

**Sonderkonstruktionen hinterlüfteter Fassaden
aus Werkstein**

Merkblatt 14
Stand **28. Januar 2022**
ersetzt
Stand -----

1 Einleitung

Werksteinfassaden werden nach den allgemeinen Grundsätzen der DIN 18516-1 und nach den Konstruktionsprinzipien für jeweiligen Baustoffe, DIN 18516-3 (Naturwerkstein) und DIN 18516-5 (Betonwerkstein), geplant und hergestellt. Für die Fassadenplatten ist eine Befestigung an maximal 4 Punkten vorgesehen.

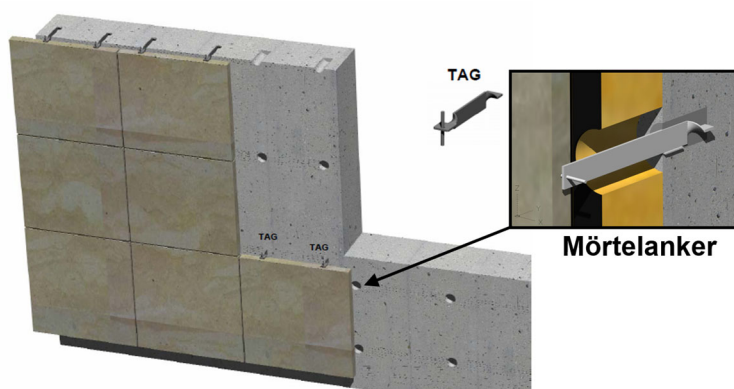


Bild 1: Dornbefestigung nach DIN 18516-3 und 18516-5

Für die Verankerung sehen die DIN 18516-3 und 18516-5 Mörtelanker vor. Die konstruktive Ausbildung und die Bemessung der Verankerung sind für die Verankerungsuntergründe vorgegeben. Die Bemessung der metallischen Verankerung und der Befestigung werden nach den Anwendungsnormen der Baustoffe vorgenommen.

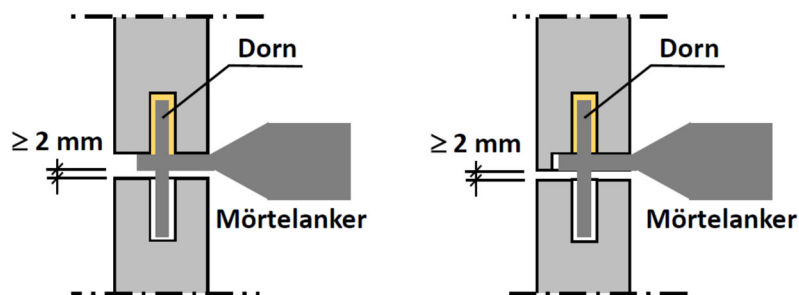


Bild 2: Dornbefestigung nach DIN 18516-3 und 18516-5

Für die Befestigung der Fassadenplatten ist entsprechend der DIN 18516-3 und 18516-5 die Dornbefestigung als Regelbefestigung vorgesehen. Alle anderen Befestigungsarten, wie z.B. die Nutlagerung, der Steckdorn oder der Schraubanker, werden von ihrer Tragfähigkeit auf eine Dornbefestigung zurückgeführt.

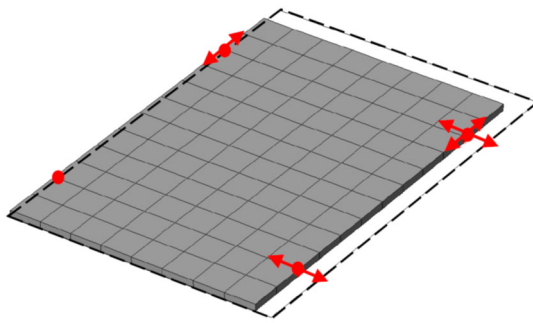


Bild 3: gleichmäßige Erwärmung

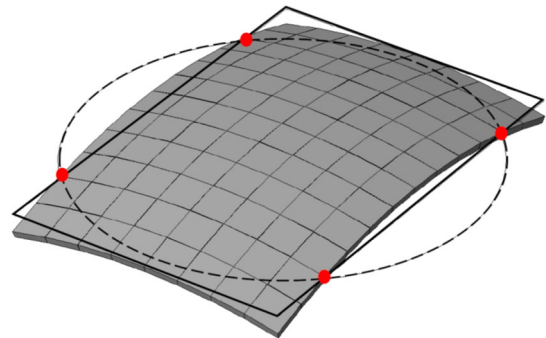


Bild 4: ungleichmäßige Erwärmung

Entsprechend DIN 18516-1 ist die Befestigung der Fassadenplatten zwängungsarm auszuführen. Mit den Konstruktionsprinzipien der DIN 18516-3 und 18516-5 ist eine zwängungsarme Verformung der Fassadenplatte (Bild 3) infolge gleichmäßiger Erwärmung und ungleichmäßiger Erwärmung (Bild 4) stets gegeben.

Die geregelte Dornbefestigung schreibt eine Mindestspalt zwischen Ankersteg und Fassadenplatte mit Gleitpunkt von 2 mm vor.

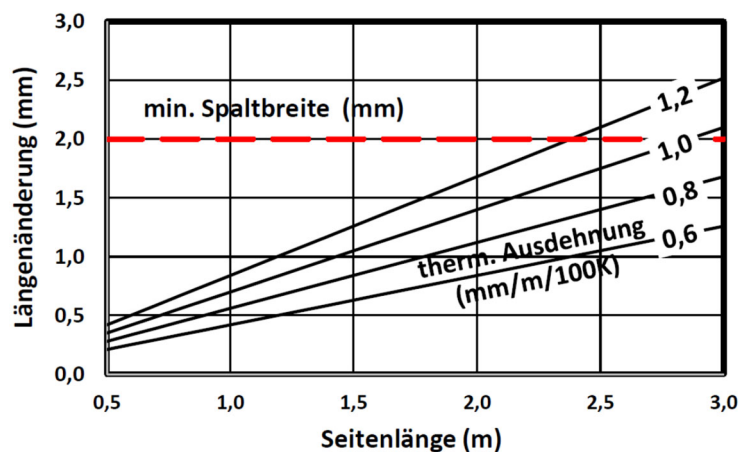


Bild 5: erforderliche Fugenbreite

Die Mindestspaltbreite ermöglicht die Verformung der Fassadenplatte. Bei der Anwendung einer Ankertasche (Bild 2) ergibt hieraus eine Mindestfugenbreite von 2 mm, da ansonsten die eine Verformung der Fassadenplatte behindert bzw. nicht möglich ist.

Spaltbreite geregelte Dornbefestigung schreibt eine Mindestspalt zwischen Ankersteg und Fassadenplatte mit Gleitpunkt von 2 mm vor. Die Mindestspaltbreite gewährleistet, dass die üblichen Plattenabmessungen (Bild 5) zwängungsfrei befestigt werden können.

Werden Fassadenplatten ohne Fuge aufeinandergesetzt, so stellt dies eine Sonderkonstruktion dar. Bei dieser Konstruktion beeinflussen sich benachbarte Platten gegenseitig. Aus diesem Grunde ergeben sich zusätzliche Lasten und Lastfälle, die bei dem üblichen Nachweis der Fassadenkonstruktion unberücksichtigt bleiben können.

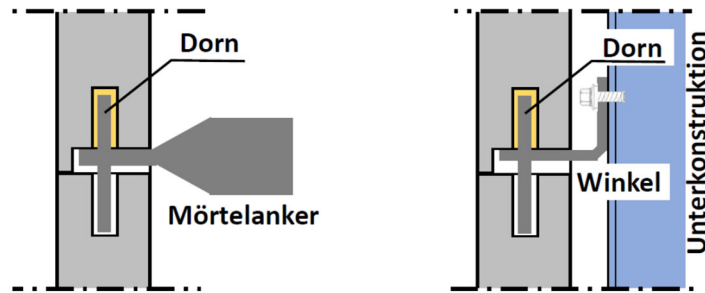


Bild 6: aufgesetzte Platten mit Mörtelanker und Unterkonstruktion

Diese zusätzliche Beanspruchung wird vielfach nicht erkannt und bleibt demzufolge unberücksichtigt. Durch die gegenseitige Beeinflussung von aufgesetzten Platten führt zu einer Konstruktion, bei der die Beanspruchung der einzelnen Bauteile (Verankerung, Befestigung und Leibung) von der Steifigkeit der eingesetzten Verankerungen und Verbindungen abhängig ist.

Aus diesem Grunde entsprechen aufgesetzte Fassadenplatten nicht einer geregelten Konstruktion nach DIN 18516-3 und 18516-5. Die Konstruktion ist ingenieurmäßig zu planen und zu bemessen. Entsprechend DIN 18516-1 sind Beanspruchungen aus Zwängung, wie sie bei aufgesetzten Platten vorkommen und nicht zu vermeiden sind, zu berücksichtigen.

2 Belastung

2.1 Eigenlast

Die Eigenlast von senkrechten Fassadenplatten führt zu einer Querkzugbeanspruchung von Befestigungen. Bei Befestigungen auf der Rückseite der Fassadenplatte, z.B. Steckdorn oder Hinterschnittanker, muss der Querkzug aus Eigenlast beim Nachweis der Befestigung berücksichtigt werden.

Die Eigenlasten von Leibungsplatten führen zu einer Zusatzbeanspruchung von Plattenbefestigungen.

Bei Sturzleibungen werden die Winkelverbindungen durch die exzentrische Lasteinleitung auf Biegung beansprucht. Für horizontale oder geneigte Fassadenplatten sind bei Fassaden aus Werkstein Erhöhungsfaktoren entsprechend den Regelwerken zu berücksichtigen. Die Größe des Faktors ist abhängig vom Material und der eingesetzten Befestigung.

2.2 Windbelastung

Die Belastung aus Wind ist nach DIN EN 1991-1 zu ermitteln. Eigenlast von senkrechten Fassadenplatten führt zu einer Querkzugbeanspruchung von Befestigungen. Dieser Querkzug muss bei Dornbefestigung nicht berücksichtigt werden.

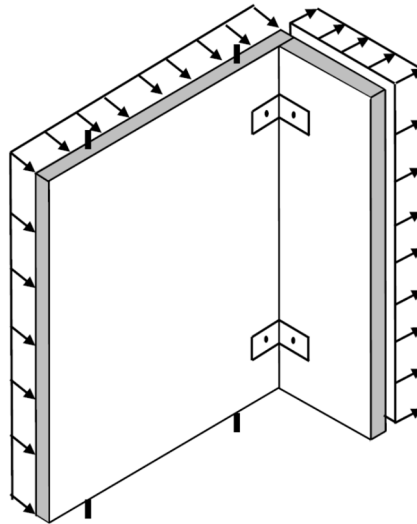


Bild 7: Windbelastung Leibung

Fassaden bzw. Außenwandbekleidungen werden nach dem Stand der Technik so geplant, dass die Zwängungen infolge behinderter Verformung so gering wie möglich gehalten werden. Eine zwängungsfreie Konstruktion ist nicht ausführbar.

2.3 gleichmäßige Temperatur

Die Belastung durch Temperatur stellt die wesentliche Beanspruchung der Winkelplatten bzw. geklebten Leibungsplatten dar. Die DIN 18516-1 macht allgemeine Vorgaben für die Beanspruchung von Fassadenplatten infolge Temperatur.

Temperatur Montage	+10 °C
Untere Temperatur	-20 °C
Obere Temperatur	+80 °C
Temperaturunterschied Leibung/Mutterplatte	35 °C

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \alpha_T \quad (1)$$

$$\Delta L = 0,5 \cdot L_W \cdot \Delta T \cdot \alpha_T \quad (2)$$

In der Gleichung bedeuten

L (m)	Bauteillänge
L _W (m)	Abstand der Leibungswinkel
ΔL (mm)	Verschiebung Winkel aus Temperatur
α _T (mm/mK)	Wärmeausdehnungskoeffizient
ΔT (Kelvin)	Temperaturdifferenz

Für die Bemessung von Fassadenplatten aus Naturwerkstein kann nach der DIN 18 516-3 mit einem konstanten Wärmeausdehnungskoeffizient von

$$\alpha_T = 0,01 \text{ (mm/mK)} \quad (3)$$

gerechnet werden. Mit diesem Wert sind Quellerscheinungen des Materials mitberücksichtigt. Die gleichmäßige Temperatur stellt bei Fassadenplatten mit einer Ausführung der Befestigung mit Fest- und Gleitpunkten keine wesentliche Beanspruchung dar.

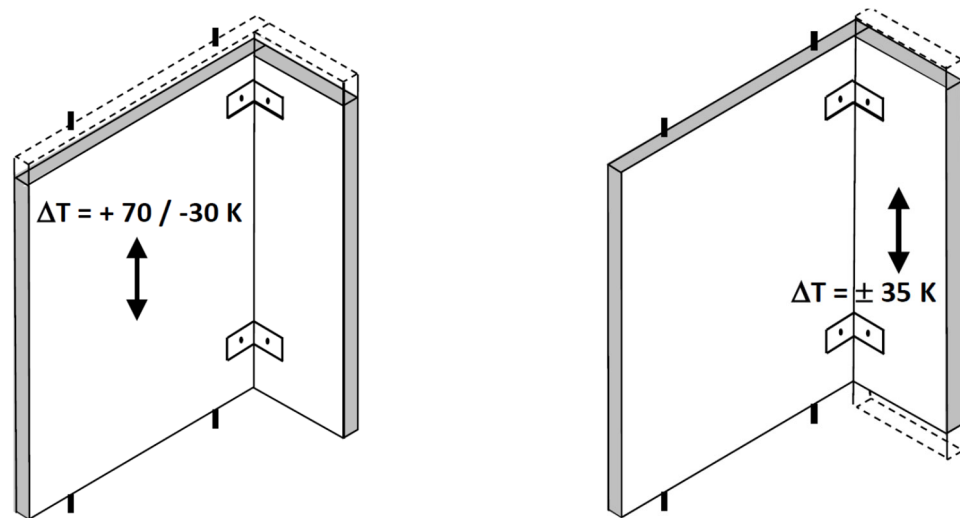


Bild 8: gleichmäßige Temperaturbeanspruchung

Der Temperaturunterschied zwischen Leibung und Fassadenplatte (Mutterplatte), wie ihn die DIN 18516-1 vorgibt, hingegen führt zu einer wesentlichen Beanspruchung von Mutter- und Leibungsplatte. Die Beanspruchung ist abhängig vom Abstand der Winkel und der wirksamen Steifigkeit der Winkelverbindung. Durch eine Auswahl von geeigneten Winkelverbindungen ist die Aufnahme der Verformungen aus Temperatur möglich.

2.4 ungleichmäßige Temperatur

Der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Rückseite der Fassade führt zur Verwölbung von Fassadenplatten. Bei einer Befestigung der Fassadenplatten an vier Punkten, die auf einem Kreis (Bild 4) liegen, sind keine wesentlichen Beanspruchungen (Zwängung) aus einer Verwölbung zu erwarten. Bei mehr als vier Befestigungen der Fassadenplatte ergeben sich aus dem Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Rückseite Beanspruchungen der Befestigung und der Fassadenplatte. Die Größe der Beanspruchung ist abhängig von der Plattendicke und dem Elastizitätsmodul.

Die DIN 18516-1 macht allgemeine Vorgaben für den Temperaturunterschied zwischen Vorder- und Rückseite von Fassadenplatten.

$$\Delta T = 1,5 \times d$$

(4)

d (cm) Plattendicke
ΔT (K) Temperaturunterschied

Bei aufgesetzten Fassadenplatten (Bilder 9 und 10) führt die Belastung aus ungleicher Temperatur zur Kantenpressung von Fassadenplatten.

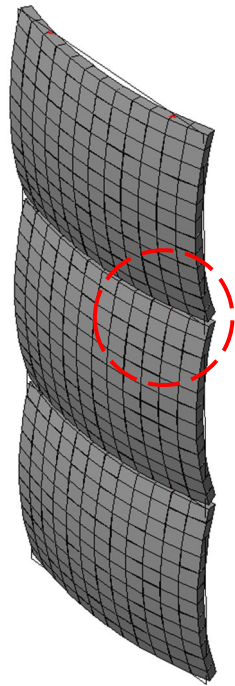


Bild 9: Temperaturverformung (überhöht)

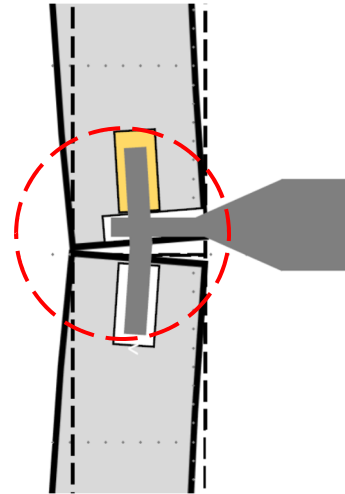


Bild 10: Kantenpressung

Werden bei aufgesetzten Fassadenplatten (Bilder 11 und 12) die Fugen mit unterschiedlicher Qualität ausgeführt, führt dies zu einer Eckpressung und einer großen Beanspruchung des Fassadenmaterials.



Bild 11: gleichmäßige Pressfuge



Bild 12: mangelhafte Pressfuge

Wird eine Fassadenkonstruktion zusätzlich durch Erdbeben beansprucht, können die Fassadenplatten gegen einander schlagen. Die Beanspruchung der Fassadenkonstruktion durch ungleich Temperatur hat im Wesentlichen einen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit der Fassade.

2.5 Erdbeben

Die Belastung durch Erdbeben erfolgt nach DIN EN 1998-1. Die Größe der Beanspruchung ist vom Standort des Bauwerks und von zusätzlichen Faktoren abhängig.

2.6 Lastkombinationen

Bei der Konstruktion von Fassaden nach DIN 18516-3 und 18516-5 werden Beanspruchungen aus gleichmäßiger und ungleichmäßiger Temperatur auf ein Minimum reduziert oder ausgeschlossen. Werden Fassadenplatten konstruktiv auf einander gesetzt, wird die Beanspruchung aus gleichmäßiger Temperatur zu einem maßgeblichen Lastfall für die Bemessung der Verankerung, der Verbindung und Befestigung.

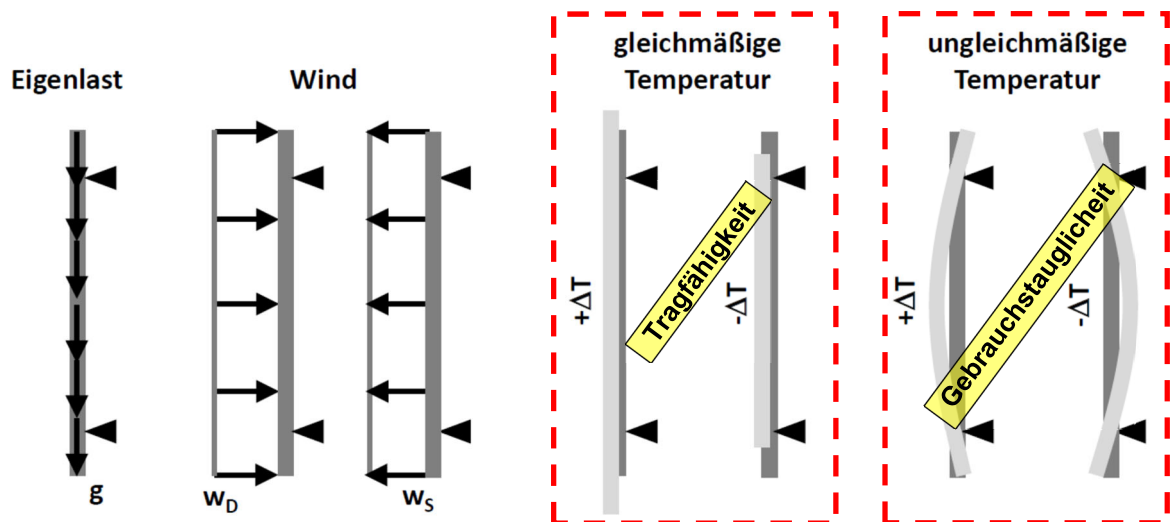


Bild 13: Belastung Fassade

Die Belastung aus ungleichmäßiger Temperatur kann durch Kanten- und Eckpressung zu einer Reduzierung der Gebrauchstauglichkeit der Fassade führen.

3 Materialkennwerte

3.1 Widerstand Befestigung

3.1.1 Dornbefestigung

Am häufigsten werden die Platten durch Ankerdorne gehalten, die in ein Bohrloch in der Plattenkante eingreifen. Für den Einbau sind nach DIN 18516-3 und 18516-5 die in Bild 14 dargestellten Abmessungen einzuhalten. Der Widerstand einer Dornbefestigung nach DIN EN 13364, Prüfung von Naturstein - Bestimmung der Ausbruchlast am Ankerdornloch, bestimmt. Zum Ausgleich der Temperaturbewegungen von Platten wird bei Ankern mit beidseitigen Dornen eine Seite in einer Gleithülse aus Polyacetat gelagert. Der Dorn mit und ohne Gleithülse werden mit Klebstoff oder Zementleim in das Ankerdornloch eingesetzt.

Durch die Vorgaben der DIN 18 516 gehört die Dornlagerung zu den meist untersuchten Befestigungsmittel im Natursteinbereich. Auf die Größe des Ausbruchwertes haben die Faktoren

- Strukturgefüge des Natursteins (Grobkörnig bzw. kompakt)
- Festigkeit des Natursteins (Druck- bzw. Biegefestigkeit)
- Dorndurchmesser
- Dornlagerung (Eingemörtelt bzw. Gleithülse)
- Statisches System des Ankers (Anker mit ein- bzw. beidseitigem Dorn)

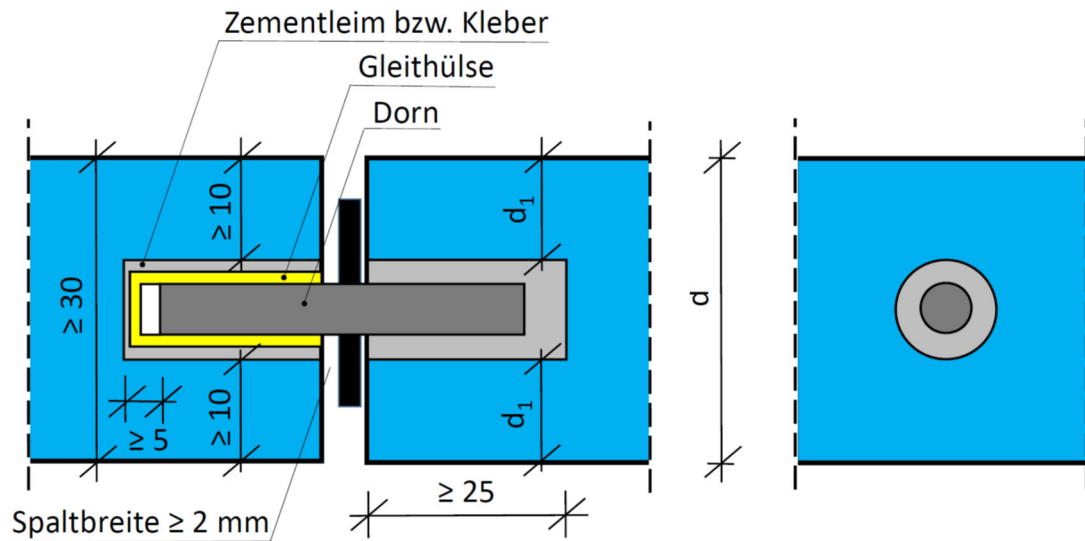


Bild 14: Mindestabmessungen der Dornbefestigung

Bei aufgesetzten Fassadenplatten wird durch die thermische Ausdehnung des Fassadenmaterials der Dorn in Richtung seiner Achse beansprucht. Es ist davon auszugehen, dass der eingemörtelte bzw. geklebte Dorn in Richtung der Dornachse Kräfte übertragen kann. Wenn dies nicht der Fall wäre, wird der Dorn im Dornloch zyklisch bewegt und hierdurch geschädigt.

3.1.2 Steckdornbefestigung

Die Regelung zur Steckdornbefestigung findet sich in der DIN 18516-3 bzw. DIN 18516-5. Der Widerstand einer Steckdornbefestigung wird nicht versuchstechnisch bestimmt. Der Widerstand ergibt sich aus der doppelten Tragfähigkeit einer Dornbefestigung.

Für den Steckdorn darf nach DIN 18516-3 bzw. 18516-5 die zweifache Tragfähigkeit einer Dornbefestigung für zentrischen Zug angenommen werden. Für den Querkzug kann je nach Randabstand die einfache bis zweifache Tragfähigkeit einer Dornbefestigung angenommen werden.

3.1.3 Hinterschnittanker

Für den Einsatz eines Hinterschnittankers ist eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Die Tragfähigkeit kann, soweit das zu verwendende Material in der Zulassung genannt ist, aus der Zulassung entnommen werden. Für alle anderen Materialien ist die Tragfähigkeit nach TR 062 zu bestimmen.

3.2 Raumgewichte

Das Raumgewicht dient zur Ermittlung der Eigengewichtslast der Fassadenplatte.

Raumgewichte	
Material	Raumgewicht ρ (kN/m ³)
Basalt, Melaphyr, Diorit, Gabbro	30
Basaltlava	24
Diabas	29
Granit, Syenit, Porphy	28
Tachyt	26
Grauwacke, Sandstein, Nagelfluh	27
Dichter Kalkstein, Dolomit	28
Muschelkalk, Marmor	28
Kalkkonglomerat, Travertin	26
Vulkanischer Tuffstein	20
Gneis, Granulit	30
Serpentin	27
kunststoffgebundene Mineralstoffplatten	19
Beton	24
Polymerbeton	28
Faserbeton	21
Feinsteinzeug	25
HPL-Platten	14

Tabelle 1

Das Raumgewicht wird teilweise bei Prüfungen des Materials ermittelt. Liegen keine Versuchswerte vor, können die Werte der DIN EN 1991-1-1 als Grundlage dienen. Hinweise für das Raumgewicht finden sich in der Tabelle 1.

3.3 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul dient zur Ermittlung der Verformung und ist unterschiedlich für jede Materialart. Aus der Materialdicke und dem Elastizitätsmodul ergibt sich die Steifigkeit des Fassadenmaterials. Je größer die Steifigkeit des Fassadenmaterials ist, umso kleiner ist der Einfluss auf die wirksame Querkzugsteifigkeit der Winkelverbindung. Bei Werksteinfassaden mit einer Nenndicke ≥ 20 mm kann der Einfluss des Fassadenmaterials vernachlässigt werden. Hinweise auf den Wert für den E-Modul finden sich in der Tabelle 2.

Elastizitätsmodul	
Material	E-Modul (N/mm ²)
Granite	38000 - 76000
Syenite	64000
Gabbros	112000 - 125000
Dunite	60000 - 178000
Porphyre	25000 - 65000
Diabase	78000 - 115000
Basalte	58000 - 103000
Sandsteine	8000 - 18000
Quarzite, Grauwacken	74000 - 77000
Kalksteine (mesozoisch)	40000 - 74000
Kalksteine (paläozoisch)	62000 - 92000
Kreide, weich	8000
Karbon-Tonschiefer (II z. Schieferung)	30000 - 38000
Karbon-Tonschiefer (I z. Schieferung)	1000 - 17000
Gneise (II z. Schieferung)	36000
Gneise (I z. Schieferung)	15000
Stahl	210000
Grauguß	100000
Aluminiumlegierungen	70000 - 72000
Holz	10000 - 12000
kunststoffgebundene Mineralstoffplatten	8500 - 10000
Beton	12000 - 40000
Polymerbeton	20000
Faserbeton	12000
Feinsteinzeug	50000 - 70000
HPL-Platten	9000 - 0000

Tabelle 2

3.4 Thermische Ausdehnung

Die thermische Ausdehnung ist materialspezifisch. Ihre Größe wird durch den Wärmeausdehnungskoeffizienten angegeben. Mit diesem Wert lässt sich die Längenänderung der Fassadenplatte und die erforderliche Fugenbreite ermitteln. Werte für verschiedene Materialien sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Die Unterschiedliche Verformung von Fassadenplatte und Leibung führt zu einer Beanspruchung der Winkelverbindungen. Das Maß der Beanspruchung ist von der Querkraftsteifigkeit der Winkel und dem Abstand der äußeren Winkel abhängig.

Wärmeausdehnungskoeffizient	
Material	Dehnung (mm/mK)
Sandstein	0,0120
Basalt	0,0090
Gabbro	0,0088
Granit, Syenit	0,0080
Kalkstein	0,0070
Dichte Kalk- und Dolomitsteine	0,0075
Travertine	0,0068
Quarzit, Quarzporphyr, Porphyrit	0,0125
Trachyte	0,0100
Diabas	0,0075
Andesite	0,0053
Diorit	0,0088
kunststoffgebundene Mineralstoffplatten	0,030 – 0,037
Beton	0,0100
Polymerbeton	0,0180
Faserbeton	0,0100
Feinsteinzeug	0,0060
HPL-Platten	0,0180

Tabelle 3

4 Verankerung und Unterkonstruktion

4.1 Mörtelanker

Mörtelanker sind in der DIN 18516-3 und 18516-5 geregelt. Durch die Form (Bilder 15 und 16) der Mörtelanker können die Verformungswiderstände reduziert werden.

Halteanker



Halteanker



Traganker



Traganker



Bild 15: Verankerung Horizontalfuge

Bild 16: Verankerung Vertikalfuge

Mit Hilfe der verschiedenen Formen lassen sich zwängungsarme Konstruktionen von Werksteinfassaden herstellen. Werden Mörtelanker bei aufgesetzten Fassadenplatten eingesetzt, beeinflussen sich die Traganker der einzelnen Platten gegenseitig. Die hierdurch entstehenden Zwangsbeanspruchungen sind vom Verschiebewiderstand der Mörtelanker abhängig.

Die Federsteifigkeit eines Mörtelankers und der hieraus entstehende Verschiebewiderstand können näherungsweise nach folgenden Beziehungen ermittelt werden.

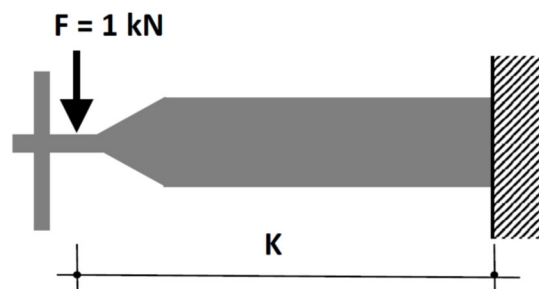


Bild 17: statisches System

$$f = \frac{1000 \cdot F \cdot K^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{1000 \cdot F \cdot K^3 \cdot 12}{3 \cdot E \cdot t \cdot h^3}$$

$$= \frac{4000 \cdot K^3}{E \cdot t \cdot h^3}$$

$$C_{q,v} = \frac{1}{f} = \frac{E \cdot t \cdot h^3}{4000 \cdot K^3}$$

(5)

f	(mm/kN)	Einheitsdurchbiegung Mörtelanker
F	(kN)	Einheitslast 1 kN
K	(mm)	Auskragung Mörtelanker
E	(N/mm ²)	Elastizitätsmodul (200 000 N/mm ²)
I	(mm ⁴)	Trägheitsmoment Mörtelanker
t	(mm)	Stegdicke Mörtelanker
h	(mm)	Steghöhe Mörtelanker
C_{q,v}	(MN/m)	Federsteifigkeit Mörtelanker

Die Bemessung der Mörtelanker erfolgt nach DIN EN 1993-1-4. Der Nachweis des Verankerungsgrundes erfolgt nach DIN 18516-3 oder DIN 18516-5.

4.2 Unterkonstruktion

Unterkonstruktionen könne sowohl aus nicht rostenden Stählen oder aus Aluminium bestehen. Die Bemessung von Alu-Unterkonstruktionen erfolgt nach DIN EN 1999-1-1.

5 Winkelverbindung

Die Winkelverbindungen müssen sowohl das Gewicht, die Windbelastung als auch die Temperaturbelastung der Leibungsplatte in die Fassadenplatte abtragen. Bei Konstruktionen mit aufgesetzten Platten werden die Winkelverbindungen auch durch die Temperaturbeanspruchung der Fassade zusätzlich beansprucht.

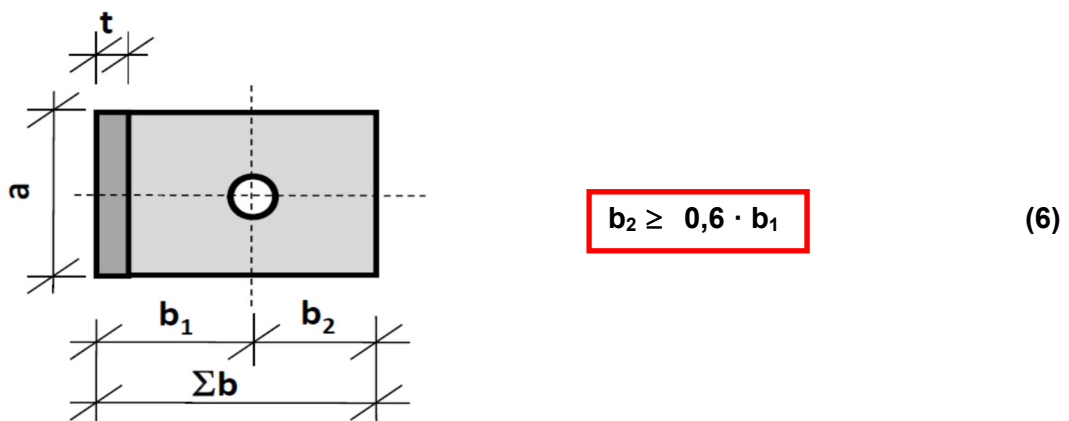


Bild 18: Abmessungen Leiwinkel

Winkelverbindungen werden sowohl auf Biegung als auch auf Querkzug beansprucht. Die Beanspruchung des Winkels infolge Längenänderung durch Temperatur ist von der Steifigkeit des Winkels abhängig. Die Steifigkeit des Winkels ist abhängig von der Geometrie des Winkels, der Federwirkung und Lage der Befestigung und der Biegesteifigkeit der zu verbindenden Platten. Die Winkelverbindungen bestehen aus nicht rostenden Stahl oder Aluminium.

5.1 Befestigung

Winkelverbindungen dienen als Befestigung von Leibungsplatten an Fassadenplatten. Die Befestigung der Winkel erfolgt entweder mit einer Steckdornbefestigung nach DIN 18516-3 bzw. 18516-5 oder mit einer Hinterschnittbefestigung.

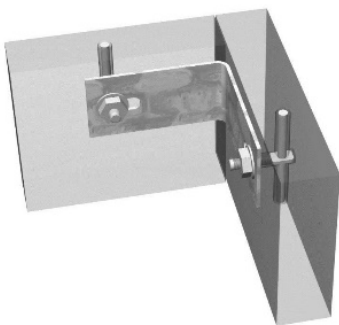


Bild 19: Steckdorn

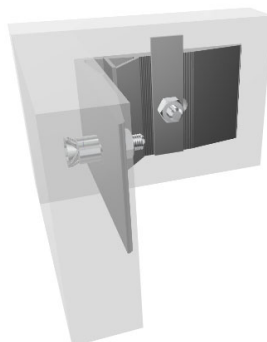


Bild 20: Hinterschnittanker System fischer

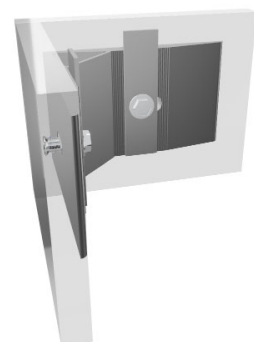


Bild 21: Hinterschnittanker System KEIL

5.2 Biegung

Die Winkelverbindung wird infolge Eigenlast bei Sturzleibungen und Windbeanspruchung auf Biegung beansprucht. Für die Ermittlung der Beanspruchung der Befestigung ist die Kenntnis des inneren Hebelarms erforderlich. Der Hebelarm wird üblicherweise vereinfachend mit $5/6 \times b_1$ bzw. $5/6 \times b_2$ angenommen.

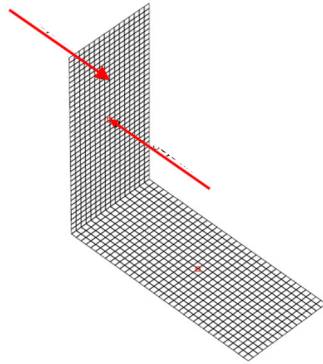


Bild 22: System

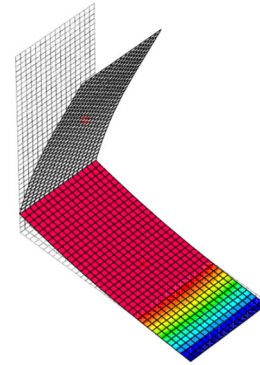


Bild 23: Auflagerdruck Winkel

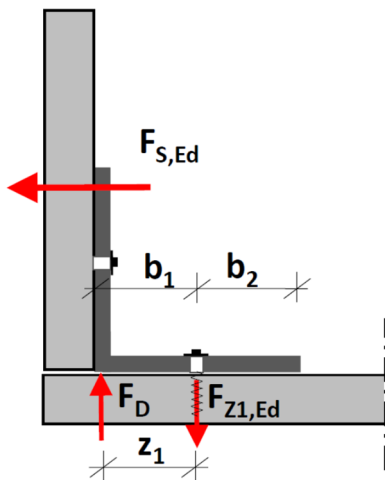


Bild 24: Windsog

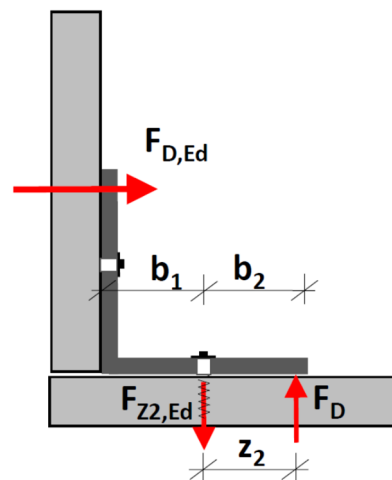


Bild 25: Winddruck

$$z_1 = \frac{5 \cdot b_1}{6} \quad (7)$$

$$M_{S,W} = \frac{B_L \cdot F_{S,Ed}}{2} \quad (8)$$

$$F_{Z1} = \frac{1000 \cdot M_{S,W}}{z_1} \quad (9)$$

$$z_2 = \frac{5 \cdot b_2}{6} \quad (10)$$

$$M_{D,W} = \frac{B_L \cdot F_{D,Ed}}{2} \quad (11)$$

$$F_{Z2} = \frac{1000 \cdot M_{D,W}}{z_2} \quad (12)$$

B_L (m)	Leibungsbreite
b_1 (mm)	Randabstand Befestigung
b_2 (mm)	Randabstand Befestigung
z_1 (mm)	wirksamer Hebelarm
z_2 (mm)	wirksamer Hebelarm
$F_{s,Ed}$ (kN)	Beanspruchung Befestigung
$F_{d,Ed}$ (kN)	Beanspruchung Befestigung
F_{z1} (kN)	Beanspruchung Befestigung
F_{z2} (kN)	Beanspruchung Befestigung
$M_{s,w}$ (kNm)	Moment aus Windsog am Winkel
$M_{d,w}$ (kNm)	Moment aus Winddruck am Winkel

5.3 Querzug

Die Beanspruchung aus Querzug ergibt sich aus dem Gewicht der Leibung und aus der Verformung infolge Temperatur. Bei aufgesetzten Fassadenplatten ergeben sich zusätzliche Beanspruchungen durch die gleichmäßige Erwärmung der Konstruktion.

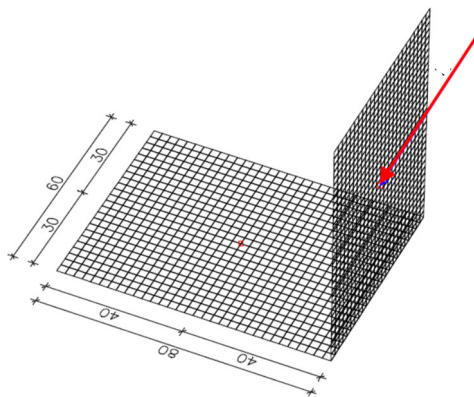


Bild 26: System

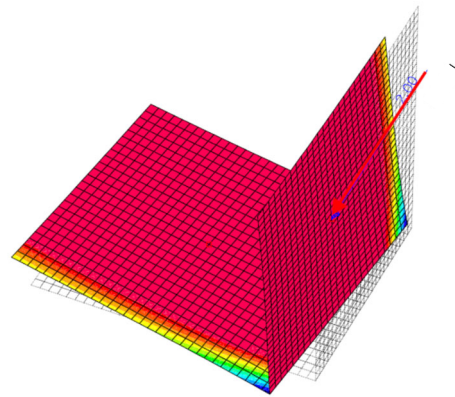


Bild 27: Auflagerdruck Winkel

Die Geometrie, das Material des Winkels und das Drehmoment der Schraubenmutter der Befestigung beeinflussen das Tragverhalten.

5.1 Querzugsteifigkeit Winkel

Die Querzugsteifigkeit eines Verbindungswinkels kann durch Versuche ermittelt werden. Hierbei ist das Drehmoment (Vorspannung) der Schraube zu berücksichtigen. Die Verformung eines durch Querzug beanspruchten Winkels weist infolge der Vorspannung einen nichtlinearen Verlauf auf.

Die Ermittlung der Querzugsteifigkeit eines Winkels kann vereinfachend mit Hilfe der Tabellen 4 und 5 ermittelt werden.

Alu-Winkel - Querzugsteifigkeit C_q (MN/m)																
M_V (Nm)	a (mm)	Winkeldicke $t = 6$ mm					Winkeldicke $t = 7$ mm					Winkeldicke $t = 8$ mm				
		Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)				
		30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
4	40	1,3	0,8	0,6	0,4	0,3	1,8	1,1	0,8	0,6	0,5	2,3	1,4	1,0	0,8	0,6
	50	2,1	1,3	0,9	0,6	0,5	2,9	1,7	1,2	0,9	0,7	3,8	2,3	1,6	1,2	0,9
	60	3,1	1,8	1,2	0,9	0,7	4,3	2,5	1,7	1,2	1,0	5,7	3,4	2,8	1,7	1,3
	70	4,4	2,5	1,6	1,2	0,9	6,0	3,5	2,3	1,7	1,3	8,1	4,7	3,2	2,3	1,8
	80	5,8	3,2	2,1	1,5	1,1	8,1	4,6	3,0	2,1	1,6	11,0	6,3	4,2	3,0	2,3
10	40	2,1	1,2	0,8	0,6	0,4	2,9	1,7	1,1	0,8	0,6	4,0	2,3	1,6	1,1	0,9
	50	3,4	1,9	1,2	0,8	0,6	4,8	2,7	1,7	1,2	1,0	6,6	3,7	2,4	1,8	1,4
	60	4,9	2,6	1,7	1,2	0,9	7,1	3,8	2,4	1,7	1,3	9,9	5,4	3,5	2,5	1,9
	70	6,7	3,5	2,2	1,5	1,1	9,9	5,3	3,3	2,3	1,7	14,0	7,5	4,7	3,3	2,5
	80	8,8	4,6	2,8	1,9	1,4	13,2	6,9	4,2	2,9	2,2	18,8	10,0	6,2	4,3	3,2

Tabelle 4

Stahl-Winkel - Querzugsteifigkeit C_q (MN/m)																
M_V (Nm)	a (mm)	Winkeldicke $t = 4$ mm					Winkeldicke $t = 5$ mm					Winkeldicke $t = 6$ mm				
		Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)				
		30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
4	40	1,2	0,7	0,5	0,4	0,3	1,8	1,1	0,8	0,6	0,5	2,6	1,6	1,1	0,9	0,7
	50	1,9	1,2	0,8	0,6	0,4	3,0	1,8	1,2	0,9	0,7	4,3	2,6	1,8	1,4	1,1
	60	2,8	1,6	1,1	0,8	0,6	4,4	2,6	1,7	1,3	1,0	6,5	3,9	2,7	2,0	1,6
	70	3,9	2,0	1,4	1,0	0,8	6,2	3,6	2,4	1,7	1,3	9,4	5,5	3,7	2,7	2,1
	80	5,1	2,9	1,8	1,3	1,0	8,4	4,8	3,1	2,2	1,7	12,7	7,4	4,9	3,5	2,7
10	40	1,9	1,1	0,7	0,5	0,4	3,0	1,8	1,2	0,9	0,7	4,6	2,7	1,8	1,3	1,1
	50	2,9	1,6	1,0	0,7	0,6	4,9	2,8	1,8	1,3	1,0	7,7	4,3	2,9	2,1	1,6
	60	4,3	2,3	1,4	1,0	0,7	7,3	4,0	2,5	1,8	1,4	11,6	6,4	4,1	3,0	2,3
	70	5,9	3,1	1,9	1,3	1,0	10,2	5,4	3,4	2,4	1,8	16,5	8,9	5,7	4,0	3,1
	80	7,7	4,0	2,4	1,6	1,2	13,6	7,1	4,4	3,0	2,3	22,4	11,9	7,4	5,2	4,0

Tabelle 5

5.2 Einfluss der Steifigkeit von Platte und Leibung

Die Beanspruchung der Winkel infolge Temperaturverformung führt zusätzlich zu einer lokalen Momentenbeanspruchung von Fassadenplatte und Leibung. Hieraus resultieren Verformungen, die zu einer Verschiebung der Winkel führen.

Die Verschiebung des Winkels infolge Temperaturbeanspruchung setzt sich somit aus drei Verschiebungen (Winkel, Platte und Leibung) zusammen. Hierdurch ergibt sich gegenüber der Querzugsteifigkeit des Winkels eine reduzierte Steifigkeit. Die Verformung der Fassadenplatte und der Leibung haben nur bei Fassadenplatten mit geringer Biegesteifigkeit, wie z.B. Faserzement- oder HPL-Platten, einen Einfluss auf die Querzugsteifigkeit. Bei Fassadenplatten aus Beton- und Naturwerkstein ist dieser Einfluss sehr gering und kann vernachlässigt werden.

5.3 wirksamer Hebelarm

Für die Ermittlung der Beanspruchung der Befestigung ist die Kenntnis des inneren Hebelarms erforderlich. Der Hebelarm wird üblicherweise vereinfachend mit $5/12 \cdot a$ angenommen. Die Ermittlung der Beanspruchung der Befestigung kann mit den folgenden Beziehungen ermittelt werden.

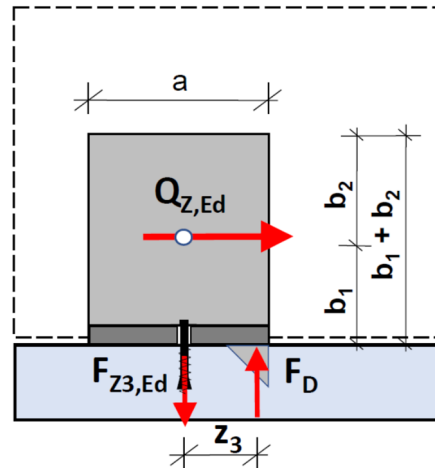


Bild 28: System

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

(13)

$$Q_{Z,Ed} = 1,35 G_W + Q_{Z,T}$$

(14)

$$F_{Z,Ed} = \frac{Q_{Z,Ed} \cdot b_1}{z_3}$$

(15)

b_1 (mm)	Randabstand Befestigung
z_3 (mm)	wirksamer Hebelarm
$Q_{Z,Ed}$ (kN)	Bemessungswert Qerzug Winkel
$Q_{Z,T}$ (kN)	Qerzug infolge Temperaturl
G_W (kN)	wirksames Gewicht Fassade
$F_{Z,Ed}$ (kN)	Bemessungswert Winkelbefestigung

Zur Ermittlung des Bemessungswertes der Befestigung ist die Überlagerung von Eigenlasten und Lasten aus Zwängung unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte erforderlich.

6 Beanspruchung aufgesetzter Fassadenplatten

Die Bilder 29 und 30 zeigen den prinzipiellen Unterschied zwischen einer Fassade nach 18516-3 und 18516-5 gegenüber einer Fassadenkonstruktion mit aufgesetzten Platten.

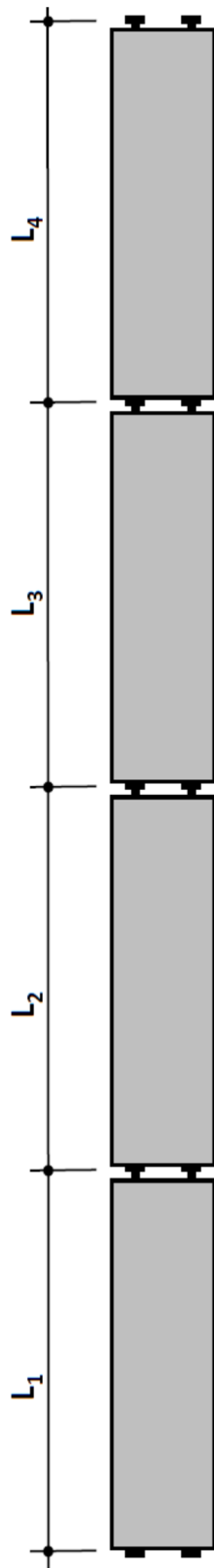


Bild 29: Fassade DIN 18516-3 oder DIN 18516-5

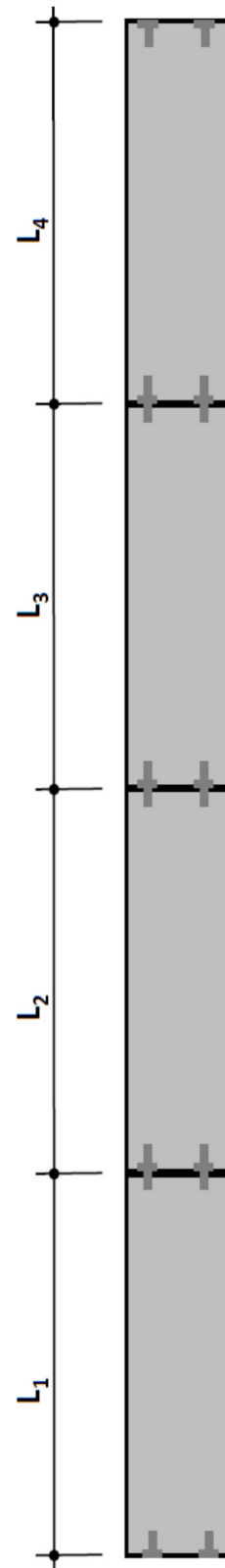


Bild 30: Fassade mit aufgesetzten Platten

Die übliche Konstruktion von Werksteinfassaden setzt eine Bewegungsmöglichkeit in der Fuge von mindestens 2 mm voraus. Dies leitet sich aus den Bedingungen zur Mindestspaltbreite zwischen Platte und Ankersteg (Bild 14) ab.

Die Befestigung der Fassadenplatten kann durch Mörtelanker oder an einer Unterkonstruktion (Bilder 31 und 32) erfolgen.

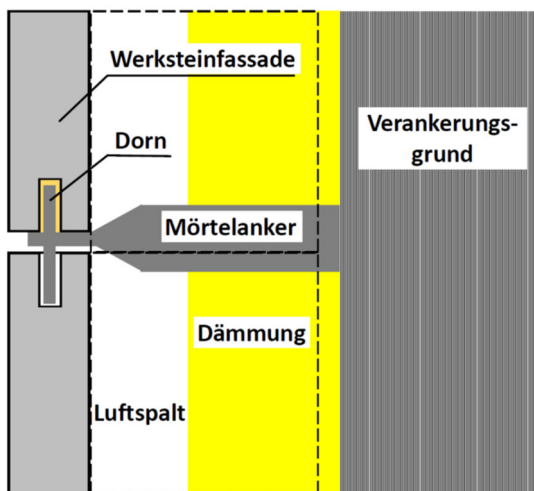


Bild 31: Mörtelanker

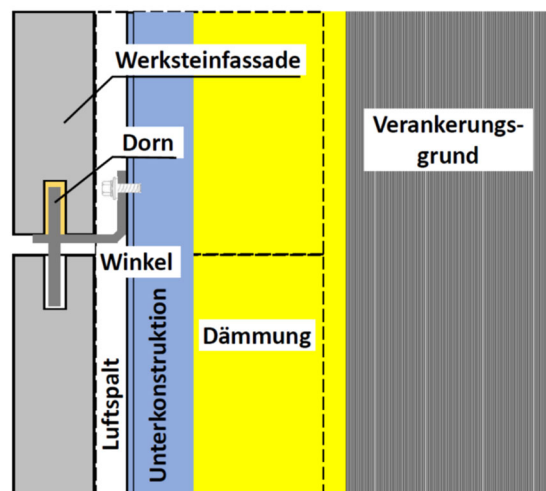


Bild 32: Unterkonstruktion

Bei einer Konstruktion entsprechend 18516-3 und 18516-5 (Bild 35) ist einer Zwängung infolge Temperatur der Verankerung bzw. der Unterkonstruktion ausgeschlossen.

Bei aufgesetzten Fassadenplatten (Bilder 33 und 34) ergibt sich planmäßig einer Zwängung der Verankerung bzw. der Unterkonstruktion.

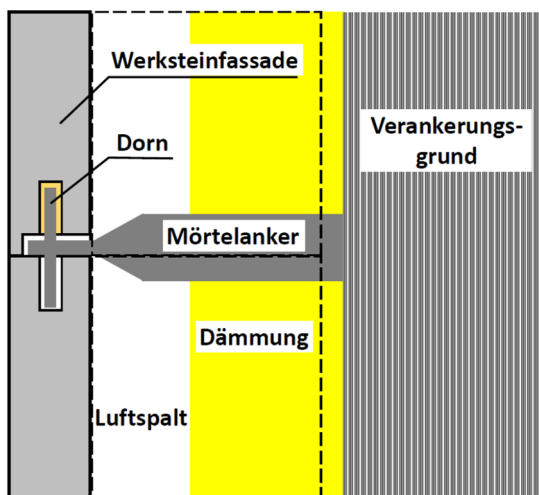


Bild 33: maximaler Hebelarm

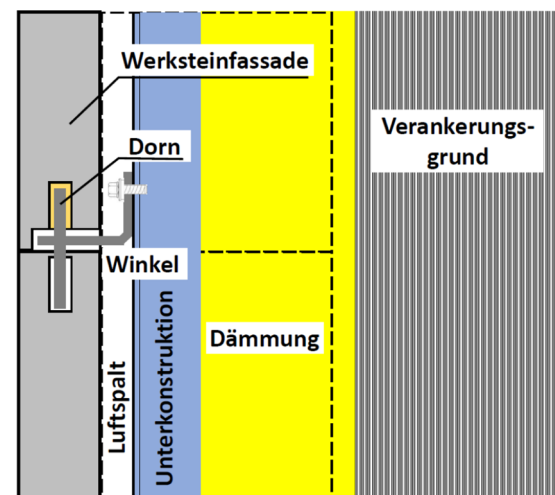


Bild 34: maximaler Hebelarm

Bei Abkühlung der Fassadekonstruktion (Bild 36) werden Gleitröhrchen der Befestigung wirksam und verhindern eine Zwängung der Konstruktion. Bei einer Temperaturerhöhung entsprechend DIN 18516-1 werden die Verankerungen verschoben und hieraus ergeben sich

zusätzliche Belastungen der Verankerung. Das Maß der Belastung ist abhängig vom Abstand der Befestigung vom Ruhepunkt des Systems und der Steifigkeit der Verankerung.

Beim Einsatz von vertikalen Tragprofilen aus Aluminium (Bild 34) ergeben sich keine Zwängungsbeanspruchungen. Dies ist darin begründet, dass Aluminium einen um den Faktor 2,0 bis 2,5 größere Ausdehnung bei Temperatur aufweist. Hieraus ergibt sich, dass bei einer Temperaturerhöhung die Fugen durch die Unterkonstruktion geöffnet werden.

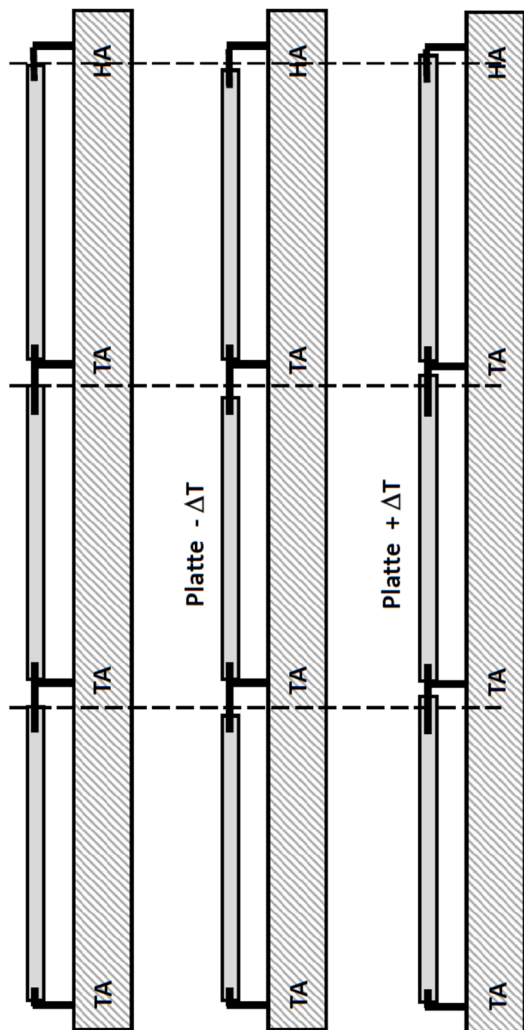


Bild 35: Fassade nach DIN 18516-3 und 18516-5

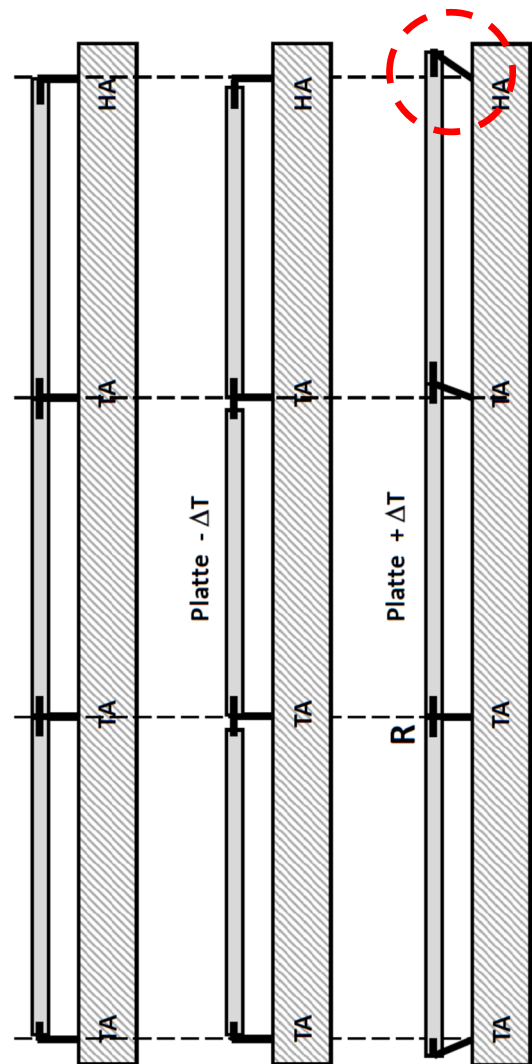


Bild 36: aufgesetzte Fassadenplatten

6.1 gleichmäßige Erwärmung Fassadenkonstruktion

Bei einer gleichmäßigen Erwärmung der Fassadenkonstruktion erwärmen sich als Fassadenteile auf gleiche Weise. Hierdurch dehnen oder verkürzen sich die Fassadenteile. Die Ausdehnung geht vom Ruhepunkt des Systems in alle Richtungen. Der Ruhepunkt des Systems ergibt daraus, dass die Verschiebewiderstände der Verankerungen auf beiden Seiten des Ruhepunktes entgegengesetzt gleich groß sind.

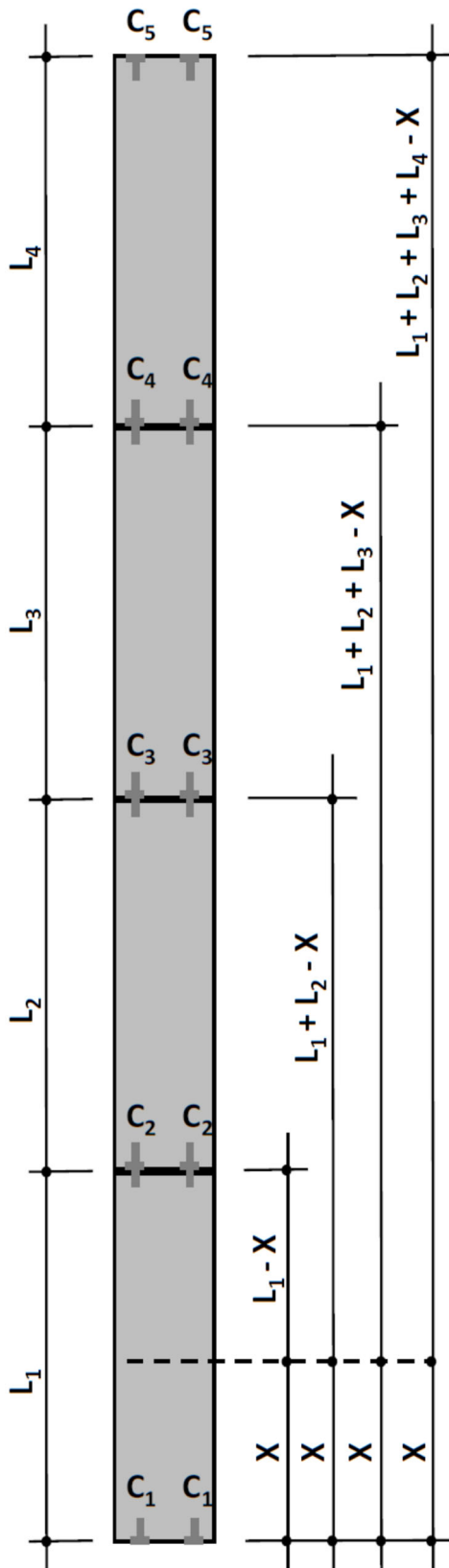


Bild 37: Ermittlung Ruhepunkt (allgemein)

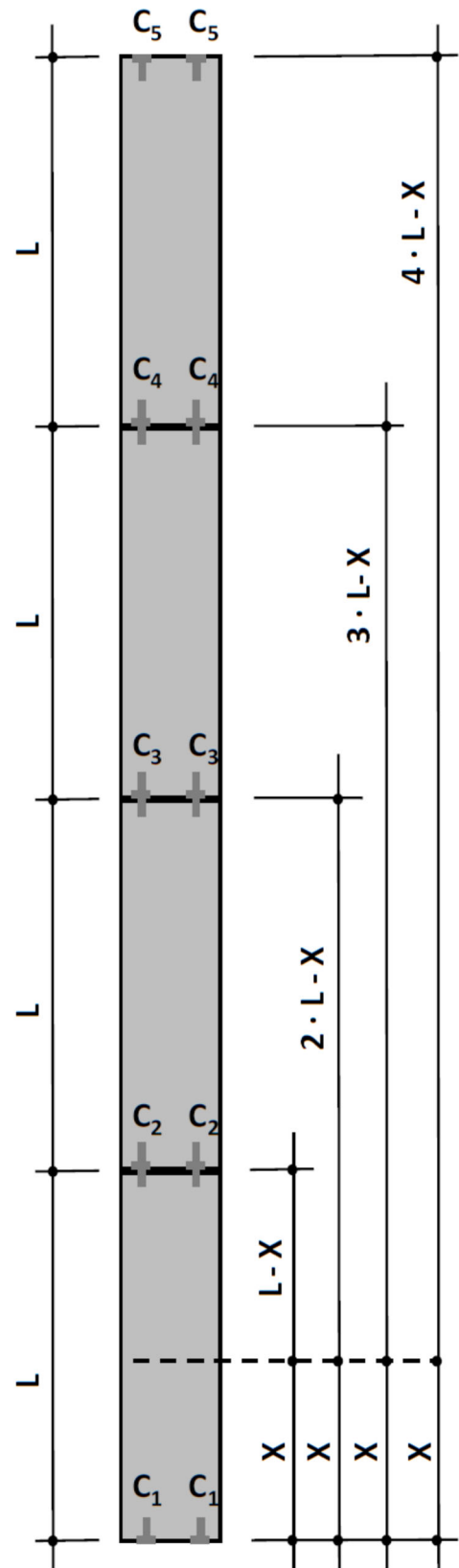


Bild 38: Ermittlung Ruhepunkt (Abmessungen gleich)

Bei ungleichen Plattenlängen und ungleichen Federsteifigkeiten ergibt sich der Ruhepunkt der Fassadenkonstruktion zu:

$$\alpha_T \cdot \Delta T \cdot 2 \cdot C_1 \cdot X = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot (2 \cdot C_2 \cdot (L_1 - X) + 2 \cdot C_3 \cdot (L_1 + L_2 - X) + 2 \cdot C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3 - X))$$

$$C_1 \cdot X = C_2 \cdot (L_1 - X) + C_3 \cdot (L_1 + L_2 - X) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3 - X)$$

$$C_1 \cdot X = C_2 \cdot (L_1 - X) + C_3 \cdot (L_1 + L_2 - X) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3 - X)$$

$$= C_2 \cdot L_1 - C_2 \cdot X + C_3 \cdot (L_1 + L_2) - C_3 \cdot X + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3) - C_4 \cdot X$$

$$X \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) = C_2 \cdot L_1 + C_3 \cdot (L_1 + L_2) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3)$$

$$X = \frac{C_2 \cdot L_1 + C_3 \cdot (L_1 + L_2) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \quad (16)$$

Es zeigt sich, dass beim Einsatz von Fassadenplatten aus gleichem Material der Ausdehnungskoeffizient die Temperaturdifferenz keinen Einfluss auf die Lage des Ruhepunktes haben.

Bei gleichen Plattenlängen ungleichen Federsteifigkeiten ergibt sich die Lage des Ruhepunktes zu:

$$X = \frac{L \cdot (C_2 + 2 \cdot C_3 + 3 \cdot C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \quad (17)$$

Bei gleichen Plattenlängen und Federsteifigkeiten ergibt sich die Lage des Ruhepunktes zu:

$$X = \frac{6 \cdot L \cdot C}{4 \cdot C} = 1,5 \cdot L \quad \text{für 4 Platten} \quad (18)$$

$$X = 1,0 \cdot L \quad \text{für 3 Platten} \quad (19)$$

$$X = 0,5 \cdot L \quad \text{für 2 Platten} \quad (20)$$

L_i (m)

Bauteillänge ($i = 1$ bis n)

C_i (m)

Federsteifigkeit Verankerung ($i = 1$ bis n)

α_T (mm/mK)

Wärmeausdehnungskoeffizient

ΔT (Kelvin)

Temperaturdifferenz

X (m)

Abstand Ruhepunkt von der Unterkante der Konstruktion

Die Zwängungskraft je Mörtelanker ergibt sich zu:

$$Q_{z,T} = C_{q,v} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot a_z \quad (21)$$

$Q_{z,T}$ (kN)	Qerzug infolge Temperatur
$C_{q,v}$ (MN/m)	Federsteifigkeit Mörtelanker
a_z (mm)	Abstand zum Ruhepunkt
α_T (mm/mK)	Wärmeausdehnungskoeffizient
ΔT (Kelvin)	Temperaturdifferenz

Die ermittelte Zwängungskraft ist mit der Gewichtslast je Mörtelanker zu überlagern.

6.2 gleichmäßige Erwärmung Leibung

Die Erwärmung der Leibungen führt zu einer entgegengesetzten Verschiebung der Winkel (Bild 39) an einer Fassadenplatte. Ebenfalls verschiebt sich durch die fehlenden Fugen das Gesamtsystem bestehend aus allen Leibungsplatten auf einer Seite.

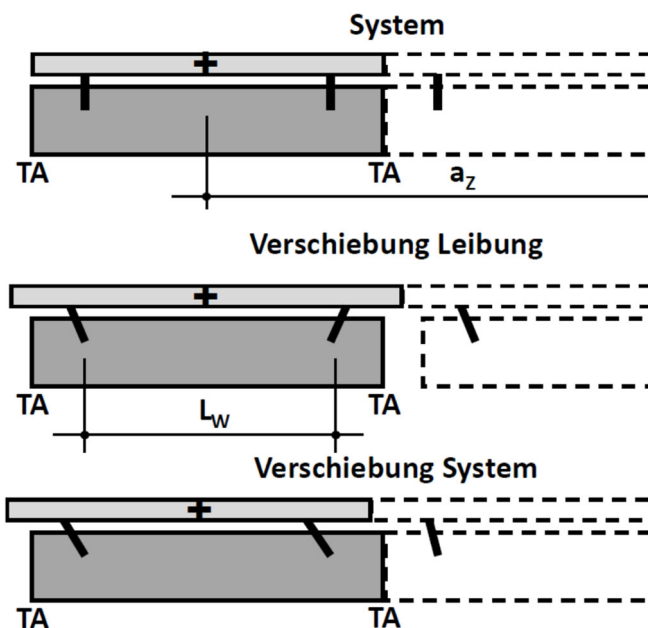


Bild 39: gleichmäßige Erwärmung Leibung

Die Beanspruchung der Winkel setzt sich zusammen aus der Verformung der einzelnen Leibungsplatte und der Verschiebung des Systems, bestehend aus der Summe der einseitigen Leibungsplatten. Die Ermittlung der Verschiebung des Systems geht von dem Schwerpunkt der Fassadenplatten aus.

Über die Winkelverbindungen werden Kräfte in die Fassadenplatten (Mutterplatte) eingeleitet, die zur Beanspruchung der Traganker der Fassadenplatten führen. Hierdurch ergeben sich Zwängungskräfte an den Mörtelankern, die von der Steifigkeit der Anker und Verbindungswinkel abhängig sind.

Durch die thermische Ausdehnung der Leibungsplatten erfolgt ein einseitiges Anheben der Mutterplatten. Hierdurch werden Gewichtslasten und Zwängungskräfte (Bild 41) in die Leibungsplatten eingeleitet und führen zu einer Zusatzbeanspruchung der Winkelverbindungen. Bei der untersten Fassadenplatte ist eine Gewichtsumlagerung nicht möglich, da sich die zugehörige Leibung nicht abstützen kann. Hier ist nur das Gewicht der Leibung wirksam.

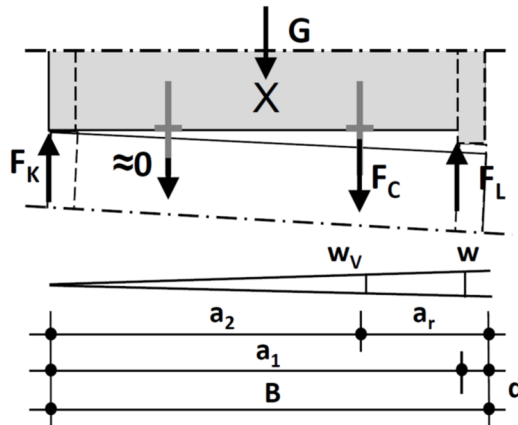


Bild 40: statisches System

$$F_C = C_{q,v} \cdot w_v$$

$$C^* \cdot w = C_{q,v} \cdot w_v$$

$$w_v = \frac{w \cdot a_2}{a_1}$$

$$C^* \cdot w = C_{q,v} \cdot \frac{w \cdot a_2}{a_1}$$

$$C^* = C_{q,v} \cdot \frac{a_2}{a_1}$$

(22)

$$C_{q,Ers.} = \frac{1}{\frac{1}{C^*} + \frac{1}{2 \cdot C_{q,W}}}$$

(23)

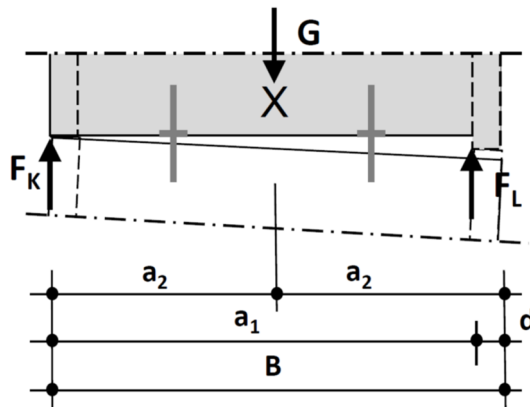
f	(mm/kN)	Einheitsdurchbiegung Mörtelanker
F_C	(kN)	Zwängungskraft am Mörtelanker
C_{q,v}	(MN/m)	Federsteifigkeit Mörtelanker
C_q	(MN/m)	Federsteifigkeit Leibungswinkel
C*	(MN/m)	Federsteifigkeit Mörtelanker an der Leibung
C_{q,Ers.}	(MN/m)	Federsteifigkeit aus Mörtelanker und Leibungswinkel
w	(mm)	Verschiebung Leibung
w_v	(mm)	Verschiebung Mörtelanker
a₁	(mm)	Abstand Leibung vom Drehpunkt
a₂	(mm)	Abstand Mörtelanker vom Drehpunkt
a_z	(m)	Abstand Plattenmittelpunkt vom Ruhepunkt

Die Federsteifigkeit der Verankerung wird durch die Federsteifigkeit der Winkelverbindungen beeinflusst. Je geringer die Steifigkeit der Winkelverbindungen ist, umso geringer ist Gesamtsteifigkeit aus Anker und Winkel.

Beim Einsatz von Halteankern ist die Steifigkeit so gering, dass deren Einfluss vernachlässigt werden kann. Wird nur die unterste Platte auf Tragankern gelagert und restlichen Platten

erhalten Haltewinkel, so ergeben sich keine Zwängungskräfte aus der Verschiebung (Bild 39) des Systems.

Zur Ermittlung der Ersatzsteifigkeit der Verankerung wird die Ankersteifigkeit in eine Steifigkeit reduziert, die an der Leibung die gleiche Wirkung aufweist. Anschließend werden die Steifigkeiten aus Anker und Winkelverbindungen zu einer Ersatzsteifigkeit überlagert.



$$G = L \cdot (2 \cdot B_L + B) \cdot 0,01 \cdot \rho \quad (24)$$

$$f_G = \frac{a_2}{a_1} \quad (25)$$

$$G_w = f_g \cdot G \quad (26)$$

Bild 41: statisches System

Für die Ermittlung der Zwängungskraft ist die Kenntnis der Lage des Ruhepunktes des Systems (Bild 37) erforderlich.

Bei ungleichen Plattenlängen und ungleichen Federsteifigkeiten ergibt sich:

$$C_1 \cdot X = C_2 \cdot (0,5 \cdot (L_1 + L_2) - X) + C_3 \cdot (0,5 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3) - X) + C_4 \cdot (0,5 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3 + L_4) - X)$$

$$X \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) = C_2 \cdot 0,5 \cdot (L_1 + L_2) + C_3 \cdot 0,5 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3) + C_4 \cdot 0,5 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3 + L_4)$$

$$= 0,5 \cdot (C_2 \cdot (L_1 + L_2) + C_3 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3) + C_4 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3 + L_4))$$

$$X = \frac{C_2 \cdot (L_1 + L_2) + C_3 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3) + C_4 \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3 + L_4)}{2 \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4)} \quad (27)$$

Bei gleichen Plattenlängen ungleichen Federsteifigkeiten ergibt sich:

$$X = \frac{L \cdot (C_2 + 2 \cdot C_3 + 3 \cdot C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \quad (28)$$

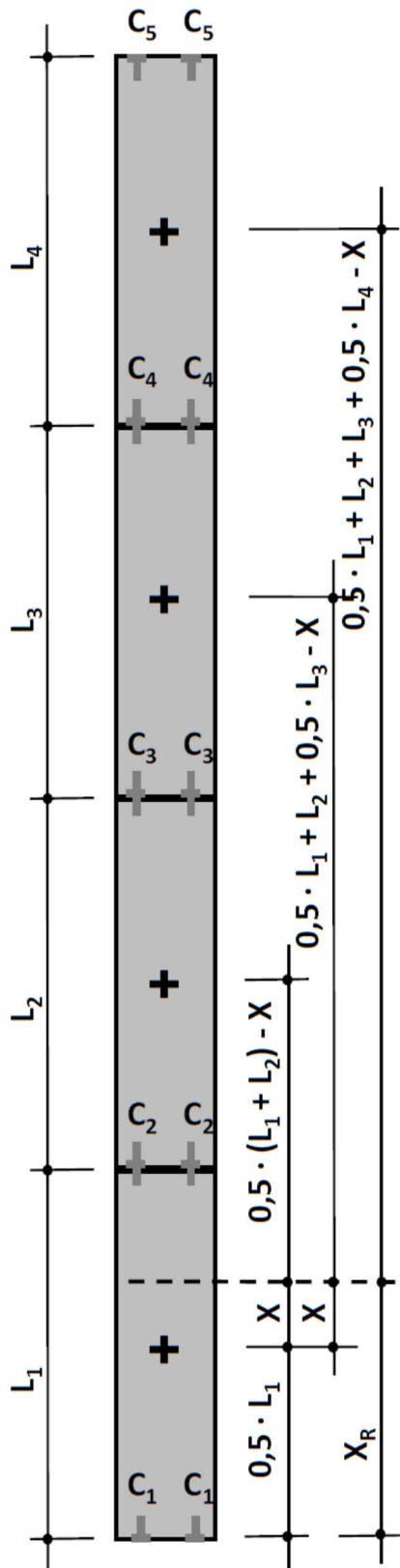


Bild 37: maximaler Hebelarm

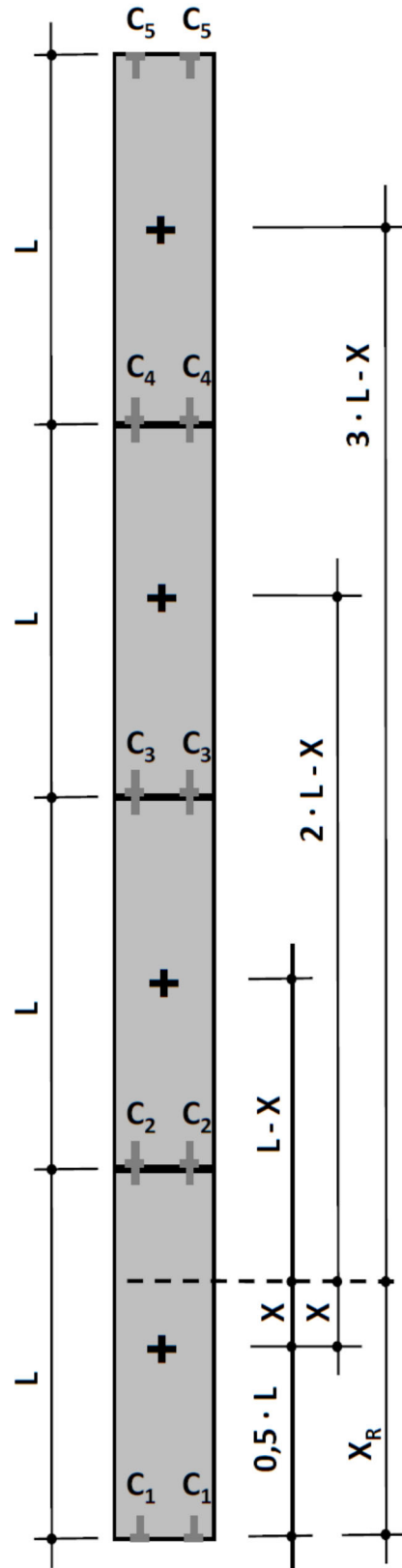


Bild 38: maximaler Hebelarm

Bei gleichen Plattenlängen und Federsteifigkeiten ergibt sich:

$$X = \frac{6 \cdot L \cdot C}{4 \cdot C} = 1,5 \cdot L \quad \text{für 4 Platten} \quad (29)$$

$$X = 1,0 \cdot L \quad \text{für 3 Platten} \quad (30)$$

$$X = 0,5 \cdot L \quad \text{für 2 Platten} \quad (31)$$

$$X_R = 0,5 \cdot L + X \quad (32)$$

Die Zwängungskraft der Winkel einer Fassadenplatte ergibt sich zu:

$$Q_{Z,T} = C_{q,Erd.} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot a_z \quad (33)$$

$Q_{Z,T}$ (kN)	Qerzug infolge Temperatur
$C_{q,Erd.}$ (MN/m)	Federsteifigkeit Winkeln und Mörtelanker
a_z (mm)	Abstand zum Ruhepunkt
α_T (mm/mK)	Wärmeausdehnungskoeffizient
ΔT (Kelvin)	Temperaturdifferenz

Die ermittelte Zwängungskraft ist mit der Gewichtslast je Winkelverbindung zu überlagern.

5 Literaturhinweise

- [1] **DIN 18516-1**
Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze
- [2] **DIN 18516-3**
Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 3: Naturwerkstein – Anforderungen, Bemessung
- [3] **DIN 18516-5**
Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 5: Betonwerkstein – Anforderungen, Bemessung
- [4] **EAD 330030-00-0601**
FASTENER OF EXTERNAL WALL CLADDINGS - AUGUST 2018

Anlagen (Informativ)

A Beispiele

A1: Aufgesetzte Platten mit Halteanker

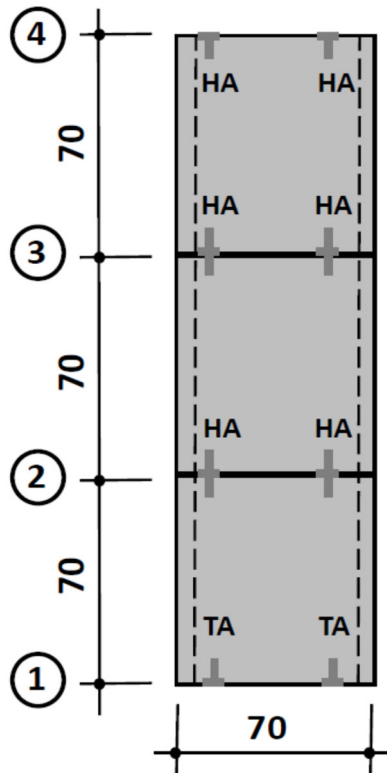


Bild 1: Abmessungen

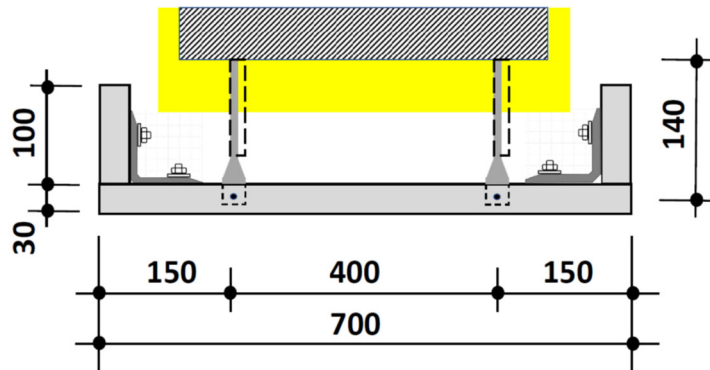


Bild 2: Schnitt

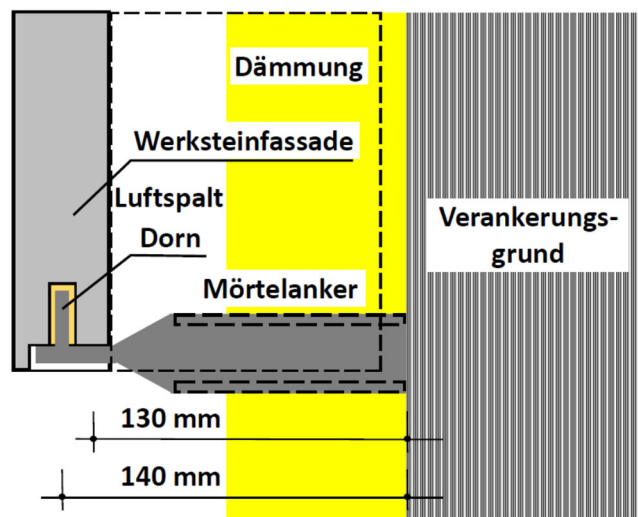


Bild 3: Traganker

Belastung:

Eigenlast:

$$\rho_D = 28 \text{ kN/m}^3$$

Wind:

Bleibt unberücksichtigt.

gleichmäßige Temperatur

Temperatur Montage +10 °C

Untere Temperatur -20 °C

Obere Temperatur +80 °C

max. $\Delta T = 80 - 10 =$ +70 °C

min. $\Delta T = -20 - 10 =$ -20 °C

Temperaturunterschied
Leibung/Mutterplatte 35 °C

Wärmeausdehnungskoeffizient α_T 0,01 m/mK

Belastung gleichmäßige Temperatur Fassade

Die Verankerung der Fassadenplatten werden entsprechend ihrer Größe für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt. Eine zusätzliche Beanspruchung der Verankerung ergibt sich nicht. Die Verformung am Kopf der Plattenreihe ergibt sich zu:

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \alpha_T$$

(1)

$$\begin{aligned} \Delta L &= 3 \cdot 0,70 \cdot 70 \cdot 0,01 \\ &= 1,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Belastung gleichmäßige Temperatur Leibung

Die Verankerung der Fassadenplatten werden entsprechend ihrer Größe für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt.

Winkel:

Stahl

t	=	4,0 mm	a	=	60 mm
b ₁	=	35 mm	b ₂	=	25 mm
a _r	=	80 mm	L _w	=	0,54 m

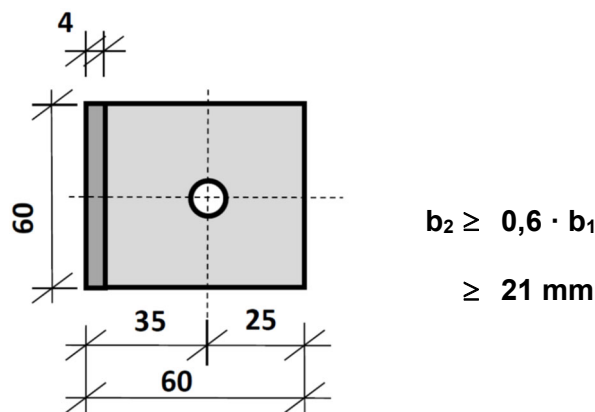


Bild 4: Winkelabmessungen

Stahl-Winkel - Querkzugsteifigkeit C_q (MN/m)																
M_V (Nm)	a (mm)	Winkeldicke $t = 4$ mm					Winkeldicke $t = 5$ mm					Winkeldicke $t = 6$ mm				
		Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)				
		30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
4	40	1,2	0,7	0,5	0,4	0,3	1,8	1,1	0,8	0,6	0,5	2,6	1,6	1,1	0,9	0,7
	50	1,9	1,2	0,8	0,6	0,4	3,0	1,8	1,2	0,9	0,7	4,3	2,6	1,8	1,4	1,1
	60	2,2	1,6	1,1	0,8	0,6	4,4	2,6	1,7	1,3	1,0	6,5	3,9	2,7	2,0	1,6
	70	3,9	2,0	1,4	1,0	0,8	6,2	3,6	2,4	1,7	1,3	9,4	5,5	3,7	2,7	2,1
	80	5,1	2,9	1,8	1,3	1,0	8,4	4,8	3,1	2,2	1,7	12,7	7,4	4,9	3,5	2,7
10	40	1,9	1,1	0,7	0,5	0,4	3,0	1,8	1,2	0,9	0,7	4,6	2,7	1,8	1,3	1,1
	50	2,9	1,6	1,0	0,7	0,6	4,9	2,8	1,8	1,3	1,0	7,7	4,3	2,9	2,1	1,6
	60	4,3	2,3	1,4	1,0	0,7	7,3	4,0	2,5	1,8	1,4	11,6	6,4	4,1	3,0	2,3
	70	5,9	3,1	1,9	1,3	1,0	10,2	5,4	3,4	2,4	1,8	16,5	8,9	5,7	4,0	3,1
	80	7,7	4,0	2,4	1,6	1,2	13,6	7,1	4,4	3,0	2,3	22,4	11,9	7,4	5,2	4,0

Tabelle 1: Winkelsteifigkeit

Die Winkelsteifigkeit beträgt: $C_q = 1,60$ MN/m

Platte Nr.	Plattenabmessungen				U - Mörtelanker		
	B_L cm	B cm	H cm	d cm	t mm	b mm	h mm
1	10	70	70	3	4	15	30
2	10	70	70	3	20		3
3	10	70	70	3	20		3

Tabelle 2: Verankerung

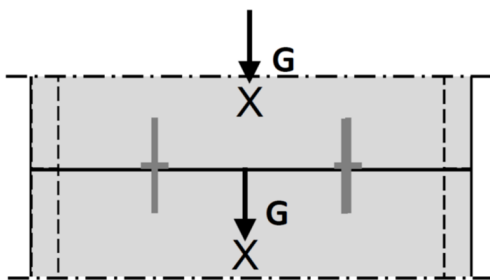


Bild 5: Haarfuge

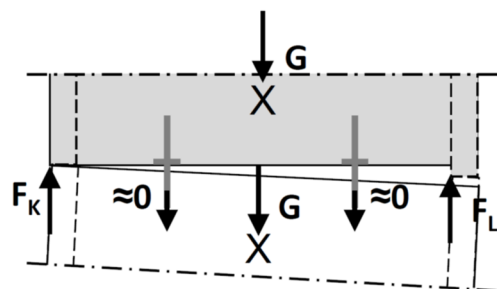


Bild 6: Gewichtsumlagerung

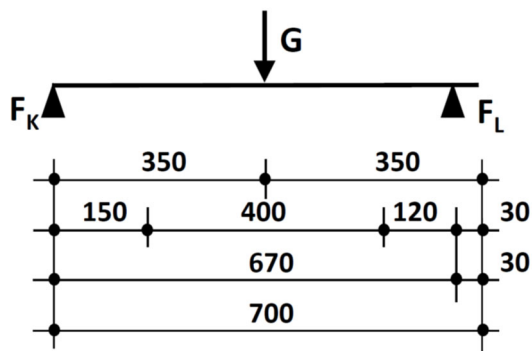


Bild 7: statisches System

$$f_G = \frac{a_2}{a_1} \tag{25}$$

$$f_G = \frac{350}{670} = 0,522 \text{ (Platte 2 und 3)}$$

$$f_G = 1,000 \text{ (Platte 1)}$$

Platte Nr.	Abmessungen				Roh-dichte	Gewicht	Faktor	Gewicht (wirksam)
	L m	B m	ΣB_L m	d cm	ρ kN/m ³	G kN	f_G /	G _w kN
1	0,70		0,10	3	28	0,059	1,000	0,059
2	0,70	0,70	0,20			0,529	0,522	0,276
3	0,70	0,70	0,20			0,529	0,522	0,276
Σ								0,611

Tabelle 3: wirksame Gewichtslasten

Belastung eines Winkels:

$$\Delta L = 0,5 \cdot L_w \cdot \Delta T \cdot \alpha_T \tag{2}$$

$$\Delta L = 0,5 \cdot 0,54 \cdot 35 \cdot 0,01 = 0,095 \text{ mm}$$

$$Q_{Z,T} = C_q \cdot \Delta L$$

$$= 1,60 \cdot 0,095 = 0,141$$

Platte Nr.	Gewicht		Q _{Z,T} (Anker)		Q _{Z,T} (Winkel)	Bemessungslast (Winkel)
	Leibung kN	Winkel kN	Leibung kN	Winkel kN	kN	Q _{Z,Rd} = 1,35 G + Q _{Z,T} kN
1	0,611	0,306			0,141	0,554
2	0,552	0,276			0,141	0,514
3	0,276	0,138			0,141	0,327

Tabelle 4: Querszugbelastung Winkel

Die größte Beanspruchung ergibt sich mit 0,554 kN an Leibung der Platte Nr. 1.

$$Q_{Z,Rd} = 0,554 \text{ kN}$$

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{6 \cdot 2} = \frac{5 \cdot 60}{2 \cdot 6} = 25,0 \text{ mm} \quad (13)$$

Die Beanspruchung der Befestigung Winkelverbindung ergibt sich zu:

$$F_{Z,Ed} = \frac{Q_{Z,Ed} \cdot b_1}{z_3} = \frac{0,554 \cdot 35}{25,0} \quad (15)$$
$$= 0,777 \text{ kN}$$

Die Querkzugbeanspruchung des Winkels bei Ausführung der Fassade nach DIN 18516-3 ergibt sich zu:

$$F_{Z,Rd} = 1,35 \cdot 0,059 + 0,141$$
$$= 0,221 \text{ kN}$$

Durch die aufgesetzten Platten bei der Fassadenkonstruktion ergibt eine Lasterhöhung für den Leibungswinkel um ca. 250%.

A2: Aufgesetzte Platten mit Traganker je Platte

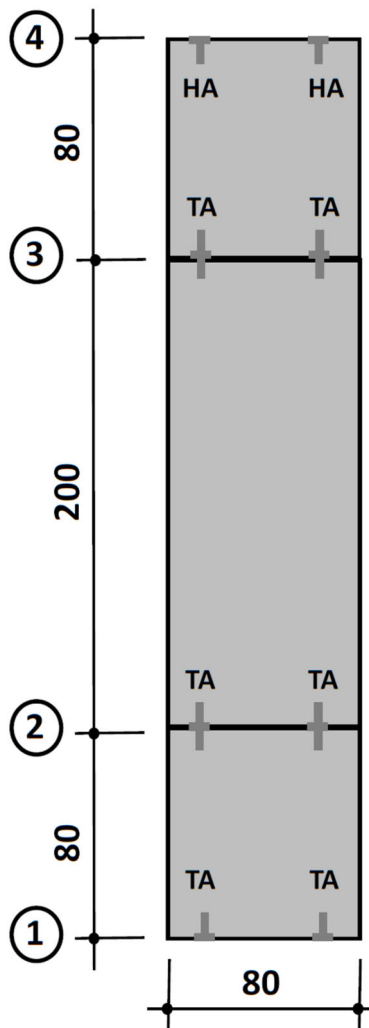


Bild 1: Abmessungen

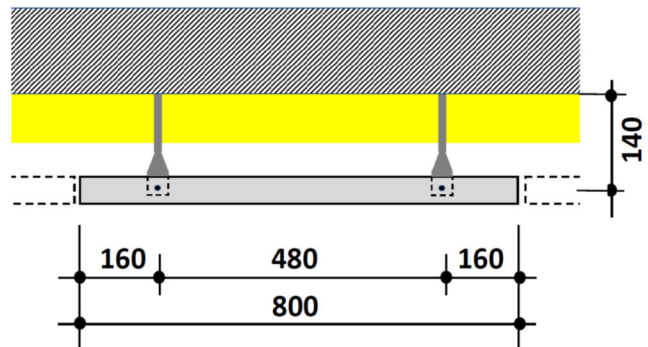


Bild 2: Querschnitt

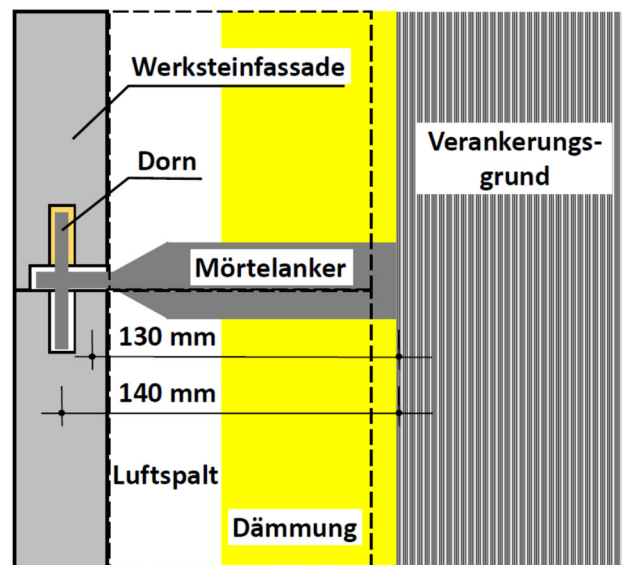


Bild 3: Verankerung

Belastung:

Es wird lediglich der Einfluss von Eigenlast und Temperatur berücksichtigt. Hierdurch lässt sich die Besonderheit von aufgesetzten Platten aufzeigen.

Eigenlast:

$$\rho_D = 28 \text{ kN/m}^3$$

Wind:

Bleibt unberücksichtigt.

gleichmäßige Temperatur

Temperatur Montage	+10 °C
Untere Temperatur	-20 °C
Obere Temperatur	+80 °C
max. $\Delta T = 80 - 10 =$	+70 °C
min. $\Delta T = -20 - 10 =$	-20 °C

Temperaturunterschied	
Leibung/Mutterplatte	35 °C

Wärmeausdehnungskoeffizient α_T 0,01 m/mK

Platte	Plattenabmessung			Gewicht	
	L m	B m	d cm	ρ kN/m ³	kN
1	0,80	0,80	3	28	0,538
2	2,00	0,80	3		1,344
3	0,80	0,80	3		0,538
Σ					2,420

Tabelle 1: wirksame Gewichtslasten

Platte Nr.	Plattenabmessungen			Mörtelanker (Version 1)		Mörtelanker (Version 2)	
	B cm	H cm	d cm	t mm	h mm	t mm	h mm
1	80	80	3	5	20	6	30
2	80	200	3	6	30	6	30
3	80	80	3	5 20	20 4	6 20	30 4

Tabelle 2: Abmessungen Platte und Verankerung

Version 1

Die Verankerung der Fassadenplatten werden entsprechend ihrer Größe für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt. Die Dornbefestigung wird mit Kleber gesetzt. Die Ausführung erfolgt jedoch ohne Fugen

Für die vorgesehenen Verankerung werden die Federsteifigkeiten ermittelt.

$$C_{q,v} = \frac{1}{f} = \frac{E \cdot t \cdot h^3}{4000 \cdot K^3} \quad (5)$$

$$C_{q,v} = \frac{200000 \cdot 5 \cdot 20^3}{4000 \cdot 130^3} = 0,910 \text{ MN/m} \quad (\text{Platten 1 und 3})$$

$$C_{q,v} = \frac{200000 \cdot 6 \cdot 30^3}{4000 \cdot 130^3} = 3,687 \text{ MN/m} \quad (\text{Platte 2})$$

Der Ruhepunkt des Fassadensystems ergibt sich zu:

$$X = \frac{C_2 \cdot L_1 + C_3 \cdot (L_1 + L_2) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \quad (16)$$

Ankerreihe Nr.	Plattenlänge (m)	Feder $C_{q,v}$ MN/m	Randabstand $a_{z,0}$ m	$C_{q,v} \cdot a_{z,0}$ MN
1	0,80	0,231	0,00	0,000
2	2,00	0,937	0,80	0,749
3	0,80	0,231	2,80	0,648
Σ		1,399		1,397
Ruhepunkt X				0,998 m

Tabelle 3: Ermittlung Ruhepunkt des Systems

Das Gewicht der gesamten Fassade wird entsprechend den Steifigkeiten der Verankerung verteilt. Wenn sich die hieraus ergebende Belastung der Anker kleiner als die aus der zugehörigen Fassadenplatte, lagert sich die Differenz des Gewichte auf die unterhalb liegende Platte auf. Dieser Fall ist in der Tabelle gelb gekennzeichnet.

Platte Nr.	Feder $C_{q,v}$	Gewicht kN	Verteilung 1	Reihe 3	Verteilung 2	Reihe 2	Reihe 1
	MN/m		kN	kN	kN	kN	kN
1	0,910	0,538	0,400	0,538	0,400	0,538	0
2	3,687	1,344	1,619	1,482	1,619		
3	0,910	0,538	0,400				
Σ	5,508	2,420		2,020		0,538	0
Belastung je Ankerebene				0,400		1,482	0,538

Tabelle 4: Lastverteilung unter Berücksichtigung der Federsteifigkeit der Anker

Platte Nr.	Platten- länge m	Feder $C_{q,v}$ MN/m	Ruhepunkt X m	Abstand Ruhepunkt a_z m	Temperatur- differenz ΔT K	Aus- dehnung α_T mm/m/K	$Q_{z,T}$ kN
1	0,80	0,910	0,998	0,998	70	0,010	0,699
2	2,00	3,687		0,198			0,512
3	0,80	0,910		-1,802			-1,261

Tabelle 5: Ermittlung Zwängungsbeanspruchung

Platte Nr.	Gewicht pro Anker kN	$Q_{z,T}$ kN	Bemessungslast (Winkel) $Q_{z,Rd} = 1,35 G + Q_{z,T}$ kN
	1	0,269	0,699
2	0,741	0,512	1,512
3	0,200	-1,261	-0,991

Tabelle 4: Bemessungsbelastung Mörtelanker

Die Beanspruchung der Verankerung bei Ausführung der Fassade nach DIN 18516-3 ergibt sich zu:

$$\begin{aligned}
 F_{Rd} &= 1,35 \cdot 0,538 = 0,726 \text{ kN (Platten 1 und 3)} \\
 &= 1,35 \cdot 1,344 = 1,814 \text{ kN (Platte 2)}
 \end{aligned}$$

Durch die aufgesetzten Platten bei der Fassadenkonstruktion erhöht sich bei den Platten 1 und 3 die Ankerbelastung um ca. 38%. Bei der Platte 2 reduziert sich die Belastung um ca. 17%.

Version 2

Die Verankerung der Fassadenplatten wird für die größte Platte des Systems für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt. Die Verankerung wird für alle Platten mit gleicher Verankerung ausgeführt. Die Dornbefestigung wird mit Kleber gesetzt.

Anker- reihe Nr.	Platten- länge m	Feder $C_{q,v}$ MN/m	Rand- abstand $a_{z,0}$ m	$C_{q,v} \cdot a_{z,0}$ MN
1	0,80	3,687	0,00	0,000
2	2,00	3,687	0,80	2,949
3	0,80	3,687	2,80	10,323
Σ		11,061		13,273
Ruhepunkt X			1,200 m	

Tabelle 7: Ermittlung Ruhepunkt des Systems

Platte Nr.	Feder $C_{q,v}$	Gewicht	Verteilung 1	Reihe 3	Verteilung 2	Reihe 2	Reihe 1
	MN/m		kN	kN	kN	kN	kN
1	3,687	0,538	0,806	0,538	0,941	0,941	0
2	3,687	1,344	0,806	1,344	0,941		
3	3,687	0,538	0,806				
Σ	11,061	2,420		1,882		0,941	0
Belastung je Ankerebene				0,538		0,941	0,941

Tabelle 8: Lastverteilung unter Berücksichtigung der Federsteifigkeit der Anker

Platte Nr.	Plattenlänge	Feder $C_{q,v}$	Ruhepunkt X	Abstand Ruhepunkt a_z	Temperaturdifferenz ΔT	Ausdehnung α_T	$Q_{z,T}$
	m	MN/m	m	m	K	mm/m/K	kN
1	0,80	3,687	1,200	1,200	70	0,010	3,097
2	2,00	3,687		0,400			1,032
3	0,80	3,687		-1,600			-4,129

Tabelle 9: Ermittlung Zwängungsbeanspruchung

Platte Nr.	Gewicht pro Anker	$Q_{z,T}$	Bemessungslast (Winkel)
	kN	kN	$F_{z,Rd} = 1,35 G + Q_{z,T}$ kN
1	0,471	3,097	3,732
2	0,471	1,032	1,667
3	0,269	-4,129	-3,860

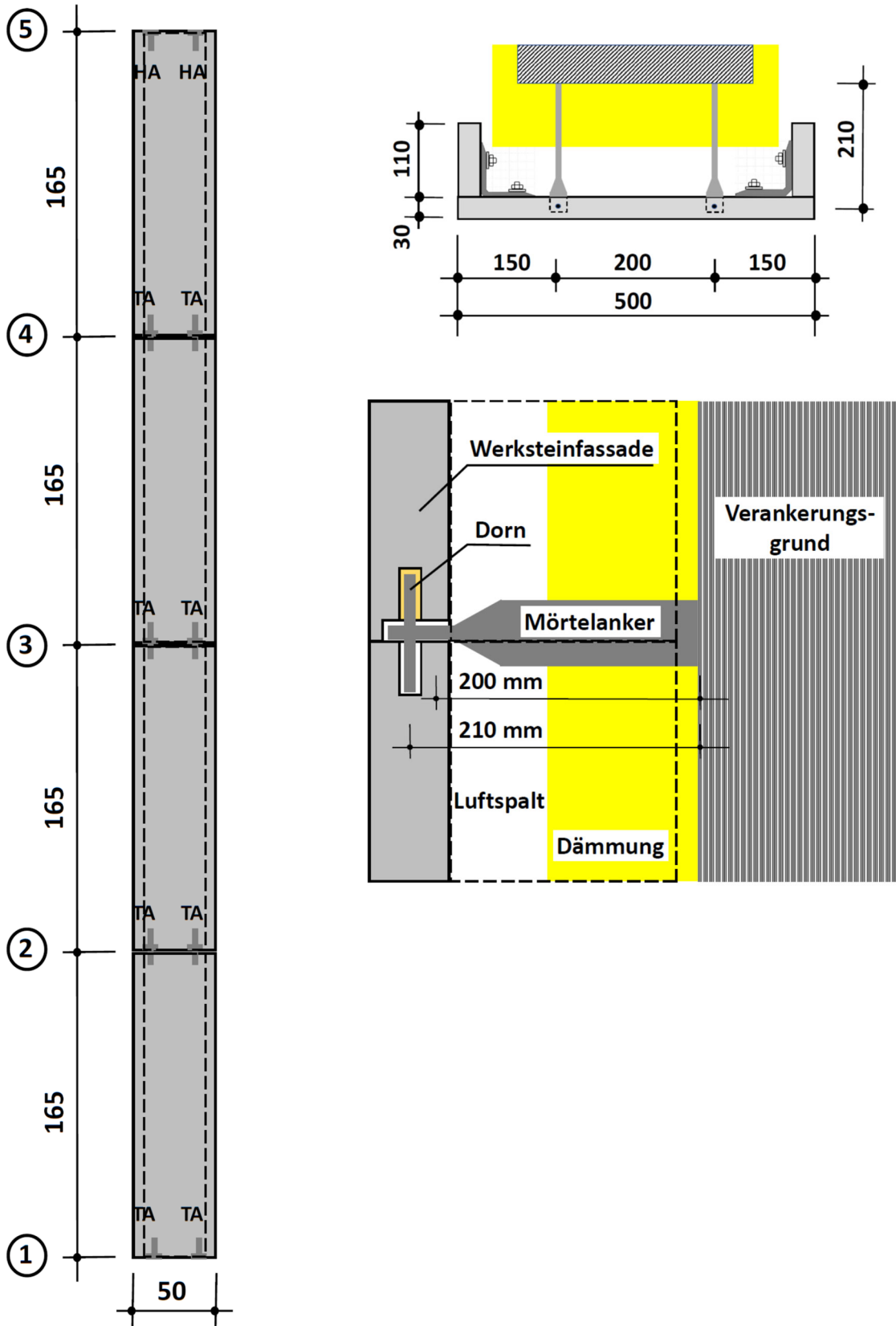
Tabelle 10: Bemessungsbelastung Mörtelanker

Die Beanspruchung der Verankerung bei Ausführung der Fassade nach DIN 18516-3 ergibt sich zu:

$$\begin{aligned}
 F_{Rd} &= 1,35 \cdot 0,538 = 0,726 \text{ kN (Platten 1 und 3)} \\
 &= 1,35 \cdot 1,344 = 1,814 \text{ kN (Platte 2)}
 \end{aligned}$$

Durch die aufgesetzten Platten bei der Fassadenkonstruktion erhöht sich bei den Platten 1 und 3 die Ankerbelastung um ca. 431%. Bei der Platte 2 reduziert sich die Belastung um ca. 8%.

A3: Aufgesetzte Platten mit Leibung



Belastung: Es wird lediglich der Einfluss von Eigenlast und Temperatur berücksichtigt. Hierdurch lässt sich die Besonderheit von aufgesetzten Platten aufzeigen.

Eigenlast:

$$\rho_D = 28 \text{ kN/m}^3$$

Wind:

$$w_{D,Rd} = 2,42 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Winddruck})$$

$$w_{S,Rd} = 3,42 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Windsog})$$

gleichmäßige Temperatur

$$\text{Temperatur Montage} \quad +10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Untere Temperatur} \quad -20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Obere Temperatur} \quad +80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{max. } \Delta T = 80 - 10 = +70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{min. } \Delta T = -20 - 10 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperaturunterschied

$$\text{Leibung/Mutterplatte} \quad 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Wärmeausdehnungskoeffizient } \alpha_T \quad 0,01 \text{ m/mK}$$

Befestigung**Bemessungswiderstand:**

$$N_{Rd} = 2,242 \text{ kN}$$

Die Dornbefestigung wird mit Kleber gesetzt.

Platte Nr.	Plattenabmessungen				Mörtelanker	
	B _L cm	B cm	H cm	d cm	t mm	h mm
1	11	50	165	3	6	30
2	11	50	165	3	6	30
3	11	50	165	3	6	30
4	11	50	165	3	6 20	30 4

Tabelle 1: Platten- und Ankerabmessungen

Belastung gleichmäßige Temperatur Fassade

Die Verankerung der Fassadenplatten werden entsprechend ihrer Größe für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt.

Platte Nr.	Abmessungen				ρ kN/m ³	Gewicht G kN
	L m	B m	ΣB_L m	d cm		
1	1,65	0,50	0,22	3	28	0,998
2	1,65	0,50	0,22			0,998
3	1,65	0,50	0,22			0,998
4	1,65	0,50	0,22			0,998
Σ						3,992

Tabelle 3: wirksame Gewichtslasten

Für die vorgesehenen Verankerung werden die Federsteifigkeiten ermittelt.

$$C_{q,v} = \frac{1}{f} = \frac{E \cdot t \cdot h^3}{4000 \cdot K^3} \quad (5)$$

$$C_{q,v} = \frac{200000 \cdot 6 \cdot 30^3}{4000 \cdot 200^3} = 1,013 \text{ MN/m}$$

Der Ruhepunkt des Fassadensystems ergibt sich zu:

$$X = \frac{C_2 \cdot L_1 + C_3 \cdot (L_1 + L_2) + C_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \quad (16)$$

Anker- reihe Nr.	Platten- länge	Feder $C_{q,v}$	Rand- abstand $a_{z,0}$	$C_{q,v} \cdot a_{z,0}$
	(m)	MN/m	m	MN
1	1,65	1,013	0,00	0,000
2	1,65	1,013	1,65	1,671
3	1,65	1,013	3,30	3,341
4	1,65	1,013	4,95	5,013
Σ		4,052		10,024
Ruhepunkt X			2,475 m	

Tabelle 3: Ermittlung Ruhepunkt System

Platte Nr.	Feder $C_{q,v}$	Gewicht kN	Verteilung 1	Reihe 4	Verteilung 2	Reihe 3	Verteilung 3	Reihe 2	Reihe 1
	MN/m		kN	kN	kN		kN	kN	kN
1	1,013	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0
2	1,013	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998		
3	1,013	0,998	0,998	0,998	0,998				
4	1,013	0,998	0,998						
Σ	4,052	3,992		2,994		1,996		0,998	0
Belastung je Ankerebene				0,998		0,998		0,998	0,998

Tabelle 4: Lastverteilung unter Berücksichtigung der Federsteifigkeit der Anker

Platte Nr.	Platten- länge	Feder $C_{q,v}$	Ruhepunkt X	Abstand Ruhepunkt a_z	Temperatur- differenz ΔT	Aus- dehnung α_T	$Q_{z,T}$
	m	MN/m	m	m	K	mm/m/K	kN
1	1,65	1,013	2,475	2,475	70	0,010	1,755
2	1,65	1,013		0,825			0,585
3	1,65	1,013		-0,825			-0,585
4	1,65	1,013		-2,475			-1,755

Tabelle 5: Zwängungsbelastung unter Berücksichtigung der Federsteifigkeit der Anker

Platte Nr.	Gewicht pro Anker	$Q_{z,T}$	Bemessungslast (Anker)
	kN	kN	$Q_{z,Ed} = 1,35 G + Q_{z,T}$ kN
1	0,499	1,755	2,428
2	0,499	0,585	1,258
3	0,499	-0,585	-0,086
4	0,499	-1,755	-1,255

Tabelle 4: vertikale Bemessungslast Anker

Die Beanspruchung der Verankerung bei Ausführung der Fassade nach DIN 18516-3 ergibt sich zu:

$$F_{Rd} = 1,35 \cdot 0,499 = 0,674 \text{ kN}$$

Durch die aufgesetzten Platten bei der Fassadenkonstruktion erhöht sich bei den Platte 1 die Ankerbelastung um ca. 260 %.

Belastung gleichmäßige Temperatur Leibung

Die Verankerung der Fassadenplatten werden entsprechend ihrer Größe für eine Verankerung nach DIN 18516-3 (Fugen zwischen den Platten) ausgelegt.

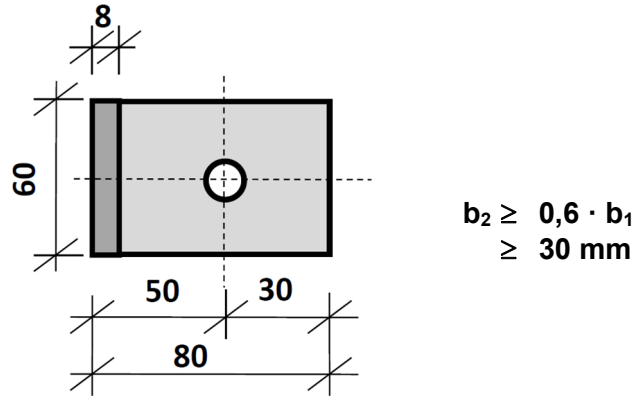


Bild 4: Winkelabmessungen

Alu-Winkel - Querzugsteifigkeit C_Q (MN/m)																
M_V (Nm)	a (mm)	Winkeldicke $t = 6$ mm					Winkeldicke $t = 7$ mm					Winkeldicke $t = 8$ mm				
		Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)					Winkelbreite b_1 (mm)				
		30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
4	40	1,3	0,8	0,6	0,4	0,3	1,8	1,1	0,8	0,6	0,5	2,3	1,4	1,0	0,8	0,6
	50	2,1	1,3	0,9	0,6	0,5	2,9	1,7	1,2	0,9	0,7	3,8	2,3	1,6	1,2	0,9
	60	3,1	1,8	1,2	0,9	0,7	4,3	2,5	1,7	1,2	1,0	5,7	3,4	2,3	1,7	1,3
	70	4,4	2,5	1,6	1,2	0,9	6,0	3,5	2,3	1,7	1,3	8,1	4,7	3,2	2,3	1,8
	80	5,8	3,2	2,1	1,5	1,1	8,1	4,6	3,0	2,1	1,6	11,0	6,3	4,2	3,0	2,3
10	40	2,1	1,2	0,8	0,6	0,4	2,9	1,7	1,1	0,8	0,6	4,0	2,3	1,6	1,1	0,9
	50	3,4	1,9	1,2	0,8	0,6	4,8	2,7	1,7	1,2	1,0	6,6	3,7	2,4	1,8	1,4
	60	4,9	2,6	1,7	1,2	0,9	7,1	3,8	2,4	1,7	1,3	9,9	5,4	3,5	2,5	1,9
	70	6,7	3,5	2,2	1,5	1,1	9,9	5,3	3,3	2,3	1,7	14,0	7,5	4,7	3,3	2,5
	80	8,8	4,6	2,8	1,9	1,4	13,2	6,9	4,2	2,9	2,2	18,8	10,0	6,2	4,3	3,2

Wirksame Winkelsteifigkeit $C_q = 1,30$ MN/m

$$C^* = C_q \cdot \frac{a_2}{a_1} = 1,3 \cdot \frac{350}{470} \tag{22}$$

$$= 0,968 \text{ MN/m}$$

$$C_{q,Ers.} = \frac{1}{\frac{1}{C^*} + \frac{1}{2 \cdot C_q}} = \frac{1}{\frac{1}{0,968} + \frac{1}{2 \cdot 1,013}} \tag{23}$$

$$= 0,665 \text{ MN/m}$$

Bei gleichen Plattenlängen und Federsteifigkeiten ergibt sich:

$$X = \frac{6 \cdot L \cdot C}{4 \cdot C} = 1,5 \cdot L \quad \text{für 4 Platten} \quad (27)$$

$$= 1,5 \cdot 1,65$$

$$= 2,475 \text{ m}$$

$$X_R = 0,5 \cdot L + X \quad (29)$$

$$= 0,5 \cdot 1,65 + 2,475$$

$$= 3,300 \text{ m}$$

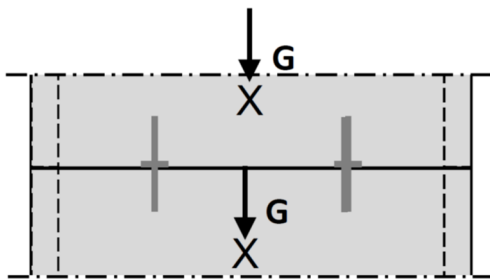


Bild 5: Haarfuge

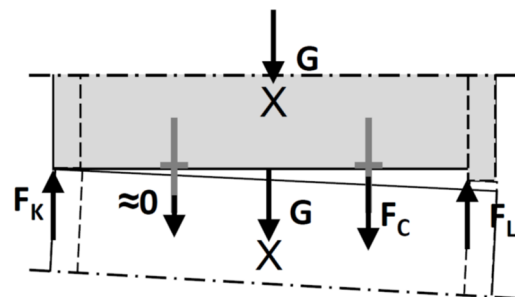


Bild 6: Gewichtsumlagerung

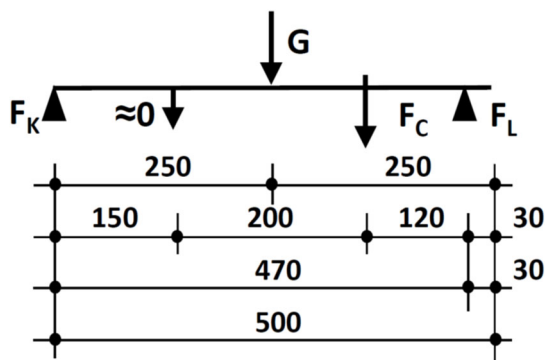


Bild 7: statisches System

$$f_G = \frac{a_2}{a_1} \quad (25)$$

$$f_G = \frac{250}{470}$$

$$= 0,532 \text{ (Platte 2,3 und 4)}$$

$$f_G = 1,000 \text{ (Platte 1)}$$

Platte Nr.	Abmessungen				ρ kN/m ³	Gewicht G kN	Faktor /	Gewicht (wirksam) G _w kN
	L m	B m	ΣB_L m	d cm				
1	1,65		0,22	3	28	0,154	1,000	0,152
2	1,65	0,50	0,22			0,998	0,532	0,531
3	1,65	0,50	0,22			0,998	0,532	0,531
4	1,65	0,50	0,22			0,998	0,532	0,531
Σ								1,745

Tabelle 3: wirksame Gewichtslasten

Platte Nr.	Platten- länge m	Feder $C_{q,Ers.}$ MN/m	Ruhepunkt X m	Abstand Ruhepunkt a_z m	Temperatur- differenz ΔT K	Aus- dehnung α_T mm/m/K	$Q_{Z,T}$ kN
1	1,65	0,665	2,475	2,475	35	0,010	0,576
2	1,65	0,665		0,825			0,192
3	1,65	0,665		-0,825			-0,192
4	1,65	0,665		-2,475			-0,576

Tabelle 5: Zwängungsbelastung unter Berücksichtigung der Federsteifigkeit

Belastung eines Winkels:

Platte Nr.	Gewicht		$Q_{Z,T}$ (Anker)		$Q_{Z,T}$ (Winkel)	Bemessungslast (Winkel)
	Leibung kN	Winkel kN	Leibung kN	Winkel kN	kN	$Q_{Z,Rd} = 1,35 G + Q_{Z,T}$ kN
1	1,745	0,872	0,576	0,296	0,339	1,797
2	1,593	0,796	0,197	0,099	0,339	1,508
3	1,062	0,531	-0,197	-0,099	0,339	0,623
4	0,531	0,265	-0,592	-0,296	0,339	0,078

Tabelle 4: Querkzugbelastung Winkel

Die größte Beanspruchung ergibt sich mit 0,555 kN an Leibung der Platte Nr. 1.

$$Q_{Z,Rd} = 1,813 \text{ kN}$$

$$z_3 = \frac{5 \cdot a}{6 \cdot 2} = \frac{5 \cdot 60}{2 \cdot 6} = 25,0 \text{ mm} \quad (13)$$

Die Beanspruchung der Befestigung Winkelverbindung ergibt sich zu:

$$F_{Z,Ed} = \frac{Q_{Z,Ed} \cdot b_1}{z_3} = \frac{1,813 \cdot 50}{25,0} \quad (15)$$

$$= 3,626 \text{ kN}$$

$$> 2,242 \text{ kN}$$

Die Querkzugbeanspruchung des Winkels bei Ausführung der Fassade nach DIN 18516-3 ergibt sich zu:

$$F_{Z,Rd} = 1,35 \cdot 0,152 \cdot 0,5 + 0,339$$

$$= 0,442 \text{ kN}$$

Durch die aufgesetzten Platten bei der Fassadenkonstruktion ergibt eine Lasterhöhung für den Leibungswinkel um den Faktor 4,1.