

Steifigkeit von Leibungswinkeln

Erläuterung

Stand 31.03.2022

1 Vorwort

Die im Merkblatt 13 gemachten Aussagen werden anhand von durchgeführten Bauteilversuchen und mit Anwendungsbeispielen erläutert.

Winkelverbindungen werden bei Fassaden aus Natur- und Betonwerkstein bereits über Jahrzehnte eingesetzt. Hierbei ist die Anzahl der Winkel im Regelfall auf zwei je Leibungsplatte beschränkt. Die Beanspruchung der Fassaden- und Leibungsplatte kann hierbei durch eine geeignete Wahl der Lage der Winkel minimiert werden.

Für Fassadenplatten mit geringer Dicke und großen Längen sind gesonderte Überlegungen erforderlich. Aufgrund der Tragfähigkeit des Fassadenmaterials und der Befestigung sind mehr als zwei Winkel zur Befestigung von Leibungsplatten erforderlich. Mit der ausschließlichen Berücksichtigung der Winkel zur Ermittlung der Beanspruchung ist ein Nachweis der Leibungsplatten nicht möglich. Die Berücksichtigung der Verformung von Platte und Leibung ist für den Nachweis erforderlich.

2 Biegebeanspruchung

2.1 Allgemeines

Verbindungswinkeln können durch Wind oder Eigenlast auf Biegung beansprucht werden. Diese Beanspruchung und die daraus resultierende Beanspruchung der Befestigung wurden bereits in Verbindung mit Naturstein (Bilder 1 und 2) untersucht. Im Rahmen dieser Versuche wurde ermittelt, welche Länge des Randabstandes der Befestigung wirksam genutzt werden können.

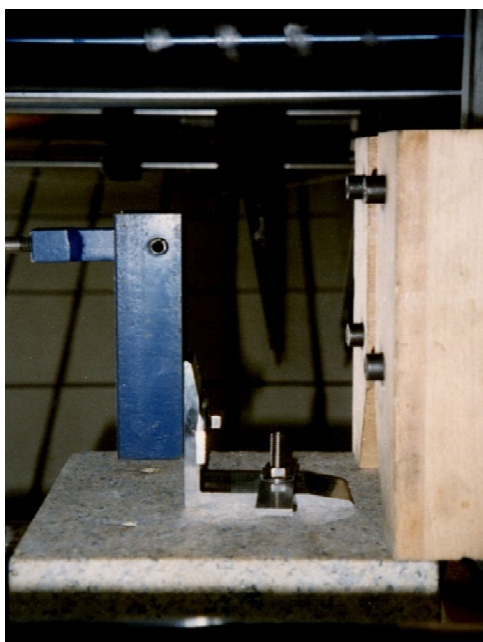


Bild 1: Biegung nach außen



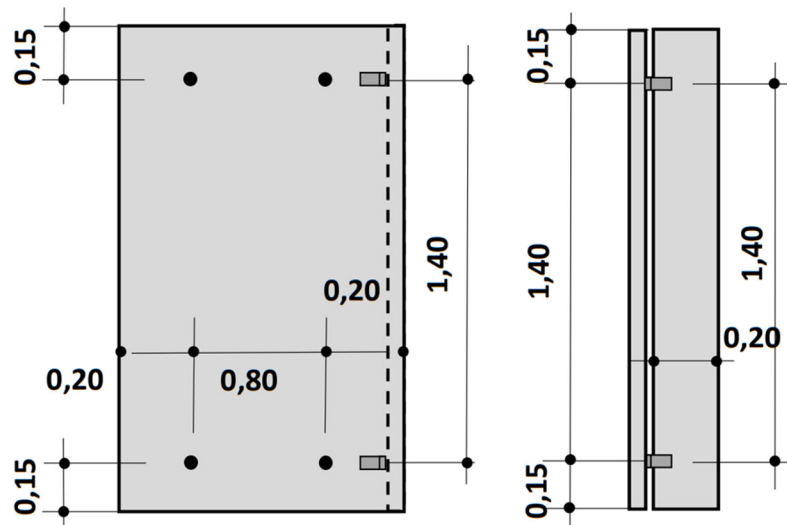
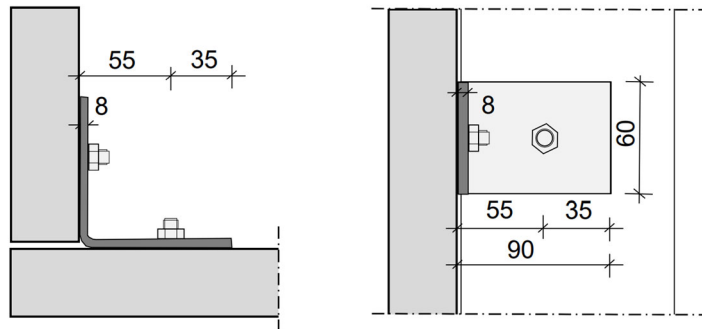
Bild 2: Biegung nach innen

Bei den durchgeführten Versuchen wurde jedoch der Einfluss des Drehmomentes (Vorspannung) der Schraube nicht berücksichtigt. Die Berechnung wurde unter Berücksichtigung von einem Drehmoment der Schraube von 4 Nm bzw. 10 Nm durchgeführt. Als Federwirkung der Befestigung wurde ein Wert ≥ 20 MN/m berücksichtigt. Die Anwendung der ermittelten Diagramme (Merkblatt 12, Anlagen A2 und A3) wird an einem Beispiel aufgezeigt.

2.2 Beispiel 1: Naturwerksteinplatte mit Leibung

Leibung: $L_B = 0,20 \text{ m}$ $H = 1,70 \text{ m}$
 $d = 30 \text{ mm}$ $E = 50000 \text{ N/mm}^2$

Winkel: Aluminium
 $t = 8,0 \text{ mm}$ $a = 60 \text{ mm}$
 $b_1 = 55 \text{ mm}$ $b_2 = 35 \text{ mm}$



Belastung: $w_{D,k} = 0,90 \text{ kN/m}^2$ (Winddruck)
 $w_{S,k} = 1,23 \text{ kN/m}^2$ (Windsog)

Belastung eines Winkels:

Winddruck: $M_{w,k} = 0,5 \cdot 0,90 \cdot 0,20 \cdot 1,70 \cdot 0,20 \cdot 0,5$
 $= 0,015 \text{ kNm}$

Windsog: $M_{w,k} = 0,5 \cdot 1,23 \cdot 0,20 \cdot 1,70 \cdot 0,20 \cdot 0,5$
 $= 0,021 \text{ kNm}$

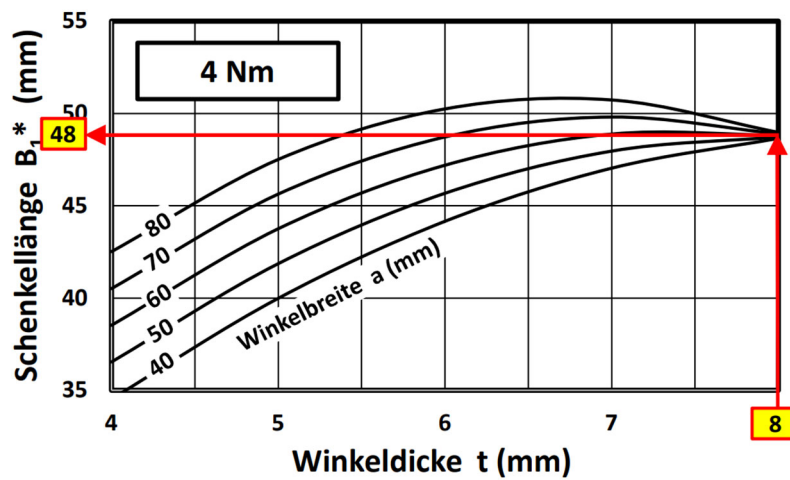
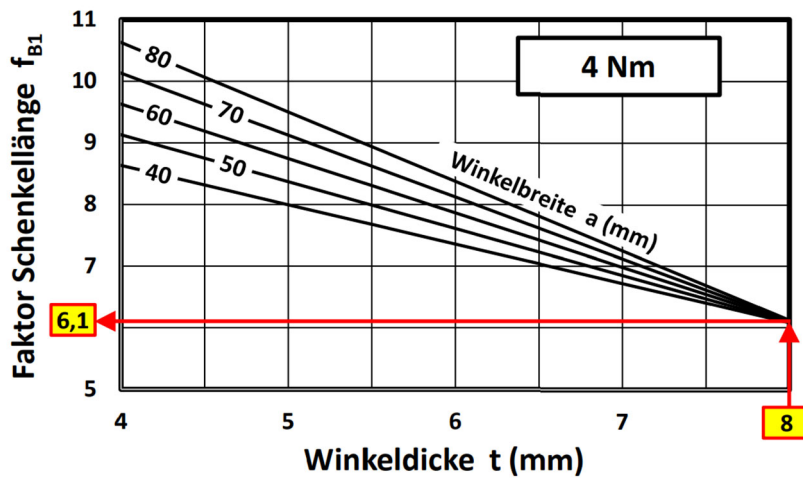
Wirksamer Schenkel für Windsog:

$$\begin{aligned}
 b_1^* &= f_{B1} \cdot t \\
 &= 6,1 \cdot 8 \\
 &= 48,8 \text{ mm} \\
 &< b_1 = 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$z_1 = \frac{5 \cdot b_1^*}{6} = \frac{5 \cdot 48,8}{6}$$

$$= 40,7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z,ws} &= \frac{M_{w,k} \cdot 1000}{z_1} = \frac{0,021 \cdot 1000}{40,7} \\
 &= 0,514 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

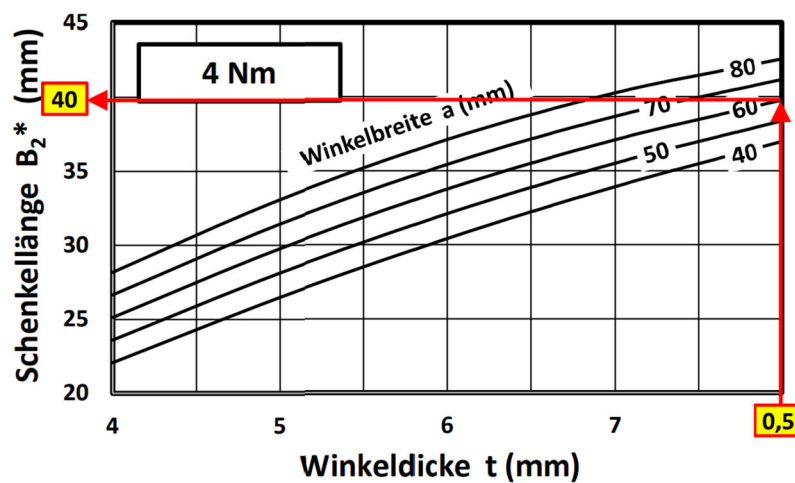
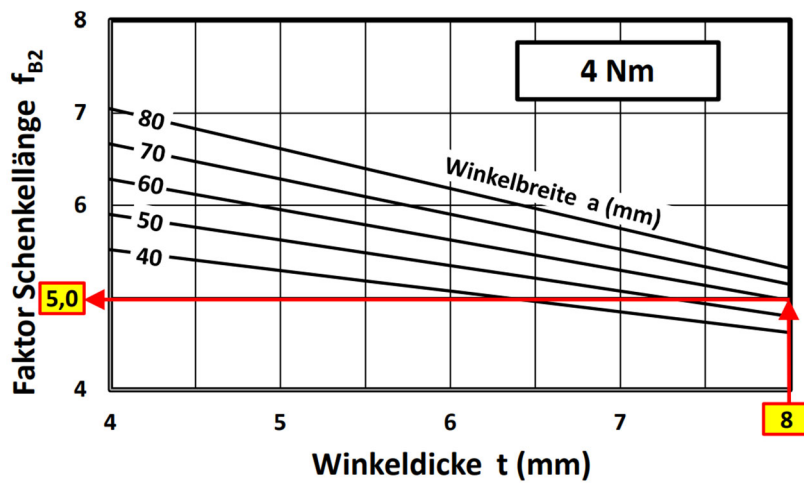


Wirksamer Schenkel für Winddruck:

$$\begin{aligned}
 b_2^* &= f_{B2} \cdot t \\
 &= 5,0 \cdot 8 \\
 &= 40,0 \text{ mm} \\
 &> b_2 = 35 \text{ mm} \\
 b_2^* &= b_2 \\
 &= 35 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 z_2 &= \frac{5 \cdot b_2^*}{6} = \frac{5 \cdot 35,0}{6} \\
 &= 33,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z,ws} &= \frac{M_{w,k} \cdot 1000}{z_2} = \frac{0,015 \cdot 1000}{33,3} \\
 &= 0,459 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



3 Querkzugbeanspruchung

3.1 Versuche und Berechnung

Verbindungswinkeln können durch Temperatur und Eigenlast auf Querkzug beansprucht werden. Diese Beanspruchung und die daraus resultierende Beanspruchung der Befestigung wurden bereits in Verbindung mit Naturstein untersucht. Im Rahmen dieser Versuche wurde ermittelt, welche Widerstände bei einer Beanspruchung durch Querkzug bei unterschiedlichen Abmessungen ergeben

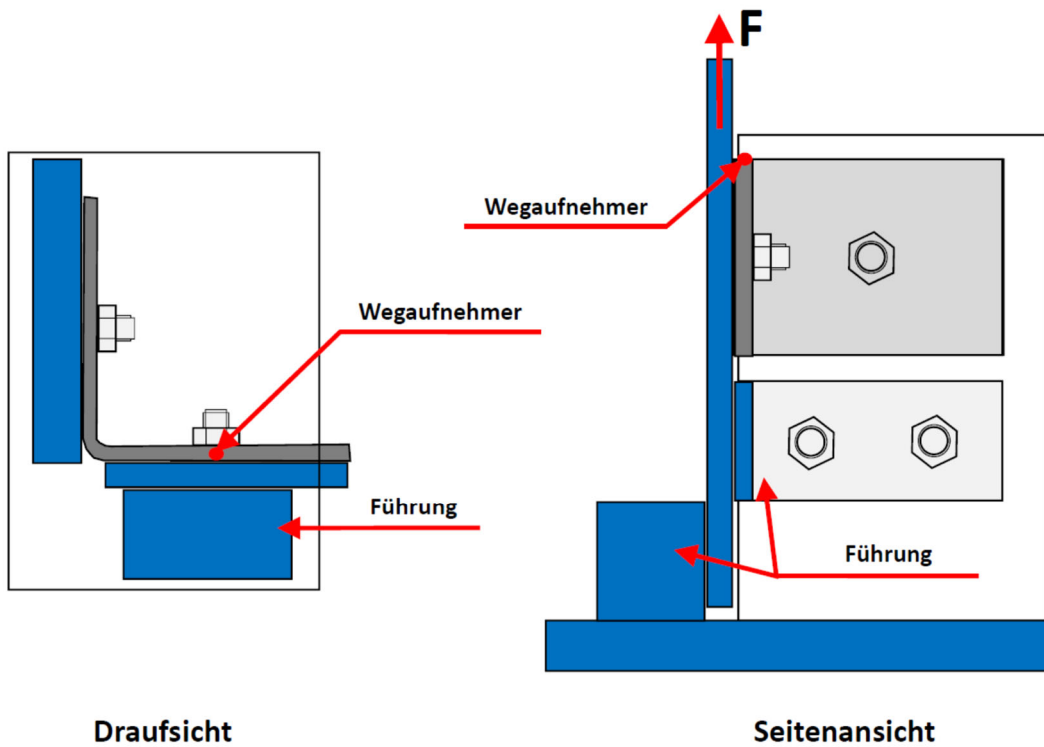


Bild 3: Versuchsaufbau



Bild 4: Versuchsaufbau



Bild 5: Versuchsaufbau

Bei den durchgeführten Versuchen wurde jedoch der Einfluss des Drehmomentes (Vorspannung) der Schraube nicht berücksichtigt. Ebenfalls wurde von einer mittigen Lage der Befestigung ausgegangen und der Einfluss des Randabstandes blieb unberücksichtigt. Für üblich verwendete Winkelformen wurden Versuche (Bilder 4 und 5) durchgeführt und die Verformung in Abhängigkeit der Belastung ermittelt. Das Drehmoment (Vorspannung) der Schraube betrug 4 NM.



Bild 6: Verformung Winkel



Bild 7: Verformung Winkel

Je Winkeltyp wurden drei Versuche durchgeführt. In den Bildern 8 bis 15 ist der Mittelwert der Verformungen dargestellt. Die Verformungen der jeweiligen Winkel wurden rechnerisch nachvollzogen. Die Berechnung wurde unter Berücksichtigung von einem Drehmoment der Schraube von 4 Nm bzw. 10 Nm durchgeführt. Als Federwirkung der Befestigung wurde ein Wert ≥ 20 MN/m berücksichtigt.

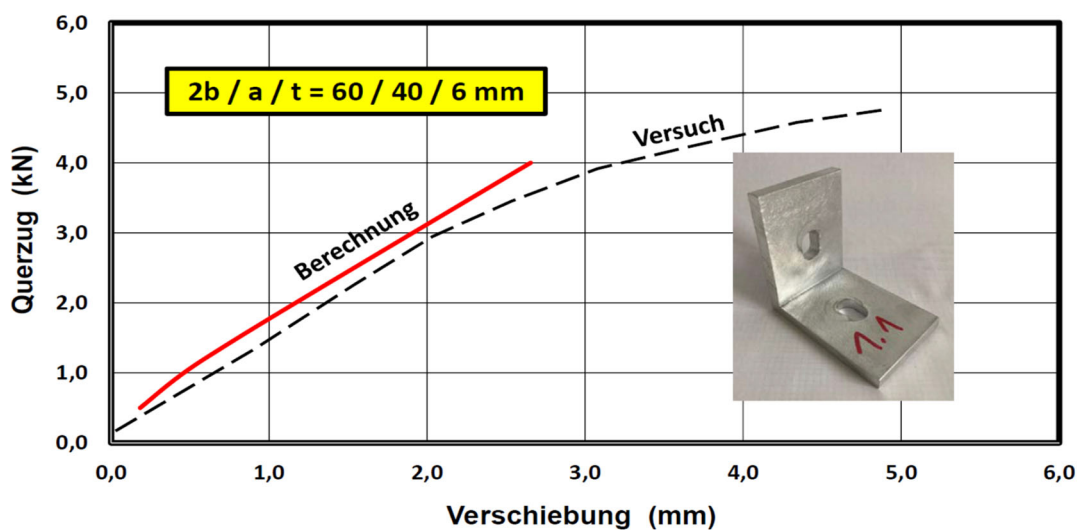


Bild 8

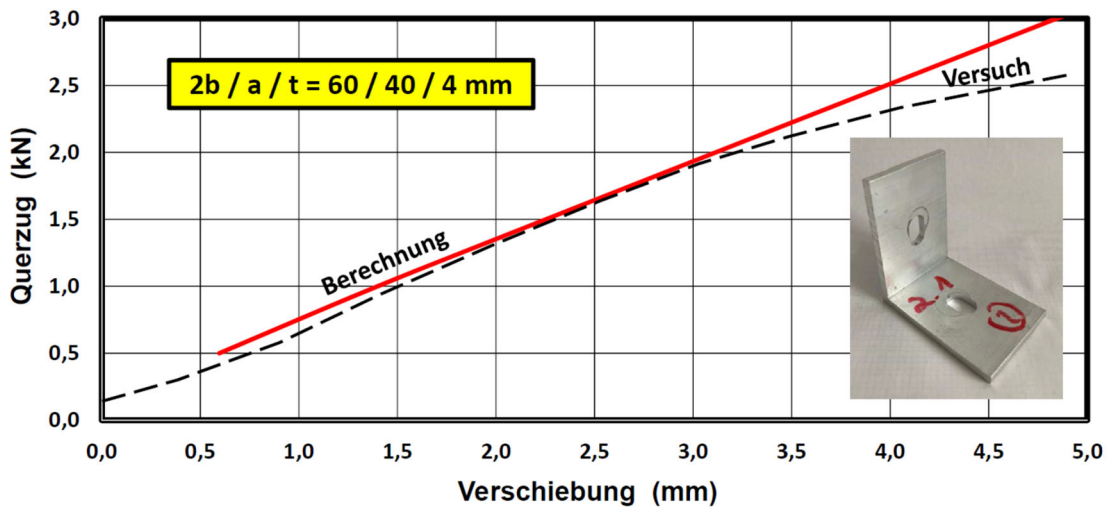


Bild 9

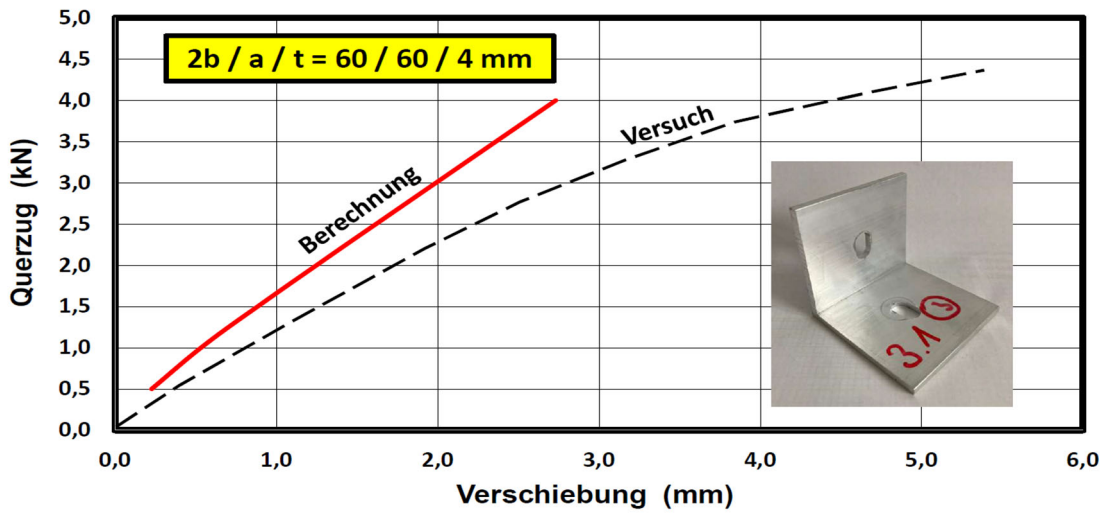


Bild 10

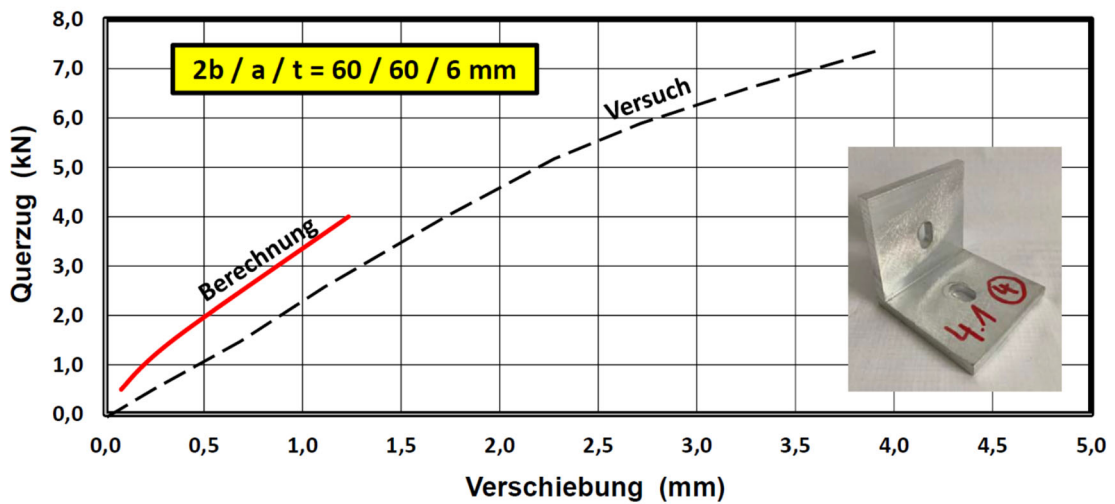


Bild 11

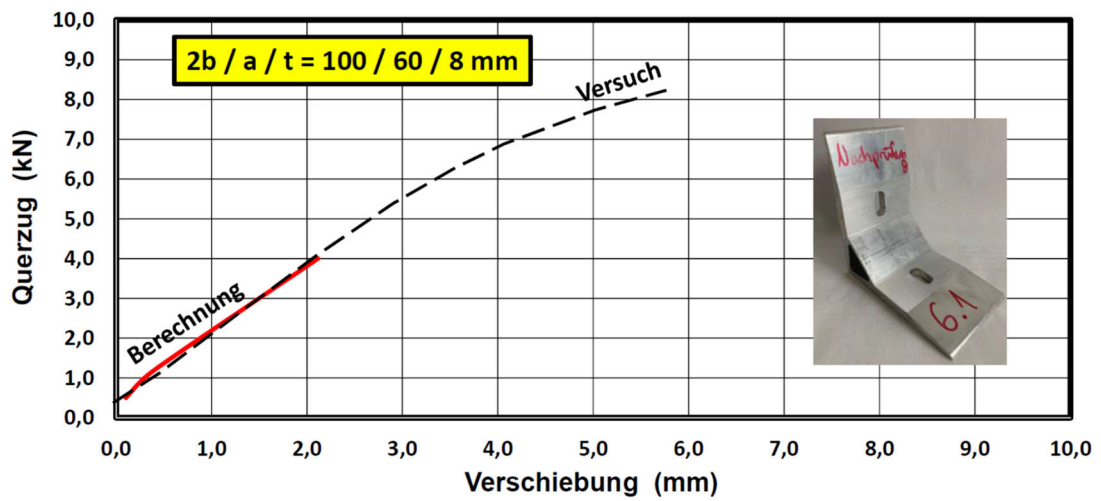


Bild 12

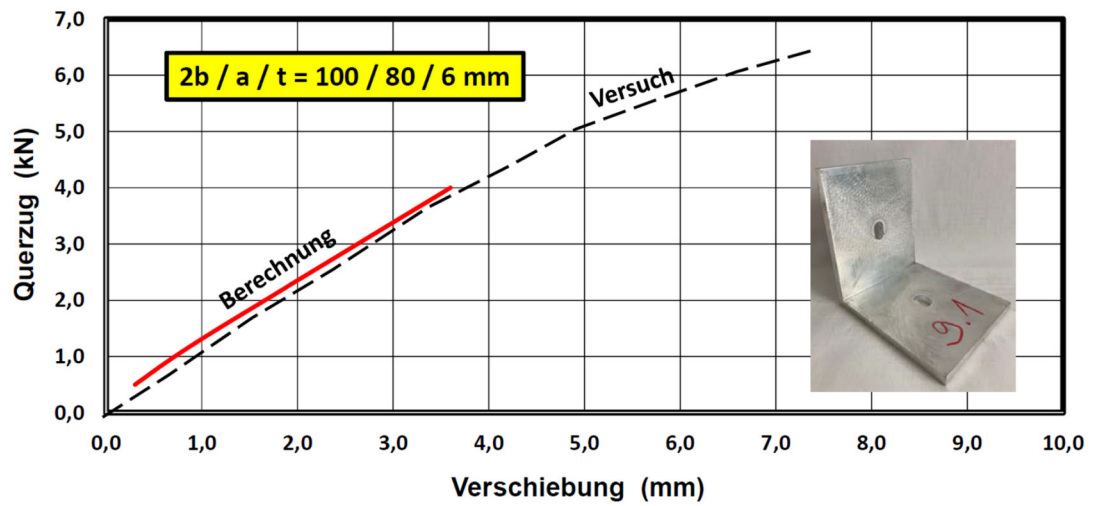


Bild 13

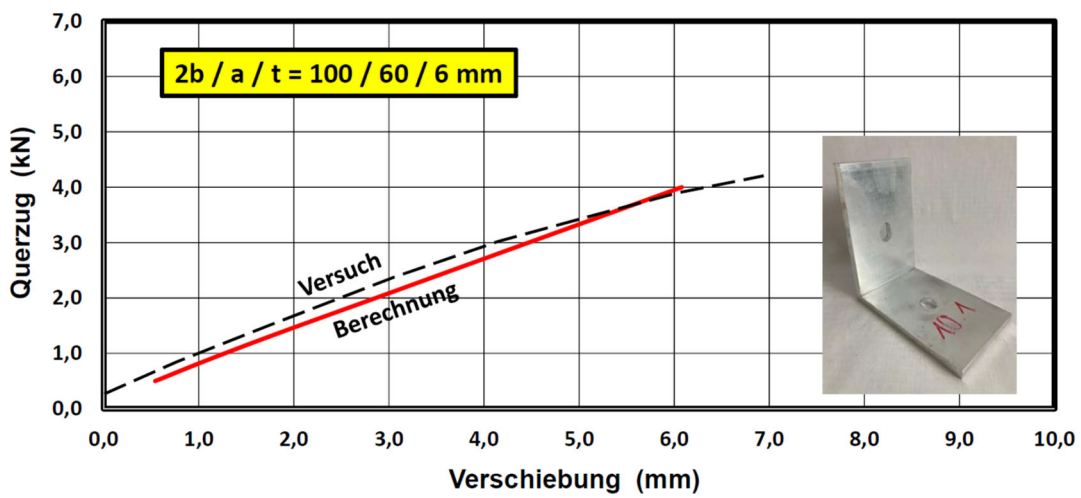


Bild 14

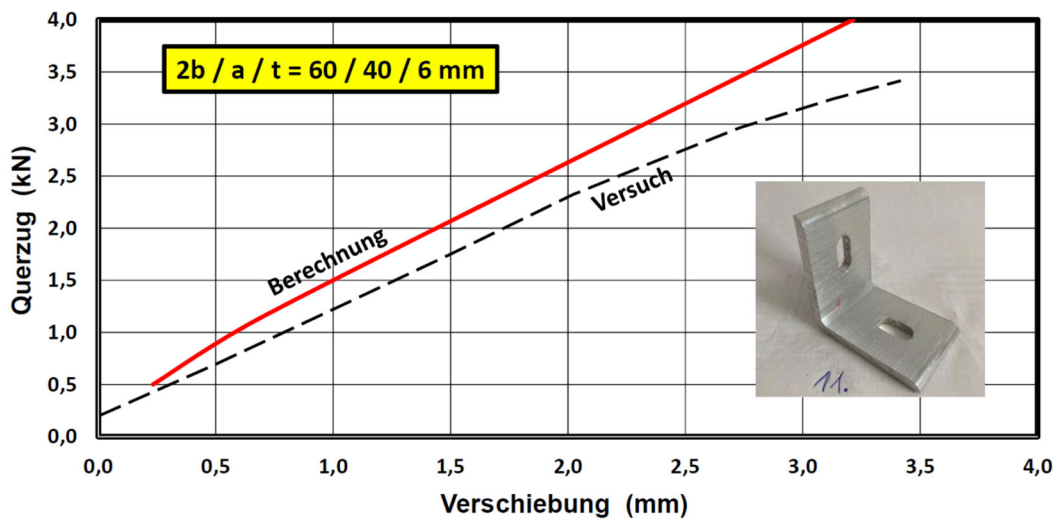


Bild 15

Entscheidend ist die Neigung der Verformungslinie für die Ermittlung der Querzugsteifigkeit. Die Berechnungen zeigen eine qualitativ gute Übereinstimmung mit den Versuchen.

Die Vorspannung der Schraube einer Winkelverbindung (Bild 16) hat einen Einfluss auf die Querzugsteifigkeit. Mit zunehmender Vorspannung nimmt die Steifigkeit der Winkelverbindung zu. Einen wesentlichen Einfluss auf die Querzugsteifigkeit (Bild 17) hat der Randabstand der Befestigung. Je geringer der Abstand umso größer ist die Querzugsteifigkeit.

Ebenfalls nimmt die Querzugsteifigkeit (Bild 18) bei zunehmender Winkelbreite zu. Ausgesteifte Winkel (Bild 19) weisen einen nichtlinearen Verlauf der Querzugsteifigkeit auf. Der nichtlineare Verlauf ist abhängig von der Vorspannung der Schraube. Bei einer Beanspruchung der Befestigung unterhalb der Wirkung der Vorspannung verhält sich der Winkel wie ein ungerissener Querschnitt. Bei einer Beanspruchung der Befestigung oberhalb der Schraubenvorspannung hebt der Schenkel von der Fassadenfläche ab und die Steifigkeit des Winkels reduziert sich.

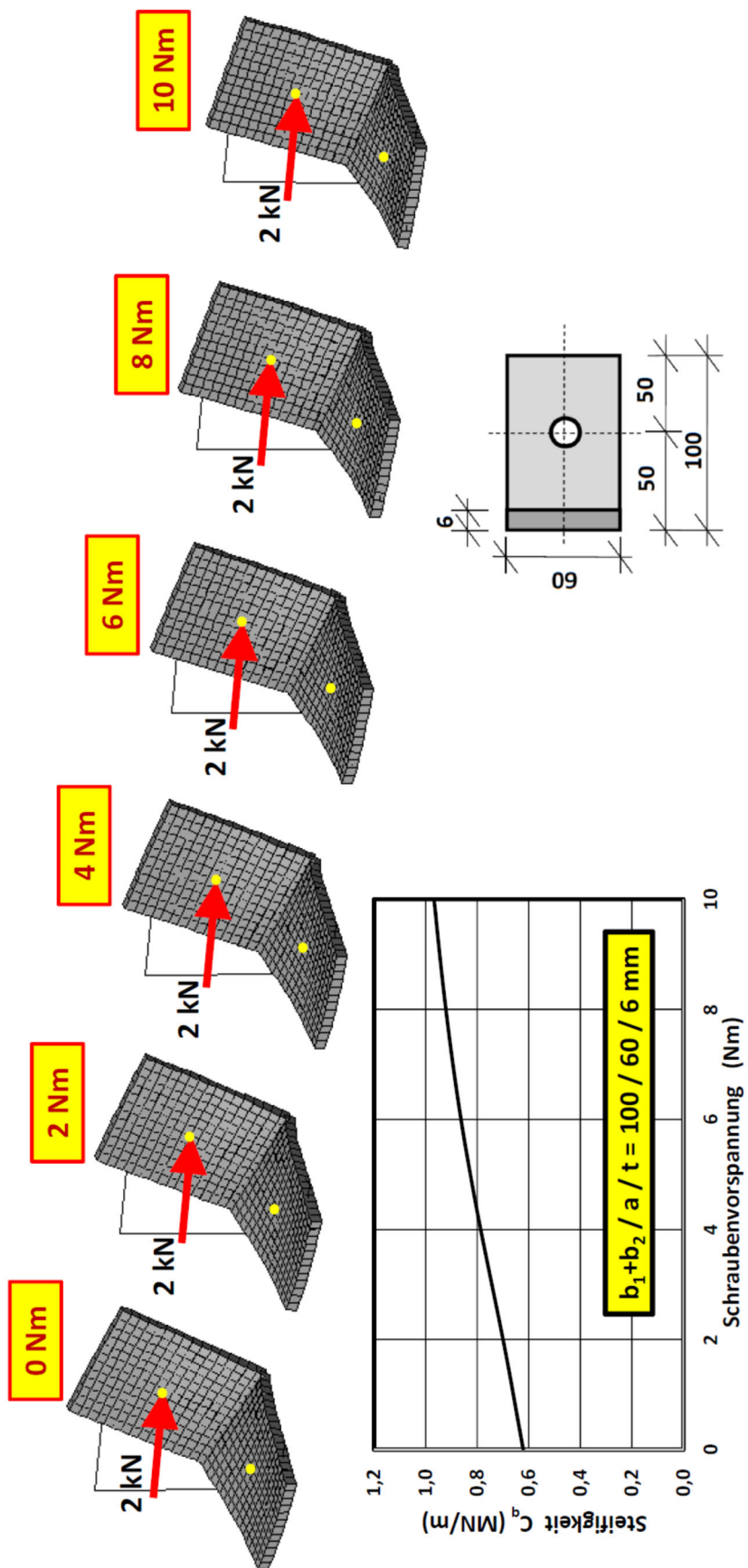


Bild 16: Einfluss Drehmoment Schraube

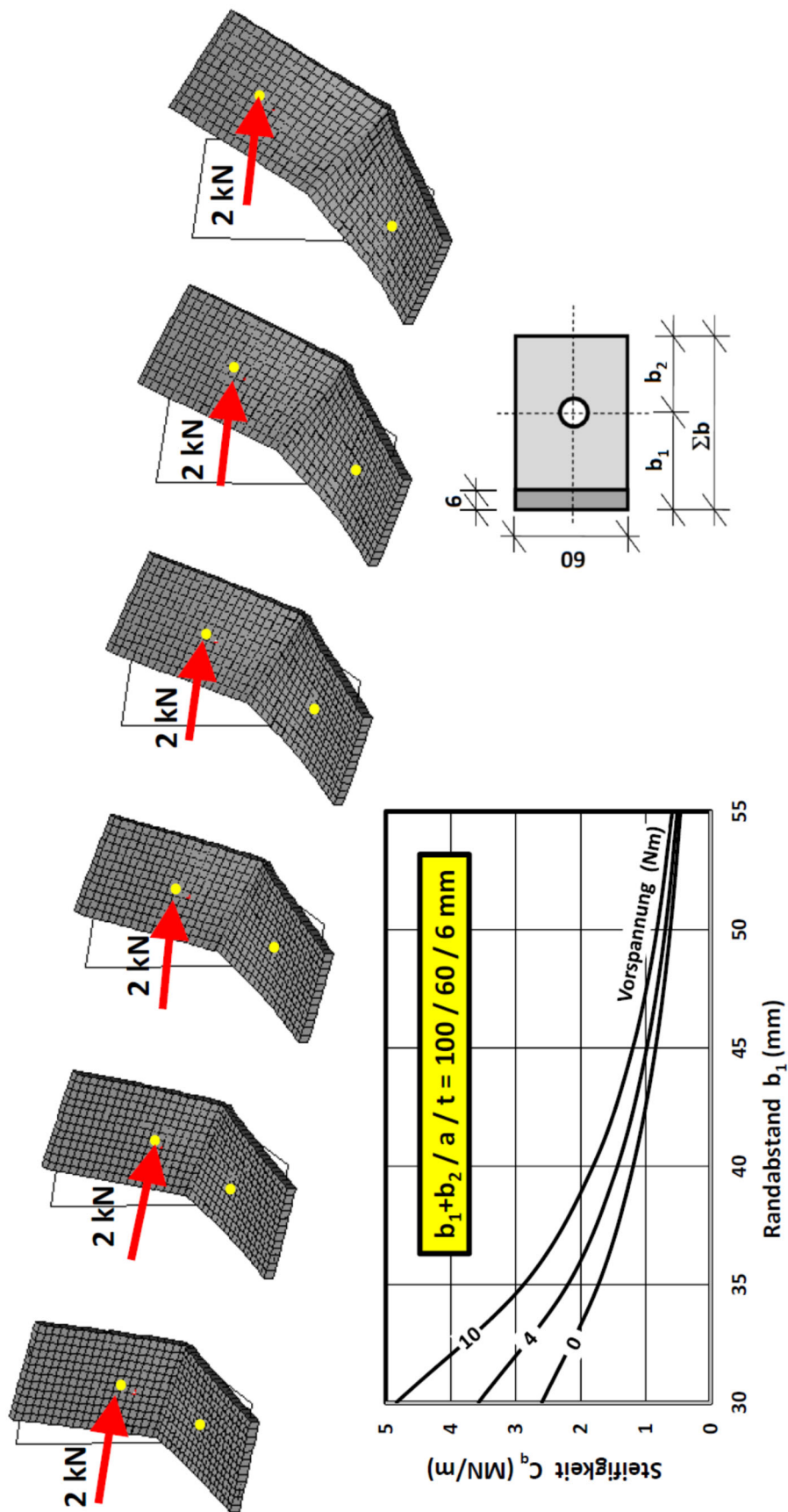


Bild 17: Einfluss Randabstand Befestigung

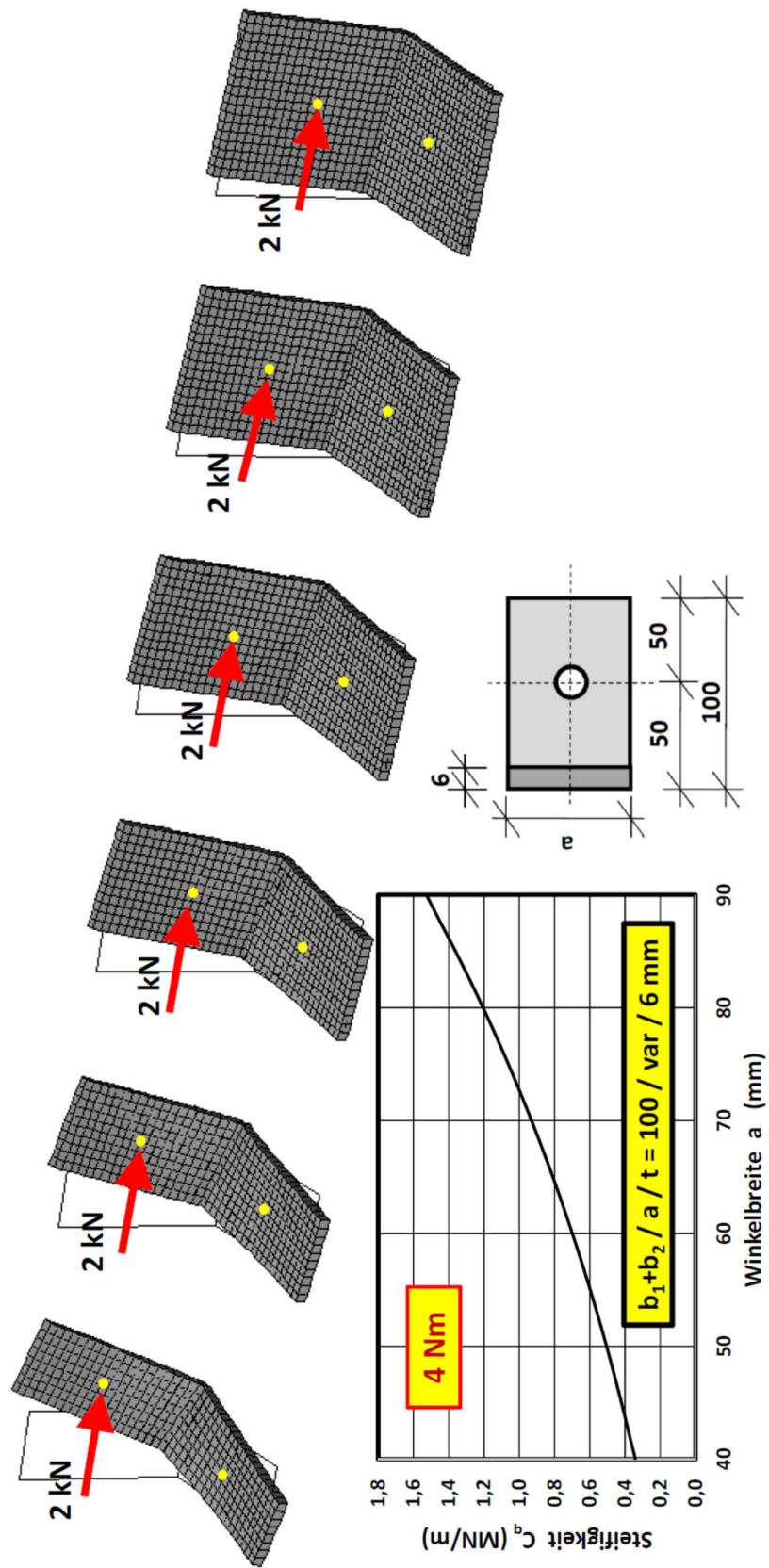


Bild 18: Einfluss Winkelbreite

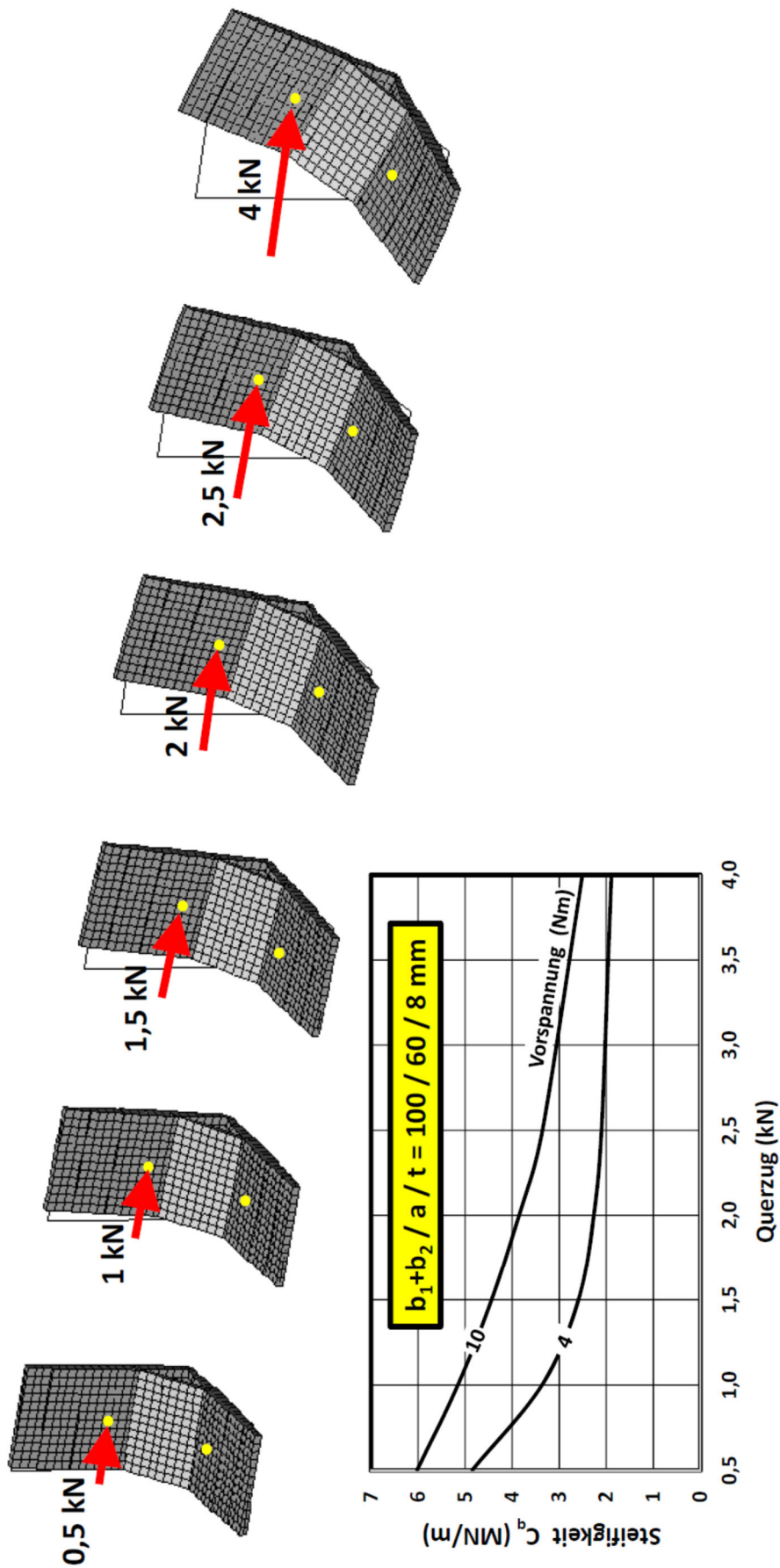


Bild 19: ausgesteifter Winkel

3.2 Winkel an biegeweichen Materialien

Beim Einsatz von mehr als drei Winkeln zur Befestigung von Leibungen beeinflussen sich die Winkel (Bild 20) gegenseitig. Die Steifigkeit der Fassadenplatte bzw. der Leibungsplatte wird lokal durch den Einfluss des Nachbarwinkels erhöht.

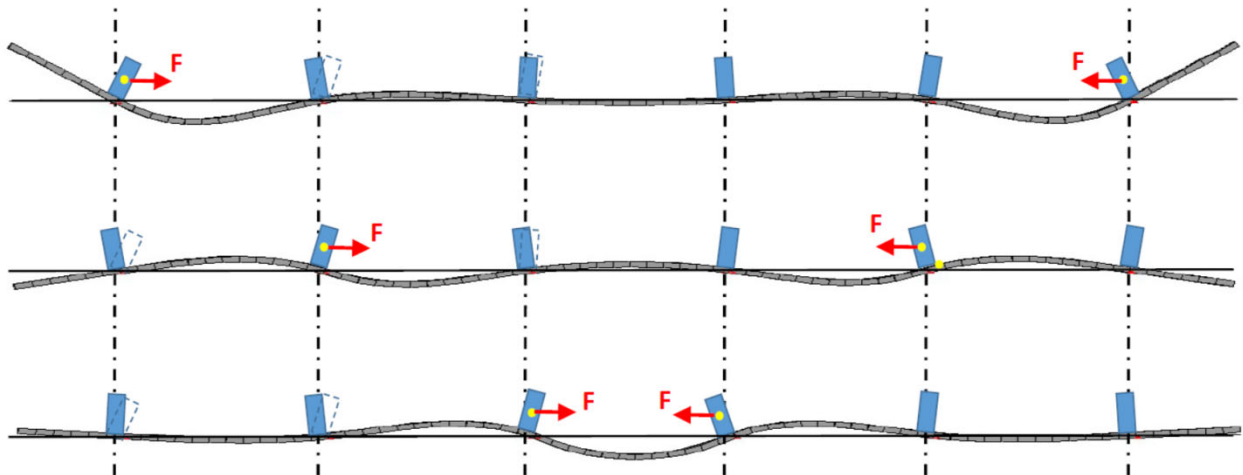


Bild 20: Beeinflussung der Winkelverdrehung

Die Verschiebewege der Winkel sind Abhängig von der Temperatur und dem Abstand des jeweiligen Winkels vom Ruhepunkt des Systems. Die Ermittlung der Querkzuglasten am jeweiligen Winkel kann nur über eine iterative Berechnung erfolgen und somit die allgemeine Berechnung von Winkelverbindungen nicht praktikabel.

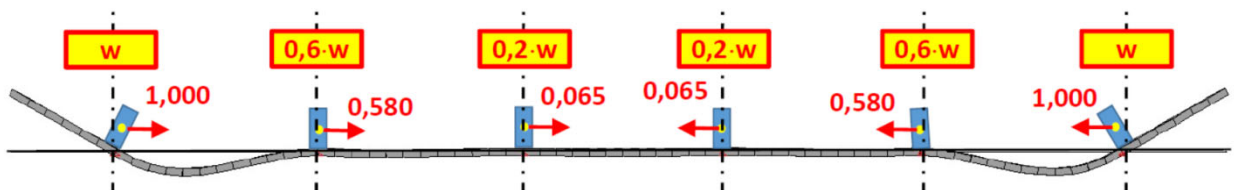


Bild 22: Belastung in Abhängigkeit von der Verschiebung

Eine Festlegung der Querkzuglast am Winkel mit Hilfe zum Abstand zum Ruhepunkt des Systems stellt die einfache Methode zur Bestimmung der Querkzugsteifigkeit des äußersten Winkels dar.

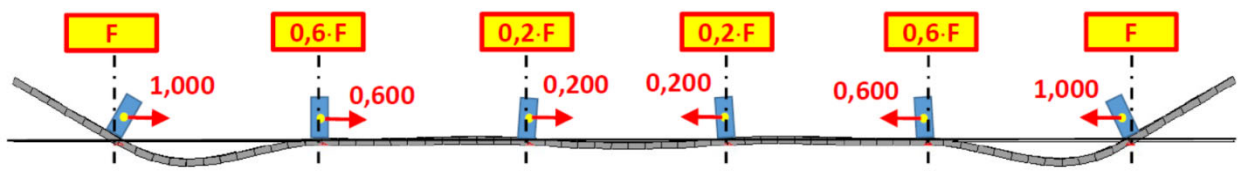


Bild 21: Belastung in Abhängigkeit von der Geometrie

Ein Vergleich beider Berechnungsansätze zeigt, dass die ermittelte Querkzugsteifigkeit der äußeren Winkel etwa in gleicher Größe ermittelt wird. Aus diesem Grunde wurden die Diagramme (Anlagen B1 und B3) mit der einfachen Methode ermittelt.

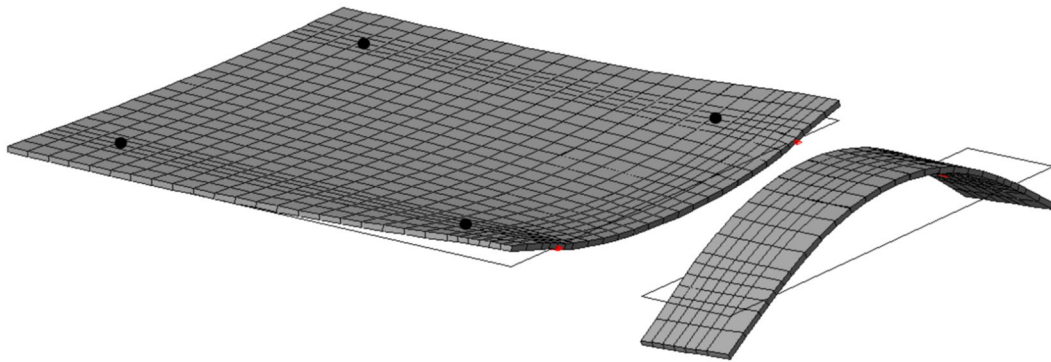


Bild 23: Verformung Platte / Leibung

Die wirksame Querszugsteifigkeit einer Winkelverbindung ergibt sich aus den Verformungen (Bilder 23 und 24) von Platte, Leibung und Winkel. Der Anteil der Verformungen von Platte und Winkel nimmt mit zunehmender Plattensteifigkeit ab.

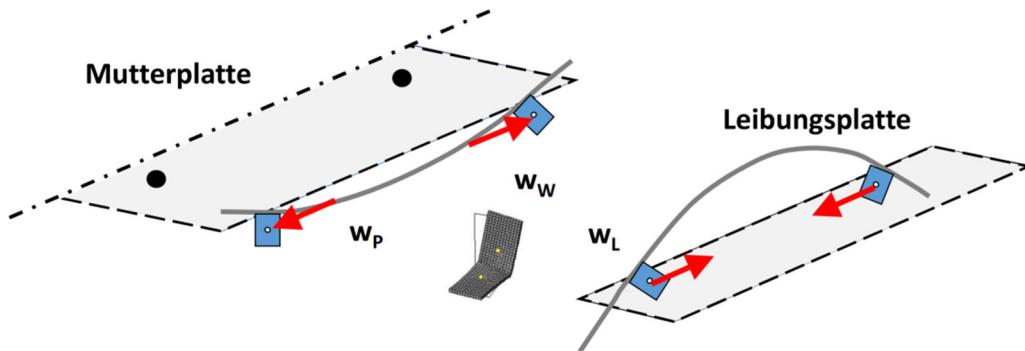


Bild 24: Verschiebungsanteile einer Winkelverbindung

$$w_w = w_p + w_L + w_w$$

$$C_q = \frac{1}{w_p + w_L + w_w}$$

Soweit keine objektbezogenen Berechnungen durchgeführt werden kann die Querszugsteifigkeit bzw. Verformung für die jeweiligen Bauteile vereinfachend ermittelt werden.

Steifigkeit Winkel:

$M_D = 4 \text{ Nm}$	$M_D = 10 \text{ Nm}$
$c = 14,394 \cdot b_1^{-0,683}$	$c = 21,083 \cdot b_1^{-0,828}$
$d = 0,0282 \cdot b_1^{0,6189}$	$d = 0,0311 \cdot b_1^{0,6447}$
$f = 0,0005$	$f = 0,0010$

$$t_E = t \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{70000}}$$

$$f_s = \frac{b_1}{50}$$

$$e = c \cdot t_E^d$$

$$C_{q,w} = f \cdot a^e$$

$$f_s = \frac{b_1}{50}$$

$$f_M = \frac{70000}{E} \cdot \left(\frac{12}{d}\right)^3$$

Steifigkeit Platte:

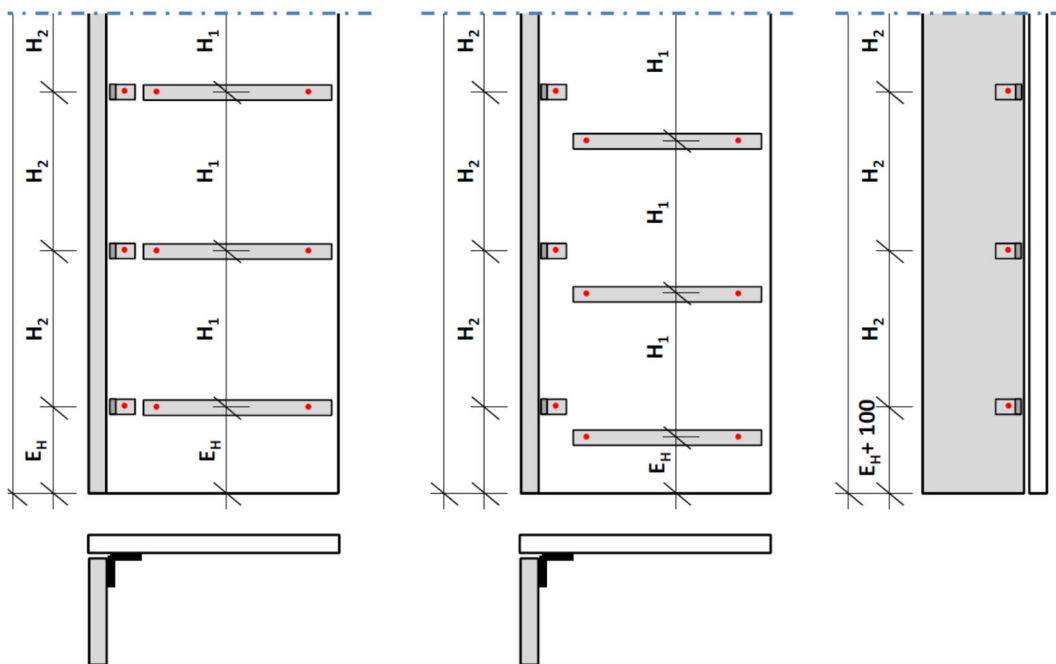


Bild 25: Winkel mit und ohne Versatz

ohne Versatz der Winkel

$$n = 2 \quad W_P = (-0,0971 \cdot H_2^2 + 0,2764 \cdot H_2 + 0,0962) \cdot f_s \cdot f_M$$

$$n \geq 3 \quad W_P = (-0,0807 \cdot H_2^2 + 0,2230 \cdot H_2 + 0,0484) \cdot f_s \cdot f_M$$

mit Versatz der Winkel

$$n = 2 \quad W_P = (0,0550 \cdot H_2^2 - 0,0351 \cdot H_2 + 0,1113) \cdot f_s \cdot f_M$$

$$n \geq 3 \quad W_P = (-0,0557 \cdot H_2^2 + 0,1359 \cdot H_2 + 0,0518) \cdot f_s \cdot f_M$$

$$W_P = \frac{1}{C_{q,P}} \cdot f_s \cdot f_M$$

Steifigkeit Leibung:

$$n = 2 \quad w_L = (0,0679 \cdot L_B^{-0,947} \cdot H_2 + 0,2297 \cdot L_B - 0,0244) \cdot f_S \cdot f_M$$

$$n \geq 3 \quad w_L = (0,0679 \cdot L_B^{-0,947} \cdot H_2 + 0,2297 \cdot L_B - 0,0244) \cdot f_S \cdot f_M$$

$$w_L = \frac{1}{C_{q,L}} \cdot f_S \cdot f_M$$

$$w_W = \frac{1}{C_{q,W}}$$

wirksame Steifigkeit Winkel:

$$C_q = \frac{1}{w_P + w_L + w_W}$$

$$C_q = \frac{1}{f_S \cdot f_M \cdot \frac{1}{C_{q,P}} + \frac{1}{C_{q,W}} + f_S \cdot f_M \cdot \frac{1}{C_{q,L}}}$$

Belastung Befestigung:

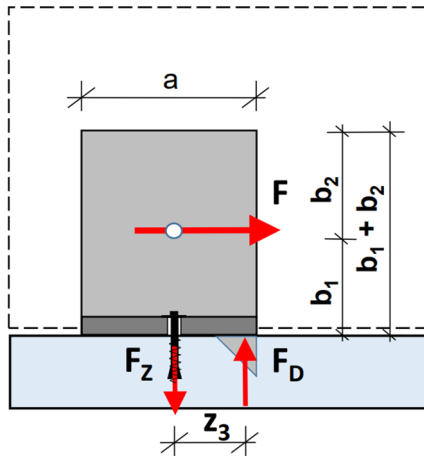


Bild 26: normale Winkelbreite

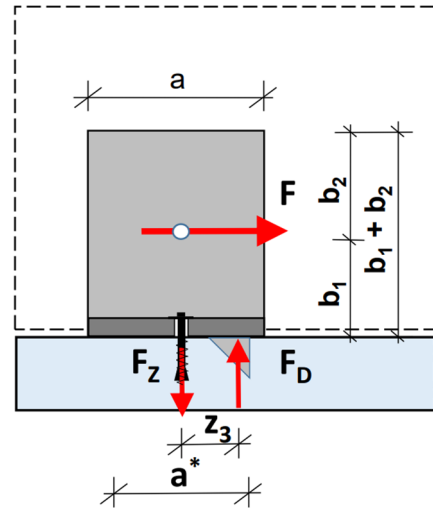


Bild 27: reduzierte Winkelbreite

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{2 \cdot 6} \quad \text{bzw.} \quad z_3 = \frac{5 \cdot a^*}{2 \cdot 6}$$

$$\Delta L = 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T$$

In der Gleichung bedeuten

L_W (m)	Abstand der äußeren Winkel
ΔL (mm)	Verschiebung Winkel aus Temperatur
α_T (m/mK)	Wärmeausdehnungskoeffizient
ΔT (Kelvin)	Temperaturdifferenz

$$F = C_q \cdot \Delta L$$

$$F_z = \frac{F \cdot b_1}{z_3}$$

3.3 Beispiele

Die Ermittlung der wirksamen Querkzugsteifigkeit der Winkel und die Ermittlung der Beanspruchung der Befestigung wird an Beispielen aufgezeigt.

3.3.1 Beispiel 2: Ermittlung der Beanspruchung der Befestigung

Abstand äußere Winkel	$L_W = 2,4$ m
Temperaturdifferenz	$\Delta T = 35$ K
Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha_T = 0,01$ m/mK
Winkelbreite	$a = 50$ mm
Abstand äußere Winkel	$b_1 = 35$ mm
Wirksame Winkelsteifigkeit	$C_q = 0,45$ MN/m

$$\begin{aligned}\Delta L &= 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T \\ &= 0,5 \cdot 2,4 \cdot 35 \cdot 0,01 = 0,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F &= C_q \cdot \Delta L = 0,45 \cdot 0,42 \\ &= 0,189 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z_3 &= \frac{5 \cdot a}{2 \cdot 6} = \frac{5 \cdot 50}{2 \cdot 6} \\ &= 20,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_z &= \frac{F \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,189 \cdot 35}{20,8} \\ &= 0,318 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beispiel 3: Ermittlung des Einflusses des Randabstandes der Befestigung

Winkeldicke $t = 7 \text{ mm}$
 Winkelbreite $a = 60 \text{ mm}$
 Abstand äußere Winkel $b_1 = 35 \text{ mm}$

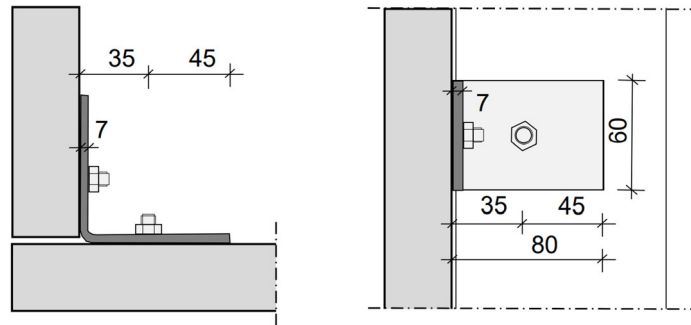


Bild 28: minimaler Randabstand Befestigung

Winkeldicke $t = 7 \text{ mm}$
 Winkelbreite $a = 60 \text{ mm}$
 Abstand äußere Winkel $b_1 = 45 \text{ mm}$

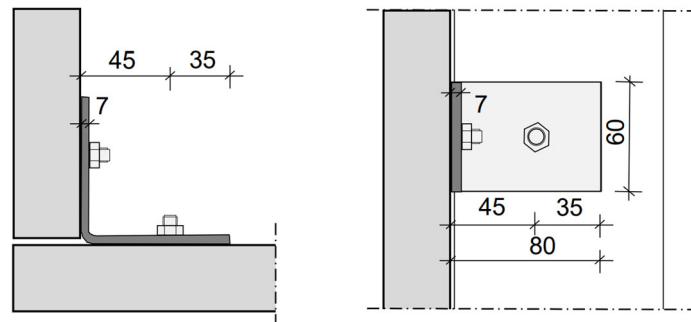


Bild 29: maximaler Randabstand Befestigung (4 Nm Vorspannung)

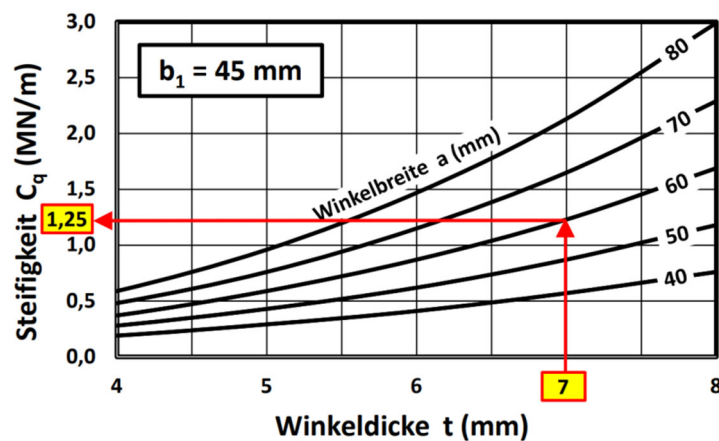
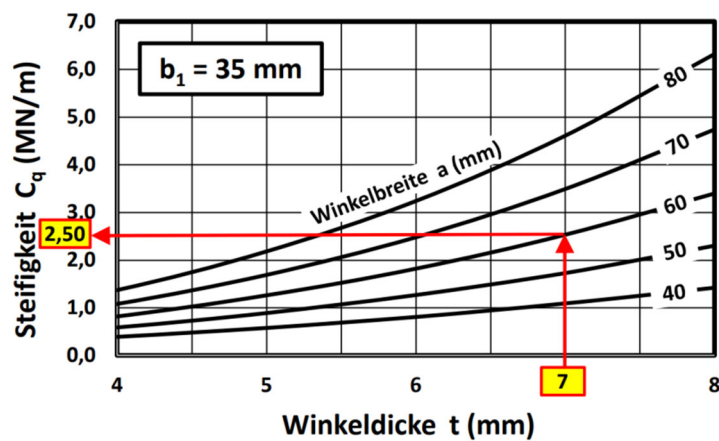
$b_1 = 35 \text{ mm}$	$b_1 = 45 \text{ mm}$
$c = 14,394 \cdot b_1^{-0,683}$ $= 14,394 \cdot 35^{-0,683}$ $= 1,2694$	$c = 14,394 \cdot b_1^{-0,683}$ $= 14,394 \cdot 45^{-0,683}$ $= 1,0691$
$d = 0,0282 \cdot b_1^{0,6189}$ $= 0,0282 \cdot 35^{0,6189}$ $= 0,2546$	$d = 0,0282 \cdot b_1^{0,6189}$ $= 0,0282 \cdot 45^{0,6189}$ $= 0,2795$
$f = 0,0005$	$f = 0,0005$

$$t_E = t \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{70000}}$$

$$= t \cdot \sqrt[3]{\frac{70000}{70000}}$$

$$= t$$

$e = c \cdot t_E^d$ $= 1,2694 \cdot 7^{0,2546}$ $= 2,0833$ $C_q = f \cdot a^e$ $= 0,0005 \cdot 60^{2,0833}$ $= \mathbf{2,53 \text{ MN/m}}$	$e = c \cdot t_E^d$ $= 1,0691 \cdot 7^{0,2795}$ $= 1,9073$ $C_q = f \cdot a^e$ $= 0,0005 \cdot 60^{1,9073}$ $= \mathbf{1,23 \text{ MN/m}}$
--	--



Die Berechnung zeigt, dass bei Langlöchern in den Winkeln die Lage der Befestigung einen großen Einfluss auf die Querkzugsteifigkeit der Winkelverbindung hat.

3.3.2 Beispiel 4: Leigungswinkel aus nichtrostendem Stahl

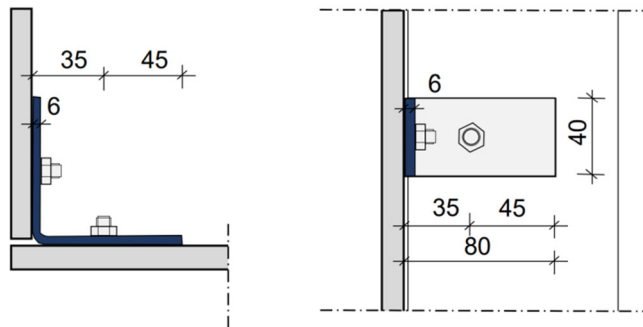
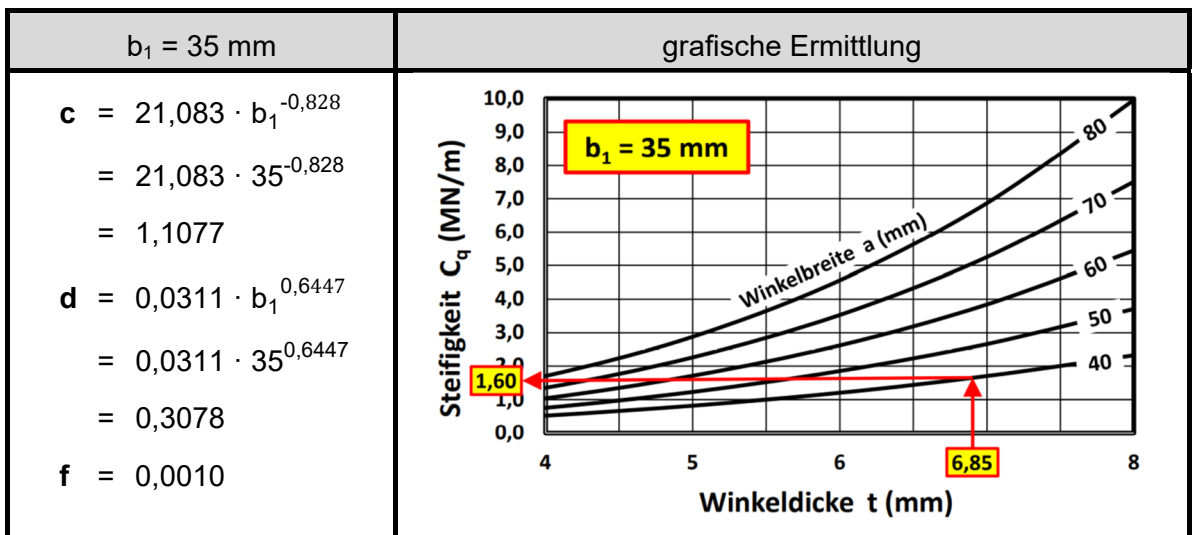


Bild 30: Stahlwinkel mit Vorspannung 10 Nm



$t_E = t \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{70000}}$ $= t \cdot \sqrt[3]{\frac{180000}{70000}}$ $= 1,37 \cdot 5$ $= 6,85 \text{ mm}$	$e = c \cdot t_E^d$ $= 1,1077 \cdot 7^{0,3078}$ $= 2,0027$ $C_q = f \cdot a^e$ $= 0,0010 \cdot 40^{2,0027}$ $= 1,62 \text{ MN/m}$
---	---

Winkel aus Stahl können über eine Ersatzdicke mit den Diagrammen für Aluminium berechnet werden.

3.3.3 Beispiel 5: Faserzementtafel mit Leibung

Fassadentafel:

L	=	1,20 m	H	=	3,30 m
E _L	=	0,20 m	E _H	=	0,15 m
d	=	12 mm	E	=	12000 N/mm ²
α _T	=	0,01 m/mK			

Leibung:

L _B	=	0,20 m	H	=	3,30 m
ρ	=	21 kN/m ³	E _H	=	0,25 m
d	=	12 mm	E	=	12000 N/mm ²
G	=	0,17 kN	n _w	=	6

Winkel: Aluminium

t	=	6,0 mm	a	=	60 mm
b ₁	=	35 mm	b ₂	=	25 mm

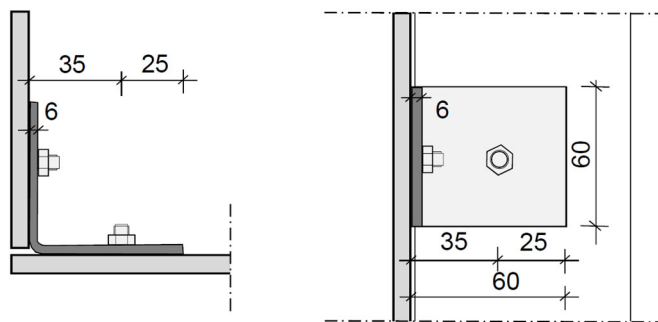


Bild 31: Aluminiumwinkel mit Vorspannung 4 Nm

$$f_s = \frac{b_1}{50} = \frac{35}{50} = 0,70$$

$$C_q = \frac{1}{f_s \cdot \frac{1}{C_{q,P}} + \frac{1}{C_{q,W}} + f_s \cdot \frac{1}{C_{q,L}}}$$

- C_q wirksame Steifigkeit Winkel
- C_{q,M} Steifigkeit Mutterplatte
- C_{q,W} Steifigkeit Winkel
- C_{q,L} Steifigkeit Leibungsplatte

$$C_q = \frac{1}{0,7 \cdot \frac{1}{1,6} + \frac{1}{1,8} + 0,7 \cdot \frac{1}{0,88}}$$

$$= 0,56 \text{ MN/m}$$

Die wirksame Winkelsteifigkeit reduziert sich auf 31,1 % der Steifigkeit des Winkels.

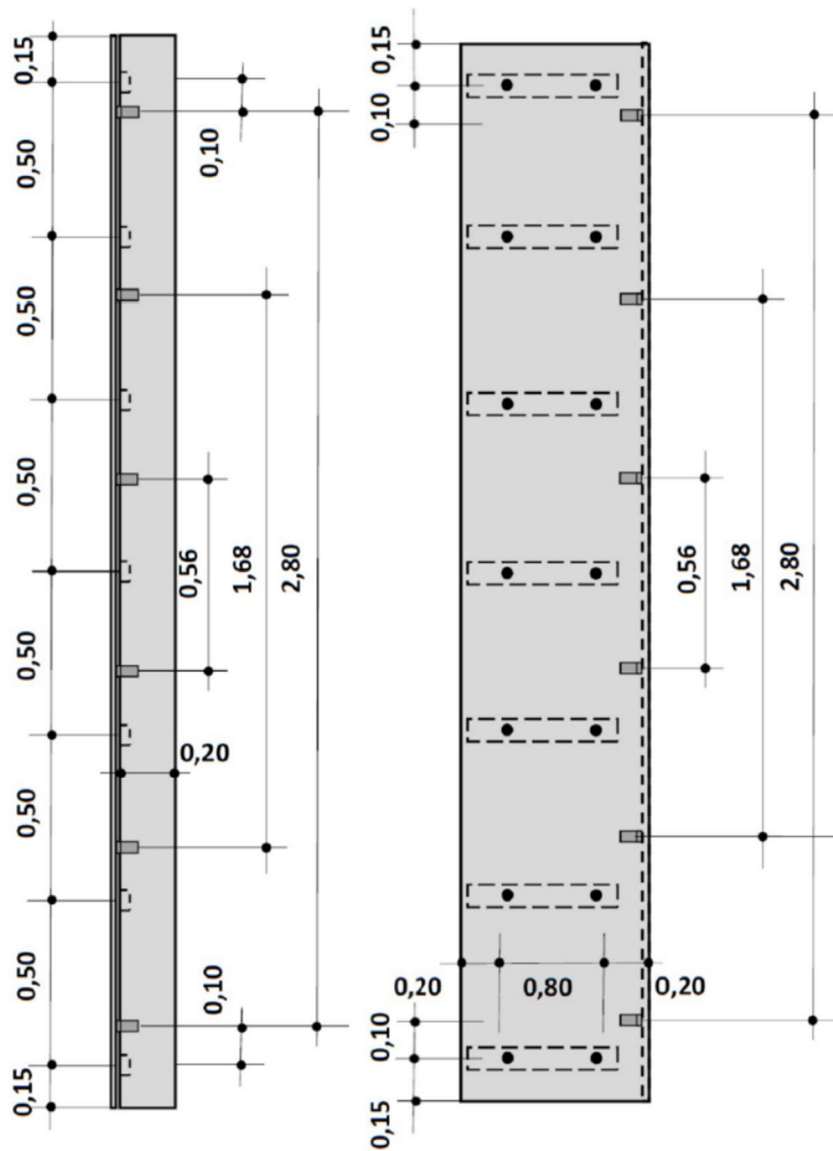
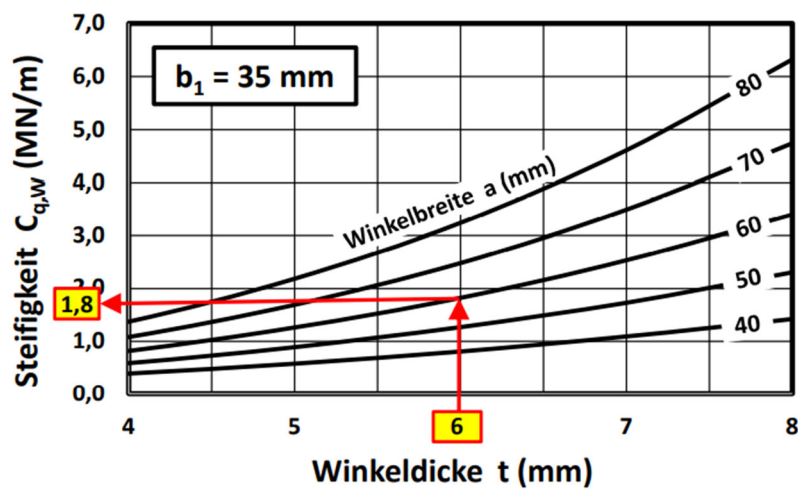
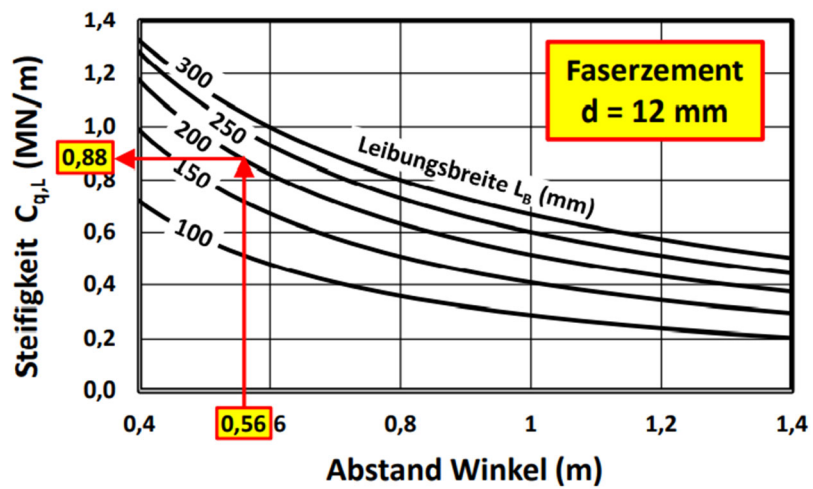
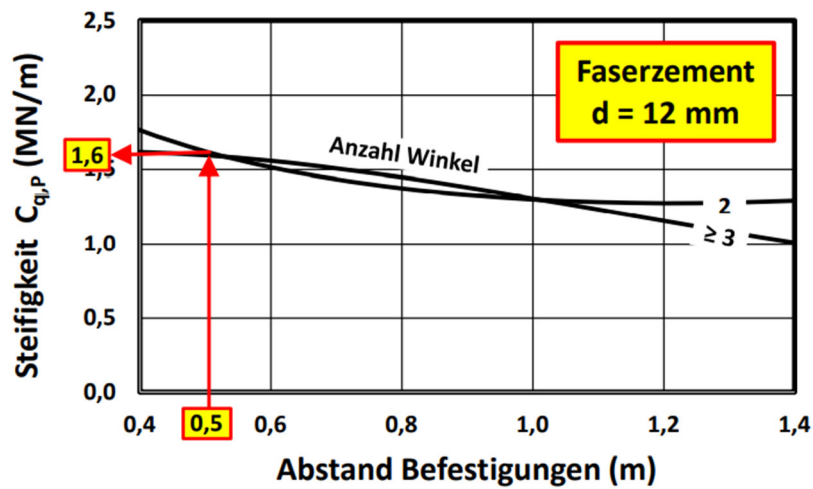


Bild 32: Systemabmessungen





$$\Delta L = 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T$$

$$= 0,5 \cdot 2,8 \cdot 35 \cdot 0,01 = 0,49 \text{ mm}$$

$$F = C_q \cdot \Delta L = 0,56 \cdot 0,49$$

$$= 0,274 \text{ kN}$$

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{2 \cdot b} = \frac{5 \cdot 60}{2 \cdot 6}$$

$$= 25,0 \text{ mm}$$

$$F_{z,T} = \frac{F \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,274 \cdot 35}{25,0}$$

$$= 0,384 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} n_G &= n_w - 2 \\ &= 6 - 2 \\ &= 4 > 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{z,G} &= \frac{F_G \cdot b_1}{n_G \cdot z_3} = \frac{0,17 \cdot 35}{4 \cdot 25,0} \\ &= 0,060 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{z,Ed} &= 0,384 + 1,35 \cdot 0,060 \\ &= 0,465 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.3.4 Beispiel 6: Naturwerksteinplatte mit Leibung

Fassadentafel:

L	=	1,20 m	H	=	1,70 m
E _L	=	0,20 m	E _H	=	0,15 m
d	=	30 mm	E	=	12000 N/mm ²
α _T	=	0,01 m/mK			

Leibung:

L _B	=	0,20 m	H	=	1,70 m
ρ	=	28 kN/m ³	E _H	=	0,15 m
d	=	30 mm	E	=	50000 N/mm ²
G	=	0,29 kN	n _w	=	2

Winkel:

Aluminium			
t	= 8,0 mm	a	= 60 mm
b ₁	= 55 mm	b ₂	= 35 mm

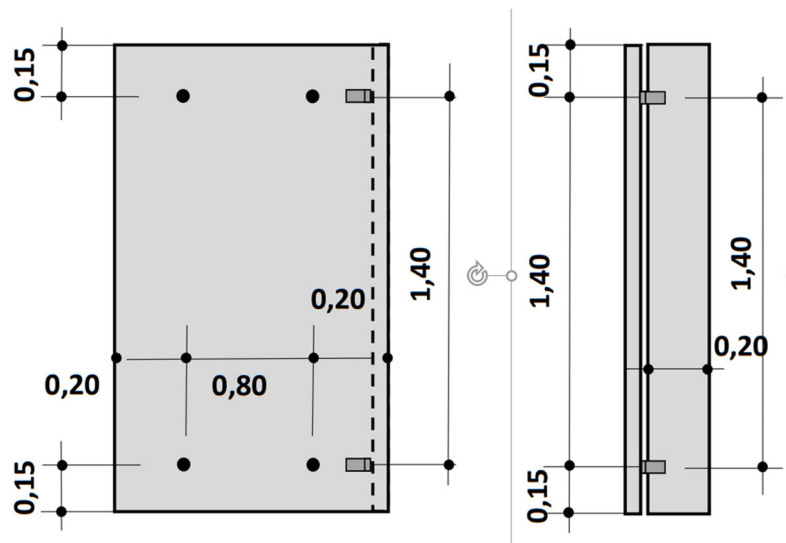


Bild 33: Systemabmessungen

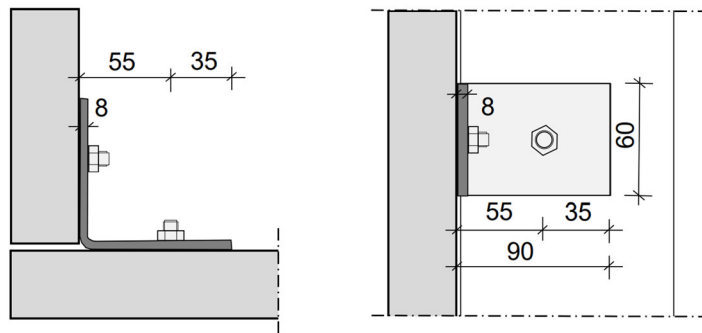
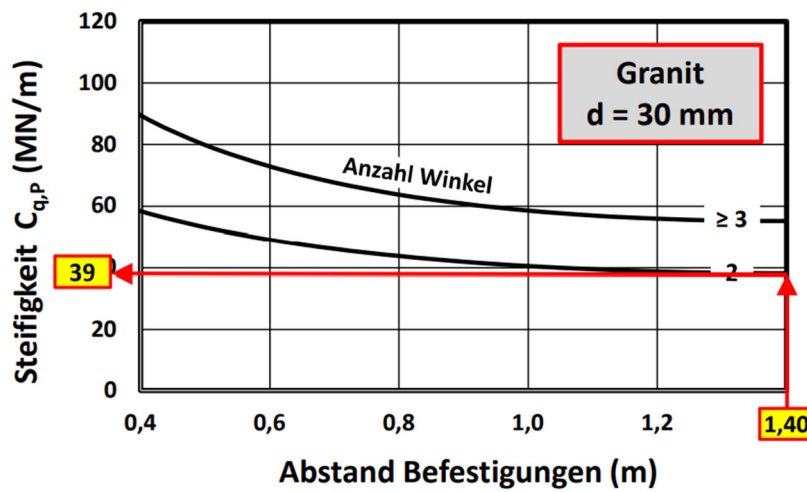
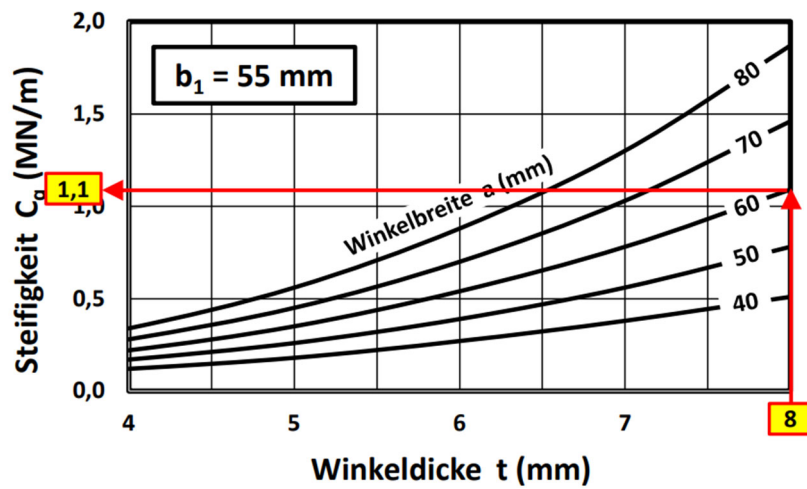
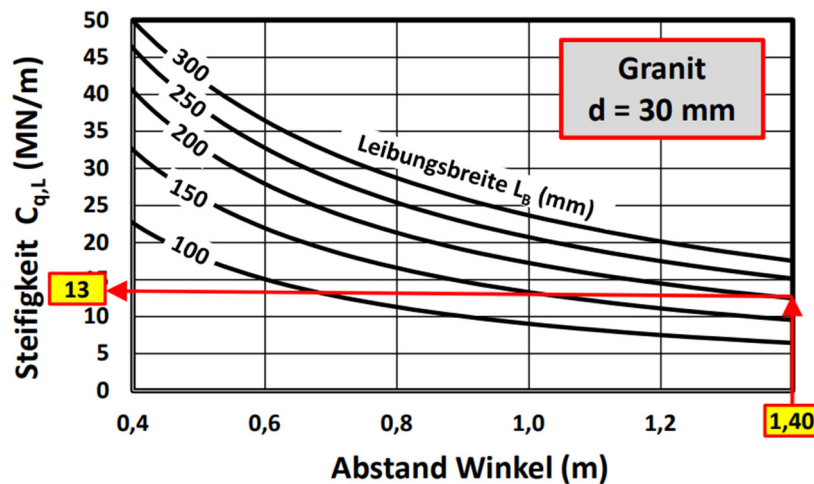


Bild 34: Aluminiumwinkel mit Vorspannung 4 Nm





$$f_s = \frac{b_1}{50} = \frac{55}{50} = 1,10$$

$$C_q = \frac{1}{f_s \cdot \frac{1}{C_{q,P}} + \frac{1}{C_{q,W}} + f_s \cdot \frac{1}{C_{q,L}}}$$

$$C_q = \frac{1}{1,1 \cdot \frac{1}{39} + \frac{1}{1,1} + 1,1 \cdot \frac{1}{13}}$$

$$= 0,98 \text{ MN/m}$$

Die wirksame Winkelsteifigkeit reduziert sich auf 89,0 % der Steifigkeit des Winkels. Die Verformung der Platte und der Leibung haben einen geringen Einfluss auf die wirksame Steifigkeit des Winkels. Aus diesem Grunde können die Einflüsse aus Platte und Leibung vernachlässigt werden.

$$\Delta L = 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T$$

$$= 0,5 \cdot 1,4 \cdot 35 \cdot 0,01 = 0,25 \text{ mm}$$

$$F = C_q \cdot \Delta L = 0,98 \cdot 0,25$$

$$= 0,240 \text{ kN}$$

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{2 \cdot 6} = \frac{5 \cdot 60}{2 \cdot 6}$$

$$= 25,0 \text{ mm}$$

$$F_{z,T} = \frac{F \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,240 \cdot 55}{25,0}$$

$$= 0,528 \text{ kN}$$

$$n_G = n_W - 2$$

$$= 2 - 2$$

$$= 0 < 2$$

$$= 2$$

$$F_{z,G} = \frac{F_G \cdot b_1}{n_G \cdot z_3} = \frac{0,29 \cdot 35}{2 \cdot 25,0}$$

$$= 0,320 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = 0,528 + 1,35 \cdot 0,320$$

$$= 0,960 \text{ kN}$$

3.3.5 Beispiel 7: HPL-Platte mit Leibung

Fassadentafel:

L	=	0,70 m	H	=	1,30 m
E _L	=	0,10 m	E _H	=	0,15 m
d	=	12 mm	E	=	9000 N/mm ²
α _T	=	0,018 m/mK			

Leibung:

L _B	=	0,15 m	H	=	1,30 m
ρ	=	14 kN/m ³	E _H	=	0,25 m
d	=	12 mm	E	=	9000 N/mm ²
G	=	0,03 kN	n _w	=	6

Winkel: Aluminium

t	=	6,0 mm	a	=	60 mm
b ₁	=	45 mm	b ₂	=	25 mm

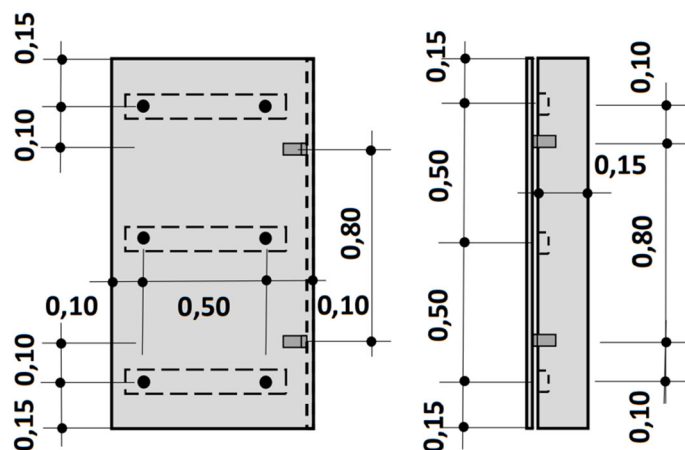


Bild 35: Systemabmessungen

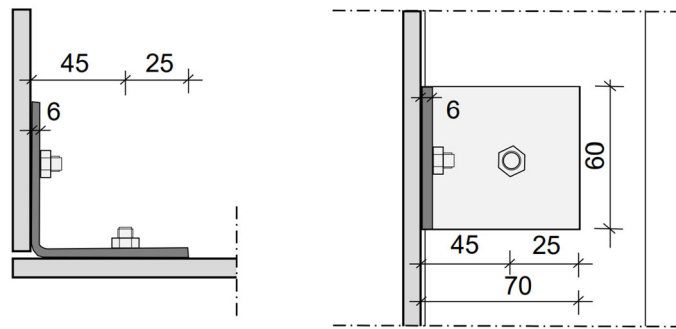
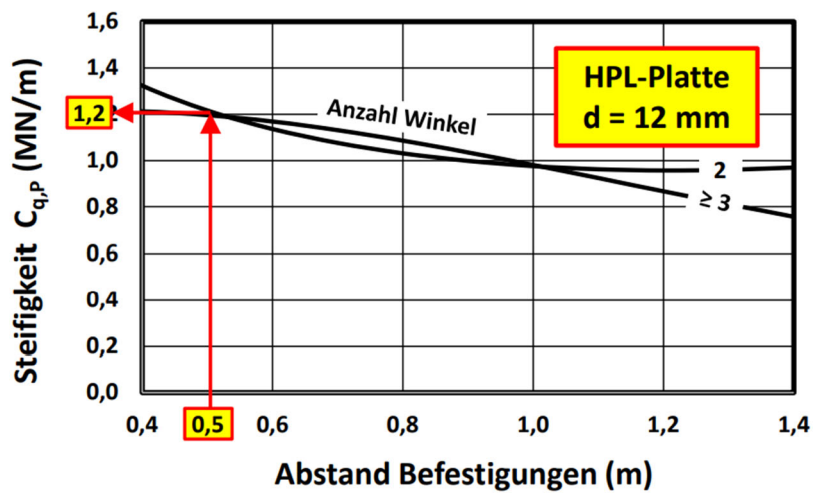
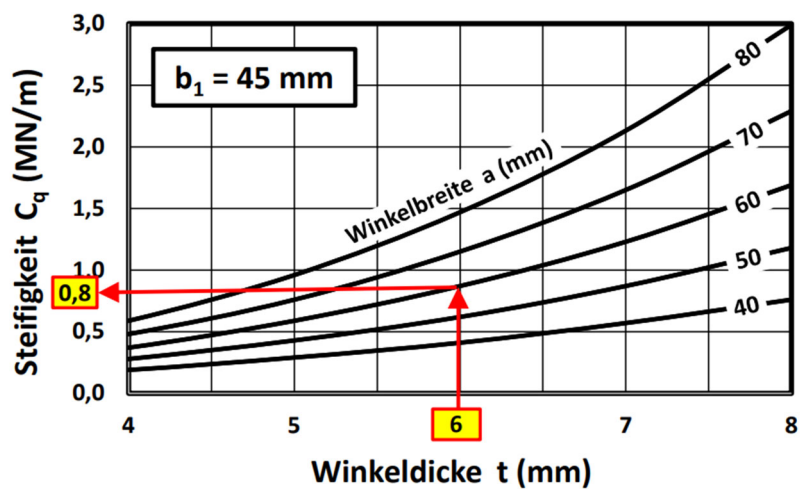


Bild 36: Aluminiumwinkel mit Vorspannung 4 Nm



$$f_s = \frac{b_1}{50} = \frac{45}{50} = 0,90$$

$$C_q = \frac{1}{f_s \cdot \frac{1}{C_{q,P}} + \frac{1}{C_{q,W}} + f_s \cdot \frac{1}{C_{q,L}}}$$

$$\begin{aligned} C_q &= \frac{1}{0,9 \cdot \frac{1}{1,2} + \frac{1}{0,8} + 0,9 \cdot \frac{1}{0,19}} \\ &= 0,15 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

Die wirksame Winkelsteifigkeit reduziert sich auf 18,6 % der Steifigkeit des Winkels.

$$\begin{aligned} \Delta L &= 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T \\ &= 0,5 \cdot 0,80 \cdot 35 \cdot 0,018 = 0,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= C_q \cdot \Delta L = 0,98 \cdot 0,25 \\ &= 0,021 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_3 &= \frac{5 \cdot a}{2 \cdot 6} = \frac{5 \cdot 60}{2 \cdot 6} \\ &= 25,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{z,T} &= \frac{F \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,021 \cdot 45}{25,0} \\ &= 0,038 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_G &= n_W - 2 \\ &= 2 - 2 \\ &= 0 < 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{z,G} &= \frac{F_G \cdot b_1}{n_G \cdot z_3} = \frac{0,03 \cdot 45}{2 \cdot 25,0} \\ &= 0,027 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{z,Ed} &= 0,038 + 1,35 \cdot 0,027 \\ &= 0,074 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.3.6 Beispiel 8: Feinsteinzeugplatte mit Leibung

Fassadenplatte:	L = 0,90 m	H = 2,50 m
	E _L = 0,15 m	E _H = 0,15 m
	d = 12 mm	E = 70000 N/mm ²
	α _T = 0,006 m/mK	

Leibung:

L_B	=	0,25 m	H	=	2,50 m
ρ	=	25 kN/m ³	E_H	=	0,15 m
d	=	12 mm	E	=	70000 N/mm ²
G	=	0,19 kN	n_w	=	5

Winkel:

Aluminium					
t	=	6,0 mm	a	=	50 mm
b_1	=	40 mm	b_2	=	40 mm

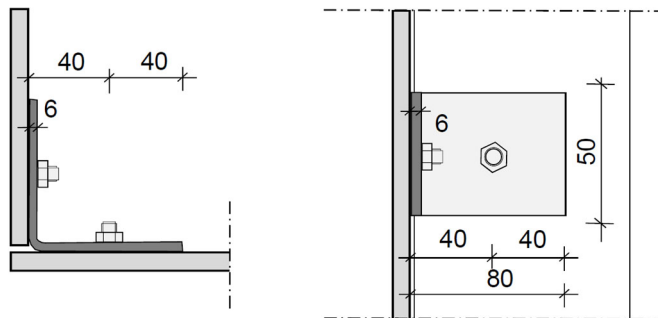


Bild 31: Aluminiumwinkel mit Vorspannung 4 Nm

$$f_s = \frac{b_1}{50} = \frac{40}{50} = 0,80$$

$$C_q = \frac{1}{f_s \cdot \frac{1}{C_{q,P}} + \frac{1}{C_{q,W}} + f_s \cdot \frac{1}{C_{q,L}}}$$

- C_q wirksame Steifigkeit Winkel
- $C_{q,M}$ Steifigkeit Mutterplatte
- $C_{q,W}$ Steifigkeit Winkel
- $C_{q,L}$ Steifigkeit Leibungsplatte

$$C_q = \frac{1}{0,8 \cdot \frac{1}{6,8} + \frac{1}{0,8} + 0,8 \cdot \frac{1}{5,8}}$$

$$= 0,66 \text{ MN/m}$$

Die wirksame Winkelsteifigkeit reduziert sich auf 83 % der Steifigkeit des Winkels.

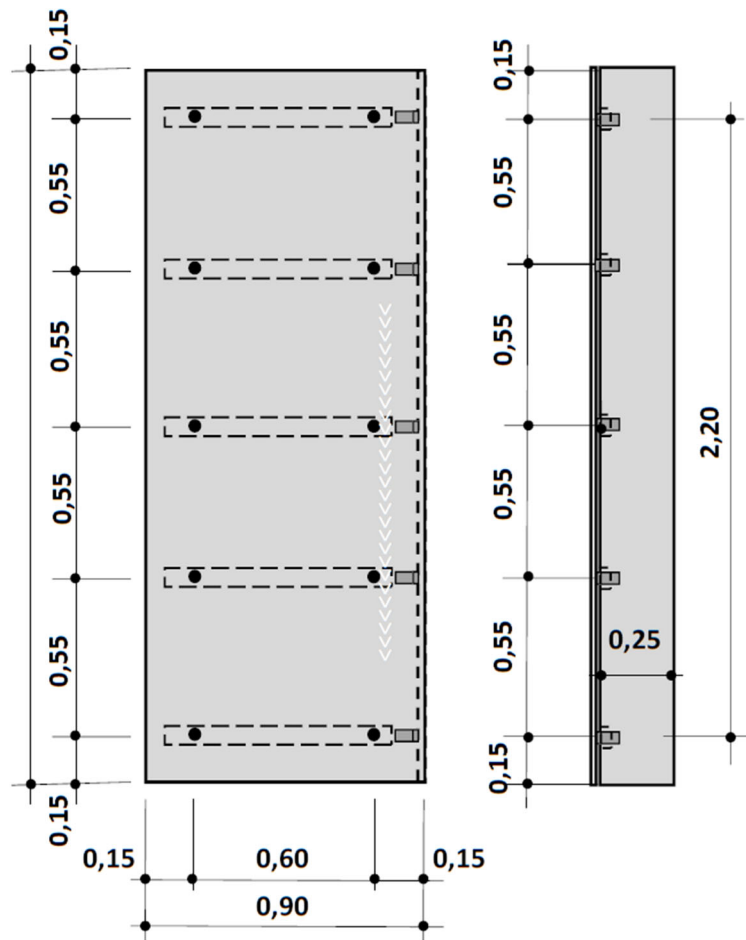
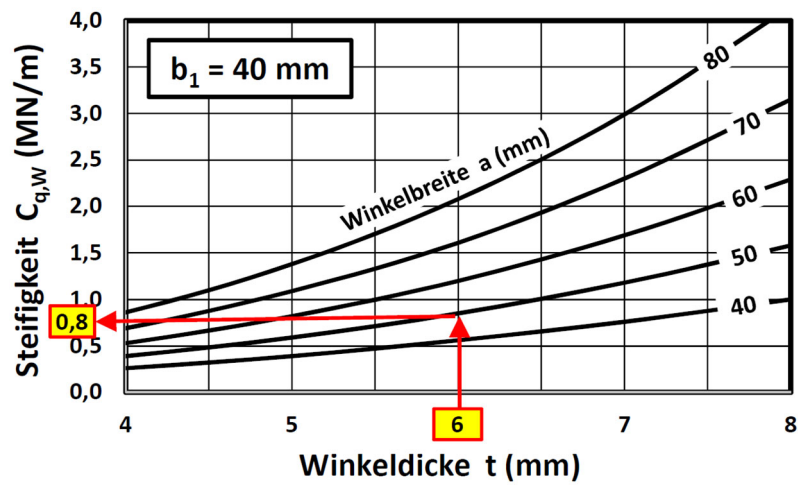
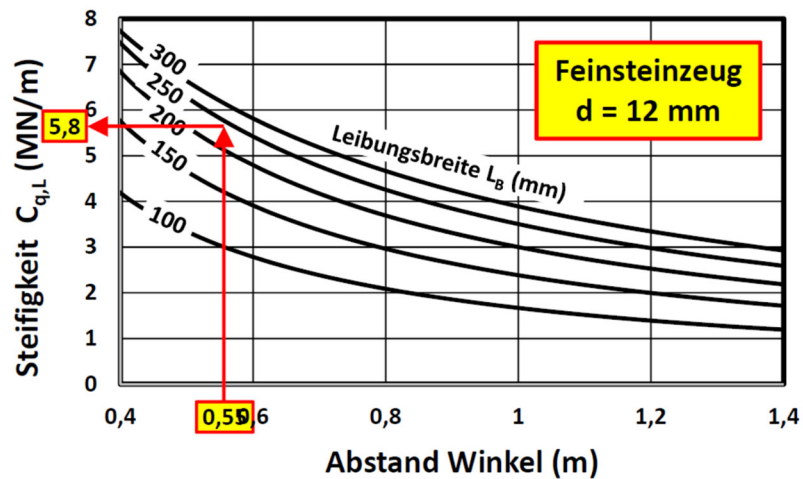
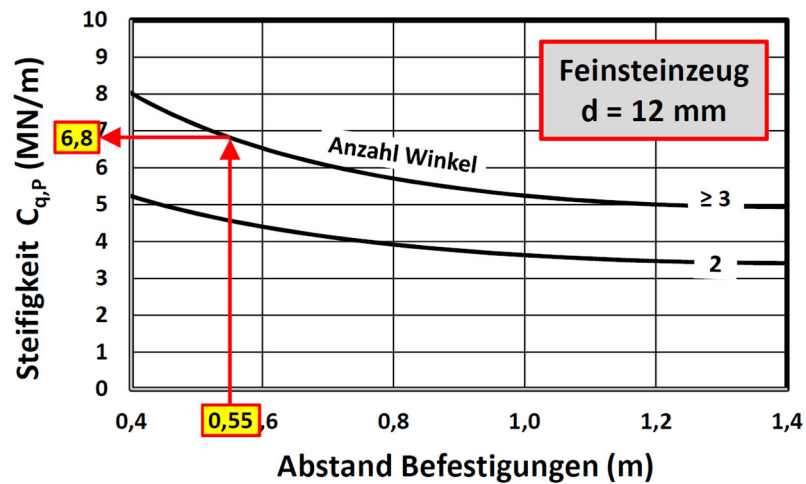


Bild 32: Systemabmessungen





$$\Delta L = 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T$$

$$= 0,5 \cdot 2,2 \cdot 35 \cdot 0,006 = 0,23 \text{ mm}$$

$$F = C_q \cdot \Delta L = 0,66 \cdot 0,23$$

$$= 0,152 \text{ kN}$$

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{2 \cdot 6} = \frac{5 \cdot 50}{2 \cdot 6}$$

$$= 20,8 \text{ mm}$$

$$F_{z,T} = \frac{F \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,152 \cdot 40}{20,8}$$

$$= 0,292 \text{ kN}$$

$$n_G = n_w - 2$$

$$= 5 - 2$$

$$= 3 > 2$$

$$\begin{aligned} \mathbf{F_{z,G}} &= \frac{F_G \cdot b_1}{n_G \cdot z_3} = \frac{0,19 \cdot 40}{3 \cdot 20,8} \\ &= 0,122 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{F_{z,Ed}} &= 0,292 + 1,35 \cdot 0,122 \\ &= 0,457 \text{ kN} \end{aligned}$$