 10 Minuten, 60 °C (1). ULS: $K_t=1,10$; $K_u=1,2$; $K_\theta=1,50$ SLS: $C_t=1,02$; $C_u=1,2$; $C_\theta=1,05$ Lastfaktor Wind, nach EN 1990:2007: $\gamma_{Q,1} = 1,5$				
Anwendungsbeispiele – Windsog  Typ: 2 x HVC100240 0010 (1.000 mm x 2.400 mm) Verglasung: 14 mm Glas insgesamt	α°	ULS [kN/m ²]	SLS [kN/m ²]		ULS (3) [kN/m ²]	SLS (4) [kN/m ²]	
			1/300	1/150		1/300	1/150
	25°	5,0	1,9	3,4	2,01 (5)	1,53	2,53
	30°	5,1	1,9	3,3	2,05 (5)	1,51	2,51
	35°	5,0	1,9	3,3	1,77 (5)	1,48	2,48
	40°	4,4	1,9	3,3	1,79 (5)	1,45	2,45

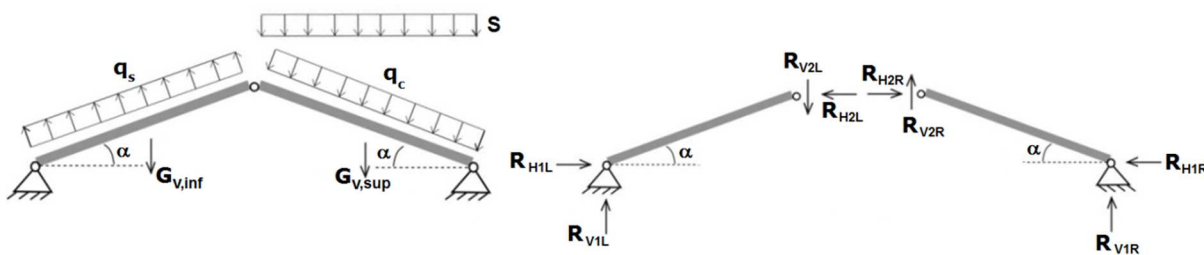
Hinweise:

- (1) Vgl. VELUX Prüfbericht 149292.
- (2) Lastkombination ULS: $\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot q_{s,k}$ SLS: $G_k + q_{s,k}$
- (3) Tabellenwerte sind Bemessungswerte Schneelast für ULS: $\gamma_{Q,1} \cdot q_{s,k}$
- (4) Tabellenwerte sind Bemessungswerte Schneelast für SLS: $q_{s,k}$
- (5) Ausfall zwischen Fensterflügel- und Rahmenprofil, vgl. Absatz 8

10. Berechnungsbeispiel, asymmetrische Last (Bemessungswerte)

Für das Berechnungsbeispiel „asymmetrische Last“ wird dasselbe Beispiel wie in Anhang E.2 der ETA-17/0467 verwendet.

Zur Demonstration des Berechnungsverfahrens wird die Anwendung von VELUX Modular Skylights, selbsttragendes Sattel-Lichtband, unter asymmetrischer Wind- und Schneelast untersucht. Geometrie und Dachfenstervariante entsprechen denjenigen im Windlastbeispiel in Tabelle 7b: 2 x HVC1002400 0010 (1.000 mm x 2.400 mm). Verglasung: 14 mm Glas insgesamt. Der Neigungswinkel beträgt $\alpha = 25^\circ$.

Abbildung 3: Lastmodell für Berechnungsbeispiel

Die für die Berechnung verwendeten Teilsicherheitsbeiwerte und Verstärkungs- und Minderungsfaktoren sind in Tabelle 8a und 8b aufgeführt.

Tabelle 8a: Teilsicherheitsbeiwerte

	ULS	SLS
Rahmenprofile an den Verbindungen:	$\gamma_{MR} = 1,5$	k. A.
Rahmenprofile:	$\gamma_{MR} = 1,2$	$\gamma_{MC} = 1,1$
Variable Last, primär:	$\gamma_{Q,1} = 1,5$ (1)	$\gamma_{Q,1} = 1,0$ (1)
Variable Last, nicht primär:	$\gamma_{Q,i} = 1,5$ (1)	$\gamma_{Q,i} = 1,0$ (1)
Dauerbetrieb, ungünstig:	$\gamma_{G,sup} = 1,35$	$\gamma_{G,sup} = 1,0$
Dauerbetrieb, günstig:	$\gamma_{G,inf} = 1,0$	$\gamma_{G,inf} = 1,0$
Faktor für Kombination, Wind	$\Psi_{0,wind} = 0,6$ (1)	$\Psi_{0,wind} = 0,6$ (1)
Faktor für Kombination, Schnee	$\Psi_{0,snow} = 0,5$ (1)	$\Psi_{0,snow} = 0,5$ (1)
Minderungsfaktor für G_{sup}	$\xi_{G,sup} = 0,85$	k. A.

Hinweis:

(1) Vgl. EN 1990:2007

Tabelle 8b: Verstärkungs- und Minderungsfaktoren

	ULS	SLS
Dauer Abhängigkeit, Eigengewicht primär:	$K_{t,25 \text{ Jahre}} = 2,02$	$C_{t,25 \text{ Jahre}} = 1,15$
Dauer Abhängigkeit, Wind primär:	$K_{t,10 \text{ min}} = 1,1$	$C_{t,10 \text{ min}} = 1,02$
Dauer Abhängigkeit, Wind primär:	$K_{t,3 \text{ Monate}} = 1,66$	$C_{t,3 \text{ Monate}} = 1,11$
Alterungs-/Umweltabhängigkeit:	$K_u = 1,2$	$C_u = 1,2$
Temperaturabhängigkeit, 20 °C:	$K_{\theta,20^\circ} = 1,0$	$C_{\theta,20^\circ} = 1,00$
Temperaturabhängigkeit, 60 °C:	$K_{\theta,60^\circ} = 1,5$	$C_{\theta,60^\circ} = 1,05$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com**Tabelle 9: Kenntragfähigkeit Montagebeschläge**

Element/Verbindung	Kenntwerte R_k [kN]
A: Bolzenverbindung oben (berechnetes Minimum)	13,5 (1)
B: Nietverbindung unten (berechnetes Minimum)	17,6
C: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 0°-Winkel	11,2
D: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 0°-Winkel	11,9
E: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 180°-Winkel	11,2
F: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 270°-Winkel	2,0
G: Fußbeschlag/Montageklemme/Dachanschluss im 90°-Winkel	20,3
H: Fußbeschlag/Montageklemme/Dachanschluss im 180°-Winkel	28,2
J: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 270°-Winkel	2,0
K: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 180°-Winkel	11,9
L: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 315°-Winkel	3,4
M: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 225°-Winkel	3,4
N: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 90°-Winkel	6,0
P: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 90°-Winkel	6,0
F: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 315°-Winkel	3,0
R: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 225°-Winkel	3,0
S: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 135°-Winkel	8,2
T: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 45°-Winkel	8,2
U: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 135°-Winkel	9,3
W: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 45°-Winkel	9,3
DW: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 18°-Winkel	16,8
UK: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 162°-Winkel	16,8
QD: Eck-Montagebeschlag unten / Rahmenverbindung im 342°-Winkel	6,4
KR: Eck-Montagebeschlag oben / Rahmenverbindung im 198°-Winkel	6,4

Hinweis:

(1) Stärke des Bolzens selbst: 17,6 kN

Höhen- und Winkelkorrekturen

Aufgrund der Montagebeschläge ist es notwendig, Berechnungswinkel und Profilhöhe zu korrigieren. Aus Abbildung 1 sind

$\Delta L_1 = 110,2$ mm und $\Delta L_2 = 43,7$ mm für die Montagebeschläge ersichtlich. ΔL_2 lässt sich in einen parallelen $\Delta L_{2\parallel} = 32,8$ mm und einen senkrechten Teil $\Delta L_{2\perp} = 28,9$ mm umwandeln.

ΔL_1 und ΔL_2 sind konstant, unabhängig von der Höhe L oder dem Winkel α der Verglasung.

Die korrigierte Höhe ermittelt sich anhand folgender Formel:

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

$$L_{cor} = \sqrt{(L + \Delta L_1 + \Delta L_{2ll})^2 + (L_{2\perp})^2} = \sqrt{(2.400\text{mm} + 110,2\text{mm} + 32,8\text{mm})^2 + (28,9\text{mm})^2} = 2543\text{mm}$$

Der korrigierte Winkel errechnet sich anhand folgender Formel:

$$\Delta\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta L_{2\perp}}{L + \Delta L_1 + \Delta L_{2ll}}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{28,9\text{mm}}{2.400\text{mm} + 110,2\text{mm} + 32,8\text{mm}}\right) = 0,65^\circ$$

$$\alpha_{cor} = \alpha - \Delta\alpha = 25^\circ - 0,7^\circ = 24,3^\circ$$

Bei Durchbiegungsberechnungen einer aufwärts gerichteten Last für ein zu öffnendes Fenster biegt sich nur der Fensterflügel durch. Daher sollten für die Durchbiegungsberechnungen nur die Höhe des Flügelprofils und der richtige abgeleitete Winkel verwendet werden. Aus Abb. 4 sind $\Delta L_{1,up,dfl} = -9,7\text{ mm}$, $\Delta L_{2ll,up,dfl} = 23,5\text{ mm}$ und $\Delta L_{2\perp,up,dfl} = 24\text{ mm}$ ersichtlich.

Die korrigierte Höhe $L_{cor,up,dfl}$ ermittelt sich anhand folgender Formel:

$$L_{cor,up,dfl} = \sqrt{(L + \Delta L_{1,up,dfl} + \Delta L_{2ll,up,dfl})^2 + (L_{2\perp,up,dfl})^2}$$

$$= \sqrt{(2.400\text{mm} - 9,7\text{mm} + 23,5\text{mm})^2 + (24\text{mm})^2} = 2414\text{mm}$$

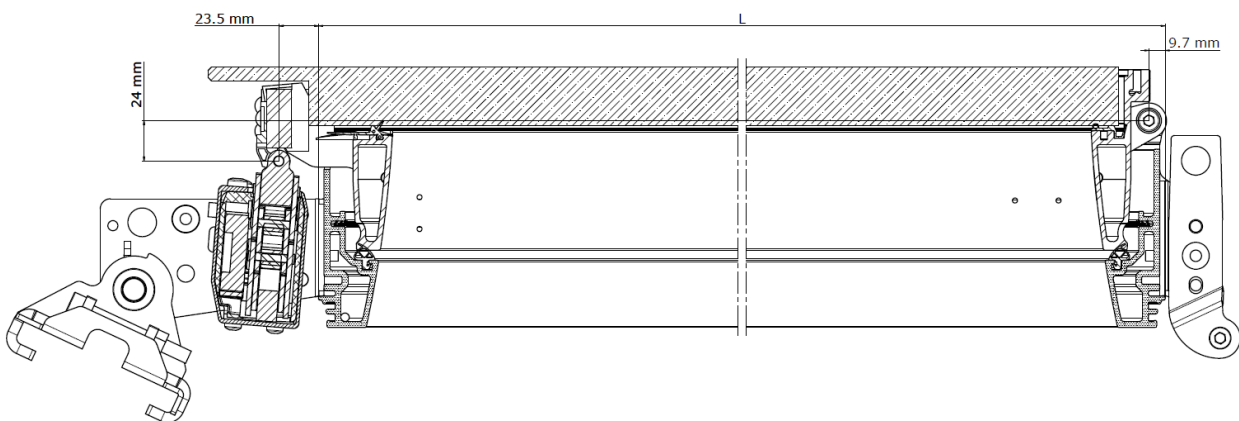
Der korrigierte Winkel errechnet sich anhand folgender Formel:

$$\Delta\alpha_{up,dfl} = \sin^{-1}\left(\frac{L_{2\perp,up,dfl}}{L + \Delta L_{1,up,dfl} + \Delta L_{2ll,up,dfl}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{24\text{mm}}{2.400\text{mm} - 9,7\text{mm} + 23,5\text{mm}}\right) = 0,57^\circ$$

$$\alpha_{cor,up,dfl} = \alpha + \Delta\alpha_{up,dfl} = 25^\circ + 0,6^\circ = 25,6^\circ$$

Abbildung 4: Korrekturvektor für ein zu öffnendes Fenster, das einer aufwärts gerichteten Kraft unterliegt; nur Durchbiegung



Die Messungen $\Delta L_{1,up,dfl} = -9,7\text{ mm}$, $\Delta L_{2ll,up,dfl} = 23,5\text{ mm}$ und $\Delta L_{2\perp,up,dfl} = 24\text{ mm}$ sind Konstante.

Kennlasten

Eigengewicht auf jedem Seitenrahmen/Fensterflügel:

$$G_{V,k} = \frac{1}{2} \cdot ((W - 12) \cdot (L - 96) \cdot t \cdot 25 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot (W + L) \cdot 96 \cdot 10^{-6})$$

$$= \frac{1}{2} \cdot ((1000 - 12) \cdot (2400 - 96) \cdot 14 \cdot 25 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot (1000 + 2400) \cdot 96 \cdot 10^{-6}) = 0,72\text{ kN}$$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Für die Aufteilung des Eigengewichts in sup und inf wird das Eigengewicht für den linken und rechten Rahmen/Fensterflügel angegeben.

$$G_{VL,k} = G_{VR,k} = 0,72kN$$

In diesem Beispiel wird der vom Wind verursachte Spitzendruck ($q_{p,k}$) auf $0,8kN/m^2$ festgesetzt und der Formfaktor (c) beträgt 0,5 für die dem Wind ausgesetzte Seite und -0,5 für die Unterdruckseite. Somit wirkt die Last

$$q_{c,k} = q_{s,k} = q_{p,k} \cdot c \cdot W/2 = 0,8kN/m^2 \cdot 0,5 \cdot 1,0m/2 = 0,2kN/m, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Die Windlast wird mittels des ursprünglichen Winkels in eine vertikale und eine horizontale Komponente zerlegt. Mit der korrigierten Höhe L_{cor} ermittelt sich die äquivalente konzentrierte Last.

$$Q_{SH,k} = Q_{CH,k} = q_{c,k} \cdot L_{cor} \cdot \sin(\alpha) = 0,2kN/m \cdot 2,543m \cdot \sin(25^\circ) = 0,21kN \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

$$Q_{SV,k} = Q_{CV,k} = q_{c,k} \cdot L_{cor} \cdot \cos(\alpha) = 0,2kN/m \cdot 2,543m \cdot \cos(25^\circ) = 0,46kN \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Für die Schneelast in diesem Beispiel werden die beiden C-Faktoren (gemäß EN 1991-1-3) mit 1,0 festgelegt, der Formfaktor μ_2 mit 0,8 und der Kennwert der Schneelast am Boden ist $S_k=1,0kN/m^2$, bei gegebener Schneelast s_k :

$$s_k = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0kN/m^2 = 0,8kN/m^2 \rightarrow s_{s,k} = 0,4kN/m, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Die Schneelast wirkt nur vertikal und die korrigierte Höhe L_{cor} wird zur Ermittlung der äquivalenten konzentrierten Last genutzt.

$$S_{V,k} = s \cdot \cos(\alpha) \cdot L_{cor} = 0,4kN/m \cdot \cos(25^\circ) \cdot 2,543m = 0,92kN$$

Reaktionen in den Montagebeschlägen

Die korrigierte Höhe L_{cor} und der Winkel α_{cor} dienen im statischen System zur Bestimmung der Reaktionen. Diese Berechnungen werden hier nicht vorgestellt.

Die Reaktionen werden getrennt für jeden Lasttyp berechnet und sind in Tabelle 10 zu finden.

Aus diesen Kennreaktionen errechnen sich unterschiedliche Lastkombinationen anhand der Teilsicherheitsbeiwerte aus Tabelle 8a: CC2 (vgl. EN 1990:2007, Tabelle B1) wird angenommen:

a) Kennlastkombination:

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,0 \cdot G_{VR,k} + 1,0 \cdot Q_k + 1,0 \cdot S_{V,k}$$

b) Lange Dauer: Eigengewichtkombination primär:

$$\gamma_{G,sub} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot G_{VR,k} \Rightarrow$$

$$1,35 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot G_{VR,k}$$

c) Mittlere Dauer: Schneekombination primär:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot S_{V,k}$$

d) Kurze Dauer: Windkombination primär, mit Schnee:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_k + \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,snow} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot Q_k + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S_{V,k}$$

e) Kurze Dauer: Windkombination primär, ohne Schnee:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_k \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot Q_k$$

f) Kurze Dauer: Schneekombination primär, mit Wind:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,wind} \cdot Q_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_k + 1,5 \cdot S_{V,k}$$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com**Tabelle 10, horizontale und vertikale Reaktionen der Montagebeschläge**

Lasttyp	R _{H1L} [kN]	R _{V1L} [kN]	R _{H2L} [kN]	R _{V2L} [kN]	R _{H2R} [kN]	R _{V2R} [kN]	R _{H1R} [kN]	R _{V1R} [kN]
G _{VL,k}	0,40	0,54	0,40	-0,18	0,40	-0,18	0,40	0,18
G _{VR,k}	0,40	0,18	0,40	0,18	0,40	0,18	0,40	0,54
Q _k (Q _{s,k} and Q _{c,k})	0,21	-0,18	0,00	0,28	0,00	0,28	-0,21	0,18
S _{V,k}	0,51	0,23	0,51	0,23	0,51	0,23	0,51	0,69
a) Kennkombination	1,52	0,77	1,31	0,51	1,31	0,51	1,10	1,59
b) Lange Dauer: Eigengewicht primär	1,08	0,97	1,08	0,00	1,08	0,00	1,08	0,97
c) Mittlere Dauer: Schnee primär	1,62	1,09	1,62	0,37	1,62	0,37	1,62	1,83
d) Kurze Dauer: Wind primär	1,55	0,65	1,24	0,62	1,24	0,62	0,92	1,59
e) Kurze Dauer: Wind, Schnee primär	1,17	0,47	0,86	0,44	0,86	0,44	0,54	1,07
f) Kurze Dauer: vorherrsch. Schnee	1,81	0,93	1,62	0,62	1,62	0,62	1,43	2,00

Die Faktoren für die Ermittlung des Bemessungswerts der Tragfähigkeit des Montagebeschlags ermitteln sich anhand der Formel in Kapitel 2 und Tabelle 8b. Die Dauer ist untergliedert in lange Dauer (25 Jahre), mittlere Dauer (3 Monate) und kurze Dauer (10 Min.), die Temperatur bezieht sich auf den höchstmöglichen Wert, 20 °C bei Schnee und 60 °C ohne Schnee. Das Eigengewicht ist somit für die Lebensdauer des Fensters, die Schneedauer auf 3 Monate und die Winddauer auf 10 Minuten festgesetzt. Die Schneedauer kann je nach Region variieren und sollte entsprechend geändert werden.

Lange Dauer: Eigengewichtkombination primär, Dauer: 25 Jahre, Temperatur: 60°C

$$b) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,25\text{years}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60^\circ} = 1,5 \cdot 2,02 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 5,45$$

Mittlere Dauer: Schneekombination primär, Dauer: 3 Monate, Temperatur: 20°C:

$$c) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{months}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 2,99$$

Kurze Dauer: Windkombination primär, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 20°C:

$$d) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,98$$

Kurze Dauer: Windkombination primär, keine Schneelast, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 60°C:

$$e) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,97$$

Kurze Dauer: Schneekombination primär, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 20°C:

$$f) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,98$$

Die resultierenden Kräfte und deren Nutzung in Bezug auf den Montagebeschlag sind in Tabelle 11a bis 11f für die Lastkombinationen zu finden. Die Tragfähigkeiten der Montagebeschläge unter dem resultierenden Winkel werden durch lineare Interpolation zwischen den beiden benachbarten Tragfähigkeiten ermittelt, vgl. Abb. 2 und Tabelle 9.

Tabelle 11a, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für die Kennlastkombination

a) Kennkombination	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Kennreaktion Montagebeschlag	1,70 kN	1,40 kN	1,40 kN	1,93 kN
Winkel gemäß Abb. 1	1,8°	176,2°	133,8°	30,4°
Kenntragfähigkeit	12,40 kN	12,93 kN	9,21 kN	13,34 kN
Nutzung	14 %	11 %	15 %	14 %

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com**Tabelle 11b, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für die Lastkombination Eigengewicht primär, lange Dauer**

b) Lange Dauer: Eigengewicht primär	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Bemessungsreaktionskraft Montagebeschlag	1,45 kN	1,08 kN	1,08 kN	1,45 kN
Winkel gemäß Abb. 1	17,1°	155,0°	155,0°	17,1°
Kenntragfähigkeit	16,55 kN	14,86 kN	14,86 kN	16,55 kN
Bemessungstragfähigkeit	3,04	2,73	2,73	3,04
Nutzung	48 %	39 %	39 %	48 %

Tabelle 11c, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für Schneelastkombination primär, mittlere Dauer

c) Mittlere Dauer: Schnee primär	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Bemessungsreaktionskraft Montagebeschlag	1,95 kN	1,66 kN	1,66 kN	2,45 kN
Winkel gemäß Abb. 1	9,0°	167,9°	142,1°	23,6°
Kenntragfähigkeit	14,34 kN	15,19 kN	11,27 kN	15,26 kN
Bemessungstragfähigkeit	4,80 kN	5,08 kN	3,77 kN	5,10 kN
Nutzung	41 %	33 %	44 %	48 %

Tabelle 11d, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für Windlastkombination primär, kurze Dauer

d) Kurze Dauer: Wind primär	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Bemessungsreaktionskraft Montagebeschlag	1,68 kN	1,38 kN	1,38 kN	1,84 kN
Winkel gemäß Abb. 1	357,6°	181,4°	128,6°	34,9°
Kenntragfähigkeit	11,15 kN	11,47 kN	8,83 kN	12,11 kN
Bemessungstragfähigkeit	5,63 kN	5,79 kN	4,46 kN	6,12 kN
Nutzung	30 %	24 %	31 %	30 %

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com**Tabelle 11e, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für Windlastkombination primär, kurze Dauer, ohne Schneelast**

e) Kurze Dauer: Wind, Schnee primär	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Bemessungsreaktionskraft Montagebeschlag	1,26 kN	0,96 kN	0,96 kN	1,20 kN
Winkel gemäß Abb. 1	357,0°	182,3°	127,7°	38,3°
Kenntragfähigkeit	10,98 kN	11,18 kN	8,76 kN	11,17 kN
Bemessungstragfähigkeit	3,70 kN	3,77 kN	2,95 kN	3,76 kN
Nutzung	34 %	26 %	33 %	32 %

Tabelle 11f, Kräfte (Resultanten) und Nutzung in Bezug auf die Montagebeschläge für Schneelastkombination primär, kurze Dauer

f) Kurze Dauer: Schnee primär	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Bemessungsreaktionskraft Montagebeschlag	2,03 kN	1,74 kN	1,74 kN	2,46 kN
Winkel gemäß Abb. 1	2,1°	176,0°	134,0°	29,4°
Kenntragfähigkeit	12,48 kN	12,99 kN	9,23 kN	13,63 kN
Bemessungstragfähigkeit	6,30 kN	6,56 kN	4,66 kN	6,89 kN
Nutzung	32 %	26 %	37 %	36 %

Tragfähigkeit für Windsog

Da es sich um ein zu öffnendes Fenster handelt, dessen linke Seite einem Windsog ausgesetzt ist, wird die Tragfähigkeit geprüft.

Die Abmessungen des Glases sind aus Abb. 5 ersichtlich. Beim vorstehenden Teil (60 mm) handelt es sich um gehärtetes Glas mit einer Stärke von 8 mm. Das Glaseigengewicht lässt sich mit einer Glasdichte von $\gamma_{\text{glass}} = 25 \text{ kN/m}^3$ ermitteln.

$$G_{\text{glass},k} = ((L - 0,056\text{m}) \cdot t + 0,060\text{m} \cdot 0,008\text{m}) \cdot (W - 0,022\text{m}) \cdot \gamma_{\text{glass}}$$

$$= ((2,4 - 0,056\text{m}) \cdot 0,014 + 0,060\text{m} \cdot 0,008\text{m}) \cdot (1,0 - 0,022\text{m}) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 0,81\text{kN}$$

Das Gewicht des zu öffnenden Fensterflügelprofils wird festgesetzt auf:

$$g_{\text{case},k} = A_{\text{case}} \cdot \gamma_{\text{frame}} \cdot g = 8,57 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot 2076 \text{kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{m/s}^2 = 0,017 \text{kN/m}$$

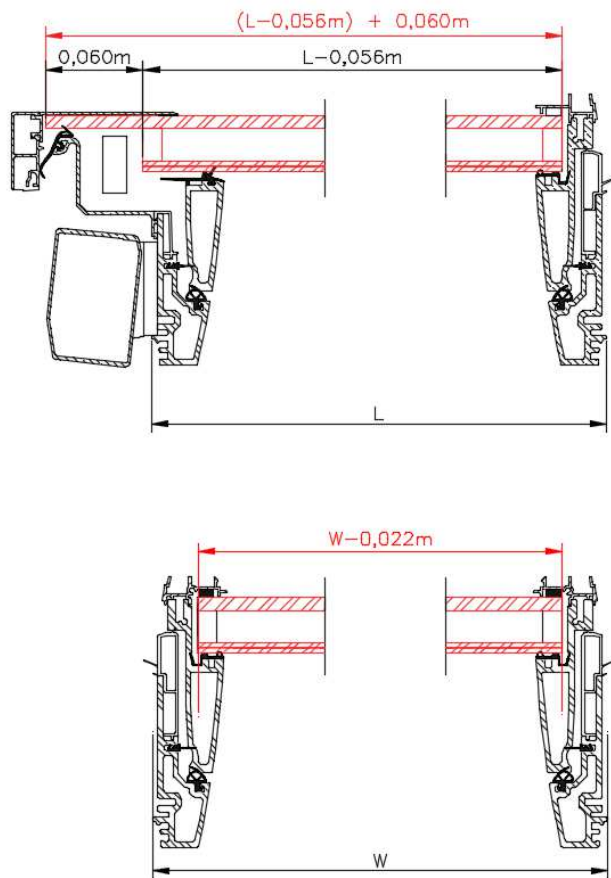
Der Fläche der Fensterflügelprofile (A_{case}) ist Anhang C4 und die Dichte (γ_{frame}) Anhang D.1 in ETA-17/0467 entnommen.

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Abbildung 5: Glasabmessungen für zu öffnendes Fenster

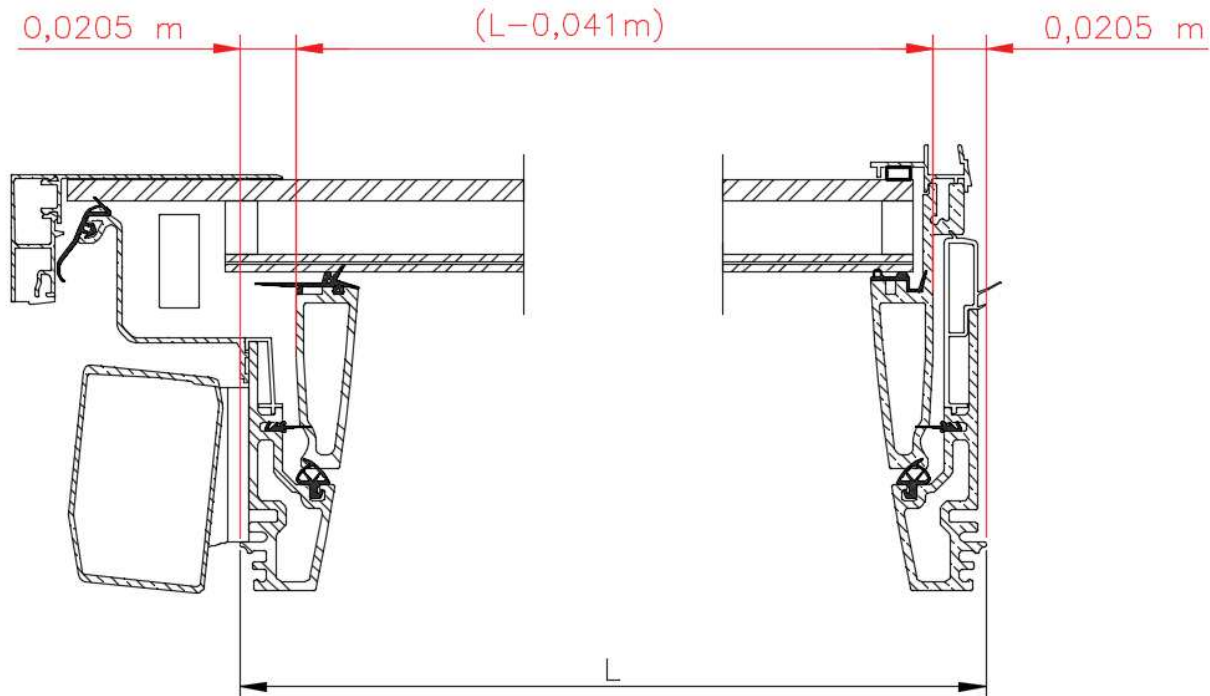


Der Perimeter des Fensterflügels L_{case} ermittelt sich gemäß Abb. 6:

$$L_{case} = 2 \cdot (L - 0,041m) + 2 \cdot (W - 0,041m) = 2 \cdot (2,4 - 0,041m) + 2 \cdot (1,0 - 0,041m) = 6,64m$$

Das gesamte Kanneigengewicht senkrecht zum zu öffnenden Fenster ($G_{\perp,k}$) ist:

$$G_{\perp,k} = (G_{glass,k} + g_{case,k} \cdot L_{case}) \cdot \cos(\alpha) = (0,81kN + 0,017kN/m \cdot 6,64m) \cdot \cos(25^\circ) = 0,84kN$$

Abbildung 6: Abmessungen Fensterflügelprofil für zu öffnendes Fenster

Glasfläche ($A_{W,suc}$), die dem Windsog unterliegt:

$$A_{W,suc} = ((L - 0,056m) + 0,060m) \cdot (W - 0,022m) = ((2,4 - 0,056m) + 0,060m) \cdot (1,0 - 0,022m) = 2,35m^2$$

Der Kennwindsog senkrecht zum zu öffnenden Fenster ($Q_{s\perp,k}$) ist

$$Q_{s\perp,k} = q_{p,k} \cdot c \cdot A_{W,suc} = 0,8kN/m^2 \cdot 0,5 \cdot 2,35m^2 = 0,94kN$$

Die Lastkombination e) kurze Dauer, Wind primär, keine Schneelast, stellt den schlechtesten Fall für einen auf das Fenster wirkenden Windsog dar. Gegeben ist eine Gesamtbemessungslast senkrecht zum Fenster ($P_{\perp d}$):

$$P_{\perp d} = \gamma_{Q,1} \cdot Q_{s\perp,k} - \gamma_{G,inf} \cdot G_{\perp,k} = 1,5 \cdot 0,94kN - 1,0 \cdot 0,84kN = 0,57kN$$

Die Kenntragfähigkeit (R_k) ist aus Kapitel 8, Tabelle 6, für eine Zweifach-Verglasung entnommen:

$$R_k = 8,87 kN$$

Sicherheitsminderungsfaktor für kurze Dauer: Windkombination primär, keine Schneelast, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 60 °C wird ermittelt:

$$e) factor = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10 min} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,97$$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Bemessungstragfähigkeit (R_d):

$$R_d = \frac{8,87kN}{2,97} = 2,99kN$$

$$\text{Nutzung: } P_{1d}/R_d \cdot 100 = 0,57kN/2,99kN \cdot 100 = 19\%$$

Biegung von Fensterflügel und Rahmenprofil

Die Biegung von Fensterflügel und Rahmenprofil ist in diesem Beispiel nur für die Schneekombination primär, mittlere Dauer, berechnet, wobei das Berechnungsverfahren dargestellt wird. Normalerweise sollten alle Lastkombinationen untersucht werden.

Bemessungskapazität von Fensterflügel und Rahmenprofil, Dauer: 3 Monate, Temperatur: 20°C:

$$\sigma_{R,d} = \frac{\sigma_{R,k}}{\gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{ month}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ}} = \frac{1257N/mm^2}{1,2 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0} = 526N/mm^2$$

(Zur Kennbiegefestigkeit vgl. Tabelle 3, zu Teilsicherheitsbeiwerten vgl. Tabelle 8a/ULS und zu Verstärkungs- und Minderungsfaktoren vgl. Tabelle 8b/ULS).

Die Kennlast durch das Eigengewicht, senkrecht zum Dachfenster, wird als $g_{p,k}$ und die Last in senkrechter Linie durch den Kenschneedruck als $s_{p,k}$ bezeichnet. Die korrigierte Höhe, jedoch mit dem ursprünglichen Winkel wird angewendet:

$$g_{p,k} = \frac{G_{VR,k} \cdot \cos(\alpha)}{L_{cor}} = \frac{0,72 \cdot \cos(25)}{2,543} = 0,26kN/m, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

$$s_{p,k} = s_{s,k} \cdot \cos(\alpha) = 0,40kN/m \cdot \cos(25) = 0,36kN/m, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

$$M_d = \frac{1}{8} \cdot (\gamma_{G,sub} \cdot \xi_{G,sub} \cdot g_{p,k} + \gamma_{Q,1} \cdot s_{p,k}) \cdot L_{cor}^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot (1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,26 + 1,5 \cdot 0,36)kN/m \cdot (2,543m)^2 = 0,68kNm$$

$$M_{frame,d} = M_d \cdot \frac{I_{frame}}{I_{frame} + I_{casement}} = 0,68kNm \cdot \frac{0,669 \cdot 10^6 mm^4}{0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4} = 0,28kNm$$

$$\sigma_{frame,d} \approx \frac{M_{frame,d}}{W_{y,frame}} = \frac{0,28 \cdot 10^6 Nmm}{9,93 \cdot 10^3 mm^3} = 28,7N/mm^2$$

$$\text{Nutzung: } \frac{\sigma_{frame,d}}{\sigma_{R,d}} \cdot 100 = \frac{28,7N/mm^2}{526N/mm^2} \cdot 100 = 5,4\%$$

$$M_{casement,d} = M_d \cdot \frac{I_{casement}}{I_{frame} + I_{casement}} = 0,68kNm \cdot \frac{0,930 \cdot 10^6 mm^4}{0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4} = 0,40kNm$$

$$\sigma_{casement,d} \approx \frac{M_{casement,d}}{W_{y,casement}} = \frac{0,40 \cdot 10^6 Nmm}{16,4 \cdot 10^3 mm^3} = 24,1N/mm^2$$

$$\text{Nutzung: } \frac{\sigma_{casement,d}}{\sigma_{R,d}} \cdot 100 = \frac{24,1N/mm^2}{526N/mm^2} \cdot 100 = 4,6\%$$

Hier wurde die Kennbiegefestigkeit aus Anhang D.1, ETA-17/0467, entnommen. Flächenträgheitsmoment und Widerstandsmoment wurden aus Anhang C.1 und C.4, ETA-17/0467, entnommen. Die Drehung der Hauptachse wird nicht berücksichtigt, da sie nur geringen Einfluss auf das Ergebnis hat und die resultierende Belastung wesentlich geringer als die Biegefestigkeit ist.

Scherkraft im Rahmenprofil

Die Scherkraft im Rahmenprofil ist in diesem Beispiel nur für die Schneekombination primär, mittlere Dauer, berechnet, wobei das Berechnungsverfahren dargestellt wird. Normalerweise sollten alle Lastkombinationen untersucht werden.

Bemessungskapazität Scherbelastung auf Rahmen, Dauer: 3 Monate, Temperatur: 20°C:

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

$$\tau_{frame,R,d} = \frac{\tau_{frame,R,k}}{\gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{ month}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ}} = \frac{53,8\text{N/mm}^2}{1,2 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0} = 22,5\text{N/mm}^2$$

(Zur Kennscherfestigkeit vgl. Tabelle 3, zu Teilsicherheitsbeiwerten vgl. Tabelle 8a/ULS und zu Verstärkungs- und Minderungsfaktoren vgl. Tabelle 8b/ULS).

Die Scherkraft wird im Allgemeinen gemeinsam von Rahmen und Fensterflügelprofil aufgenommen, in Richtung des Dachfensterendes jedoch komplett vom Rahmenprofil. Es wird der ursprüngliche Winkel angewendet.

In diesem Beispiel liegt die größte Scherkraft im rechten Dachfenster:

$$\begin{aligned} V_{frame} &= R_{V1R} \cdot \cos(\alpha) - R_{H1R} \cdot \sin(\alpha) \\ &= 1,83\text{kN} \cdot \cos(25) - 1,62\text{kN} \cdot \sin(25) \\ &= 0,97\text{kN} \end{aligned}$$

$$\tau_{frame} = \frac{V_{frame}}{A_{web}} \approx \frac{0,97 \cdot 10^3\text{N}}{550\text{mm}^2} = 1,77\text{N/mm}^2$$

$$\text{Nutzung: } \frac{\tau_{frame}}{\tau_{frame,R,d}} \cdot 100 = \frac{1,77\text{N/mm}^2}{22,5\text{N/mm}^2} \cdot 100 = 7,9\%$$

Hier wurde die Kennscherfestigkeit aus Anhang D.1 und A_{web} aus Anhang C.1, ETA-17/0467, entnommen.

Durchbiegung

Durchbiegungen werden für jede Seite getrennt und senkrecht zum korrigierten Dachfensterwinkel geprüft. 6 SLS Lastkombination lassen sich daher für diesen Lastfall erstellen:

g) Lange Dauer: Eigengewicht primär:

$$G_{VR,k}$$

h) Mittlere Dauer: Schnee primär:

$$G_{VR,k} + S_{V,k}$$

i) Kurze Dauer: Winddruck primär, mit Schnee:

$$G_{VR,k} + Q_{c,k} + \Psi_{0,snow} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$G_{VR,k} + Q_{c,k} + 0,5 \cdot S_{V,k}$$

j) Kurze Dauer: Winddruck primär, kein Schnee

$$G_{VR,k} + Q_{c,k}$$

k) Kurze Dauer: Schnee primär, mit Wind:

$$G_{VR,k} + \Psi_{0,wind} \cdot Q_{c,k} + S_{V,k} \Rightarrow$$

$$G_{VR,k} + 0,6 \cdot Q_{c,k} + S_{V,k}$$

l) Kurze Dauer: Windsog primär, kein Schnee

$$G_{VL,k} + Q_{s,k}$$

Die Faktoren für die Ermittlung des Bemessungswerts der Durchbiegung von Rahmenprofil/Fensterflügel sind aus der Formel in Kapitel 2 und Tabelle 8b ersichtlich. Die Dauer ist untergliedert in lange Dauer (25 Jahre), mittlere Dauer (3 Monate) und kurze Dauer (10 Min.), die Temperatur bezieht sich auf den höchstmöglichen Wert, 20°C bei Schnee und 60°C ohne Schnee. Das Eigengewicht ist somit für die Lebensdauer des Fensters, die Schneedauer auf 3 Monate und die Winddauer auf 10 Minuten festgesetzt. Die Schneedauer kann je nach Region variieren und sollte entsprechend geändert werden.

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

Lange Dauer: Eigengewichtkombination primär, Dauer: 25 Jahre, Temperatur: 60°C:

$$g) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,25 \text{ years}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,59$$

Mittlere Dauer: Schneekombination primär, Dauer: 3 Monate, Temperatur: 20°C:

$$h) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,3 \text{ months}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,11 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,47$$

Kurze Dauer: Winddruckkombination primär, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 20°C:

$$i) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,35$$

Kurze Dauer: Winddruckkombination primär, keine Schneelast, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 60°C:

$$j) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,41$$

Kurze Dauer: Schneekombination primär, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 20°C:

$$k) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,35$$

Kurze Dauer: Windsogkombination primär, keine Schneelast, Dauer: 10 Minuten, Temperatur: 60°C:

$$l) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,41$$

(Zu Teilsicherheitsbeiwerten vgl. Tabelle 8a/SLS und zu Verstärkungs- und Minderungsfaktoren vgl. Tabelle 8b/SLS).

Kenneigengewicht senkrecht zum korrigierten Dachfensterwinkel:

$$g_{p,cor,k} = \frac{G_V \cdot \cos(\alpha_{cor})}{L_{cor}} = \frac{0,72 \cdot \cos(24,3)}{2,543} = 0,26 \text{ kN/m}, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Kennwinddruck und Windsog senkrecht zum korrigierten Dachfensterwinkel:

$$q_{c,cor,k} = q_{c,k} \cdot \cos(-\Delta\alpha) = 0,2 \text{ kN/m} \cdot \cos(0,7) = 0,20 \text{ kN/m}, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Kennschneelast senkrecht zum korrigierten Dachfensterwinkel:

$$s_{p,cor,k} = s_{s,k} \cdot \cos(\alpha_{cor})^2 = 0,40 \text{ kN/m} \cdot \cos(24,3)^2 = 0,33 \text{ kN/m}, \text{ auf jeden Seitenrahmen/Fensterflügel}$$

Für die Durchbiegungsberechnungen wurde das Flächenträgheitsmoment entnommen aus ETA-17/0467 Anhang C.1 und Anhang C.4 und für das E-Modul vgl. Tabelle 3 einschließlich Anmerkung 3

g) Durchbiegung für lange Dauer: Eigengewicht primär

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot \text{factor}_g$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26 \text{ N/mm}) \cdot (2,543 \text{ mm})^4}{41600 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 + 0,930 \cdot 10^6 \text{ mm}^4)} \cdot 1,59 = 4,1 \text{ mm} < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

h) Durchbiegung für mittlere Dauer: Schnee primär

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot \text{factor}_h$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26 + 0,33) \text{ N/mm} \cdot (2,543 \text{ mm})^4}{41600 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 + 0,930 \cdot 10^6 \text{ mm}^4)} \cdot 1,47 = 8,6 \text{ mm} < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

Beglaubigte Übersetzung aus dem Englischen

[Logo VELUX]

www.velux.com

i) Durchbiegung für kurze Dauer: Winddruck primär, mit Schnee:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + q_{c,cor,k} + \Psi_{0,snow} \cdot s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_i$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,20+0,5 \cdot 0,33) N/mm \cdot (2.543 \text{ mm})^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,35 = 8,3 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

j) Durchbiegung für kurze Dauer: Wind primär, ohne Schnee:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + q_{c,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_j$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,20) N/mm \cdot (2.543 \text{ mm})^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,41 = 6,4 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

k) Durchbiegung für kurze Dauer: Schnee primär, mit Wind:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + \Psi_{0,wind} \cdot q_{c,cor,k} + s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_k$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,6 \cdot 0,20+0,33) N/mm \cdot (2.543 \text{ mm})^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,35 = 9,5 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

l) Durchbiegung für kurze Dauer: Windsog primär, ohne Schnee:

Da das Eigengewicht größer als der Windsog ist, wird die Kombination mit Windsog nicht untersucht.
Bitte beachten: Bei der Berechnung der Durchbiegung für ein zu öffnendes Fenster wird für die Soglast nur das Flächenträgheitsmoment des Fensterflügels genutzt.

As publicly ordered and generally certified translator in Bavaria for the English language, I hereby confirm that this translation of the document submitted to me as a copy and written in the English language is true and correct.

Als in Bayern öffentlich bestellte und allgemein beeidigte Übersetzerin für die englische Sprache bestätige ich: vorstehende Übersetzung der mir in Kopie vorgelegten, in englischer Sprache abgefassten Urkunde, ist richtig und vollständig.

Fürth, 23.09.2019


Nicole Leikauf
Hardstraße 3, 90766 Fürth





GUIDANCE PAPER

VELUX MODULAR SKYLIGHTS

SELF-SUPPORTING RIDGELIGHT

Determination of structural design values

1. Introduction

The aim of this document – together with ETA 17/0467 of 2019-01-28 is to provide guidance to the determination of design values.

ETA-17/0467 contains information on the kit, e.g. the structural system, hardware, cross section of the profiles, as well as the characteristic values. For convenience, a number of the relevant characteristic values are repeated in this document.

By means of structural calculations and design values, it can be demonstrated whether the requirements of the load bearing capacity of a specific kit, installed in a given building on a given location, are met.

The calculations should be carried out by a competent body.

The examples in this document demonstrate how the calculations **could** be carried out. National Standards and Annexes may specify different loads and combinations hereof, that are not mentioned in this document.

The load bearing capacity of the glazing is not subject to this document.

2. Principle

The design load bearing capacities (1) R_d and C_d shall be calculated using the following equations (see ETAG 010, 6.3.1.1 and 6.3.1.2):

$$R_d = R_k / (\gamma_{MR} * K_t * K_u * K_\theta)$$

and

$$C_d = C_k / (\gamma_{MC} * C_t * C_u * C_\theta)$$

where:

R_k	=	Characteristic load bearing capacity (ULS) calculated in accordance with ETA-17/0467
C_k	=	Characteristic load bearing capacity (SLS) calculated in accordance with ETA-17/0467
γ_{MR}	=	partial safety factor for ULS
γ_{MC}	=	partial safety factor for SLS
K_t	=	effect of duration for ULS (2)
C_t	=	effect of duration for SLS (2)
K_u	=	effect of ageing/environment for ULS (2)

C_u	=	effect of ageing/environment for SLS (2)
K_θ	=	effect of temperature for ULS (2)
C_θ	=	effect of temperature for SLS (2)

Notes:

- (1) The self-weight, including partial safety factors, shall be calculated in accordance with Clause 6.
 (2) Relevant only for profiles and hardware connections connected to the profiles.

3. Partial safety factors, magnification and reduction factors

Whenever possible internationally and/or nationally determined parameters and factors shall be taken into account. By default, the parameters and factors shown in Table 1 and Table 2 and Table 5 are recommended.

The recommended parameters are based on:

“BÜV-Empfehlung Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB] - Entwurf, Bemessung und Konstruktion - Stand 08 / 2010” (BÜV) and some European standards and VELUX test reports.

Table 1: Partial safety factors

Partial safety factor	γ_{MR}	γ_{MC}
Frame profiles at connections	1,5 (1)	Not relevant
Bolt/Rivet/Bracket/Rotating shoe/Mounting clamp	1,25 (2)	Not relevant
Frame profiles	1,2 (1)	1,1 (3)

Notes:

- (1) See BÜV Tabelle E-1
 (2) See EN 1993-1-8:2005, section 2.2
 (3) See BÜV Abschnitt 5.5

Table 2: Magnification and reduction factors (8)

ULS			SLS		
K_t (1) (2)	10 minutes	1,10	C_t (1) (4)	10 minutes	1,02
	1 week	1,48		1 week	1,08
	3 weeks	1,55		3 weeks	1,09
	1 month	1,58		1 month	1,10
	3 months	1,66		3 months	1,11
	6 months	1,71		6 months	1,11
	25 years	2,02		25 years	1,15
K_u (1) (3)	1,2		C_u (1) (5)	1,2	
K_θ (1)	0°C (6)	0,95	C_θ (1)	0°C (6)	1,00
	20°C (6)	1,00		20°C (6)	1,00
	40°C (7)	1,35		40°C (7)	1,05
	60°C (6)	1,50		60°C (6)	1,05
	80°C (6)	2,05		80°C (6)	1,10

Notes:

- (1) $K_t = A_1^f$, $C_t = A_1^E$ (see ETAG 010: 2002, section 6.3 and Annex H, BÜV Abschnitt 5.2)
 $K_u = A_2^f$, $C_u = A_2^E$ (see ETAG 010: 2002, section 6.3 and Annex H, BÜV Abschnitt 5.2)
 $K_\theta = A_3^f$, $C_\theta = A_3^E$ (see ETAG 010: 2002, section 6.3 and Annex H, BÜV Abschnitt 5.2)
- (2) See BÜV Tabelle B-1a and Gleichung 8.2.
- (3) See BÜV Tabelle B-2.
- (4) See BÜV Tabelle B-1b and Gleichung 8.2.
- (5) See BÜV Tabelle B-2.
- (6) See VELUX test reports no. 147775 and 145611 and DTI report no. 743795-2.
- (7) Conservative approximation based on measurements from VELUX test reports nos. 147775 and 145611.
- (8) Relevant only for profiles and their hardware connections.

4. Design values of small scale tests

The design values of the small-scale tests can be calculated as shown in Table 3.

Table 3: Characteristic and design values

Property	Characteristic values see ETA-17/0467 Annex D.1	Design values see Table 1 and Table 2 above
Tensile strength	832,9 MPa	ULS= Characteristic value / $(\gamma_{MR} * K_t * K_u * K_\theta)$ SLS= Characteristic value / $(\gamma_{MC} * C_t * C_u * C_\theta)$
Compression strength	465 MPa	
Bending strength	1257 MPa	
E-modulus	39,5 GPa	
	41,6 GPa (1)(3)	
G-modulus	3,1 GPa	
	3,4 GPa (2)	
Shear strength	53,8 MPa	

Notes:

- (1) Mean value, confidence level 75%, unknown standard deviation (See ISO 16269-6:2014).
- (2) Mean value, confidence level 75%, unknown standard deviation (See ISO 16269-6:2014).
- (3) For openable windows subjected to a downward action force, the E-modulus shall be multiplied with a factor of 0,83, see "VELUX report 1100005818_06_1 VMS Full scale test Ridgelight – Stiffness of module 2016-11-29"

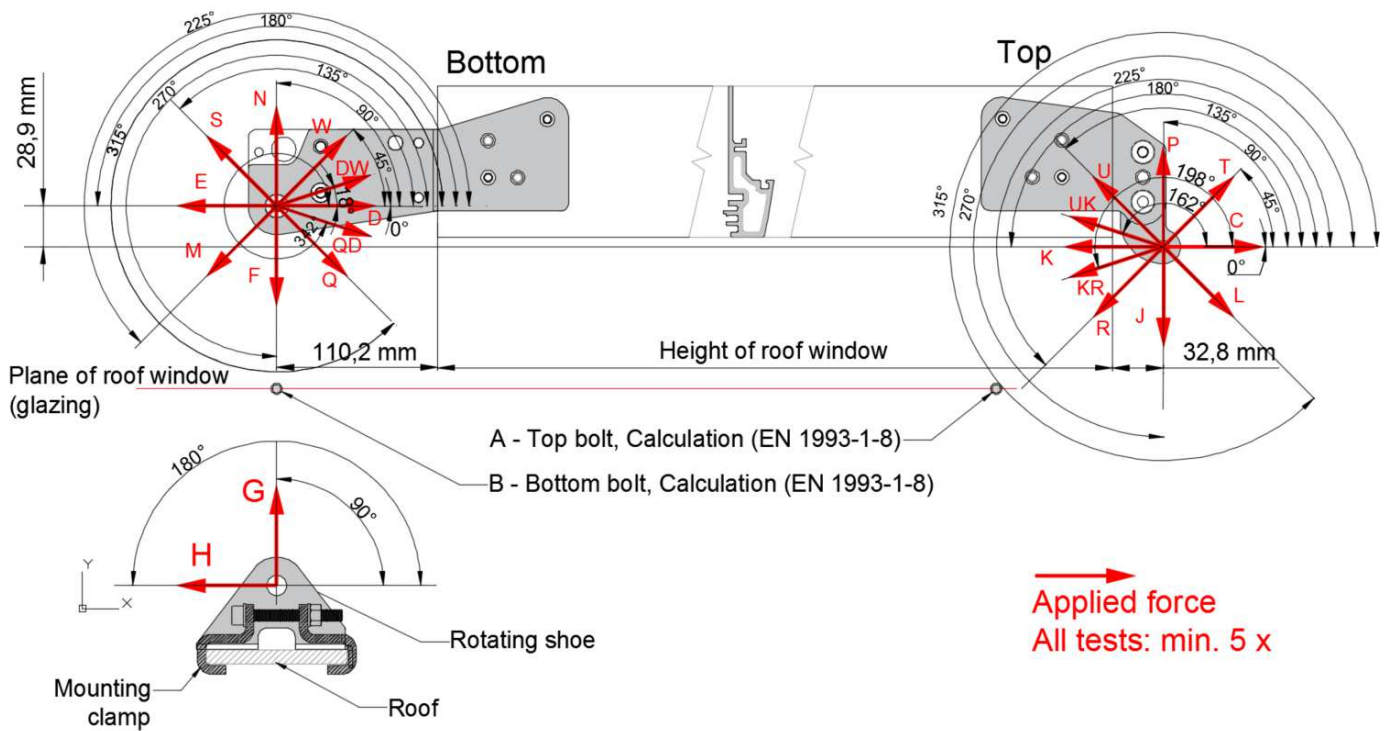
5. Determination of values for hardware connections**Figure 1: Applied forces to the hardware**

Table 4: Characteristic and design values for hardware connections

	Element/Connection	Characteristic value R_k [kN]	Design value R_d [kN] see Table 1
A	Top bolt connection (calculated minimum)	13,5 (1)	ULS= Characteristic value / γ_{MR}
B	Bottom bolt connection (calculated minimum)	17,6 (1)	
G	Rotating shoe/mounting clamp/roof connection in 90°	20,3	
H	Rotating shoe/mounting clamp/roof connection in 180°	28,2	SLS: Not relevant

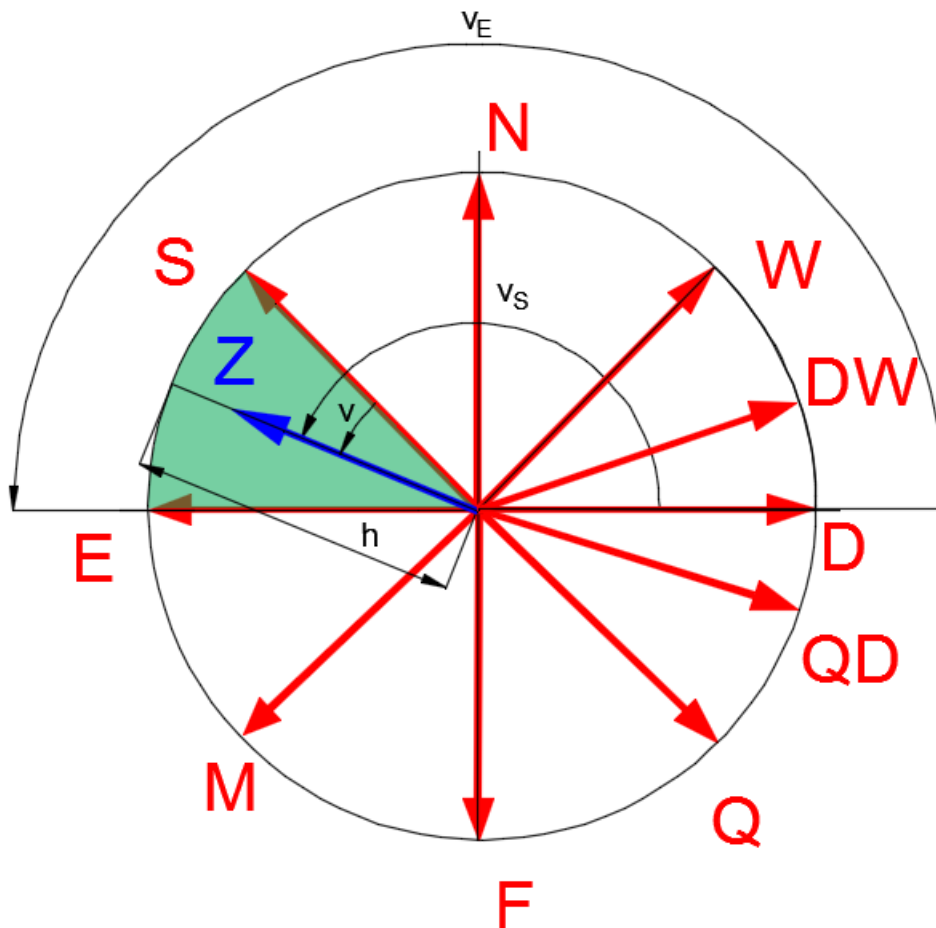
Note:

(1) Strength of the bottom and top bolt themselves: 17,6 kN

	Element/Connection	Characteristic Value R_k [kN] (1)			
		Product variant			
		HFC 100240 0010B	HVC 100240 0010B	HFC 100240 0016TB	HVC 100240 0016TB
C	Top corner bracket/frame connection in 0°	8,5	11,2	9,0	10,9
D	Bottom corner bracket/frame connection in 0°	11,9	11,9	10,9	12,4
E	Bottom corner bracket/frame connection in 180°	8,5	11,2	9,0	10,9
F	Bottom corner bracket/frame connection in 270°	3,9	2,0	4,3	2,1
J	Top corner bracket/frame connection in 270°	3,9	2,0	4,3	2,1
K	Top corner bracket/frame connection in 180°	11,9	11,9	10,9	12,4
L	Top corner bracket/frame connection in 315°	6,2	3,4	6,0	3,5
M	Bottom corner bracket/frame connection in 225°	6,2	3,4	6,0	3,5
N	Bottom corner bracket/frame connection in 90°	6,0	6,0	6,2	5,7
P	Top corner bracket/frame connection in 90°	6,0	6,0	6,2	5,7
Q	Bottom corner bracket/frame connection in 315°	5,4	3,0	5,0	3,6
R	Top corner bracket/frame connection in 225°	5,4	3,0	5,0	3,6
S	Bottom corner bracket/frame connection in 135°	7,8	8,2	8,1	7,5
T	Top corner bracket/frame connection in 45°	7,8	8,2	8,1	7,5
U	Top corner bracket/frame connection in 135°	8,6	9,3	8,6	9,0
W	Bottom corner bracket/frame connection in 45°	8,6	9,3	8,6	9,0
DW	Bottom corner bracket/frame connection in 18°	13,8	16,8	13,3	17,1
UK	Top corner bracket/frame connection in 162°	13,8	16,8	13,3	17,1
QD	Bottom corner bracket/frame connection in 342°	10,0	6,4	10,2	6,1
KR	Top corner bracket/frame connection in 198°	10,0	6,4	10,2	6,1

Note:

(1) Without influence caused by nationally determined magnification and reduction factors (duration, aging/environment, temperature, i.e. $C_t = C_u = C_Q = 1$ and $K_t = K_u = K_Q = 1$, see ETAG 010, 6.3.1.2)

Figure 2: Determination of values for hardware connections in other directions than tested (principle)

Z: Result of structural calculations [kN]

v : Result of structural calculations [degrees]

h: Result of a linear interpolation [kN]

$$h = S + v^{\circ} * (E - S) / (v_E^{\circ} - v_S^{\circ})$$

Requirement: $h \geq Z$

6. Self-weight

The self-weight (including hardware, lining, cladding and flashing) of the fixed roof window (G_f and g_f) and the openable roof window (G_v and g_v) shall be calculated as follows:

$$G_f = (W-12) * (L-96) * t * 25 * 10^{-9} + 2(W+L) * 57 * 10^{-6} \quad [\text{kN}]$$

$$g_f = G_f / (W * L) * 10^6 \quad [\text{kN/m}^2]$$

and

$$G_v = (W-12) * (L-96) * t * 25 * 10^{-9} + 2(W+L) * 96 * 10^{-6} \quad [\text{kN}]$$

$$g_v = G_v / (W * L) * 10^6 \quad [\text{kN/m}^2]$$

where:

W = Width of the roof window in mm
L = Height of the roof window in mm
t = Sum of glass thicknesses in mm

Table 5: Partial safety factors for permanent action (self-weight):

	Unfavourable $\gamma_{G,sup}$	Favourable $\gamma_{G,inf}$	Unfavourable $\xi_{G,sup}$	Reference
ULS	1,35	1,0	0,85	EN 1990:2007, Table A1.2(B), Eq. 6.10b
SLS	1,0	1,0	N/A	EN 1990:2007, Table A1.4

7. Load combinations

According to BÜV Abschnitt 8.2 the load combinations can be divided up into 3 load durations.

1. Long term, only self-weight
2. Medium term, self-weight and snow load
3. Short term, self-weight, snow load and wind load

In medium term, only the snow load is set as dominate load regarding the load combinations from EN 1990:2007

In short term respectively snow and wind load is set as the dominate load.

8. Load bearing capacity for wind suction

For an openable window subjected to a perpendicular upward force the connection between the casement and frame profile is to be investigated.

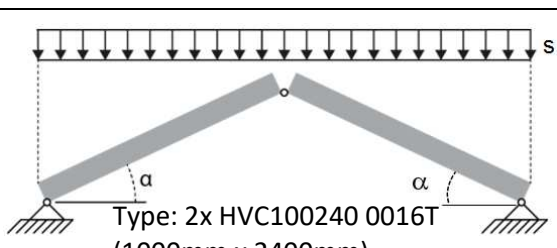
The load bearing capacity is found in VELUX report: "11000008316_30_0 VMW Suction on venting Frames" dated 2017-12-08 and shown in Table 6.

Table 6: Characteristic load bearing capacity for openable windows between casement and frame profile, for a suction force perpendicular to the window frame

	Load bearing capacity
Double glazing	8,87 kN
Triple glazing	8,72 kN

9. Examples of design values for the load bearing capacity

Table 7a: Characteristic and design load bearing capacities for snow-load

		Characteristic values for s see ETA-17/0467 Annex E.1		Design calculation Self-weight partial safety factors (see Table 5): $\gamma_{G,sup,ULS}=1,35$ $\xi_{G,sup,ULS}=0,85$ $\gamma_{G,sup,SLS}=1,00$ Material partial safety factors (see Table 1): $\gamma_{MR,ULS}=1,50$ $\gamma_{MC,SLS}=1,10$ Magnification and reduction factors (see Table 2): Medium term - snow load (1): 3 months duration, 20°C. $K_t=1,66$; $K_u=1,2$; $K_\theta=1,00$ $C_t=1,11$; $C_u=1,2$; $C_\theta=1,00$ Load factor snow, from EN 1990:2007: $\gamma_{Q,1} = 1,5$ E- modulus: $E= 0,83 \times 41,6 \text{ GPa}$ See Note 3 to Table 3.			
Application examples – Snow-load  Type: 2x HVC100240 0016T (1000mm x 2400mm) Glazing: 22 mm glass in total	α°	ULS [kN/m ²]	SLS [kN/m ²]		ULS (2) [kN/m ²]	SLS (3) [kN/m ²]	
			1/300	1/150		1/300	1/150
	25°	9,0	1,5	3,8	2,33	0,53	1,81
	30°	10,6	1,6	4,0	2,84	0,59	1,93
	35°	12,0	1,7	4,2	3,31	0,67	2,08
	40°	13,7	1,9	4,6	3,81	0,76	2,27

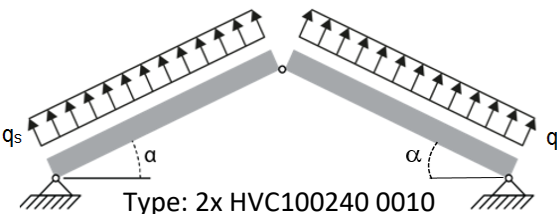
Notes:

(1) Load combination ULS: $\gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot s_k$ SLS: $G_k + s_k$

(2) Values in Table are design snow load for ULS: $\gamma_{Q,1} \cdot s_k$

(3) Values in Table are design snow load for SLS: s_k

Table 7b: Characteristic and design load bearing capacities for wind suction

					Design values Self-weight partial safety factors (see Table 5): $\gamma_{G,inf,ULS}=1,00$ $\gamma_{G,sup,SLS}=1,00$ Material partial safety factors (see Table 1): $\gamma_{MR,ULS}=1,50$ $\gamma_{MC,SLS}=1,10$ Magnification and reduction factors (see Table 2): Short term - wind load (2): 10 minutes, 60°C (1). ULS: $K_t=1,10$; $K_u=1,2$; $K_\theta=1,50$ SLS: $C_t=1,02$; $C_u=1,2$; $C_\theta=1,05$ Load factor wind, from EN 1990:2007: $\gamma_{Q,1} = 1,5$		
Application examples – Wind suction	α°	ULS [kN/m ²]	SLS [kN/m ²]		ULS (3) [kN/m ²]	SLS (4) [kN/m ²]	
			1/300	1/150		1/300	1/150
 Type: 2x HVC100240 0010 (1000mm x 2400mm) Glazing: 14 mm glass in total	25°	5,0	1,9	3,4	2,01 (5)	1,53	2,53
	30°	5,1	1,9	3,3	2,05 (5)	1,51	2,51
	35°	5,0	1,9	3,3	1,77 (5)	1,48	2,48
	40°	4,4	1,9	3,3	1,79 (5)	1,45	2,45

Notes:

- (1) See VELUX test report 149292.
- (2) Load combination ULS: $\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot q_{s,k}$ SLS: $G_k + q_{s,k}$
- (3) Values in Table are design snow load for ULS: $\gamma_{Q,1} \cdot q_{s,k}$
- (4) Values in Table are design snow load for SLS: $q_{s,k}$
- (5) Failure between casement and frame profile, see Clause 8

10. Calculation example, asymmetric load (design values)

For the calculations example "Asymmetric load" the same example as Annex E.2 in ETA-17/0467 is used.

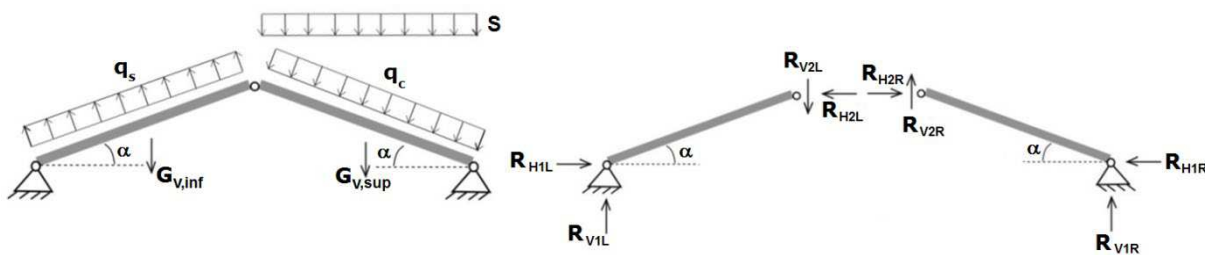
To demonstrate the calculation procedure, a VELUX modular skylight self-supporting ridgetlight application under asymmetric wind and snow load is examined.

Geometry and roof window variant is the same as in the wind load example in Table 7b:

2 x HVC1002400 0010 (1000mm x 2400mm). Glazing: 14mm glass in total.

The pitch is $\alpha = 25^\circ$.

Figure 3: Load model for calculation example



Partial safety factors and the magnification and reduction factors used in the calculation are presented in Tables 8a and 8b.

Table 8a: Partial safety factors

	ULS	SLS
Frame profiles at connections:	$\gamma_{MR} = 1,5$	N/A
Frame profiles:	$\gamma_{MR} = 1,2$	$\gamma_{MC} = 1,1$
Variable Load, leading:	$\gamma_{Q,1} = 1,5$ (1)	$\gamma_{Q,1} = 1,0$ (1)
Variable Load, non-leading:	$\gamma_{Q,i} = 1,5$ (1)	$\gamma_{Q,i} = 1,0$ (1)
Permanent action, unfavourable:	$\gamma_{G,sup} = 1,35$	$\gamma_{G,sup} = 1,0$
Permanent action, favourable:	$\gamma_{G,inf} = 1,0$	$\gamma_{G,inf} = 1,0$
Factor for combination, wind	$\Psi_{0,wind} = 0,6$ (1)	$\Psi_{0,wind} = 0,6$ (1)
Factor for combination, snow	$\Psi_{0,snow} = 0,5$ (1)	$\Psi_{0,snow} = 0,5$ (1)
Reduction factor for G_{sup}	$\xi_{G,sup} = 0,85$	N/A

Note:

(1) See EN 1990:2007

Table 8b: Magnification and reduction factors

	ULS	SLS
Duration dependency, self-weight leading:	$K_{t,25\text{ years}} = 2,02$	$C_{t,25\text{ years}} = 1,15$
Duration dependency, wind leading:	$K_{t,10\text{ min}} = 1,1$	$C_{t,10\text{ min}} = 1,02$
Duration dependency, snow leading:	$K_{t,3\text{ month}} = 1,66$	$C_{t,3\text{ month}} = 1,11$
Ageing/environment dependency:	$K_u = 1,2$	$C_u = 1,2$
Temperature dependency, 20°C:	$K_{\theta,20^\circ} = 1,0$	$C_{\theta,20^\circ} = 1,00$
Temperature dependency, 60°C:	$K_{\theta,60^\circ} = 1,5$	$C_{\theta,60^\circ} = 1,05$

Table 9: Brackets characteristic load bearing capacity

Element/Connection	Characteristic values R_k [kN]
A: Top bolt connection (calculated minimum)	13,5 (1)
B: Bottom rivet connection (calculated minimum)	17,6
C: Top corner bracket/frame connection in 0°	11,2
D: Bottom corner bracket/frame connection in 0°	11,9
E: Bottom corner bracket/frame connection in 180°	11,2
F: Bottom corner bracket/frame connection in 270°	2,0
G: Rotating shoe/mounting clamp/roof connection in 90°	20,3
H: Rotating shoe/mounting clamp/roof connection in 180°	28,2
J: Top corner bracket/frame connection in 270°	2,0
K: Top corner bracket/frame connection in 180°	11,9
L: Top corner bracket/frame connection in 315°	3,4
M: Bottom corner bracket/frame connection in 225°	3,4
N: Bottom corner bracket/frame connection in 90°	6,0
P: Top corner bracket/frame connection in 90°	6,0
Q: Bottom corner bracket/frame connection in 315°	3,0
R: Top corner bracket/frame connection in 225°	3,0
S: Bottom corner bracket/frame connection in 135°	8,2
T: Top corner bracket/frame connection in 45°	8,2
U: Top corner bracket/frame connection in 135°	9,3
W: Bottom corner bracket/frame connection in 45°	9,3
DW: Bottom corner bracket/frame connection in 18°	16,8
UK: Top corner bracket/frame connection in 162°	16,8
QD: Bottom corner bracket/frame connection in 342°	6,4
KR: Top corner bracket/frame connection in 198°	6,4

Note:

(1) Strength of the bolt itself: 17,6 kN

Corrections in height and angle

Because of the brackets, it is necessary to correct the calculation angle and the profile height. In Figure 1 $\Delta L_1 = 110,2$ mm and $\Delta L_2 = 43,7$ mm for the brackets can be found. ΔL_2 can be transformed into a parallel part $\Delta L_{2\parallel} = 32,8$ mm and a perpendicular part $\Delta L_{2\perp} = 28,9$ mm.

ΔL_1 and ΔL_2 are constants no matter the height L or angle α of the glazing.

The corrected height can thereby be found:

$$L_{cor} = \sqrt{(L + \Delta L_1 + \Delta L_{2ll})^2 + (L_{2\perp})^2} = \sqrt{(2400mm + 110,2mm + 32,8mm)^2 + (28,9mm)^2} = 2543mm$$

The corrected angle is found:

$$\Delta\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta L_{2\perp}}{L + \Delta L_1 + \Delta L_{2ll}}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{28,9mm}{2400mm + 110,2mm + 32,8mm}\right) = 0,65^\circ$$

$$\alpha_{cor} = \alpha - \Delta\alpha = 25^\circ - 0,7^\circ = 24,3^\circ$$

For deflection calculations of an upwards load for an openable window, only the casement will deflect. Therefore only the height of the casement profile and correct angle hereof should be used for the deflections calculations. From Figure 4 $\Delta L_{1,up,dfl} = -9,7$ mm, $\Delta L_{2ll,up,dfl} = 23,5$ mm and $\Delta L_{2\perp,up,dfl} = 24$ mm are found.

The corrected height $L_{cor,up,dfl}$ can thereby be found:

$$L_{cor,up,dfl} = \sqrt{(L + \Delta L_{1,up,dfl} + \Delta L_{2ll,up,dfl})^2 + (L_{2\perp,up,dfl})^2}$$

$$= \sqrt{(2400mm - 9,7mm + 23,5mm)^2 + (24mm)^2} = 2414mm$$

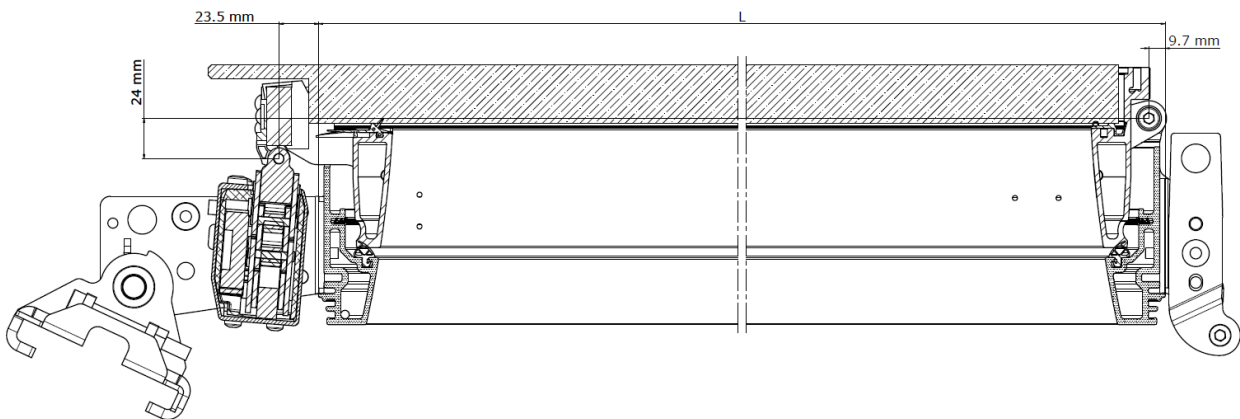
The corrected angle is found:

$$\Delta\alpha_{up,dfl} = \sin^{-1}\left(\frac{L_{2\perp,up,dfl}}{L + \Delta L_{1,up,dfl} + \Delta L_{2ll,up,dfl}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{24mm}{2400mm - 9,7mm + 23,5mm}\right) = 0,57^\circ$$

$$\alpha_{cor,up,dfl} = \alpha + \Delta\alpha_{up,dfl} = 25^\circ + 0,6^\circ = 25,6^\circ$$

Figure 4: Corrections vectors for an openable window subjected to an upwards acting force, deflections only



The measurements $\Delta L_{1,up,dfl} = -9,7$ mm, $\Delta L_{2ll,up,dfl} = 23,5$ mm and $\Delta L_{2\perp,up,dfl} = 24$ mm are constants.

Characteristic loads

Self-weight on each side frame/casement:

$$G_{V,k} = \frac{1}{2} \cdot ((W - 12) \cdot (L - 96) \cdot t \cdot 25 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot (W + L) \cdot 96 \cdot 10^{-6})$$

$$= \frac{1}{2} \cdot ((1000 - 12) \cdot (2400 - 96) \cdot 14 \cdot 25 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot (1000 + 2400) \cdot 96 \cdot 10^{-6}) = 0.72kN$$

To be able to divide the self-weight up in sup and inf, the self-weight is given for the left and the right

frame/casement.

$$G_{VL,k} = G_{VR,k} = 0,72kN$$

In this example, the wind peak velocity pressure ($q_{p,k}$) is set to $0,8kN/m^2$ and the shape factor (c) is set to 0,5 for wind pressure and -0,5 for wind suction. Hence, the load is

$$q_{c,k} = q_{s,k} = q_{p,k} \cdot c \cdot W/2 = 0,8kN/m^2 \cdot 0,5 \cdot 1,0m/2 = 0,2kN/m, \text{ on each side frame/casement}$$

The wind load is split into a vertical and a horizontal component, using the original angle α . Using the corrected height, L_{cor} to find the equivalent concentrated load.

$$Q_{SH,k} = Q_{CH,k} = q_{c,k} \cdot L_{cor} \cdot \sin(\alpha) = 0,2kN/m \cdot 2,543m \cdot \sin(25^\circ) = 0,21kN \text{ on each side frame/casement}$$

$$Q_{SV,k} = Q_{CV,k} = q_{c,k} \cdot L_{cor} \cdot \cos(\alpha) = 0,2kN/m \cdot 2,543m \cdot \cos(25^\circ) = 0,46kN \text{ on each side frame/casement}$$

For the snow load in this example the two C factors (according to EN 1991-1-3) are set to 1,0, the shape factor μ_2 set to 0,8 and the characteristic value of snow load on the ground $S_k=1,0kN/m^2$, given the characteristic snow load s_k :

$$s_k = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0kN/m^2 = 0,8kN/m^2 \rightarrow s_{s,k} = 0,4kN/m, \text{ on each side frame/casement}$$

The snow load is only vertical, and the corrected height L_{cor} is used to find the equivalent concentrated load.

$$S_{V,k} = s \cdot \cos(\alpha) \cdot L_{cor} = 0,4kN/m \cdot \cos(25^\circ) \cdot 2,543m = 0,92kN$$

Reactions in brackets

The corrected height L_{cor} and angle α_{cor} are used in the static system to determine the reactions.

These calculations are not presented here.

Reactions are calculated separately for each load type and are found in Table 10.

From the characteristic reactions, different load combinations are made from the partial safety factors found in Table 8a. CC2 (see EN 1990:2007, Table B1) is assumed:

a) Characteristic load combination:

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,0 \cdot G_{VR,k} + 1,0 \cdot Q_k + 1,0 \cdot S_{V,k}$$

b) Long term: Dominant self-weight combination:

$$\gamma_{G,sub} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot G_{VR,k} \Rightarrow$$

$$1,35 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot G_{VR,k}$$

c) Medium term: Dominant snow combination:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot S_{V,k}$$

d) Short term: Dominant wind combination, with snow:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_k + \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,snow} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot Q_k + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S_{V,k}$$

e) Short term: Dominant wind combination, without snow:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_k \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot Q_k$$

f) Short term: Dominant snow combination, with wind:

$$\gamma_{G,inf} \cdot G_{VL,k} + \gamma_{G,sup} \cdot \xi_{G,sup} \cdot G_{VR,k} + \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,wind} \cdot Q_k + \gamma_{Q,1} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$1,0 \cdot G_{VL,k} + 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{VR,k} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_k + 1,5 \cdot S_{V,k}$$

Table 10, Horizontal and vertical reactions of the brackets

Load type	R _{H1L} [kN]	R _{V1L} [kN]	R _{H2L} [kN]	R _{V2L} [kN]	R _{H2R} [kN]	R _{V2R} [kN]	R _{H1R} [kN]	R _{V1R} [kN]
G _{VL,k}	0,40	0,54	0,40	-0,18	0,40	-0,18	0,40	0,18
G _{VR,k}	0,40	0,18	0,40	0,18	0,40	0,18	0,40	0,54
Q _k (Q _{s,k} and Q _{c,k})	0,21	-0,18	0,00	0,28	0,00	0,28	-0,21	0,18
S _{V,k}	0,51	0,23	0,51	0,23	0,51	0,23	0,51	0,69
a) Characteristic combi.	1,52	0,77	1,31	0,51	1,31	0,51	1,10	1,59
b) Long term: Dom. self-weight	1,08	0,97	1,08	0,00	1,08	0,00	1,08	0,97
c) Medium term: Dom. snow	1,62	1,09	1,62	0,37	1,62	0,37	1,62	1,83
d) Short term: Dom. wind	1,55	0,65	1,24	0,62	1,24	0,62	0,92	1,59
e) Short term: Dom. wind, -snow	1,17	0,47	0,86	0,44	0,86	0,44	0,54	1,07
f) Short term: Dom. snow	1,81	0,93	1,62	0,62	1,62	0,62	1,43	2,00

The factors to find the design value of the load bearing capacity of the bracket are found from the formula given in Clause 2 and Table 8b. Duration is divided up in long term (25 years), medium term (3 month) and short term (10 min), and temperature is taken for the highest it can be, 20°C when snow and 60°C when without snow. Hence self-weight is set to the lifespan of the window, snow duration is set to 3 months and wind duration set to 10 minutes. Snow duration may differ from region to region and should be changes accordingly.

Long term: Dominant self-weight combination, duration: 25 years, temperature: 60°C

$$b) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,25\text{years}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60^\circ} = 1,5 \cdot 2,02 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 5,45$$

Medium term: Dominant snow combination, duration: 3 months, temperature: 20°C:

$$c) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{months}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 2,99$$

Short term: Dominant wind combination, duration: 10 minutes, temperature: 20°C:

$$d) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,98$$

Short term: Dominant wind combination, no snow load, duration: 10 minutes, temperature: 60°C:

$$e) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,97$$

Short term: Dominant snow combination, duration: 10 minutes, temperature: 20°C:

$$f) \text{ factor} = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10\text{min}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,98$$

The resulting bracket forces and utilization hereof are found in Table 11a to 11f for the load combinations. The load bearing capacities of the brackets in the resulting angle are found by linear interpolation between the two-neighbouring load bearing capacities, see Figure 2 and Table 9.

Table 11a, Brackets forces (resultants) and utilization for the characteristic load combination

a) Characteristic combi.	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Characteristic bracket reaction force	1,70 kN	1,40 kN	1,40 kN	1,93 kN
Angle according to Figure 1	1,8°	176,2°	133,8°	30,4°
Characteristic load bearing capacity	12,40 kN	12,93 kN	9,21 kN	13,34 kN
Utilization	14 %	11 %	15 %	14 %

Table 11b, Brackets forces (resultants) and utilization for the long term dominant self-weight load combination

b) Long term: Dom. self-weight	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Design bracket reaction force	1,45 kN	1,08 kN	1,08 kN	1,45 kN
Angle according to Figure 1	17,1°	155,0°	155,0°	17,1°
Characteristic load bearing capacity	16,55 kN	14,86 kN	14,86 kN	16,55 kN
Design load bearing capacity	3,04	2,73	2,73	3,04
Utilization	48 %	39 %	39 %	48 %

Table 11c, Brackets forces (resultants) and utilization for the medium term dominant snow load combination

c) Medium term: Dom. snow	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Design bracket reaction force	1,95 kN	1,66 kN	1,66 kN	2,45 kN
Angle according to Figure 1	9,0°	167,9°	142,1°	23,6°
Characteristic load bearing capacity	14,34 kN	15,19 kN	11,27 kN	15,26 kN
Design load bearing capacity	4,80 kN	5,08 kN	3,77 kN	5,10 kN
Utilization	41 %	33 %	44 %	48 %

Table 11d, Brackets forces (resultants) and utilization for the short term dominant wind load combination

d) Short term: Dom. wind	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Design bracket reaction force	1,68 kN	1,38 kN	1,38 kN	1,84 kN
Angle according to Figure 1	357,6°	181,4°	128,6°	34,9°
Characteristic load bearing capacity	11,15 kN	11,47 kN	8,83 kN	12,11 kN
Design load bearing capacity	5,63 kN	5,79 kN	4,46 kN	6,12 kN
Utilization	30 %	24 %	31 %	30 %

Table 11e, Brackets forces (resultants) and utilization for the short term dominant wind, without snow load combination

e) Short term: Dom. wind, -snow	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Design bracket reaction force	1,26 kN	0,96 kN	0,96 kN	1,20 kN
Angle according to Figure 1	357,0°	182,3°	127,7°	38,3°
Characteristic load bearing capacity	10,98 kN	11,18 kN	8,76 kN	11,17 kN
Design load bearing capacity	3,70 kN	3,77 kN	2,95 kN	3,76 kN
Utilization	34 %	26 %	33 %	32 %

Table 11f, Brackets forces (resultants) and utilization for the short term dominant snow load combination

f) Short term: Dom. snow	R _{1L}	R _{2L}	R _{2R}	R _{1R}
Design bracket reaction force	2,03 kN	1,74 kN	1,74 kN	2,46 kN
Angle according to Figure 1	2,1°	176,0°	134,0°	29,4°
Characteristic load bearing capacity	12,48 kN	12,99 kN	9,23 kN	13,63 kN
Design load bearing capacity	6,30 kN	6,56 kN	4,66 kN	6,89 kN
Utilization	32 %	26 %	37 %	36 %

Load bearing capacity for wind suction

Since it is an openable window and the left side is subjected to wind suction, the load bearing capacity hereof is checked.

Dimension of the glass is found in Figure 5. The 60 mm protruded part is toughened glass with a thickness of 8 mm. The glass self-weight can hereby be found with a glass density of $\gamma_{\text{glass}} = 25 \text{ kN/m}^3$.

$$G_{\text{glass},k} = ((L - 0,056\text{m}) \cdot t + 0,060\text{m} \cdot 0,008\text{m}) \cdot (W - 0,022\text{m}) \cdot \gamma_{\text{glass}}$$

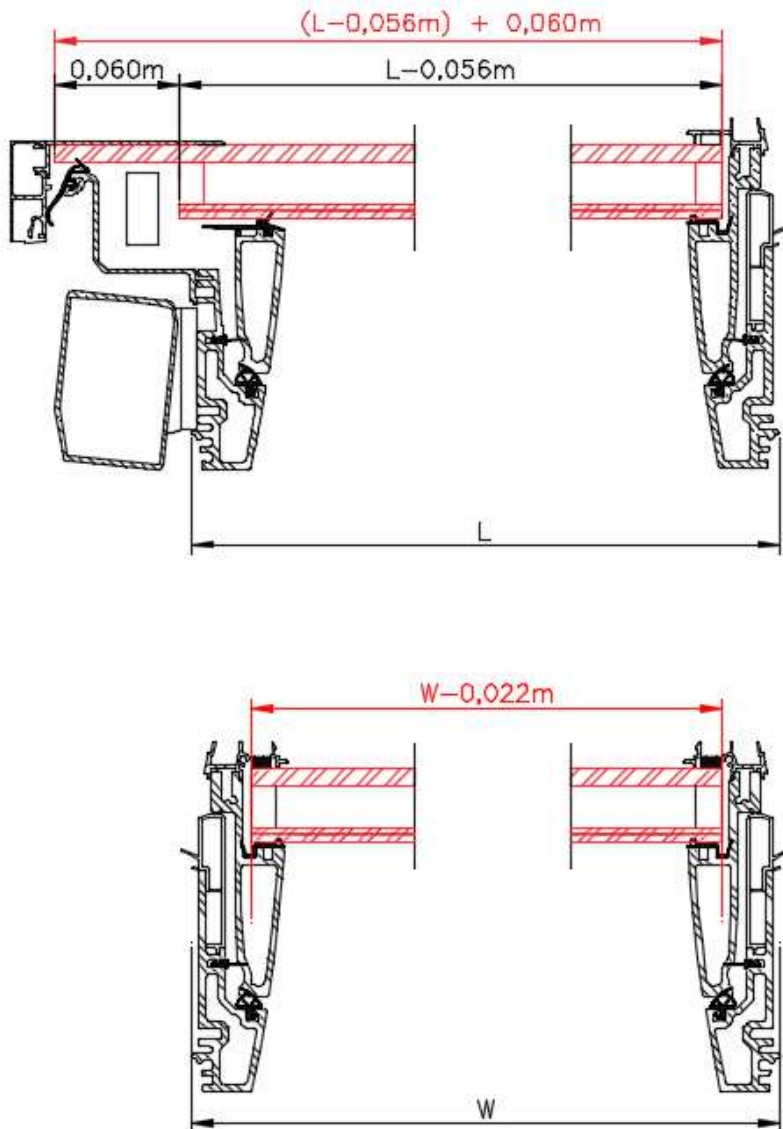
$$= ((2,4 - 0,056\text{m}) \cdot 0,014 + 0,060\text{m} \cdot 0,008\text{m}) \cdot (1,0 - 0,022\text{m}) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 0,81 \text{ kN}$$

The weight of the openable window casement profile is set to:

$$g_{\text{case},k} = A_{\text{case}} \cdot \gamma_{\text{frame}} \cdot g = 8,57 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot 2076 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 0,017 \text{ kN/m}$$

Here, the area of the casement profiles (A_{case}) is taken from Annex C4 and the density (γ_{frame}) is taken from Annex D.1 in ETA-17/0467.

Figure 5: Glass dimension for openable window



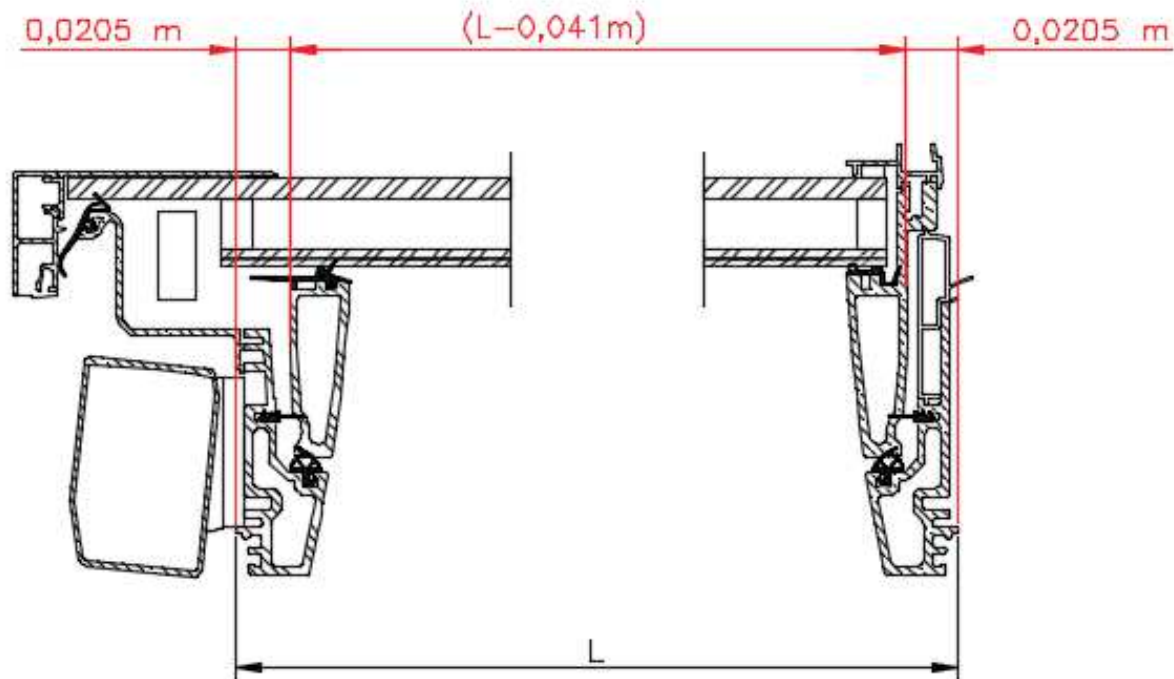
The perimeter of the casement L_{case} is found, see also Figure 6:

$$L_{case} = 2 \cdot (L - 0,041m) + 2 \cdot (W - 0,041m) = 2 \cdot (2,4 - 0,041m) + 2 \cdot (1,0 - 0,041m) = 6,64m$$

The total characteristic self-weight perpendicular to the openable window ($G_{\perp,k}$) is found to:

$$G_{\perp,k} = (G_{glass,k} + g_{case,k} \cdot L_{case}) \cdot \cos(\alpha) = (0,81kN + 0,017kN/m \cdot 6,64m) \cdot \cos(25^\circ) = 0,84kN$$

Figure 6: Dimension for casement profile for openable window



Glass area ($A_{W,suc}$) for which the wind suctions acts upon:

$$A_{W,suc} = ((L - 0,056m) + 0,060m) \cdot (W - 0,022m) = ((2,4 - 0,056m) + 0,060m) \cdot (1,0 - 0,022m) = 2,35m^2$$

The characteristic wind suction perpendicular of the openable window ($Q_{s\perp,k}$) is found

$$Q_{s\perp,k} = q_{p,k} \cdot c \cdot A_{W,suc} = 0,8kN/m^2 \cdot 0,5 \cdot 2,35m^2 = 0,94kN$$

The load combination e) short term dominant wind, no snow load, is the worst case for wind suction on the window. Giving a total design load perpendicular to the window ($P_{\perp,d}$):

$$P_{\perp,d} = \gamma_{Q,1} \cdot Q_{s\perp,k} - \gamma_{G,inf} \cdot G_{\perp,k} = 1,5 \cdot 0,94kN - 1,0 \cdot 0,84kN = 0,57kN$$

The characteristic load bearing capacity (R_k) is taken from Clause 8, Table 6 for double glazing:

$$R_k = 8,87 kN$$

Reduction safety factor for short term: Dominant wind combination, no snow load, duration: 10 minutes, temperature: 60°C is found to:

$$e) factor = \gamma_{MR} \cdot K_{t,10 min} \cdot K_u \cdot K_{\theta,60} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,97$$

Design load bearing capacity (R_d):

$$R_d = \frac{8,87kN}{2,97} = 2,99kN$$

$$\text{Utilization: } P_{1d}/R_d \cdot 100 = 0,57kN/2,99kN \cdot 100 = 19\%$$

Bending in frame and casement profile

The bending in frame and casement profile is in this example only calculated for the medium term dominate snow combination, hereby showing the calculations procedure. Normally all load combination should be investigated.

Design capacity of frame and casement, duration: 3 months, temperature: 20°C:

$$\sigma_{R,d} = \frac{\sigma_{R,k}}{\gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{ month}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ}} = \frac{1257N/mm^2}{1,2 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0} = 526N/mm^2$$

(For characteristic bending strength see Table 3, for partial safety factors see Table 8a/ULS and for magnification and reduction factors see Table 8b/ULS.)

The characteristic line load from self-weight perpendicular to the roof window is denoted $g_{p,k}$ and perpendicular line load from the characteristic snow pressure is denoted $s_{p,k}$. The corrected height is applied but the original angle is used:

$$g_{p,k} = \frac{G_{VR,k} \cdot \cos(\alpha)}{L_{cor}} = \frac{0,72 \cdot \cos(25)}{2,543} = 0,26kN/m, \text{ on each side frame/casement}$$

$$s_{p,k} = S_{s,k} \cdot \cos(\alpha) = 0,40kN/m \cdot \cos(25) = 0,36kN/m, \text{ on each side frame/casement}$$

$$M_d = \frac{1}{8} \cdot (\gamma_{G,sub} \cdot \xi_{G,sub} \cdot g_{p,k} + \gamma_{Q,1} \cdot s_{p,k}) \cdot L_{cor}^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot (1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,26 + 1,5 \cdot 0,36)kN/m \cdot (2,543m)^2 = 0,68kNm$$

$$M_{frame,d} = M_d \cdot \frac{I_{frame}}{I_{frame} + I_{casement}} = 0,68kNm \cdot \frac{0,669 \cdot 10^6 mm^4}{0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4} = 0,28kNm$$

$$\sigma_{frame,d} \approx \frac{M_{frame,d}}{W_{y,frame}} = \frac{0,28 \cdot 10^6 Nmm}{9,93 \cdot 10^3 mm^3} = 28,7N/mm^2$$

$$\text{Utilization: } \frac{\sigma_{frame,d}}{\sigma_{R,d}} \cdot 100 = \frac{28,7N/mm^2}{526N/mm^2} \cdot 100 = 5,4\%$$

$$M_{casement,d} = M_d \cdot \frac{I_{casement}}{I_{frame} + I_{casement}} = 0,68kNm \cdot \frac{0,930 \cdot 10^6 mm^4}{0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4} = 0,40kNm$$

$$\sigma_{casement,d} \approx \frac{M_{casement,d}}{W_{y,casement}} = \frac{0,40 \cdot 10^6 Nmm}{16,4 \cdot 10^3 mm^3} = 24,1N/mm^2$$

$$\text{Utilization: } \frac{\sigma_{casement,d}}{\sigma_{R,d}} \cdot 100 = \frac{24,1N/mm^2}{526N/mm^2} \cdot 100 = 4,6\%$$

Here, the characteristic bending strength is taken from Annex D.1 in ETA-17/0467. Second moment of area and section modulus are taken from Annex C.1 and C.4 in ETA-17/0467. The rotation of the main axis is ignored, as it has little influence on the result, and the resulting stress is much lower than the bending strength.

Shear force in frame profile

The shear force in frame profile is in this example only calculated for the medium term dominate snow combination, hereby showing the calculations procedure. Normally all load combination shall be investigated.

Design capacity shear stress of frame, duration: 3 months, temperature: 20°C:

$$\tau_{frame,R,d} = \frac{\tau_{frame,R,k}}{\gamma_{MR} \cdot K_{t,3\text{ month}} \cdot K_u \cdot K_{\theta,20^\circ}} = \frac{53,8N/mm^2}{1,2 \cdot 1,66 \cdot 1,2 \cdot 1,0} = 22,5N/mm^2$$

(For characteristic shear strength see Table 3, for partial safety factors see Table 8a/ULS and for magnification and reduction factors see Table 8b/ULS.)

The shear force is generally taken in combination by the frame and casement profile, but near the ends of the roof window, the entire shear force is taken by the frame profile. The original angle is used. Largest shear force is in the right roof window in this example:

$$\begin{aligned} V_{frame} &= R_{V1R} \cdot \cos(\alpha) - R_{H1R} \cdot \sin(\alpha) \\ &= 1,83kN \cdot \cos(25) - 1,62kN \cdot \sin(25) \\ &= 0,97kN \end{aligned}$$

$$\tau_{frame} = \frac{V_{frame}}{A_{web}} \approx \frac{0,97 \cdot 10^3 N}{550mm^2} = 1,77N/mm^2$$

$$\text{Utilization: } \frac{\tau_{frame}}{\tau_{frame,R,d}} \cdot 100 = \frac{1,77N/mm^2}{22,5N/mm^2} \cdot 100 = 7,9\%$$

Here, the characteristic shear strength is taken from Annex D.1 and A_{web} from Annex C.1 in ETA-17/0467.

Deflection

Deflections are checked for each side separately and perpendicular to the corrected roof window angle. 6 SLS load combinations can therefore be made, for this load case:

g) Long term: Dominant self-weight:

$$G_{VR,k}$$

h) Medium term: Dominant snow:

$$G_{VR,k} + S_{V,k}$$

i) Short term: Dominant wind pressure, with snow:

$$G_{VR,k} + Q_{c,k} + \Psi_{0,snow} \cdot S_{V,k} \Rightarrow$$

$$G_{VR,k} + Q_{c,k} + 0,5 \cdot S_{V,k}$$

j) Short term: Dominant wind pressure, no snow

$$G_{VR,k} + Q_{c,k}$$

k) Short term: Dominant snow, with wind:

$$G_{VR,k} + \Psi_{0,wind} \cdot Q_{c,k} + S_{V,k} \Rightarrow$$

$$G_{VR,k} + 0,6 \cdot Q_{c,k} + S_{V,k}$$

l) Short term: Dominant wind suction, no snow

$$G_{VL,k} + Q_{s,k}$$

The factors to find the design value of the deflection of the frame/casement are found from the formula given in Clause 2 and Table 8b. Duration is divided up in long term (25 years), medium term (3 month) and short term (10 min), and temperature is taken for the highest it can be, 20°C when snow and 60°C when without snow. Hence self-weight is set to the lifespan of the window, snow duration is set to 3 months and wind duration set to 10 minutes. Snow duration may differ from region to region and should be changes accordingly.

Long term: Dominant self-weight combination, duration: 25 years, temperature: 60°C:

$$g) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,25 \text{ years}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,59$$

Medium term: Dominant snow combination, duration: 3 months, temperature: 20°C:

$$h) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,3 \text{ months}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,11 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,47$$

Short term: Dominant wind pressure combination, duration: 10 minutes, temperature: 20°C:

$$i) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,35$$

Short term: Dominant wind pressure combination, no snow load, duration: 10 minutes, temperature: 60°C:

$$j) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,41$$

Short term: Dominant snow combination, duration: 10 minutes, temperature: 20°C:

$$k) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,20^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,35$$

Short term: Dominant wind suction combination, no snow load, duration: 10 minutes, temperature: 60°C:

$$l) \text{ factor} = \gamma_{MC} \cdot C_{t,10 \text{ min}} \cdot C_u \cdot C_{\theta,60^\circ} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1,41$$

(For partial safety factors see Table 8a/SLS and for magnification and reduction factors see Table 8b/SLS).

Characteristic Self-weight perpendicular to the corrected roof window angle:

$$g_{p,cor,k} = \frac{G_V \cdot \cos(\alpha_{cor})}{L_{cor}} = \frac{0,72 \cdot \cos(24,3)}{2,543} = 0,26 \text{ kN/m}, \text{ on each side frame/casement}$$

Characteristic wind pressure and suction perpendicular to the corrected roof window angle:

$$q_{c,cor,k} = q_{c,k} \cdot \cos(-\Delta\alpha) = 0,2 \text{ kN/m} \cdot \cos(0,7) = 0,20 \text{ kN/m}, \text{ on each side frame/casement}$$

Characteristic snow load perpendicular to the corrected roof window angle:

$$s_{p,cor,k} = s_{s,k} \cdot \cos(\alpha_{cor})^2 = 0,40 \text{ kN/m} \cdot \cos(24,3) = 0,33 \text{ kN/m}, \text{ on each side frame/casement}$$

In the deflection calculations, the second moment of area are found in ETA-17/0467 Annex C.1 and Annex C.4 and for E-modulus see Table 3 including Note 3

g) Deflection for long term: Dominant self-weight

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot \text{factor}_g$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26 \text{ N/mm}) \cdot (2543 \text{ mm})^4}{41600 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 + 0,930 \cdot 10^6 \text{ mm}^4)} \cdot 1,59 = 4,1 \text{ mm} < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

h) Deflection for medium term: Dominant snow

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot \text{factor}_h$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26 + 0,33) \text{ N/mm} \cdot (2543 \text{ mm})^4}{41600 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 + 0,930 \cdot 10^6 \text{ mm}^4)} \cdot 1,47 = 8,6 \text{ mm} < \frac{L_{cor}}{150} = 17 \text{ mm}$$

i) Deflection for short term: Dominant wind pressure, with snow:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + q_{c,cor,k} + \Psi_{0,snow} \cdot s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_{i,i}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,20+0,5 \cdot 0,33) N/mm \cdot (2543 mm)^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,35 = 8,3 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 mm$$

j) Deflection for short term: Dominant wind, without snow:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + q_{c,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_{j,j}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,20) N/mm \cdot (2543 mm)^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,41 = 6,4 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 mm$$

k) Deflection for short term: Dominant snow, with wind:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{p,cor,k} + \Psi_{0,wind} \cdot q_{c,cor,k} + s_{p,cor,k}) \cdot L_{cor}^4}{E \cdot (I_{frame} + I_{casement})} \cdot factor_{k,k}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,26+0,6 \cdot 0,20+0,33) N/mm \cdot (2543 mm)^4}{41600 N/mm^2 \cdot 0,83 \cdot (0,669 \cdot 10^6 mm^4 + 0,930 \cdot 10^6 mm^4)} \cdot 1,35 = 9,5 mm < \frac{L_{cor}}{150} = 17 mm$$

l) Deflection for short term: Dominant wind suction, without snow:

Since the self-weight is larger than the wind suction, the combination with wind suction as is not investigated. Please note that for a suction load, only the second moment of area of the casement is used when calculating the deflection for an openable window.