

Statische Berechnung der Leinwand- Halterung für die Stadtkirche in Bönningheim

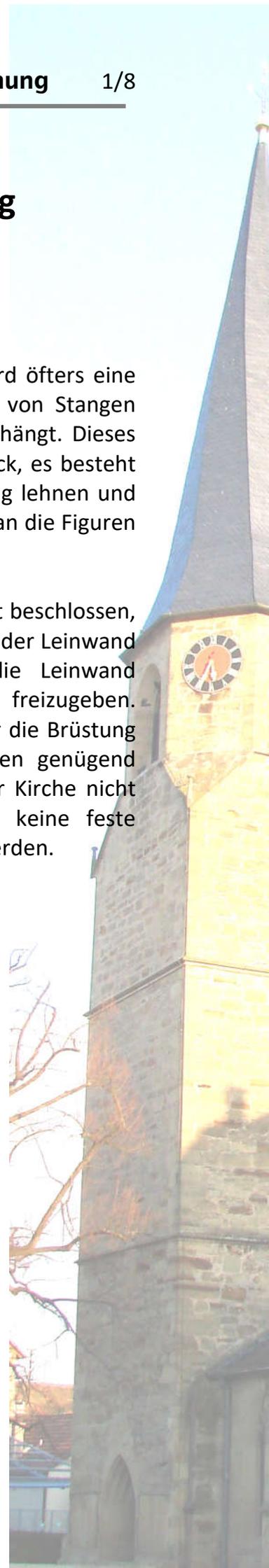
Projektbeschreibung:

Für Gottesdienste und anderweitige Veranstaltungen in der Kirche wird öfters eine Leinwand benötigt. Bisher wurde die Leinwand aufwändig mit Hilfe von Stangen händisch über die Brüstung gehängt und nach Gebrauch wieder abgehängt. Dieses zeitaufwändige Unterfangen verlangt nicht nur handwerkliches Geschick, es besteht vor allem die Gefahr, dass die Personen sich zu weit über die Brüstung lehnen und das Gleichgewicht verlieren könnten. Hinzu kommt, dass die Leinwand an die Figuren am Lettner stoßen und diese beschädigen könnte.

Um diesen Gefahren künftig zu vermeiden, hat der Kirchengemeinderat beschlossen, eine Halterung für die Leinwand zu installieren. Das Ein- und Ausfahren der Leinwand soll elektronisch erfolgen, damit während des Gottesdienstes die Leinwand hochgefahren werden kann, um den Blick nach vorne aufs Kreuz freizugeben. Vorgabe für die Installation ist, dass die Halterung berührungsfrei über die Brüstung des Lettners geschoben werden kann, die Leinwand beim Ausfahren genügend Abstand zu den Figuren am Lettner aufweist und das Gesamtbild der Kirche nicht gestört wird. Nach Rücksprache mit dem Denkmalschutzamt soll keine feste Installation montiert werden, sondern eine mobile Lösung favorisiert werden.

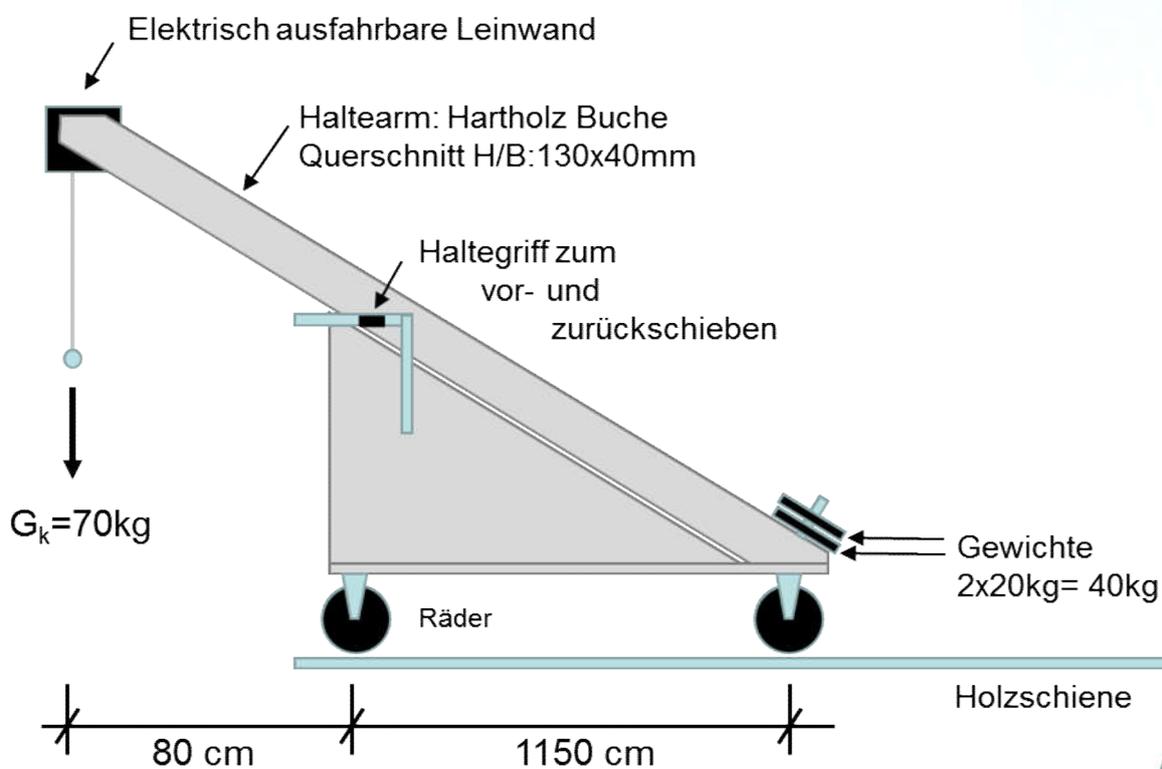


Bild 1: Innenansicht der Kirche



Konstruktion der Leinwandhalterung:

- 1) Zeichnung: Halterung auf Rädern, kann bei Bedarf vor- und zurückgeschoben werden:



- 2) Foto:



Berechnung der Leinwandhalterung:

Verwendung der derzeit gültigen EU- Normen aus dem Bauwesen:

Berechnungsgrundlage	DIN EN 1990 mit nationalem Anhang NA
Lastannahmen	DIN EN 1991 mit nationalem Anhang NA
Holzkonstruktion	DIN EN 1995-1-1 mit nationalem Anhang NA

Statische Untersuchung:

Eigengewicht Leinwand, Herstellerangaben: $G_k = 70 \text{ kg} = 0,70 \text{ kN}$

(Eigengewicht Leinwand, eigene Messung: $G_k = 62 \text{ kg}$)

Länge Leinwand: $L = 3,70 \text{ m}$

Annahmen für die Berechnung:

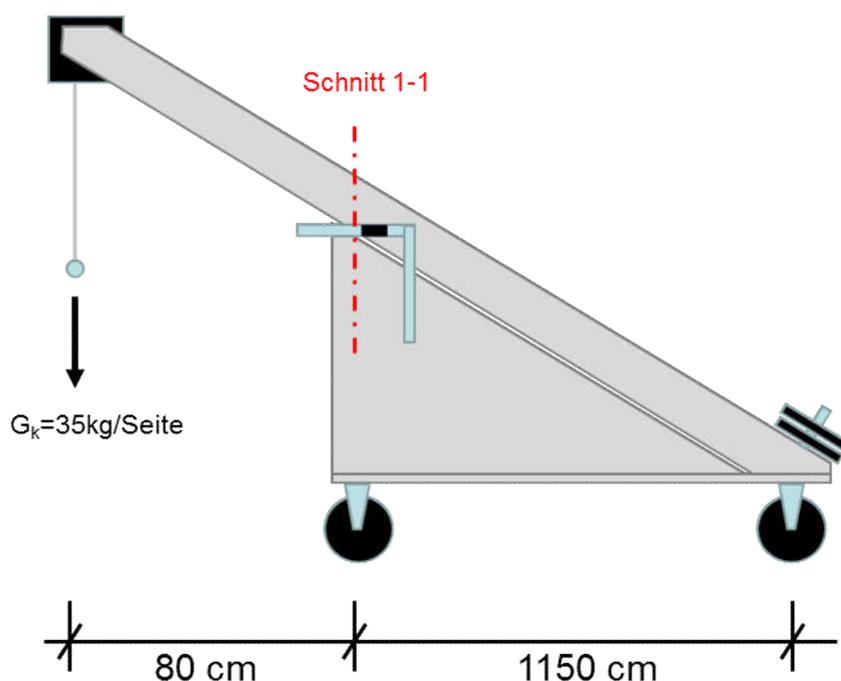
Nutzungsklasse: NKL 2 (da Kirche nicht ständig beheizt)

Modifikationsbeiwert: $k_{\text{mod}} = 0,6$ (für „ständig“ da Leinwand fest montiert ist)

Biegefestigkeit Vollholz Buche, Festigkeit $\geq \text{D30}$: $f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2 = 3,0 \text{ kN/cm}^2$

Teilsicherheitsbeiwert Holz: $\gamma_m = 1,3$

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkung: $\gamma_g = 1,35$



1) Nachweis des Haltearms der Holzkonstruktion am Schnitt 1-1:

Eigengewicht Leinwand	G_k	0,70 kN	Berechnung:
Sicherheitsbeiwert	γ_g	1,35 -	
Eigengewicht Leinwand	G_d	0,95 kN	$G_d = \gamma * G_k$
Eigengewicht pro Seite	G_d	0,47 kN	$G_d = 1/2 * G_d$
Hebelarm	e	0,8 m	
Moment auf Haltearm:	$M_{Ed,1}$	0,38 kNm	$M_{Ed} = G_d * e$

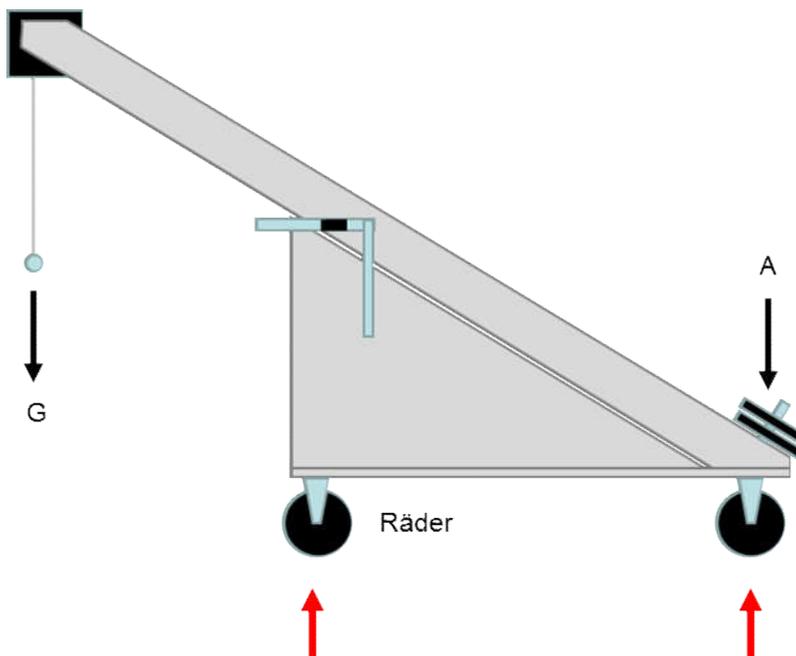
Eigengewicht Buchenholz:	ρ_{Holz}	7,00 kN/m ³	
Dicke Holz	t	0,04 m	
Höhe Holz	h	0,13 m	
Gewicht, auf Horizontale bezogen	g_k	0,051 kN/m	$g_k = \rho * t * h * \sqrt{2}$
Moment aus Holzgewicht	$M_{Ed,2}$	0,022 kNm	$M_{Ed,2} = g_k * \gamma_g * L^2 / 2$
Summe Moment bei Schnitt 1-1:	$M_{Ed, ges}$	0,400 kNm	$M_{Ed,1} + M_{Ed,2}$
Summe Querkraft bei Schnitt 1-1:	V_{Ed}	0,528 kN	$G_d + G_{d,Holz}$

Nutzungsklasse	NKL	2	
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	0,60	
charakteristische Festigkeiten:			
Festigkeitskennwert für Biegung	$f_{m,k}$	30,0 N/mm ²	
Festigkeitskennwert für Schub	$f_{v,k}$	4,0 N/mm ²	
Teilsicherheitsbeiwert Holz	γ_M	1,3	
Biegebeanspruchbarkeit	$f_{R,m,d}$	13,85 N/mm ²	$f_{R,d} = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
Schubbeanspruchbarkeit	$f_{R,v,k}$	1,85 N/mm ²	$f_{R,d} = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
Widerstandsmoment	W_y	0,00011 m ³	$W_y = b * h^2 / 6$
vorh. Biegespannung	$f_{m,Ed}$	3,55 N/mm ²	$f_{m,Ed} = M_{Ed} / W_y$
Nachweis erbracht		0,26 -	$Ed / Rd \leq 1,0$
Faktor	k_{cr}	0,67 -	
vorh. Schubspannung	T_{Ed}	0,23 N/mm ²	$T_{Ed} = 1,5 * V_{Ed} / (h * b * k_{cr})$
Nachweis erbracht		0,06 -	$Ed / Rd \leq 1,0$

Ergebnis: Die Ausnutzung des Holzes liegt unter 30%.



2) Berechnung der erforderlichen Auflast als Gegengewicht:



Bedingung: $G_d \times 0,80\text{m} \leq A \times 1,150\text{m}$

$\Leftrightarrow A \geq G_d \times 0,8\text{m} / 1,150\text{m} = (0,35\text{kN} \times 1,35) \times 0,8\text{m} / 1,15\text{m} = 0,33\text{kN}$

Ergebnis: Es sind min. 33kg als Gegengewicht über jedem hinteren Rad anzuordnen.

Wahl: 40kg

3) Auflagerkraft auf Vorderrad: Moment um hinteres Rad = 0

$G_k \times (0,8\text{m} + 1,15\text{m}) / 0,8\text{m} = 0,35\text{kN} \times 1,95\text{m} / 0,8\text{m} = 0,85\text{ kN}$

\Rightarrow Zuzüglich der Last aus der Holzkonstruktion auf das Vorderrad: $\sim 30\text{kg}$

$G_k = 0,85\text{kN} + 0,3\text{kN} = 1,15\text{ kN} = 115\text{kg}$ (Radlast ist für $> 155\text{kg}$ auszulegen)

Der Lettner wird als Empore genutzt, deshalb ist davon auszugehen, dass der Boden $4,0\text{ kN/m}^2$ als Verkehrslast aufnehmen kann. Da über den Boden keine Angaben zu finden waren, wurde der Holzboden aufgemacht und eine 26cm starke Stahlbetondecke darunter vorgefunden. Siehe Bilder:



4) Nachweis der Stahlbetondecke der Lettner- Empore:

Eigengewicht Stahlbetondecke: $g_{k,1} = 0,26m \times 25kN/m^3 = 6,5 kN/m^2$

Eigengewicht Holzboden, ca. 2,0cm Stärke: $g_{k,2} = 0,02m \times 5,0kN/m^3 = 1,0 kN/m^2$
 (angenommen werden $1,5kN/m^2$)

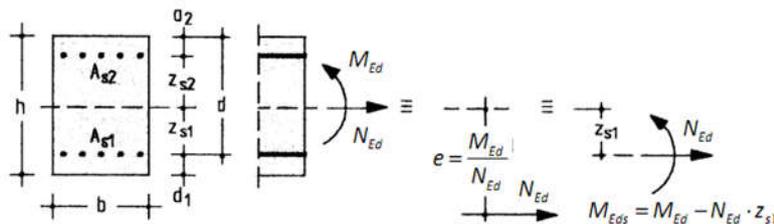
Verkehrslasten $q_k = 4,00 kN/m^2$

Gesamtlast: $p_{Ed} = (g_{k,1} + g_{k,2}) \times \gamma_g + q_k \times \gamma_q = (6,5+1,5) \times 1,35 + 4,0 \times 1,5 = 16,8 kN/m^2$

Die Stahlbetondecke hat eine Spannweite von 3,90m.

Es wird eine Betongüte von C20/25 angenommen.

Biegebemessung mit der ω - Tafel: für Betone bis C50/60



Eingabe

Schnittgrößen

Moment	31,94	kNm
Normalkraft	0,00	kNm

Betongüte

f_{ck}	20,00	N/mm ²
γ_c	1,50	-
f_{cd}	11,33	N/mm ²

Querschnittswerte

Breite b	100	cm
Höhe h	26	cm
Bewehrungslage d_1	4,0	cm

Hilfswerte zur Ermittlung von Biegemomenten

Linienlast p_d	16,80	kN/m
Länge L	3,90	m

Systeme:

	$q \cdot L^2 / 8$	$q \cdot L^2 / 14$	$q \cdot L^2 / 24$
$M_{Feld, Ed}$	32 kN/m	18 kN/m	11 kN/m
	$q \cdot L^2 / 2$	$q \cdot L^2 / 8$	$q \cdot L^2 / 12$
$M_{Stütz, Ed}$	128 kN/m	32 kN/m	21 kN/m

Berechnung

Moment auf Stahllage bezogen:

$M_{Eds} = 31,94 \text{ kNm}$ $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$ $z_{s1} = 9,0 \text{ cm}$

dimensionsloses Moment:

$\mu_{Eds} = 0,0582$ $\mu_{Eds} = M_{Eds} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$ $d = 22,0 \text{ cm}$

aus ω -Tafel abgelesen:

ω	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$\epsilon_{c,2}$	$\epsilon_{s,1}$	σ_s
0,0602	0,0842	0,9677	-2,32	25,00	435

Ergebnis

erforderliche Längsbewehrung

$A_{s1,erf} = 3,45 \text{ cm}^2$ $A_{s1,erf} = 1/\sigma_{sd} (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$

Druckresultierende R	150	kN
Druckzone, Höhe x	2,2	cm
Hebelarm z	21,3	cm

Ergebnis:

Es müssen **3,45cm²/m Bewehrungsstahl** in der Decke vorhanden sein, damit eine **Verkehrslast von 4,0 kN/m²** aufgenommen werden können.

Dies entspricht einer Bewehrung von: **Ø 8 / 14,5cm**

Dieser relativ geringe Bewehrungsgrad ist in der Decke zu erwarten.

Von daher bestehen keine Bedenken für die Auflast der Leinwandhalterung.



5) Ansicht aus der Kirchenbank bei zurückgeschobener Leinwandhalterung:



Vordere Sitzreihen



Hintere Sitzreihen

Bleibt noch zu sagen:

Ein Dankeschön an unseren Konstrukteur Herrn Thomas Retzbach, der diese mobile Halterung ausgetüftelt hat.

Und ein Dankeschön an unseren Mesner Herr Eckardt Matthäus, der die Konstruktion so passgenau angefertigt und exakt an die Gegebenheiten des Lettners angepasst hat.

Die Leinwandhalterung soll im Gottesdienst am Reformationstag 2017 zum ersten Mal zum Einsatz kommen.

Ch. Eckert

Dipl.-Ing. Christine Eckert-Schwegler

