

**Bauteilversuche von Fassadenplatten
zur Ermittlung der Tragfähigkeit**

Erläuterung

Stand 06.05.2021

1 Vorwort

Die im Merkblatt 11 gemachten Aussagen werden anhand von durchgeführten Bauteilversuchen und mit Anwendungsbeispielen erläutert. Die aufgeführten Bauteilversuche zeigen die behinderte Verformung Niet-, Schraub- und Hinterschnittbefestigungen bei bündig montierten Fassadenplatten auf. Bei Befestigungen mit Abstandsmontage zeigen sich ebenfalls Einflüsse auf die Tragfähigkeit des Fassadensystems.

Bei den ersten Zulassungen für hinterlüftete Fassadensysteme mit Niet-, Schraub- und Hinterschnittbefestigungen waren Bauteilversuche üblicherweise Bestandteil des Zulassungsverfahrens. Die bis zum Bruch ermittelten Flächenlasten dienten unter Berücksichtigung eines globalen Sicherheitsfaktors als Grundlage für die konstruktive Auslegung von Fassaden. Es wurden Grenzsyste, z.B. Platten mit 4, 6, 9 und mehr Befestigungen. Die geprüften System und die zugehörige zulässige Belastung wurden Bestandteil der Zulassung. Alle zugehörigen Effekte, wie z.B. nachgiebige Lagerung und ungewollte Einspannung, waren durch diese Vorgehensweise konstruktiv abgedeckt.

Durch Reduzierung der Zulassungen auf die charakteristischen Festigkeitswerte der Befestigung müssen die nachgiebige Lagerung und eine ungewollte Einspannung rechnerisch erfasst werden. Eine Berechnung mit frei drehbaren Auflagern für die Ermittlung der Schnittgrößen ist vielfach nicht ausreichend. Die Regelwerke für die konstruktive Auslegung von hinterlüfteten Fassaden fordern die Berücksichtigung dieser Einflüsse.

2 Fassadenplatte aus Hochdruckschichtstoffplatten (HPL)

2.1 System mit 6 Befestigungen

Abmessungen:

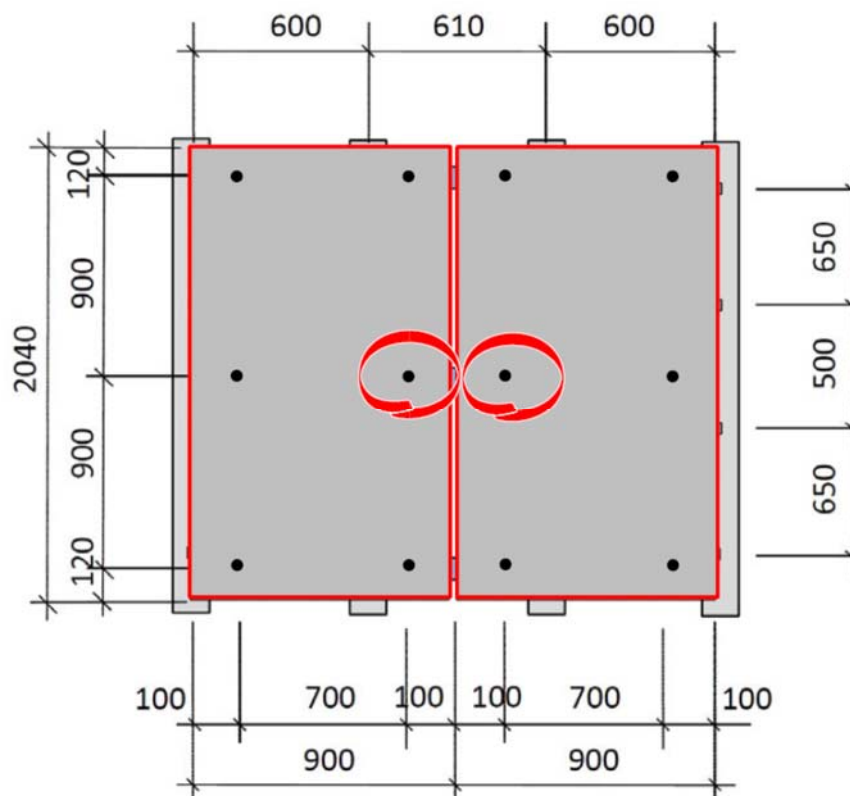


Bild 1: Systemabmessungen

Fassadenplatte: L = 900 mm H = 2040 mm
E_L = 100 mm E_H = 120 mm
d = 8 mm E = 9000 N/mm²

Befestigung: N_{um} = 2,92 kN h_s = 7,0 mm

Der durchgeführte Bauteilversuch führte zum Versagen der in Bild 1 gekennzeichneten Befestigungen. Es wurden drei Bauteilversuche mit gleichem System durchgeführt. Aufgrund der geringen Anzahl erfolgt die Beurteilung mit den Mittelwerten der Festigkeitseigenschaften.

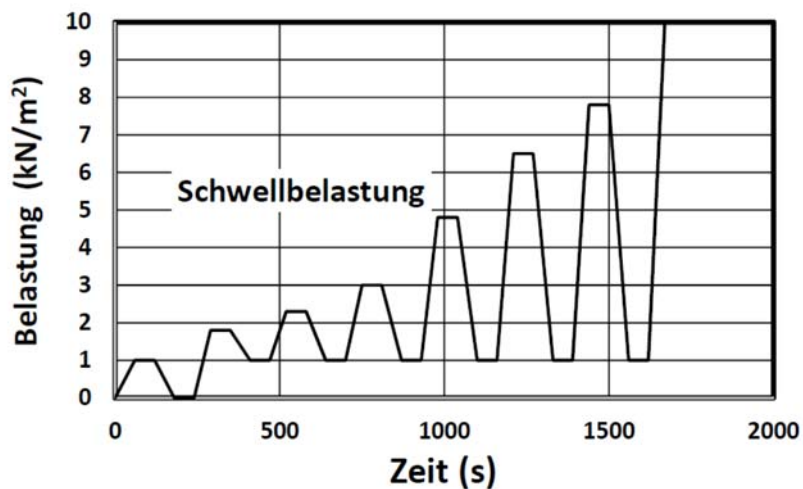


Bild 2: Belastungsschema

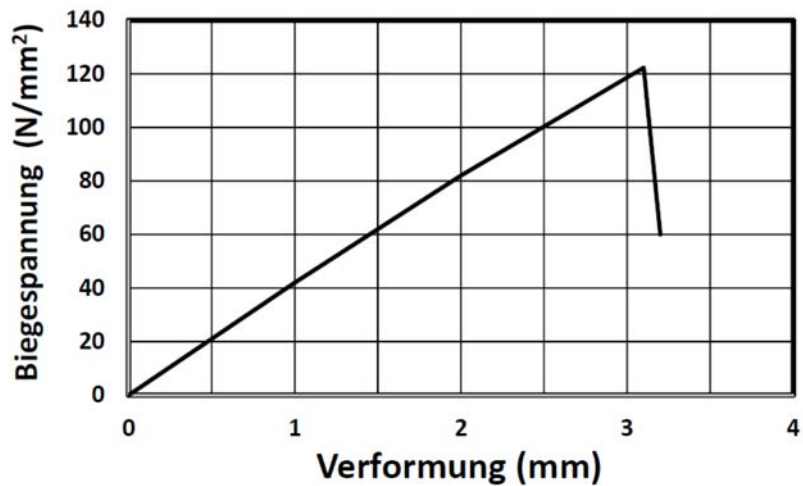


Bild 3: Biegefestigkeit

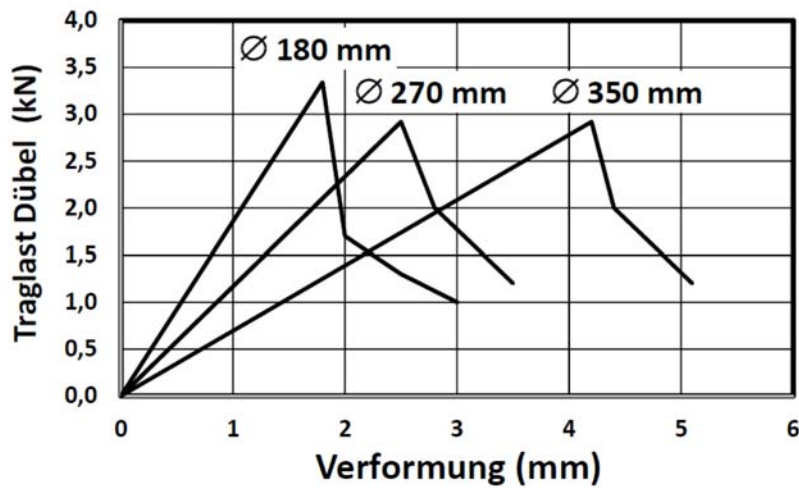


Bild 4: Verformung Befestigung (Mittelwert)

Die Versuche zur Tragfähigkeit der Befestigung mit unterschiedlichen Durchmessern des Abstützringes zeigten eine Abhängigkeit von zentrischem Zug und Biegebeanspruchung. Aus diesem Grunde erfolgt eine Bestimmung des maßgeblichen Wertes nach Gleichung (1).

Abstützdurchmesser mm	Mittlere Dübeltraglast $N_{R,m}$ kN	Maximaler Abstand Befestigung a mm
180	3,34	450
270	2,92	675
350	2,92	875

Tabelle 1: Interaktion zentrischer Zug / Biegung

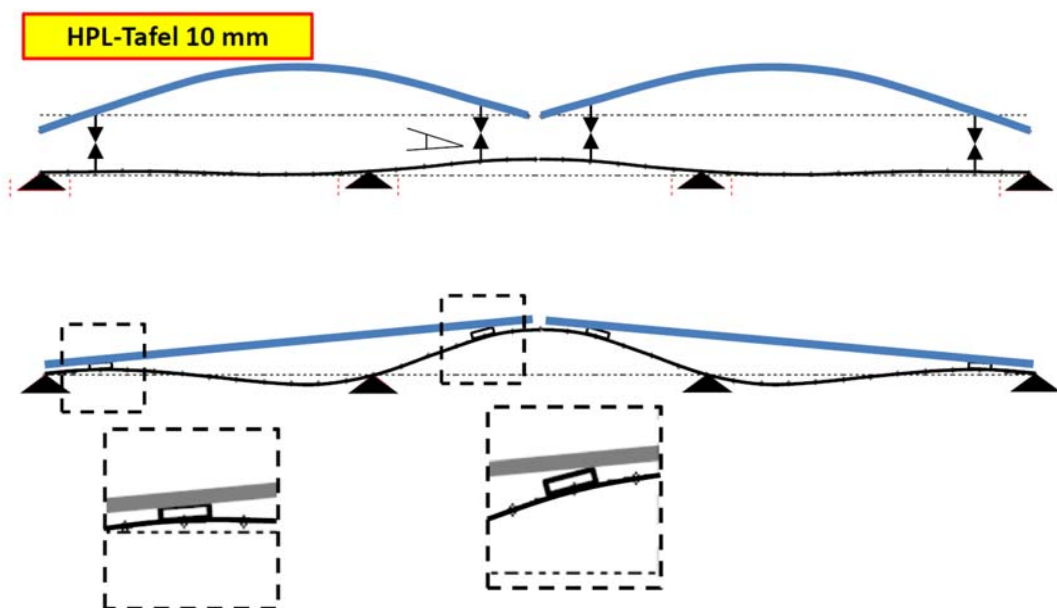


Bild 5: Verformungsdifferenz Fassade / Unterkonstruktion

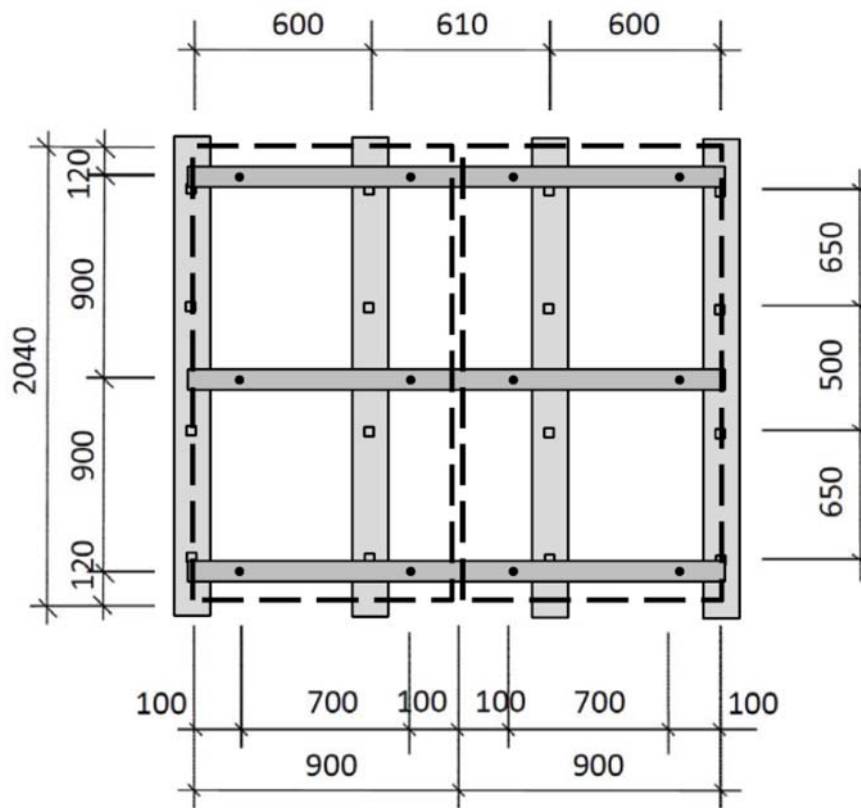


Bild 6: Unterkonstruktion

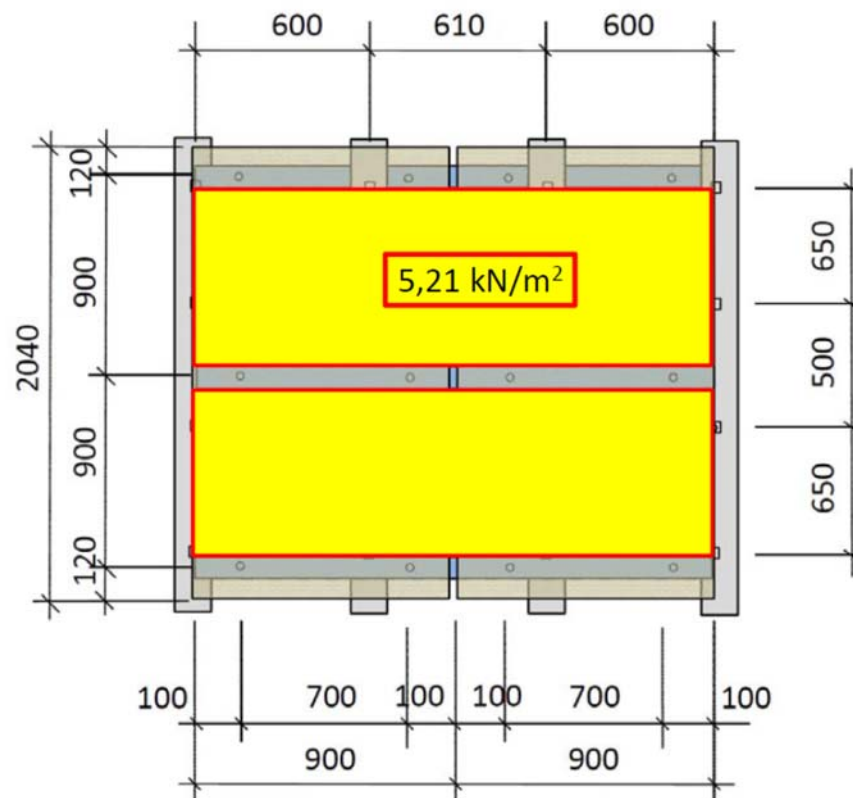
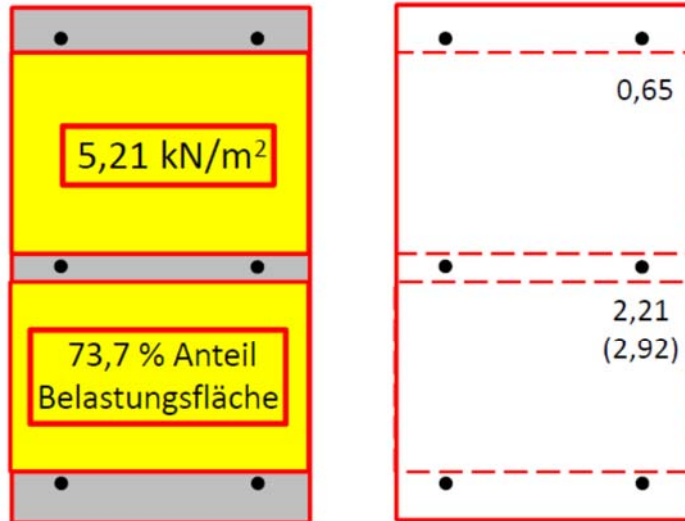


Bild 7: Belastung Versuch

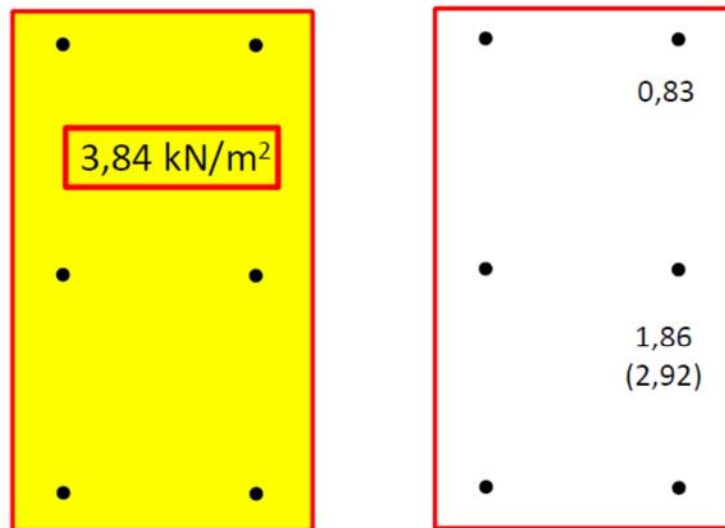
Die Ermittlung der Auflagerkräfte erfolgt mit Hilfe eines FE-Programms mit frei drehbaren Auflagern. Die Berechnung erfolgt sowohl mit der belasteten Fläche aus dem Versuch als auch mit der Ersatzflächenlast. Dem gegenübergestellt ist der mittlere Widerstand () der Befestigung.



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{2,21}{2,92} = 0,76$$

$$f_{\text{Erh}} = \frac{2,92}{2,21} = 1,32$$



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{1,86}{2,92} = 0,64$$

$$f_{\text{Erh}} = \frac{2,92}{1,86} = 1,57$$

- α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
- f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Die Versuche zeigen, dass nur ca. 64% bis 76% des nutzbaren Widerstands der Befestigung erreicht werden. Dies lässt sich nur damit erklären, dass die angenommen freie Drehbarkeit der Befestigung nicht zutreffend ist. Wie das Bild 5 zeigt, erfolgt die größte Behinderung des Drehwinkels an der rechten mittleren Befestigung. Diese Behinderung führt zu einer zusätzlichen Belastung der Befestigung von 32% bis 54%. Diese Zusatzbeanspruchung wird bei Berechnung mit freier Verdrehung der Befestigung nicht berücksichtigt.

2.2 System mit 12 Befestigungen

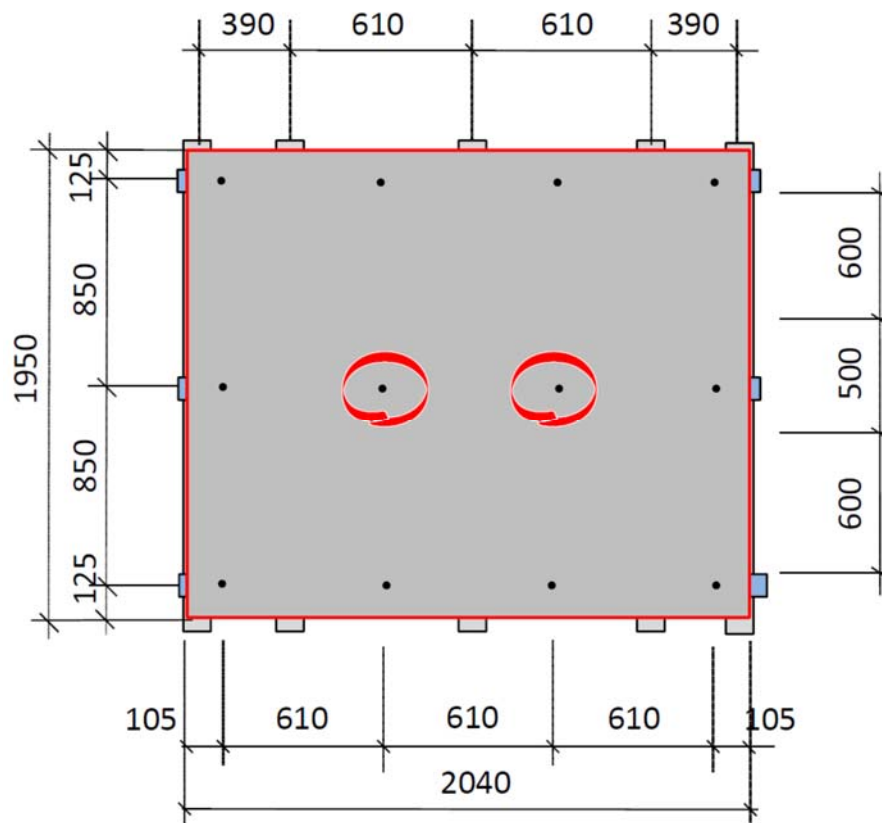


Bild 8: Systemabmessungen

Die durchgeführten Bauteilversuche führten zum Versagen der in Bild 8 gekennzeichneten Befestigungen. Es wurden drei Bauteilversuche mit gleichem System durchgeführt. Aufgrund der geringen Anzahl erfolgt die Beurteilung mit den Mittelwerten der Festigkeitseigenschaften.

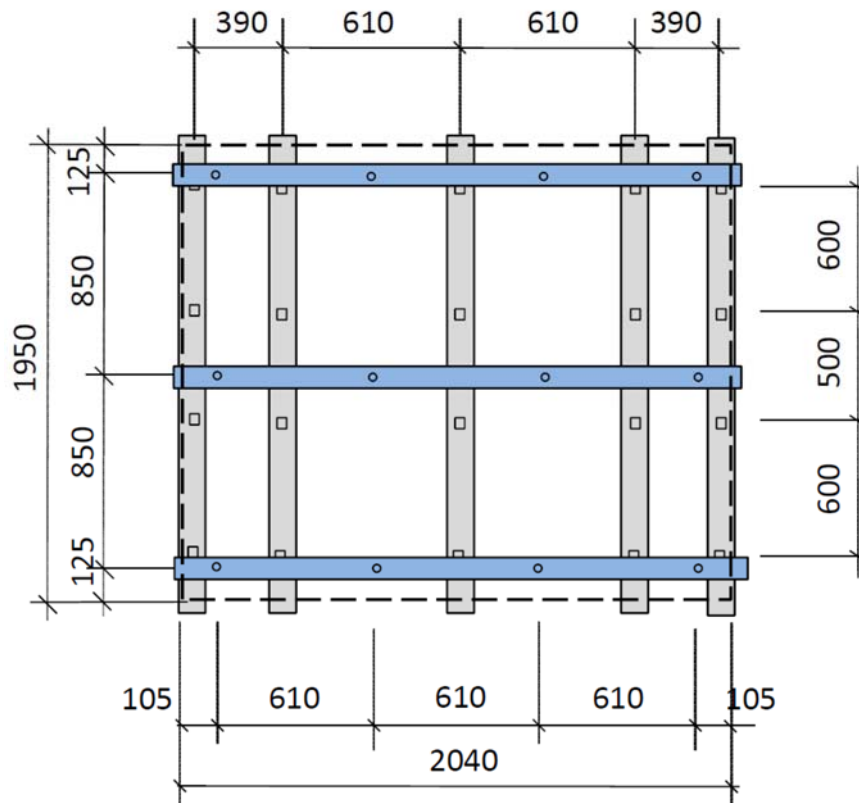


Bild 9: Unterkonstruktion

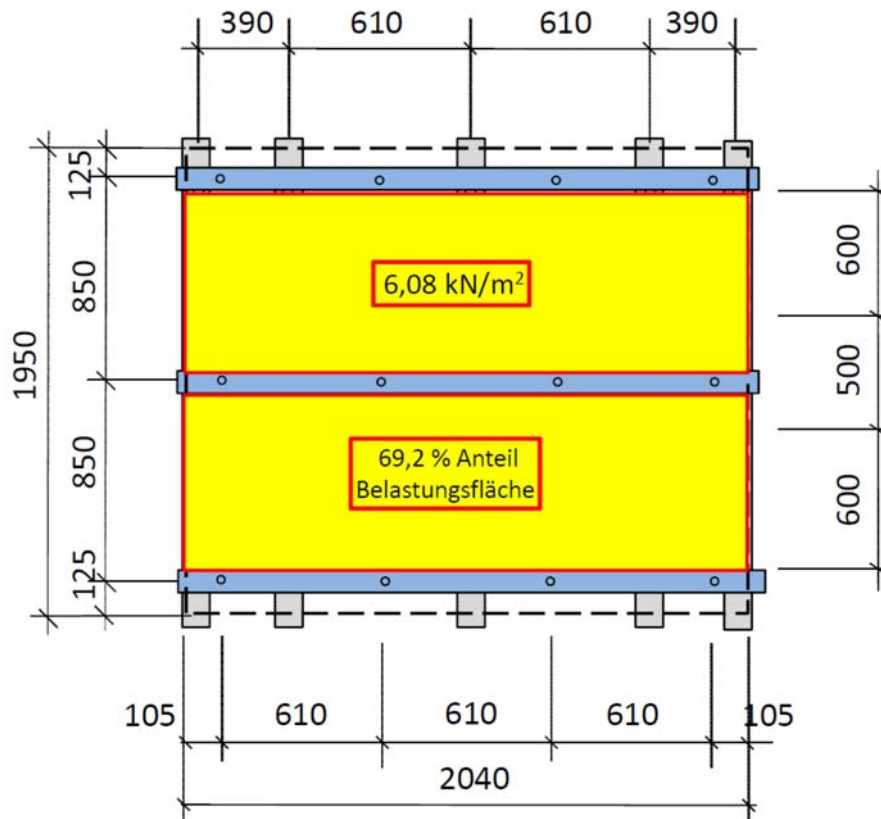


Bild 10: Belastung Versuch

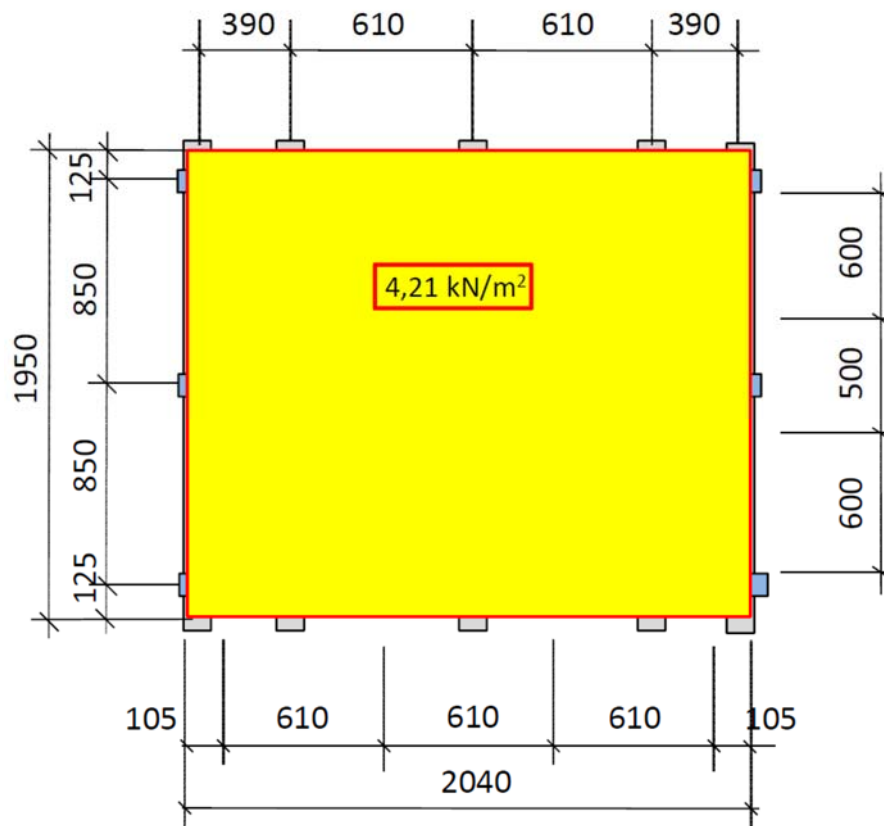


Bild 11: Ersatzbelastung

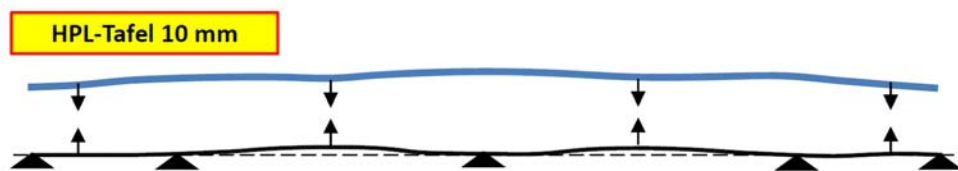
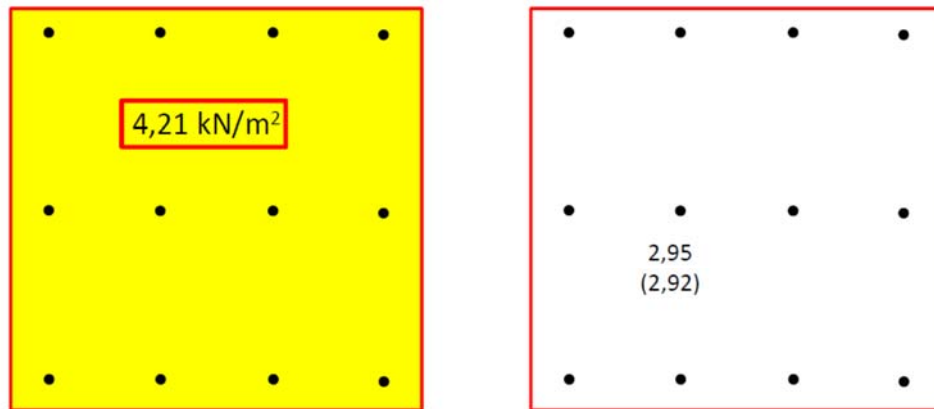


Bild 12: Verformungsdifferenz Fassade / Unterkonstruktion

Die Ermittlung der Auflagerkräfte erfolgt mit Hilfe eines FE-Programms mit frei drehbaren Auflagern. Die Berechnung erfolgt mit der Ersatzflächenlast. Dem gegenübergestellt ist der mittlere Widerstand () der Befestigung.



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{2,95}{2,92} = 1,01 \quad f_{\text{Erh}} = \frac{2,92}{2,95} \approx 1,00$$

- α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
- f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Die Verformung von Unterkonstruktion und Fassadenplatte (Bild 12) führen zu keinen wesentlichen Unterschieden der Auflagerdrehwinkel. Aus diesem Grunde ergeben sich keine zusätzlichen Kräfte der Befestigung aus behinderter Verformung. Versuche zeigen, dass die Tragfähigkeit der Befestigung für zentrischen Zug zu ca. 100% genutzt werden kann.

3 Fassadenplatten aus Hochdruckschichtstoffplatten (HPL)

Der Einfluss von behinderten Verformungen durch die Unterkonstruktion wird an vier unterschiedlichen Systemen aufgezeigt. Es wurden Platten mit einer Dicke von 10 mm und 13 mm untersucht. Die Befestigung erfolgte an Agraffen mit Hinterschnittbefestigung.

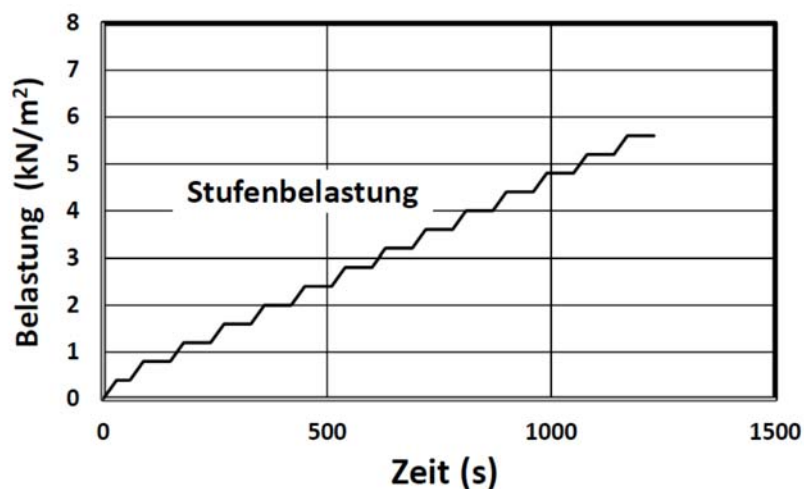


Bild 13: Belastungsschema

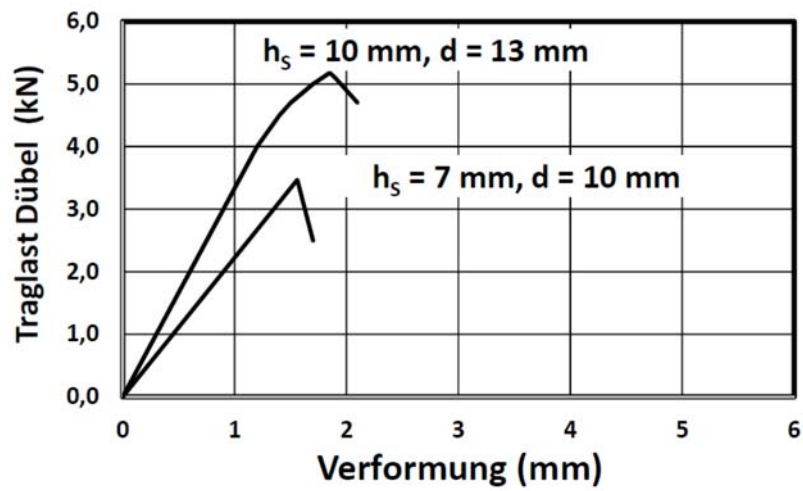


Bild 14: Verformung Befestigung

3.1 Versuchsaufbau 1 ($d = 10 \text{ mm}$)

Fassadenplatte:

L	=	1000 mm	H	=	1000 mm
E_L	=	125 mm	E_H	=	125 mm
d	=	10 mm	E	=	9000 N/mm ²

Befestigung:

N_{um}	=	3,47 kN	h_s	=	7,0 mm
----------	---	---------	-------	---	--------

Abmessungen

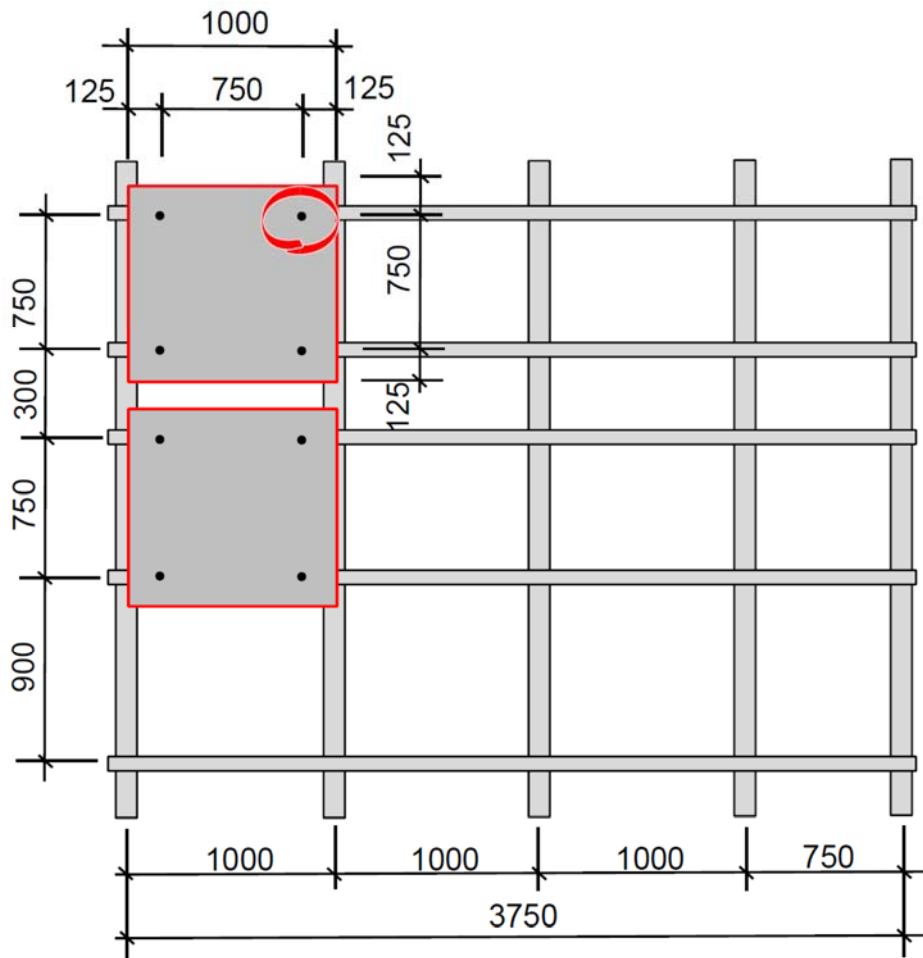
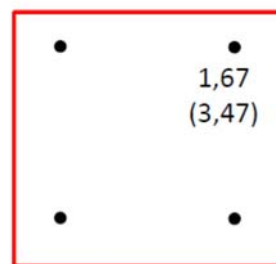
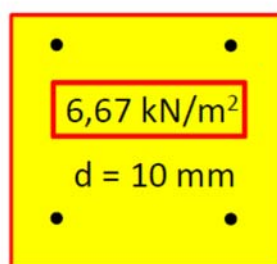


Bild 15: Systemabmessungen

$$N_{Ed} = \frac{6,67 \cdot 1,00 \cdot 1,00}{4} = 1,67$$



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{1,67}{3,47} = 0,48$$

$$f_{Erh} = \frac{3,47}{1,67} = 2,08$$

α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
 f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Der Versuch hat ergeben, dass lediglich 48% der Tragfähigkeit der Befestigung erreicht wird. Umgekehrt erhöhen sich die rechnerisch ermittelten Auflagerkräfte um den Faktor 2,08.

Eine Berechnung mit behinderter Verformung im Bereich der Agraffe (Bilder 16 und 17) bestätigen diesen im Versuch nachgewiesene Effekt. Unter Berücksichtigung der Federwirkung der Befestigung und der Verformung der Agraffe im Einleitungsbereich der Dübelkräfte wird eine Federwirkung von $C \approx 1,0 \text{ MN/m}$ berücksichtigt.

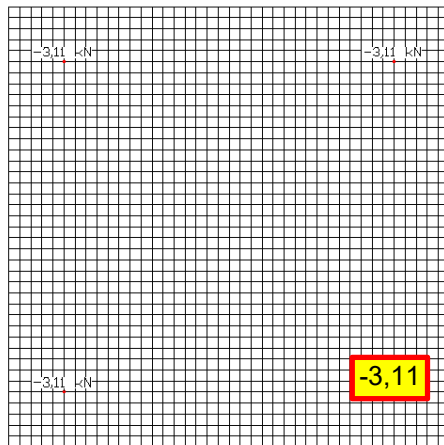


Bild 16: Auflagerkräfte (kN)

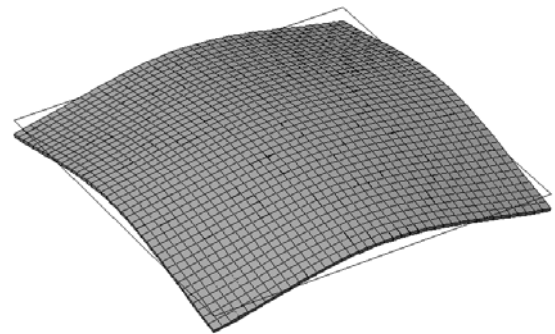


Bild 17: Verformung

$$f_{\text{Erh}} = \frac{3,11}{1,67} = 1,86$$

3.2 Versuchsaufbau 2 (d = 13 mm)

Fassadenplatte:	L	=	1200 mm	H	=	1200 mm
	E_L	=	150 mm	E_H	=	120 mm
	d	=	10 mm	E	=	9000 N/mm ²

Befestigung:	N_{um}	=	5,18 kN	h_s	=	10,0 mm
---------------------	-----------------	---	---------	-------	---	---------

Abmessungen

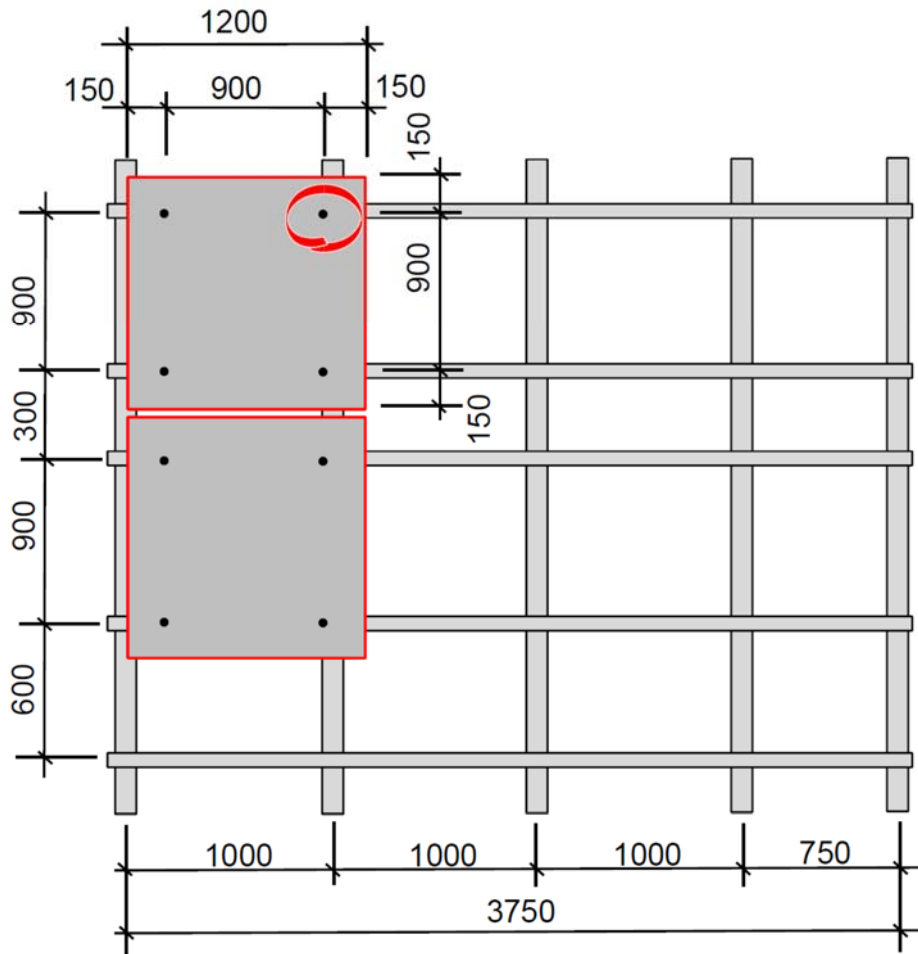
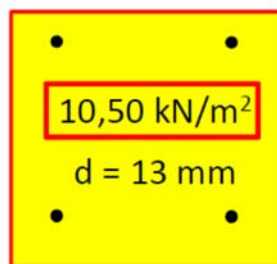


Bild 18: Systemabmessungen

$$N_{Ed} = \frac{10,50 \cdot 1,20 \cdot 1,20}{4} = 3,78$$



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{3,78}{5,18} = 0,73$$

$$f_{Erh} = \frac{5,18}{3,78} = 1,37$$

- α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
- f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Der Versuch hat ergeben, dass lediglich 73% der Tragfähigkeit der Befestigung erreicht wird. Umgekehrt erhöhen sich die rechnerisch ermittelten Auflagerkräfte um den Faktor 1,37. Die geringere Reduzierung der Tragfähigkeit gegenüber dem Versuchsaufbau 1 resultiert aus der größeren Plattendicke.

Eine Berechnung mit behinderter Verformung im Bereich der Agraffe (Bilder 19 und 20) bestätigen diesen im Versuch nachgewiesenen Effekt. Unter Berücksichtigung der Federwirkung der Befestigung und der Verformung der Agraffe im Einleitungsbereich der Dübelkräfte wird eine Federwirkung von $C \approx 2,5 \text{ MN/m}$ berücksichtigt.

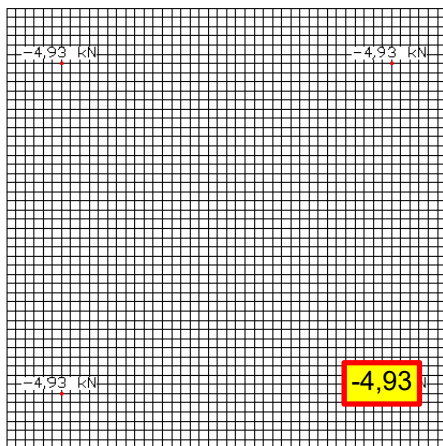


Bild 19: Auflagerkräfte (kN)

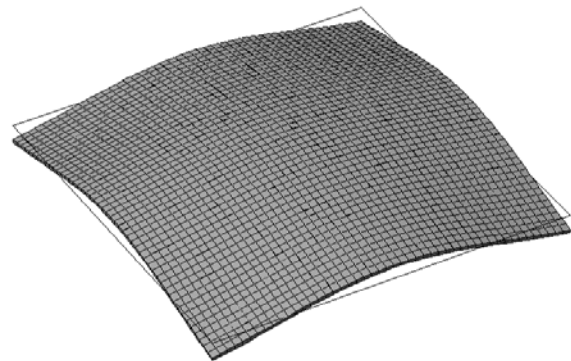


Bild 20: Verformung

$$f_{\text{Erh}} = \frac{4,93}{3,78} = 1,30$$

3.3 Versuchsaufbau 3 (d = 10 mm)

Fassadenplatte:	L	=	1000 mm	H	=	2100 mm
	E _L	=	125 mm	E _H	=	150 mm
	d	=	10 mm	E	=	9000 N/mm ²

Befestigung:	N _{um}	=	3,47 kN	h _s	=	7,0 mm
---------------------	-----------------	---	---------	----------------	---	--------

Abmessungen

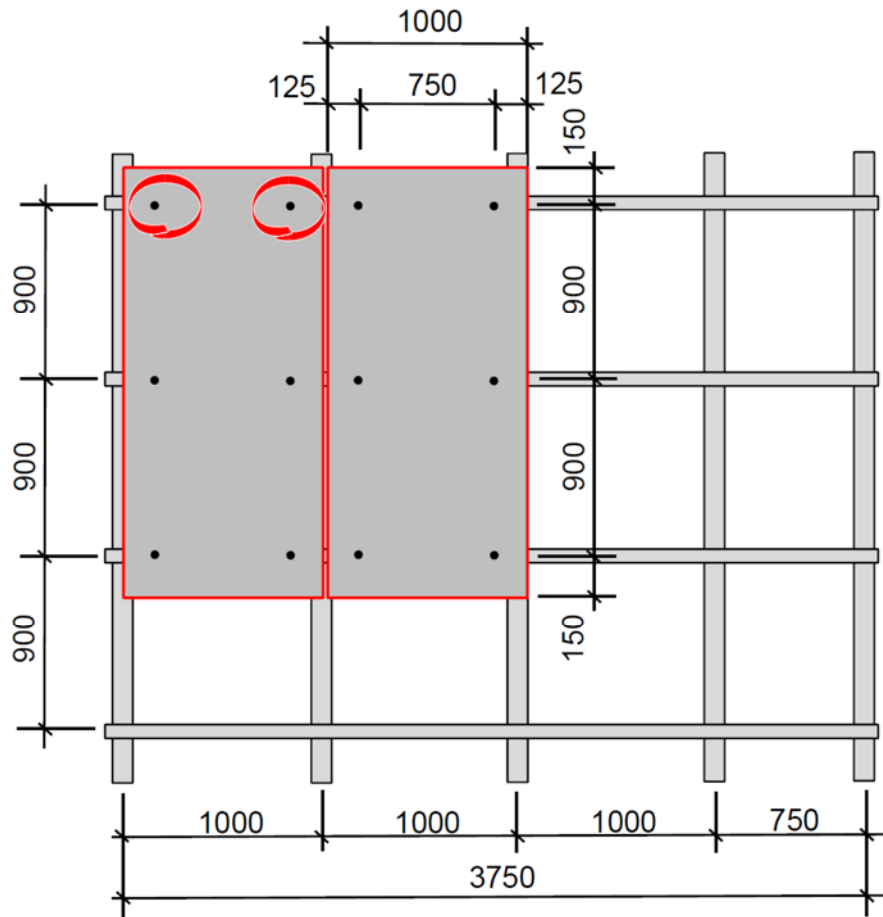


Bild 21: Systemabmessungen

Die Auflagerkräfte des statischen System erfolgt näherungsweise nach folgenden Beziehungen:er

$$N_{Ed,Rand} \approx \frac{4,60 \cdot 1,25 \cdot 0,90 \cdot 1,00}{2}$$

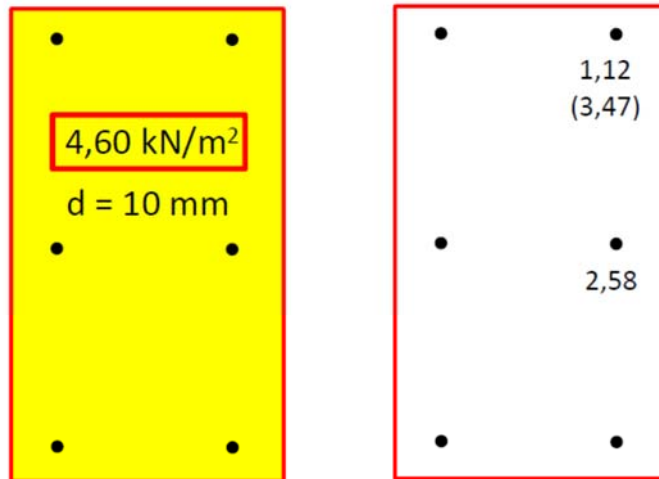
$$\approx 2,58 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,Ecke} \approx \frac{4,60 \cdot (0,375 \cdot 0,90 + 0,15) \cdot 1,00}{2}$$

$$\approx 1,12 \text{ kN}$$

Der Versuch führte zum Versagen der Eckbefestigung, obwohl diese lediglich nur 43 % der Beanspruchung der Mittelbefestigung hat. Das Versagen der Eckbefestigung entspricht somit nicht der Erwartung des Versuchsablaufes.

Der Versuch hat ergeben, dass nur 32% der Tragfähigkeit der Eckbefestigung erreicht wird. Umgekehrt erhöht sich die rechnerisch ermittelte Auflagerkraft um den Faktor 3,10.



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{1,12}{3,47} = 0,32$$

$$f_{\text{Erh}} = \frac{3,47}{1,12} = 3,10$$

α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
 f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

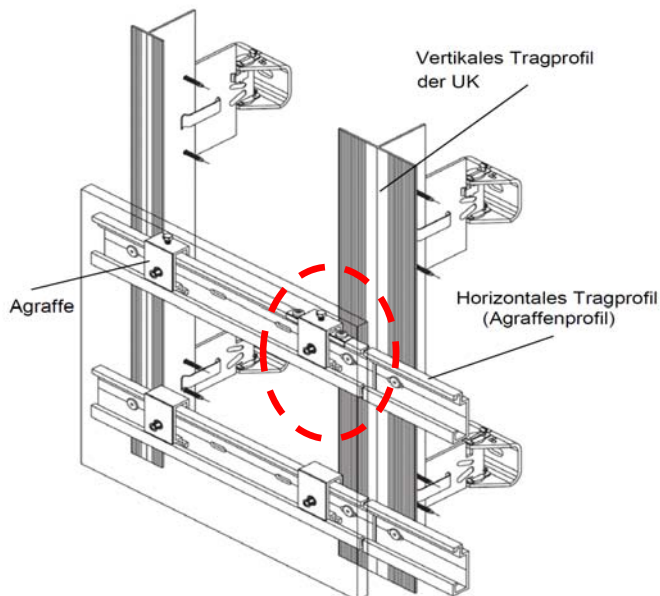


Bild 22: Schienensystem

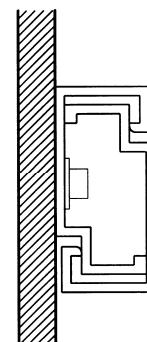


Bild 23: Agraffe

Das Versagen der Eckbefestigung kann nur die Behinderung der Plattenverdrehung um die vertikale und horizontale Achse erklärt werden. Da bei horizontalen Tragprofilen im Regelfall nur die Verdrehung senkrecht zur Profilachse behindert wird, muss im vorliegenden Fall durch die Nähe zu den vertikalen Tragprofilen auch die Verdrehung um die horizontale Profilachse behindert sein.

3.4 Versuchsaufbau 4 (d = 10 mm)

Fassadenplatte: L = 1000 mm H = 2100 mm
 E_L = 125 mm E_H = 150 mm
 d = 10 mm E = 9000 N/mm²

Befestigung: N_{um} = 3,47 kN h_s = 7,0 mm

Abmessungen

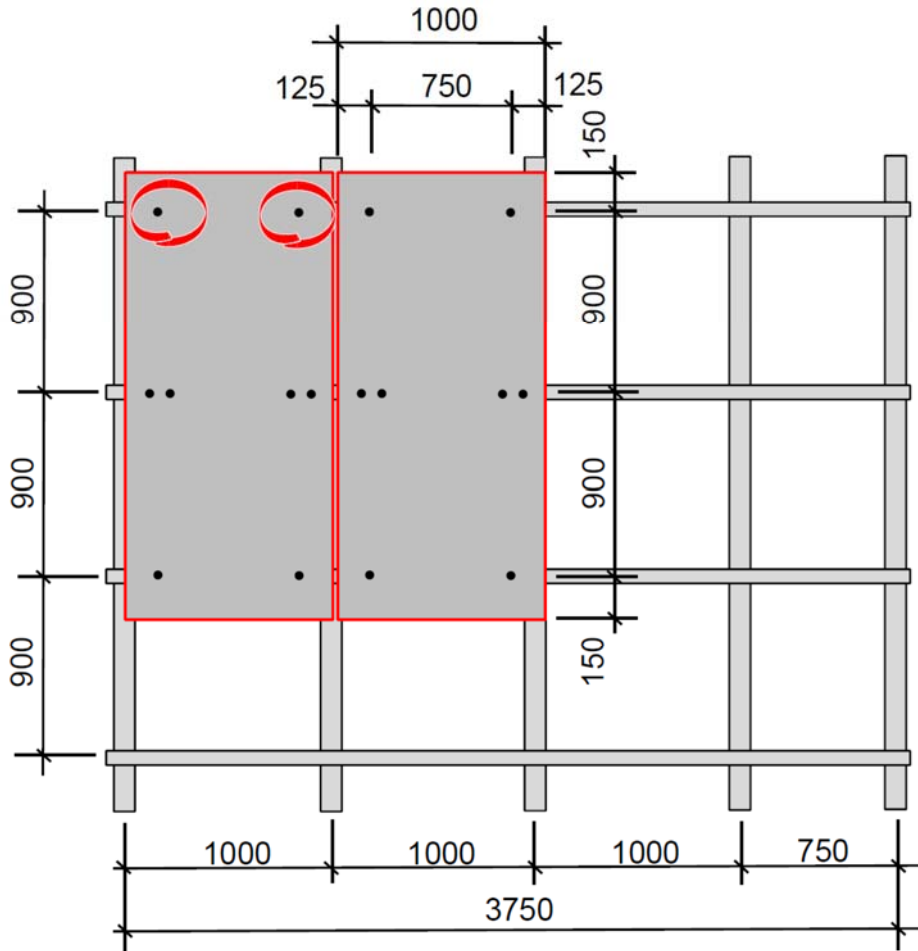


Bild 24: Systemabmessungen

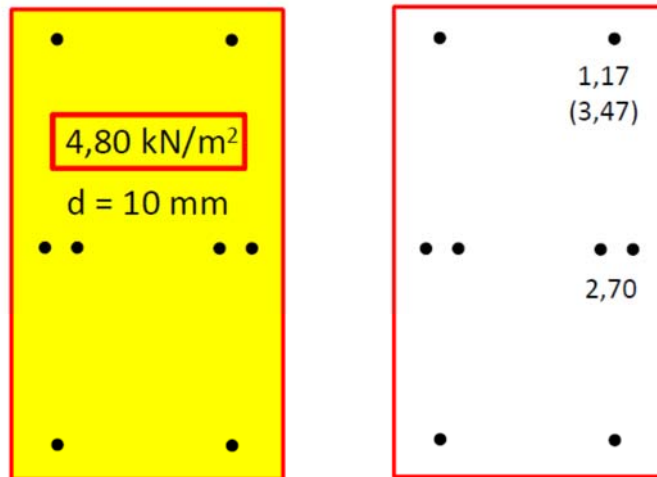
Die Auflagerkräfte des statischen System erfolgt näherungsweise nach folgenden Beziehungen:er

$$N_{Ed,Rand} \approx \frac{4,80 \cdot 1,25 \cdot 0,90 \cdot 1,00}{2}$$

$$\approx 2,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,Ecke} \approx \frac{4,80 \cdot (0,375 \cdot 0,90 + 0,15) \cdot 1,00}{2}$$

$$\approx 1,17 \text{ kN}$$



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{1,17}{3,47} = 0,34$$

$$f_{\text{Erh}} = \frac{3,47}{1,17} = 2,97$$

α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung

f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Der Versuch führte zum Versagen der Eckbefestigung, obwohl diese lediglich nur 43 % der Beanspruchung der Mittelbefestigung hat. Das Versagen der Eckbefestigung entspricht somit nicht der Erwartung des Versuchsablaufes.

Der Versuch hat ergeben, dass nur 34% der Tragfähigkeit der Eckbefestigung erreicht wird. Umgekehrt erhöht sich die rechnerisch ermittelte Auflagerkraft um den Faktor 2,97.

Das Versagen entspricht dem Versuchsaufbau 3. Durch etwas die gleich groß Bruchbelastung kann systematischer Fehler beim Aufbau ausgeschlossen werden.

4 Faserzementplatte (Grauzement)

Fassadenplatte:

L	=	1200 mm	H	=	1200 mm
E_L	=	50 mm	E_H	=	50 mm
d	=	12 mm	E	=	12000 N/mm ²

Befestigung:

N_{um}	=	1,74 kN	h_s	=	10,0 mm
-----------------	---	---------	-------	---	---------

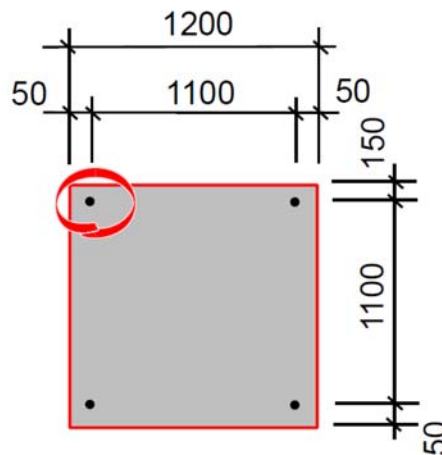
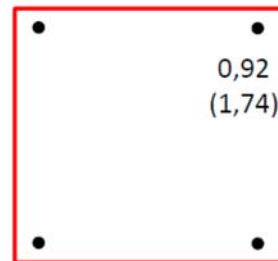
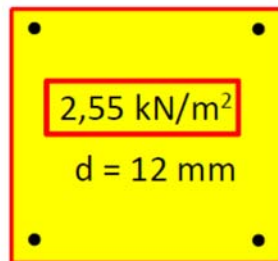


Bild 25: Abmessungen



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{0,92}{1,74} = 0,53$$

$$f_{\text{Erh}} = \frac{1,74}{0,92} = 1,89$$

α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung

f_{Erh} = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Befestigung

Der Versuch hat ergeben, dass lediglich 53% der Tragfähigkeit der Befestigung erreicht wird. Umgekehrt erhöhen sich die rechnerisch ermittelten Auflagerkräfte um den Faktor 1,89. Die geringere Reduzierung der Tragfähigkeit gegenüber dem Versuchsaufbau 1 resultiert aus dem großen Abstand der Befestigungen.

Eine Berechnung mit behinderter Verformung im Bereich der Agraffe (Bilder 26 und 27) bestätigen diesen im Versuch nachgewiesene Effekt. Unter Berücksichtigung der Federwirkung der Befestigung und der Verformung der Agraffe im Einleitungsbereich der Dübelkräfte wird eine Federwirkung von $C \approx 2,0 \text{ MN/m}$ berücksichtigt.

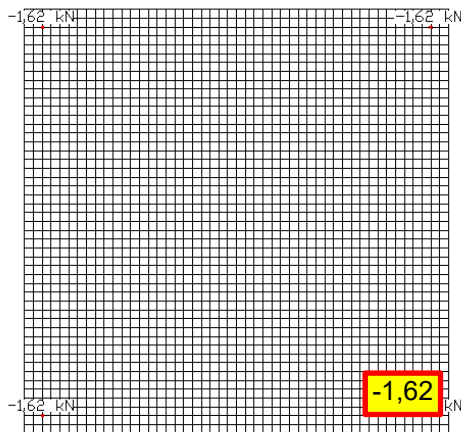


Bild 26: Auflagerkräfte (kN)

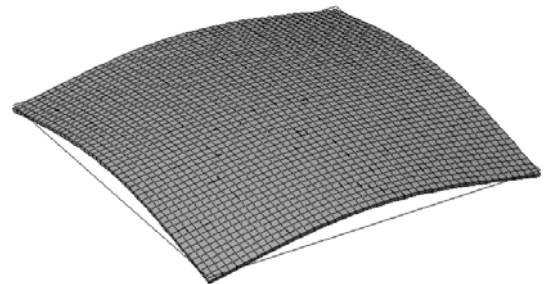


Bild 27: Verformung

$$f_{\text{Erh}} = \frac{1,62}{0,92} = 1,76$$

5 Faserzementplatte (Weißzement)

Der Bauteilversuch diente im Rahmen einer Zulassung als Nachweis der Fassadenplatte mit maximaler Anzahl der Befestigungen. Für die Beurteilung des Bauteilversuchs erfolgt eine Berechnung mit frei drehbaren Auflagern. Zusätzlich erfolgt eine Berechnung der Auflagerverdrehung in Richtung der vertikalen Tragprofile. Unter Berücksichtigung der Federwirkung der Befestigung und der Verformung des vertikalen Tragprofils im Einleitungsbereich der Nietbefestigung wird eine Federwirkung von $C \approx 1,0 \text{ MN/m}$ berücksichtigt.

Fassadenplatte:	L	=	1250 mm	H	=	3040 mm
	E_L	=	100 mm	E_H	=	120 mm
	d	=	8 mm	E	=	15000 N/mm ²

Abmessungen

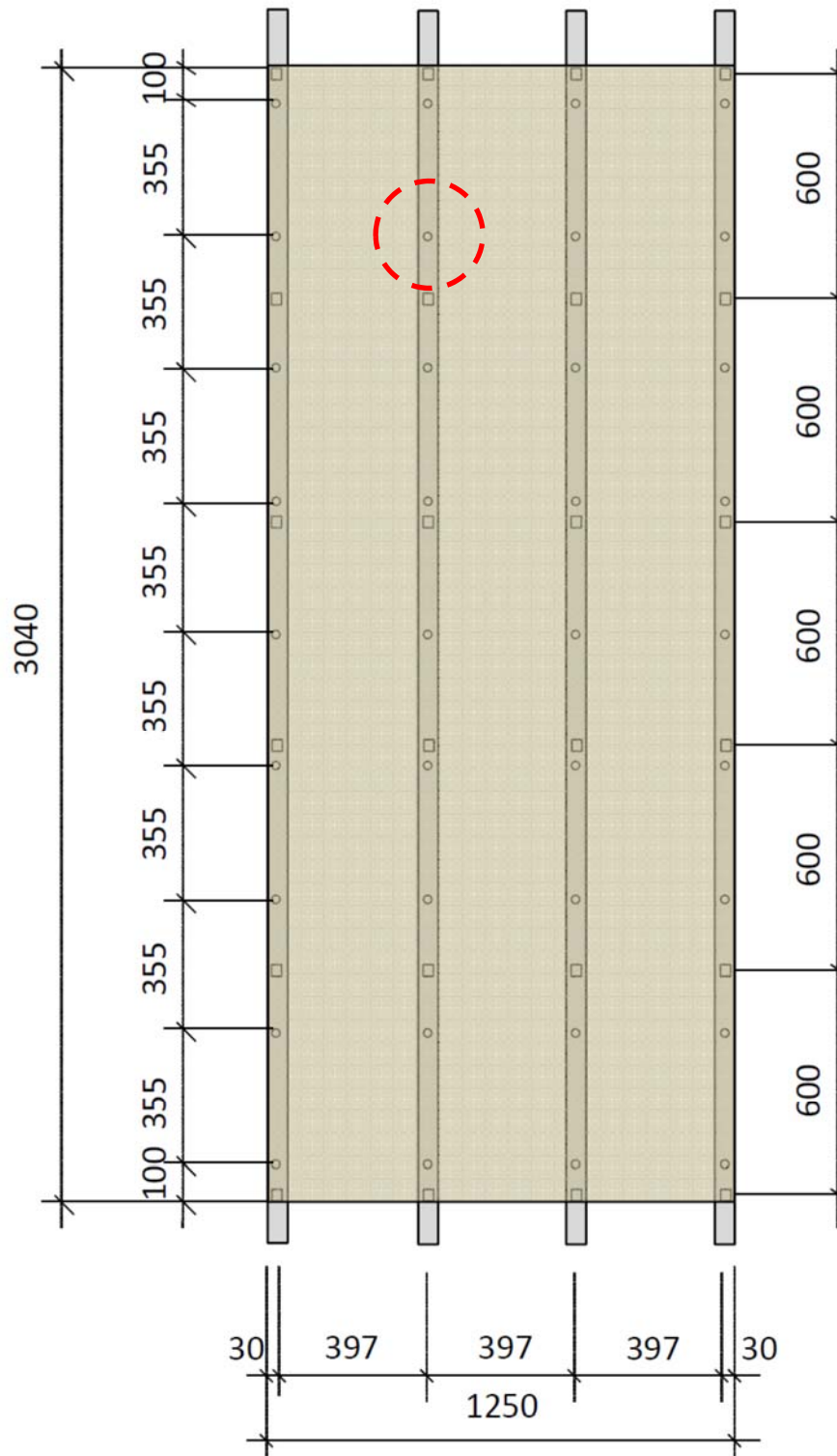


Bild 28: Systemabmessungen

Befestigung: $N_{um} = 1,53 \text{ kN}$ Alu-Niet 4x18/K15, AlMg3/Edelstahl
 $C \approx 1,0 \text{ MN/m}$

Belastung: $q_{um} = 9,26 \text{ kN/m}^2$

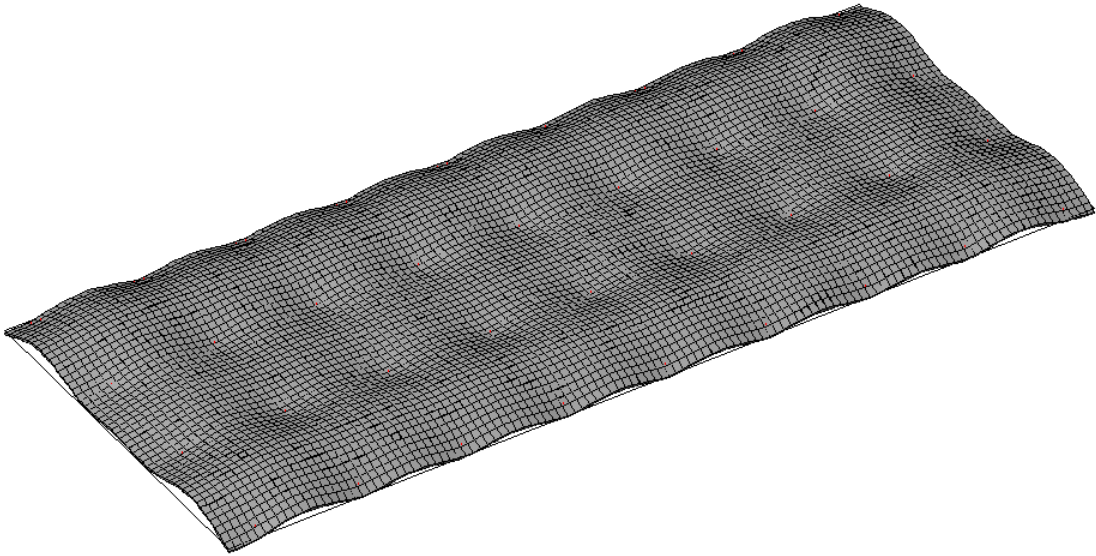


Bild 29: Verformung (frei drehbare Auflager)

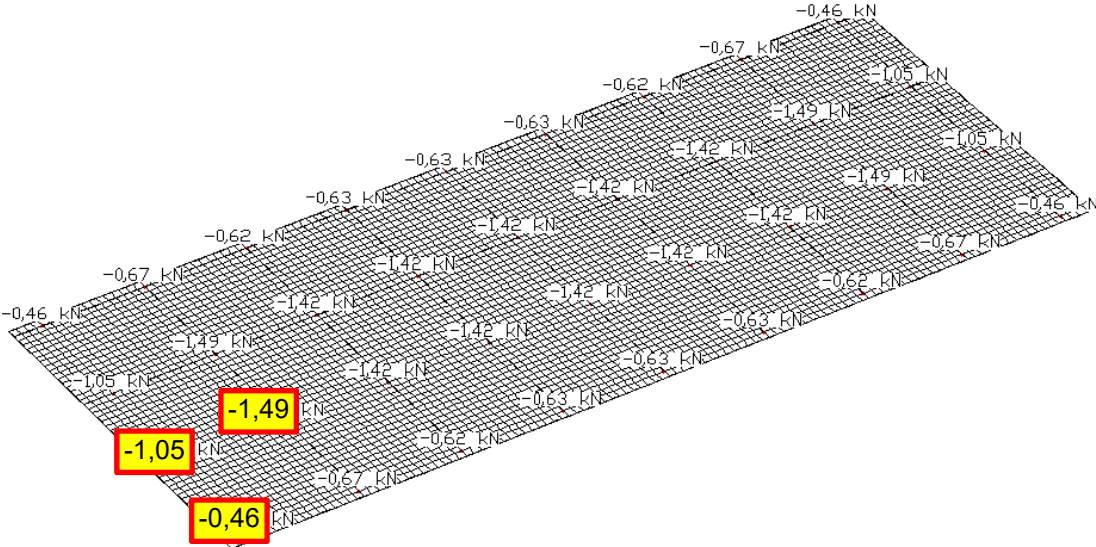


Bild 30: Auflagerkräfte (kN)

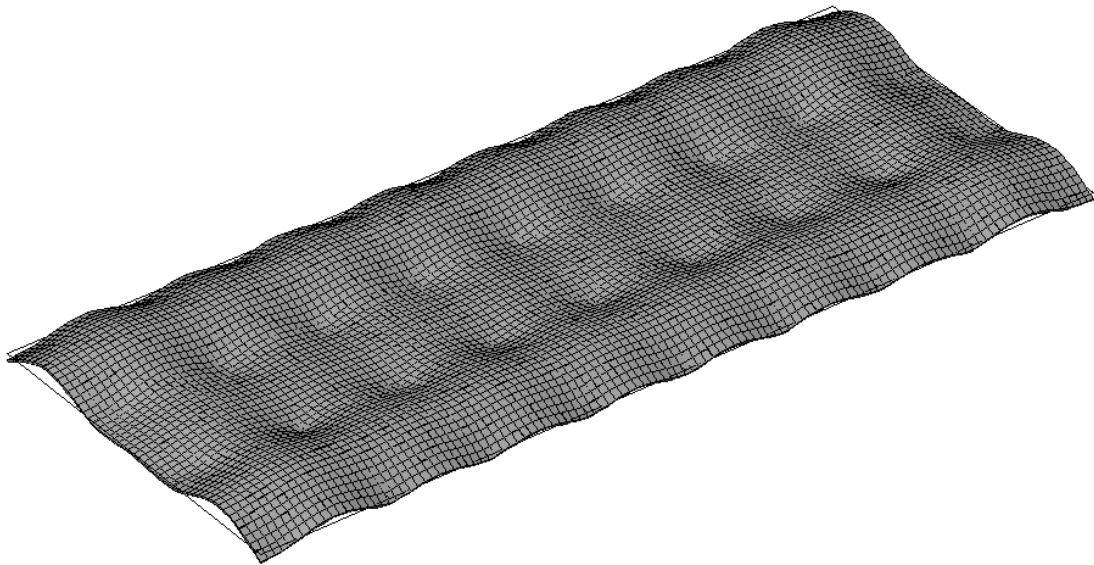


Bild 31: Verformung (behinderte Verdrehung Auflager)

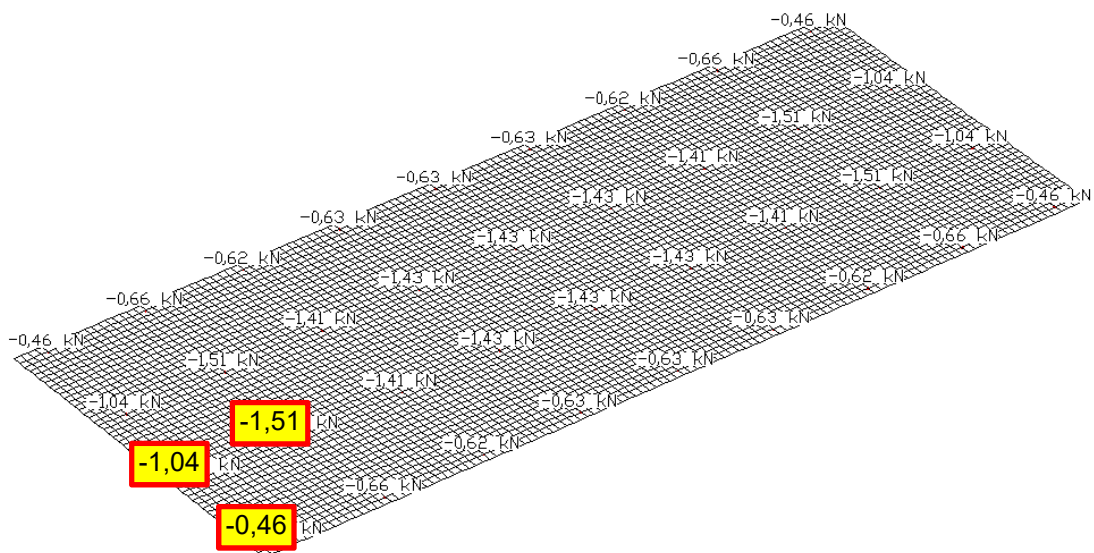
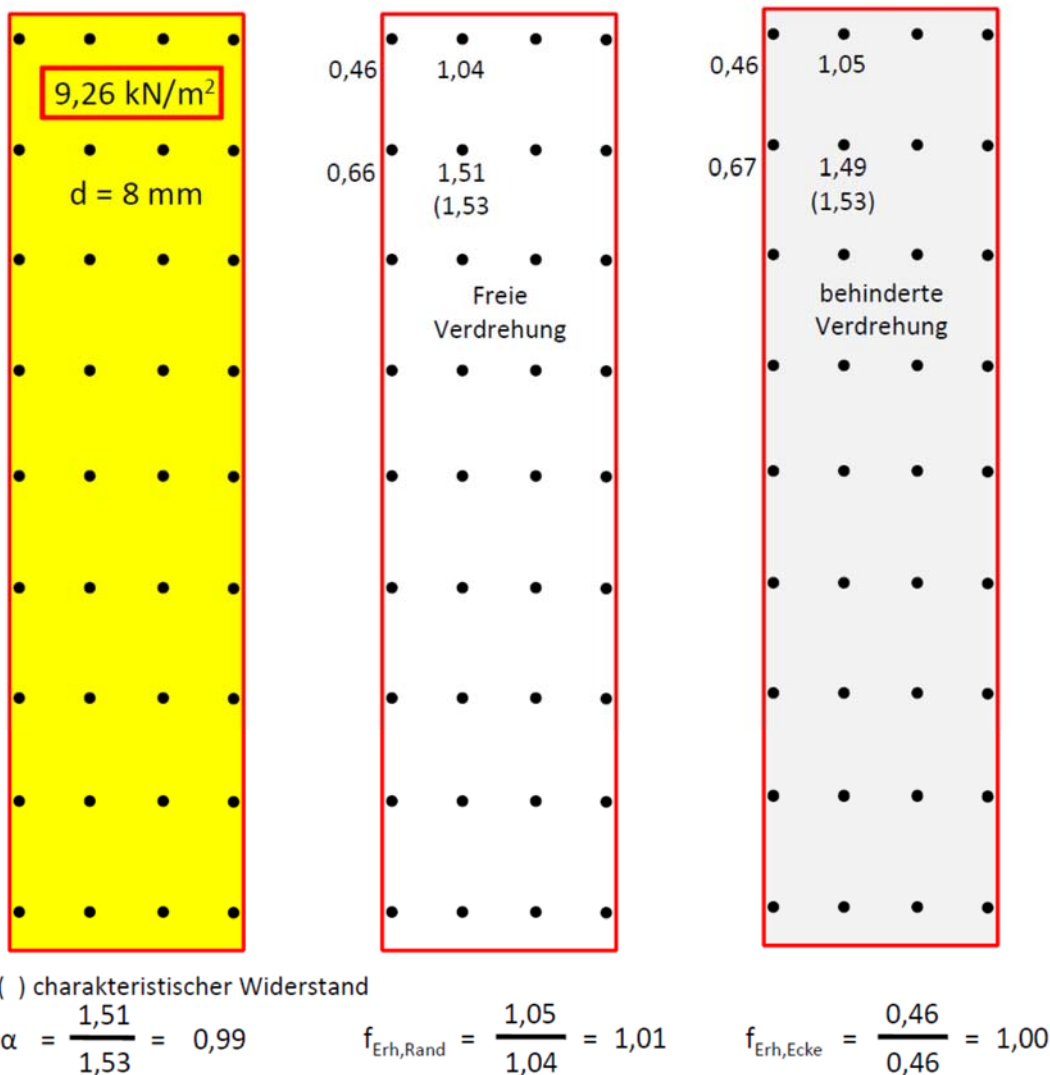


Bild 32: Auflagerkräfte (kN)



- α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
- $f_{\text{Erh,Rand}}$ = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Randbefestigung
- $f_{\text{Erh,Ecke}}$ = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Eckbefestigung

Die Ermittlung der Auflagerkräfte erfolgt mit Hilfe eines FE-Programms mit frei drehbaren Auflagern. Die Berechnung erfolgt mit der Ersatzflächenlast. Dem gegenübergestellt ist der mittlere Widerstand () der Befestigung.

Das Versagen tritt an einem Niet in der Mitte der Platte auf. Sowohl bei der frei drehbaren Auflagerung als auch bei der Behinderung der Auflagerverdrehung kann die Tragfähigkeit der Nietbefestigung voll genutzt werden. Aufgrund des geringen Abstandes der Befestigungen und dem verhältnismäßig großen Plattenüberstandes (100 / 355) in Längsrichtung des vertikalen Tragprofils ergeben sich keine zusätzlichen Beanspruchungen infolge der Behinderung der Auflagerverdrehung.

6 Faserzementplatte (Weißzement)

Der Bauteilversuch diente im Rahmen einer Zulassung als Nachweis der Fassadenplatte mit geringer Anzahl der Befestigungen. Für die Beurteilung des Bauteilversuchs erfolgt eine Berechnung mit frei drehbaren Auflagern. Zusätzlich erfolgt eine Berechnung der Auflagerverdrehung in Richtung der vertikalen Tragprofile. Unter Berücksichtigung der Federwirkung der Befestigung und der Verformung des vertikalen Tragprofils im Einleitungsbereich der Nietbefestigung wird eine Federwirkung von $C \approx 1,0 \text{ MN/m}$ berücksichtigt.

Fassadenplatte:

L	=	900 mm	H	=	2040 mm
E_L	=	100 mm	E_H	=	120 mm
d	=	8 mm	E	=	15000 N/mm ²

Abmessungen

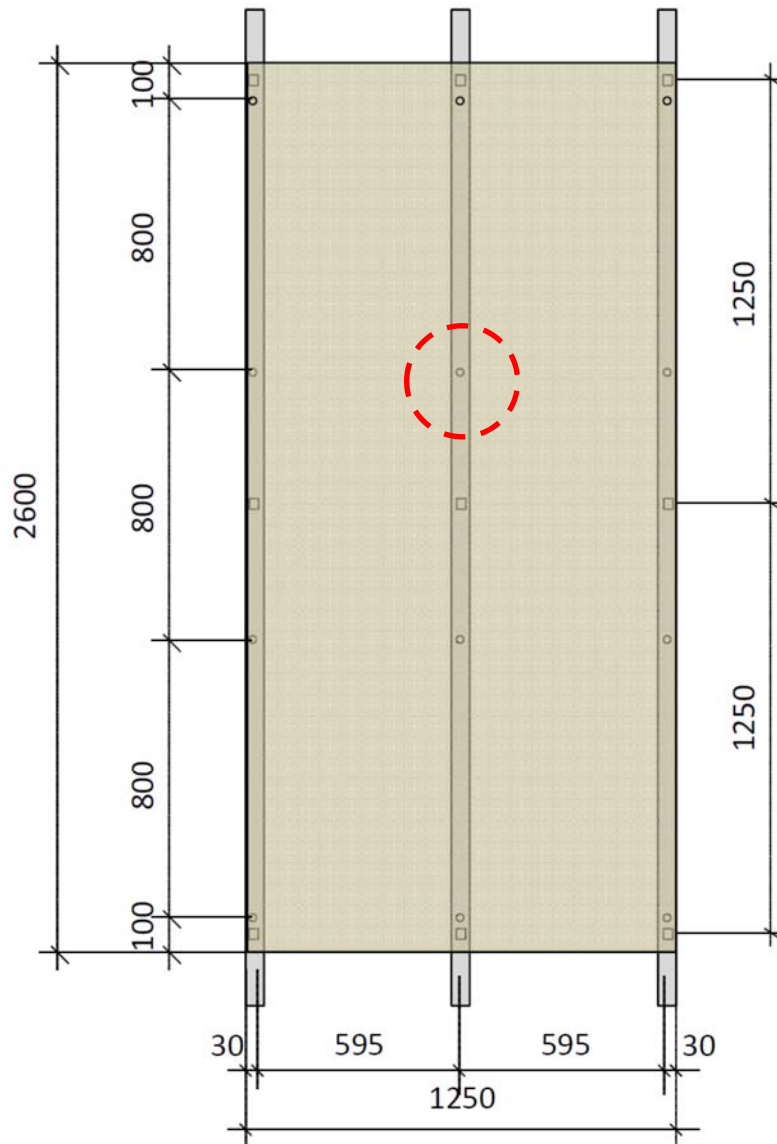


Bild 33: Systemabmessungen

Befestigung: $N_{um} = 2,24 \text{ kN}$ Alu-Niet 4x18/K15, AlMg3/Edelstahl
 $C \approx 1,0 \text{ MN/m}$

Belastung: $q_{um} = 3,40 \text{ kN/m}^2$

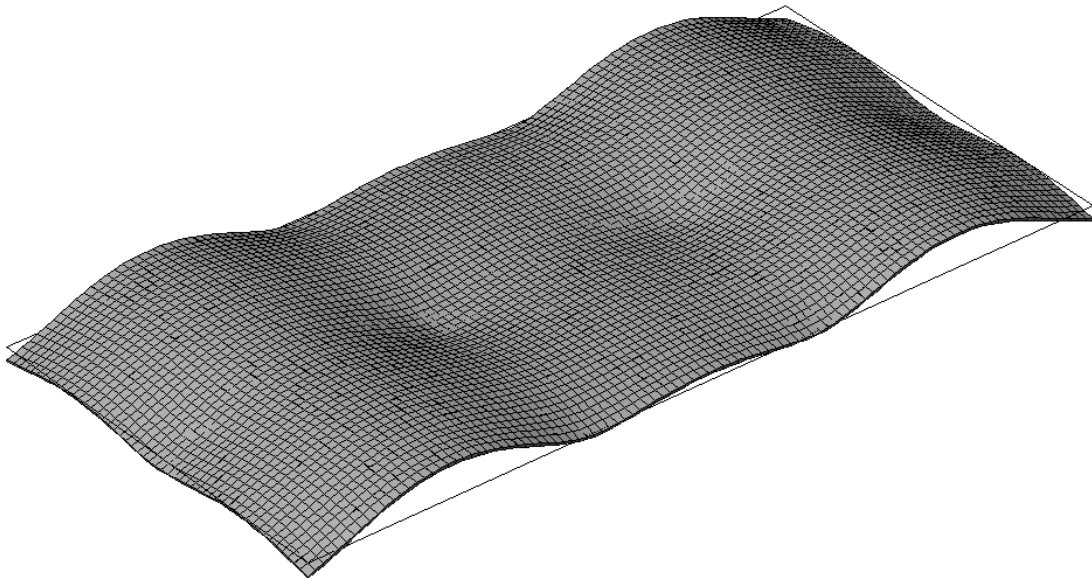


Bild 34: Verformung (frei drehbare Auflager)

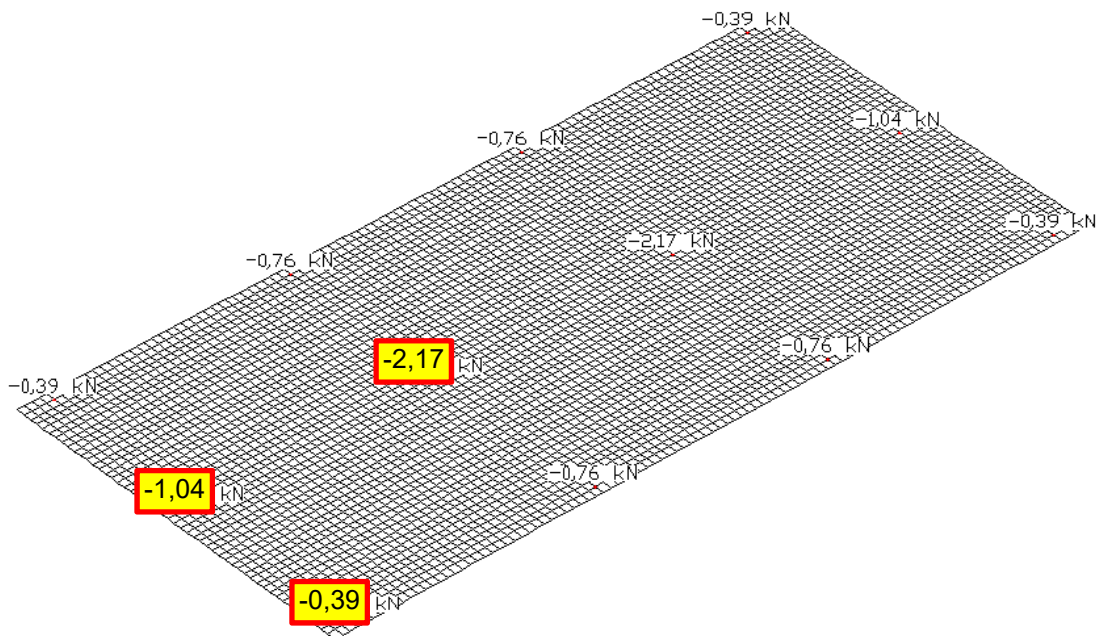


Bild 35: Auflagerkräfte (kN)

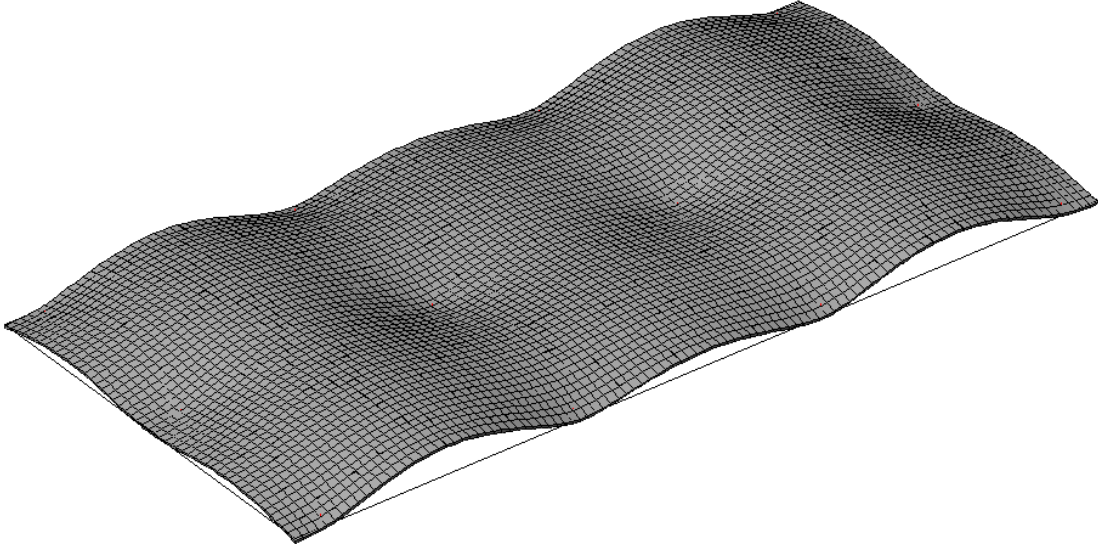


Bild 36: Verformung (behinderte Verdrehung Auflager)

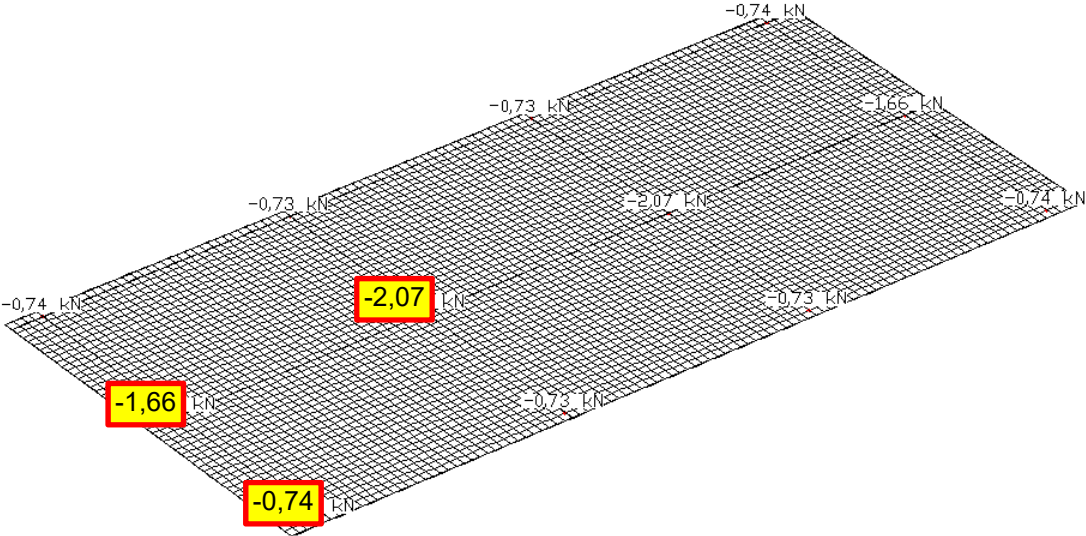
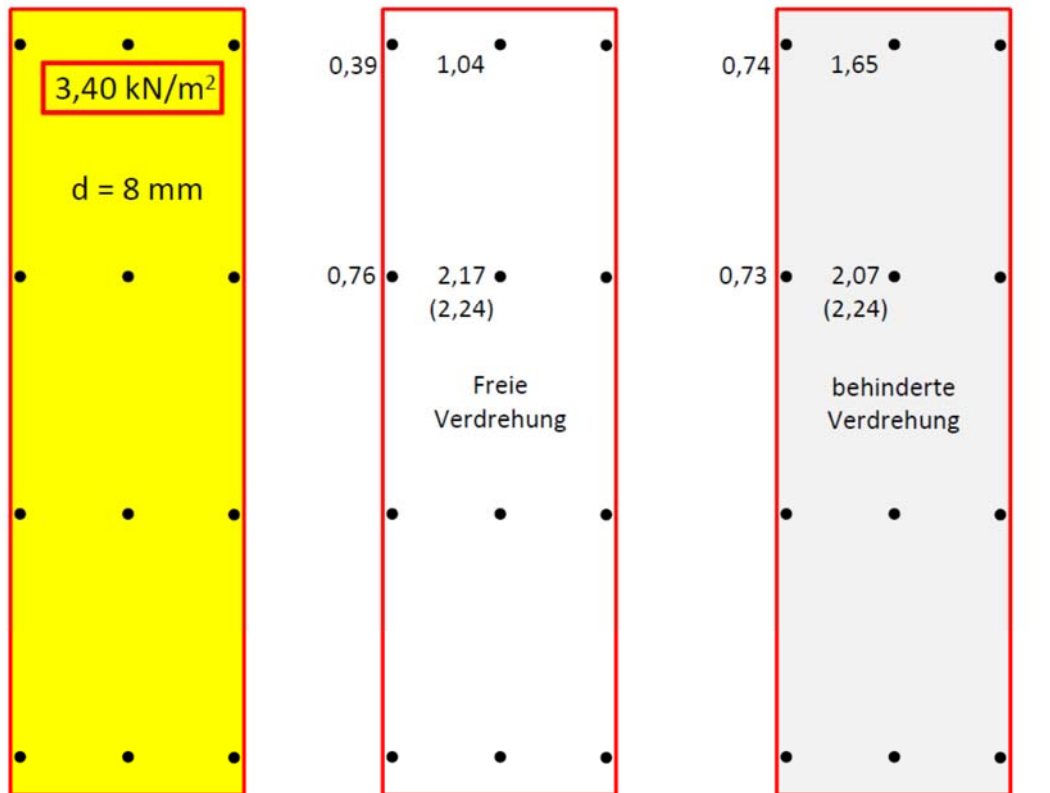


Bild 37: Auflagerkräfte (kN)



() charakteristischer Widerstand

$$\alpha = \frac{2,17}{2,27} = 0,96$$

$$f_{\text{Erh,Rand}} = \frac{1,65}{1,04} = 1,59$$

$$f_{\text{Erh,Ecke}} = \frac{0,74}{0,39} = 1,90$$

- α = Reduktionsfaktor der Tragfähigkeit der Befestigung
- $f_{\text{Erh,Rand}}$ = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Randbefestigung
- $f_{\text{Erh,Ecke}}$ = Erhöhungsfaktor für die Belastung der Eckbefestigung

Die Ermittlung der Auflagerkräfte erfolgt mit Hilfe eines FE-Programms mit frei drehbaren Auflagern. Die Berechnung erfolgt mit der Ersatzflächenlast. Dem gegenübergestellt ist der mittlere Widerstand () der Befestigung.

Das Versagen tritt an einem Niet in der Mitte der Platte auf. Sowohl bei der frei drehbaren Auflagerung als auch bei der Behinderung der Auflagerverdrehung kann die Tragfähigkeit der Nietbefestigung voll genutzt werden. Lediglich an der Eck- und der Randbefestigung ergeben sich zusätzliche Beanspruchungen infolge der Behinderung der Auflagerverdrehung. Diese Zusatzbeanspruchungen resultieren aus dem großen Abstand der Befestigung in Richtung des Tragprofils

Die Beanspruchung infolge Behinderung der Auflagerverdrehung der Eck- und Randbefestigung liegt unterhalb der Tragfähigkeit der Nietbefestigung. Diese Zusatzbeanspruchungen werden durch diese Versuchsanordnung nicht erfasst.

7 Beton- und Naturwerksteinplatten

Fassadenplatten aus Beton- und Naturwerkstein sind im Regelfall mit maximal vier Befestigungen montiert und sind somit statisch bestimmt gelagert. Die Schnittkräfte im Feld und die Auflagerkräfte lassen über Gleichgewichtsbetrachtungen ermitteln. Lediglich die Momente im Bereich der Befestigung und die Tragfähigkeit der Befestigung unter baupraktischen Bedingungen sind durch Bauteilversuche zu klären.

Die Beanspruchung im Bereich der Befestigung ist vom Typ der Befestigung abhängig. Durch Bauteilversuche mit unterschiedlichen statischen Systemen (Tabellen 3 und 4) wurden die Biegemomente ermittelt und dienen zur Kalibrierung von Rechenmodellen.

Die Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit einer Dornbefestigung erfolgt entsprechend DIN EN 13364 (Bild 38) mit geringen Spalt. In der Realität ist jedoch mit einem größeren Spalt zu rechnen, da die Standardfugenbreite 10 mm beträgt und der Spalt zwischen Ankersteg und Plattenrand > 5 mm betragen kann. Es ist zu erwarten, daß mit größeren Fugenbreiten eine Reduzierung der Tragfähigkeit einhergeht

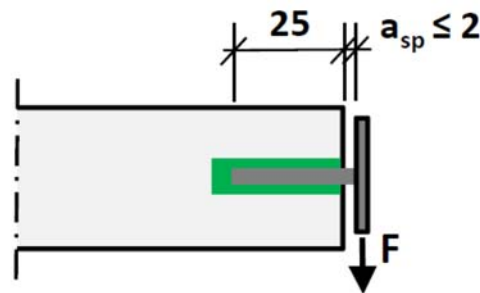


Bild 38: Versuchsanordnung

Der Einfluss einer größeren Spaltbreite, soweit keine Stahlversagen zu erwarten ist, näherungsweise (Bild 39) abgeschätzt werden. Entsprechend Bild 41 führt größere Spaltbreite zu einer Reduzierung des charakteristischen Widerstandes einer Dornbefestigung. Aus diesem Grunde sind die realen Bedingungen bei einem Bauteilversuch berücksichtigt werden.

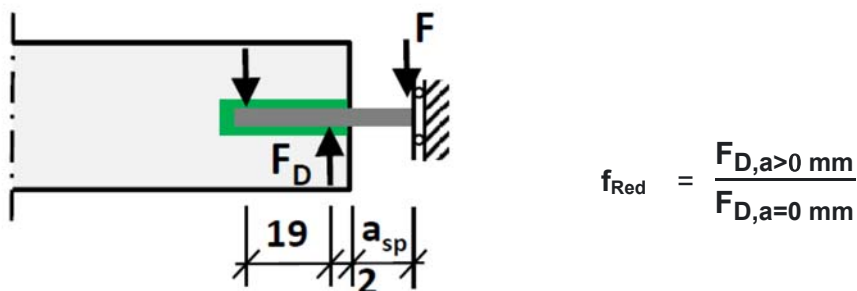


Bild 39: Rechenmodell

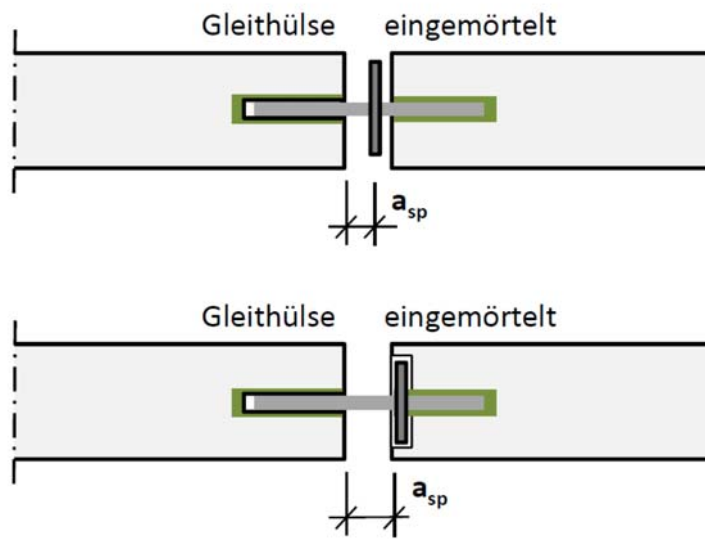


Bild 34: Spaltbreite

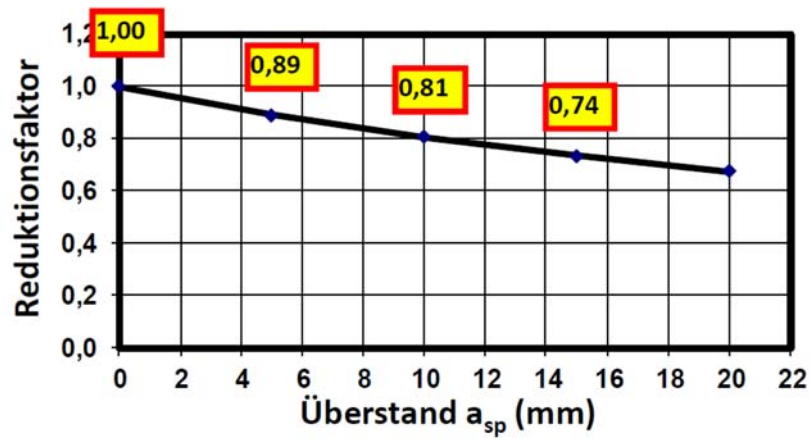


Bild 41: Abminderung Ausbruchlast am Ankerdorn

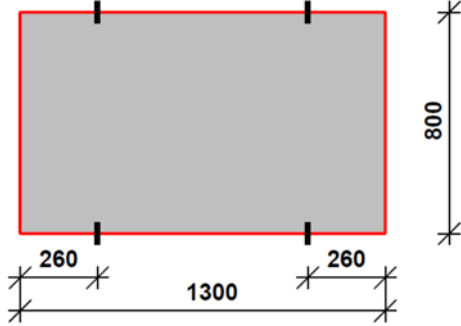
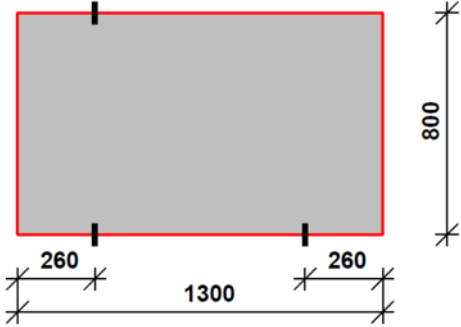
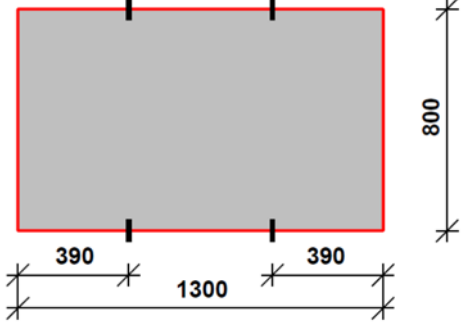
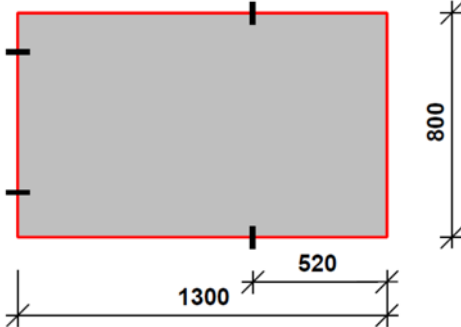
Nr.	System	Momentenbeiwert		Moment zur FE-Kalibrierung (1,0 kN/m ²) (Nm/m)
		Versuch (Mittelwert)	gewählt	
1		0,090	0,163	170
2		0,270		
3		0,142		
4		0,226		

Tabelle 2

Nr.	System	Momentenbeiwert		Moment zur FE-Kalibrierung (1,0 kN/m ²) (Nm/m)
		Versuch (Mittelwert)	gewählt	
5		0,357		
6		0,100		
7		0,077	0,077	80
8		0,202		

Tabelle 3

8 Abstandsmontage von Agraffen

Die Abstandsmontage von Agraffen kann sich aus mehreren Gründen ergeben. Zum einen kann durch die Abstandsmontage die Toleranz von Werksteinplatten (Dickentoleranz von 2 bis 3 mm) ausgeglichen werden, zum anderen ergibt sich eine quasi zwängungsfreie Verdrehung der Plattenaufleger.

Wie Bauteilversuche aufzeigen ergeben sich aus der Behinderung der Verformung der Fassadenplatte zusätzliche Schnittgrößen für die Befestigung.

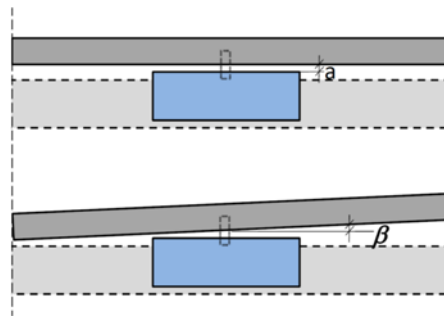


Bild 42: Agraffe mit Abstandsmontage

Die Auflagerverdrehung der Befestigung (Bild 43) setzt sich zusammen aus der Verformung der Fassadenplatte und der Verformung der Unterkonstruktion. Der Abstand zwischen der Rückseite und der Agraffe (Bild 42) muss so groß sein, die Außenkante der Agraffe nicht die Fassadeplatte berührt, um Zwängungskräfte zu vermeiden.

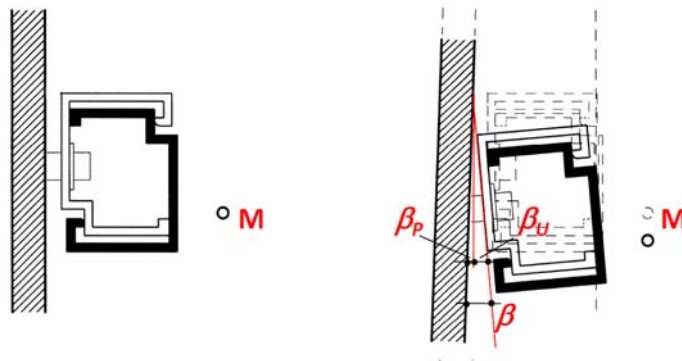


Bild 43: Funktionsprinzip der Abstandsmontage

- β = Gesamtverdrehung aus Platte und Unterkonstruktion (Grad)
- β_P = Verdrehung Platte (Grad)
- β_U = Verdrehung Unterkonstruktion (Grad)

Die Verdrehung aus der Fassadenplatte kann durch den Abstand der Befestigungspunkte und die Plattendicke beeinflusst werden. Die Verdrehung aus der Unterkonstruktion ergibt sich aus der Lage der Agraffe auf dem horizontalen Tragprofil und der Querschnittsform. Geschlossene Profile führen zu geringeren Verdrehungen als offene. Befinden sich die Agraffen in der Nähe der vertikalen Tragprofile, kann näherungsweise die Verdrehung aus der Unterkonstruktion vernachlässigt werden.

Verdrehungen im Auflagerbereich können bei einer Abstandsmontage der Dübel zu einer Verminderung der Tragfähigkeit führen. Je nach Einbindetiefe (Bild 44) des Dübels und der Festigkeit des Fassadenmaterials kann es zu lokalen Zerstörungen des Fassadenmaterials im Bereich der Befestigung kommen. Je größer die Einbindung des Dübels im Fassadenmaterial ist und je höher die Festigkeit des Fassadenmaterials ist umso geringer wirkt sich die Verdrehung auf die Tragfähigkeit des Dübels aus.

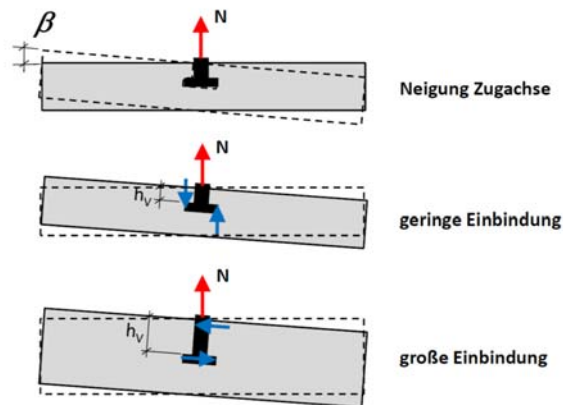


Bild 44: Wirkung Auflagerverdrehungen

Das Bild 45 zeigt für verschiedene Materialien und verschiedene Einbindetiefen des Dübels die Reduzierung der Tragfähigkeit für zentrischen Zug.

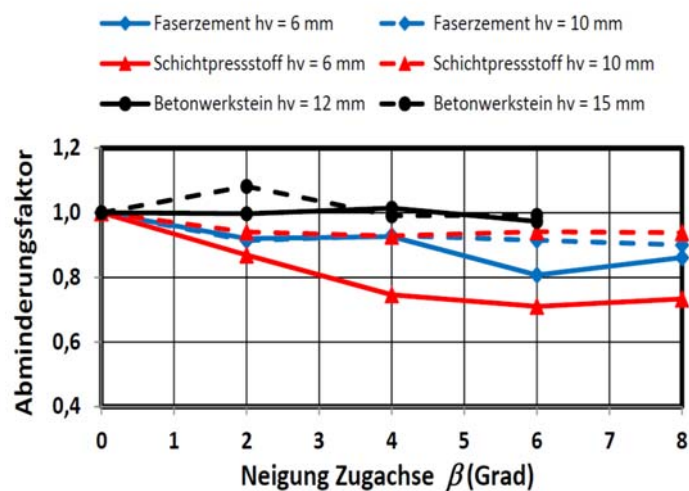


Bild 45: Abminderung der Dübeltragfähigkeit durch die Auflagerverdrehung

Die Berechnung der Verdrehung von zweiachsig beanspruchten Fassadenplatten ist aufwendig und kann im Regelfall lediglich abgeschätzt werden.

9 Konsolbildung von Befestigungen bei Lastabtragung von Eigenlasten

Die konstruktive Auslegung von Agraffen und zugehörigen horizontalen Tragprofilen geht von einer ungekoppelten Verformung von Tragprofil und Fassadenplatte aus.

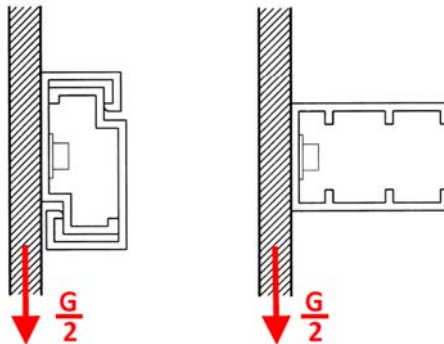


Bild 46: horizontale Tragprofile

Diese Annahmen sind durch die starre Verbindung von Agraffe und Fassadenplatte nicht zutreffend und führen zu zusätzlichen Kräften am Befestigungsmittel, die durch die üblichen Bemessungsregeln nicht erfasst werden.

Beim Einsatz von offenen Tragprofilen kann die Last nur im Schubmittelpunkt torsionsfrei (Primärtorsion) abgetragen werden. Der Schubmittelpunkt liegt bei den üblichen offenen Tragprofilen ca. 1,2 bis 1,5 x der Profilbreite von der Plattenrückseite entfernt.

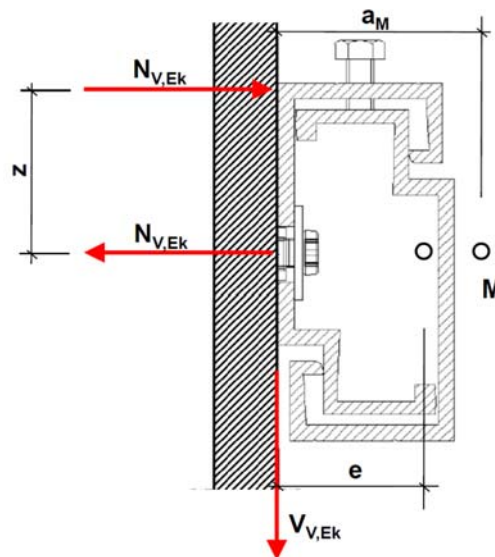


Bild 47: Zusatzbelastung infolge offener Profile

Bei der üblichen Bemessung von horizontalen Tragprofilen wird zwar eine Doppelbiegung der Profile berücksichtigt, eine Torsion des Profils wird jedoch ausgeschlossen. Die Einspannung der Agraffe in die Fassadenplatte ist somit zur Herstellung des Systemgleichgewichts zwingend erforderlich. Die horizontalen Tragprofile werden durch die Fassade vertikal und horizontal belastet. Für beide Belastungsrichtungen ist das offene Profil nicht torsionsfrei. Die Torsionsbeanspruchung des Tragprofils führt zu einer zusätzlichen Zugkraft des Befestigungsmittels.

Neben der Primärtorsion ist bei offenen Profilen auch die Sekundärtorsion (Wölbkrafttorsion) vorhanden. Je nach dem Verhältnis der beiden Torsionsanteile ergibt sich eine Konsolbildung mit einer Auskragung in folgender Größenordnung:

$$0 \leq e \leq a_M \quad (\text{bei Vertikallasten})$$

e (mm) real vorhandene Konsollänge
 a_M (mm) Abstand Schubmittelpunkt von der Plattenrückseite

Für die real vorhandene Konsollänge kann näherungsweise folgender Wert zugrunde gelegt werden:

$$e \approx 0,7 \dots 0,9 \cdot a_M$$

Hieraus ergeben sich die zusätzlichen Zugkräfte des Befestigungsmittels zu

$$N_{V,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot e}{z}$$

$N_{V,Ed}$ (kN) zusätzliche Zugkraft der Befestigung
 V_{ED} (kN) Querkraft der Befestigung aus Eigenlast
 e (mm) wirksame Lastausmitte
 z (mm) Abstand des Befestigungsmittels von OK Agraffe

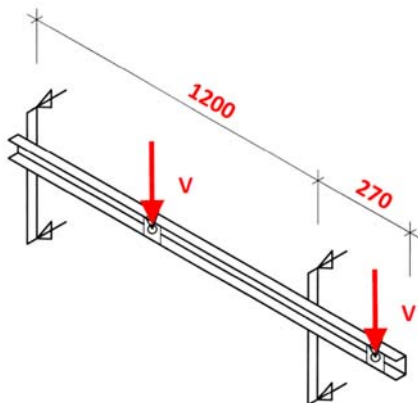


Bild 48: Versuchsanordnung zur Ermittlung der Zusatzbelastung infolge offener Profile

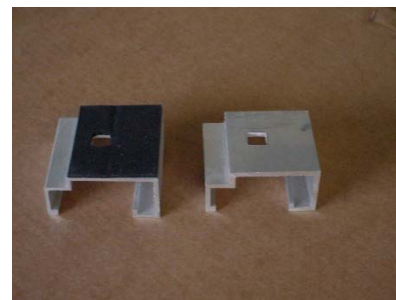


Bild 49: Agraffe mit und ohne Beschichtung

Diese zusätzliche Zugbeanspruchung führt dazu, dass durch die Interaktion von Zugkraft und Querkraft die Befestigung nicht entsprechend den vorgegebenen zulässigen Traglasten genutzt werden kann. Dieser Sachverhalt wurde durch Versuche nachvollzogen. Zu diesem Zweck wurden offene Profile entsprechend der Versuchseinrichtung (Bild 48) in Feldmitte und am Kragarm belastet.

Eingesetzt wurden Agraffen (Bild 49) mit und ohne Beschichtung. Bei einer Belastung ohne Behinderung der Verdrehung durch die Fassadenplatte (Bilder 49 und 50f) treten sehr große Profilverdrehungen auf. Durch die Fassadenplatte werden die Verdrehungen behindert und führen zu zusätzlichen Kräften in der Befestigung.

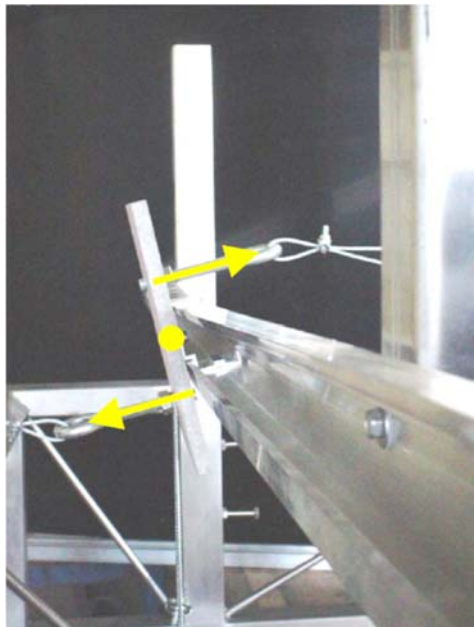


Bild 50: Profilverformung aus Eigenlast Platte



Bild 51: Profilverformung aus Eigenlast Platte



Bild 52: Verformung unbehindert

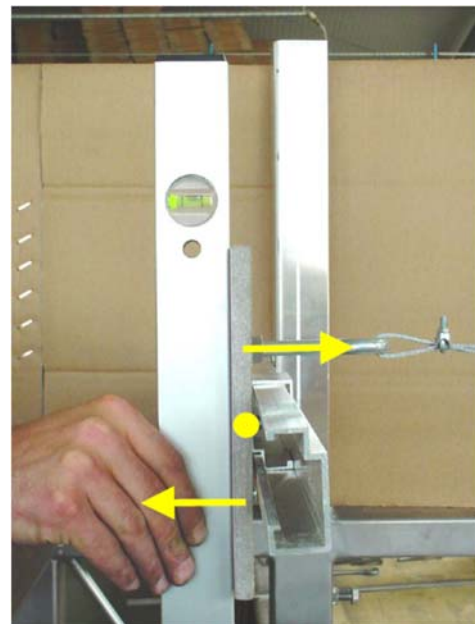


Bild 53: Verformung behindert

Das Einspannmoment der Agraffe wurde durch horizontal aufgebrachte Kräfte ermittelt. Eine Agraffe mit und ohne Einspannung ist in den Bildern 52 und 53 dargestellt.

Für die Belastung in Feldmitte wurde die Belastung der Agraffe bei behinderter Verdrehung bis zum Bruch gesteigert. Die Bruchlast des Systems (Faserzementplatte) stellte sich bei einer Last von $V = 1,40 \text{ kN}$ ein.

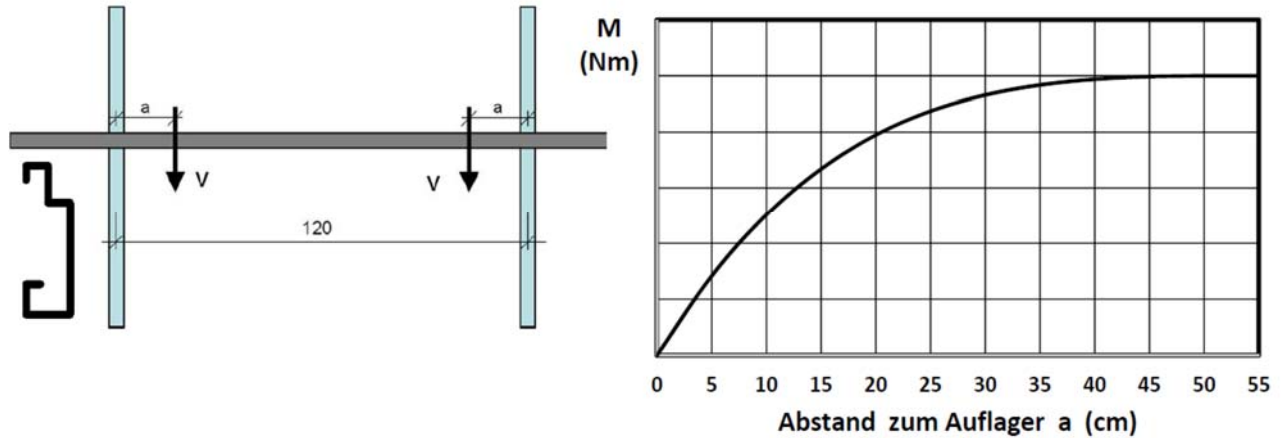


Bild 54: Lage von Agraffen

Die Zusatzbeanspruchung der Befestigung durch eine bündig montierte Agraffe kann durch die Lage der Agraffe auf dem horizontalen Tragprofil beeinflusst werden. Je näher die Agraffe (Bilder 54) sich am vertikalen Tragprofil befindet, umso geringer ist die Zusatzbeanspruchung.

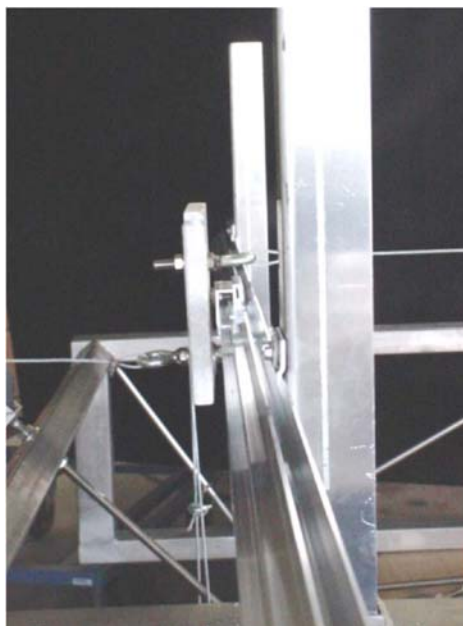


Bild 55: Verformung geschlossenes Profil

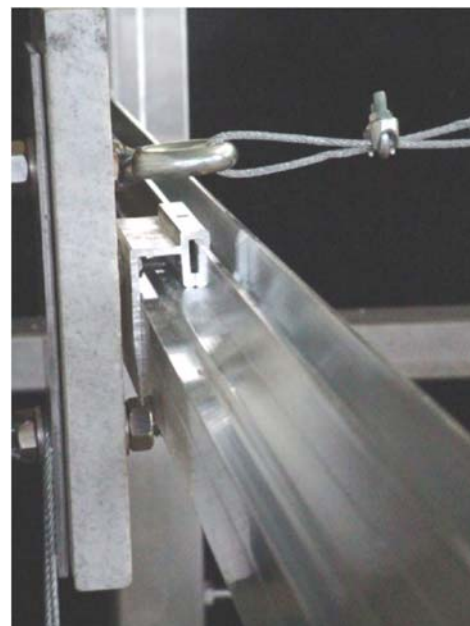


Bild 56: Verformung geschlossenes Profil

Ebenfalls lässt sich die Zusatzbeanspruchung durch den Einsatz von geschlossen (Bilder 55 und 56) reduzieren.

Beispiel Fassadenplatte aus Faserzement

Eine Faserzementplatte mit einer Dicke von 12 mm, einer Breite von 1,25 m und einer Höhe von 2,60m wird mit Hinterschnittdübeln befestigt. Die Befestigung erfolgt an Agraffen als Verankerungen

auf einem horizontalen Tragprofil, die an vertikalen Tragprofilen befestigt sind. Unterkonstruktion wird mit offenen Profilen hergestellt. Die Nachweise werden entsprechend Zulassung erbracht

Fassadenplatte:

L	=	1250 mm	H	=	2600 mm
E_L	=	100 mm	E_H	=	100 mm
d	=	525 mm	E	=	600 mm
d	=	12 mm	E	=	12000 N/mm ²

Befestigung:

N_{Rk}	=	1,00 kN	h_s	=	7,0 mm
V_{Rk}	=	1,70 kN	γ_M	=	1,8

Belastung:

w_{Ek}	=	-0,90 kN/m ²	g_{Ek}	=	0,26 kN/m ²
----------	---	-------------------------	----------	---	------------------------

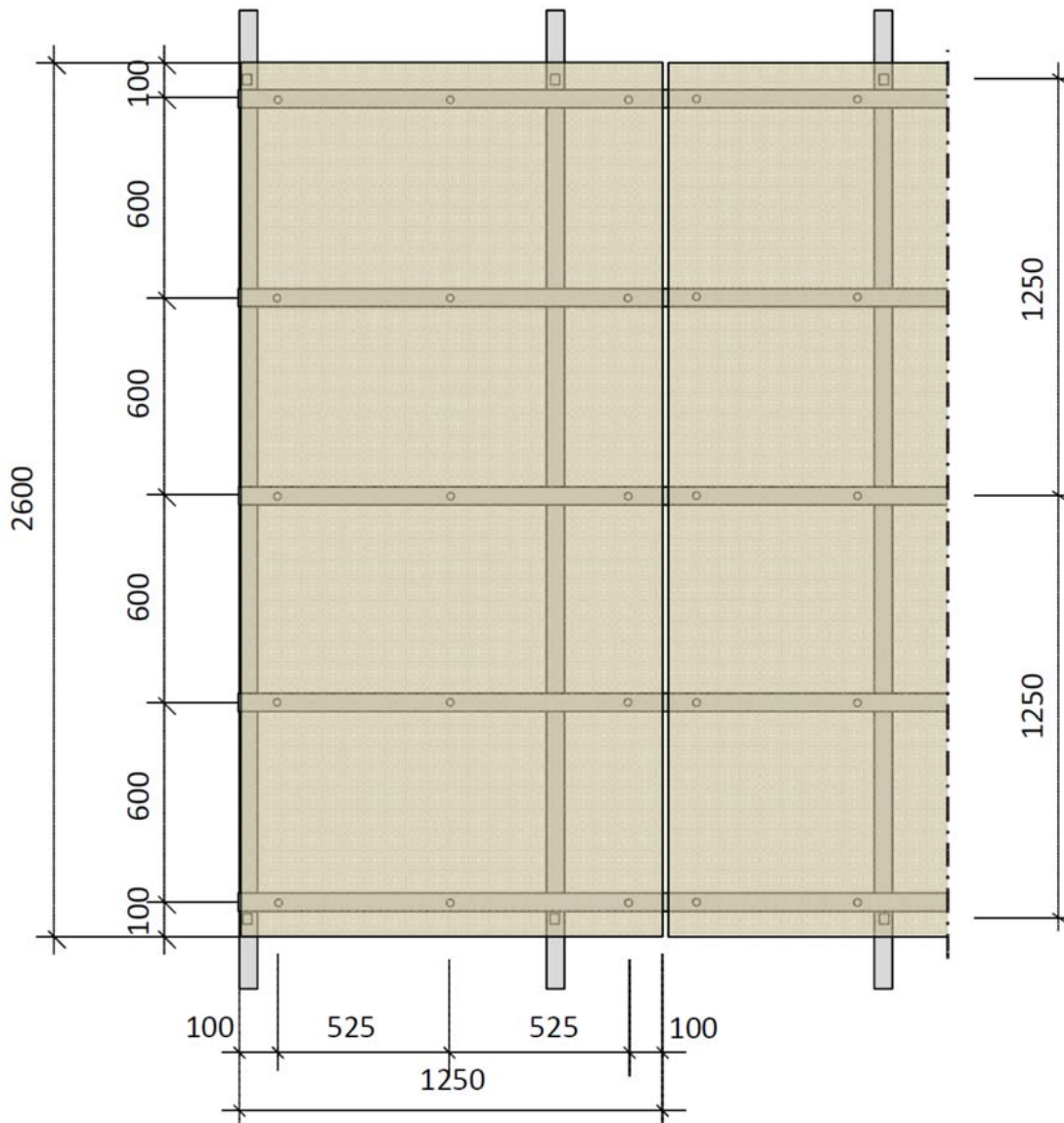


Bild 57: Systemabmessungen

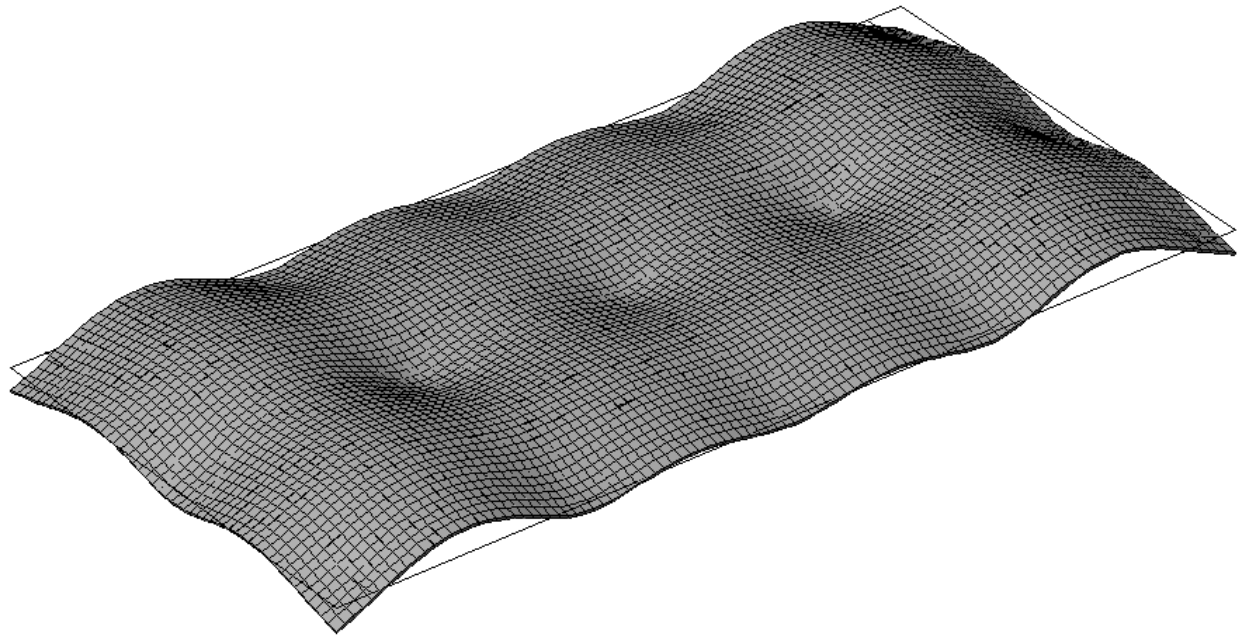


Bild 58: Verformungen

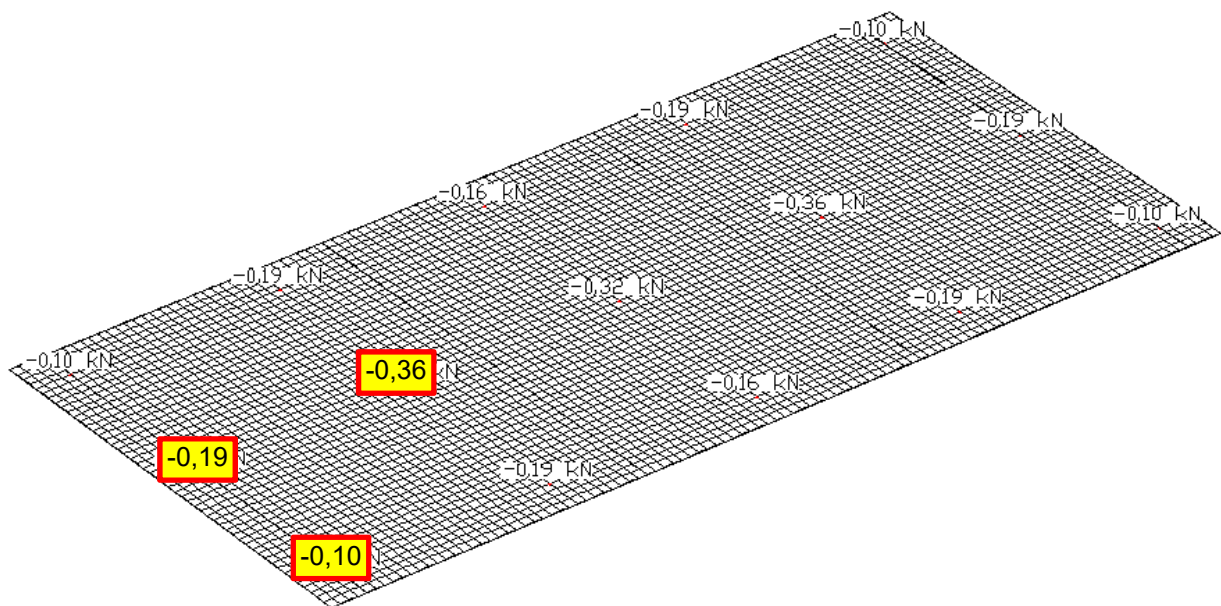


Bild 59: Auflagerkräfte (kN)

Die Zugkräfte aus einer Windbelastung der Fassadenplatte ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} N_{Ek} &= 0,36 \text{ kN (Dübel in der Mitte)} \\ N_{Ed} &= \gamma_F \cdot N_{Ek} = 1,50 \cdot 0,36 \\ &= 0,54 \text{ kN} \\ N_{Ek} &= 0,10 \text{ kN (Eckdübel)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= \gamma_F \cdot N_{Ek} = 1,50 \cdot 0,10 \\ &= 0,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Eigenlasten der Fassadenplatte ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} V_{Ek} &= \frac{0,26 \cdot 1,25 \cdot 2,60}{2} \\ &= 0,42 \text{ kN} \\ V_{Ed} &= \gamma_F \cdot V_{Ek} = 1,35 \cdot 0,42 \\ &= 0,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bemessungswiderstände des Dübels:

$$\begin{aligned} N_{Rk} &= 1,00 \text{ kN} \\ N_{Rd} &= N_{Rk} / \gamma_F = 1,00 / 1,80 = 0,56 \text{ kN} \\ V_{Rk} &= 1,70 \text{ kN} \\ V_{Rd} &= V_{Rk} / \gamma_F = 1,70 / 1,80 = 0,94 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$k = 1,5 \text{ (Exponent für Interaktion)}$$

Nachweis der Befestigung ohne Berücksichtigung der ungewollten Einspannung

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{0,15}{0,56} = 0,27 < 1 \quad \text{(Dübel in der Mitte)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{0,15}{0,56} = 0,27 < 1 \quad \text{(Eckdübel)}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{0,57}{0,94} = 0,61 < 1 \quad \text{(Eckdübel)}$$

Interaktion Eckdübel:

$$\begin{aligned} \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^k + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^k &= \left(\frac{0,15}{0,56}\right)^{1,5} + \left(\frac{0,57}{0,94}\right)^{1,5} \\ &= 0,14 + 0,47 \\ &= 0,61 < 1 \end{aligned}$$

Zusätzliche Zugkräfte infolge Eigengewichtslasten der Fassadenplatte:

$$\begin{aligned} e &\approx 20,0 \text{ mm} \\ z &\approx 30,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$N_{V,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot e}{z} = \frac{0,57 \cdot 20,0}{30,0}$$

$$= 0,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed} + N_{V,Ed}}{N_{Rd}} = \frac{0,15 + 0,38}{0,56}$$

$$= 0,95 < 1 \quad (\text{Eckdübel})$$

Interaktion Eckdübel:

$$(0,95)^{1,5} + (0,61)^{1,5} = 0,93 + 0,47$$

$$= 1,40 > 1$$

Die Einspannung der Agraffe kann durch die Verringerung des Abstandes zum nächsten vertikalen Tragprofil reduziert werden. Für das Beispiel ergibt sich eine maximal zulässige Lastausmitte (Bild 60) e von ca. 12 mm.

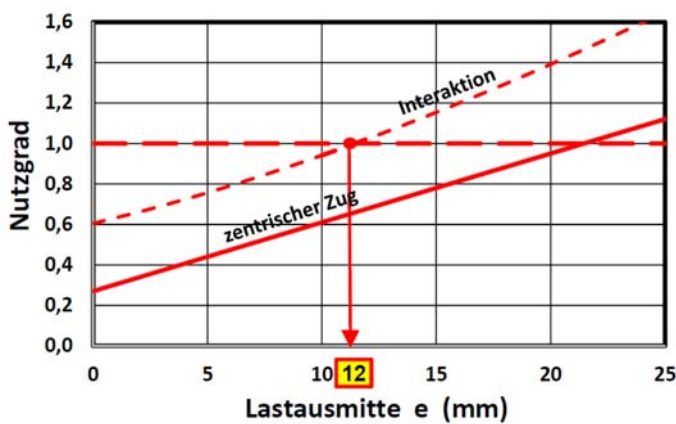


Bild 60

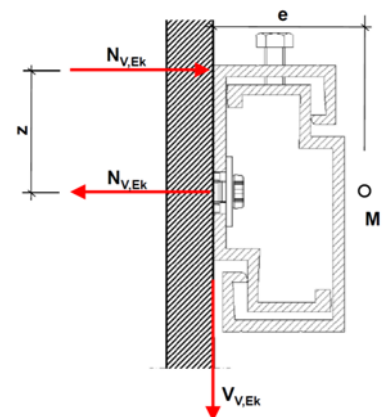


Bild 61

Aus diesem Grunde findet sich in den Zulassungen folgender Hinweis:

Dieser Einfluss kann unberücksichtigt bleiben, wenn der Anker keinen horizontalen Abstand zu den vertikalen Tragprofilen hat.