

LIGNATUR-Elementstatik**Pos.110.0. 001**

Massgebende Baubestimmungen

EN 1991, EN 1995

Objekt: Beispiel Sporthalle
Bauteil: Dach über EG
Beschreibung: -
Projekt-Nr.: 2021'0017

Inhalt:

Seite	Bezeichnung
02	Lastannahme
03-04	Gewählter Querschnitt, Kennwerte
05-06	Stabstatik, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit
07-08	Gewählter Querschnitt, Kennwerte im Brandfall
09-10	Stabstatik, Tragfähigkeit im Brandfall

Ersteller der statischen Berechnungen:

Lignatur AG
Herisauerstrasse 30
CH-9104 Waldstatt

Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer

Datum: 2021-06-29

Objekt: Beispiel Sporthalle
Bauteil: Dach über EG
Projekt-Nr.: 2021'0017
Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Datum: 2021-06-29

Lastannahme

Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen EN 1991, EN 1995

ständige Einwirkungen

Eindeckung	Begrünung	1.50 kN/m ²
	-	0.00 kN/m ²
	-	0.00 kN/m ²
	-	0.00 kN/m ²
	-	0.00 kN/m ²
LIGNATUR-Flächenelement t=31	g + 0.00	0.52 kN/m ²
	-	0.00 kN/m ²
		g_k = 2.02 kN/m²

veränderliche Einwirkungen

Schneelast Zone 1	$\mu^*(0.19+0.91*((A+140)/760)^2) \geq \mu^*0.65\text{kN/m}^2$	0.52 kN/m ²
	Seehöhe A = 400	
	Dachneigung $\alpha = 0$	
	Dachformbeiwert $\mu = 0.80$	
	Schneelast Boden $s_k = 0.65$	
		0.00 kN/m ²
		q_k = 0.52 kN/m²

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bei verschiedenen Bemessungssituationen

Teilsicherheitsbeiwert			
- ständige Einwirkungen		Y _g =	1.35 ()
- ständige Einwirkungen	Aussergewöhnliche Bemessungssituation	Y _{g,A} =	1.00 ()
- veränderliche Einwirkungen		Y _q =	1.50 ()
Kombinationsbeiwert			
- selten	0.5 bzw. 0.7 für A>1000m	Ψ ₀ =	0.50 ()
- häufig	0.2 bzw. 0.5 für A>1000m	Ψ ₁ =	0.20 ()
- quasi ständig	0.0 bzw. 0.2 für A>1000m	Ψ ₂ =	0.00 ()
Verformungsbeiwert		k _{def} =	0.60 ()

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Ständige Einwirkung	Y _g *g _k	=	2.72 kN/m ²
Ständige + veränderliche Einwirkung	Y _g *g _k +Y _q *q _k	=	3.50 kN/m ²

Grenzzustand der Tragfähigkeit im Brandfall

Ständige + veränderliche Einwirkung	Y _{g,A} *g _k +Ψ ₂ *q _k	=	2.02 kN/m ²
-------------------------------------	--	---	------------------------

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Ständige + veränderliche Einwirkung, inst	g _k +q _k	=	2.54 kN/m ²
Ständige + veränderliche Einwirkung, fin	g _k *(1+k _{def})+q _k (1+Ψ ₂ *k _{def})	=	3.75 kN/m ²

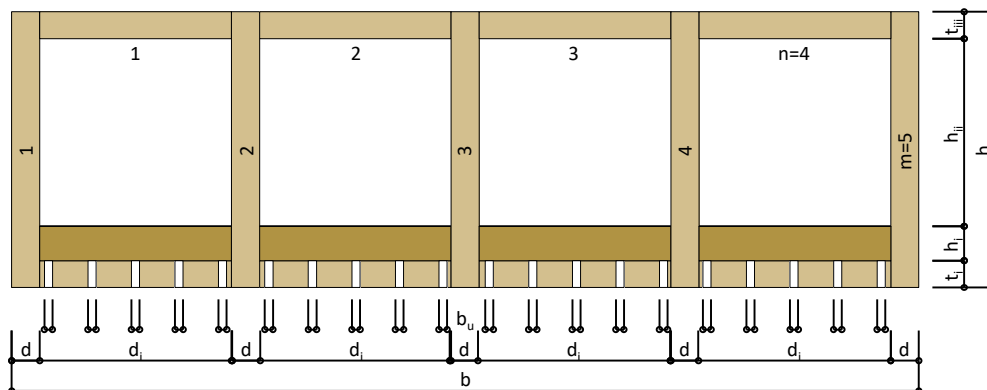
Objekt: Beispiel Sporthalle
Bauteil: Dach über EG
Projekt-Nr.: 2021'0017
Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Datum: 2021-06-29

Querschnitt, Kennwerte

Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen

EN 1991, EN 1995



Querschnitt

Elementtyp	LIGNATUR-Flächenelement t=31	LFE
Feuerwiderstand	REI30	REI30
Schallschutz	-	0
Wärmeschutz	-	
Absorption	Akustik Typ 8	8

Parameter

Höhe		h=	320 mm
Breite		b=	1000 mm
Anzahl Stege		m=	5 ()
Stegdicke		d=	31 mm
Anzahl Kammern	m-1	n=	4 ()
Kammerbreite	(b-m*d)/n	d_i=	211 mm
obere Lamellenstärke		t_iii=	31 mm
mittlere Lamellenstärke		t_ii=	0 mm
untere Lamellenstärke		t_i=	31 mm
Befüllungsöffnung		b_o=	0 mm
Ø Befüllungsöffnung		b_o,w=	0 mm
Perforation Akustik Typ 8 in unterer Lamelle	n*5*9	b_u=	180 mm
Ø Perforation Akustik Typ 8 in unterer Lamelle	n*5*9	b_u,w=	180 mm
Kammerhöhe	h-t_iii-t_ii-h_i-t_i	h_ii=	218 mm
Akustikdämmdicke		h_i=	40 mm

Rohdichten

Fichtenholz		$\rho_{\text{Holz}}=$	4.70 kN/m ³
Isolation in Kammer	Luft=0kg/m ³	$\rho_{\text{Isolation}}=$	0.00 kN/m ³
Holzfaserabsorber	Luft=0kg/m ³	$\rho_{\text{Absorber}}=$	1.10 kN/m ³

Querschnittsflächen

Holz brutto (Eigengewicht)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i)$	$A_b =$	101990 mm ²
Holz netto (Tragfähigkeit)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_o \cdot t_{iii} - b_u \cdot t_i$	$A_n =$	96'410 mm ²
Holz Ø (Gebrauchstauglichkeit)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_{o,w} \cdot t_{iii} - b_{u,w} \cdot t_i$	$A_{\varnothing} =$	96'410 mm ²
Kammer	$(b - m \cdot d) \cdot h_{ii}$	$A_K =$	184'210 mm ²
Akustikdämmung	$(b - m \cdot d) \cdot h_i$	$A_A =$	33'800 mm ²

Eigengewicht

LIGNATUR-Element	$(A_b \cdot \rho_{\text{Holz}} + A_K \cdot \rho_{\text{Isolation}} + A_A \cdot \rho_{\text{Absorber}}) / 1000^2 / b \cdot 1000$	$g =$	0.52 kN/m ²
------------------	---	-------	------------------------

Schwerpunktkoordinaten in y-Richtung

Holz netto	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_n$	$S_y =$	168 mm
Holz Ø	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_{\varnothing}$	$S_{y,\varnothing} =$	168 mm

Trägheitsmomente

Holz netto	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_y =$	1'397'663'089 mm ⁴
Holz Ø	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_{y,\varnothing} =$	1'397'663'089 mm ⁴

Widerstandsmoment

Holz netto	I_y / S_y	$W_y =$	8'301'469 mm ³
------------	-------------	---------	---------------------------

Biegesteifigkeit

Holz Ø	$E_{0,mean} \cdot I_{y,\varnothing}$	$EI_{\varnothing} =$	15.374 * 10 ¹² Nmm ²
--------	--------------------------------------	----------------------	--

Statisches Flächenmoment

Holz netto	$t_i + h_i + t_{ii} < s_y \leq h - t_{iii}$	$m \cdot d \cdot (h - s_y)^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)$	$S_y =$	5'348'110 mm ³
------------	---	---	---------	---------------------------

Schubfläche

Holz netto	$m \cdot d \cdot I_y / S_y$	$A_w =$	40'507 mm ²
------------	-----------------------------	---------	------------------------

Charakteristische Eigenschaften

Festigkeitsklasse				C24
Biegung	$f_{m,k} \cdot k_{mod} / Y_m$	$f_{m,k} =$	24 N/mm ²	$f_{m,d} =$ 11.1 N/mm ²
Zug parallel zur Faser	$f_{t,0,k} \cdot k_{mod} / Y_m$ 20	$f_{t,0,k} =$	14 N/mm ²	$f_{t,0,d} =$ 6.5 N/mm ²
Zug senkrecht zur Faser	$f_{t,90,k} \cdot k_{mod} / Y_m$	$f_{t,90,k} =$	0.4 N/mm ²	$f_{t,90,d} =$ 0.2 N/mm ²
Druck parallel zur Faser	$f_{c,0,k} \cdot k_{mod} / Y_m$	$f_{c,0,k} =$	21 N/mm ²	$f_{c,0,d} =$ 9.7 N/mm ²
Druck senkrecht zur Faser	$f_{c,90,k} \cdot k_{mod} / Y_m$	$f_{c,90,k} =$	2.5 N/mm ²	$f_{c,90,d} =$ 1.2 N/mm ²
Schub	$f_{v,k} \cdot k_{mod} / Y_m$	$f_{v,k} =$	2.0 N/mm ²	$f_{v,d} =$ 0.9 N/mm ²
Elastizitätsmodul parallel				$E_{0,mean} =$ 11'000 N/mm ²
Modifikationsbeiwert				$k_{mod} =$ 0.6 ()
Teilsicherheitsbeiwert				$Y_m =$ 1.3 ()

Objekt: Beispiel Sporthalle
 Bauteil: Dach über EG
 Projekt-Nr.: 2021'0017
 Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
 Datum: 2021-06-29

Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit

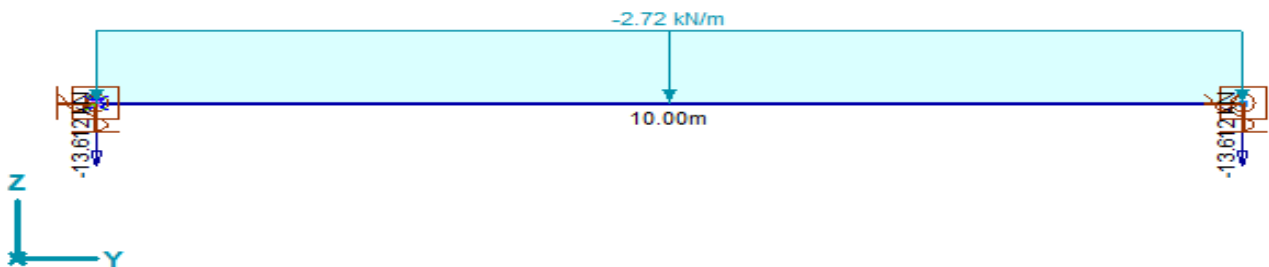
Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen EN 1991, EN 1995

Berechnung mit AxisVM

Statisches System zur Ermittlung der Tragfähigkeit

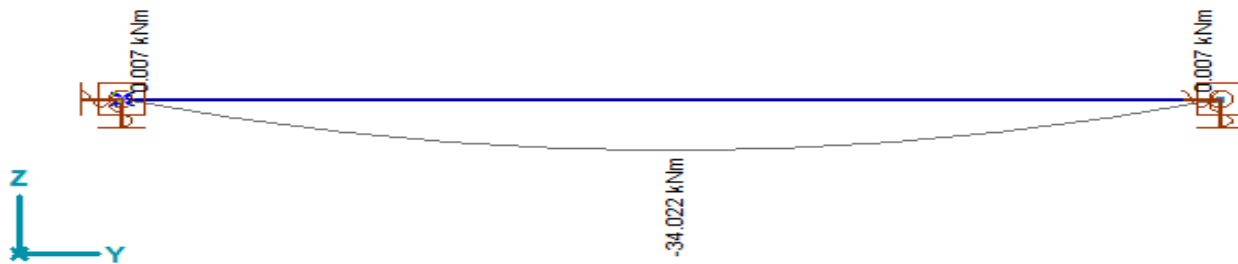
1-Feldträger



Stablänge S1

$l_{S1} = 10'000$ mm

Momentenlinie



Maximales Moment

$M_{y,d} = 34.0$ kNm

Maximale Biegespannung

$M_{y,d} * 1000000 / (I_y * (h - s_y)) / 1000 * b$

$\sigma_{o,d} = 3.7$ N/mm²

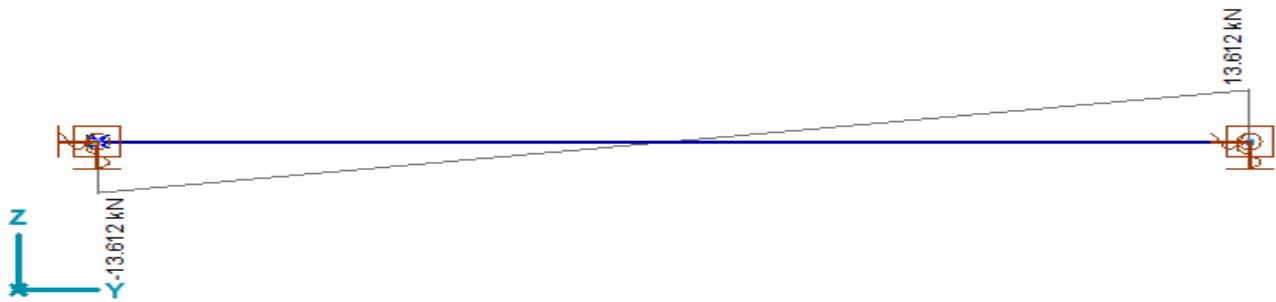
$M_{y,d} * 1000000 / (I_y * s_y) / 1000 * b$

$\sigma_{u,d} = 4.1$ N/mm²

$MAX(\sigma_{o,d}; \sigma_{u,d}) / f_{m,d}$

0.37 ≤ 1

Querkraftlinie



Maximale Querkraft

Maximale Schubspannung

$$V_{z,d} \cdot 1000 / A_w / 1000 \cdot b$$

$$\tau_d / f_{v,d}$$

$V_{z,d} =$

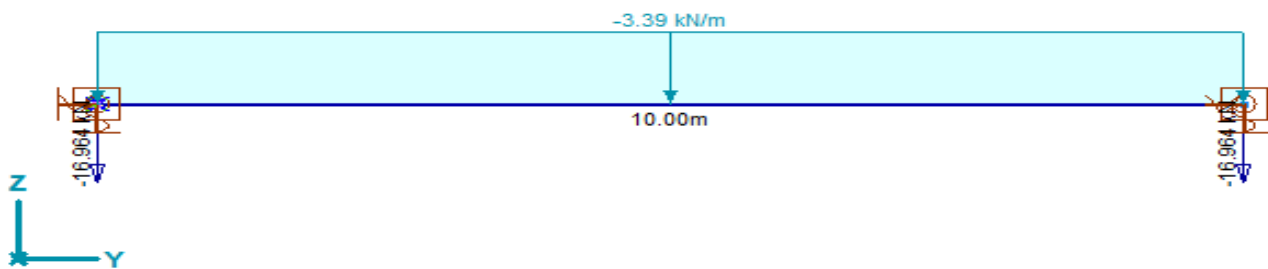
$\tau_d =$

13.6 kN

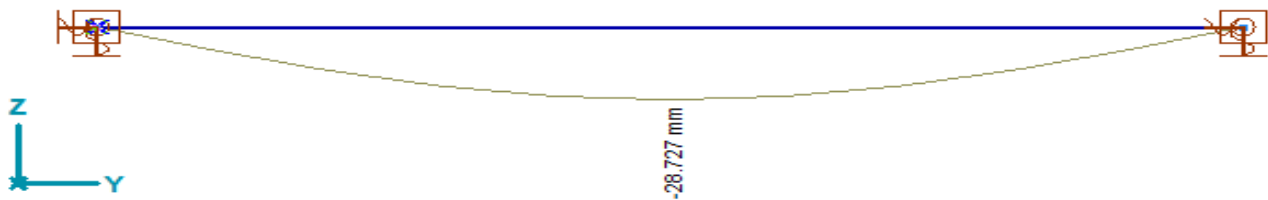
0.3 N/mm²

0.36 ≤ 1

Statisches System zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit für den häufigen Lastfall



Biegelinie



Maximale Durchbiegungen

$W_{z,inst,S1} =$

$$5/384 \cdot (g_k + q_k) \cdot l_{S1}^4 / E_{0,mean} / I_{y,\varnothing} / 1000 \cdot b$$

21.5 mm

$$I_{S1} / W_{z,inst,S1}$$

466 ≥ 400

$W_{z,fin,S1} =$

$$5/384 \cdot (1 + k_{def}) \cdot g_k + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot q_k \cdot l_{S1}^4 / E_{0,mean} / I_{y,\varnothing} / 1000 \cdot b$$

31.7 mm

$$I_{S1} / W_{z,fin,S1}$$

315 ≥ 300

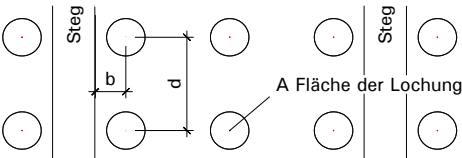
Objekt: Beispiel Sporthalle
Bauteil: Dach über EG
Projekt-Nr.: 2021'0017
Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
Datum: 2021-06-29

Querschnitt, Kennwerte im Brandfall

Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen EN 1991, EN 1995
 ETA-11/0137 für LIGNATUR-Elemente

Effektive Abbrandtiefe d_{ef} im Brandfall

Brandeinwirkungszeit		$t =$	30 min.
- Abbrandzeit in Lamelle t_1	$t_i/\beta_1 \leq t$	$t_1 =$	14 min.
- Abbrandzeit in Akustikdämmung h_1	$h_i/\beta_2 \leq t - t_1$	$t_2 =$	16 min.
- Abbrandzeit in Lamelle t_{ii}	$t_{ii}/\beta_3 \leq t - t_1 - t_2$	$t_3 =$	0 min.
- Abbrandzeit in Wärmedämmung h_{ii}	$h_{ii}/\beta_4 \leq t - t_1 - t_2 - t_3$	$t_4 =$	0 min.
Abbrandrate in Lamelle t_1	Akustik $0.22 \cdot k + 0.72$	$\beta_1 =$	2.22 mm/min.
Faktor (IBK-Bericht Nr. 283 ETH Zürich)	$A_{Akustik}/d_{Akustik} \cdot 1000 / (b_{Akustik}^{1.5 \cdot t_1})$	$k =$	6.81 ()
Loch- bzw. Schlitzfläche		$A_{Akustik} =$	3420 mm ²
Abstand Löcher bzw. Schlitze untereinander		$d_{Akustik} =$	600 mm
Loch- bzw. Schlitzabstand zum Steg		$b_{Akustik} =$	9 mm
Abbrandrate in Akustikdämmung h_1	$0.9 \cdot (450/\rho_{Absorber})^{1/2}$	$\beta_2 =$	1.82 mm/min.
Abbrandrate in Lamelle t_{ii}		$\beta_3 =$	0.00 mm/min.
Abbrandrate in Wärmedämmung h_{ii}		$\beta_4 =$	0.00 mm/min.
Abgebrannte bzw. verkohlte Schicht	$t_1 \cdot \beta_1 + t_2 \cdot \beta_2 + t_3 \cdot \beta_3 + t_4 \cdot \beta_4$	$d_{char} =$	60 mm
Berücksichtigung des Festigkeitsverlustes		$d_{red} =$	7 mm
Effektive Abbrandtiefe	$d_{char} + d_{red}$	$d_{ef} =$	67 mm

Parameter im Brandfall

Höhe	$h - d_{ef}$	$h_{fi} =$	253 mm
Breite	b	$b_{fi} =$	1'000 mm
Anzahl Stege	m	$m_{fi} =$	5 ()
Stegdicke	d	$d_{fi} =$	31 mm
Anzahl Kammern	$n - 1$	$n_{fi} =$	4 ()
Kammerbreite	$(b_{fi} - m_{fi} \cdot d_{fi})/n_{fi}$	$d_{i,fi} =$	211 mm
obere Lamellenstärke	$t_{iii} \geq t_1 + h_1 + t_{ii} + h_{ii} + t_{iii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{iii,fi} =$	31 mm
mittlere Lamellenstärke	$t_{ii} \geq t_1 + h_1 + t_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{ii,fi} =$	0 mm
untere Lamellenstärke	$t_1 - d_{ef} \geq 0$	$t_{i,fi} =$	0 mm
Befüllungsöffnung	b_o	$b_{o,fi} =$	0 mm
Perforation Akustik Typ 8 in unterer Lamelle	b_u	$b_{u,fi} =$	180 mm
Kammerhöhe	$h_{ii} \geq t_1 + h_1 + t_{ii} + h_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$h_{ii,fi} =$	218 mm
Akustikdämmdicke	$h_1 \geq t_1 + h_1 - d_{ef} \geq 0$	$h_{i,fi} =$	4 mm

Querschnittsfläche im Brandfall

Holz netto (Tragfähigkeit) $b_{fi} \cdot h_{fi} - (n_{fi} \cdot d_{i,fi}) \cdot (h_{ii,fi} + h_{i,fi}) - b_{o,fi} \cdot t_{iii,fi} - b_{u,fi} \cdot t_{i,fi}$ $A_{n,fi} = 65'384 \text{ mm}^2$

Schwerpunktkoordinaten in y-Richtung im Brandfall

Holz netto $(m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi}^2 / 2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi}^2 / 2 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi} \cdot (t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} / 2) + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - t_{iii,fi} / 2)) / A_{n,fi}$ $S_{y,fi} = 171 \text{ mm}$

Trägheitsmoment im Brandfall

Holz netto $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi}^3 / 12 + m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi} \cdot (h_{fi} / 2 - s_{y,fi})^2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi}^3 / 12 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi} \cdot (s_{y,fi} - t_{i,fi} / 2)^2 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi}^3 / 12 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi} \cdot (s_{y,fi} - t_{i,fi} - h_{i,fi} - t_{ii,fi} / 2)^2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi}^3 / 12 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)^2$ $I_{y,fi} = 403'998'197 \text{ mm}^4$

Statisches Flächenmoment im Brandfall

Holz netto $t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} < s_{y,fi} \leq h_{fi} - t_{iii,fi}$ $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi})^2 / 2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)$ $S_{y,fi} = 2'262'235 \text{ mm}^3$
 $S_{y,fi} = 2'262'235 \text{ mm}^3$

Schubfläche im Brandfall

Holz netto $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot I_{y,fi} / S_{y,fi}$ $A_{w,fi} = 27'680 \text{ mm}^2$

Charakteristische Eigenschaften im Brandfall

Festigkeitsklasse			C24
Biegung	$f_{m,k} \cdot k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{m,d,fi} =$	30.0 N/mm ²
Zug parallel zur Faser	$f_{t,0,k} \cdot k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{t,0,d,fi} =$	17.5 N/mm ²
Druck parallel zur Faser	$f_{c,0,k} \cdot k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{c,0,d,fi} =$	26.3 N/mm ²
Schub	$f_{v,k} \cdot k_{fi} / \gamma_{m,fi}$	$f_{v,d,fi} =$	2.5 N/mm ²
Faktor zur Ermittlung des 20%-Quantilwertes		$k_{fi} =$	1.25 ()
Teilsicherheitsbeiwert		$\gamma_{m,fi} =$	1.0 ()

Objekt: Beispiel Sporthalle
 Bauteil: Dach über EG
 Projekt-Nr.: 2021'0017
 Sachbearbeiter: Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
 Datum: 2021-06-29

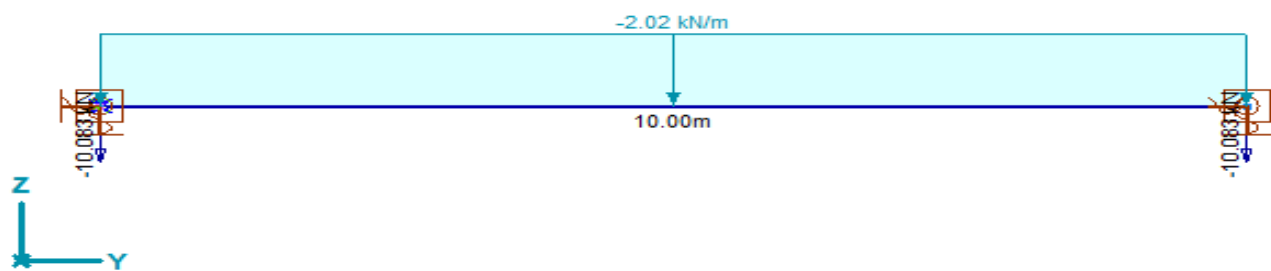
Tragfähigkeit im Brandfall

Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen EN 1991, EN 1995
 ETA-11/0137 für LIGNATUR-Elemente

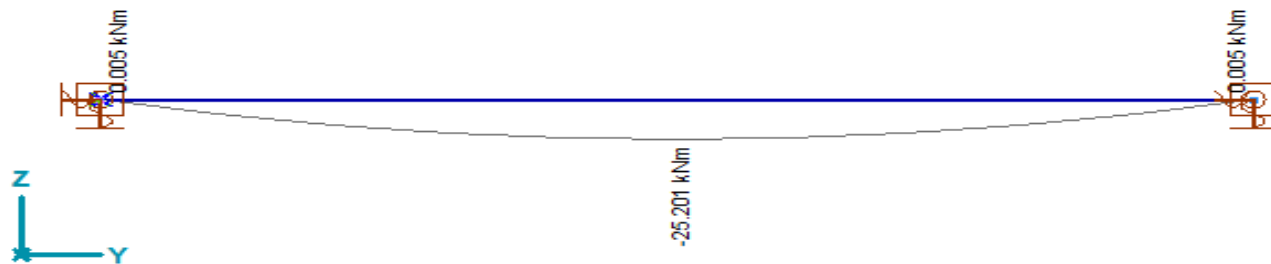
Berechnung mit AxisVM

Statisches System zur Ermittlung der Tragfähigkeit im Brandfall



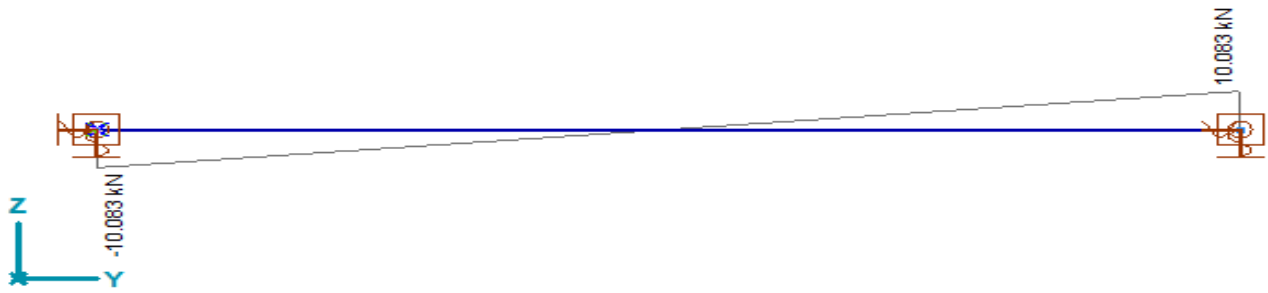
Stablänge S1 $I_{S1} = 10'000 \text{ mm}$

Momentenlinie im Brandfall



Maximales Moment		$M_{y,d,fi} =$	25.2 kNm
Maximale Biegespannung	$M_{y,d,fi} * 1000000 / (I_{y,fi} / (h_{fi} - s_{y,fi})) / 1000 * b_{fi}$	$\sigma_{o,d,fi} =$	5.1 N/mm ²
	$M_{y,d,fi} * 1000000 / (I_{y,fi} / s_{y,fi}) / 1000 * b_{fi}$	$\sigma_{u,d,fi} =$	10.7 N/mm ²
	$MAX(\sigma_{o,d,fi}, \sigma_{u,d,fi}) / f_{m,d,fi}$		0.36 ≤ 1

Querkraftlinie im Brandfall



Maximale Querkraft

Maximale Schubspannung

$$V_{z,d,fi} \cdot 1000 / A_{w,fi} / 1000 \cdot b_{fi}$$

$$\tau_{d,fi} / f_{v,d,fi}$$

$$V_{z,d,fi} =$$

$$\tau_{d,fi} =$$

10.1 kN

0.4 N/mm²

0.15 ≤ 1