

Statische Berechnung

TRAGWERKSPLANUNG

PROJEKT:	<i>Nr.: 1440 WERK- WESTFALENPARK EINGANGSGEBÄUDE RUHRALLEE MIT KINDERMUSEUM Stadt Dortmund Flur 024 / Flurstück 408</i>
BAUHERR:	<i>Stadt Dortmund Sport- und Freizeitbetriebe Dortmund An der Buschmühle 3 44139 Dortmund T: +49 23150 11534 lradeva-arndt@stadtdo.de</i>
PLANUNG:	<i>SBD A / SCHNOKLAKE BETZ DÖMER ARCHITEKTEN Hafenstrasse 64-Haus 1 48153 Münster T: +49 251 97 99 240 mail@sbda.info</i>
AUFSTELLER:	<i>DREWES + SPETH Beratende Ingenieure im Bauwesen Partnerschaftsgesellschaft mbB Raschplatz 6 30161 Hannover T: +49 511 898 447 – 20 F: +49 511 898 447 – 19 mail@drewes-speth.de www.drewes-speth.de</i>
UMFANG:	<i>01-121 Seiten DIN A4</i>

Projekt Nr. 1440

WERK- WESTFALENPARK EINGANGSGEBÄUDE RUHRALLEE MIT KINDERMUSEUM

Seiten 01 – 121

Aufgestellt

DREWES + SPETH

Beratende Ingenieure im Bauwesen

Partnerschaftsgesellschaft mbB

Raschplatz 6

30161 Hannover

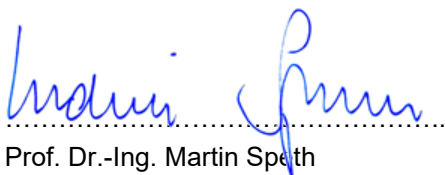
T: +49 511 | 898 447 – 20

F: +49 511 | 898 447 – 19

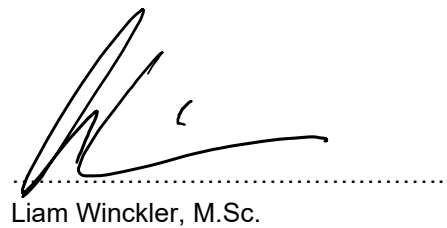
mail@drewes-speth.de

www.drewes-speth.de

Hannover, 24.06.2026



Prof. Dr.-Ing. Martin Speth



Liam Winckler, M.Sc.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen

1. Allgemeines	4
2. Verwendete Unterlagen	5
3. Tragwerksbeschreibung	6
4. Baustoffe	8
5. Brandschutz	9
6. Bemessungskonzept Stampflehm	10
7. Bauwischenzustände	20
8. Feuchteschutz, Fassade und Dauerhaftigkeit	21
9. Thermische Spannung in der Stampflehmfassade	23

10. Statische Bemessung

Positionsplan.....		27
Wandabwicklung Süd Pos.W01		28
Wandabwicklung Süd-West Pos. W02		33
Pos. W01.1 Stampflehmwand.....	STL 3.0.....	37
Pos. W01.2 Ankerbalken / Sturzträger	Stb. C25/30 30/15 cm.....	41
Pos. W01.3 Sturzträger.....	Stb. C25/30 30/30 cm.....	51
Pos. W01.4 Sturzträger.....	S235 3x 10/60 mm.....	59
Pos. W02.1 Stampflehmwand.....	STL 3.0.....	67
Pos. W02.2 Ankerbalken / Sturzträger	Stb. C25/30 22/14 cm.....	71
Pos. W02.3 Sturzträger.....	Stb. C25/30 22/30 cm.....	98
Pos. W02.4 Sturzträger.....	S235 3x 10/60 mm.....	106
Pos. W03 Sturzträger.....	IPE 220 S235.....	110
Pos. W04 Stampflehmwand.....	STL 3.0.....	117

Vorbemerkungen

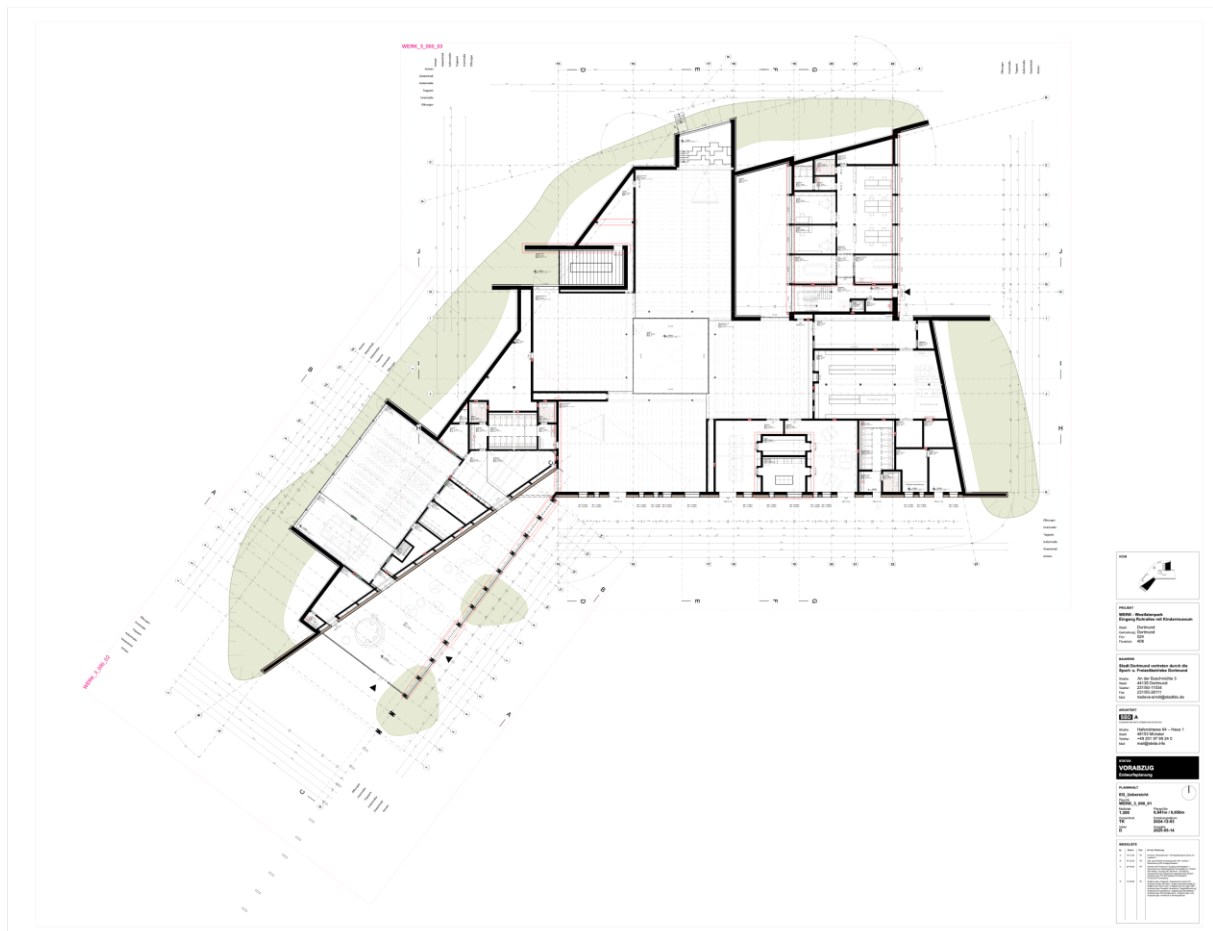
1. Allgemeines

Das Vorhaben ist ein Ersatzneubau für die abgängigen Bestandsbauten des Eingangsgebäudes Ruhrallee des Westfalenparks sowie des Kindermuseums MondoMio im Westfalenpark. Beide werden in etwa an gleicher Stelle, am westlichen Rand des Westfalenparks, neu errichtet. Die Funktionen werden zukünftig in einem Baukörper zusammengefasst. Das Gebäude beherbergt zukünftig auch zwei Veranstaltungsräume, Verwaltungsräume sowie eine öffentliche WC-Anlage mit Zugang vom Park.

Große Teile des Gebäudes sind Eingeschossig. Hier kommen Eingangsbereich, Museum und Veranstaltungsräume inklusive der dazugehörigen Nebennutzflächen unter. Der Verwaltungsteil ist zweigeschossig.

Zentrales Element des Entwurfskonzeptes ist eine lange Stampflehmfassade, die die BesucherInnen fließend in den Park überführt. Sie holt BesucherInnen auf dem Vorplatz ab, nimmt sie mit in den Eingangsbereich und führt sie dann hinein in den Park. Der verglaste Eingangsbereich befindet sich vor der Stampflehmfassade und wird von einem Dach aus Holzbindern überdeckt. Hinter der Stampflehmfassade befinden sich dann Museum, Veranstaltungsbereich und Verwaltung. Dieser Gebäudeteil wird an den verbleibenden Fassaden nach außen hin mit Erdreich geböschst. Aus der vorhandenen Topografie heraus wird so der Eindruck eines „Hügels“ entwickelt, der das übrige Raumprogramm aufnimmt und so einen Großteil der Baumasse verschwinden lässt.

Das vorliegende Dokument widmet sich der Thematik der Sonderkonstruktion der nichttragenden Stampflehmfassade, welche im Rahmen dieses Projektes mittels einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (vBG) reguliert wird.



Lageplan / Übersichtsplan

2. Verwendete Unterlagen

- Brandschutzkonzept BKK Ingenieure vom 04.08.2025
- Monitoring.- und Wartungskonzept D+S und SBD A vom 23.06.26
- Baugenehmigungsplanung SBD Architekten vom
- Ausführungsplanung SBD Architekten
 - Grundriss
 - Ansicht
 - ...

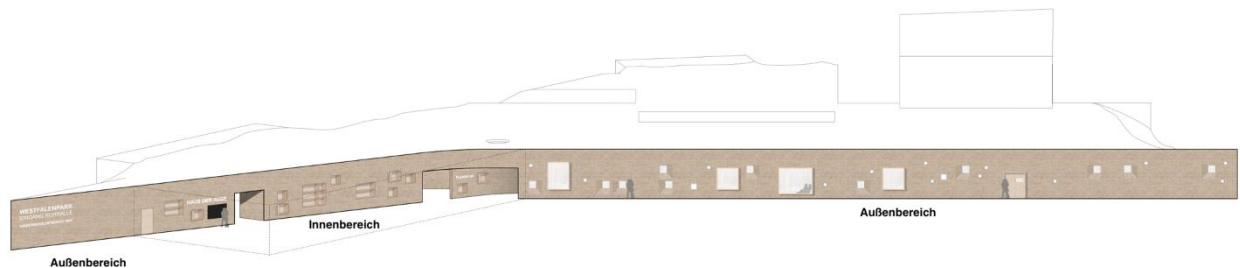
3. Tragwerksbeschreibung

Die vorliegenden Stampflehmwände sind als nicht tragende bzw. selbsttragende Fassadenkonstruktionen ausgebildet. Die vorrangige Beanspruchung erfolgt durch das Eigengewicht, wobei keine Funktion bezüglich der räumlichen Aussteifung oder Knickaussteifung tragender Bauteile übernommen wird. Die Auslegung erfolgt jedoch so, dass vertikal auf die Wand einwirkende Lasten sicher in tragende Bauteile abgeleitet werden können.

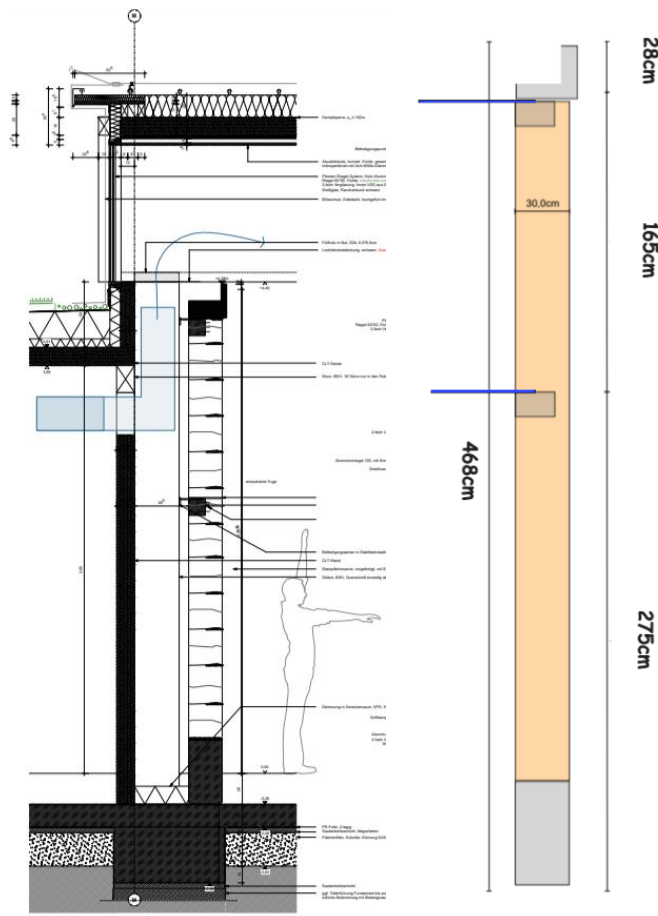
Die Stampflehmfassade verläuft von außen nach innen und wieder nach außen. Daher gibt es zwei maßgebliche Anwendungsfälle:

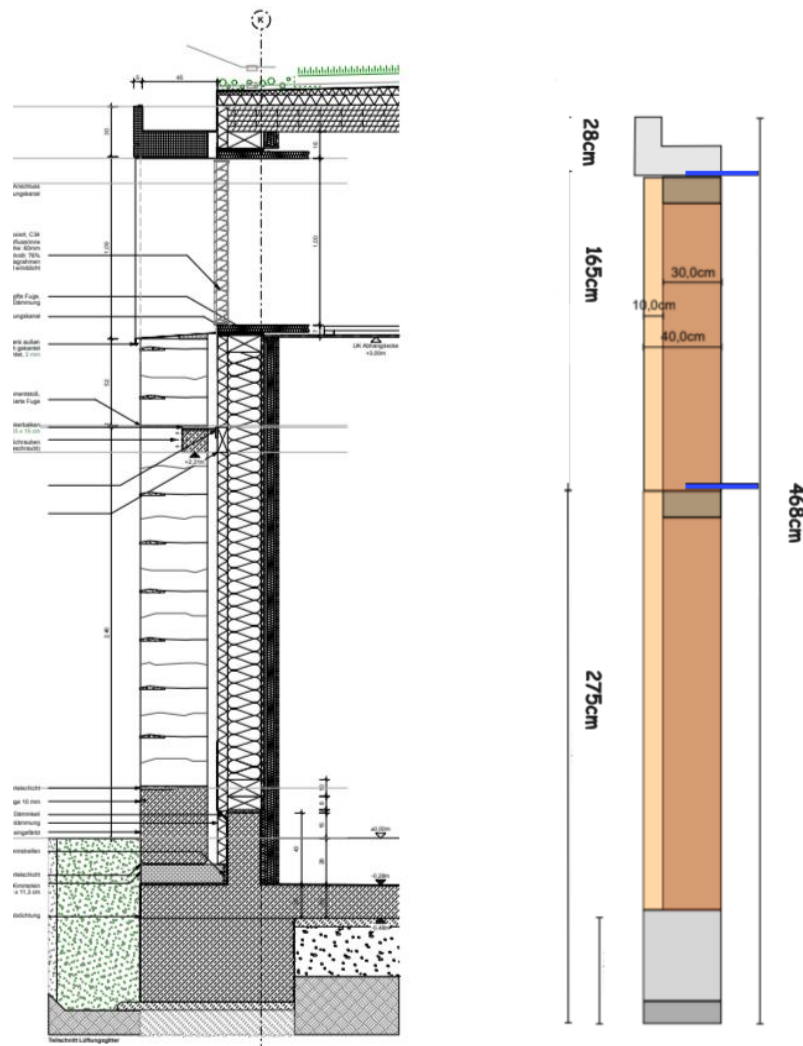
Anwendung im Außenbereich

Anwendung im Innenbereich



Innenbereich



Außenbereich

Stamplflem wird in den Lehm bau-Regeln geregelt, die in Nordrhein-Westfalen als Technische Baubestimmung (VVTB NRW) eingeführt sind. Die Anwendungsmöglichkeit ist gegenwärtig jedoch auf Gebäude der Gebäudeklassen 1–2 mit maximal zwei Vollgeschossen limitiert. Die Anwendung erfolgt jedoch in einem Gebäude der Gebäudeklasse 3, was eine wesentliche Abweichung darstellt somit die Erteilung einer vBG erforderlich macht.

Die Tragstruktur setzt sich aus einem unteren Wandabschnitt mit einer Höhe von 2,75 bis 3,25 m gemäß den Lehm bau-Regeln sowie einem oberen Wandabschnitt mit einer Mindesthöhe von 1,4 m zusammen. Die Herstellung beider Wandsegmente erfolgt als Fertigteile, die am oberen Abschluss mit einem Stahlbeton-Ankerbalken verbunden werden. Der Ankerbalken dient der punktuellen horizontalen Anbindung an das Primärtragwerk des Gebäudes.

Die daraus resultierende, selbsttragende Stamplflemwand verfügt über ein ausreichend hohes Eigengewicht, um die erforderliche Mindestauflast sicherzustellen und somit die auftretenden Horizontalkräfte aufnehmen zu können. Gleichzeitig werden die geometrischen Anforderungen für den vereinfachten Nachweis nach den Lehm bau-Regeln erfüllt.

Der statische Nachweis erfolgt somit auf Grundlage der gültigen Bemessungsvorgaben der Lehm bau-Regeln parallel zum Bemessungskonzept (Winckler, 2024).

4. Baustoffe

Beton

Ankerbalken / Sturzträger: C25/30	Innenwand XC1 WO	$c_{nom} \geq 20 \text{ mm}$
	Außenwand XC2 XF1 WF	$c_{nom} \geq 30 \text{ mm}$

Die Wandsockel und Kopfsteine werden als eingefärbte Fertigteile versetzt. Je nach Länge sind sie konstruktiv zu bewehren, um die damit verbundenen Fragestellungen zur Montage und Zwangsspannung zu berücksichtigen.

Wandsockel:	C25/30	Unbewehrt oder konstruktive Bewehrung
		XC3 WF $c_{nom} \geq 35 \text{ mm}$
Kopfstein:	C25/30	Unbewehrt oder konstruktive Bewehrung
		Innenwand XC1 WO $c_{nom} \geq 20 \text{ mm}$
		Außenwand XC3 XF1 WF $c_{nom} \geq 35 \text{ mm}$

Betonstahl

B500B (Stabstahl)

Baustahl

Sturzträger /Stahlwinkel	S 235 fvz
Verankerungsblech Innenwand	S 235 fvz
Verankerungsblech Außenwand	Edelstahl 1.4401

Holz

Brettschichtholz GL24h
 Brettsperrholz CLT C24
 Dreischichtplatte (konstruktiv)

Stampflehm

Die Druckfestigkeitsklasse wird in Anlehnung an die Lehmbau Regeln des Dachverbands Lehm e. V. sowie den aktuellen Stand der Technik festgelegt. Die notwendigen Materialuntersuchungen zur Feststellung und Überwachung der Materialgüte werden im Rahmen der vBG und des Bemessungskonzepts festgelegt und beschrieben.

Druckfestigkeitsklasse 3 nach Lehmbau Regeln → mittlere Druckfestigkeit $f_{m,c} = 3,0 \text{ N/mm}^2$

Die Sieblinie des Stampflehms ist für bewitterte Sichtbauteile auszulegen. Das Größtkorn beträgt 22–32 mm mit einem ausreichenden Größtkornanteil hinsichtlich der Kornfreilegung im Rahmen der kalkulierten Erosion. Das Schwindmaß ist auf ca. 0,5 % (max. 0,7 %) einzustellen. Dabei ist die Mischung ausreichend fett einzustellen, um die Sperr- und Quellwirkung der Tonminerale im Rahmen der kalkulierten Erosion sicherzustellen.

5. Brandschutz

An die Fassade werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt, außer der Verwendung von mindestens normalentflammbaren Baustoffen. Die nichttragenden bzw. selbsttragenden Außenwände aus Stampflehm sind gemäß DIN 4102-4 der Baustoffklasse A1 (nichtbrennbar) zuzuordnen und erfüllen damit die Anforderungen des Brandschutzgutachtens, mindestens normalentflammbar eingestuft zu sein.

Der Sturzträger Pos. W03 im Foyer wird konstruktiv für R30 verkleidet sowie die Holzstütze auf Abbrand bemessen. Das Auflager auf der Stampflehmwand kann als selbsttragende Konstruktion mit R30 bewertet werden. Somit kann für dieses Auflager ein 30/100 cm Stampflehm Pfeiler angenommen werden. Nach den Lehmbauregeln entsprechen massive Lehmwände mit einer Dicke von mindestens 24 cm der Brandschutzklassifizierung F90-A (feuerbeständig). Nach DIN 18940 wird für die Feuerwiderstandsklasse REI 30 ein Mauerwerk mit einer Mindestdicke von 17,5 cm gefordert.

6. Bemessungskonzept Stampflehm

Das Nachweisformat der Lehmbau Regeln [1] für den tragenden Lehmbau basiert bislang noch auf globale Sicherheitsbeiwerte. Der aktuelle Stand der Technik entspricht jedoch dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept der Eurocodes. In der Forschungsarbeit von Winckler (2020) [9] wurde ein Vorschlag für ein Bemessungs- und Sicherheitskonzept entwickelt, der in den vergangenen Jahren durch Anwendung sowie durch den Diskurs in Praxis und Forschung kontinuierlich weiterentwickelt und ergänzt wurde. Mit der Erarbeitung und Veröffentlichung der DIN 18940 für tragendes Lehmsteinmauerwerk liegt inzwischen eine Konstruktions-, Bemessungs- und Ausführungsrichtlinie vor, die als Stand der Technik für den tragenden Lehmbau angesehen werden kann. Da für relevante Fragestellungen eine große mechanische Nähe zwischen tragendem Lehmsteinmauerwerk und tragendem Stampflehm besteht, wurden die Erkenntnisse aus der Materialforschung [3] [4] zur DIN 18940 sowie deren Bemessungsregeln in ein Bemessungsformat für Stampflehm übertragen und weiterentwickelt (Winckler 2024).

Im Folgenden wird das Bemessungskonzept für Stampflehm entsprechend dem Stand der Technik sowie dem Stand von Wissenschaft und Technik zusammenfassend erläutert.

6.1 Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und Materialseite

Um die Teilsicherheitsbeiwerte der DIN EN1990 auf der Einwirkungsseite verwenden zu können braucht es auch Beiwerte auf der Materialseite.

Bei der Entwicklung der DIN 18940 wurde auf zahlreiche Forschungsvorhaben z.B. [3] [4] zurückgegriffen welche nachweisen konnten, dass der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite für Lehmsteine wie für bekannte mineralische Baustoffe mit $\gamma_M = 1,5$ angenommen werden kann.

Für den Baustoff Stampflehm haben sich verschiedene Forschungsarbeiten z.B. [9] [6] und baubegleitende Forschungen z.B. [5] mit dem Material Stampflehm befasst.

In [9] wurde zur Ermittlung der kalkulierbaren Sicherheit, mit welcher der Baustoff sich in den gewünschten Eigenschaften reproduzieren und verarbeiten lässt, zusätzlich zu den Untersuchungen der unterschiedlichen Zusammensetzungen, sowie Baustelleneinflüsse, die zu Abweichungen von der erwünschten Materialzusammensetzung und Verarbeitung führen können, simuliert. Ziel war es, aus den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Materialseite abzuleiten und einen Vorschlag für ein Sicherheitskonzept zur Bemessung von Stampflehm im Nachweisformat des Eurocodes zu erarbeiten. Dazu wurde die in dem aktuellen Bemessungsverfahren für Stampflehm der Lehmbau Regeln [1] zugrunde liegende globale Sicherheit $\gamma_{glob} = \text{ca. } 7,5$ analysiert.

Durch Differenzierung in die bekannte Teilsicherheit der DIN EN 1990 auf der Einwirkungsseite $\gamma_F = 1,4$ sowie der implizierten Sicherheit der Knickproblematik für die Schlankheit $\lambda = 10$ in Form des Beiwertes zur bezogenen Tragfähigkeit $\Phi_2 = 0,74$ konnte der materialbezogene Teilsicherheitsanteil in der angegebenen globalen Sicherheit für tragenden Stampflehm zu $\gamma_M = 3,96$ abgeschätzt werden.

Die globale Sicherheit auf der Widerstandseite lässt sich in verschiedene Aspekte aufteilen. So wurden die ermittelten Druckfestigkeiten mit einer mittleren Druckfestigkeit von mind. 3 N/mm^2 statistisch ausgewertet. Zur Verbesserung der Datenlage konnten aus der Arbeit von C. Janson [6] zu den Kriterien des erzeugten Datensatzes passende Prüfserien hinzugefügt werden. So wies die Datenreihe mit 73 Daten ein 5%-Quantil auf, welches 77% der mittleren Druckfestigkeit entspricht. Es ist zu erwarten, dass bei steigender Qualität der Datenlage die Standardabweichung noch weiter abnimmt und ein Variationskoeffizient von mindestens 0,122 % erreicht wird. Auf dieser Grundlage scheint eine Übernahme der aus dem Mauerwerksbau bekannten 80 % der mittleren Druckfestigkeit als Nennfestigkeit gerechtfertigt. Diese Annahme konnte z.B. über die begleitende Forschung und Materialuntersuchung des Projektes Eingangsgebäude des Freilichtmuseums Detmold [05] bestätigt werden.

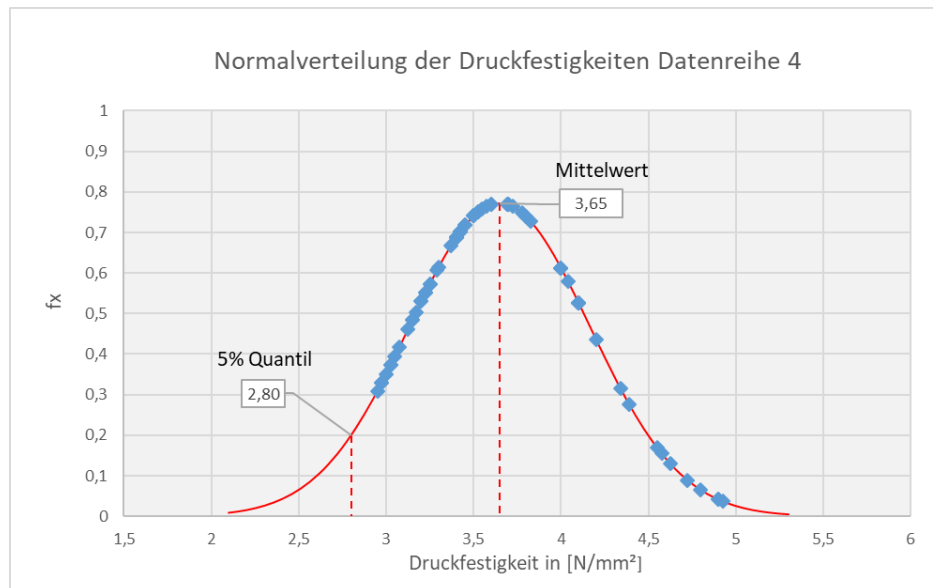


Abbildung 1: Normalverteilung der Druckfestigkeiten der Datenreihe 4 und Ermittlung des 5 %- Quantilwertes [9]

So berechnet sich die charakteristische Druckfestigkeit von Stampflehm über den Beiwert k_c wie folgt:

$$f_{ck} = f_{cm} \times k_c$$

mit:

f_{cm} = mittlere Druckfestigkeit

$k_c = 0,8$ = Beiwert zur charakteristischen Druckfestigkeit

Mit dem Wissen um die Normalverteilung der Materialkennwerte und dem ermittelten Variationskoeffizienten konnte anhand eines in der DIN EN 1990 beschriebenen Verfahrens zur Kalibration der Bemessungswerte der Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandseite zu:

$$\gamma_M = 1,5$$

ermittelt werden.

6.2 Dauerstandfestigkeit

Aufgrund fehlender Forschung wurde der Aspekt der Dauerstandfestigkeit nur theoretisch behandelt. Ist die Belastung geringer als die der Kurzzeitfestigkeit, kommt es zu einem Anteil plastischer Verformung, die durch eine bleibende Veränderung des Mineralgerüsts entsteht. Es ist zu vermuten, dass die auch bei Ausgleichsfeuchte noch ausreichend plastischen Tonminerale, kleinste Stauchungen im Konglomerat kompensieren können. Dabei kann von einer Konsolidierung gesprochen werden, welche eine Nachverfestigung des Materials mit sich zieht und über das Kriechen des Materials fortgesetzt wird.

Bis ein solcher Ansatz ausreichend erforscht ist, wird in Anbetracht der mechanischen Ähnlichkeit zu Beton und Mauerwerk und in Anlehnung an die DIN 18940 eine Übernahme des Wertes zur Berücksichtigung der Dauerstandfestigkeit von Stampflehm für den quasi ständigen Lastfall vorgeschlagen:

$\zeta = 0,85$ für ständige Lasten und $\psi_2 \times$ veränderliche Last

$\zeta = 1,0$ für kurzzeitige Beanspruchungen

6.3 Nutzungsklassen und Umgebungsfeuchtefaktoren

Die Druckfestigkeiten von Stampflehm verändern sich in Abhängigkeit zur Gleichgewichtsfeuchte. Forschungsarbeiten [3] [4] zu Lehmmauerwerk und begleitende Forschungen zu Projekten [05] mit tragendem Stampflehm weisen im baurelevanten Bereich eine lineare Beziehung zwischen der Druckfestigkeit und der Ausgleichsfeuchte auf.

$$+10\% \text{ RLF} \rightarrow -10\% \sigma/E$$

Es werden die Übernahme der Nutzungsklassen und der Umgebungsfeuchtefaktoren M der DIN 18940 für tragenden Stampflehm vorgeschlagen. Da Stampflehm in der Fassade auch als bewittertes Bauteil genutzt wird, wird eine Nutzungsklasse 3 eingeführt. Zu direkt bewittertem Stampflehm liegt keine ausreichende Forschung vor. In der Praxis wurden verschiedene Ansätze verfolgt, um diese Nutzung abzubilden. Grundsätzlich ist der Einsatz des vorliegenden wasserlöslichen Baustoffes bei direkter Bewitterung hinsichtlich Exposition, Monitoring und Instandhaltung planerisch mit Sorgfalt zu bewerten. Für die Nutzungsklasse 3 wird eine Formulierung von geometrischen Bedingungen vorgeschlagen. Zum einen die Berücksichtigung einer Erosionsschicht von 20-50 mm und eine dahinterliegende Pufferschicht von 50 mm deren aufsummierte Schichtdicke in der Bemessung nicht berücksichtigt wird. Durch die Quell- und somit Sperrwirkung der Tonminerale kann hinter der Pufferschicht eine Ausgleichsfeuchte entsprechend der NKL 2 angenommen werden.

Nutzungsklassen			
Nutzungs- klasse	Umgebungsbedingungen	Bauteil	Beiwert (M)
NKL 1	Gekennzeichnet durch eine Ausgleichsfeuchte im Stampflehm, die einer relativen Luftfeuchte von $\leq 65\%$ entspricht. Es sind nur kurzzeitige Überschreitungen zulässig	Innenwände von beheizten Räumen	0,8
		Außenwände von beheizten Räumen mit außenliegender Wärmedämmung	
NKL 2	Gekennzeichnet durch eine Ausgleichsfeuchte im Stampflehm, die einer relativen Luftfeuchte von $\leq 95\%$ entspricht. Es sind nur kurzzeitige Überschreitungen zulässig	Innenwände und Außenwände von unbeheizten Räumen	0,55
NKL 3	Durch Schlagregen bewitterter Stampflehm	Fassaden	0,55
		Erosionsschicht von 20-50 mm, Pufferschicht 50 mm*	

*Der tragende Querschnitt ist abzüglich der Erosionsschicht und der Pufferschicht zu bemessen

Abbildung 2: Definition der Nutzungsklassen / Umgebungsfeuchtefaktoren M zur Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen

6.4 Traglastfaktoren

Die in der DIN 18940 eingeführten angepassten Traglastfaktoren für tragenden Lehmsteinbau können auf Grund der mechanischen Nähe für die Bemessung von Stampflehm übernommen werden:

ϕ_1 = Traglastfaktor am Wandkopf und Wandfuß

ϕ_2 = Traglastfaktor in Wandmitte

$$\phi_2 = 0,9 - 0,03 \times \frac{h_{ef}}{t} \leq 0,8$$

Dabei handelt es sich um ein vereinfachtes Bemessungsverfahren in Anlehnung an die Nachweise für unbewehrten Beton und unbewehrtes Mauerwerk. Bei Einhaltung einer Grenzschlankheit ist für den Nachweis der horizontalen Windbeanspruchung der Nachweis einer ausreichenden Mindestauflast ausreichend.

6.5 Nachweis mit der Teilsicherheitsmethode

Das zentrale Grenzkriterium für den Nachweis der Tragfähigkeit fordert einen Sicherheitsabstand der vorhandenen Spannung von der rechnerischen Bruchspannung. Dies konnte über Untersuchungen und Zerlegung der globalen Sicherheit für tragenden Stampflehm der Lehmbau Regeln, mithilfe statistischer Auswertungen von Materialversuchen, Kalibrierung der implizierten Erfahrungswerte sowie Übernahme von mechanischen Modellen vorhandener technischer Richtlinien, im Nachweisformat der Eurocodes formuliert werden:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = b \times t_{ef} \times f_{cd} \times \phi_s$$

Die charakteristische Nennfestigkeit ergibt sich aus der jeweiligen Druckfestigkeitsklasse oder mittleren Druckfestigkeit. Unter Einbezug des Materialteilsicherheitsbeiwertes wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit definiert und über die Materialbeiwerte anhand der jeweiligen Bemessungssituation genauer eingestellt:

$$f_{cd} = f_{ck} \times \frac{\zeta \times M \times k_U}{\gamma_M}$$

mit:

N_{Ed} = Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

N_{Rd} = Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

ϕ_s = Traglastfaktor ϕ_1 oder ϕ_2

t_{ef} = Gesamtdicke des anzusetzenden Querschnitts

b = Gesamtbreite des Querschnitts

f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit

f_{cd} = Bemessungswert der Druckfestigkeit

ζ = Beiwert zur Dauerstandfestigkeit

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert für Bauteileigenschaften und Materialsicherheitsbeiwert

M = Umgebungsfeuchtefaktoren für die Nutzungsklassen

k_U = Beiwert zur Berücksichtigung der Überwachungsklasse

6.6 Sicherheitsniveau des Nachweisformates

Ein Vergleich des vorgestellten Bemessungsformates „Winckler 2024“ [2] mit dem bauaufsichtlich eingeführten Nachweisformat der Lehmbau Regeln und der DIN 18940 zeigt deutlich den großen Einfluss der feuchteabhängigen Druckfestigkeit. Der Vergleich erfolgt anhand der maximal zulässigen Wandschlankheit $\chi = 10$ der Lehmbau Regeln. Im Mittel wird ein ähnliches Sicherheitsniveau erreicht. Da die Lehmbauregeln auch die Bemessung in der neu definierten Nutzungsklasse 2 abdecken, liegt die Sicherheit bei der differenzierten Berücksichtigung der Umgebungsfeuchte deutlich höher.

Zwischen „Winckler 2024“ [2] und der DIN 18940 liegt der Unterschied in der charakteristischen Nennfestigkeit. Ausschlaggebend hierfür ist der anzusetzende Formbeiwert für Stampflehm. Untersuchungen zum Formbeiwert lassen die Annahme eines mittleren Wertes von $k_F = 0,8$ zu. Für die Festlegung der Nennfestigkeit ist der Formbeiwert über Materialversuche zu ermitteln.

	DIN 18940 NKL 1		DIN 18940 NKL 1 QS		DIN 18940 NKL 2		DIN 18940 NKL 2 QS	
Druckfestigkeitsklasse LbR		3,00 N/mm ²		3,00 N/mm ²		3,00 N/mm ²		3,00 N/mm ²
mittlere Druckfestigkeit	$f_{m,c} =$	3,00 N/mm ²		3,00 N/mm ²	$f_{m,c} =$	3,00 N/mm ²		3,00 N/mm ²
Material-Sicherheitsbeiwert	$\gamma_m =$	1,50		1,50	$\gamma_m =$	1,50		1,50
Einwirkungs-Sicherheitsbeiwert	$\gamma_F =$	1,40		1,35	$\gamma_F =$	1,40		1,35
Beiwert zur char. Druckfestigkeit	$k_c =$	0,80		0,80	$k_c =$	0,80		0,80
Formbeiwert	$k_F =$	0,85		0,85	$k_F =$	0,85		0,85
Dauerstandsfaktor DIN 18940	$\zeta =$	1,00		0,85	$\zeta =$	1,00		0,85
Materialbeiwert NKL 2 DIN 18940	$M =$	0,80		0,80	$M =$	0,55		0,55
Traglastfaktor	$\Phi_2 =$	0,60		0,600	$\Phi_2 =$	0,60		0,600
Zulässige Druckspannung LbR	$f_{zul} =$	0,40 N/mm ²		0,40 N/mm ²	$f_{zul} =$	0,40 N/mm ²		0,40 N/mm ²
$f_k = f_{m,c} \times k_c \times k_F$	$f_k =$	2,04 N/mm ²		2,04 N/mm ²	$f_k =$	2,04 N/mm ²		2,04 N/mm ²
$f_d = (\zeta \times M \times \Phi_2) / \gamma_m$	$f_d =$	0,65 N/mm ²		0,55 N/mm ²	$f_d =$	0,45 N/mm ²		0,38 N/mm ²
neuer globaler Sicherheitsbeiwert		6,43		7,30		9,36		10,62

Abbildung 3: Vergleich des Sicherheitsniveaus der DIN 18940 mit dem der Lehmbau Regeln

	Winckler 24 NKL 1		Winckler 24 NKL 1 QS		Winckler 24 NKL 2		Winckler 24 NKL 2 QS	
Druckfestigkeitsklasse LbR		3,00 N/mm²		3,00 N/mm²		3,00 N/mm²		3,00 N/mm²
mittlere Druckfestigkeit	fm,c =	3,00 N/mm²		3,00 N/mm²	fm,c =	3,00 N/mm²		3,00 N/mm²
Material-Sicherheitsbeiwert	γm =	1,50		1,50	γm =	1,50		1,50
Einwirkungs-Sicherheitsbeiwert	γF =	1,40		1,35	γF =	1,40		1,35
Beiwert zur char. Druckfestigkeit	kc =	0,80		0,80	kc =	0,80		0,80
Formbeiwert	kF =	0,80		0,80	kF =	0,80		0,80
Dauerstandsfaktor DIN 18940	ζ =	1,00		0,85	ζ =	1,00		0,85
Materialbeiwert NKL 2 DIN 18940	M =	0,80		0,80	M =	0,55		0,55
Traglastfaktor	Φ2 =	0,60		0,600	Φ2 =	0,60		0,600
Zulässige Druckspannung LbR	fzul =	0,40 N/mm²		0,40 N/mm²	fzul =	0,40 N/mm²		0,40 N/mm²
	fk = fm,c x kc x kF	1,92 N/mm²		1,92 N/mm²	fk =	1,92 N/mm²		1,92 N/mm²
	fd = (ζ x M x Φ2) / γm	0,61 N/mm²		0,52 N/mm²	fd =	0,42 N/mm²		0,36 N/mm²
neuer globaler Sicherheitsbeiwert		6,84		7,76		9,94		11,28

Abbildung 4: Vergleich des Sicherheitsniveaus des vorgestellten Bemessungsformates „Winckler 2024“ mit dem der Lehmbau Regeln

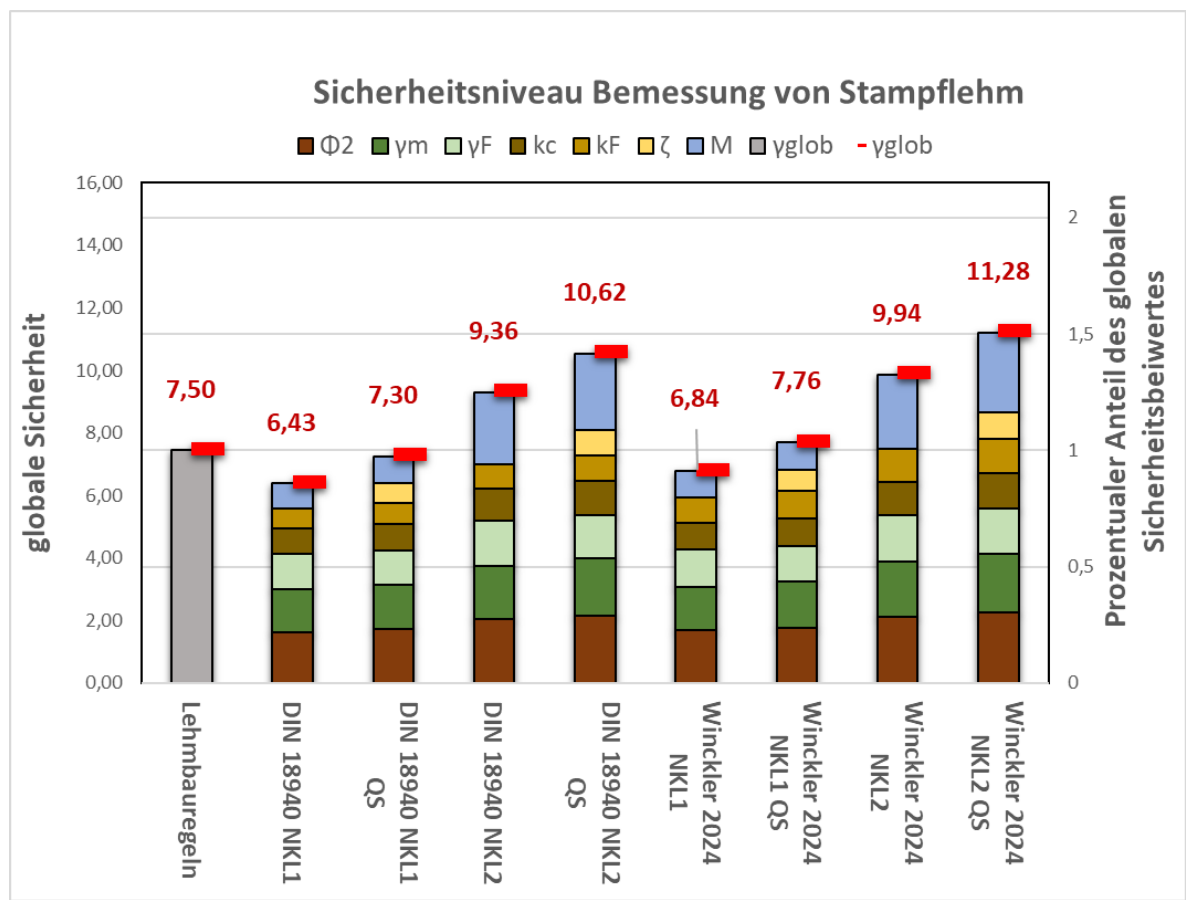


Abbildung 5: Vergleich des Sicherheitsniveaus der DIN 18940 und des vorgestellten Bemessungsformates „Winckler 2024“ mit dem der Lehmbau Regeln

6.7 Baustoff / Materialuntersuchungen

Da noch keine expliziten Materialkennwerte für die zu verwendende Stampflehmmischung vorliegen, mussten Werte aus der Fachliteratur angenommen werden. In den anstehenden Materialuntersuchungen werden das Schwindmaß, die Rohdichte sowie die Druckfestigkeit untersucht und die Sieblinie angeschaut. Aufgrund des angewandten vereinfachten Bemessungsverfahrens können E-Modul und Kriechbeiwerte aus der Literatur verwendet werden.

6.7.1 Rohdichte

Im verdichteten und trockenen Zustand weist tragender Stampflehm eine Rohdichte zwischen 1.700 und 2.400 kg/m³ auf [1].

In der vorliegenden Bemessung wurde eine Wichte von 2.400 kg/m³ angesetzt.

6.7.2 Schwindmaß

Die Plastizität der Tonminerale wird durch den Wassergehalt gesteuert und ermöglicht die Formgebung. Das damit einhergehende Quellen kehrt sich beim Austrocknen wieder um. Durch die Volumenänderung des Baustoffs entstehen Zugspannungen im Material, die zu Schwindrissen führen können.

Tragender Stampflehm muss zur Sicherstellung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ein Schwindmaß unter 2 % aufweisen. Erfahrungen haben gezeigt, dass bei einem Schwindmaß unter 0,5 - 0,7 % sichtbare Risse vermieden werden können. [1]

6.7.3 Druckfestigkeit

Tragender Stampflehm wird in den Lehmbau Regeln [1] in Druckfestigkeitsklassen eingeteilt. Diese entsprechen dem Mittelwert oder mindestens dem kleinsten Einzelwert von drei Prüfkörpern.

Im Mauerwerksbau werden die Druckfestigkeitsklassen als charakteristische Steindruckfestigkeiten angegeben. Dies wird für das beschriebene Bemessungsverfahren [2] übernommen. Projektspezifisch können auch unabhängig von den Druckfestigkeitsklassen eine zu erreichende mittlere Druckfestigkeit gewählt werden. Im vorliegenden Projekt wurde mit einer mittleren Druckfestigkeit von 3,0 N/mm² gerechnet.

	1	2	3
	Druckfestigkeitsklasse	Mittelwert der Druckfestigkeit f_m in [N/mm ²]	Charakteristische Druckfestigkeit f_k in [N/mm ²]
1	1,6	2,0	1,6
2	2,4	3,0	2,4
3	3,2	4,0	3,2

Abbildung 6: Druckfestigkeitsklassen für Stampflehm [9] [1]

In den Lehmbau-Regeln [1] sowie in [9] wird die Durchführung der Druckfestigkeitsprüfung an Probewürfeln mit einer Kantenlänge von 200 mm empfohlen. Das Größtkorn der Mischung sollte dabei einen Durchmesser von 36 mm nicht überschreiten.

Die Konditionierung der Probekörper erfolgt bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 %. Die Oberflächen der Probewürfel müssen eben ausgebildet sein und sind gegebenenfalls zu nivellieren. Parallelitätsabweichungen der Belastungsflächen können durch das Aufbringen einer dünnen Ausgleichsschicht (z. B. Gips) kompensiert werden.

Die Prüfung an Probekörpern mit einer Schlankheit $\lambda = 1$ erfordert zur Übertragbarkeit der Ergebnisse eine experimentelle Ermittlung eines Größen- und Formfaktors anhand zusätzlicher Probekörper mit einer Schlankheit $\lambda = 2$.

$$f_{cm} = f_{cm,Würfel} \times k_F$$

mit:

$$k_F = \min. 0,8 = \text{Formbeiwert; experimentell zu ermitteln}$$

Im Rahmen der AG-Forschung des Dachverbandes Lehm wurde im Jahr 2025 ein Fachbeitrag [8] erarbeitet, der den aktuellen Stand der Forschung hinsichtlich der Druckfestigkeitsprüfung tongebundener Baustoffe mit dem Ziel der Entwicklung eines standardisierten Prüfverfahrens darstellt. Es wird empfohlen, die Druckfestigkeitsprüfungen an diesen Vorgaben auszurichten.

Auf Grundlage bestehender Normen und experimenteller Erkenntnisse werden zylindrische Probekörper mit einem Schlankheitsverhältnis von $h/d = 2,0$ empfohlen. Die Probekörpergröße ist in Relation zur maximalen Korngröße D_{max} zu wählen; empfohlen wird ein Durchmesser $d \geq 5 \cdot D_{max}$.

$$f_{cm} = f_{cm,Zylinder}$$

Als Konditionierungsklima wird ein Bereich von $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und $(65 \pm 3) \%$ relativer Luftfeuchte vorgeschlagen.

Die Belastungsrate ist so festzulegen, dass der Bruch des Probekörpers innerhalb eines Zeitraums von 30 bis 90 Sekunden eintritt.

6.7.4 Überwachungsklassen

Da Regionalität, Vor-Ort-Produktion sowie die große Bandbreite der Projektgrößen – von sehr kleinen Mischchargen bis hin zu Großprojekten – einen wesentlichen Teil der Attraktivität des Baustoffs ausmachen, bleibt selbst bei umfangreicher Materialforschung die Kalibrierung des Zuverlässigkeitsniveaus anspruchsvoll. Aus diesem Grund wird in [2] vorgeschlagen, einen Beiwert k_u einzuführen, der über drei Überwachungsklassen das Zuverlässigkeitsniveau differenziert und damit den unterschiedlichen Anforderungen an Herstellung und Anwendung des Baustoffs Rechnung trägt.

Material-Überwachungsklassen			
Ü-Klasse	Kriterien		Beiwert $[k_u]$
3	Eignungs.- Materialprüfung	Druckfestigkeit an 10 Probekörpern; Rohdichte; Schwindtest; Sieblinie	1,00
	Baubegleitende Materialuntersuchung	Werksmischungen oder werksähnliche Baustellenmischungen Vor Baubeginn an der ersten Charge der Mischung und dann 50 (-70) m ³ bei: Druckfestigkeit an Probeserie aus 5 Würfeln; Rohdichte; Feuchte	
	Ingenieurtechnischen Kontrolle	Ausführung	
2	Eignungs.- Materialprüfung	Druckfestigkeit an 10 Probekörpern; Rohdichte; Schwindtest; Sieblinie	0,88
	Baubegleitende Materialuntersuchung	Baustellenmischungen Vor Baubeginn an der ersten Charge der Mischung und dann alle 15 m ³ : Druckfestigkeit an Probeserie aus 5 Würfeln; Rohdichte; Feuchte	
	Ingenieurtechnischen Kontrolle	Ausführung	
1	Materialuntersuchung	Baustellenmischungen Druckfestigkeit an Probeserie aus 3 Würfeln; Rohdichte; Schwindtest festgelegtes Mischverfahren	0,78

Abbildung 10: Vorschlag für Material Überwachungsklassen und dessen Sicherheitsbeiwerte (k_u) [2]

Im Rahmen des vorliegenden Projekts ist die Anwendung der Überwachungsklasse 3 vorgesehen. Neben den daraus resultierenden erforderlichen Materialprüfungen und ingenieurtechnischen Kontrollen ist ein im Stampflehm-bau sehr erfahrenes Fachunternehmen zu beauftragen, das in der Lage ist, eine Werksmischung oder eine werksähnliche Baustellenmischung herzustellen und darüber hinaus sicherstellen kann, dass die Ausführung durch eine im Stampflehm-bau besonders erfahrene Person fachlich geleitet wird (siehe auch Lehm-bau Regeln 1.3.2 und 4.1.1 [1]). Gemäß der aktuellen Forschung kann die Eignungsprüfung bzw. erste Materialprüfung von zehn Probekörpern entfallen, sofern es sich um eine industrielle Produktion einer bekannten Mischung handelt.

6.8 Zitierte Literaturquellen

- [1] Franz Volhard; Ulrich, Röhlen; Redaktionsbeirat u.a. Prof. Heiner, Lippe; Dachverband Lehm e.V.; Lehmbauregeln, Vieweg+Teubner; 3. Auflage, 2009
- [2] Liam Owen Winckler, Bauen mit Erde - Herstellungsspezifische und zusammensetzungsabhängige Einflüsse auf die Druckfestigkeit von Stampflehm und dessen Nachweis im Bemessungsformat des Eurocodes, OPUS 4 – Earth Builder Summit – Proceedings Part B: Non Reviewed Manuscripts S. 57-68, 2025
- [3] Philipp Johannes Wiehle; Sebastian, Simon; Johanna, Baier; Luise, Dennin; Influence of relative humidity on the strength and stiffness of unstabilised earth blocks and earth masonry mortar, Construction and Building Materials 342, S. 1 – 15, 2022
- [4] Philipp Wiehle; Maximilian, Brinkmann: Material behaviour of unstabilised earth block masonry and its components under compression at varying relative humidity, Case Studies in Construction Materials 17, e01663, 2022
- [5] ACMS-Architekten: Simon, Waigand; Michael, Müller; Christina, Sonnborn: DBU Abschlussbericht AP6: „Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Umsetzbarkeit ökologischer Konstruktionen bei Großprojekten für das Material Lehm“, 2024
- [6] Christina Janson, „Materialforschung Stampflehm- Ein Beitrag zur Weiterentwicklung des Baustoffes Stampflehm,“ Dissertation an der TU Berlin, Berlin, 2013.
- [7] Technisches Merkblatt TM05: Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe-Richtlinie, Dachverband Lehm, 2011
- [8] Baier, J.; Nille-Hauf, K.; Brünjes, R.; Wente, E.; Langlotz, F.; Pfahler, K.; Daube, L.: Compressive Strength of Earth-based Materials: Toward a Standardized Testing Approach; AG-Forschung Dachverband Lehm, 2025
- [9] [Winckler, Liam Owen]; „Bauen mit Erde, Herstellungsspezifische und zusammensetzungsabhängige Einflüsse auf die Druckfestigkeit von Stampflehm“, Masterarbeit am Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover, 2019

7. Bauzwischenzustände

Der Bauablauf muss unter Berücksichtigung der feuchteabhängigen Druckfestigkeit des Stampflehms organisiert werden. Die nachgewiesene Standsicherheit ist erst gegeben, wenn der Stampflehm durch Erreichen der Ausgleichsfeuchte der vorliegenden Nutzungsklasse seine entsprechende Druckfestigkeit entwickelt hat.

Der Trocknungsverlauf hängt im Wesentlichen von der Umgebungsfeuchte, der Temperatur, der Belüftung, dem Witterungsschutz sowie von den Bauteildicken ab. Im vorliegenden Fall ist geplant, mit StL-Fertigteilwänden zu arbeiten. Somit erfolgt die Trocknung im Wesentlichen im Werk. Die Trocknung ist über geeignete Maßnahmen zu dokumentieren und Zielwerte zu definieren. Gerade bei massiven Bauteilen kann die Trocknung bis zum Erreichen der in der Bemessung angenommenen Ausgleichsfeuchte sehr lange dauern. Insbesondere der Kern weist oft noch eine höhere Restfeuchte auf. Die Produktion ist somit mit einer ausreichenden Trocknungszeit zu planen.

Um einen wirtschaftlichen und kontinuierlichen Bauablauf zu gewährleisten, sind in der Regel Bauzwischenzustände zu definieren und Stützkonstruktionen vorzusehen bzw. statisch zu bemessen.

Bei planmäßig bewitterten Bauteilen kann der volle Wandquerschnitt im Bauzustand angesetzt und die Windlast reduziert werden. In Kombination mit einer maximalen Auslastung von ca. 70 % der maßgebenden Wandpfeiler ist der Bauzwischenzustand für die Außenwände gut realisierbar.

Auch für die Innenwände sind Horizontallasten nur reduziert anzusetzen, und die maßgebenden Wandpfeiler weisen mit maximal 63 % Auslastung ausreichend Reserve für den Bauzwischenzustand auf.

8. Feuchteschutz, Fassade und Dauerhaftigkeit

Gemäß den Lehmbau Regeln müssen bei Lehmbauten und Lehmbauteilen Witterungsschutz und konstruktiver Feuchteschutz dauerhaft gewährleistet sein. Die DIN 18940 konkretisiert dies durch Anforderungen an den Sockelbereich und den oberen Wandabschluss: Die Stampflehmwände sind auf einem Untergrund aus nicht wasserlöslichem Material zu gründen, der das außenliegende Niveau um mindestens 30 cm überragt und so Spritzwasserschutz gewährleistet. Bis 5 cm über Oberkante Fertigfußboden ist eine nicht wasserlösliche Schicht vorzusehen, die auch im Falle von Wassereinwirkungen durch Havarie einen Mindestschutz sicherstellt. Maßnahmen zur Vermeidung aufsteigender Feuchte vom angrenzenden Beton oder Mauerwerk in den Stampflehm sind konstruktiv sicherzustellen. Der obere Wandabschluss ist dauerhaft wasserdicht auszubilden und das anfallende Regenwasser kontrolliert von der Lehmwand weg abzuführen.

Der Witterungsschutz der bewitterten Stampflehmfassade erfolgt nicht durch Verkleidung oder Verputz, sondern durch den Stampflehm selbst. Die äußeren 10 cm der Wandfläche werden als Fassadenschicht deklariert und nicht zum tragenden Querschnitt gerechnet: Die ersten 5 cm bilden die planmäßige Erosionsschicht, die weiteren 5 cm dienen als Pufferschicht. Erst hinter dieser Zone beginnt der bemessungsrelevante Kernquerschnitt.

Historische Bauten sowie moderne Neubauten belegen die Robustheit und Funktionsfähigkeit von Stampflehm in der Nutzungsklasse 3. Beispielhaft zu nennen sind das Ricola Kräuterezentrum in Laufen (CH), der Alnatura Campus in Darmstadt und der Weleda Logistik Campus in Schwäbisch Gmünd. Dabei ist zu beachten, dass es sich um einen wasserlöslichen Baustoff handelt und die Einflüsse von Materialmischung und Erosion nach wie vor vergleichsweise wenig beforscht sind. Wesentliche Einflussfaktoren neben der Materialmischung und konstruktive Maßnahmen sind die Lage und Exponiertheit der Fassade sowie die örtlichen und topografischen Verhältnisse, die das lokale Wettergeschehen maßgeblich prägen.

Das Prinzip der kalkulierten Erosion beschreibt den planmäßigen Selbstschutz der bewitterten Außenschicht: In der Initialphase werden die feinen Lehmbestandteile an der Oberfläche durch Schlagregen ausgewaschen. Die Gesteinskörnung tritt hervor und bildet eine natürliche Erosionsbremse. Die zwischen den Steinen liegenden Lehmfugen quellen bei erneuter Befeuchtung auf und verschließen die Kapillarporen, wodurch das weitere Eindringen von Schlagregen in tiefere Bauteilschichten stark reduziert wird. Die Erosionsrate verlangsamt sich damit nach der Initialphase deutlich.

Die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenwassers an der Fassade hat maßgeblichen Einfluss auf den Erosionsprozess. Je schneller das Wasser abläuft, desto größer ist seine mechanische Energie und desto mehr Material kann abgelöst und abtransportiert werden. Das Ziel konstruktiver Maßnahmen besteht daher darin, den Wasserablauf zu verlangsamen und eine flächige, gleichmäßige Verteilung des Oberflächenwassers sicherzustellen. Ein konzentrierter Ablauf, etwa durch Abflüsse von angrenzenden Bauteilen oder durch ungünstige Geometrien, ist zu vermeiden, da er lokal zu erhöhtem Abtrag führt.

Zu diesem Zweck werden in regelmäßigen vertikalen Abständen keilförmige Leisten aus Trasskalkmörtel bündig in die Außenschicht eingestampft. Nach der Initialphase der Erosion tritt die zuvor bündige Trasskalkmörtelleiste geringfügig vor die Wandoberfläche. Sie wirkt dann als horizontale Tropfkante. Das an der Fassade ablaufende Wasser wird an diesen Vorsprüngen abgelenkt und tropft ab, anstatt weiter an der Lehmoberfläche entlangzuzießen. Dadurch werden sowohl die Fließgeschwindigkeit als auch die benetzte Länge der Lehmfläche zwischen zwei Leisten reduziert, was den Materialabtrag wirksam begrenzt. In den Ecken werden die Abstände der Trasskalkmörtelleisten halbiert, da Ecken und Kanten durch ihre erhöhte Exponiertheit und zweiseitige Durchfeuchtung stärker beansprucht werden.

Starkwetterereignisse oder ungünstige Witterungskombinationen können flächig oder partiell zu einem stärkeren Abtrag führen. Die Beobachtung und Bewertung der Erosionsentwicklung sowie der Umgang mit solchen Ereignissen sind im entsprechenden Monitoring- und Wartungskonzept gesondert geregelt.

Die genaue Materialmischung liegt in der Verantwortung des ausführenden Fachunternehmens. Es sind folgende Richtwerte einzuhalten: Das Größtkorn beträgt 22–32 mm, wobei ein ausreichender Grobkornanteil sicherzustellen ist. Dieser wird im Zuge der kalkulierten Erosion an der Oberfläche freigelegt und entfaltet die beschriebene Schutzwirkung. Das Schwindmaß ist auf ca. 0,5 % (max. 0,7 %) einzustellen. Dabei ist eine ausreichend fette Mischung zu wählen, um die Sperr- und Quellwirkung der Tonminerale zu gewährleisten.

Sollte sich trotz aller Maßnahmen eine unzureichende Dauerhaftigkeit einzelner Bereiche zeigen, sind konstruktive und additive Maßnahmen planerisch zu behandeln. Dazu zählen bei örtlich begrenzten Details und Flächen beispielsweise die Ergänzung oder Anpassung von Tropfkanten und Erosionsbremsen oder gezielte Ausbesserungen mit Originalmaterial. Bei großflächigen Fragestellungen ist als letzte Rückfallebene beispielsweise ein flächiger Verputz auf Kalkbasis möglich.

9. Thermische Spannung in der Stampflehmfassade

Die nach Süden ausgerichtete Fassade ist 63 m lang und 40 cm dick und wird aus Stampflehm-Fertigteilen mit einer maximalen Elementlänge von ca. 7,0 m hergestellt. Die Wand steht mit einer 6cm starken hinterlüfteten Luftschicht vor einer gedämmten Holztafelwand und ist damit thermisch von der beheizten Innenraumluft entkoppelt. Am Fußpunkt befindet sich ein Stb.-Sockel aus Fertigteilen, am Kopf jedes Wandelements ein eingebundener Stb.-Ringanker mit 10 cm Lehmüberdeckung sowie ein eigenständiges dünnwandiges Stb.-Kopfteil als Entwässerungsrinne. Die thermische Bewertung erfolgt getrennt für die drei Bauteilgruppen.

9.1. Stahlbetonsockel

Der Stb.-Sockel wird durch Fassadenöffnungen in maximal 10 m lange Abschnitte unterteilt, die aus kleinteiligen Elementen mit unvermörtelten Belüftungsfugen bestehen. Aufgrund der geringen Einzellänge und der beweglichen Stoßfugen bauen sich keine nennenswerten thermischen Zwangsspannungen auf. Der Sockel ist konstruktiv unabhängig von der darüberliegenden Wand und nicht Gegenstand der weiteren Betrachtung.

9.2. Stahlbeton-Kopfteil

Das dünnwandige Stb.-Kopfteil ist den thermischen Tageszyklen unmittelbar ausgesetzt. Es wird auf einer Abdichtungsebene aufgesetzt und nur punktuell mit dem Ringanker verbunden, sodass es sich eigenständig ohne Rückwirkung auf die Wand verformen kann. Die Verformungsdifferenz zwischen den Abschnitten wird über die Kleinteiligkeit der Elemente und deren Stoßfugen bzw. planmäßige Dehnungsfugen aufgenommen, die sich in der Abdichtung der Rinne widerspiegeln. Das Kopfteil ist ebenfalls konstruktiv unabhängig gelöst.

9.3. Stampflehmwand als fugenloses Bauteil

Die Stampflehmwand wird als durchlaufendes, fugenloses Bauteil über die gesamte Fassadenlänge konzipiert. Die Aufnahme thermischer Verformungen erfolgt über die werkstoffimmanente Nachgiebigkeit des Materials, nicht über geplante Dehnungsfugen im Lehmquerschnitt.

Empfohlene Fugenabstände für Fassadenmauerwerk von 6–12 m basieren auf der Kombination hoher Bauteilsteifigkeit und hoher angesetzter Temperaturdifferenzen bei dünnen, der Außenluft unmittelbar folgenden Bauteilen. Hinzu kommt, dass Risse in glattem, homogenem Mauerwerk optisch sofort in Erscheinung treten und üblicherweise als Mangel hinsichtlich der Sichtanforderungen bewertet werden. Beide Voraussetzungen treffen auf die Stampflehmwand nicht zu. Das niedrige E-Modul und die durch die thermische Trägheit reduzierte Temperaturdifferenz führen zu deutlich geringeren Zwangsbeanspruchungen, und die raue, lebendige, durch natürliche Erosion geprägte Oberfläche von Stampflehm lässt feine Risse optisch nicht in Erscheinung treten. Feine Haarrisse sind vielmehr charakteristisch für das Erscheinungsbild des Baustoffs. Stampflehm schwindet bei der Trocknung von der Einbaufeuchte auf die Ausgleichsfeuchte um mindestens 0,5 % und baut dieses Maß über feine, gleichmäßig verteilte Risse ab, ohne dass die durch die Kornverzahnung gebildete Materialmatrix an Stabilität verliert. Im Fall von Fertigteilen ist dieser Prozess vor dem Einbau bereits abgeschlossen. Feine thermisch bedingte Risse an den Elementfugen sind damit gestalterisch integrierbar und bautechnisch unerheblich.

9.3.1. Bauphysikalische Kenngrößen der Wand

Kenngröße	Wert	Quelle / Anmerkung
Rohdichte ρ	2200 kg/m ³	LBR, Stampflehm schwer
Druckfestigkeit $f_{c,k}$	3 N/mm ²	LBR Druckfestigkeitsklasse 3
E-Modul	1000 N/mm ²	Annahme aus Fachliteratur
Wärmeleitfähigkeit λ	1,4 W/(m·K)	konservative Literaturangabe
Spez. Wärmekapazität c	900 J/(kg·K)	Annahme, üblicher Bereich mineralischer Baustoffe
Temperaturleitfähigkeit $a = \lambda/(\rho \cdot c)$	$7,1 \cdot 10^{-7}$ m ² /s	rechnerisch abgeleitet
Wärmeausdehnungskoeffizient α_T	$10\text{--}12 \cdot 10^{-6}$ /K	kein Stampflehm-Normwert; Analogie zu Normalbeton mit vergleichbarer Korngrößenverteilung; Mauerwerk: $6\text{--}10 \cdot 10^{-6}$ /K (EN 1991-1-5, Anhang C); oberer Bereich als konservative Annahme
Schwindmaß	$\geq 0,5$ %	Trocknung von Einbau- auf Ausgleichsfeuchte
T_{max} / T_{min} (normativ)	+37 °C / -24 °C	DIN EN 1991-1-5/NA, 50-Jahres-Wert
$T_{Juli,Mittel} / T_{Januar,Mittel}$	+18,7 °C / +2,3 °C	DWD, Station Dortmund/Wickede, Ref.-Periode 1991–2020
Absorptionsgrad Oberfläche a	$\approx 0,5$	Schätzwert, hellbraune Oberfläche mit hellgrauen Zuschlägen
Äußerer Wärmeübergangskoeffizient h_e	25 W/(m ² ·K)	DIN EN ISO 6946
Aufstelltemperatur T_0	10 °C	DIN EN 1991-1-5, Anhang A.1(3)

9.3.2. Trägheit der Wand: Tageszyklus vs. Jahreszyklus

Nach der Theorie der periodischen Wärmeleitung (DIN EN ISO 13786) gilt für die Eindringtiefe $\delta = \sqrt{(2a/\omega)}$. Für den Tageszyklus ergibt sich $\delta \approx 13,9$ cm; bei 40 cm Wanddicke werden rund 94 % der Tagesamplitude gedämpft. Für den Jahreszyklus ergibt sich $\delta \approx 2,66$ m; bei 40 cm verbleiben rund 86% der saisonalen Amplitude. Temperaturschwankungen mit Periodendauern unter einer Woche werden zu über 65 % gedämpft; maßgebend für die mittlere Querschnittstemperatur ist die über rund zwei Wochen gemittelte Außenlufttemperatur.

Da die Wand mit einer hinterlüfteten Luftschicht vor der gedämmten Holztafelwand steht, ist sie thermisch von der Innenraumluft entkoppelt. Die raumseitige Randbedingung ist daher dem Außenklima angenähert, was als konservativ einzustufen ist: im Luftspalt selbst stellt sich aufgrund der Abschirmung gegen Windanströmung, direkte Einstrahlung und nächtliche Strahlungsauskuhlung ein gedämpftes Zwischenklima ein, das die Wandträgheit zusätzlich unterstützt.

9.3.3. Einfluss auf den anzusetzenden ΔT -Wert

Nach DIN EN 1991-1-5 ist der maßgebende konstante Temperaturanteil $\Delta T_u = T - T_0$, wobei T die Durchschnittstemperatur des Bauteils im Sommer bzw. Winter darstellt. Tabelle 5.2 setzt T als stationären Gleichgewichtswert an, der für dünne Bauteile sachgerecht ist. Für die 40 cm dicke Stampflehmwand stellt sich dieser Gleichgewichtszustand mit dem normativen 50-Jahres-Extremwert $T_{\max} = 37^\circ\text{C}$ innerhalb der Dauer einzelner Witterungsereignisse nicht ein. In Übereinstimmung mit Tabelle 5.2, der die Berücksichtigung regionaler Daten und Erfahrungswerte ausdrücklich zulässt, wird T über einen ingenieurmäßigen Dreischrittansatz ermittelt:

Schritt 1 – Vom normativen Spitzenwert zum Monatsmittel

Statt des 50-Jahres-Wertes $T_{\max} = 37^\circ\text{C}$ (Sommer) bzw. $T_{\min} = -24^\circ\text{C}$ (Winter) wird das langjährige Monatsmittel des wärmsten bzw. kältesten Monats als Bezugsgröße gewählt, da die Wandmasse nur auf über Wochen anhaltende Temperaturzustände reagiert. Für den Standort Dortmund (DWD, Referenzperiode 1991–2020): $T_{\text{Juli,Mittel}} = +18,7^\circ\text{C}$, $T_{\text{Januar,Mittel}} = +2,3^\circ\text{C}$.

Schritt 2 – Zuschlag für einen Spitzensommer bzw. einen kalten Winter

Das 30-Jahres-Monatsmittel wird in einer Hälfte aller Jahre überschritten und ist daher für eine Bemessungsgröße über die Nutzungsdauer zu optimistisch. Mit einem Zuschlag von $\pm 3\text{ K}$ für wiederkehrende Jahresanomalien (deutschlandweit dokumentierte Abweichungen einzelner Monate von bis zu $+3$ bis 4 K im Sommer und -3 K im Winter) ergibt sich: $T_{\text{Sommer,maßgebend}} \approx +22^\circ\text{C}$, $T_{\text{Winter,maßgebend}} \approx -1^\circ\text{C}$.

Schritt 3 – Solarzuschlag (nur Sommerfall)

Für die südorientierte Fassade wird ein über Tag, Nacht und Bewölkungsverteilung gemittelter solarer Zuschlag angesetzt: $\Delta T_{\text{solar}} = (a \cdot I_{\text{avg}}) / h_e = (0,5 \times 200) / 25 \approx 4\text{ K}$. Im Winterfall entfällt der Solarzuschlag.

Ergebnis:

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = (22 + 4) - 10 = 16\text{ K} \rightarrow \text{angesetzt } 17\text{ K (leicht konservativer Rundungswert)}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = 10 - (-1) = 11\text{ K}$$

Zum Vergleich: der normative Tabellenwert für eine stationäre Betrachtung nach Tabelle 5.2 ergäbe $T_{\text{out}} = 37 + 30 = 67^\circ\text{C}$ und damit ΔT_u von rund 33 K . Die ingenieurmäßige Reduktion auf 17 K beruht ausschließlich auf der durch die Wanddicke physikalisch begründeten Mittelungsperiode und nicht auf einer pauschalen Schätzung.

Als nicht quantifizierte zusätzliche Sicherheitsreserve wirkt der materialspezifische Verdunstungskühleffekt: Die hohe Sorptionsfähigkeit der Tonminerale führt bei Sonneneinstrahlung zu kapillarem Feuchtetransport an die Oberfläche und dortigem Verdunsten. Dieser Effekt entzieht der Oberfläche Energie und mindert die tatsächliche Oberflächentemperatur gegenüber dem trockenen Sonnenlufttemperaturansatz. Er ist ohne hygrothermische Simulation nicht quantifizierbar und wird daher nicht angesetzt.

9.3.4. Wechselwirkung Stampflehmwand – Stb.-Ankerbalken/Sturzträger

Der Stb.-Ankerbalken ist in Abschnitten von maximal 7,0 m Länge mit 10 cm Stampflehmüberdeckung in den oberen Wandquerschnitt eingebunden. Aufgrund des Steifigkeitsverhältnisses von rund 1:30 zwischen Stampflehm ($E = 1000 \text{ N/mm}^2$) und Stahlbeton ($E \approx 30.000 \text{ N/mm}^2$) folgt die Verformung im Wesentlichen der freien thermischen Längenänderung des Stb.-Bauteils. Die vom Lehm auf den Ringanker übertragbare Rückstellkraft ist wegen seines geringen E-Moduls vernachlässigbar klein; die Kontaktzone zwischen beiden Materialien ist unproblematisch, da der Lehm die gleiche Dimensionsänderung erfährt bzw. Zwangsspannungen über Konsolidierung oder über die Länge verteilte feine Risse abgebaut werden.

9.3.5 Berechnung für maximale Dehnung und Stauchung der Stb.-Bauteile

Ansatz: $\alpha_{T, \text{Beton}} = 10 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, $\Delta T_{N, \text{exp}} = 17 \text{ K}$, $\Delta T_{N, \text{con}} = 11 \text{ K}$.

7 m Stb.-Ankerbalken:

$$\Delta L_{\text{exp}} = 10 \cdot 10^{-6} \times 7,0 \times 17 \approx 1,2 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{con}} = 10 \cdot 10^{-6} \times 7,0 \times 11 \approx 0,8 \text{ mm}$$

Gesamte Bewegungsamplitude: 2,0 mm

4 m Stb.-Ankerbalken:

$$\Delta L_{\text{exp}} = 10 \cdot 10^{-6} \times 4,0 \times 17 \approx 0,7 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{con}} = 10 \cdot 10^{-6} \times 4,0 \times 11 \approx 0,4 \text{ mm}$$

Gesamte Bewegungsamplitude: 1,1 mm

9.4. Fazit

Stb.-Sockel und Stb.-Kopfteil sind konstruktiv unabhängig von der Stampflehmwand gelöst und nicht Teil der Zwangsspannungsbetrachtung. Maßgebend ist die Wechselwirkung der Stampflehmwand mit dem eingebundenen Stb.-Ringanker.

Die thermische Trägheit der 40 cm dicken Wand begründet eine Reduktion des normativen ΔT_u von rund 33 K auf 17 K (Erwärmung) bzw. 11 K (Abkühlung), da die Wand nur auf über rund zwei Wochen gemittelte Temperaturzustände reagiert. Das niedrige E-Modul des Stampflehms (1000 N/mm^2) begründet niedrige globale Zwangsspannungen im Wandquerschnitt; bezogen auf die ebenso niedrige Zugfestigkeit des Materials verbleibt die Zwangsbeanspruchung auf unkritischem Niveau. Im Kompressionsfall führt ein Druck unterhalb der Kurzzeitdruckfestigkeit zur Konsolidierung des Gefüges, nicht zur Schädigung.

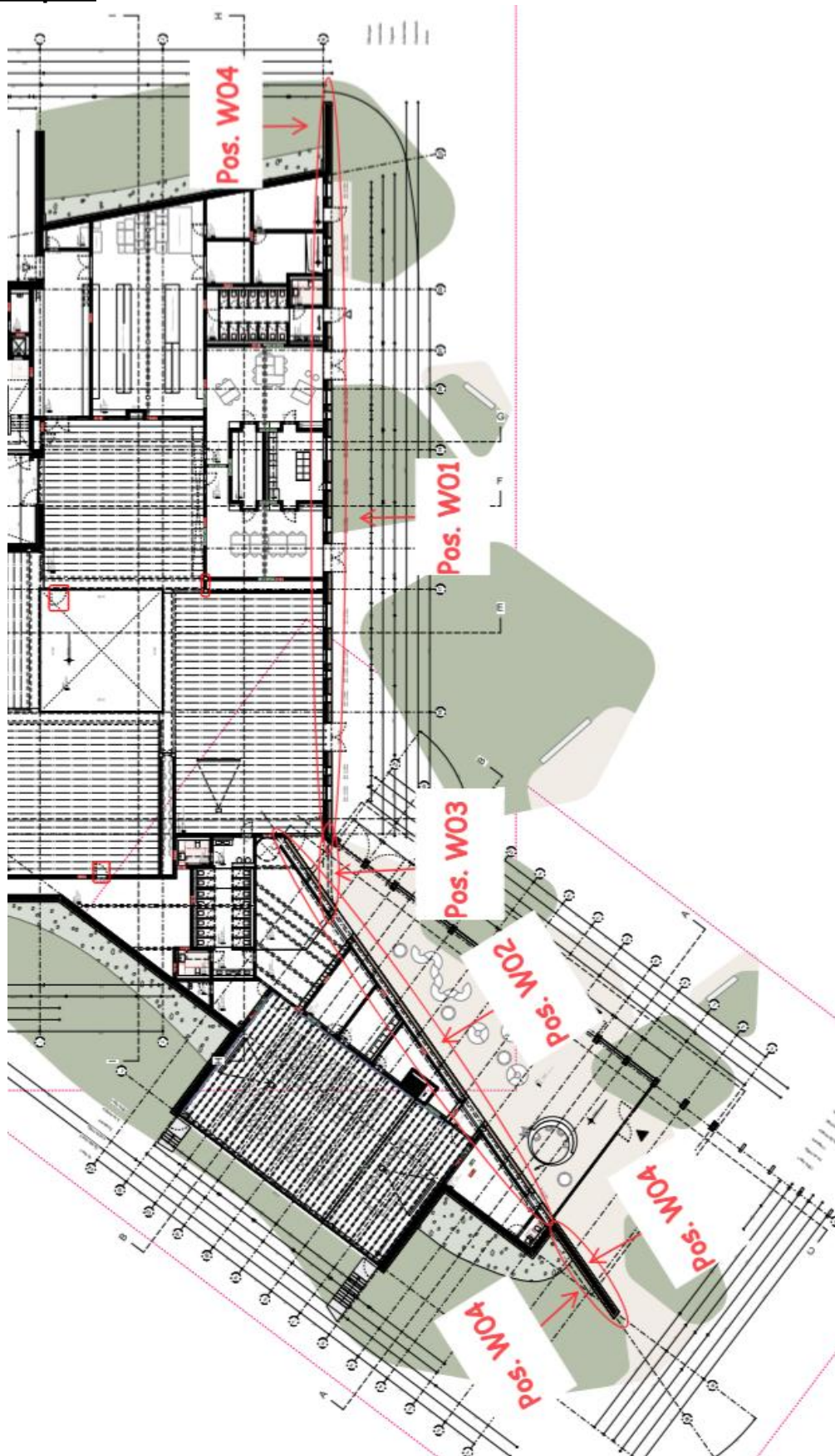
Die Steifigkeit der Stb.-Ringanker lässt einen Abbau der thermischen Längenänderung im Wesentlichen nur in den Stoßfugen zu. Diese beläuft sich für das maßgebende 7 m-Element auf 1,2 mm (Erwärmung) bzw. 0,8 mm (Abkühlung) und liegt damit rund 30-mal unterhalb des bei der Trocknung abzubauenen Schwindmaßes von mindestens 0,5 %, das der Stampflehm nachweislich über feine, verteilte Risse schadensfrei aufnimmt, ohne die durch die Kornverzahnung gebildete Materialmatrix zu destabilisieren. Im Fall von Fertigteilen ist dieser Trocknungsprozess vor dem Einbau bereits abgeschlossen.

Da die Stöße der Ringankerabschnitte mit den Fügungen der Stampflehm-Fertigteile übereinstimmen, ist eine bevorzugte Rissentwicklung an diesen Stellen zu erwarten. Der Stoß der Stb.-Ringanker ist daher mit einer Fuge von 3 cm Breite auszuführen und mit Lehmmörtel zu verfüllen. Der Stampflehm ist beim Retuschieren der Elementfugen mit demselben Material und derselben Verdichtung auf mindestens 10 cm Stärke einzubringen.

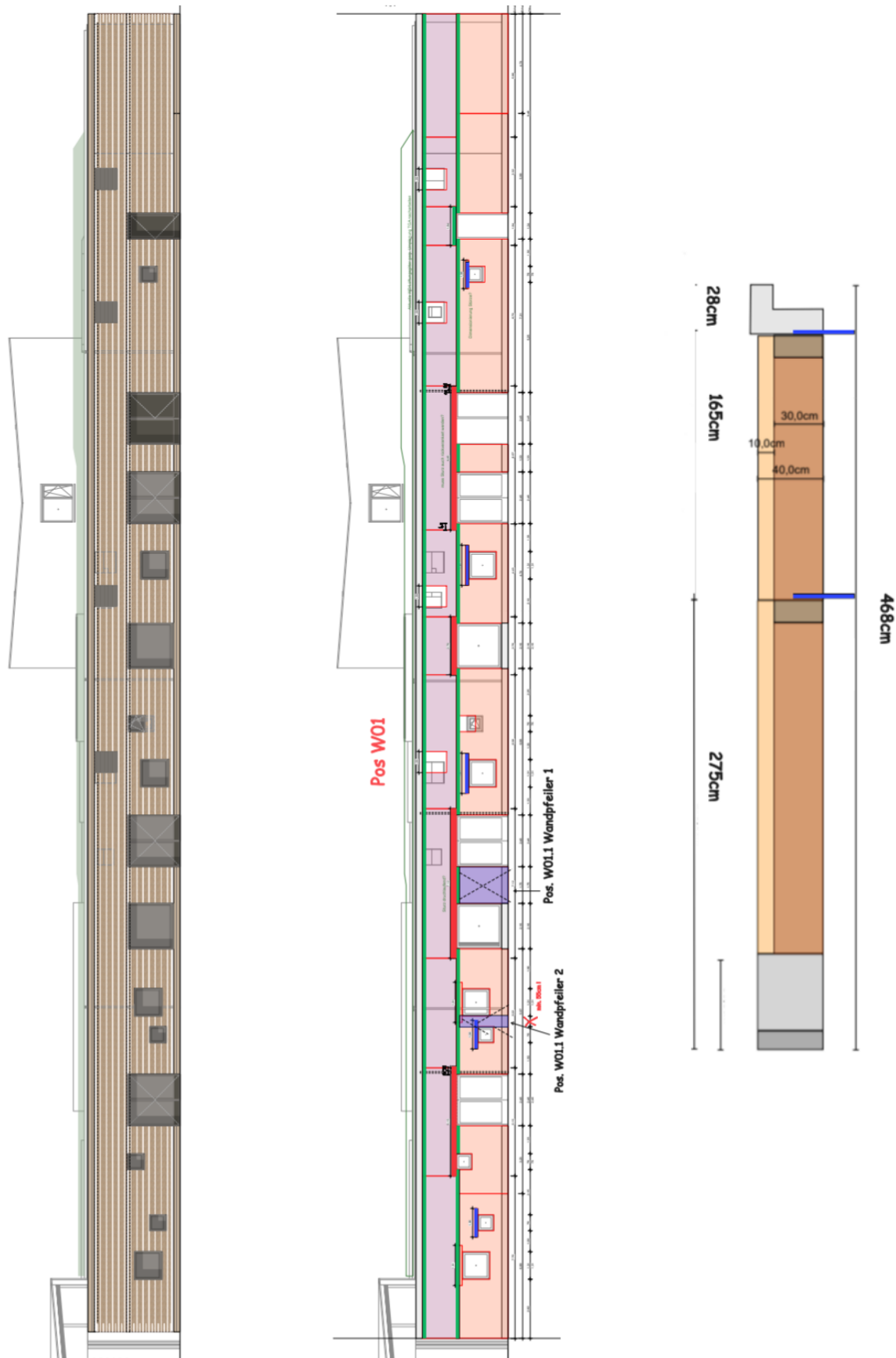
Über kleinere Abschnitte der Ankerbalken können die Verformung an den Stößen reduziert werden. Dies kann auch über Stöße innerhalb der Fertigteile erfolgen.

10. Statische Bemessung

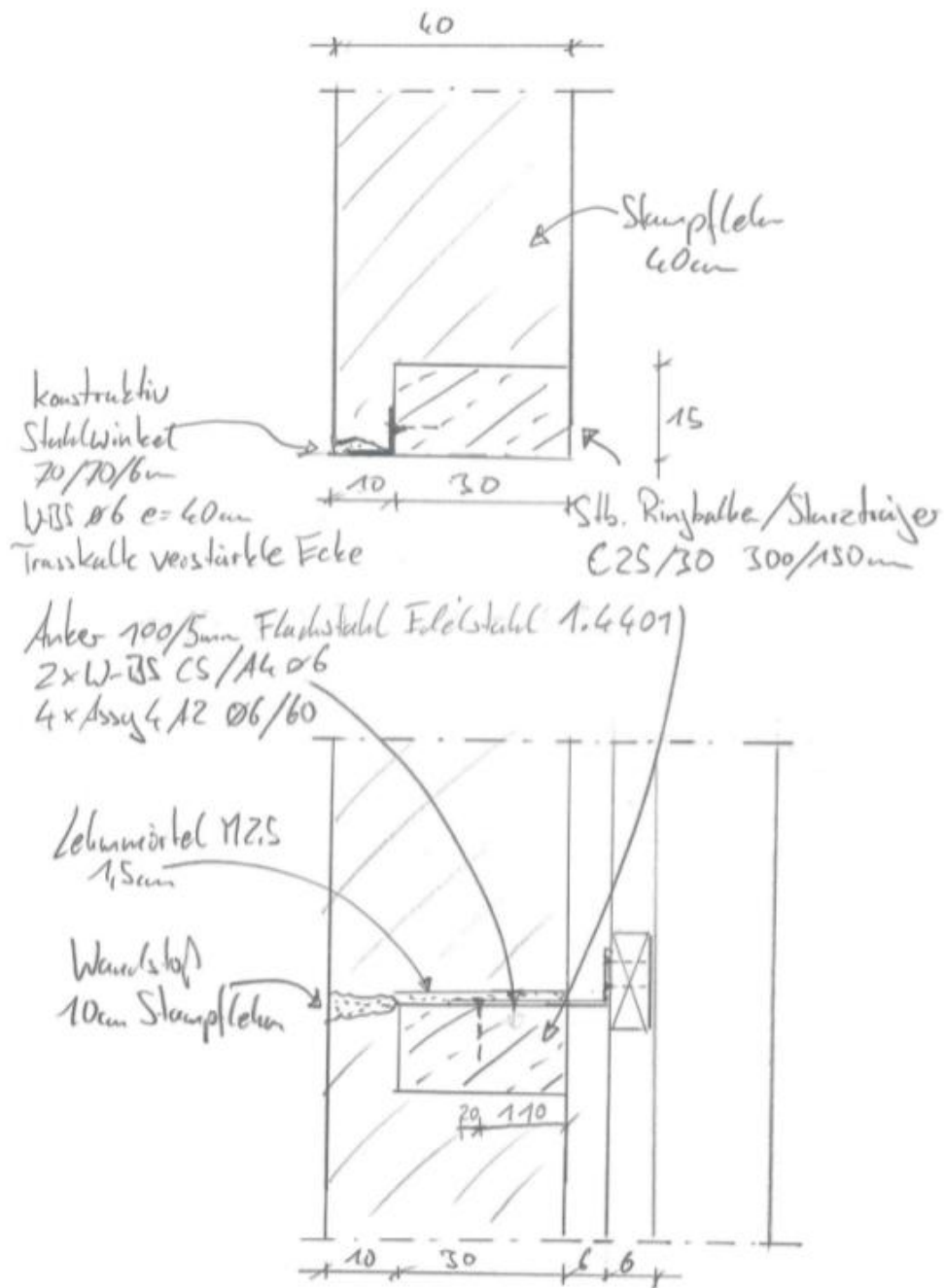
Positionsplan



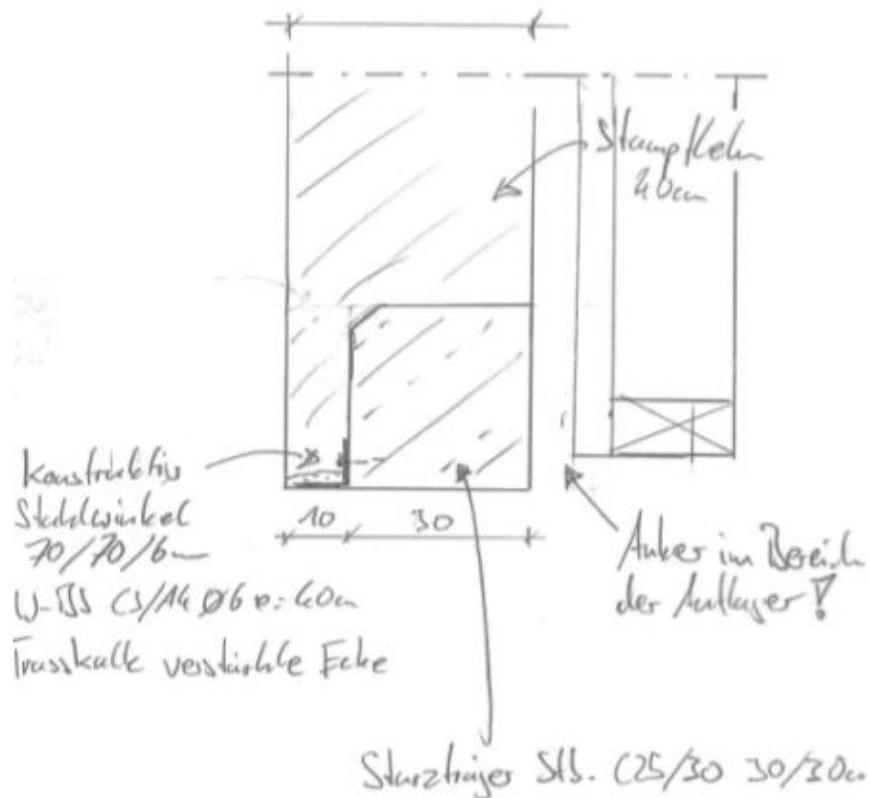
Wandabwicklung Süd Pos.W01



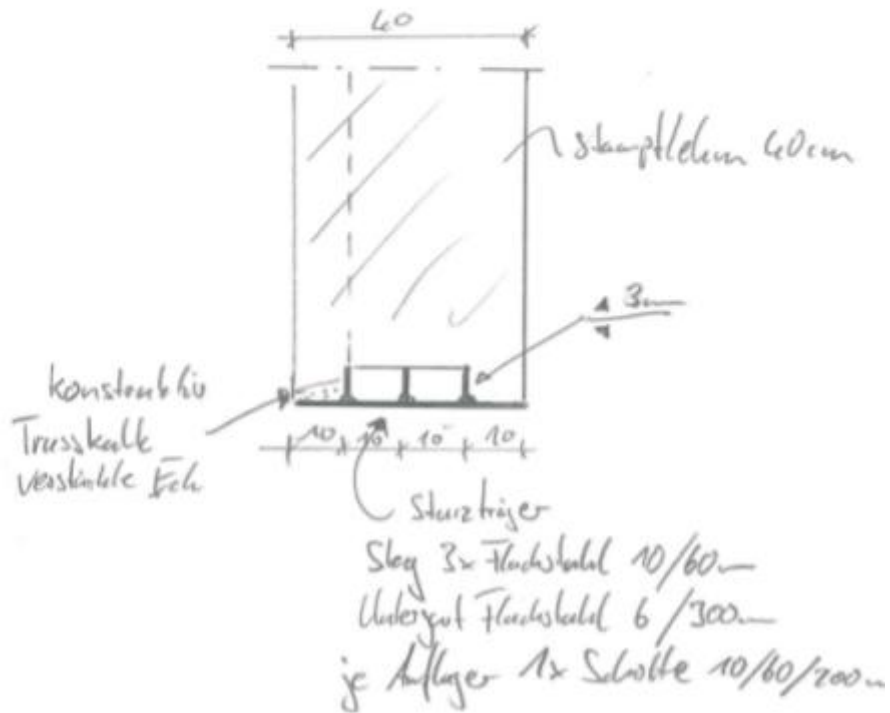
Pos. W01.2 Ankerbalken / Sturzträger



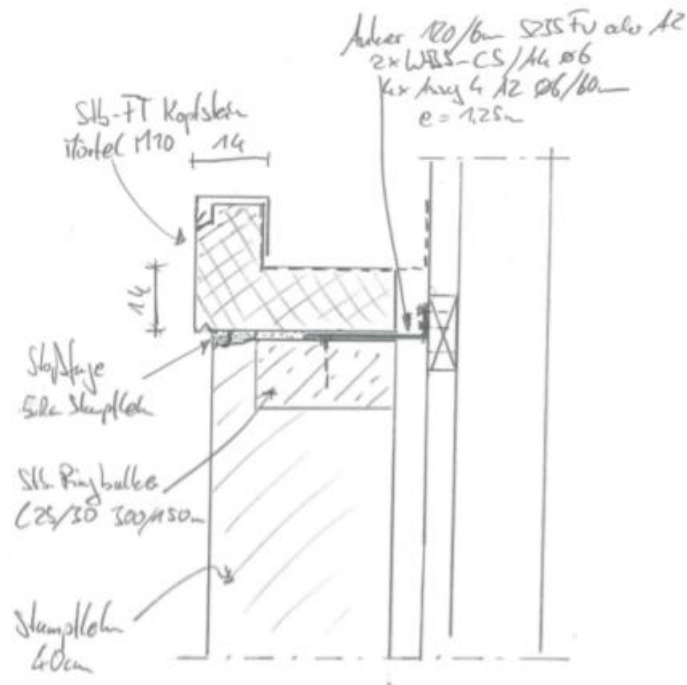
Pos. W01.3 Sturzträger



Pos. W01.4 Sturzträger

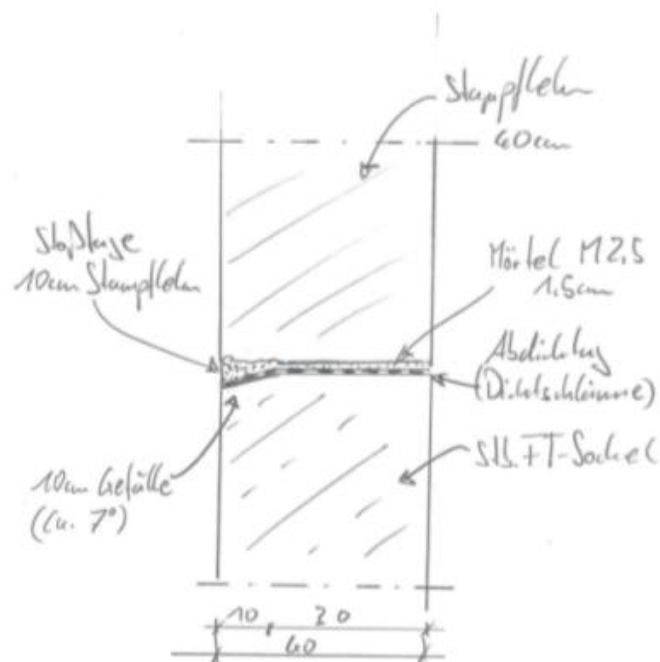


Pos W01 Wandkopf

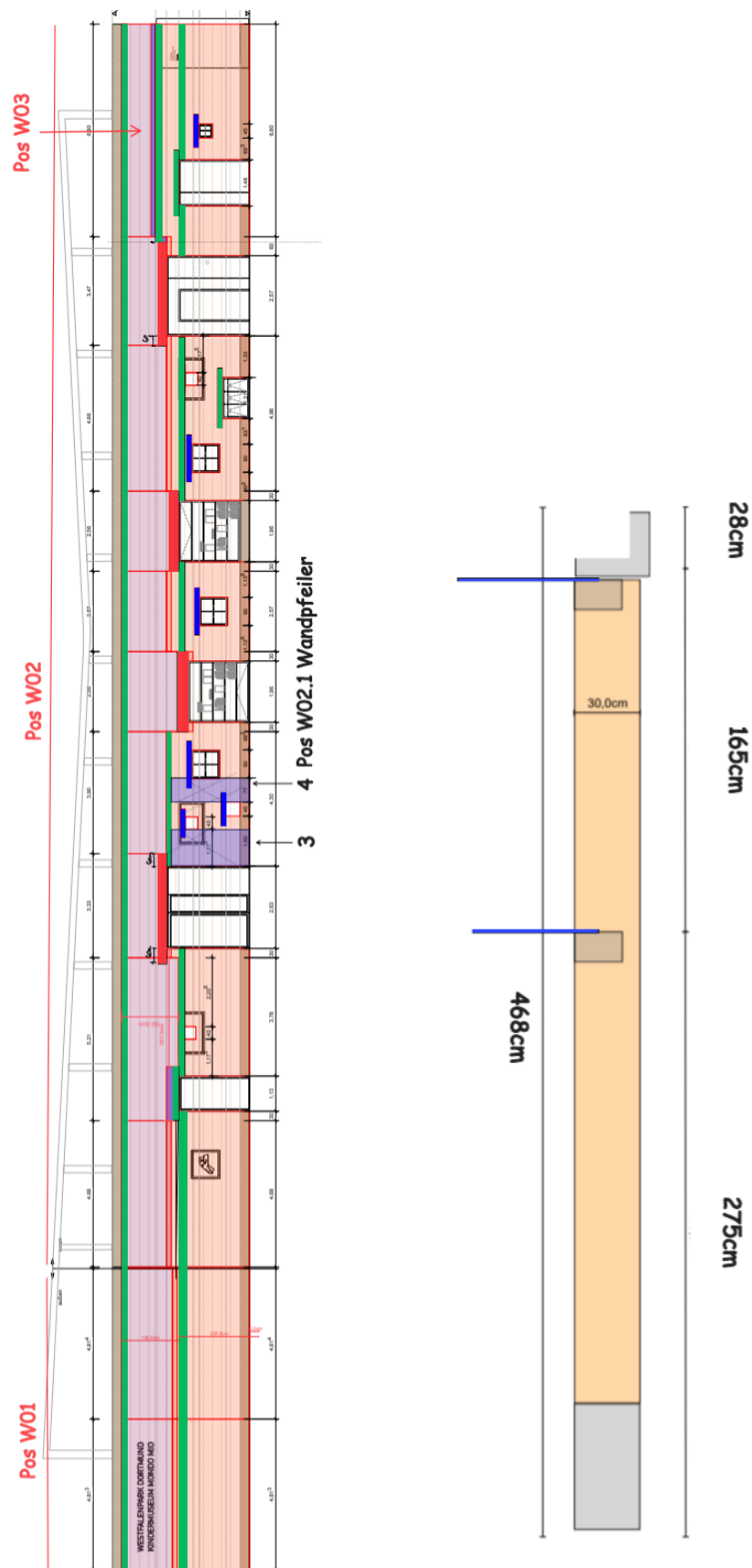


Der Stb-Kopfstein ist punktuell mechanisch an den Ringanker der Wand zu befestigen (z. B. mit Betonschrauben). Bei der konstruktiven Ausbildung der mechanischen Befestigung ist die thermische Dehnung der Kopfsteine zu berücksichtigen.

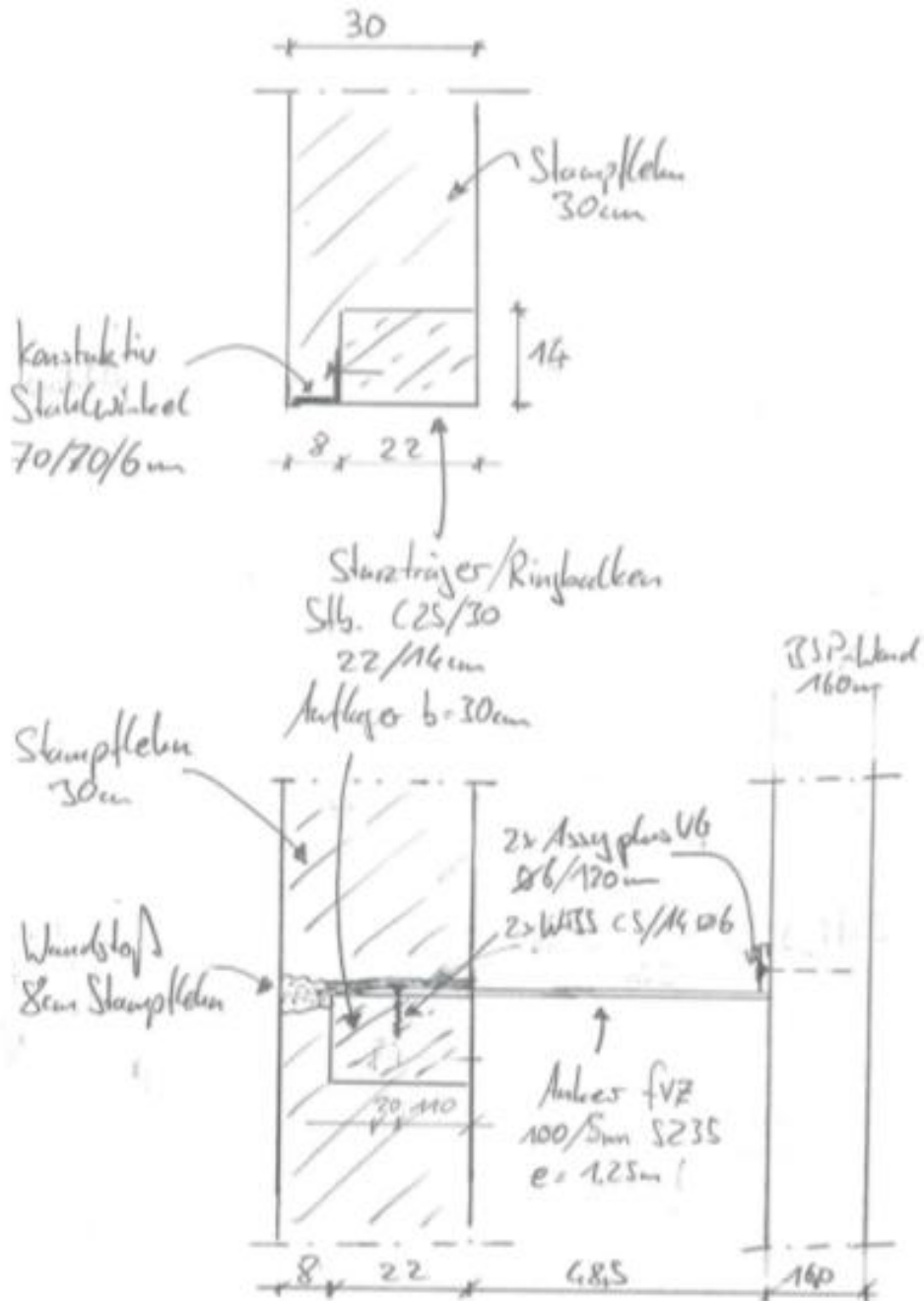
Pos W01 Sokel



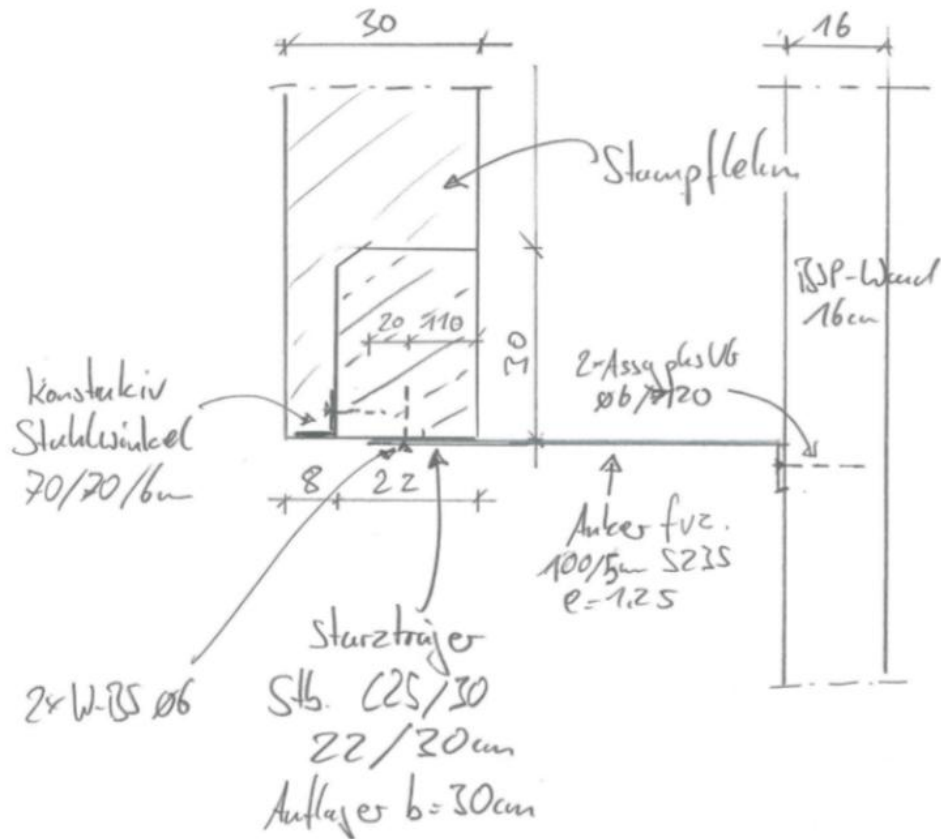
Wandabwicklung Süd-West Pos. W02



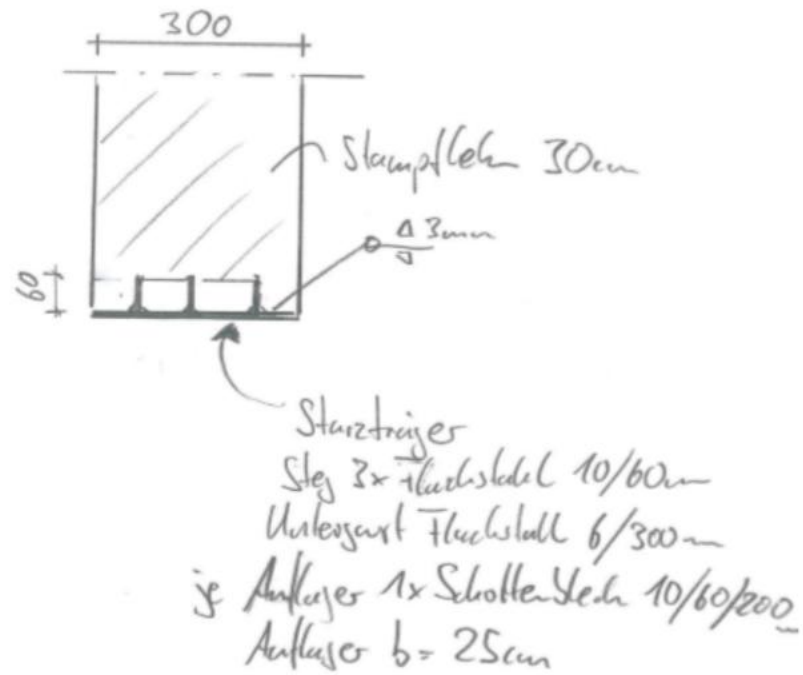
Pos. W02.2 Ankerbalken / Sturzträger



Pos. W02.2 Sturzträger

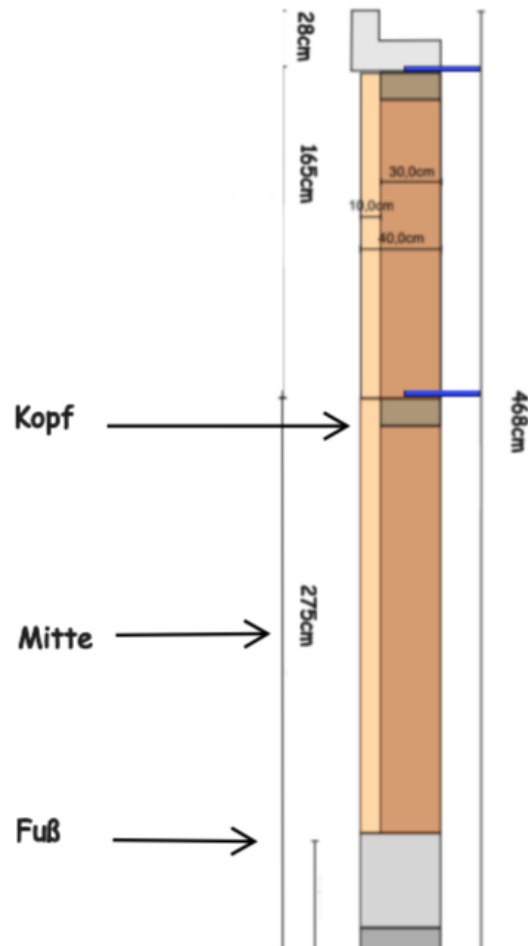


Pos W02.3 Sturzträger



Pos. W01.1 Stampflehmwand STL 3.0

Die Stampflehmwand wird an der unteren Wand am Kopf-, Mitte- und Fußpunkt nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt anhand eines Wandquerschnitts von 30 cm, da eine Erosionsschicht von 5 cm und eine Pufferschicht von 5 cm im Tragwerk nicht berücksichtigt werden.



gewählt: Stampflehm NKL 3 mittlere Druckfestigkeit 3,0 N/mm²

Ermittlung Tragfähigkeit F_{Rd}

Außenwand				
mittlere Druckfestigkeit	$f_{m,c}$		0,30	kN/cm²
Beiwert zur charakteristischen Druckfestigkeit	k_c	=	0,80	
Formbeiwert	k_F	=	0,80	
$f_{cm} = f_{cm,Würfel} \times k_F$ $f_{ck} = f_{cm} \times k_c$	$f_{c,k}$	=	0,19	kN/cm²
Dauerstandsfaktor DIN 18940	ζ	=	0,85	
Materialbeiwert DIN 18940	M	=	0,55	
Material Überwachungsklasse	k_u	=	1,00	
Materialsicherheitsbeiwert	γ_m	=	1,50	
$f_{cd} = f_{ck} \times \frac{\zeta \times M \times k_u}{\gamma_m}$	$f_{c,d}$	=	0,060	kN/cm²
Abmessungen				
Wanddicke	t	=	40,0	cm
Pufferschicht	t_p	=	5,0	cm
Erosionsschicht	t_e	=	5,0	cm
effektive Wanddicke	t_{ef}	=	30,0	cm
Wandlänge	l	=	100,00	cm
	h	=	275	cm
	h_{min}	=	360	cm
Mindestauflast				
	w_{ED}	=	1,20	kN/m ²
$N_{Ed,min} \geq \frac{w_{Ed} \cdot h^2 \cdot l_w}{7 \cdot t}$	h	=	275	cm
	$N_{ED,min}$	=	4,32	kN

Traglastfaktoren			
Wandkopf +Fuß			
keine Deckenverdrehung / Ringbalken	$\Phi_1 =$	0,9	
$\Phi_1 = \begin{cases} 1,6 - \frac{l_f}{\rho} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k \geq 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k < 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{cases}$	$M \cdot f_k =$	1,056	N/mm ²
	$F_{RD} =$	215,4	kN
Wandmitte			
$\Phi_2 = 0,9 - 0,03 \cdot \frac{h_{ef}}{t} \leq 0,8$	$\Phi_2 =$	0,625	
	$F_{RD} =$	112,2	kN
Lehmbauregeln			
effektive Bauteildicke für LBR	t =	35,00	cm
	$f_{c,LBR}$	0,04	kN/cm ²
	$F_{R,LBR}$	140	kN
Vergleich Lehmbauregeln - Bemessungskonzept [W-2024]			
Einwirkungs-Sicherheitsbeiwert	$\gamma_F =$	1,35	
	$F_{R,LBR} * \gamma_F =$	189	kN
	$\eta = F_{Rd} / F_{R,LBR} * \gamma_F =$	0,59	

Nachweis im WandquerschnittKopf:

$$\bar{F}_{Ed} = 1,93 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,4 \text{ m} = 18,5 \text{ kN/m} < F_{Rd, \text{Kopf}} = 215,4 \text{ kN/m}$$

Mitte:

$$\bar{F}_{Ed} = 3,305 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,4 \text{ m} = 31,7 \text{ kN/m} < F_{Rd, \text{Mitte}} = 112,5 \text{ kN/m}$$

Fuß:

$$\bar{F}_{Ed} = 4,13 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,4 \text{ m} = 40,0 \text{ kN/m} < F_{Rd, \text{Fuß}} = 215,4 \text{ kN/m}$$

Wandpfeiler 1

$$\bar{F}_{Ed} = \frac{40,0 \text{ kN/m} \times 1,33 \text{ m} + 2,65 \text{ m} \times 1,93 \text{ m} \times 0,4 \times 24}{1,55 \text{ m}}$$

$$= 75 \text{ kN/m} < F_{Rd, \text{Mitte}} = 112,2 \text{ kN/m} \quad \checkmark$$

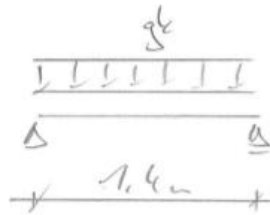
Wandpfeiler 2

$$\bar{F}_{Ed} = \frac{0,55 \text{ m} + (0,76 \text{ m} + 1,37 \text{ m}) \times 0,5 \times 40 \text{ kN/m}}{0,55 \text{ m}} = 77,0 \text{ kN/m}$$

$$A_{Pfeiler} = 55 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 1650 \text{ cm}^2 > \text{min Wandpfeiler } 1600 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

$$\bar{F}_{Ed} = 77,0 \text{ kN/m} < F_{Rd, \text{Mitte}} = 112,2 \text{ kN/m} \times 0,8 = 89,8 \text{ kN/m} \quad \checkmark$$

↑
Wandpfeiler!

Pos. W01.2 Ankerbalken / Sturzträger Stb. C25/30 30/15 cm

$$g_k = 1.93 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 24 = 18.56 \text{ kN/m}$$

gewählt: Stb.-Balken C25/30 30/15 cm

Anfluger:

$$F_{Ed} = 18.56 \text{ kN} \times 1.35 / 0.26 \text{ m} = 93.5 \text{ kN/m} < F_{Ed} = 215.4 \text{ kN/m}$$

Sturzanflugerlänge min 26 cm!

gewählt: Stb.-Ankerbalken C25/30 B500B 30/15 cm

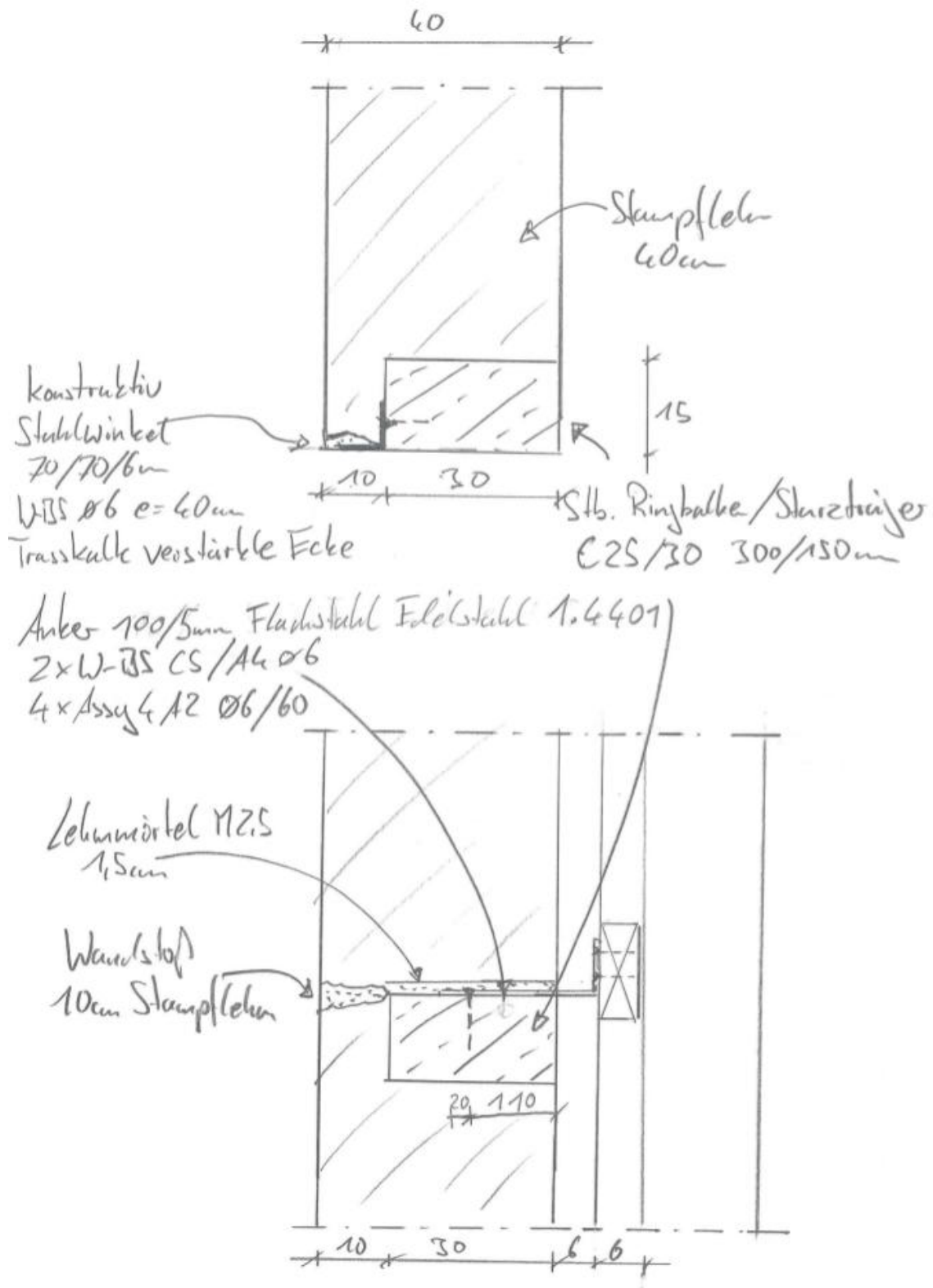
XC2 / XF1 / WF $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

Oben: 2 x $\emptyset 12$

Oben: 3 x $\emptyset 12$

Sturzträger: Bügel $\emptyset 6$ e= 10 cm

Ankerbalken: Bügel $\emptyset 6$ e= 20 cm

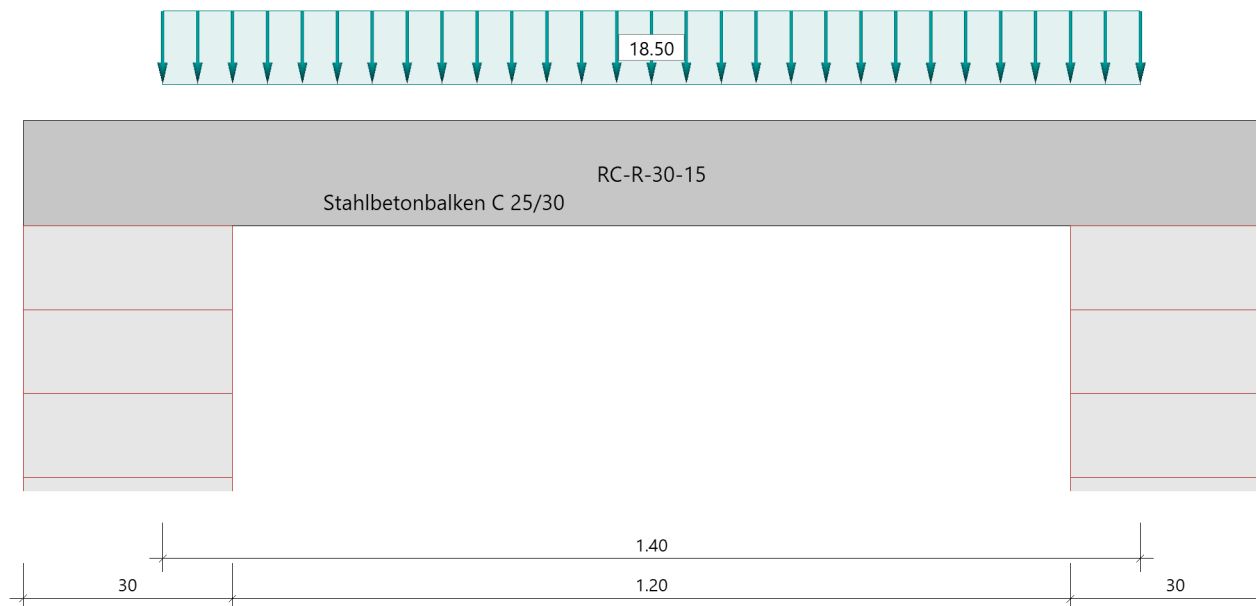


Pos. W01.2 Sturtzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

GrundparameterStahlbetonbalken $E = 24870 \text{ N/mm}^2$

DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12

System**Systembild****Material****Materialauswahl**Fertigteil C 25/30 $f_{ck} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ Betonstahl B500A $f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$ $k(f_t/f_y) = 1.05$ $E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ $\varepsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)**Geometrie****Querschnitte**

Nr	Art	b_o [cm]	h_o [cm]	b [cm]	h [cm]	b_u [cm]	h_u [cm]
1	Rechteck			30.0	15.0		

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	uy [kN/m]	uz [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	1.40	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	GL		1.40		18.50		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{Fi} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
Basis	:	EN 1992-1-1:2004/A1:2014
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Zugversteifung GZG	:	wird angesetzt
Nachweis Spannungsbegrenzung	:	wird geführt
Überprüfung des lin. Kriechansatzes	:	wird geführt

Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	XF1/WF
Bewehrungskorrosion	XC2
Mindestbetonklasse	C 25/30
Bügel	$d_{s,b} = 6 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 12 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta c_{dev} = 15 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 35 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 20 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 41 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 35 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.30 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	

Kriechzahl und Schwindmaß

wirksame Bauteildicke	$h_0 = 15.0 \text{ cm}$	
Luftfeuchte	$LU = 50 \%$	Zement Typ N,R
Normalbeton	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	$t = \text{unendlich}$
Kriechzahl	$\varphi(t_0, t) = 2.95$	
Schwindmaß	$\varepsilon_{cs}(t) = -0.55 \%$	

Betondeckung

Betondeckung	unten = 3.0 cm	oben = 3.0 cm
	links = 3.0 cm	rechts = 3.0 cm
Bewehrungslagen	unten = 4.2 cm	oben = 4.2 cm
Abminderung der Stützmomente $\leq 15 \%$		

Bemessungseinstellungen

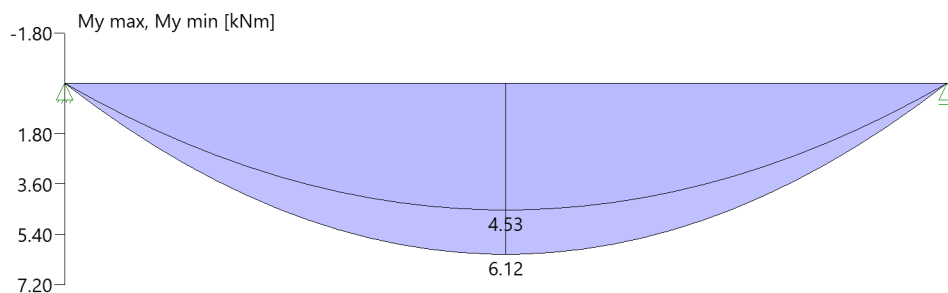
- Die Feldbewehrung ist gestaffelt.
- Die Duktilitätsbewehrung nach 9.2.1.1 ist in erf As enthalten.
- Grenze $k_x < .45$ wird eingehalten.
- Mitwirkende Plattenbreite wird bei der Bemessung berücksichtigt.
- Verankerung am Endauflager ist nur 50% von VEd an VK Endauflager.
- Verankerung am Endauflager von VEd an VK Endauflager mal $\cot(\Theta)/2$.

Auflagerbedingungen

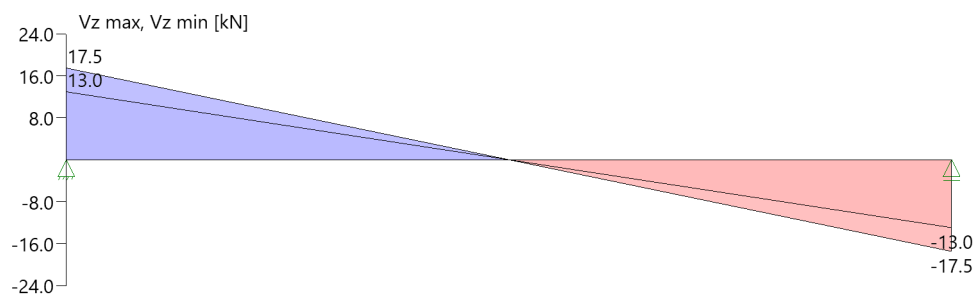
Alle Auflager gleich : Mauerwerk $b = 30.0 \text{ cm}$

Tragsicherheit - Lastkombination ständig/vorübergehend**Schnittgrößen**

Umhüllende der Momente



Umhüllende der Querkräfte

**Schnittgrößen**

Feld	X_{rel} [m]	x [m]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{z,Ed}$ [kN]	Lk
Feld 1	0.00	0.00	0.00	17.5	1
	0.00	0.00	0.00	13.0	2
	0.70	0.70	6.12	0.0	1
	1.40	1.40	0.00	-13.0	2
	1.40	1.40	0.00	-17.5	1

Mindestbewehrung EN2 9.2.1.1 (9.1)

Querschnitt	min M_u [kNm]	erf A_{su} [cm ²]	min M_o [kNm]	erf A_{so} [cm ²]
30.0/15.0	2.89	0.6	-2.89	0.6
Plattenbreite wurde für die Berechnung von W_y auf $3 \cdot b_0$ begrenzt.				

Feldbewehrung

Feld	x_{rel} [m]	x [m]	M_{yd} [kNm]	$min M_{yd}$ [kNm]	d [cm]	kx	A_{su} [cm ²]	A_{so} [cm ²]		L_k
Feld 1	0.70	0.70	6.12	6.12	10.8	0.16	1.4	0.0		1
	1.24	1.24	2.54	2.54	10.8	0.08	0.6	0.0	1	1

Am ersten Auflager sind mindestens 0.8 cm^2 zu verankern.Am letzten Auflager sind mindestens 0.8 cm^2 zu verankern.Querkraft VK-Lager ist mit $F = V_{Ed} \cdot \cot(\Theta) / 2$ berücksichtigt.

1 : Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1 9.2.1.1 (1)

Querkraftbewehrung

Stütze [Nr]		x_{rel} [m]	x [m]	kz	V_{Ed} [kN]	θ [°]	$VR_{d,c}$ [kN]	$VR_{d,max}$ [kN]	a_{max} [cm]	a_{sw} [cm ² /m]	L_k
1	rechts	0.10	0.10	0.39	15.0	18.9	19.2	41.0	$VR_{d,max} > V_{Ed}$		
	rechts	0.21	0.21	0.39	12.3	18.4	19.2	40.2	10.5	2.46^1	1
	*	0.32	0.32	0.39	9.6	18.4	19.2	40.2	10.5	2.46^1	1
2	links	0.10	1.30	0.39	-15.0	18.9	19.2	41.0	$VR_{d,max} > V_{Ed}$		
	links	0.21	1.19	0.39	-12.3	18.4	19.2	40.2	10.5	2.46^1	1
	*	0.32	1.08	0.39	-9.6	18.4	19.2	40.2	10.5	2.46^1	1

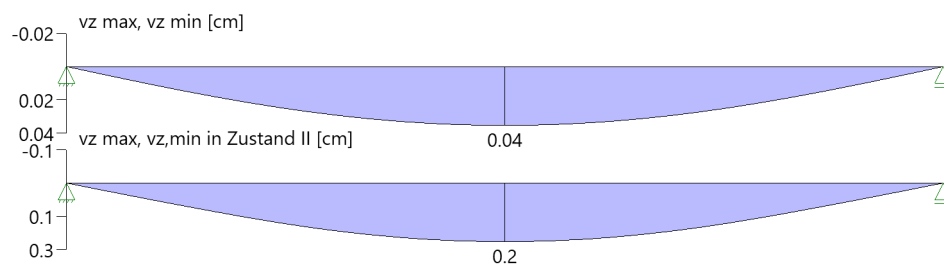
* Flächengleicher Einschnitt der Schublinie

Der max. Bügelabstand wird mit $\theta \geq 40^\circ$ ermittelt (Heft 525 DAfStb).

1 : Mindestbügelbewehrung

Gebrauchstauglichkeit**Grafik Verformungen**

Umhüllende der Verformungen - Gebrauchstauglichkeit

**Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch****Durchbiegungen Zustand I**

Baugruppe	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	L_{fk}
Feld 1	0.70	0.0	0.04	3

Durchbiegungen Zustand IIBerechnung mit effektiven Steifigkeiten und effektiver Kriechzahl: $\varphi_{eff} = 2.95$ $\epsilon_{cs} = -0.55 \text{ ‰}$

Kombination charakteristisch

Mit Nachweis der relativen Grenzverformung ($l_{eff} / 500$)

Feld	x [m]	$f_{Ellz,g}$ [cm]	$f_{Ellz,g} / l_{eff}$	$f_{Ellz,\varphi\epsilon}$ [cm]	$f_{Ellz,\varphi\epsilon} / l_{eff}$	$f_{Ell,\varphi\epsilon}$ [cm]	η
Feld 1	0.70	0.1	1/970	0.2	1/568	0.2	0.88

x : Stelle x
 $f_{Ellz,g}$: Vertikale Durchbiegung im Zustand II infolge ständiger Lasten
 $f_{Ellz,\varphi\epsilon}$: Maßgebende vertikale Durchbiegung im Zustand II mit Kriechen und Schwinden
 $f_{Ell,\varphi\epsilon}$: maßgebende Durchbiegung

Spannungsbegrenzung**Nachweis Gebrauchstauglichkeit: quasi ständ. Kombination**

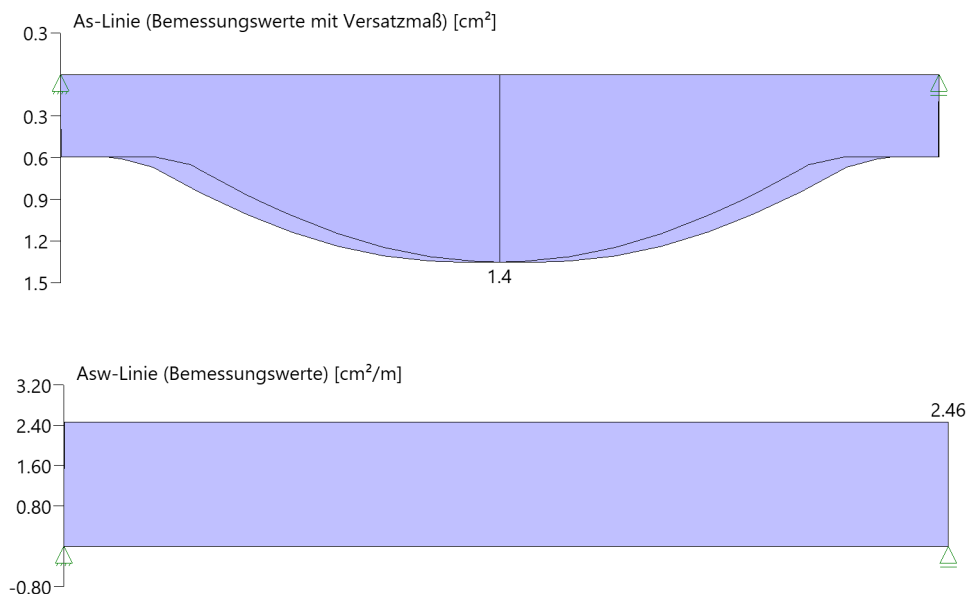
Nachweis der Rissbreite: XC2/XF1/WF-- > zul wk = 0.30 mm
 nach EN2 7.2(3) $s_C = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$

Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	$\sigma_S(t=\infty)$ [N/mm ²]	$\sigma_C(t=0)$ [N/mm ²]	vorh ds [mm]	zul ds [mm]	Lfk
Feld 1	0.00	0.01	3.4	2.3	3.35	-0.21	12	100	4
	0.52	4.22	3.4	2.3	142.43	-8.96	12	30	4
	0.70	4.53	3.4	2.3	153.07	-9.63	12	27	4
	0.88	4.22	3.4	2.3	142.43	-8.96	12	30	4
	1.40	0.01	3.4	2.3	3.35	-0.21	12	100	4

Nachweis Gebrauchstauglichkeit: seltene Kombination

nach EN2 7.2(2) $s_C = 0.6 \cdot f_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$
 nach EN2 7.2(5) $s_S = 0.8 \cdot f_{yk} = 400.00 \text{ N/mm}^2$

Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	$\sigma_S(t=0)$ [N/mm ²]	$\sigma_C(t=0)$ [N/mm ²]	$\sigma_S(t=\infty)$ [N/mm ²]	$\sigma_C(t=\infty)$ [N/mm ²]	Lfk
Feld 1	0.00	0.01	3.4	2.3	2.96	-0.21	3.35	-0.13	3
	0.52	4.22	3.4	2.3	125.75	-8.96	142.43	-5.32	3
	0.70	4.53	3.4	2.3	135.10	-9.63	153.07	-5.72	3
	0.88	4.22	3.4	2.3	125.75	-8.96	142.43	-5.32	3
	1.40	0.01	3.4	2.3	2.96	-0.21	3.35	-0.13	3

As-Deckungslinien**Biegebewehrung unten**

von [m]	bis [m]	Länge [m]	As,erf.,unten [cm ²]	$\Sigma A_{s,vorh.,unten}$ [cm ²]	Summe [cm ²]	As,vorh.,unten [Anz. Ø mm]
0,00	1,40	1,40	1,4	3,4	3,4	3Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Biegebewehrung oben

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.,oben}$ [cm ²]	$\Sigma A_{s,vorh.,oben}$ [cm ²]	Summe [cm ²]	$A_{s,vorh.,oben}$ [Anz. Ø mm]
0,00	0,10	0,10	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹
0,10	1,40	1,30	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Schubbewehrung

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.}$ [cm ² /m]	$A_{s,vorh.}$ [cm ² /m]	$A_{s,vorh.}$ [Anz. Ø mm / cm]
-0,15	1,55	1,70	2,5	5,7	Ø6/10

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

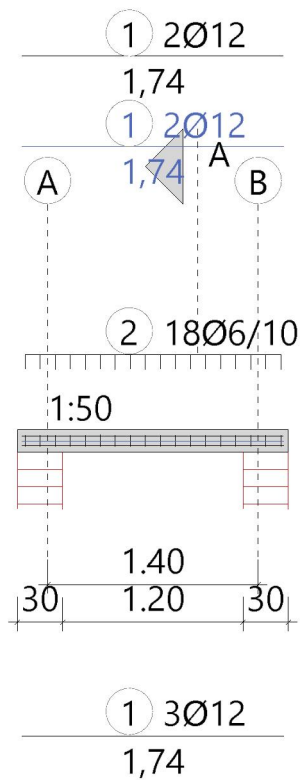
Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN]	$R_{z,max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNm]	$M_{y,max}$ [kNm]
1	0.00	ständig	13.0	13.0		
2	1.40	ständig	13.0	13.0		

Maßgebliche Kombinationen

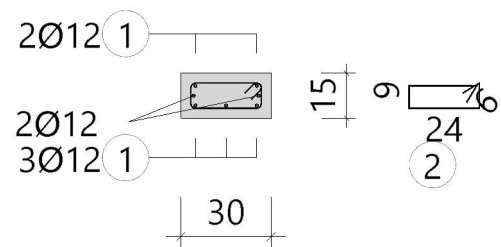
In der folgende Tabelle sind die Lasten mit der internen Nummer angegeben. Die anschließende Tabelle der maßgeblichen Kombinationen referenziert auf diese Nummern.

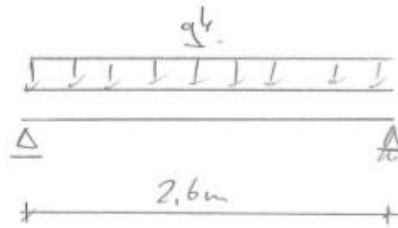
generierte Last	Feld	Ewg	orig. Last	W1	W2	A [m]	L [m]
L 1	*	ständig	1	18.50	18.50	0.00	1.40
gen. Last		Lk 1	Lk 2	Lk 3	Lk 4		
L 1		1.35	1.00	1.00	1.00		

Bewehrung



Schnitt A - A



Pos. W01.3 Sturzträger Stb. C25/30 30/30 cm

$$q_k = 1,93\text{m} \times 0,4\text{m} \times 24 = 18,5\text{ kN/m}$$

gewählt: Stb.-Balken 30/30cm

Auflager

$$F_{Ed} = 24,1\text{ kN} \times 1,35 / 0,3\text{m} = 108,45\text{ kN/m} < F_{Rd} = 215,4\text{ kN/m}$$

Sturzaufzuglänge = 30cm

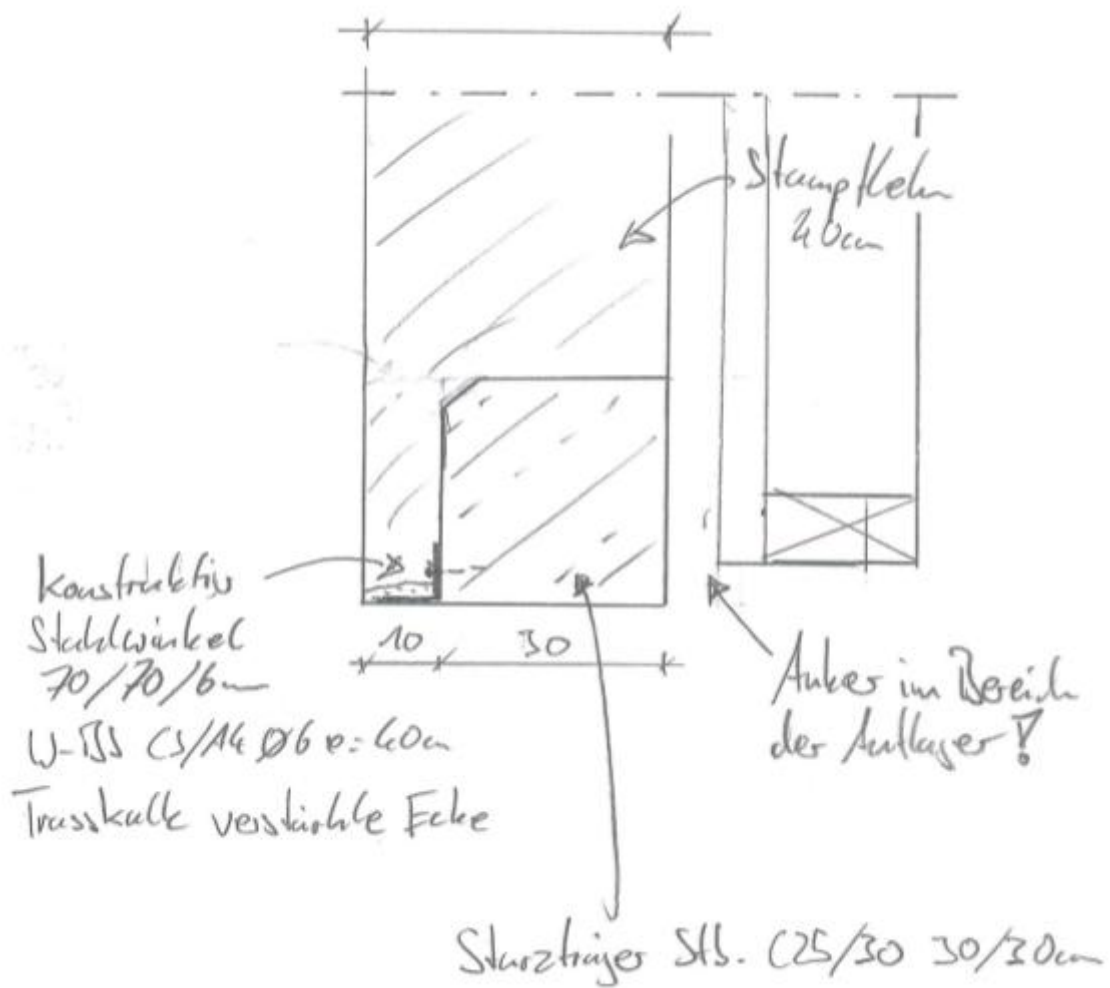
gewählt: Stb.-Ankerbalken C25/30 B500B 30/30cm

XC2 / XF1 / WF $c_{nom} = 30\text{mm}$

Oben: 2 x $\emptyset 12$

Oben: 3 x $\emptyset 12$

Bügel $\emptyset 6$ e=20 cm

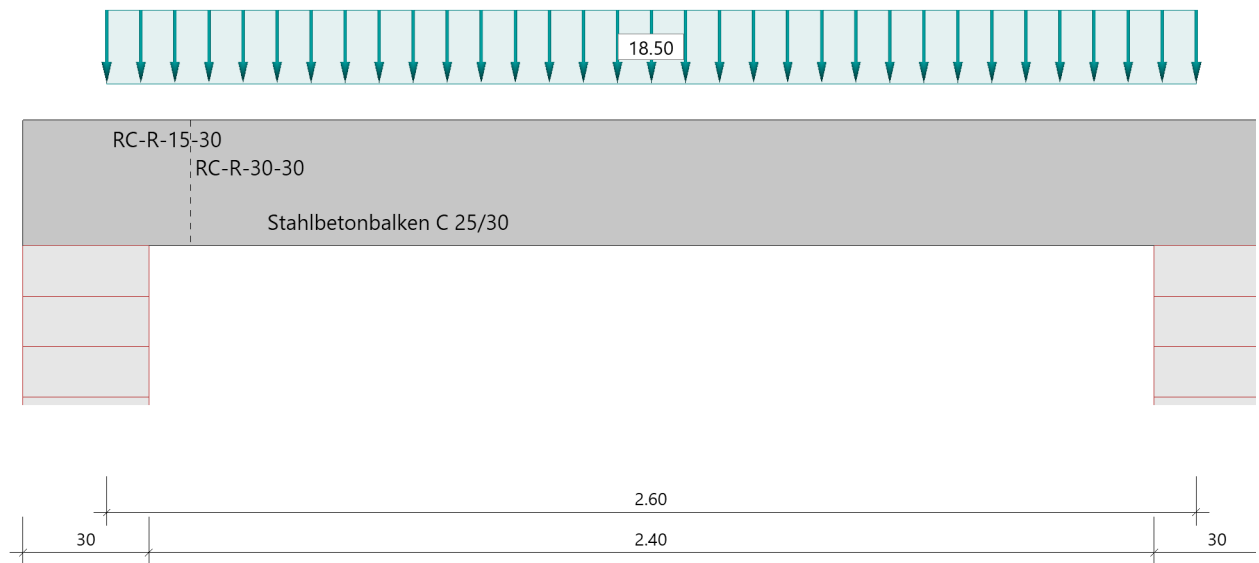


Pos. W01.3 Sturtzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

GrundparameterStahlbetonbalken $E = 31000 \text{ N/mm}^2$

DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12

System**Systembild****Material****Materialauswahl**Fertigteil C 25/30 $f_{ck} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ Betonstahl B500A $f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$ $k(f_t/f_y) = 1.05$ $E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)**Geometrie****Querschnitte**

Nr	Art	b_o [cm]	h_o [cm]	b [cm]	h [cm]	b_u [cm]	h_u [cm]
1	Rechteck			30.0	30.0		
2	Rechteck			15.0	30.0		

Felder

Feld	Länge [m]	Abschnitte		Querschnitt	
		von [m]	bis [m]	Anfang	Ende
1	2.60	0.00	0.20	RC-R-15-30	konst.
		0.20	2.60	RC-R-30-30	konst.

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	uy [kN/m]	uz [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	2.60	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	GL		2.60		18.50		Nein	ständig		

Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast
 Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL)
 A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger
 EG : Lasteinwirkung
 Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe
 Alt : Alternativgruppe

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35

Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
Basis	:	EN 1992-1-1:2004/A1:2014
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Zugversteifung GZG	:	wird angesetzt
Nachweis Spannungsbegrenzung	:	wird geführt
Überprüfung des lin. Kriechansatzes	:	wird geführt

Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	XF1/WF
Bewehrungskorrosion	XC2
Mindestbetonklasse	C 25/30
Bügel	$d_{s,b} = 6 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 12 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 15 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 35 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 20 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 41 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 35 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.30 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

Kriechzahl und Schwindmaß

wirksame Bauteildicke	$h_0 = 15.0 \text{ cm}$	
Luftfeuchte	$LU = 50 \%$	Zement Typ N,R
Normalbeton	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	$t = \text{unendlich}$
Kriechzahl	$\varphi(t_0, t) = 2.95$	
Schwindmaß	$\varepsilon_{cs}(t) = -0.55 \%$	

Betondeckung

Betondeckung unten = 3.0 cm oben = 3.0 cm

links = 3.0 cm rechts = 3.0 cm

Bewehrungslagen unten = 4.2 cm oben = 4.2 cm

Abminderung der Stützmomente $\leq 15 \%$

Bemessungseinstellungen

- Die Feldbewehrung ist gestaffelt.
- Die Duktilitätsbewehrung nach 9.2.1.1 ist in erf As enthalten.
- Grenze $k_x < .45$ wird eingehalten.
- Mitwirkende Plattenbreite wird bei der Bemessung berücksichtigt.
- Verankerung am Endauflager ist nur 50% von VEd an VK Endauflager.
- Verankerung am Endauflager von VEd an VK Endauflager mal $\cot(\Theta)/2$.

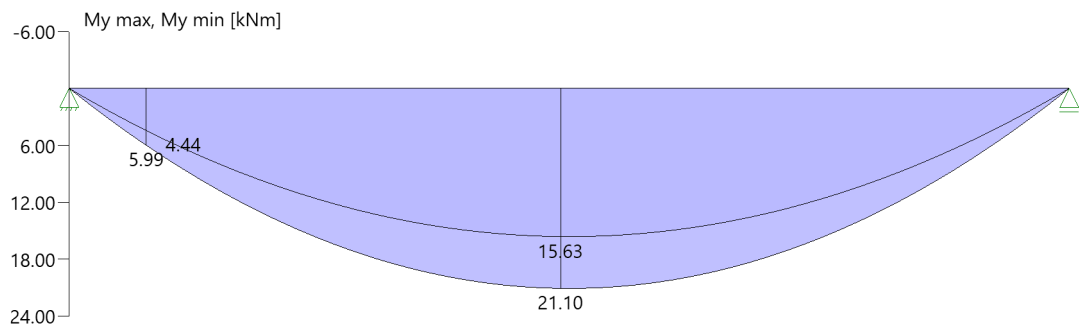
Auflagerbedingungen

Alle Auflager gleich : Mauerwerk $b = 30.0 \text{ cm}$

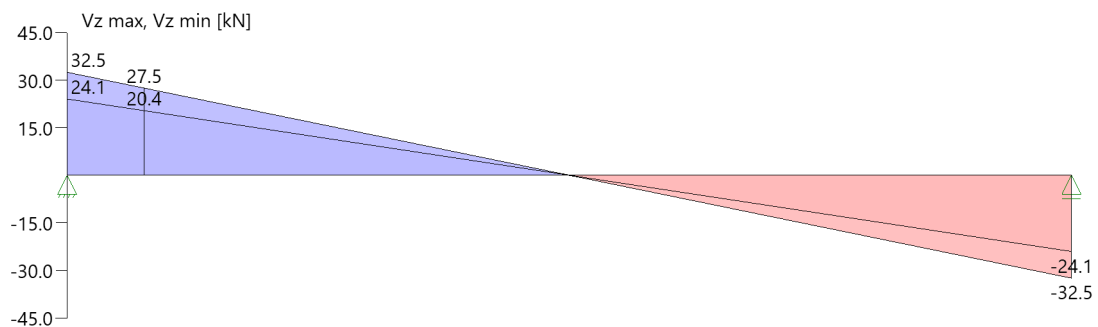
Tragsicherheit - Lastkombination ständig/vorübergehend

Schnittgrößen

Umhüllende der Momente



Umhüllende der Querkräfte



Schnittgrößen

Feld	x_{rel} [m]	x [m]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{z,Ed}$ [kN]	Lk
Feld 1	0.00	0.00	0.00	32.5	1
	0.00	0.00	0.00	24.1	2
	0.20	0.20	5.99	27.5	1
	0.20	0.20	4.44	20.4	2
	1.10	1.30	21.10	0.0	1
	2.40	2.60	0.00	-32.5	1
	2.40	2.60	0.00	-24.1	2

Mindestbewehrung EN2 9.2.1.1 (9.1)

Querschnitt	min Mu [kNm]	erf Asu [cm ²]	min Mo [kNm]	erf Aso [cm ²]
15.0/30.0	5.77	0.5	-5.77	0.5
30.0/30.0	11.54	1.0	-11.54	1.0

Plattenbreite wurde für die Berechnung von Wy auf 3 * b0 begrenzt.

Feldbewehrung

Feld	Xrel [m]	x [m]	Myd [kNm]	min Myd [kNm]	d [cm]	kx	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]		Lk
Feld 1	0.20	0.20	5.97	5.97	25.8	0.07	0.5	0.0		1
	0.20	0.20	4.46	4.46	25.8	0.04	1.0	0.0	1	2
	1.30	1.30	21.10	21.10	25.8	0.10	1.9	0.0		1
	2.38	2.38	6.67	6.67	25.8	0.05	1.0	0.0	1	1

Am ersten Auflager sind mindestens 1.0 cm² zu verankern.

Am letzten Auflager sind mindestens 1.0 cm² zu verankern.

Querkraft VK-Lager ist mit $F = V_{Ed} * \cot(\Theta) / 2$ berücksichtigt.

1 : Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1 9.2.1.1 (1)

Querkraftbewehrung

Stütze [Nr]		Xrel [m]	x [m]	kz	VEd [kN]	θ [°]	VRd,c [kN]	VRd,max [kN]	a max [cm]	asw [cm ² /m]	Lk
1	rechts	0.10	0.10	0.74	30.0	18.4	20.4	91.8	VRd,max > VEd		
	rechts	0.36	0.36	0.74	23.5	18.4	34.9	183.6	21.0	2.46 ¹	1
	*	0.62	0.62	0.74	17.1	18.4	34.9	183.6	21.0	2.46 ¹	1
2	links	0.10	2.50	0.74	-30.0	18.4	34.9	183.6	VRd,max > VEd		
	links	0.36	2.24	0.74	-23.5	18.4	34.9	183.6	21.0	2.46 ¹	1
	*	0.62	1.98	0.74	-17.1	18.4	34.9	183.6	21.0	2.46 ¹	1

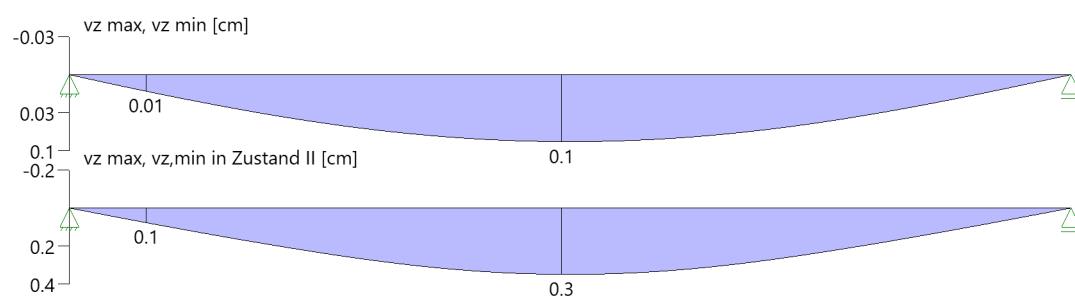
* Flächengleicher Einschnitt der Schublinie

Der max. Bügelabstand wird mit $\theta \geq 40^\circ$ ermittelt (Heft 525 DAfStb).

1 : Mindestbügelbewehrung

Gebrauchstauglichkeit**Grafik Verformungen**

Umhüllende der Verformungen - Gebrauchstauglichkeit

**Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch****Durchbiegungen Zustand I**

Baugruppe	x [m]	f _{y,Ed} [cm]	f _{z,Ed} [cm]	Lfk
Feld 1	1.30	0.0	0.1	3

Durchbiegungen Zustand II

Berechnung mit effektiven Steifigkeiten und effektiver Kriechzahl: $\phi_{eff} = 2.95$ $\epsilon_{cs} = -0.55 \text{ ‰}$

Kombination charakteristisch

Mit Nachweis der relativen Grenzverformung ($l_{eff} / 500$)

Feld	x [m]	fEllz,g [cm]	fEllz,g / l _{eff}	fEllz,φ _ε [cm]	fEllz,φ _ε / l _{eff}	fEll,φ _ε [cm]	η
Feld 1	1.30	0.2	1/1358	0.3	1/829	0.3	0.60

x : Stelle x
 fEllz,g : Vertikale Durchbiegung im Zustand II infolge ständiger Lasten
 fEllz,φ_ε : Maßgebende vertikale Durchbiegung im Zustand II mit Kriechen und Schwinden
 fEll,φ_ε : maßgebende Durchbiegung

Spannungsbegrenzung

Nachweis Gebrauchstauglichkeit: quasi ständ. Kombination

Nachweis der Rissbreite: XC2/XF1/WF-- > zul wk = 0.30 mm
 nach EN2 7.2(3) sC = 0.45 * f_{ck} = 11.25 N/mm²

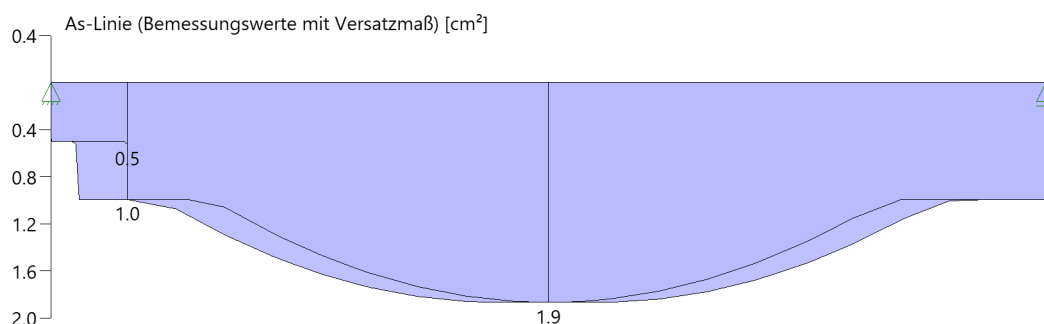
Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	σ _S (t=∞) [N/mm ²]	σ _C (t=0) [N/mm ²]	vorh ds [mm]	zul ds [mm]	Lfk
Feld 1	0.00	0.02	3.4	2.3	1.30	-0.07	12	100	4
	0.04	1.00	3.4	2.3	13.34	-0.73	12	100	4
	0.20	4.44	3.4	2.3	59.51	-3.26	12	100	4
	1.08	15.20	3.4	2.3	198.23	-7.61	12	11	4
	1.30	15.63	3.4	2.3	203.84	-7.83	12	11	4
	1.46	15.39	3.4	2.3	200.63	-7.70	12	11	4
	2.60	0.02	3.4	2.3	1.28	-0.03	12	100	4

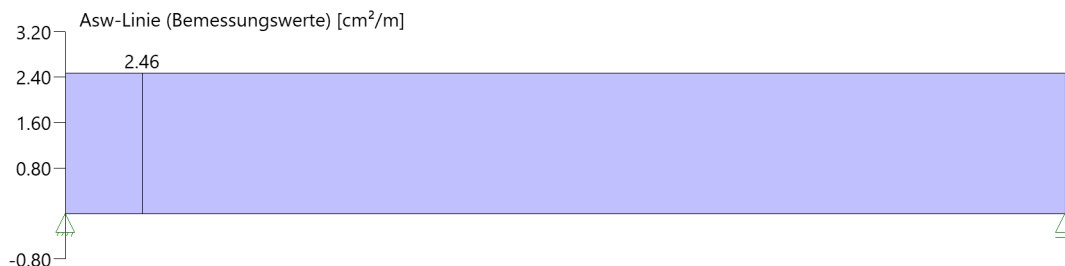
Nachweis Gebrauchstauglichkeit: seltene Kombination

nach EN2 7.2(2) sC = 0.6 * f_{ck} = 15.00 N/mm²
 nach EN2 7.2(5) sS = 0.8 * f_{yk} = 400.00 N/mm²

Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	σ _S (t=0) [N/mm ²]	σ _C (t=0) [N/mm ²]	σ _S (t=∞) [N/mm ²]	σ _C (t=∞) [N/mm ²]	Lfk
Feld 1	0.00	0.02	3.4	2.3	1.25	-0.07	1.30	-0.04	3
	0.04	1.00	3.4	2.3	12.57	-0.73	13.34	-0.39	3
	0.20	4.44	3.4	2.3	56.19	-3.26	59.51	-1.72	3
	1.08	15.20	3.4	2.3	187.25	-7.61	198.23	-4.10	3
	1.30	15.63	3.4	2.3	192.55	-7.83	203.84	-4.21	3
	1.46	15.39	3.4	2.3	189.52	-7.70	200.63	-4.15	3
	2.60	0.02	3.4	2.3	0.20	-0.03	1.28	-0.03	3

As-Deckungslinien



**Biegebewehrung unten**

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.,unten}$ [cm²]	$\Sigma A_{s,vorh.,unten}$ [cm²]	Summe [cm²]	$A_{s,vorh.,unten}$ [Anz. Ø mm]
0,00	2,60	2,60	1,9	3,4	3,4	3Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Biegebewehrung oben

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.,oben}$ [cm²]	$\Sigma A_{s,vorh.,oben}$ [cm²]	Summe [cm²]	$A_{s,vorh.,oben}$ [Anz. Ø mm]
0,00	1,30	1,30	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹
1,30	2,60	1,30	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Schubbewehrung

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.}$ [cm²/m]	$A_{s,vorh.}$ [cm²/m]	$A_{s,vorh.}$ [Anz. Ø mm / cm]
-0,17	2,77	2,94	2,5	2,7	Ø6/21

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN]	$R_{z,max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNm]	$M_{y,max}$ [kNm]
1	0.00	ständig	24.1	24.1		
2	2.60	ständig	24.1	24.1		

Maßgebliche Kombinationen

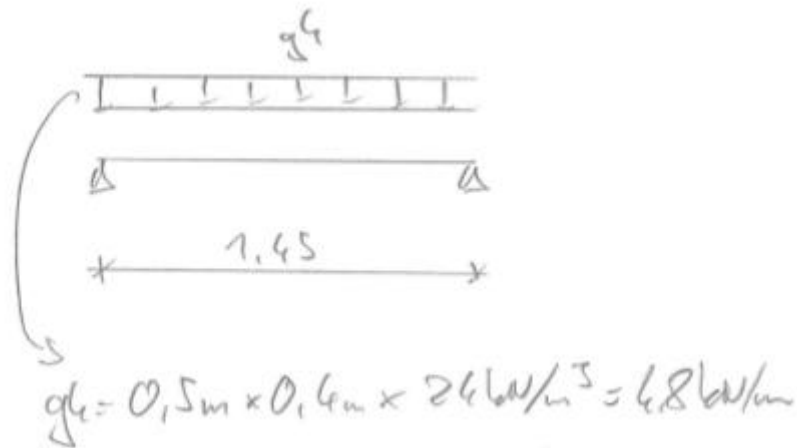
In der folgende Tabelle sind die Lasten mit der internen Nummer angegeben. Die anschließende Tabelle der maßgeblichen Kombinationen referenziert auf diese Nummern.

generierte Last	Feld	Ewg	orig. Last	W1	W2	A [m]	L [m]
L 1	*	ständig	1	18.50	18.50	0.00	2.60

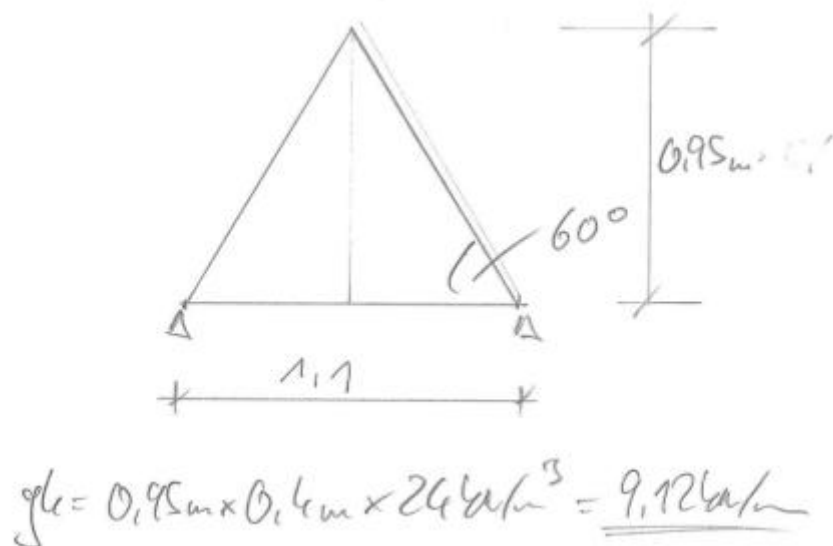
gen. Last	Lk 1	Lk 2	Lk 3	Lk 4
L 1	1.35	1.00	1.00	1.00

Pos. W01.4 Sturzträger S235 3x 10/60 mm

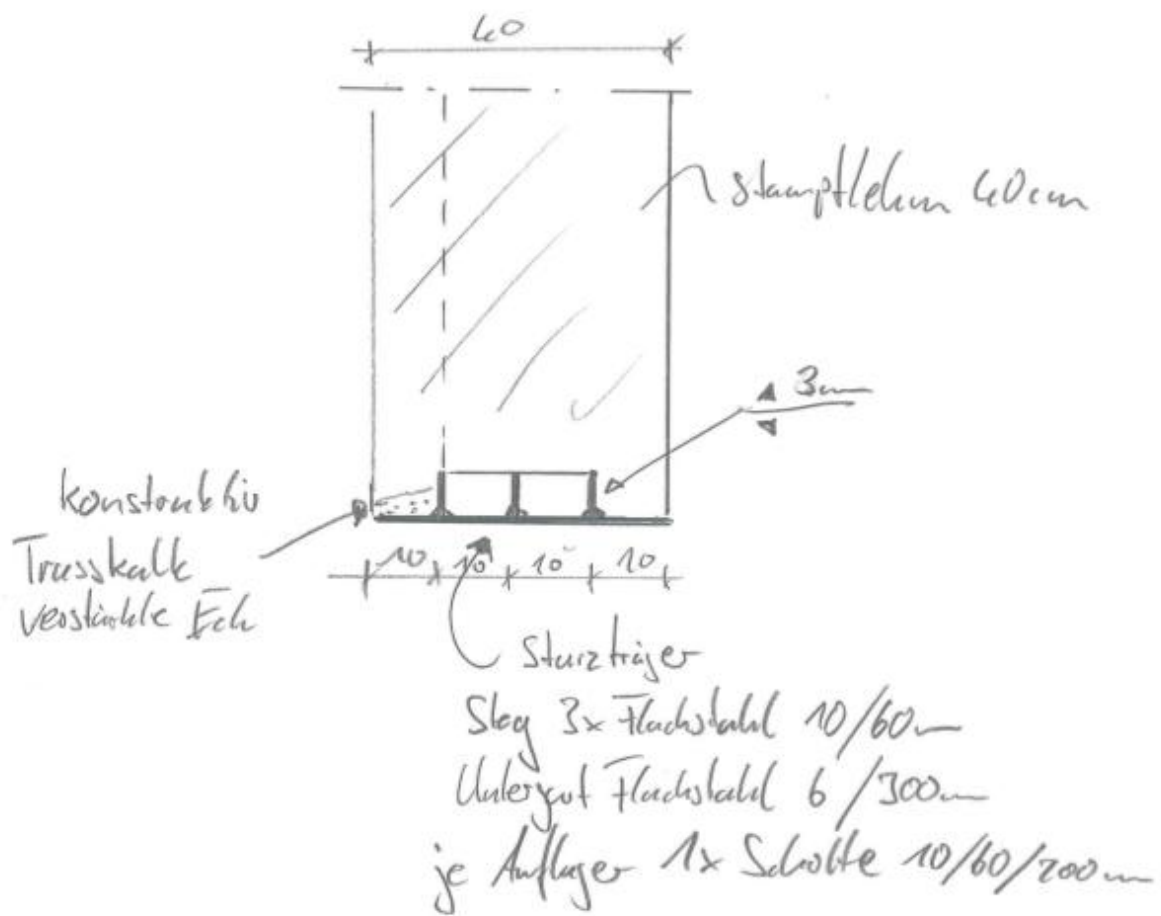
Pos. W01.4a



Pos. W01.4b



gewählt: 3x Flachstahl 10/60mm S235



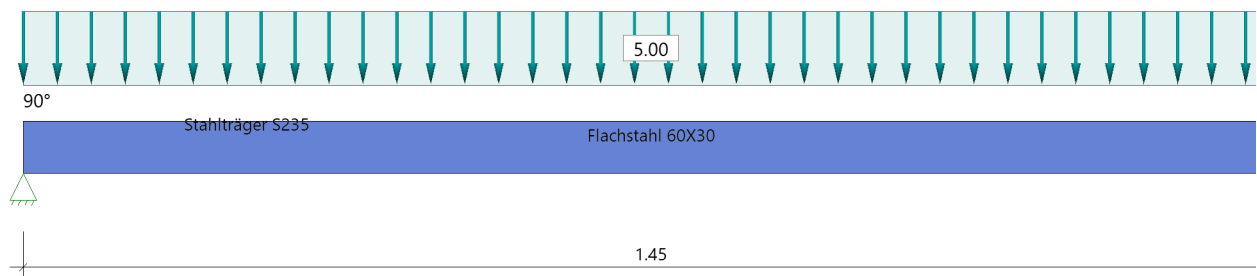
Pos. W01.4a Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

Grundparameter

Stahlträger, DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Stahlgüte: S235

System**Systembild****Geometrie****Querschnitte**

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
Flachstahl 60X30	14	54	9	18	18.0
Querschnitt ist konstant über gesamte Trägerlänge.					

Felder

Feld	Länge [m]	Querschnitt	Gedreht
1	1.45	Flachstahl 60X30	90°

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	u _y [kN/m]	u _z [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	1.45	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	GL		1.45		5.00		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

EigengewichtGesamtgewicht = 20 kg mit Gamma = 78.50 kN/m³ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Basis	:	EN 1993-1-1:2010
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit	:	charakteristisch
Nachweis Absolutverformung mit	$\delta_{lim} =$	5.0 cm
Nachweis Relativverformung (Durchbiegung) mit	$\delta_{lim} =$	Kragarm $l_{eff}/ 500$
	$\delta_{lim} =$	Felder $l_{eff}/ 500$

Zusammenfassung

Nachweis	Bemessungssituation	η_{QS}	η_{Stabi}	$\eta_{Verformung}$
Tragfähigkeit	ständig/vorübergehend	0.29	¹⁾	
Gebrauchstauglichkeit	charakteristisch			0.90
¹⁾ Stabilitätsnachweis wurde nicht geführt weil Obergurt kontinuierlich gehalten.				

Tragsicherheit je Querschnitt (kompakt)

Bemessungssituation	Querschnitt	Stelle	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	η_{QS}	η_{Stabi}
ständig/vorübergehend	Flachstahl 60X30	Feld 1, $x = 0.73$	0.0	1.82	0.29	

Nachweis für maximale Auslastung bei $x = 0.73$ m Lk 1

$N_{pId} = 0.0$ kN	$N_{Rd} = 423.0$ kN
$N_{Ed} = 0.0$ kN	$\eta_N = 0.00$
$M_{y,pId} = 1.82$ kNm	$M_{y,Rd} = 6.35$ kNm
$M_{y,Ed} = 1.82$ kNm	$\eta_{My} = 0.29$
$V_{z,pId} = 0.0$ kN	$V_{z,Rd} = 244.2$ kN
$V_{z,Ed} = 0.0$ kN	$\eta_{Vz} = 0.00$
	$\eta = 0.29$

Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch**Verformungsnachweis - Absolutverformung $f_{Cd} = 5.0$ cm**

Feld	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{res,Ed}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.73	0.0	0.3	0.3	0.05	3

Verformungsnachweis - Relativverformung in z $f_{Cd} = l_{eff}/500$

Feld	x [m]	l_{eff} [m]	$l_{eff,x0}$ [m]	$l_{eff,x1}$ [m]	$f_{z,g}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{z,Cd}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.73	1.45	0.00	1.45	0.3	0.3	0.3	0.90	3

Feld : Bezeichnung
 x : Koordinate X der berechneten Stelle
 l_{eff} : effektive Länge dieses Abschnittes
 $l_{eff,x0}$: Beginn effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $l_{eff,x1}$: Ende effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $f_{z,g}$: ständiger Anteil der Verschiebung
 $f_{z,Ed}$: Bemessungswert der Verschiebung
 $f_{z,Cd}$: zulässige Verschiebung aus l_{eff}
 η : größte Auslastung der berechneten Stelle
 Lfk : Lastfallkombination

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

<i>Nr</i>	<i>x</i> [m]	<i>Einwirkung</i>	<i>R_{z,min}</i> [kN]	<i>R_{z,max}</i> [kN]	<i>M_{y,min}</i> [kNm]	<i>M_{y,max}</i> [kNm]
1	0.00	ständig	3.7	3.7		
2	1.45	ständig	3.7	3.7		

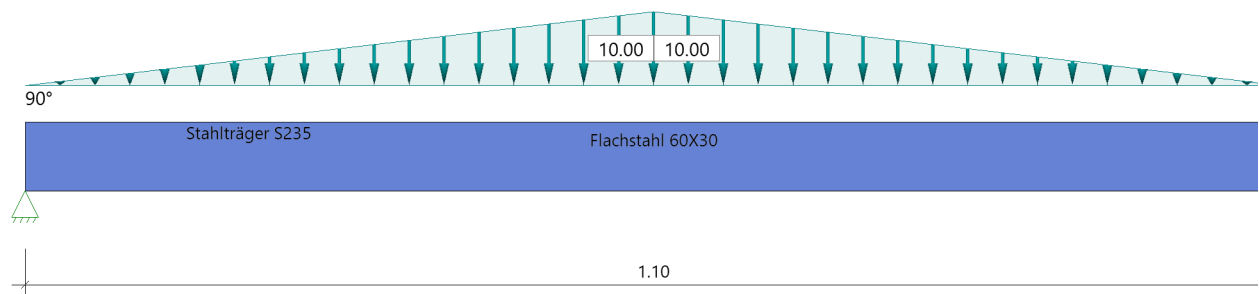
Pos. W01.4b Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

Grundparameter

Stahlträger, DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Stahlgüte: S235

System**Systembild****Geometrie****Querschnitte**

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
Flachstahl 60X30	14	54	9	18	18.0
Querschnitt ist konstant über gesamte Trägerlänge.					

Felder

Feld	Länge [m]	Querschnitt	Gedreht
1	1.10	Flachstahl 60X30	90°

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	u _y [kN/m]	u _z [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	1.10	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	DL		0.55	0.55	10.00		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

EigengewichtGesamtgewicht = 16 kg mit Gamma = 78.50 kN/m³ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Basis	:	EN 1993-1-1:2010
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit	:	charakteristisch
Nachweis Absolutverformung mit	$\delta_{lim} =$	5.0 cm
Nachweis Relativverformung (Durchbiegung) mit	$\delta_{lim} =$	Kragarm $l_{eff}/ 500$
	$\delta_{lim} =$	Felder $l_{eff}/ 500$

Zusammenfassung

Nachweis	Bemessungssituation	η_{QS}	η_{Stabi}	$\eta_{Verformung}$
Tragfähigkeit	ständig/vorübergehend	0.22	¹⁾	
Gebrauchstauglichkeit	charakteristisch			0.50
¹⁾ Stabilitätsnachweis wurde nicht geführt weil Obergurt kontinuierlich gehalten.				

Tragsicherheit je Querschnitt (kompakt)

Bemessungssituation	Querschnitt	Stelle	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	η_{QS}	η_{Stabi}
ständig/vorübergehend	Flachstahl 60X30	Feld 1, $x = 0.55$	0.0	1.39	0.22	

Nachweis für maximale Auslastung bei $x = 0.55$ m Lk 1

$N_{pId} = 0.0$ kN	$N_{Rd} = 423.0$ kN
$N_{Ed} = 0.0$ kN	$\eta_N = 0.00$
$M_{y,pId} = 1.39$ kNm	$M_{y,Rd} = 6.35$ kNm
$M_{y,Ed} = 1.39$ kNm	$\eta_{My} = 0.22$
$V_{z,pId} = 0.0$ kN	$V_{z,Rd} = 244.2$ kN
$V_{z,Ed} = 0.0$ kN	$\eta_{Vz} = 0.00$
	$\eta = 0.22$

Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch**Verformungsnachweis - Absolutverformung $f_{Cd} = 5.0$ cm**

Feld	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{res,Ed}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.55	0.0	0.1	0.1	0.02	3

Verformungsnachweis - Relativverformung in z $f_{Cd} = l_{eff}/500$

Feld	x [m]	l_{eff} [m]	$l_{eff,x0}$ [m]	$l_{eff,x1}$ [m]	$f_{z,g}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{z,Cd}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.55	1.10	0.00	1.10	0.1	0.1	0.2	0.50	3

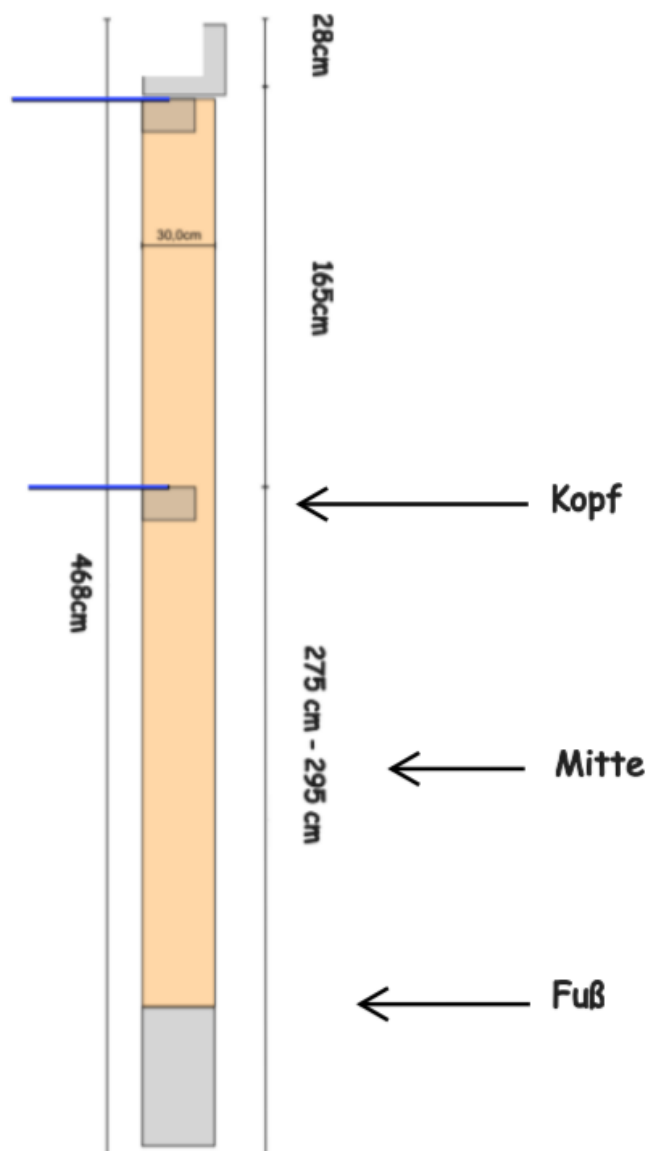
Feld : Bezeichnung
 x : Koordinate X der berechneten Stelle
 l_{eff} : effektive Länge dieses Abschnittes
 $l_{eff,x0}$: Beginn effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $l_{eff,x1}$: Ende effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $f_{z,g}$: ständiger Anteil der Verschiebung
 $f_{z,Ed}$: Bemessungswert der Verschiebung
 $f_{z,Cd}$: zulässige Verschiebung aus l_{eff}
 η : größte Auslastung der berechneten Stelle
 Lfk : Lastfallkombination

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

<i>Nr</i>	<i>x</i> [m]	<i>Einwirkung</i>	<i>R_{z,min}</i> [kN]	<i>R_{z,max}</i> [kN]	<i>M_{y,min}</i> [kNm]	<i>M_{y,max}</i> [kNm]
1	0.00	ständig	2.8	2.8		
2	1.10	ständig	2.8	2.8		

Pos. W02.1 Stampflehmwand STL 3.0

Die Stampflehmwand wird an der unteren Wand am Kopf-, Mitte- und Fußpunkt nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt anhand eines Wandquerschnitts von 30 cm.



gewählt: Stampflehm NKL 1 mittlere Druckfestigkeit 3,0 N/mm²

Ermittlung Tragfähigkeit F_{Rd}

Innenwand				
mittlere Druckfestigkeit	$f_{m,c}$		0,30	kN/cm²
Beiwert zur charakteristischen Druckfestigkeit	k_c	=	0,80	
Formbeiwert	k_F	=	0,80	
$f_{cm} = f_{cm,Würfel} \times k_F$ $f_{ck} = f_{cm} \times k_c$	$f_{c,k}$	=	0,19	kN/cm²
Dauerstandsfaktor DIN 18940	ζ	=	0,85	
Materialbeiwert DIN 18940	M	=	0,80	
Material Überwachungsklasse	k_u	=	1,00	
Materialsicherheitsbeiwert	γ_m	=	1,50	
$f_{cd} = f_{ck} \times \frac{\zeta \times M \times k_u}{\gamma_m}$	$f_{c,d}$	=	0,087	kN/cm²
Abmessungen				
Wanddicke	t	=	30,0	cm
Pufferschicht	t _p	=	0,0	cm
Erosionsschicht	t _e	=	0,0	cm
effektive Wanddicke	t _{ef}	=	30,0	cm
Wandlänge	l	=	100,0	cm
	h	=	295	cm
	h _{min}	=	X	cm
Mindestauflast				
	w _{ED}	=	1,20	kN/m ²
$N_{Ed,min} \geq \frac{w_{Ed} \cdot h^2 \cdot l_w}{7 \cdot t}$	h	=	275	cm
	N_{ED,min}	=	4,32	kN

Traglastfaktoren				
Wandkopf +Fuß				
keine Deckenverdrehung / Ringbalken	$\Phi_1 =$	0,9		
$\Phi_1 = \begin{cases} 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k \geq 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k < 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{cases}$	$M \cdot f_k =$	1,536	N/mm ²	
	$F_{RD} =$	235,0	kN	
Wandmitte				
$\Phi_2 = 0,9 - 0,03 \cdot \frac{h_{ef}}{t} \leq 0,8$	$\Phi_2 =$	0,605		
	$F_{RD} =$	158,0	kN	
Lehmbauregeln				
effektive Bauteildicke für LBR	t =	30,00	cm	
	$f_{c,LBR}$	0,04	kN/cm ²	
	$F_{R,LBR}$	120	kN	
Vergleich Lehmbauregeln - Bemessungskonzept [W-2024]				
Einwirkungs-Sicherheitsbeiwert	$\gamma_F =$	1,35		
	$F_{R,LBR} * \gamma_F =$	162	kN	
	$\eta = F_{RD} / F_{R,LBR} * \gamma_F =$	0,98		

Nachweis im WandquerschnittKopf:

$$\overline{F_{Ed}} = 1,73 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 12,5 \text{ kN/m} < \overline{F_{Ed, \text{Kopf}}} = 235 \text{ kN/m}$$

Mitte:

$$\overline{F_{Ed}} = 3,205 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 23,1 \text{ kN/m} < \overline{F_{Ed, \text{Mitte}}} = 158 \text{ kN/m}$$

Fuß:

$$\overline{F_{Ed}} = 4,13 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 30,0 \text{ kN/m} < \overline{F_{Ed, \text{Fuß}}} = 235 \text{ kN/m}$$

Wandpfeiler 3

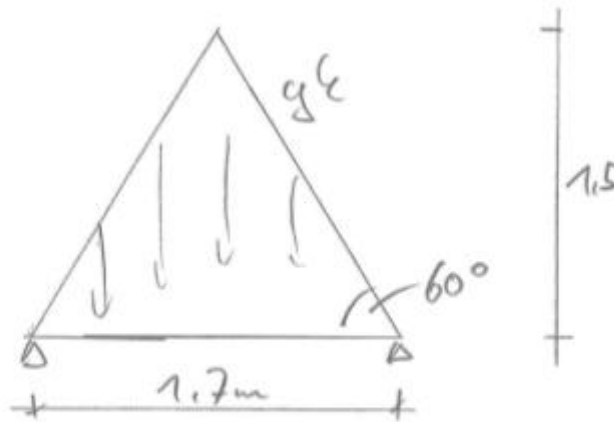
$$\overline{F_{Ed}} = \frac{2,63 \text{ m} \times 0,5 \times 12,5 \text{ kN/m} + 1,4 \text{ m} \times 30 \text{ kN/m}}{1,75 \text{ m}} = 51 \text{ kN/m} \leq \overline{F_{Ed, \text{Mitte}}} = 158 \text{ kN/m} \quad \checkmark$$

Wandpfeiler 4

$$\overline{F_{Ed}} = \frac{2,0 \text{ m} \times 30 \text{ kN/m}}{0,75 \text{ m}} = \underline{\underline{80 \text{ kN/m}}}$$

$$A\text{-Pfeiler} = 75 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 2250 \text{ cm}^2 > 1600 \text{ cm}^2 \checkmark < 2400 \text{ cm}^2 \checkmark$$

$$\overline{F_{Ed}} = 80 \text{ kN/m} < \overline{F_{Ed, \text{Mitte}}} = 158 \text{ kN/m} \times 0,8 = \underline{\underline{126,4 \text{ kN/m}}} \quad \checkmark$$

Pos. W02.2 Ankerbalken / Sturzträger Stb. C25/30 22/14 cm

$$g_k = 1,5\text{m} \times 0,3\text{m} \times 24,0\text{kN/m}^3 = 10,8\text{kN/m}$$

gewählt: Stb. Balken C25/30 22/14 cm

Auflager

$$F_{Ed} = \frac{0,95\text{m} \times 2,5\text{m} \times 0,3 \times 24\text{kN/m}^3}{0,24\text{m}}$$

$$= 72\text{kN/m} < F_{Rd} = 215,6\text{kN/m}$$

gewählt: Stb.-Ankerbalken C25/30 B500B 22/14cm

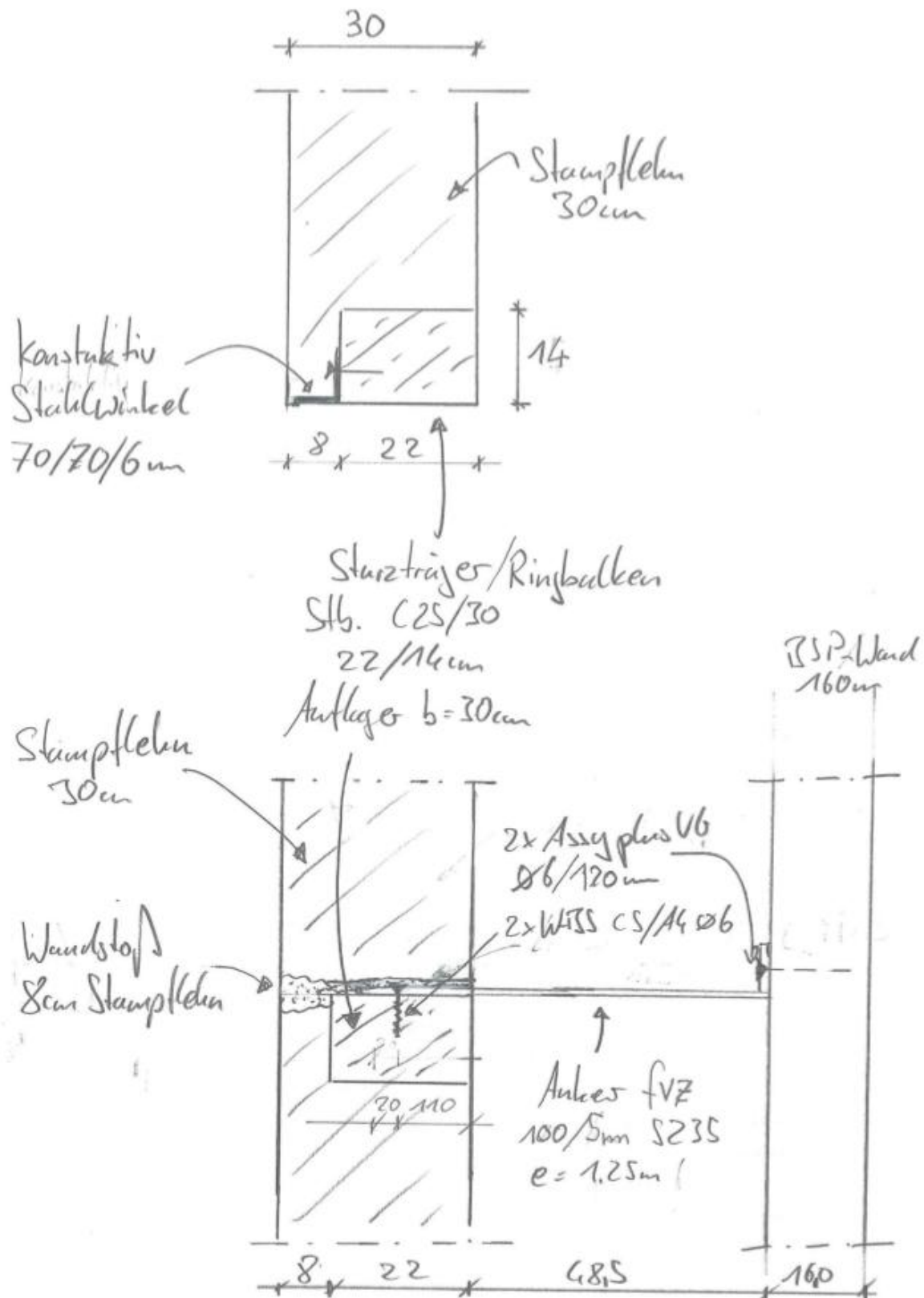
XC1 / W0 $c_{nom} = 20\text{mm}$

Oben: 2 x $\varnothing 12$

Oben: 2 x $\varnothing 12$

Sturzträger: Bügel $\varnothing 6$ e= 10cm

Ankerbalken: Bügel $\varnothing 6$ e= 20cm

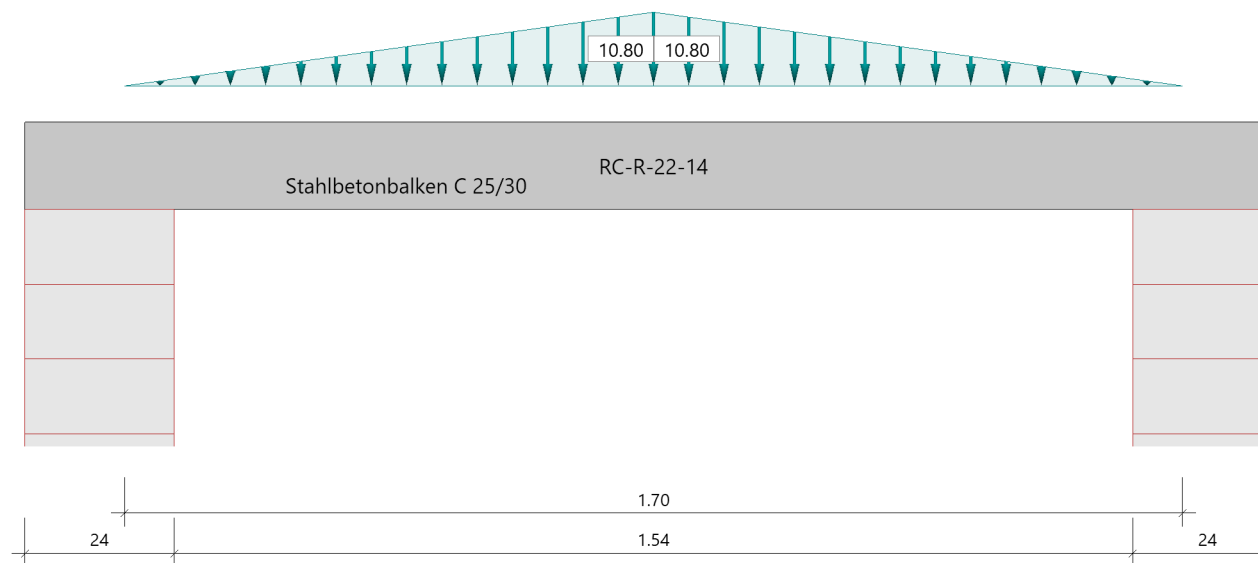


Pos. W02.2 Ankerbalken / Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

GrundparameterStahlbetonbalken $E = 31000 \text{ N/mm}^2$

DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12

System**Systembild****Material****Materialauswahl**

Fertigteil C 25/30

 $f_{ck} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$

Betonstahl B500A

 $f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ $k(f_t/f_y) = 1.05$ $\varepsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$

(Bügel und Längsbewehrung)

Geometrie**Querschnitte**

Nr	Art	b_o [cm]	h_o [cm]	b [cm]	h [cm]	b_u [cm]	h_u [cm]
1	Rechteck			22.0	14.0		

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	u _y [kN/m]	u _z [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	1.70	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	DL		0.85	0.85	10.80		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

Eigengewicht

Gesamtgewicht = 131 kg mit $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
Basis	:	EN 1992-1-1:2004/A1:2014
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Zugversteifung GZG	:	wird angesetzt
Nachweis Spannungsbegrenzung	:	wird geführt
Überprüfung des lin. Kriechansatzes	:	wird geführt

Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	W0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 6 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 12 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 12 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 26 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl und Schwindmaß

wirksame Bauteildicke	$h_0 = 8.9 \text{ cm}$	
Luftfeuchte	$LU = 50 \%$	Zement Typ N,R
Normalbeton	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	$t = \text{unendlich}$
Kriechzahl	$\varphi(t_0, t) = 3.04$	
Schwindmaß	$\varepsilon_{cs}(t) = -0.56 \%$	

Betondeckung

Betondeckung unten = 2.0 cm oben = 2.0 cm

links = 2.0 cm rechts = 2.0 cm

Bewehrungslagen unten = 3.2 cm oben = 3.2 cm

Abminderung der Stützmomente $\leq 15 \%$

Bemessungseinstellungen

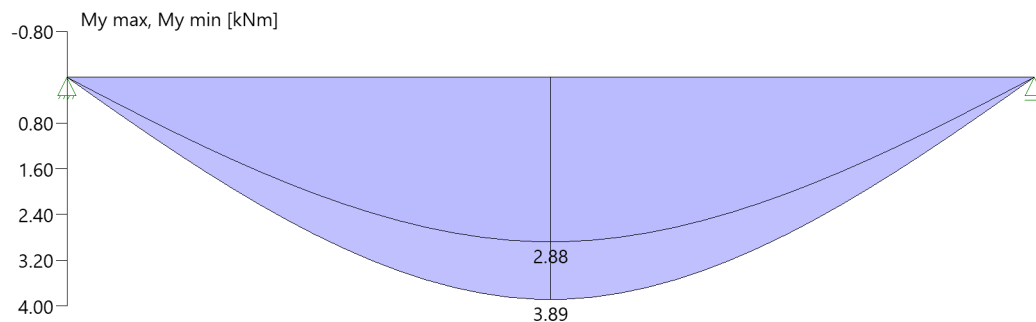
- Die Feldbewehrung ist gestaffelt.
- Die Duktilitätsbewehrung nach 9.2.1.1 ist in erf As enthalten.
- Grenze $k_x < .45$ wird eingehalten.
- Mitwirkende Plattenbreite wird bei der Bemessung berücksichtigt.
- Verankerung am Endauflager ist nur 50% von VEd an VK Endauflager.
- Verankerung am Endauflager von VEd an VK Endauflager mal $\cot(\Theta)/2$.

Auflagerbedingungen

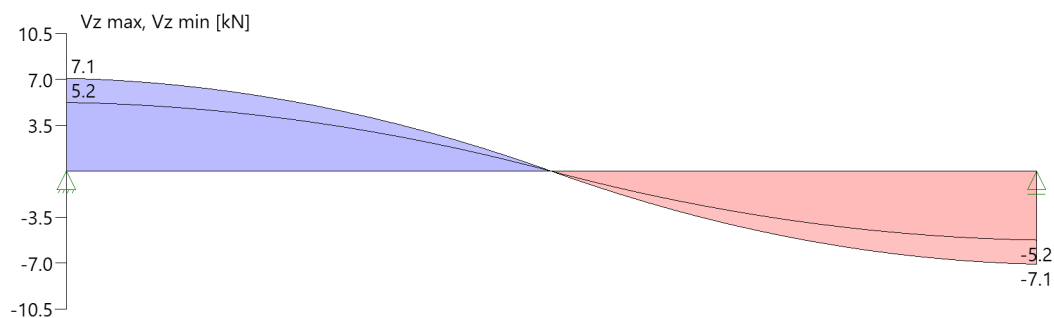
Alle Auflager gleich : Mauerwerk $b = 24.0 \text{ cm}$

Tragsicherheit - Lastkombination ständig/vorübergehend**Schnittgrößen**

Umhüllende der Momente



Umhüllende der Querkräfte

**Schnittgrößen**

Feld	x_{rel} [m]	x [m]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{z,Ed}$ [kN]	Lk
Feld 1	0.00	0.00	0.00	7.1	1
	0.00	0.00	0.00	5.2	2
	0.85	0.85	3.89	0.0	1
	1.70	1.70	0.00	-5.2	2
	1.70	1.70	0.00	-7.1	1

Mindestbewehrung EN2 9.2.1.1 (9.1)

Querschnitt	min Mu [kNm]	erf Asu [cm ²]	min Mo [kNm]	erf Aso [cm ²]
22.0/14.0	1.84	0.4	-1.84	0.4
Plattenbreite wurde für die Berechnung von Wy auf 3 * b0 begrenzt.				

Feldbewehrung

Feld	Xrel [m]	x [m]	Myd [kNm]	min Myd [kNm]	d [cm]	kx	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]		Lk
Feld 1	0.85	0.85	3.89	3.89	10.8	0.14	0.8	0.0		1
	1.54	1.54	1.11	1.11	10.8	0.06	0.4	0.0	¹	1

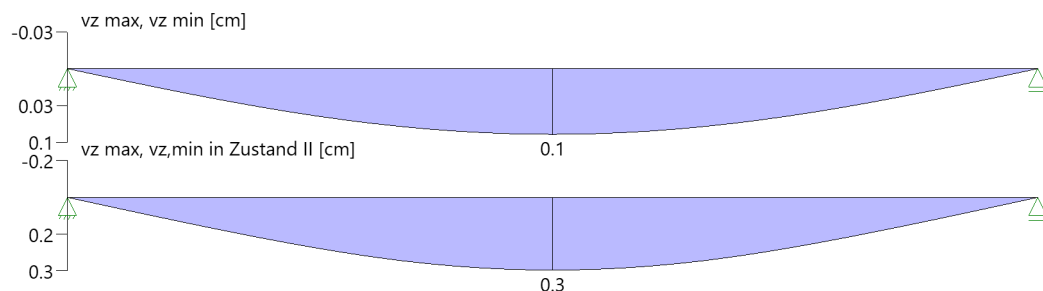
Am ersten Auflager sind mindestens 0.6 cm² zu verankern.Am letzten Auflager sind mindestens 0.6 cm² zu verankern.Querkraft VK-Lager ist mit $F = V_{Ed} * \cot(\Theta) / 2$ berücksichtigt.¹ : Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1 9.2.1.1 (1)**Querkraftbewehrung**

Stütze [Nr]		Xrel [m]	x [m]	kz	VEd [kN]	θ [°]	VRd,c [kN]	VRd,max [kN]	a max [cm]	asw [cm ² /m]	Lk
1	rechts	0.08	0.08	0.52	6.9	18.4	13.7	39.3	VRd,max > VEd		
	rechts	0.19	0.19	0.52	6.6	18.4	13.7	39.3	9.8	1.81 ¹	1
	*	0.30	0.30	0.52	6.0	18.4	13.7	39.3	9.8	1.81 ¹	1
2	links	0.08	1.62	0.52	-6.9	18.4	13.7	39.3	VRd,max > VEd		
	links	0.19	1.51	0.52	-6.6	18.4	13.7	39.3	9.8	1.81 ¹	1
	*	0.30	1.40	0.52	-6.0	18.4	13.7	39.3	9.8	1.81 ¹	1

* Flächengleicher Einschnitt der Schublinie

Der max. Bügelabstand wird mit $\theta \geq 40^\circ$ ermittelt (Heft 525 DAfStb).¹ : Mindestbügelbewehrung**Gebrauchstauglichkeit****Grafik Verformungen**

Umhüllende der Verformungen - Gebrauchstauglichkeit

**Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch****Durchbiegungen Zustand I**

Baugruppe	x [m]	f _{y,Ed} [cm]	f _{z,Ed} [cm]	Lfk
Feld 1	0.85	0.0	0.1	3

Durchbiegungen Zustand IIBerechnung mit effektiven Steifigkeiten und effektiver Kriechzahl: $\varphi_{eff} = 3.04$ $\epsilon_{cs} = -0.56 \text{ ‰}$

Kombination charakteristisch

Mit Nachweis der relativen Grenzverformung ($l_{eff} / 500$)

Feld	x [m]	fEllz,g [cm]	fEllz,g / l _{eff}	fEllz,φ _ε [cm]	fEllz,φ _ε / l _{eff}	fEll,φ _ε [cm]	η
Feld 1	0.85	0.2	1/938	0.3	1/573	0.3	0.87

x : Stelle x
 fEllz,g : Vertikale Durchbiegung im Zustand II infolge ständiger Lasten
 fEllz,φ_ε : Maßgebende vertikale Durchbiegung im Zustand II mit Kriechen und Schwinden
 fEll,φ_ε : maßgebende Durchbiegung

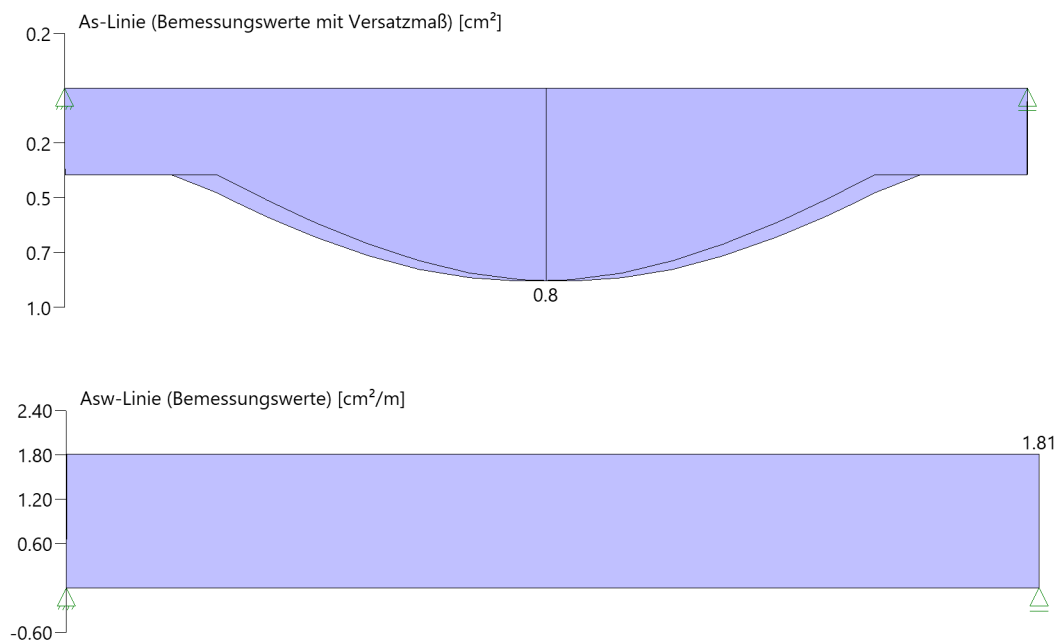
Spannungsbegrenzung

Nachweis Gebrauchstauglichkeit: quasi ständ. Kombination

Nachweis der Rissbreite: XC1/W0-- > zul wk = 0.40 mm
 nach EN2 7.2(3) sC = 0.45 * f_{ck} = 11.25 N/mm²

Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	σ _S (t=∞) [N/mm ²]	σ _C (t=0) [N/mm ²]	vorh ds [mm]	zul ds [mm]	Lfk
Feld 1	0.00	0.01	2.3	2.3	5.01	-0.29	12	100	4
	0.63	2.61	2.3	2.3	131.89	-7.68	12	41	4
	0.85	2.88	2.3	2.3	145.30	-8.46	12	38	4
	1.07	2.61	2.3	2.3	131.89	-7.68	12	41	4
	1.70	0.01	2.3	2.3	5.01	-0.29	12	100	4

As-Deckungslinien



Biegebewehrung unten

von [m]	bis [m]	Länge [m]	A _{s,erf.,unten} [cm ²]	ΣA _{s,vorh.,unten} [cm ²]	Summe [cm ²]	A _{s,vorh.,unten} [Anz. Ø mm]
0,00	1,70	1,70	0,8	2,3	2,3	2Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Biegebewehrung oben

von [m]	bis [m]	Länge [m]	A _{s,erf.,oben} [cm ²]	ΣA _{s,vorh.,oben} [cm ²]	Summe [cm ²]	A _{s,vorh.,oben} [Anz. Ø mm]
0,00	0,40	0,40	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹
0,40	1,70	1,30	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Schubbewehrung

von [m]	bis [m]	Länge [m]	$A_{s,erf.}$ [cm ² /m]	$A_{s,vorh.}$ [cm ² /m]	$A_{s,vorh.}$ [Anz. Ø mm / cm]
-0,09	1,80	1,89	1,8	2,7	Ø6/21

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

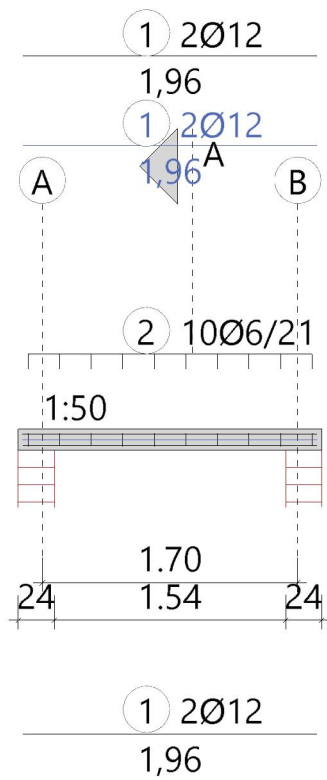
Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN]	$R_{z,max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNm]	$M_{y,max}$ [kNm]
1	0.00	ständig	5.2	5.2		
2	1.70	ständig	5.2	5.2		

Maßgebliche Kombinationen

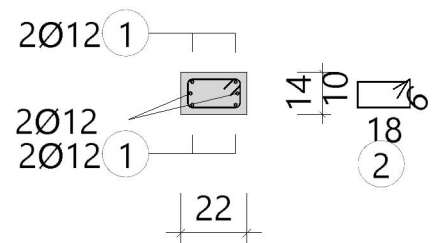
In der folgende Tabelle sind die Lasten mit der internen Nummer angegeben. Die anschließende Tabelle der maßgeblichen Kombinationen referenziert auf diese Nummern.

generierte Last	Feld	Ewg	orig. Last	W1	W2	A [m]	L [m]
L 1	*	ständig	1 1	0.00 10.80	10.80 0.00	0.00 0.85	0.85 0.85
gen. Last	Lk 1		Lk 2	Lk 3	Lk 4		
L 1	1.35		1.00	1.00	1.00		
Eigengewicht	1.35		1.00	1.00	1.00		

Bewehrung



Schnitt A - A



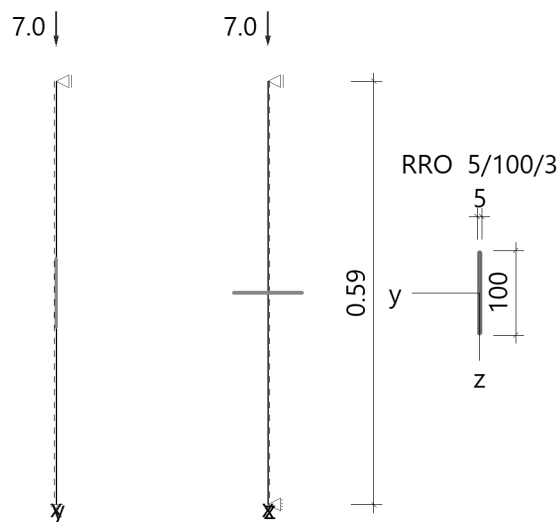
Pos. W02.2 Anker

Stahlstütze (x64) STS+ 02/2025 (FRILO R-2025-2/P07)

Grundparameter

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit	:	charakteristisch
Nachweis Absolutverformung mit	$\delta_{lim} =$	5.0 cm
Nachweis Relativverformung (Durchbiegung) mit	$\delta_{lim} =$	$l_{eff}/300$

System Allgemeine Stütze



Stütze: Höhe = 0.59 m Material: S235 Querschnitt:

Querschnitt - RRO 5/100/3

Profil	$h =$	100 mm	$b =$	5 mm
Steg	$s =$	3 mm		
Ausrundung	$r =$	3 mm		
Fertigungsprozess		warm		
Fläche	$A =$	4.9 cm ²		
Statische Werte	$I_y =$	40.4 cm ⁴	$W_y =$	8.1 cm ³
	$I_z =$	0.1 cm ⁴	$W_z =$	0.4 cm ³

Lagerbedingungen

Nr	x [m]	Verschiebungen ^{*)}			Verdrehungen ^{*)}		
		u_x [kN/m]	u_y [kN/m]	u_z [kN/m]	Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	-1	0.0	-1
2	0.59	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0

^{*)} -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Belastung**Einwirkungen(Ew)**

Id	Typ	Bemessungssituation	Name	γ_{sup}	γ_{inf}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
99	G	ständig/vorübergehend	ständig	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00
1	Q	ständig/vorübergehend	Kat. A: Wohngebäude	1.50	0.00	0.70	0.50	0.30

Lasten**Lastarten**

Art 14 = Kopflast kN

Das Eigengewicht wird automatisch berücksichtigt.

Standard-Lastfälle und Lasten

Nr	Art	in/um	p_i	a [m]	p_j	l [m]	Ew
1	14	in x-Richtung	7.0	0.59		-	1

Ergebnisse**Zusammenfassung**

Bemessungssituation	Lfk	Nachweis	η
ständig/vorübergehend	1	Querschnitt	0,09
ständig/vorübergehend	1	Stabilität	1,00
charakteristisch	5	Absolutverformung	0,00

Tragfähigkeit ständig/vorübergehend**Schnittgrößen - Lfk 1**

x [m]	N_{Ed} [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
0.00	-10.5	0.0	0.00	0.0	0.00
0.59	-10.5	0.0	0.00	0.0	0.00

Querschnittstragfähigkeit nach Abschnitt 6.2 ff - Lfk 1 $\gamma_{M0} = 1,00$

x [m]	Qkl	η_N	η_{Vz}	η_{My}	η_{Vy}	η_{Mz}	η_{MyMz}	η
0.00	3	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
0.59	3	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09

Stabilitätsnachweis

x [m]	Qkl	N_{Ed} [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	Gl	η	Lfk
0.00	3	10.5	0.00	6.46	1.00	1

Gebrauchstauglichkeit**Verformungsnachweis - Absolutverformung $f_{cd} = 5.0$ cm**

x [m]	$f_{x,Ed}$ [cm]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{res,Ed}$ [cm]	η	Lfk
0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	5

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Lastfall**

Lager	x [m]	Lf	Ew	R_x [kN]	R_z [kN]	M_y [kNm]	R_y [kN]	M_z [kNm]
Fuss	0.00	Eigengewicht	99	-0.02	-	-	-	-
		Lf 1	1	-7.0	-	-	-	-

Übersicht maßgeblicher Lastfallkombinationen

<i>Lfk</i>	<i>Bemessungssituation</i>	<i>[Lastfall:Faktor]</i>
1	ständig/vorübergehend	Eigengewicht:1,35 + 1:1,50
5	charakteristisch	Eigengewicht:1,00 + 1:1,00



Pos. W02.2 Anker Dübel

**Produktvorbemessung
Statische Nachweise: Verankerung mit
W-BS 2 -CS/A4 Ø6**



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 2 von 15

Eingabedaten

Land: Deutschland (Germany)

Untergrund: Beton: Gerissen
C25/30, $f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$, $f_{ck,cube} = 30,00 \text{ N/mm}^2$
Gebrauchstemperatur: vom Nutzer gewählt: Kurzzeit: 40 °C / Langzeit: 24 °C
Bewehrung: Flächenbewehrung: Normal
Randbewehrung: Keine
Bewehrung gegen Spalten nach EN 1992-4, 7.2.1.7. (2) b) (2) vorhanden
Betondeckung: 25 mm
Zugfestigkeit: 500 N/mm²
Untergrund- / Bauteildicke: h = 140 mm

Ankerplatte:

Abmessungen: $l_y \times l_z \times t = 100 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$
Ankerplattenstärke: Nutzerdefinierte Ankerplattendicke: t = 5 mm
Durchgangsloch: Mit zulässigem Ringspalt gemäß EN1992-4; Tabelle 6.1 oder Zulassung
Profil: -

Installationsbedingungen:

Bohrlocherstellung: Hammerbohren
Bohrlochzustand: Trocken
Reinigungstyp: Standard (Ausblaspumpe), siehe Setzanweisung ETA-22/0123
Dübelbiegung: Keine

Gewählter Dübeltyp und Größe:

W-BS 2 -CS/A4 Ø6
Nutzungsdauer: 50 Jahre
Material: A4: Nichtrostender Stahl A4
Durchmesser: Ø6
Effektive Verankerungstiefe: $h_{ef} = 34 \text{ mm}$
Anzugsdrehmoment: 10,00 Nm
Zulassungsnummer / Gültigkeit: ETA-22/0123; gültig ab 28.11.2022

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

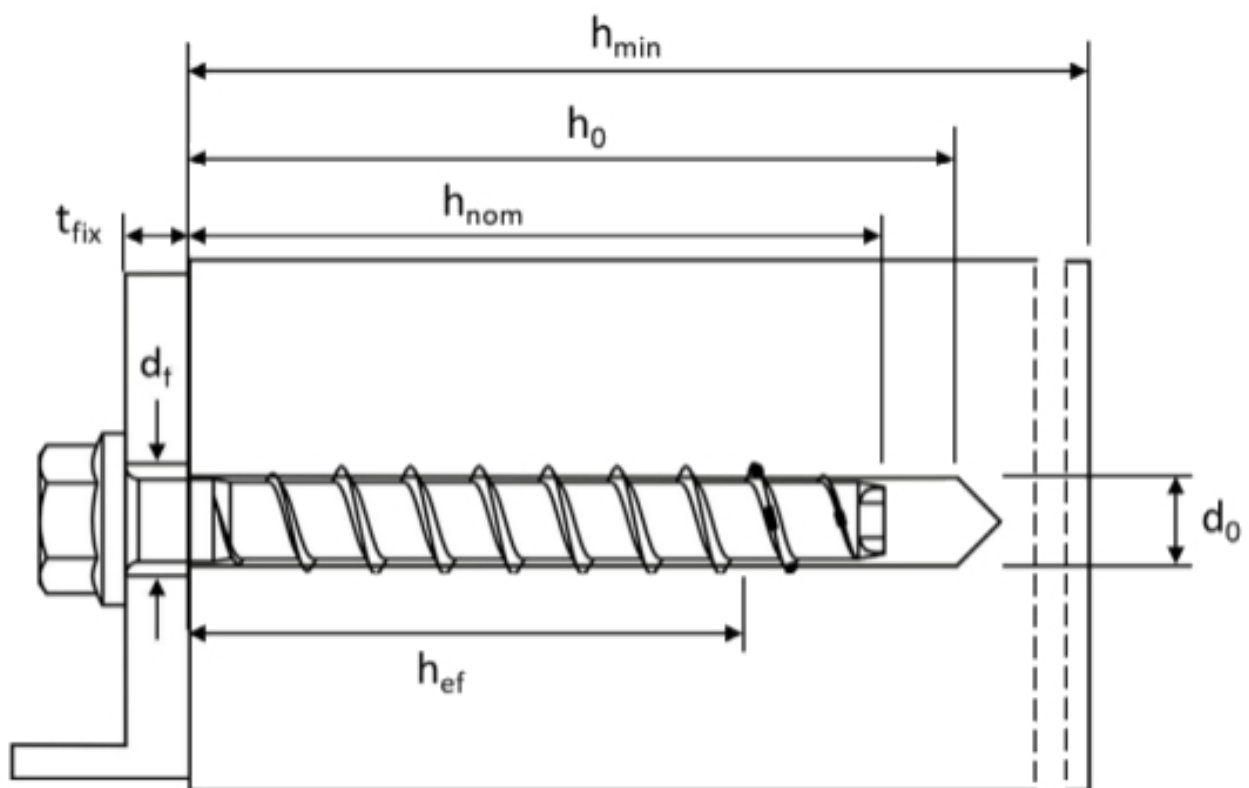
Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 3 von 15



Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 4 von 15

Dübelartikel:

Art.-Nr.	Bezeichnung	Ø [mm]	l [mm]	t _{fix,max} [mm]	VE [Stück]
5931 236 050	W-BS 2/CS -TX30 6x5/50 A4	Ø6	50 mm	5 mm	100
5931 236 065	W-BS 2/CS -TX30 6x20/65 A4	Ø6	65 mm	20 mm	100
5931 236 085	W-BS 2/CS -TX30 6x40/85 A4	Ø6	85 mm	40 mm	100

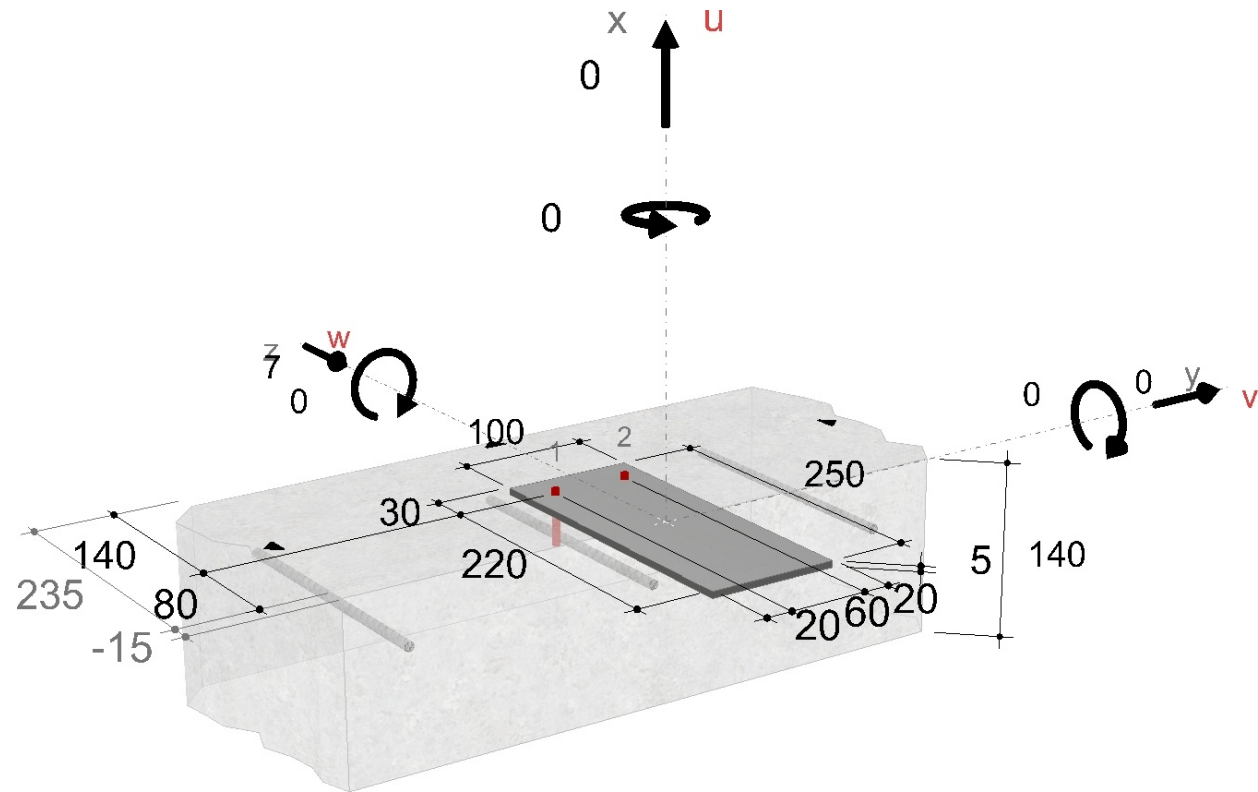
Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.



Bauprojektname:
 Bauherr:
 Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
 Seite 5 von 15

Geometrie und Belastung: Bemessungswerte des maßgebenden Lastfalls: Lastfallnummer 1, Typ: Normal



Lastfälle:

#	Name	N _{Ed} [kN]	V _{Ed,v} [kN]	V _{Ed,w} [kN]	M _{Ed,u} [kNm]	M _{Ed,v} [kNm]	M _{Ed,w} [kNm]	Belastungstyp
1		0,000	0,000	-7,000	0,000	0,000	0,000	Normal

Hinweis: Die Bemessungslasten wurden vom Nutzer eingegeben.

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer: Mobiltelefon:



Bauprojektname:
 Bauherr:
 Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
 Seite 6 von 15

Nachweise

Übersicht

Nachweisverfahren: EN 1992-4 (2019-04)
 Falls die Anwendung in der Norm nicht geregelt ist, erfolgt die Bemessung nach der Würth Design Methode (WDM).

Zusammenfassung

Lastfallnummer	Ausnutzung			Art der Lastkombination
	Zug	Querkraft	Zug/Querkraft Kombination	
1	0,00 %	96,25 %	0,00 %	Normal

Nachweise erfolgreich durchgeführt!

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

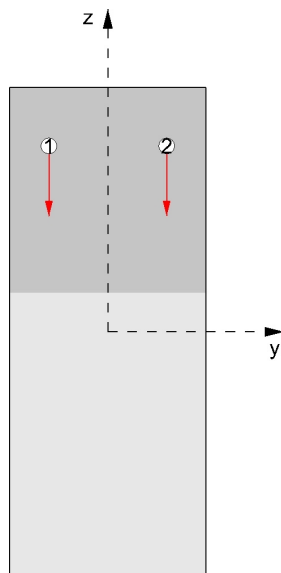
Liam Winckler
Seite 7 von 15

Nachweis: vorwiegend ruhende Beanspruchung

Resultierende Dübelkräfte

Dübelnummer	$N_{Ed,x}^i$ [kN]	$V_{Ed,y}^{Mx,i}$ [kN]	$V_{Ed,z}^{Mx,i}$ [kN]	$V_{Ed,y}^{Vy,i}$ [kN]	$V_{Ed,z}^{Vz,i}$ [kN]	$V_{Ed,y}^i$ [kN]	$V_{Ed,z}^i$ [kN]	V_{Ed}^i [kN]
1	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,500	0,000	-3,500	3,500
2	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,500	0,000	-3,500	3,500

	$\Sigma N_{Ed,x}^i$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,y}^{Mx,i}$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,z}^{Mx,i}$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,y}^{Vy,i}$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,z}^{Vz,i}$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,y}^i$ [kN]	$\Sigma V_{Ed,z}^i$ [kN]	$ \Sigma V_{Ed}^i $ [kN]
Summe	0,000	0,000	0,000	0,000	-7,000	0,000	-7,000	7,000



Max. Betondruckspannung: 0 N/mm²

Die Weiterleitung der durch die Befestigungsmittel eingeleiteten Kräfte im Verankerungsgrund muss für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach EN 1992-1-1 und EN1992-4 Anhang A gewährleistet werden. Die weitere Nachweisführung ist durch den zuständigen Ingenieur zu erbringen.

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 8 von 15

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Nachweise auf Querbeanspruchung

1. Stahlversagen ohne Hebelarm

$\beta_{V,s}$	=	$V_{Ed}^h / V_{Rd,s}$		Auslastung
V_{Ed}^h	=		3,500 kN	Bemessungswert der Einwirkungen
$V_{Rd,s}$	=	$V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$		EN 1992-4: 7.2.2.1
$V_{Rk,s}$	=	$k_7 \cdot V_{Rk,s}^0$		EN 1992-4: 7.2.2.3.1 (7.35)
k_7	=	0,80		EN 1992-4: 7.2.2.3.1 (2)
$V_{Rk,s}^0$	=	7,000 kN		ETA
$V_{Rk,s}$	=	$0,80 \cdot 7,000 \text{ kN} = 5,600 \text{ kN}$		
γ_{Ms}	=	1,25		ETA
$V_{Rd,s}$	=		4,480 kN	
$\beta_{V,s}$	=		<u>0,78</u>	

2. Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Dübelgruppe)

		1, 2		Maßgebende Dübelnummern
$\beta_{V,cp}$	=	$V_{Ed}^g / V_{Rd,cp}$		Auslastung
V_{Ed}^g	=		7,000 kN	Bemessungswert der Einwirkungen
$V_{Rd,cp}$	=	$V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$		EN 1992-4: 7.2.2.1
$V_{Rk,cp}$	=	$k_8 \cdot N_{Rk,c}$		EN 1992-4: 7.2.2.4 (7.39a)
k_8	=	1,60		ETA
$N_{Rk,c}$	=	$N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{MN}$		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.1)
$N_{Rk,c}^0$	=	$k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,50}$		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.2)
k_1	=	7,70		EN 1992-4: 7.2.1.4 (2)
f_{ck}	=	25,00 N/mm ²		Nutzereingabe
h_{ef}	=	34,0 mm		ETA
$N_{Rk,c}^0$	=	$7,70 \cdot (25,00 \text{ N/mm}^2)^{0,50} \cdot (34,0 \text{ mm})^{1,50} = 7,633 \text{ kN}$		
$s_{cr,N}$	=	102,00 mm		ETA
$c_{cr,N}$	=	$s_{cr,N} / 2 = 51,00 \text{ mm}$		ETA
$A_{c,N}$	=	16524 mm ²		EN 1992-4: 7.2.1.4 (3)
$A_{c,N}^0$	=	$s_{cr,N}^2 = 10404 \text{ mm}^2$		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.3)
$\psi_{s,N}$	=	$0,70 + 0,30 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1,00$		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.4)
	=	$0,70 + 0,30 \cdot 80,00 \text{ mm} / 51,00 \text{ mm} \leq 1,00$		
	=	1,0000		
$\psi_{re,N}$	=	1,0000		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.5)
$\psi_{ec,V}$	=	$\psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{ec,V,z}$		
$\psi_{ec,V}$	=	1,0000		
$\psi_{M,N}$	=	1,0000		EN 1992-4: 7.2.1.4 (7.7)
$N_{Rk,c}$	=	12,123 kN		
$V_{Rk,cp}$	=	$1,60 \cdot 12,123 \text{ kN} = 19,396 \text{ kN}$		
γ_{Mc}	=	1,50		EN 1992-4: 4.4.2.1 Tab. 4.1
$V_{Rd,cp}$	=			

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:

Bauherr:

Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler

Seite 9 von 15

	=	12,931 kN
$\beta_{V,cp}$	=	<u>0,54</u>

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 10 von 15

3. Betonkantenbruch

3.1 Übersicht der geführten Nachweise

Kante negativ in z-Richtung

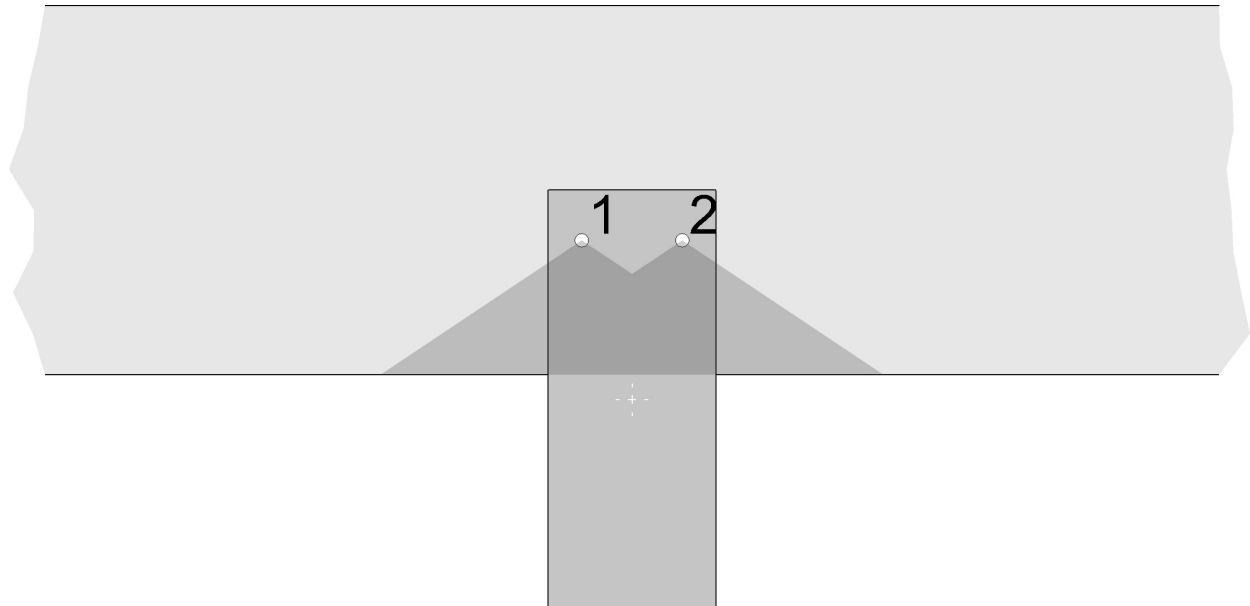
Auf Grund der vorhandenen Ringsspalte werden ausschließlich folgende Dübel für die Aufnahme der Querkraft senkrecht zum Rand angesetzt: 1, 2

Bei der Berechnung der einwirkenden Schnittkraft V_{Sd} werden alle Querkräfte berücksichtigt. Auch die aus den Torsionsmomenten entstehenden Querkräfte senkrecht zum Rand. Unten werden die jeweiligen Ergebnisse dieser Berechnung in einer Kurzfassung mit den jeweiligen Nachweisen angegeben, um die Darstellung im Ausdruck übersichtlich zu halten.

Kurzfassung der Nachweise

Dübel	V_{Ed} [kN]	$\Psi_{Ac,V}$ [-]	$\Psi_{s,V}$ [-]	$\Psi_{h,V}$ [-]	$\Psi_{a,V}$ [-]	$\Psi_{ec,V}$ [-]	$\Psi_{re,V}$ [-]	$V_{Rk,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	β_c [-]
1, 2	7,000	1,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10,909	7,273	0,96

3.2 Maßgebender Nachweis



Resultierende Dübelkräfte: Kante negativ in z-Richtung

Maßgebende Dübelnummern: 1, 2

$$\begin{aligned}\beta_{V,c} &= V_{Ed} / V_{Rd,c} \\ V_{Ed} &= 7,000 \text{ kN} \\ V_{Rd,c} &= V_{Rk,c} / \gamma_{Mc,V} \\ V_{Rk,c} &= V_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,V} / A_{c,V}^0 \cdot \Psi_{s,V} \cdot \Psi_{h,V} \cdot \Psi_{ec,V} \cdot \Psi_{a,V} \cdot \Psi_{re,V} \\ V_{Rk,c}^0 &= k_g \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,50} \\ k_g &= 1,70 \\ d_{nom} &= 6,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

Auslastung
Bemessungswert der Einwirkungen
EN 1992-4: 7.2.2.1
EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.40)
EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.41)
EN 1992-4: 7.2.2.5 (6)
ETA

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 11 von 15

α	=	$0,10 \cdot (l_f / c_1)^{0,50} = 0,0750$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.42)
l_f	=	45,0 mm	ETA
c_1	=	80,0 mm	
β	=	$0,10 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0,20} = 0,0596$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.43)
f_{ck}	=	25,00 N/mm ²	Nutzereingabe
$V_{RK,c}^0$	=	8,728 kN	
$A_{c,V}$	=	36000 mm ²	EN 1992-4: 7.2.2.5 (6)
$A_{c,V}^0$	=	$4,50 \cdot c_1^2 = 28800 \text{ mm}^2$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.44)
$\psi_{s,V}$	=	$0,70 + 0,30 \cdot c_2 / (1,50 \cdot c_1) \leq 1,00$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.45)
	=	1,0000	
$\psi_{h,V}$	=	$(1,50 \cdot c_1 / h)^{0,50} \geq 1,00$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.46)
h	=	140,0 mm	
$\psi_{h,V}$	=	1,0000	
$\psi_{a,V}$	=	$(1 / [(\cos \alpha_V)^2 + (0,50 \cdot \sin \alpha_V)^2])^{0,50} \geq 1,00$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.48)
α_V	=	0,00°	EN 1992-4: 7.2.2.5 (10)
$\psi_{a,V}$	=	1,0000	
$\psi_{ec,V}$	=	$1 / (1 + 2 \cdot e_V / (3 \cdot c_1)) \leq 1,00$	EN 1992-4: 7.2.2.5 (7.47)
	=	$1 / (1 + 2 \cdot 0,0 \text{ mm} / (3 \cdot 80,0 \text{ mm})) \leq 1,00$	
	=	1,0000	
$\psi_{re,V}$	=	1,0000	EN 1992-4: 7.2.2.5 (13)
$V_{RK,c}$	=	10,909 kN	
$Y_{Mc,V}$	=	1,50	EN 1992-4: 4.4.2.1 Tab. 4.1
$V_{Rd,c}$	=	7,273 kN	
$\beta_{V,c}$	=	<u>0,96</u>	

Maximale Querbeanspruchung

$\beta_{V,max}$	=	<u>0,96</u>
-----------------	---	-------------

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 12 von 15

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Verschiebungen werden für die Oberfläche des Bauteils ermittelt. Bei Abstandsmontage muss die weitere Verschiebung durch den erhöhten Abstand berücksichtigt werden.

1. Kurzzeitverschiebung:

	1	Maßgebender Dübel
δ_N	$= N_k / N_0 \cdot \delta_{N0}$	
N_k	$= N_{Ed} / 1,40 = 0,000 \text{ kN} / 1,40 =$	Charakteristischer Wert
N_0	$= 0,720 \text{ kN}$	ETA
δ_{N0}	$= 0,190 \text{ mm}$	ETA
δ_N	$= 0,000 \text{ kN} / 0,720 \text{ kN} \cdot 0,190 \text{ mm} =$	0,000 mm
δ_V	$= V_k / V_0 \cdot \delta_{V0}$	
V_k	$= V_{Ed} / 1,40 = 3,500 \text{ kN} / 1,40 =$	Charakteristischer Wert
V_0	$= 3,300 \text{ kN}$	ETA
δ_{V0}	$= 1,550 \text{ mm}$	ETA
δ_V	$= 2,500 \text{ kN} / 3,300 \text{ kN} \cdot 1,550 \text{ mm} =$	1,174 mm
δ_{NV}	$= (\delta_N^2 + \delta_V^2)^{0,50} =$	1,174 mm

2. Langzeitverschiebung:

	1	Maßgebender Dübel
δ_N	$= N_k / N_0 \cdot \delta_{N\infty}$	
N_k	$= N_{Ed} / 1,40 = 0,000 \text{ kN} / 1,40 =$	Charakteristischer Wert
N_0	$= 0,720 \text{ kN}$	ETA
$\delta_{N\infty}$	$= 0,550 \text{ mm}$	ETA
δ_N	$= 0,000 \text{ kN} / 0,720 \text{ kN} \cdot 0,550 \text{ mm} =$	0,000 mm
δ_V	$= V_k / V_0 \cdot \delta_{V\infty}$	
V_k	$= V_{Ed} / 1,40 = 3,500 \text{ kN} / 1,40 =$	Charakteristischer Wert
V_0	$= 3,300 \text{ kN}$	ETA
$\delta_{V\infty}$	$= 3,100 \text{ mm}$	ETA
δ_V	$= 2,500 \text{ kN} / 3,300 \text{ kN} \cdot 3,100 \text{ mm} =$	2,348 mm
δ_{NV}	$= (\delta_N^2 + \delta_V^2)^{0,50} =$	2,348 mm

Hinweise

- Dies ist eine Vorbemessung/Empfehlung. Ohne eine Prüfung und Freigabe der Bemessung durch den zuständigen Planer/Statiker darf der Dübel nicht eingebaut werden!
- Bitte beachten Sie die Softwarenutzungsbedingungen insbesondere den §4.
- EN 1992-4 gilt für Befestigungselemente mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} \geq 40 \text{ mm}$. Befestigungselemente mit einer wirksamen Verankerungstiefe von mindestens 30 mm (Innenanwendungen 25 mm) werden ausschließlich zur Befestigung von statisch unbestimmten nichttragenden Systemen behandelt. (EN 1992-4 1.3 (2))
- Diese Berechnung gilt nur, wenn die Durchgangslöcher nicht größer sind als in EN 1992-4 Tabelle 6.1 oder der jeweiligen

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 13 von 15

Zulassung angegeben ist! Bei größeren Durchgangslöchern ist Kapitel 1.1 in EN 1992-4 zu beachten.

- Die Bemessung erfolgt auf der Grundlage umfangreicher dübelspezifischer Kennwerte. Bei einem Austausch der Dübel oder Änderung der Eingangswerte ist eine neue Bemessung notwendig. Die Auflagen bzw. Bestimmungen der Dübelzulassung sind zu beachten.
- Innerhalb einer Gruppe können nur Dübel gleicher Art und Größe eingesetzt werden.
- Die angesetzte Baustoffgüte ist nachzuweisen.
- Die Bemessungsregeln des Programms gelten nur unter der Annahme einer starren Ankerplatte.
- Die Betrachtung der vorliegenden Ankerplatte als starr oder nahezu starre Ankerplatte, ist Bestandteil ihrer technischen Beurteilung.
- Wenn Sie von der starren Ankerplatte abweichen, werden die ermittelten Schnittkräfte nach Elastizitätstheorie mit einem Skalierungsfaktor (Relastische Dübelkräfte/lineare Dübelkräfte) erhöht. Dieses Ergebnis lassen Sie sich bitte von einem Statiker prüfen und frei geben.
- Mehr Informationen zur starren Ankerplatte und deren Bemessung siehe Veröffentlichungen von Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann.
- Die Weiterleitung der Kräfte im Bauteil ist nach der Bemessungsrichtlinie EN 1992-4, Abschnitt 7 nachzuweisen. Im Falle einer Unterfütterung wird davon ausgegangen, dass sich unter der Ankerplatte keine Luftblasen befinden und die Unterfütterung vor der tatsächlichen Lastauftragung erfolgt und ausgehärtet ist!
- Die Liste der Zubehörteile in diesem Bericht ist nur zur Information des Anwenders. Die Setzanweisungen, die mit dem Produkt mitgeliefert werden, sind stets zu beachten, um eine korrekte Installation zu gewährleisten.
- Es wurde keine Ankerplattenbemessung durchgeführt. Der Nachweis der ausreichenden Steifigkeit ist vom Nutzer zu erbringen.

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 14 von 15

Installationshinweise

Verankerungsgrund

Gewählter Dübeltyp und Größe: W-BS 2 -CS/A4 Ø6; L = 50 mm

Nutzungsdauer: 50 Jahre

Rechnerische effektive
Verankerungstiefe: $h_{ef} = 34$ mm

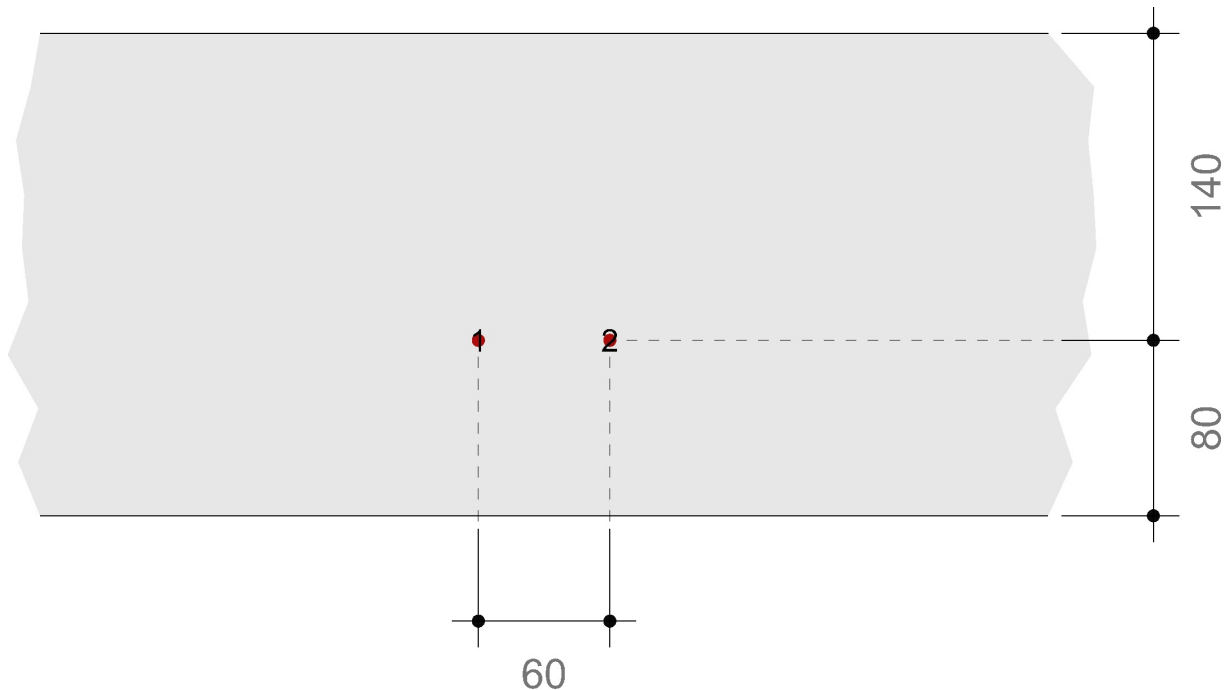
Bohrlochtiefe: $h_0 = 50$ mm

Die in der Zulassung angegebene Setzanweisung ist einzuhalten.

Bohren:

Bohrerinnendurchmesser: $d_0 = 6$ mm

Arbeitslänge des Bohrers: ≥ 55 mm



Reinigen

Reinigen erforderlich

Die Hinweise aus der entsprechenden Zulassung oder aus dem mitgelieferten Beipackzettel sind zu beachten.

Reinigungszubehör entsprechend Zubehörartikelliste / Würth Kataloge

Dübelmontage

Das Bohrloch darf mit Injektionsmörtel WIT-BS verfüllt werden.

Anzugsdrehmoment: 10,00 Nm

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:



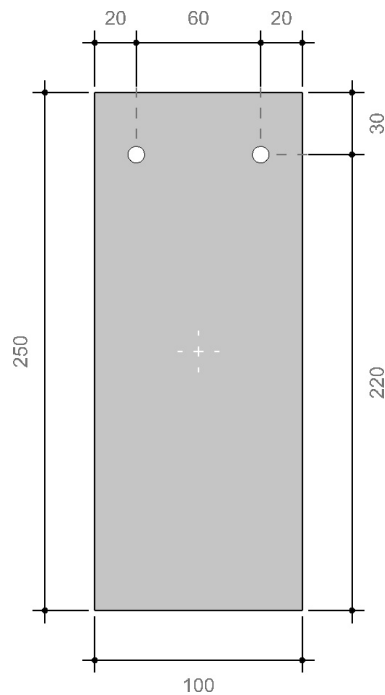
Bauprojektname:
Bauherr:
Adresse Bauprojekt:

Liam Winckler
Seite 15 von 15

Ankerplatte

Durchmesser Durchgangsbohrung: Durchsteckmontage: $d_f \leq 8 \text{ mm}$

Ankerplattendicke: $t = 5 \text{ mm}$ (Nutzereingabe)



Anschlussprofil

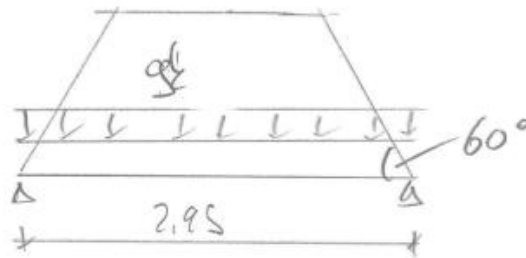
Material: -

Profil: -

Die Daten sind auf Übereinstimmung mit den gegebenen Randbedingungen zu kontrollieren und auf Plausibilität zu prüfen! Würth übernimmt keine Haftung für Eingabedaten durch den Anwender.

Benutzer:

Mobiltelefon:

Pos. W02.3 Sturzträger Stb. C25/30 22/30 cm

$$q_k = 2.5m \times 0.3m \times 24 \text{ kN/m}^3 = 18 \text{ kN/m}$$

gewählt: Stb.-Balken C25/30 22/30cm

Anfänger

$$F_{Ed} = 26.6 \text{ kN} \times 1.35 / 0.22m = 165 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 215.4 \text{ kN/m} \checkmark$$

Sturzauflegerlänge = 30cm

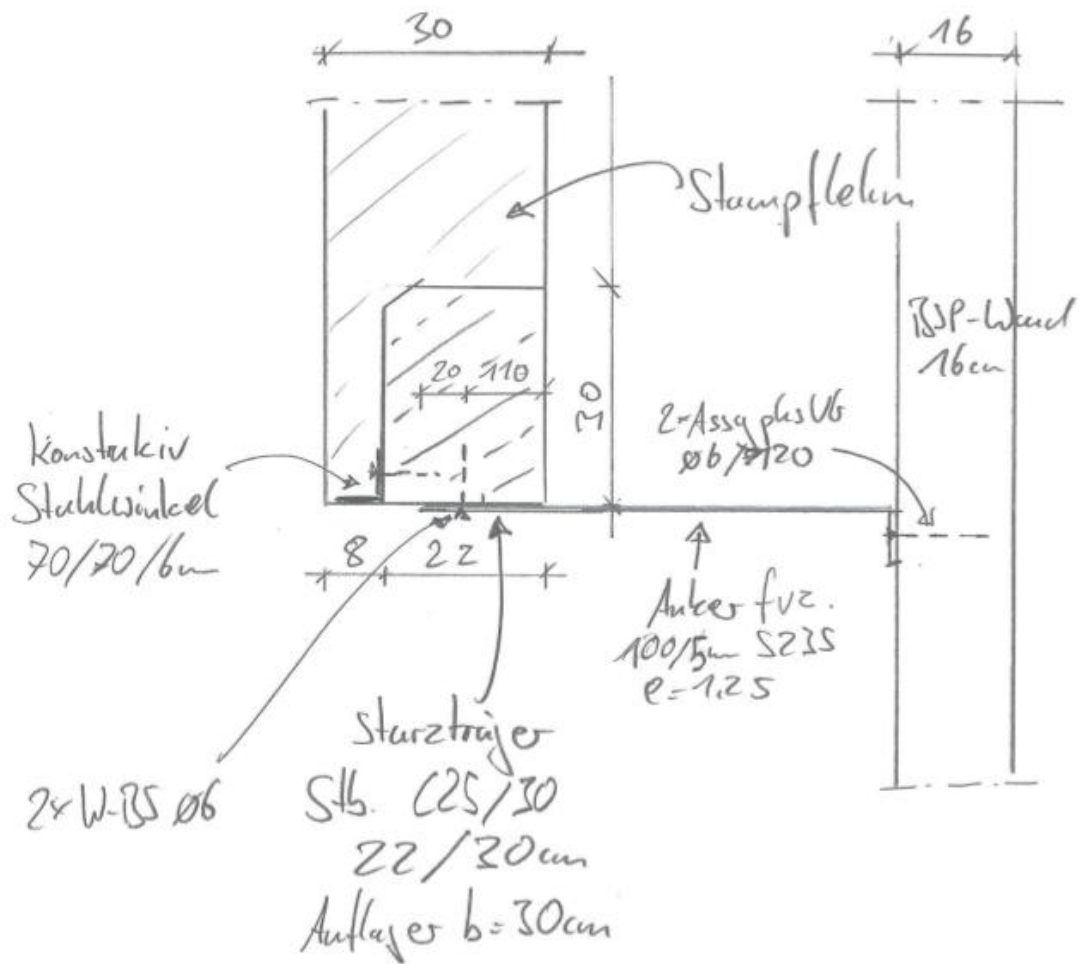
gewählt: Stb.-Ankerbalken C25/30 B500B 22/30cm

XC1/ W0 $c_{nom} = 20\text{mm}$

Oben: 2 x $\emptyset 12$

Oben: 3 x $\emptyset 12$

Bügel $\emptyset 6$ e=20 cm

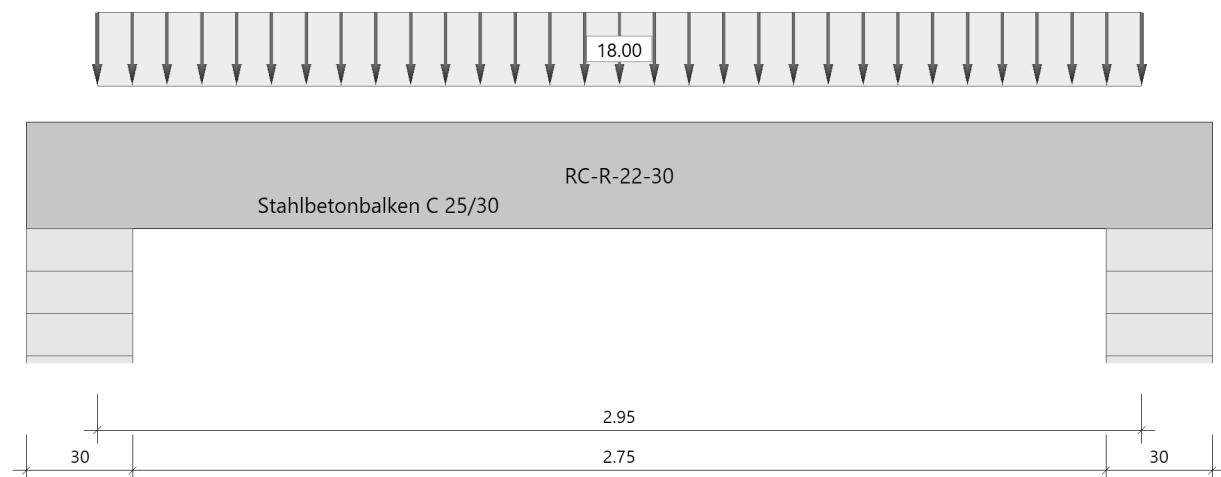


Pos. W02.3 Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P07)

GrundparameterStahlbetonbalken $E = 31000 \text{ N/mm}^2$

DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12

System**Systembild****Material****Materialauswahl**Fertigteil C 25/30 $f_{ck} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ Betonstahl B500A $f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$ $k(f_t/f_y) = 1.05$ $E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)**Geometrie****Querschnitte**

Nr	Art	b_o [cm]	h_o [cm]	b [cm]	h [cm]	b_u [cm]	h_u [cm]
1	Rechteck			22.0	30.0		

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	uy [kN/m]	uz [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	2.95	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	GL		2.95		18.00		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{Fi} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
Basis	:	EN 1992-1-1:2004/A1:2014
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Zugversteifung GZG	:	wird angesetzt
Nachweis Spannungsbegrenzung	:	wird geführt
Überprüfung des lin. Kriechansatzes	:	wird geführt

Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	W0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 6 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 12 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 12 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 26 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl und Schwindmaß

wirksame Bauteildicke	$h_0 = 12.7 \text{ cm}$	
Luftfeuchte	$LU = 50 \%$	Zement Typ N,R
Normalbeton	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	$t = \text{unendlich}$
Kriechzahl	$\varphi(t_0, t) = 2.84$	
Schwindmaß	$\varepsilon_{cs}(t) = -0.53 \%$	

Betondeckung

Betondeckung	unten = 2.0 cm	oben = 2.0 cm
	links = 2.0 cm	rechts = 2.0 cm
Bewehrungslagen	unten = 3.2 cm	oben = 3.2 cm
Abminderung der Stützmomente $\leq 15 \%$		

Bemessungseinstellungen

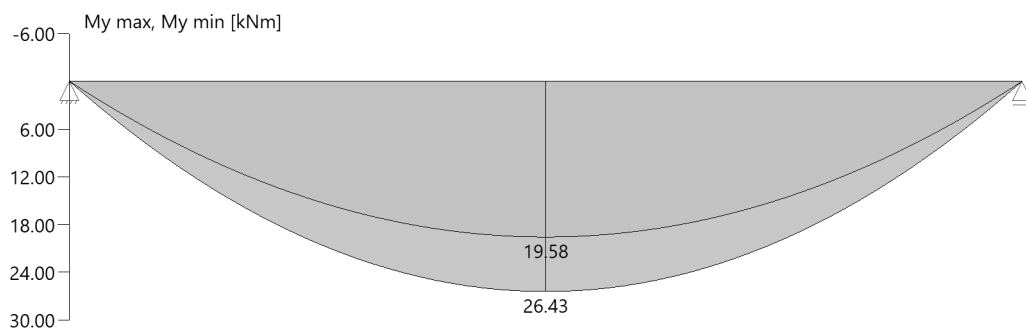
- Die Feldbewehrung ist gestaffelt.
- Die Duktilitätsbewehrung nach 9.2.1.1 ist in erf As enthalten.
- Grenze $k_x < .45$ wird eingehalten.
- Mitwirkende Plattenbreite wird bei der Bemessung berücksichtigt.
- Verankerung am Endauflager ist nur 50% von VEd an VK Endauflager.
- Verankerung am Endauflager von VEd an VK Endauflager mal $\cot(\Theta)/2$.

Auflagerbedingungen

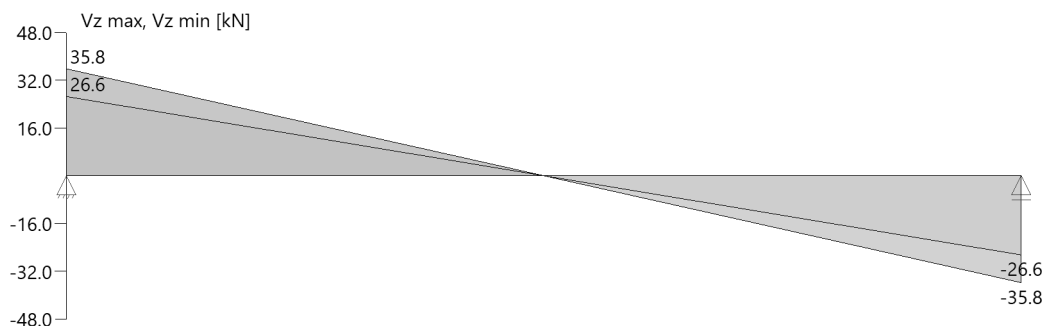
Alle Auflager gleich : Mauerwerk $b = 30.0 \text{ cm}$

Tragsicherheit - Lastkombination ständig/vorübergehend**Schnittgrößen**

Umhüllende der Momente



Umhüllende der Querkkräfte

**Schnittgrößen**

Feld	X_{rel} [m]	X [m]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{z,Ed}$ [kN]	Lk
Feld 1	0.00	0.00	0.00	35.8	1
	0.00	0.00	0.00	26.6	2
	1.48	1.48	26.43	0.0	1
	2.95	2.95	0.00	-26.6	2
	2.95	2.95	0.00	-35.8	1
	2.95	2.95	0.00	-35.8	1

Mindestbewehrung EN2 9.2.1.1 (9.1)

Querschnitt	min μ_u [kNm]	erf A_{su} [cm ²]	min μ_o [kNm]	erf A_{so} [cm ²]
22.0/30.0	8.46	0.7	-8.46	0.7
Plattenbreite wurde für die Berechnung von W_y auf $3 \cdot b_0$ begrenzt.				

Feldbewehrung

Feld	x_{rel} [m]	x [m]	M_{yd} [kNm]	$min\ M_{yd}$ [kNm]	d [cm]	k_x	A_{su} [cm ²]	A_{so} [cm ²]		L_k
Feld 1	1.48	1.48	26.43	26.43	26.8	0.16	2.3	0.0		1
	2.71	2.71	7.90	7.90	26.8	0.06	0.7	0.0	1	1

Am ersten Auflager sind mindestens 1.2 cm² zu verankern.Am letzten Auflager sind mindestens 1.2 cm² zu verankern.Querkraft VK-Lager ist mit $F = V_{Ed} \cdot \cot(\theta) / 2$ berücksichtigt.

1 : Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1 9.2.1.1 (1)

Querkraftbewehrung

Stütze [Nr]		x_{rel} [m]	x [m]	k_z	V_{Ed} [kN]	θ [°]	$VR_{d,c}$ [kN]	$VR_{d,max}$ [kN]	a_{max} [cm]	a_{sw} [cm ² /m]	L_k
1	rechts	0.10	0.10	0.81	33.4	18.4	26.7	151.5	$VR_{d,max} > V_{Ed}$		
	rechts	0.37	0.37	0.81	26.9	18.4	26.7	151.5	21.0	1.81 ¹	1
	*	0.64	0.64	0.81	20.4	18.4	26.7	151.5	21.0	1.81 ¹	1
2	links	0.10	2.85	0.81	-33.4	18.4	26.7	151.5	$VR_{d,max} > V_{Ed}$		
	links	0.37	2.58	0.81	-26.9	18.4	26.7	151.5	21.0	1.81 ¹	1
	*	0.64	2.31	0.81	-20.4	18.4	26.7	151.5	21.0	1.81 ¹	1

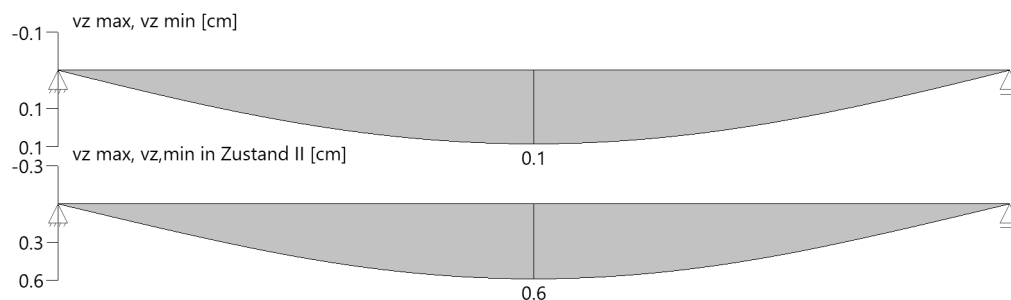
* Flächengleicher Einschnitt der Schublinie

Der max. Bügelabstand wird mit $\theta \geq 40^\circ$ ermittelt (Heft 525 DAfStb).

1 : Mindestbügelbewehrung

Gebrauchstauglichkeit**Grafik Verformungen**

Umhüllende der Verformungen - Gebrauchstauglichkeit

**Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch****Durchbiegungen Zustand I**

Baugruppe	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	Lfk
Feld 1	1.48	0.0	0.1	3

Durchbiegungen Zustand IIBerechnung mit effektiven Steifigkeiten und effektiver Kriechzahl: $\varphi_{eff} = 2.84$ $\epsilon_{cs} = -0.53 \text{ ‰}$

Kombination charakteristisch

Mit Nachweis der relativen Grenzverformung ($l_{eff} / 500$)

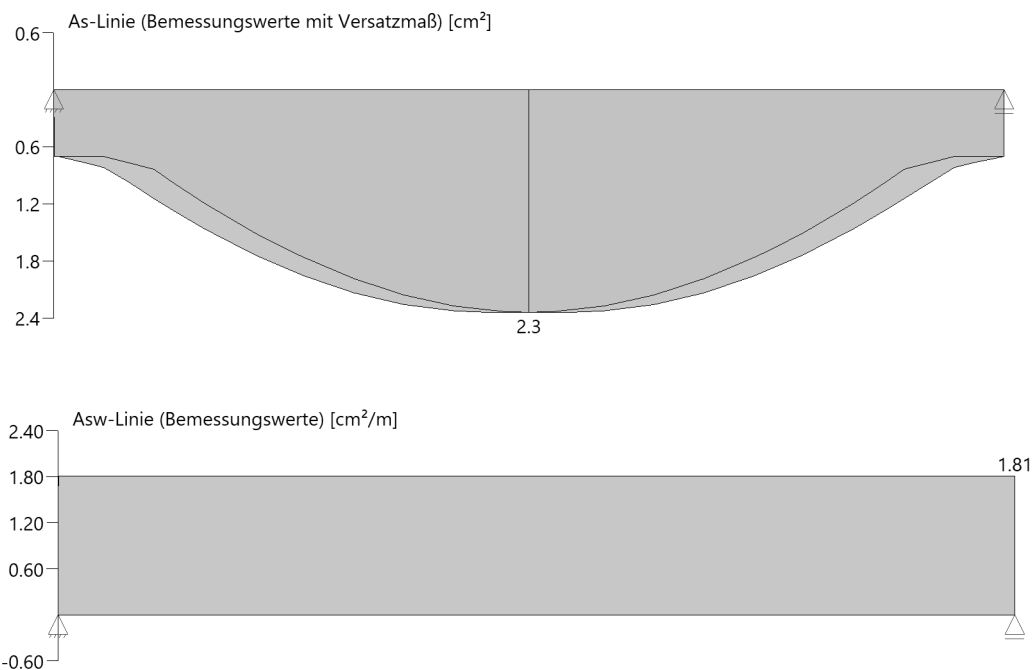
Feld	x [m]	$f_{Ell,z,g}$ [cm]	$f_{Ell,z,g} / l_{eff}$	$f_{Ell,z,\varphi\epsilon}$ [cm]	$f_{Ell,z,\varphi\epsilon} / l_{eff}$	$f_{Ell,\varphi\epsilon}$ [cm]	η
Feld 1	1.48	0.4	1/664	0.6	1/500	0.6	1.00

 x : Stelle x $f_{Ell,z,g}$: Vertikale Durchbiegung im Zustand II infolge ständiger Lasten $f_{Ell,z,\varphi\epsilon}$: Maßgebende vertikale Durchbiegung im Zustand II mit Kriechen und Schwinden $f_{Ell,\varphi\epsilon}$: maßgebende Durchbiegung

Spannungsbegrenzung**Nachweis Gebrauchstauglichkeit: quasi ständ. Kombination**

Nachweis der Rissbreite: $XC1/W0 \rightarrow \text{zul } w_k = 0.40 \text{ mm}$
nach EN2 7.2(3) $s_C = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.25 \text{ N/mm}^2$

Feld	x [m]	My [kNm]	Asu [cm ²]	Aso [cm ²]	$\sigma_S(t=\infty)$ [N/mm ²]	$\sigma_C(t=0)$ [N/mm ²]	vorh ds [mm]	zul ds [mm]	Lfk
Feld 1	0.00	0.03	3.4	2.3	1.19	-0.04	12	100	4
	1.24	19.09	3.4	2.3	238.95	-10.40	12	15	4
	1.48	19.58	3.4	2.3	245.06	-10.70	12	15	4
	1.71	19.09	3.4	2.3	238.95	-10.40	12	15	4
	2.95	0.03	3.4	2.3	1.19	-0.04	12	100	4

As-Deckungslinien**Biegebewehrung unten**

von [m]	bis [m]	Länge [m]	As,erf.,unten [cm ²]	$\Sigma A_{s,vorh.,unten}$ [cm ²]	Summe [cm ²]	As,vorh.,unten [Anz. Ø mm]
0,00	2,95	2,95	2,3	3,4	3,4	3Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Biegebewehrung oben

von [m]	bis [m]	Länge [m]	As,erf.,oben [cm ²]	$\Sigma A_{s,vorh.,oben}$ [cm ²]	Summe [cm ²]	As,vorh.,oben [Anz. Ø mm]
0,00	1,65	1,65	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹
1,65	2,95	1,30	0,0	2,3	2,3	2Ø12 ¹

1 : erste Lage durchlaufend

Schubbewehrung

von [m]	bis [m]	Länge [m]	As,erf. [cm ² /m]	As,vorh. [cm ² /m]	As,vorh. [Anz. Ø mm / cm]
-0,13	3,08	3,20	1,8	2,8	Ø6/20

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

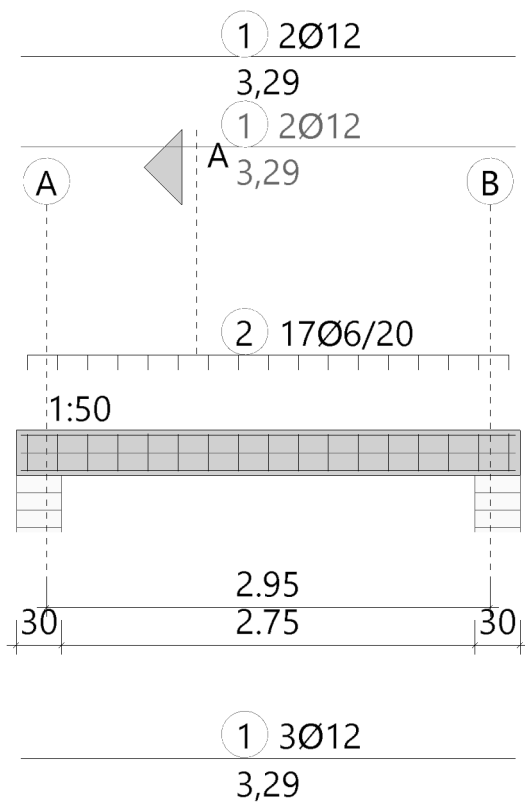
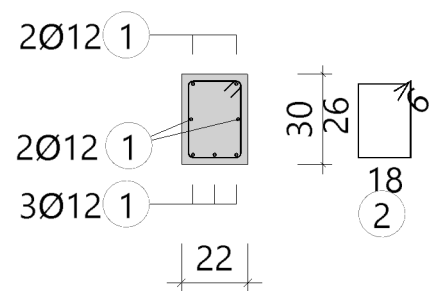
Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN]	$R_{z,max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNm]	$M_{y,max}$ [kNm]
1	0.00	ständig	26.6	26.6		
2	2.95	ständig	26.6	26.6		

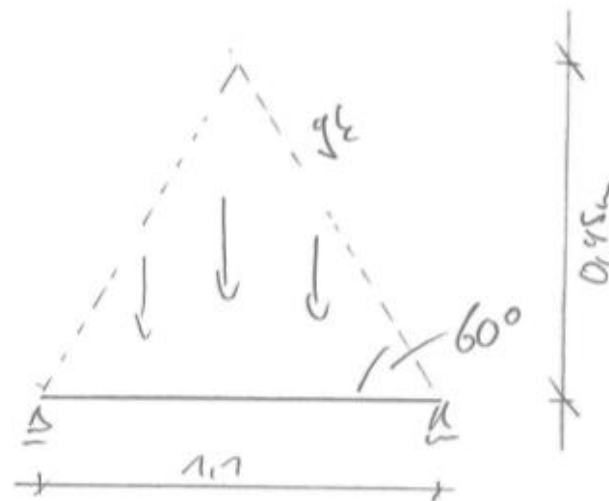
Maßgebliche Kombinationen

In der folgende Tabelle sind die Lasten mit der internen Nummer angegeben. Die anschließende Tabelle der maßgeblichen Kombinationen referenziert auf diese Nummern.

generierte Last	Feld	Ewg	orig. Last	W1	W2	A [m]	L [m]
L 1	*	ständig	1	18.00	18.00	0.00	2.95

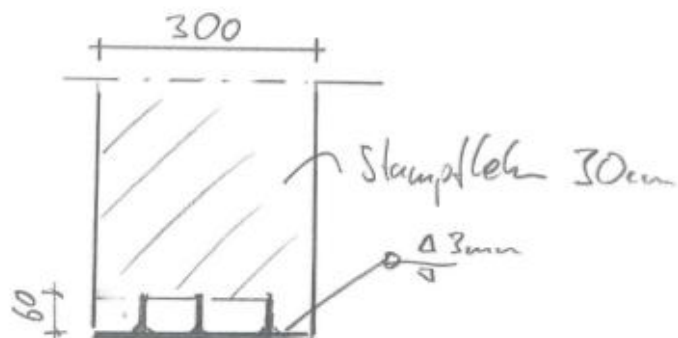
gen. Last	Lk 1	Lk 2	Lk 3	Lk 4
L 1	1.35	1.00	1.00	1.00

Bewehrung**Schnitt A - A**

Pos. W02.4 Sturzträger S235 3x 10/60 mm

$$q_k = 0,95 \times 0,3 \times 24 \text{ kN/m}^2 = 6,84 \text{ kN/m}$$

gewählt: 3x Flachstahl 10/60 S235



Sturzträger
 Stg 3x Flachstahl 10/60mm
 Untersart Flachstahl 6/300mm
 je Auflager 1x Schottenblech 10/60/200
 Auflager b = 25cm

Pos. W02.4 Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P04)

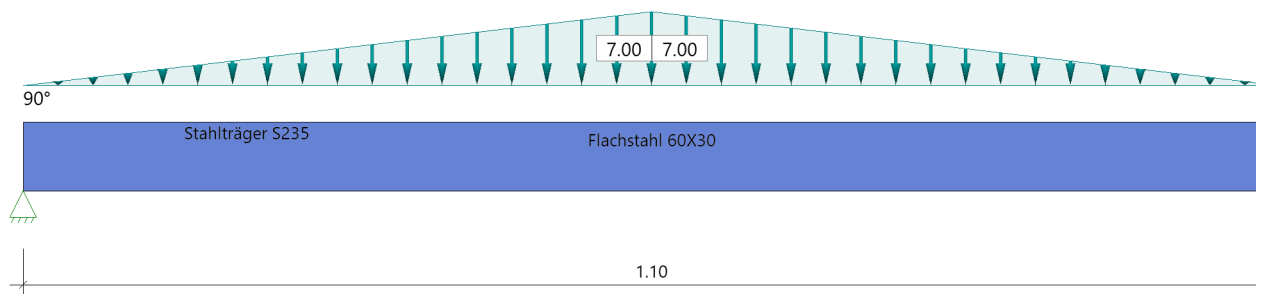
Grundparameter

Stahlträger, DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Stahlgüte: S235

System

Systembild



Geometrie

Querschnitte

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
Flachstahl 60X30	14	54	9	18	18.0
Querschnitt ist konstant über gesamte Trägerlänge.					

Felder

Feld	Länge [m]	Querschnitt	Gedreht
1	1.10	Flachstahl 60X30	90°

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	u _y [kN/m]	u _z [kN/m]	Verdrehungen*)		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	1.10	-1	-1	0.0	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten

Streckenlasten

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt
System	1	DL		0.55	0.55	7.00		Nein	ständig		
Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL) A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger EG : Lasteinwirkung Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe Alt : Alternativgruppe											

Eigengewicht

Gesamtgewicht = 16 kg mit Gamma = 78.50 kN/m³ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Basis	:	EN 1993-1-1:2010
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit	:	charakteristisch
Nachweis Absolutverformung mit	$\delta_{lim} =$	5.0 cm
Nachweis Relativverformung (Durchbiegung) mit	$\delta_{lim} =$	Kragarm $l_{eff}/500$
	$\delta_{lim} =$	Felder $l_{eff}/500$

Zusammenfassung

Nachweis	Bemessungssituation	η_{QS}	η_{Stabi}	$\eta_{Verformung}$
Tragfähigkeit	ständig/vorübergehend	0.15	¹⁾	
Gebrauchstauglichkeit	charakteristisch			0.35
¹⁾ Stabilitätsnachweis wurde nicht geführt weil Obergurt kontinuierlich gehalten.				

Tragsicherheit je Querschnitt (kompakt)

Bemessungssituation	Querschnitt	Stelle	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	η_{QS}	η_{Stabi}
ständig/vorübergehend	Flachstahl 60X30	Feld 1, $x = 0.55$	0.0	0.98	0.15	

Nachweis für maximale Auslastung bei $x = 0.55$ m Lk 1

$N_{pId} = 0.0$ kN	$N_{Rd} = 423.0$ kN
$N_{Ed} = 0.0$ kN	$\eta_N = 0.00$
$M_{y,pId} = 0.98$ kNm	$M_{y,Rd} = 6.35$ kNm
$M_{y,Ed} = 0.98$ kNm	$\eta_{My} = 0.15$
$V_{z,pId} = 0.0$ kN	$V_{z,Rd} = 244.2$ kN
$V_{z,Ed} = 0.0$ kN	$\eta_{Vz} = 0.00$
	$\eta = 0.15$

Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch**Verformungsnachweis - Absolutverformung $f_{Cd} = 5.0$ cm**

Feld	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{res,Ed}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.55	0.0	0.1	0.1	0.02	3

Verformungsnachweis - Relativverformung in z $f_{Cd} = l_{eff}/500$

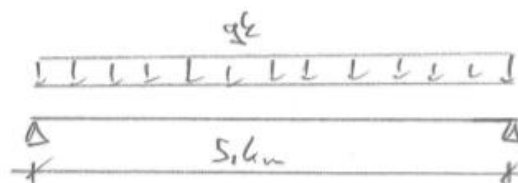
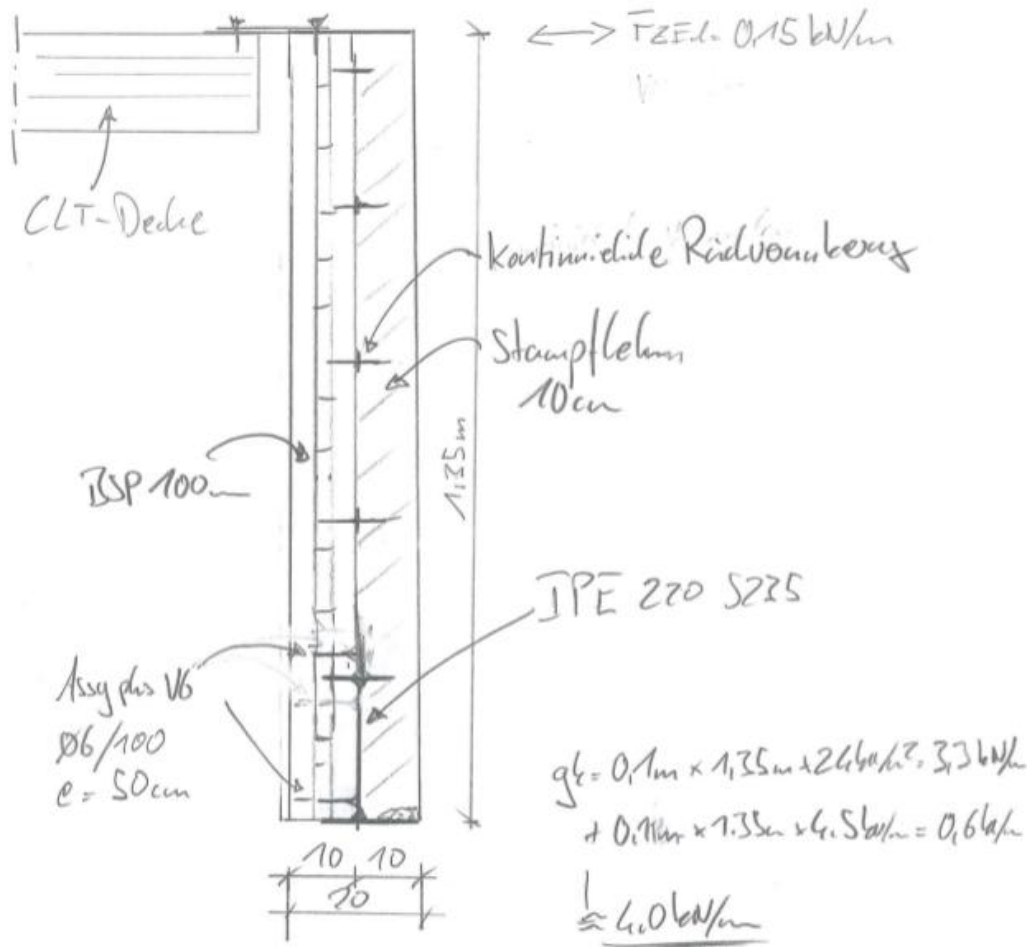
Feld	x [m]	l_{eff} [m]	$l_{eff,x0}$ [m]	$l_{eff,x1}$ [m]	$f_{z,g}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{z,Cd}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	0.55	1.10	0.00	1.10	0.1	0.1	0.2	0.35	3

Feld : Bezeichnung
 x : Koordinate X der berechneten Stelle
 l_{eff} : effektive Länge dieses Abschnittes
 $l_{eff,x0}$: Beginn effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $l_{eff,x1}$: Ende effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie)
 $f_{z,g}$: ständiger Anteil der Verschiebung
 $f_{z,Ed}$: Bemessungswert der Verschiebung
 $f_{z,Cd}$: zulässige Verschiebung aus l_{eff}
 η : größte Auslastung der berechneten Stelle
 Lfk : Lastfallkombination

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

<i>Nr</i>	<i>x</i> [m]	<i>Einwirkung</i>	<i>R_{z,min}</i> [kN]	<i>R_{z,max}</i> [kN]	<i>M_{y,min}</i> [kNm]	<i>M_{y,max}</i> [kNm]
1	0.00	ständig	2.0	2.0		
2	1.10	ständig	2.0	2.0		

Pos. W03 Sturzträger IPE 220 S235



Anlagenkraft
 $F_k = 11,5 \text{ kN}$

$$F_{Ed} = 3,3 \text{ kN/m} \times 0,05 \text{ m} \times 1,35 \\
+ 0,6 \text{ kN/m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,9 \\
= 0,2 \text{ kN/m}$$

$$F_{zEd} = 0,2 \text{ kN/m} / 1,35 \text{ m} \\
= 0,15 \text{ kN/m}$$

gewählt:

Träger IPE 220 S235 / Stütze BSH GI24h 10/30cm

Der untere Flansch muss konstruktiv für 30 Minuten mit einer Brandschutzplatte geschützt werden: 15mm Promatect H oder Fermacell AESTUVER alternativ 35mm Dreischichtplatte. Der Träger ist umlaufend durch das BSP und STL für 30 min geschützt.

Nachweis Auflager Träger auf Stampflehmwand

$$\begin{aligned} F_{Rd} &= f_{cd} \times A = 0,087 \text{ kN/cm}^2 \times 30 \text{ cm} \times 11 \text{ cm} \\ &= 28,71 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 11,5 \text{ kN} \times 1,35 = 15,5 \text{ kN} \quad \checkmark \end{aligned}$$

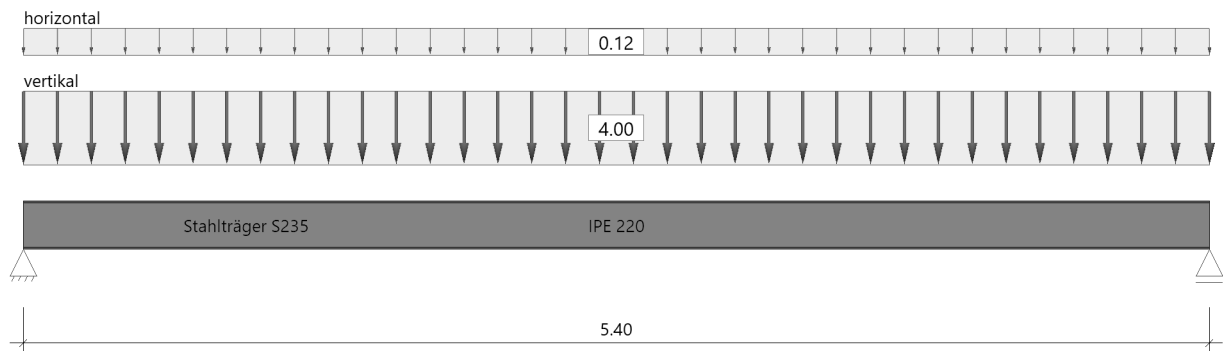
Pos. W03.1 Sturzträger

Durchlaufträger (x64) DLT+ 02/25 (FRILO R-2025-2/P07)

Grundparameter

Stahlträger 2-achsig, DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Stahlgüte: S235

System**Systembild****Geometrie****Querschnitte**

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
IPE 220	2772	205	252	37	33.4

Querschnitt ist konstant über gesamte Trägerlänge.

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	u _y [kN/m]	u _z [kN/m]	Verdrehungen ^{*)}		
				Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	5.40	-1	-1	0.0	0.0	0.0

^{*)} -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lasten**Streckenlasten**

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m]	W2 [kN/m]	wirkt Feldweise	EG	Zus	Alt	Phi
System	1	GL		5.40		4.00		Nein	ständig			
	2	GL		5.40		0.12		Nein	ständig			90.00

Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast
 Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL)
 A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger
 EG : Lasteinwirkung
 Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe
 Alt : Alternativgruppe

EigengewichtGesamtgewicht = 142 kg mit Gamma = 78.50 kN/m³ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen**Einwirkungen**

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
ständig				1.00	1.35
Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{FI} = 1.0$ Tab. B3					

Ergebnisse**Bemessungsparameter**

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Basis	:	EN 1993-1-1:2010
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Schadensfolgeklasse	:	CC 2
$\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit	:	charakteristisch
Nachweis Absolutverformung mit	$\delta_{lim} =$	5.0 cm
Nachweis Relativverformung (Durchbiegung) mit	$\delta_{lim} =$	Kragarm $l_{eff}/ 500$
	$\delta_{lim} =$	Felder $l_{eff}/ 500$

Zusammenfassung

Nachweis	Bemessungssituation	η_{QS}	η_{Stabi}	$\eta_{Verformung}$
Tragfähigkeit	ständig/vorübergehend	0.31	¹⁾	
Gebrauchstauglichkeit	charakteristisch			0.75

¹⁾ Stabilitätsnachweis wurde nicht geführt weil Obergurt kontinuierlich gehalten.

Tragsicherheit je Querschnitt (kompakt)

Bemessungssituation	Querschnitt	Stelle	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	η_{QS}	η_{Stabi}
ständig/vorübergehend	IPE 220	Feld 1, $x = 2.70$	0.0	20.97	0.0	-0.59	0.31	

Nachweis für maximale Auslastung bei $x = 2.70$ m Lk 2

$N_{pId} = 0.0$ kN	$N_{Rd} = 784.9$ kN
$N_{Ed} = 0.0$ kN	$\eta_N = 0.00$
$M_{y,pId} = 20.97$ kNm	$M_{y,Rd} = 67.24$ kNm
$M_{y,Ed} = 20.97$ kNm	$\eta_{My} = 0.31$
$V_{z,pId} = 0.0$ kN	$V_{z,Rd} = 215.9$ kN
$V_{z,Ed} = 0.0$ kN	$\eta_{Vz} = 0.00$
$M_{z,pId} = -0.59$ kNm	$M_{z,Rd} = 13.67$ kNm
$M_{z,Ed} = -0.59$ kNm	$\eta_{Mz} = 0.04$
$V_{y,pId} = 0.0$ kN	$V_{y,Rd} = 274.6$ kN
$V_{y,Ed} = 0.0$ kN	$\eta_{Vy} = 0.00$
$\eta = 0.31$	

Gebrauchstauglichkeit - Lastkombination charakteristisch**Verformungsnachweis - Absolutverformung $f_{cd} = 5.0$ cm**

Feld	x [m]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{res,Ed}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	2.70	-0.3	0.8	0.9	0.17	3

Verformungsnachweis - Relativverformung in z $f_{Cd} = l_{eff}/500$

Feld	x [m]	l_{eff} [m]	$l_{eff,x0}$ [m]	$l_{eff,x1}$ [m]	$f_{z,g}$ [cm]	$f_{z,Ed}$ [cm]	$f_{z,Cd}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	2.70	5.40	0.00	5.40	0.8	0.8	1.1	0.75	3
Feld : Bezeichnung x : Koordinate X der berechneten Stelle l_{eff} : effektive Länge dieses Abschnittes $l_{eff,x0}$: Beginn effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie) $l_{eff,x1}$: Ende effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie) $f_{z,g}$: ständiger Anteil der Verschiebung $f_{z,Ed}$: Bemessungswert der Verschiebung $f_{z,Cd}$: zulässige Verschiebung aus l_{eff} η : größte Auslastung der berechneten Stelle Lfk : Lastfallkombination									

Verformungsnachweis - Relativverformung in y $f_{Cd} = l_{eff}/500$

Feld	x [m]	l_{eff} [m]	$l_{eff,x0}$ [m]	$l_{eff,x1}$ [m]	$f_{y,g}$ [cm]	$f_{y,Ed}$ [cm]	$f_{y,Cd}$ [cm]	η	Lfk
Feld 1	2.70	5.40	0.00	5.40	0.3	0.3	1.1	0.29	3
Feld : Bezeichnung x : Koordinate X der berechneten Stelle l_{eff} : effektive Länge dieses Abschnittes $l_{eff,x0}$: Beginn effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie) $l_{eff,x1}$: Ende effektive Länge dieses Abschnittes (Wendepunkt in Biegelinie) $f_{y,g}$: ständiger Anteil der Verschiebung $f_{y,Ed}$: Bemessungswert der Verschiebung $f_{y,Cd}$: zulässige Verschiebung aus l_{eff} η : größte Auslastung der berechneten Stelle Lfk : Lastfallkombination									

Auflagerkräfte**Auflagerkräfte - charakteristisch je Einwirkung**

Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN]	$R_{z,max}$ [kN]	$M_{y,min}$ [kNm]	$M_{y,max}$ [kNm]	$R_{y,min}$ [kN]	$R_{y,max}$ [kN]	$M_{z,min}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]
1	0.00	ständig	11.5	11.5			0.3	0.3		
2	5.40	ständig	11.5	11.5			0.3	0.3		

Pos. W03.2 Stütze

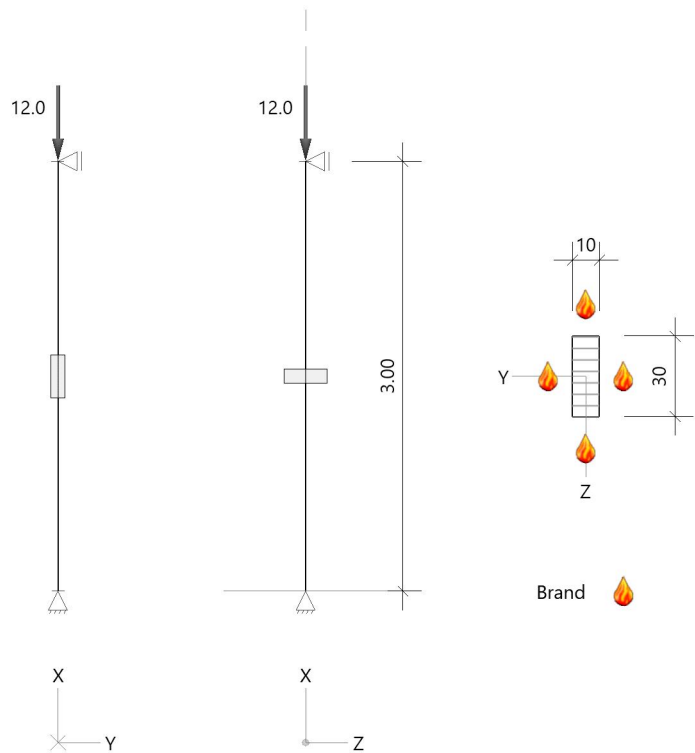
Holzstütze (x64) HO1+ 02/2025 (FRILO R-2025-2/P07)

System

Norm

Bemessung DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08
 Basierend auf EN 1995-1-1/A2:2014
 Kombinatorik DIN EN 1990/NA:2010-12
 Schadensfolgeklasse CC 2

Systembild 2D



System

Pendelstütze, H=3.00m, b/h=10.0/30.0cm, GL24h, NKL 1, EN 14080:2013
Lamellen/Schichten parallel b(y)

Lasten

Liste der Lasten

Nr	Typ	EWG	Q1	a1	Q2	L2	Fak	Grp	Info
1	2 X	99	0.4	3.00			1.00		AUTO_G_Mat
2	2 X	99	12.0	3.00			1.00		
Typ: 2 = Einzellast: Q1[kN] bei a1[m]; a1 = Abstand von Fußpunkt									
EWG: 99=ständig									

Im Brandfall

Brandschutz

Feuerwiderstand	30 min
Brandbeanspruchung Seite	links, rechts, oben, unten

Abbrand**Abbrand Querschnitte Brettschichtholz**

		Links	Rechts	Oben	Unten
Abbrandtiefe gesamt	d_{char} [mm]	21.0	21.0	21.0	21.0
Abbrandrate(Durchschnitt)	β [mm/min]	0.700	0.700	0.700	0.700

Bemessung / Nachweis**Knick- u. Kipplängen**

Berechnung Knick- u. Kipplängen

Biegeknicken(S) $s_k =$ SystemlängenBiegedrillknicken(S) $s_b =$ Systemlängen

(S) Berechnung über Abstände der starren Lager

Bemessungsergebnisse maßgebende Kombinationen (Kurzausgabe)**LK 1: Tragfähigkeit, ständig/vorübergehend**

Querschnitt	N,M,V [kN,kNm]	Beiwerte		σ, τ [N/mm ²]	$f_{...d}$ [N/mm ²]	η
Nachweis Querschnitt $x=2.25m$ $b/h=10.0/30.0cm$						
N_x N, M	-16.7	$K_{mod}=0.60$	$\gamma_M=1.30$	-0.56	11.08	0.05 0.05
Nachweis Stabilität $x=2.25m$ $b/h=10.0/30.0cm$						
N_x N, M	-16.7	$K_{mod}=0.60$ $k_{c,y}=0.97$	$\gamma_M=1.30$ $k_{c,z}=0.34$	-0.56	11.08	0.15 0.15
LK1: 1.35*G1 Lamellenrichtung b Knicklänge: $s_{ky}=3.00m$ $s_{kz}=3.00m$ Kipplänge: $s_b=3.00m$ Schlankheit: $\lambda_y=34.6$ $\lambda_z=103.9$ $\lambda_{rel,c,y}=0.55$ $\lambda_{rel,c,z}=1.65$ $\lambda_{rel,m,y}=0.55$ $\lambda_{rel,m,z}=0.20$ Anteil $N(g)/N(g+q) = 100\%$ (NCI NA.5.9); $\psi_2(LF, \sigma_{max}) = 0.00$; $K_{def} = 0.60$ Festigkeiten modifiziert nach EN 1995-1-1 Abs.3.3 + NA/NCI 3.3						

LK 4: Tragfähigkeit, Brand

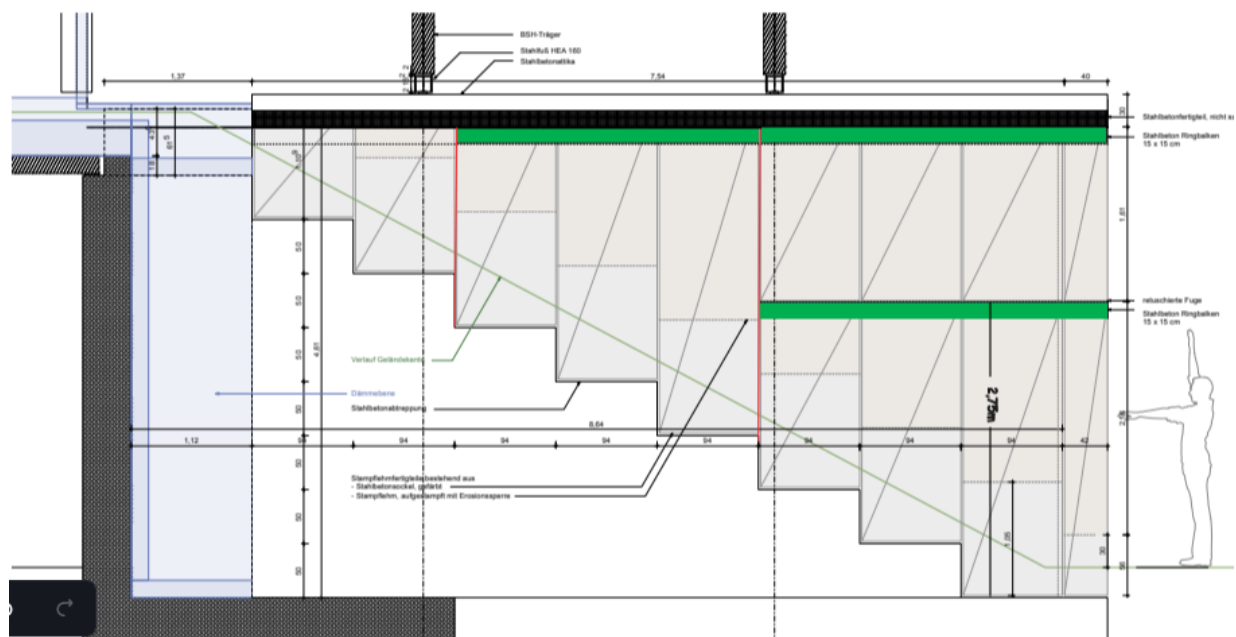
Querschnitt	N,M,V [kN,kNm]	Beiwerte		σ, τ [N/mm ²]	$f_{...d}$ [N/mm ²]	η
Nachweis Querschnitt $x=3.00m$ GV: $b/h=5.8/25.8cm$						
N_x N, M	-12.4	$k_{mod,M}=0.79$	$k_{mod,c}=0.66$	$k_{fi}=1.15$ -0.83	18.27	0.05 0.05
Nachweis Stabilität $x=3.00m$ GV: $b/h=5.8/25.8cm$						
N_x N, M	-12.4	$k_{mod,M}=0.79$ $k_{c,y}=0.96$	$k_{mod,c}=0.66$ $k_{c,z}=0.16$	$k_{fi}=1.15$ -0.83	18.27	0.29 0.29
LK4: 1.00*G1 Lamellenrichtung b Knicklänge: $s_{ky}=3.00m$ $s_{kz}=3.00m$ Kipplänge: $s_b=3.00m$ Schlankheit: $\lambda_y=40.3$ $\lambda_z=179.2$ $\lambda_{rel,c,y}=0.56$ $\lambda_{rel,c,z}=2.48$ $\lambda_{rel,m,y}=0.83$ $\lambda_{rel,m,z}=0.20$ Anteil $N(g)/N(g+q) = 100\%$ (NCI NA.5.9); $\psi_2(LF, \sigma_{max}) = 0.00$; $K_{def} = 0.60$ GV=genaues Verfahren; VV=Vereinfachtes Verfahren Festigkeiten modifiziert nach EN 1995-1-1 Abs.3.3 + NA/NCI 3.3 + EN 1995-1-2 Tab.2.2						

Maßgebende Verformungen $w=0 \Rightarrow \eta=0$ Unberücksichtigte Kombinationen: Brand

Pos. W04 Stampflehmwand STL 3.0

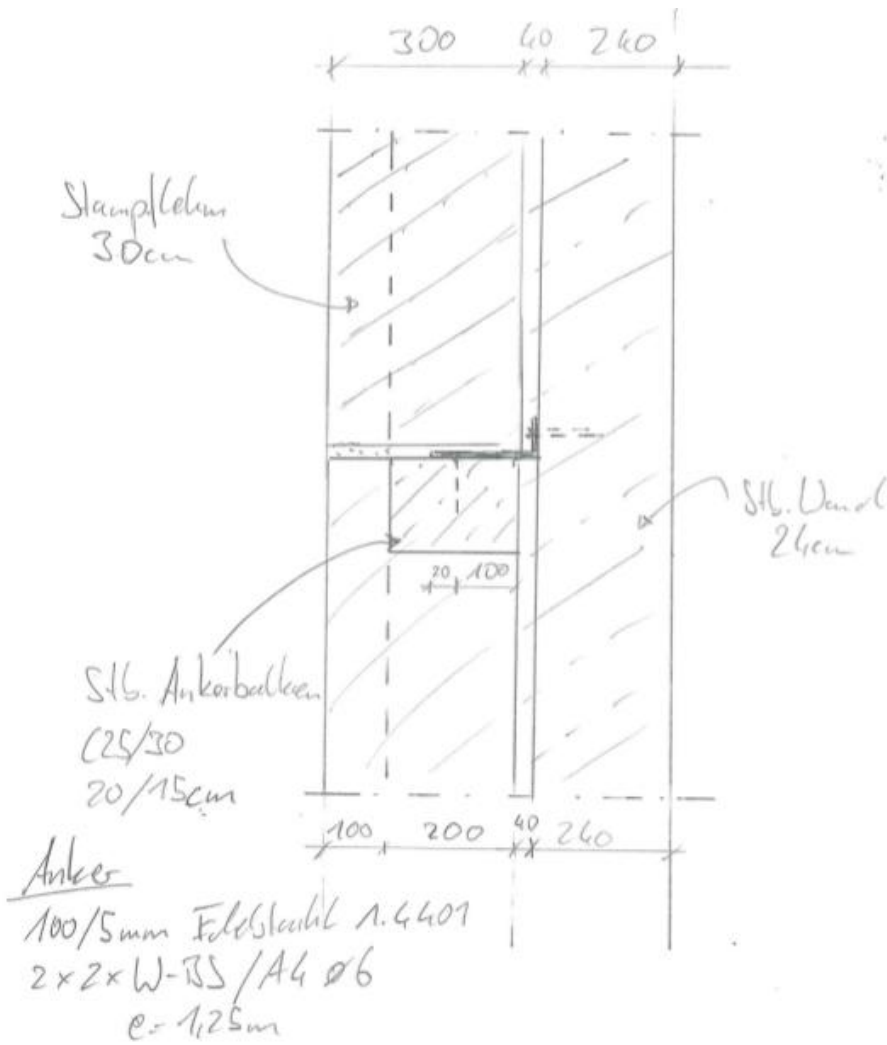
Die Stampflehmwand wird an der unteren Wand am Kopf-, Mitte- und Fußpunkt nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt anhand eines Wandquerschnitts von 20 cm, da eine Erosionsschicht von 5 cm und eine Pufferschicht von 5 cm im Tragwerk nicht berücksichtigt werden.

Maßgebende Höhe ist 2,75m.



gewählt: Stampflehm NKL 3 mittlere Druckfestigkeit 3,0 N/mm²

Detail Ankerbalken



Ermittlung Tragfähigkeit F_{Rd}

Außenwand				
mittlere Druckfestigkeit	$f_{m,c}$		0,30	kN/cm ²
Beiwert zur charakteristischen Druckfestigkeit	k_c	=	0,80	
Formbeiwert	k_F	=	0,80	
$f_{cm} = f_{cm,Würfel} \times k_F$ $f_{ck} = f_{cm} \times k_c$	$f_{c,k}$	=	0,19	kN/cm ²
Dauerstandsfaktor DIN 18940	ζ	=	0,85	
Materialbeiwert DIN 18940	M	=	0,55	
Material Überwachungsklasse	k_u	=	1,00	
Materialsicherheitsbeiwert	γ_m	=	1,50	
$f_{cd} = f_{ck} \times \frac{\zeta \times M \times k_u}{\gamma_m}$	$f_{c,d}$	=	0,060	kN/cm ²
Abmessungen				
Wanddicke	t	=	30,0	cm
Pufferschicht	t _p	=	5,0	cm
Erosionsschicht	t _e	=	5,0	cm
effektive Wanddicke	t _{ef}	=	20,0	cm
Wandlänge	l	=	100,00	cm
	h	=	275	cm
	h _{min}	=	240	cm
Mindestauflast				
	w _{ED}	=	1,20	kN/m ²
$N_{Ed,min} \geq \frac{w_{Ed} \cdot h^2 \cdot l_w}{7 \cdot t}$	h	=	275	cm
	N _{ED,min}	=	6,48	kN

Traglastfaktoren				
Wandkopf +Fuß				
keine Deckenverdrehung / Ringbalken	$\Phi_1 =$	0,9		
$\Phi_1 = \begin{cases} 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k \geq 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 & \text{für } M \cdot f_k < 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{cases}$	$M \cdot f_k =$	1,056	N/mm ²	
	F_{RD}	=	161,6	kN
Wandmitte				
$\Phi_2 = 0,9 - 0,03 \cdot \frac{h_{ef}}{t} \leq 0,8$	$\Phi_2 =$	0,488		
	F_{RD}	=	58,3	kN
Lehmbauregeln				
effektive Bauteildicke für LBR	t	=	25,00	cm
	$f_{c,LBR}$		0,04	kN/cm ²
	$F_{R,LBR}$		100	kN
Vergleich Lehmbauregeln - Bemessungskonzept [W-2024]				
Einwirkungs-Sicherheitsbeiwert	γ_F	=	1,35	
	$F_{R,LBR} \cdot \gamma_F$	=	135	kN
	$\eta = F_{Rd} / F_{R,LBR} \cdot \gamma_F$	=	0,43	

Nachweis im Wandquerschnitt

Kopf

$$F_{Ed} = 1,93 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 13,9 \text{ kN/m} < F_{Ed, \text{Kopf}} = 161,6 \text{ kN} \checkmark$$

Mitte

$$F_{Ed} = 3,305 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 23,8 \text{ kN/m} < F_{Ed, \text{Mitte}} = 58,3 \text{ kN} \checkmark$$

Fuß

$$F_{Ed} = 4,13 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 30,0 \text{ kN/m} < F_{Ed, \text{Fuß}} = 161,6 \text{ kN} \checkmark$$