

---

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

Massgebende Baubestimmungen

SIA 261, SIA 265

---

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

## Lastannahme

**Pos.110.0. 001**

Massgebende Baubestimmungen SIA 261, SIA 265

### ständige Einwirkungen

		0.00 kN/m <sup>2</sup>
Bodenaufbau	Anhydrit 50mm (25kN/m <sup>3</sup> * 0.050m)	1.25 kN/m <sup>2</sup>
Trittschalldämmung	Trittschalldämmung Mineralfaser 30mm (s' ≤ 6 MN/m <sup>3</sup> )	0.03 kN/m <sup>2</sup>
Beschwerung	Elastisch gebundene Schüttung 80mm (15kN/m <sup>3</sup> * 0.080m)	1.20 kN/m <sup>2</sup>
	-	0.00 kN/m <sup>2</sup>
LIGNATUR-Flächenelement t=31 befüllt	g + 0.25	0.76 kN/m <sup>2</sup>
	-	0.00 kN/m <sup>2</sup>
	<b>g<sub>k</sub>=</b>	<b>3.24 kN/m<sup>2</sup></b>

### veränderliche Einwirkungen

A1 - Wohnflächen		2.00 kN/m <sup>2</sup>
		0.00 kN/m <sup>2</sup>
	<b>q<sub>k</sub>=</b>	<b>2.00 kN/m<sup>2</sup></b>

### Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bei verschiedenen Bemessungssituationen

Teilsicherheitsbeiwert		
- ständige Einwirkungen	$Y_g =$	1.35 ()
- veränderliche Einwirkungen	$Y_q =$	1.50 ()
Kombinationsbeiwert		
- selten	$\Psi_0 =$	0.70 ()
- häufig	$\Psi_1 =$	0.50 ()
- quasi ständig	$\Psi_2 =$	0.30 ()
Verformungsbeiwert	$0.6 * (g_k + \Psi_2 * q_k) / (g_k + \Psi_1 * q_k)$	$k_{def} =$ <b>0.54</b> ()

### Grenzzustand der Tragfähigkeit

Ständige Einwirkung	$Y_g * g_k$	=	<b>4.37 kN/m<sup>2</sup></b>
Ständige + veränderliche Einwirkung	$Y_g * g_k + Y_q * q_k$	=	<b>7.37 kN/m<sup>2</sup></b>

### Grenzzustand der Tragfähigkeit im Brandfall

Ständige + veränderliche Einwirkung	$g_k + \Psi_2 * q_k$	=	<b>3.84 kN/m<sup>2</sup></b>
-------------------------------------	----------------------	---	------------------------------

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Ständige Einwirkung, häufig	$(1 + k_{def}) * g_k$	=	<b>5.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Ständige + veränderliche Einwirkung, häufig	$(1 + k_{def}) * (g_k + \Psi_1 * q_k)$	=	<b>6.54 kN/m<sup>2</sup></b>

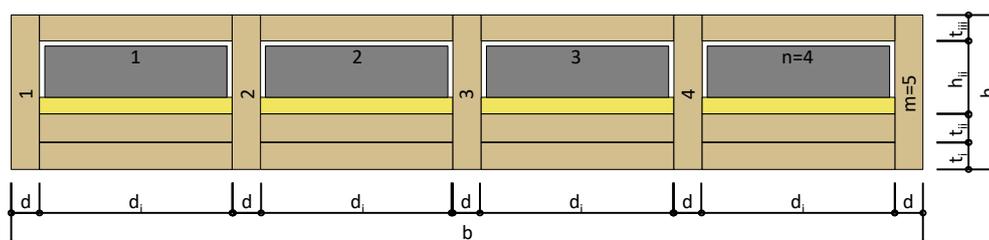
**Objekt:** Beispiel Mehrfamilienhaus  
**Bauteil:** Decke über EG  
**Projekt-Nr.:** 2021'0017  
**Sachbearbeiter:** Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer  
**Datum:** 2021-06-29

## Querschnitt, Kennwerte

Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen

SIA 261, SIA 265



### Querschnitt

Elementtyp	LIGNATUR-Flächenelement t=31	LFE
Feuerwiderstand	REI60	REI60
Schallschutz	silence12	25
Wärmeschutz	-	-
Absorption	-	-

### Parameter

Höhe		$h=$	180 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		$t_{ii}=$	33 mm
untere Lamellenstärke		$t_i=$	31 mm
Befüllungsöffnung		$b_o=$	0 mm
Ø Befüllungsöffnung		$b_{o,w}=$	0 mm
Perforation in unterer Lamelle		$b_u=$	0 mm
Ø Perforation in unterer Lamelle		$b_{u,w}=$	0 mm
Kammerhöhe	$h-t_{iii}-t_{ii}-h_i-t_i$	$h_{ii}=$	85 mm
Akustikdämmdicke		$h_i=$	0 mm

### Rohdichten

Fichtenholz		$\rho_{\text{Holz}}=$	4.70 kN/m <sup>3</sup>
Isolation in Kammer	Luft=0kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{\text{Isolation}}=$	0.00 kN/m <sup>3</sup>
Holzfasersorber	Luft=0kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{\text{Absorber}}=$	0.00 kN/m <sup>3</sup>

## Querschnittsflächen

Holz brutto (Eigengewicht)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i)$	$A_b =$	108175 mm <sup>2</sup>
Holz netto (Tragfähigkeit)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_o \cdot t_{iii} - b_u \cdot t_i$	$A_n =$	108'175 mm <sup>2</sup>
Holz Ø (Gebrauchstauglichkeit)	$b \cdot h - (n \cdot d_i) \cdot (h_{ii} + h_i) - b_{o,w} \cdot t_{iii} - b_{u,w} \cdot t_i$	$A_{\emptyset} =$	108'175 mm <sup>2</sup>
Kammer	$(b - m \cdot d) \cdot h_{ii}$	$A_K =$	71'825 mm <sup>2</sup>
Akustikdämmung	$(b - m \cdot d) \cdot h_i$	$A_A =$	0 mm <sup>2</sup>

## Eigengewicht

LIGNATUR-Element	$(A_b \cdot \rho_{\text{Holz}} + A_K \cdot \rho_{\text{Isolation}} + A_A \cdot \rho_{\text{Absorber}}) / 1000^2 / b \cdot 1000$	$g =$	0.51 kN/m <sup>2</sup>
------------------	---	-------	------------------------

## Schwerpunktkoordinaten in y-Richtung

Holz netto	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_n$	$S_y =$	79 mm
Holz Ø	$(m \cdot d \cdot h^2 / 2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^2 / 2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (t_i + h_i + t_{ii} / 2) + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - t_{iii} / 2)) / A_{\emptyset}$	$S_{y,\emptyset} =$	79 mm

## Trägheitsmomente

Holz netto	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_u) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_o) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_y =$	410'217'494 mm <sup>4</sup>
Holz Ø	$m \cdot d \cdot h^3 / 12 + m \cdot d \cdot h \cdot (h/2 - s_y)^2 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{u,w}) \cdot t_i \cdot (s_y - t_i / 2)^2 + n \cdot d_i \cdot t_{ii}^3 / 12 + n \cdot d_i \cdot t_{ii} \cdot (s_y - t_i - h_i - t_{ii} / 2)^2 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii}^3 / 12 + (n \cdot d_i - b_{o,w}) \cdot t_{iii} \cdot (h - s_y - t_{iii} / 2)^2$	$I_{y,\emptyset} =$	410'217'494 mm <sup>4</sup>

## Widerstandsmoment

Holz netto	$I_y / (h - s_y)$	$W_y =$	4'063'349 mm <sup>3</sup>
------------	-------------------	---------	---------------------------

## Biegesteifigkeit

Holz Ø	$E_{0,mean} \cdot I_{y,\emptyset}$	$EI_{\emptyset} =$	4.512 * 10 <sup>12</sup> Nmm <sup>2</sup>
--------	------------------------------------	--------------------	---

## Statisches Flächenmoment

Holz netto	$t_i + h_i + t_{ii} < s_y \leq h - t_{iii}$	$S_y =$	3'028'388 mm <sup>3</sup>
------------	---	---------	---------------------------

## Schubfläche

Holz netto	$m \cdot d \cdot I_y / S_y$	$A_w =$	20'996 mm <sup>2</sup>
------------	-----------------------------	---------	------------------------

## Charakteristische Eigenschaften

Festigkeitsklasse			C24
Biegung		$f_{m,d} =$	14.0 N/mm <sup>2</sup>
Zug parallel zur Faser		$f_{t,0,d} =$	8.0 N/mm <sup>2</sup>
Zug senkrecht zur Faser		$f_{t,90,d} =$	0.1 N/mm <sup>2</sup>
Druck parallel zur Faser		$f_{c,0,d} =$	12.0 N/mm <sup>2</sup>
Druck senkrecht zur Faser		$f_{c,90,d} =$	1.8 N/mm <sup>2</sup>
Schub		$f_{v,d} =$	1.5 N/mm <sup>2</sup>
Elastizitätsmodul parallel		$E_{0,mean} =$	11'000 N/mm <sup>2</sup>
Modifikationsbeiwert		$k_{mod} =$	0.8 ()
Teilsicherheitsbeiwert		$\gamma_m =$	1.3 ()

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

# Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit

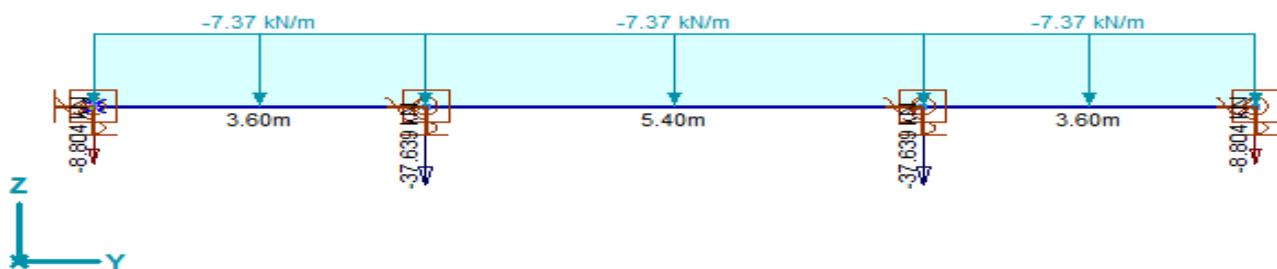
Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen SIA 261, SIA 265

Berechnung mit AxisVM

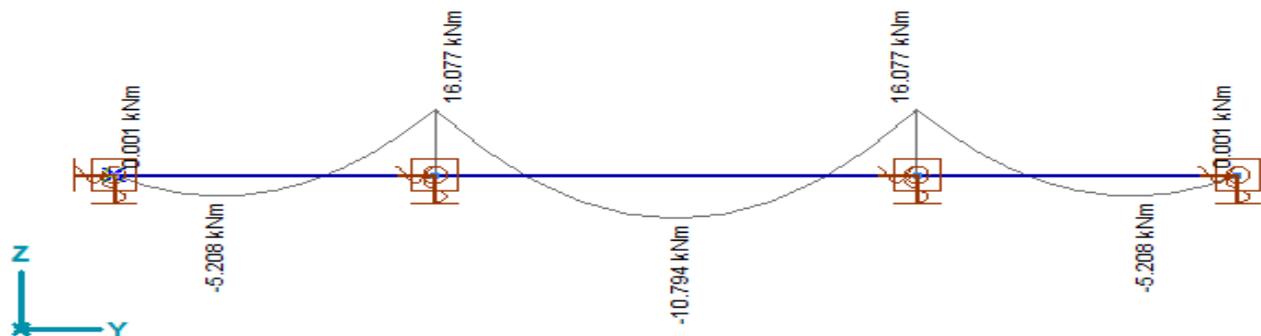
Statisches System zur Ermittlung der Tragfähigkeit

3-Feldträger



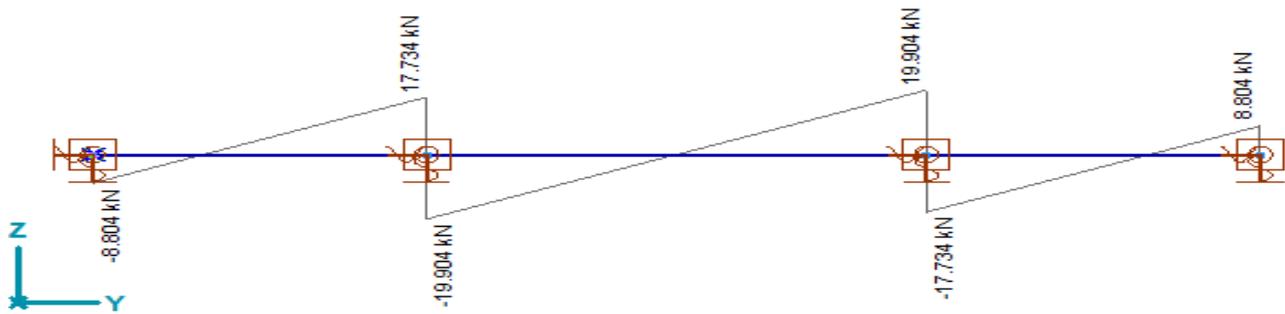
Stablänge S1	$I_{s1} =$	3'600 mm
Stablänge S2	$I_{s2} =$	5'400 mm
Stablänge S3	$I_{s3} =$	3'600 mm

Momentenlinie



Maximales Moment	$M_{y,d} =$	16.1 kNm
Maximale Biegespannung	$M_{y,d} * 1000000 / (I_y / (h - s_y)) / 1000 * b$	$\sigma_{o,d} =$ 4.0 N/mm <sup>2</sup>
	$M_{y,d} * 1000000 / (I_y / s_y) / 1000 * b$	$\sigma_{u,d} =$ 3.1 N/mm <sup>2</sup>
	$MAX(\sigma_{o,d}; \sigma_{u,d}) / f_{m,d}$	<b>0.28 ≤ 1</b>

## Querkraftlinie



Maximale Querkraft

Maximale Schubspannung

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

$$T_d / f_{v,d}$$

$V_{z,d} =$

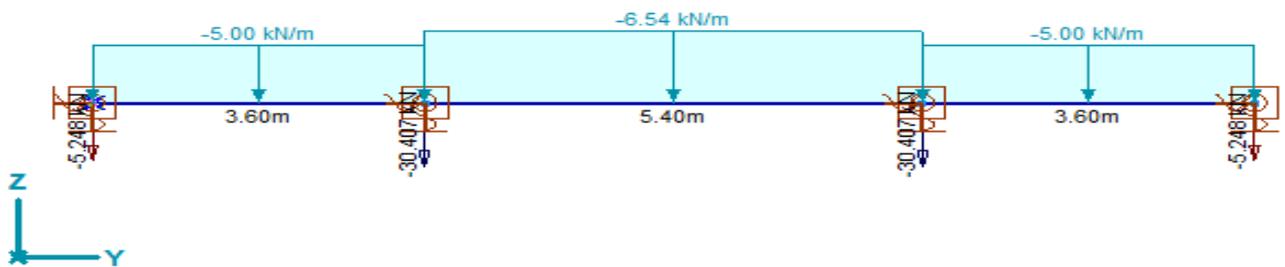
$T_d =$

19.9 kN

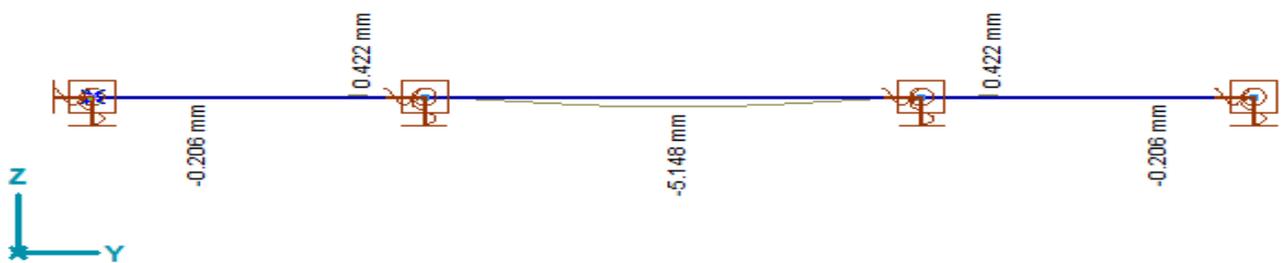
0.9 N/mm<sup>2</sup>

0.63 ≤ 1

## Statisches System zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit für den häufigen Lastfall



## Biegelinie



Maximale Durchbiegungen

$w_{z,häufig,S1} =$

$w_{z,häufig,S2} =$

$w_{z,häufig,S3} =$

$I_{S1} / w_{z,häufig,S1}$

$I_{S2} / w_{z,häufig,S2}$

$I_{S3} / w_{z,häufig,S3}$

0.4 mm

8536 ≥ 350

5.1 mm

1049 ≥ 350

0.4 mm

8536 ≥ 350

<b>Objekt:</b>	Beispiel Mehrfamilienhaus
<b>Bauteil:</b>	Decke über EG
<b>Projekt-Nr.:</b>	2021'0017
<b>Sachbearbeiter:</b>	Dipl. Bauingenieur ETH/SIA Ralph Schläpfer
<b>Datum:</b>	2021-06-29

## Querschnitt, Kennwerte im Brandfall

## Pos.110.0. 001

Massgebende Baubestimmungen	SIA 261, SIA 265
	Schweizerische Brandschutz-Zulassung No Z 15421 zur Bescheinigung der Anwendbarkeit von LIGNATUR-Elementen und Beurteilung der Feuerwiderstandsklasse

### Effektive Abbrandtiefe $d_{ef}$ im Brandfall

Brandeinwirkungszeit		$t=$	60 min.
- Abbrandzeit in Lamelle $t_i$	$t_i/\beta_1 \leq t$	$t_1=$	39 min.
- Abbrandzeit in Akustikdämmung $h_i$	$h_i/\beta_2 \leq t - t_1$	$t_2=$	0 min.
- Abbrandzeit in Lamelle $t_{ii}$	$t_{ii}/\beta_3 \leq t - t_1 - t_2$	$t_3=$	21 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 $t_i$	Holz 0.8	$\beta_1=$	0.80 mm/min.
Abbrandrate in Akustikdämmung $h_i$		$\beta_2=$	0.00 mm/min.
Abbrandrate in Lamelle $t_{ii}$	Holz 0.8	$\beta_3=$	0.80 mm/min.
Abbrandrate in Wärmedämmung $h_{ii}$		$\beta_4=$	0.00 mm/min.
Abgebrannte bzw. verkohlte Schicht	$t_1 * \beta_1 + t_2 * \beta_2 + t_3 * \beta_3 + t_4 * \beta_4$	$d_{char}=$	48 mm
Berücksichtigung des Festigkeitsverlustes		$d_{red}=$	7 mm
Effektive Abbrandtiefe	$d_{char} + d_{red}$	$d_{ef}=$	55 mm

### Parameter im Brandfall

Höhe	$h - d_{ef}$	$h_{fi}=$	125 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	$(b_{fi} - m_{fi} * d_{fi}) / n_{fi}$	$d_{i,fi}=$	211 mm
obere Lamellenstärke	$t_{iii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} + t_{iii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{iii,fi}=$	31 mm
mittlere Lamellenstärke	$t_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$t_{ii,fi}=$	9 mm
untere Lamellenstärke	$t_i - d_{ef} \geq 0$	$t_{i,fi}=$	0 mm
Befüllungsöffnung	$b_o$	$b_{o,fi}=$	0 mm
Perforation in unterer Lamelle	$b_u$	$b_{u,fi}=$	0 mm
Kammerhöhe	$h_{ii} \geq t_i + h_i + t_{ii} + h_{ii} - d_{ef} \geq 0$	$h_{ii,fi}=$	85 mm
Akustikdämmdicke	$h_i \geq t_i + h_i - d_{ef} \geq 0$	$h_{i,fi}=$	0 mm

### Querschnittsfläche im Brandfall

Holz netto (Tragfähigkeit)  $b_{fi} \cdot h_{fi} - (n_{fi} \cdot d_{i,fi}) \cdot (h_{ii,fi} + h_{i,fi}) - b_{o,fi} \cdot t_{iii,fi} - b_{u,fi} \cdot t_{i,fi}$   $A_{n,fi} = 53'175 \text{ mm}^2$

### Schwerpunktkoordinaten in y-Richtung im Brandfall

Holz netto  $(m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi}^2 / 2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi}^2 / 2 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi} \cdot (t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} / 2) + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - t_{iii,fi} / 2)) / A_{n,fi}$   $S_{y,fi} = 77 \text{ mm}$

### Trägheitsmoment im Brandfall

Holz netto  $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi}^3 / 12 + m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot h_{fi} \cdot (h_{fi} / 2 - s_{y,fi})^2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi}^3 / 12 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{u,fi}) \cdot t_{i,fi} \cdot (s_{y,fi} - t_{i,fi} / 2)^2 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi}^3 / 12 + n_{fi} \cdot d_{i,fi} \cdot t_{ii,fi} \cdot (s_{y,fi} - t_{i,fi} - h_{i,fi} - t_{ii,fi} / 2)^2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi}^3 / 12 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)^2$   $I_{y,fi} = 99'086'009 \text{ mm}^4$

### Statisches Flächenmoment im Brandfall

Holz netto  $t_{i,fi} + h_{i,fi} + t_{ii,fi} < s_{y,fi} \leq h_{fi} - t_{iii,fi}$   $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi})^2 / 2 + (n_{fi} \cdot d_{i,fi} - b_{o,fi}) \cdot t_{iii,fi} \cdot (h_{fi} - s_{y,fi} - t_{iii,fi} / 2)$   $S_{y,fi} = 1'017'866 \text{ mm}^3$   
 $S_{y,fi} = 1'017'866 \text{ mm}^3$

### Schubfläche im Brandfall

Holz netto  $m_{fi} \cdot d_{fi} \cdot I_{y,fi} / S_{y,fi}$   $A_{w,fi} = 15'089 \text{ mm}^2$

### Charakteristische Eigenschaften im Brandfall

Festigkeitsklasse			C24
Biegung	$1.8 \cdot f_{m,d}$	$f_{m,d,fi} =$	25.2 N/mm <sup>2</sup>
Zug parallel zur Faser	$1.8 \cdot f_{t,0,d}$	$f_{t,0,d,fi} =$	14.4 N/mm <sup>2</sup>
Druck parallel zur Faser	$1.8 \cdot f_{c,0,d}$	$f_{c,0,d,fi} =$	21.6 N/mm <sup>2</sup>
Schub	$1.8 \cdot f_{v,d}$	$f_{v,d,fi} =$	2.7 N/mm <sup>2</sup>

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

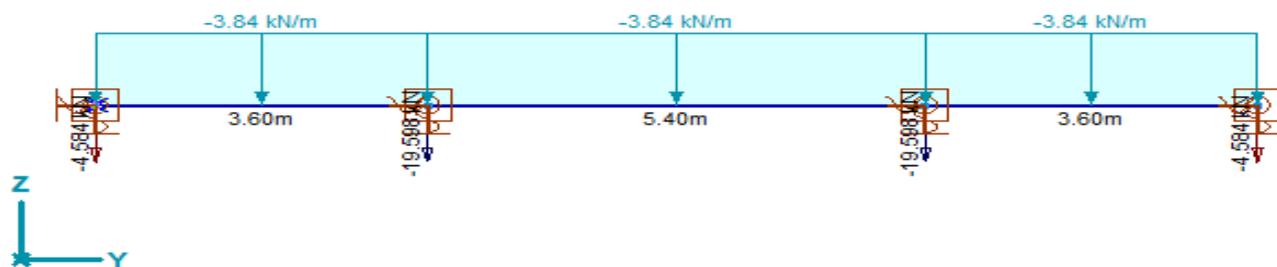
## Tragfähigkeit im Brandfall

**Pos.110.0. 001**

Massgebende Baubestimmungen SIA 261, SIA 265  
 Schweizerische Brandschutz-Zulassung No Z 15421 zur Bescheinigung der Anwendbarkeit von LIGNATUR-Elementen und Beurteilung der Feuerwiderstandsklasse

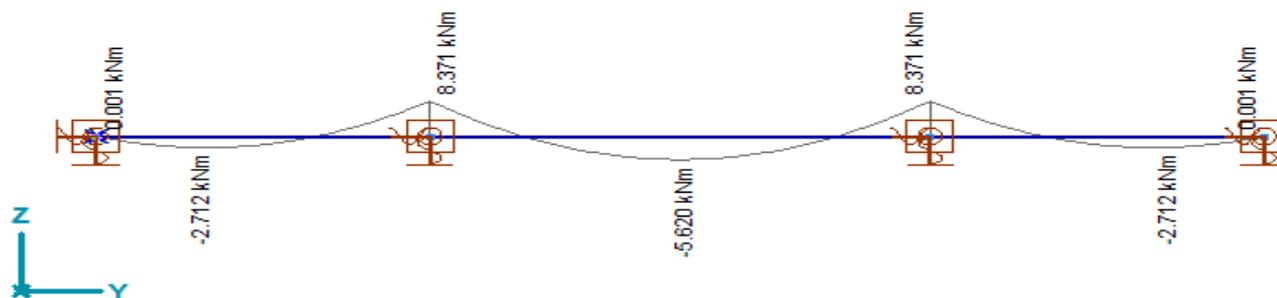
Berechnung mit AxisVM

### Statisches System zur Ermittlung der Tragfähigkeit im Brandfall



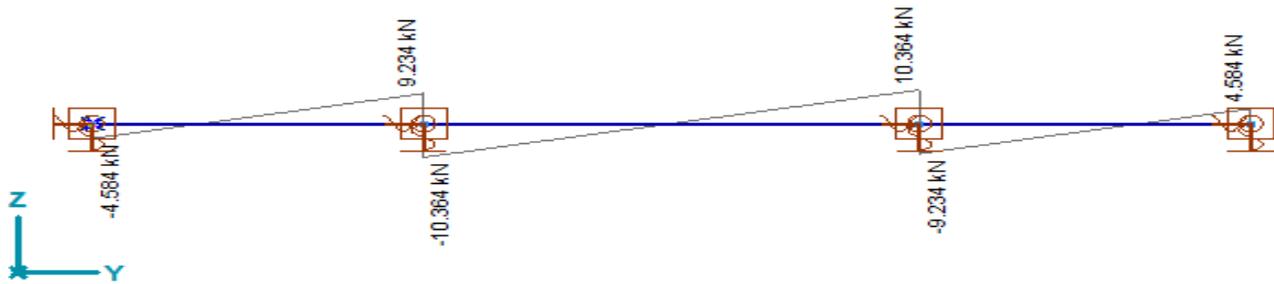
Stablänge S1	$l_{s1} =$	3'600 mm
Stablänge S2	$l_{s2} =$	5'400 mm
Stablänge S3	$l_{s3} =$	3'600 mm

### Momentenlinie im Brandfall



Maximales Moment		$M_{y,d,fi} =$	8.4 kNm
Maximale Biegespannung	$M_{y,d,fi} * 1000000 / (l_{y,fi} / (h_{fi} * s_{y,fi})) / 1000 * b_{fi}$	$\sigma_{o,d,fi} =$	4.0 N/mm <sup>2</sup>
	$M_{y,d,fi} * 1000000 / (l_{y,fi} / s_{y,fi}) / 1000 * b_{fi}$	$\sigma_{u,d,fi} =$	6.5 N/mm <sup>2</sup>
	$MAX(\sigma_{o,d,fi}, \sigma_{u,d,fi}) / f_{m,d,fi}$		<b>0.26 ≤ 1</b>

**Querkraftlinie im Brandfall**



Maximale Querkraft  
 Maximale Schubspannung

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

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

V<sub>z,d,fi</sub>= 10.4 kN  
 T<sub>d,fi</sub>= 0.7 N/mm<sup>2</sup>  
**0.25 ≤ 1**