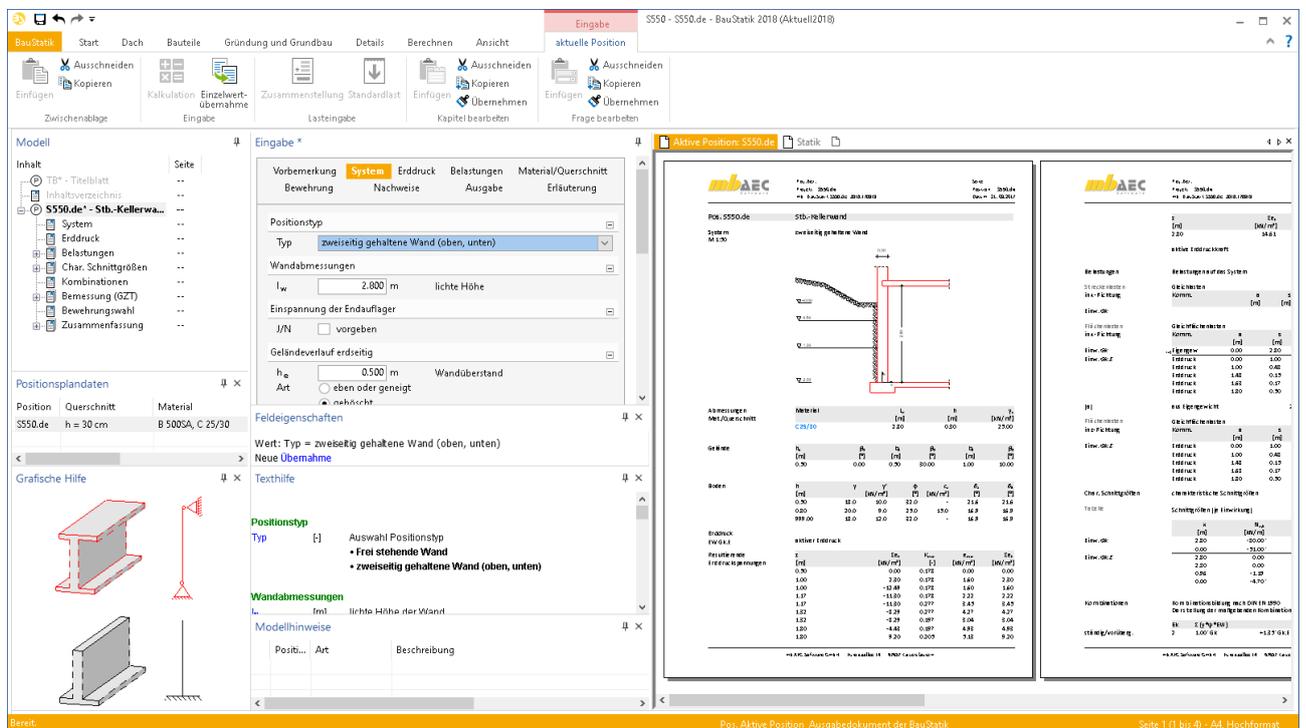


Dipl.-Ing. David Hübel

Kelleraußenwände aus Stahlbeton

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S550.de Stahlbeton-Kellerwand – EC 2, DIN EN 1992-1-1:2011-01

Für den Nachweis von Kellerwänden stellt neben der Bemessung der Wand die Lastermittlung in Form eines Erddrucks aus Bodeneigenlast sowie Geländelasten eine wichtige Aufgabe dar. Das Modul S550.de ermöglicht die Bemessung von Stahlbeton-Kellerwänden unter Berücksichtigung horizontaler Erddrücke infolge Bodeneigenlasten und von Geländelasten.



Allgemeines

Kellerwände tragen die vertikalen Lasten aus den Geschosdecken und den aufgehenden Geschossen über die Fundamente in den Baugrund ab. Kelleraußenwände erhalten durch Geländelasten eine zusätzliche horizontale Belastung.

Das Modul S550.de ermöglicht die Bemessung von Stahlbeton-Kellerwänden nach DIN 1992-1-1 mit Berücksichtigung horizontaler Erddrücke infolge Bodeneigenlasten sowie Geländelasten nach DIN 4085. Horizontale Erddrücke aufgrund von erdseitigen Geländelasten werden programmseitig ermittelt und im Rahmen der Bemessung als Erddrucklasten auf die Stahlbeton-Kellerwand berücksichtigt.

System

Als statisches System können frei stehende Wände (einseitig gehaltene Wände) sowie zweiseitig gehaltene Wände (oben, unten) untersucht werden. Die Kellerwand wird durch die Vorgabe der lichten Höhe l_w definiert.

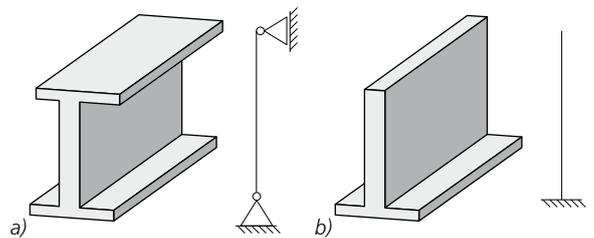


Bild 1. Statische Systeme Stahlbeton-Kellerwand
a) frei stehende Wand
b) zweiseitig gehaltene Wand (oben, unten)

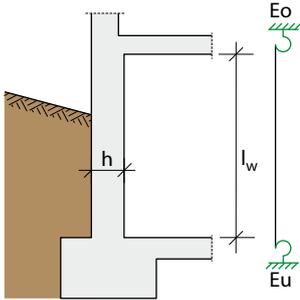


Bild 2. Wandabmessungen und Einspannung Wandkopf bzw. Wandfuß

Zusätzlich kann optional eine Einspannung der Auflager vorgegeben werden. Die Einspannung wird prozentual entsprechend der Länge und der Steifigkeit angesetzt und wird in der statischen Berechnung durch eine Drehfeder berücksichtigt.

Der erdseitige Geländeverlauf kann durch die Vorgabe des Wandüberstandes h_e sowie der Art des Geländeverlaufs definiert werden. Neben dem Standardfall des horizontalen Geländeverlaufs kann der Einfluss einer geneigten Geländeoberfläche oder eines ein- oder mehrfach geböschten Geländeverlaufs berücksichtigt werden.

Vorbemerkung	System	Erddruck	Belastungen	Material/Querschnitt			
Bewehrung	Nachweise	Ausgabe	Erläuterung				
Positionstyp							
Typ: zweiseitig gehaltene Wand (oben, unten)							
Wandabmessungen							
l_w : 2.800 m lichte Höhe							
Einspannung der Endauflager							
J/N: <input type="checkbox"/> vorgeben							
Geländeverlauf erdseitig							
h_e : 0.500 m Wandüberstand							
Art: <input checked="" type="radio"/> eben oder geneigt <input type="radio"/> gebösch							
β_a : 0.00 * Geländeneigung							
Bodenkennwerte							
	h	γ	γ'	φ	c_a	δ_a	δ_0
1	0.500	18.0	10.0	32.00	0.0	21.60	21.60
Wasserstand ständig							
J/N: <input checked="" type="checkbox"/> vorgeben							

Bild 3. Eingabe im Kapitel „System“

Zur Ermittlung des Erddrucks kann das anstehende Erdreich detailliert je Bodenschicht definiert werden. Neben der Schichtdicke h können die üblichen Parameter wie Wichte γ , Wichte unter Auftrieb γ' , Kohäsion des Bodens c_a , den Reibungswinkel des Bodens φ und der Wandreibungswinkel für den aktiven Erddruck δ_a und für den Erdruhedruck δ_0 vorgegeben werden. Weiterhin kann ein ständiger Wasserstand h_{ws} vorgegeben werden.

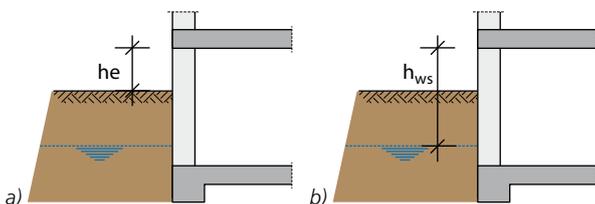


Bild 4. a) Wandüberstand h_e
b) Grundwasserstand h_{ws}

System M 1:50 zweiseitig gehaltene Wand

Abmessungen	Material	l_w	h	γ_c
Mat./Querschnitt	C 25/30	[m]	[m]	[kN/m ³]
		2.80	0.30	25.00
Gelände				
h_e	β_1	b_1	β_2	b_2
[m]	[°]	[m]	[°]	[m]
0.50	0.00	0.50	30.00	1.00
				β_3
				[°]
				10.00
Boden				
h	γ	γ'	φ	c_a
[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]
0.50	18.0	10.0	32.0	-
0.80	20.0	9.0	25.0	15.0
999.00	18.0	12.0	32.0	-
				δ_a
				[°]
				21.6
				δ_0
				[°]
				21.6

Bild 5. Ausgabe Kapitel „System“ mit geschichtetem Boden und mehrfach geböschtem Geländeverlauf

Erddruck

Der belastende Erddruck wird gem. DIN 4085 bestimmt. Hier kann zwischen dem Ansatz des aktiven Erddrucks, dem erhöht aktivem Erddruck oder dem Erdruhedruck gewählt werden.

Vorbemerkung	System	Erddruck	Belastungen	Material/Querschnitt			
Bewehrung	Nachweise	Ausgabe	Erläuterung				
Positionstyp							
Typ: zweiseitig gehaltene Wand (oben, unten)							
Wandabmessungen							
l_w : 2.800 m lichte Höhe							
Einspannung der Endauflager							
J/N: <input type="checkbox"/> vorgeben							
Geländeverlauf erdseitig							
h_e : 0.500 m Wandüberstand							
Art: <input checked="" type="radio"/> eben oder geneigt <input type="radio"/> gebösch							
β_a : 0.00 * Geländeneigung							
Bodenkennwerte							
	h	γ	γ'	φ	c_a	δ_a	δ_0
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[°]	[°]
1	0.500	18.0	10.0	32.00	0.0	21.60	21.60
Wasserstand ständig							
J/N: <input checked="" type="checkbox"/> vorgeben							

Bild 6. Eingabe Kapitel „Erddruck“

Das Modul berechnet die jeweilige Erddruckfigur nach DIN 4085 und die resultierenden Lastordinaten inklusive ihrer Angriffspunkte. Der belastende Erddruck wird zunächst an einem um den Wandfuß verdrehbaren System ermittelt. Ergeben sich aus der Wandkonstruktion andere Verformungsbilder, ist der Erddruck flächengleich umzulagern. Tabelle B.1 der DIN zeigt die Erddruckfiguren aus Bodeneigenlast bei nichtbindigen Böden für verschiedene Verformungsbilder (siehe Tabelle 1).

Neben den Bodenparametern φ , c und γ für die vorhandenen Bodenschichten werden dabei der Grundwasserstand, Geländeaufasten, Horizontallasten sowie ggf. der Verdichtungserddruck berücksichtigt. Bei Bedarf wird der Mindest-erddruck angesetzt.

Erdruhedruck

Erdruhedruck tritt auf, wenn keine Bewegung des Bodens in Richtung des Erddrucks stattfindet. Erdruhedruck ist nur auf Bauwerke anzusetzen, die so starr sind, dass eine Verschiebung bzw. Verdrehung in Erddruckrichtung nahezu nicht möglich ist.

Aktiver Erddruck

Aktiver Erddruck ist der kleinste Erddruck, den ein Boden auf ein Bauwerk ausüben kann. Aktiver Erddruck darf grundsätzlich nur angesetzt werden, wenn die dafür erforderlichen Verformungen dem Stützbauwerk und angrenzenden Bauwerken nicht schaden.

Wandbewegung	Vereinfachte Erddruckverteilung
Drehung um den Wandfuß 	
Parallele Bewegung 	
Drehung um den Wandkopf 	
Durchbiegung 	

Tabelle 1. Erddruckumlagerung bei nichtbindigen Böden infolge verschiedener Verformungsfiguren nach Tab. B.1, DIN 4085 [1]

Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion	Erddruckansatz
Nachgiebig	Aktiver Erddruck
Wenig nachgiebig	Erhöhter aktiver Erddruck $E_{ah}' = 0,75 \cdot E_{ah} + 0,25 \cdot E_{0h}$
Annähernd unnachgiebig	Erhöhter aktiver Erddruck $E_{ah}' = 0,50 \cdot E_{ah} + 0,50 \cdot E_{0h}$ In Ausnahmefällen: $E_{ah}' = 0,25 \cdot E_{ah} + 0,75 \cdot E_{0h}$
Unnachgiebig	Erhöhter aktiver Erddruck $E_{ah}' = 0,25 \cdot E_{ah} + 0,75 \cdot E_{0h}$ In Ausnahmefällen bis Erdruhedruck

Tabelle 2. Richtwerte für den Erddruckansatz bei Dauerbauten nach DIN 4085, Tab. A.2 [1]

Erhöhter aktiver Erddruck

Die Größe des tatsächlich anzusetzenden belastenden Erddrucks ist im Wesentlichen abhängig von der Größe der möglichen Verformungen des stützenden Bauteils, also von seiner Nachgiebigkeit. Als Rechenwert des belastenden Erddrucks wird im Regelfall ein Zwischenwert zwischen dem aktiven Erddruck, der als unterer Grenzwert des Erddrucks in Verformungsrichtung gilt, und dem Erdruhedruck verwendet:

$$E_a' = \mu \cdot E_a + (1 - \mu) \cdot E_0 \quad (1)$$

mit

E_a' erhöht aktiver Erddruck
 E_a aktiver Erddruck
 E_0 Erdruhedruck

Die DIN 4085 gibt Richtwerte für den Erddruckansatz bei verschiedenen nachgiebigen Stützkonstruktionen und Beispiele zur Einstufung der Nachgiebigkeit der Bauwerke an (siehe Tabelle 2).

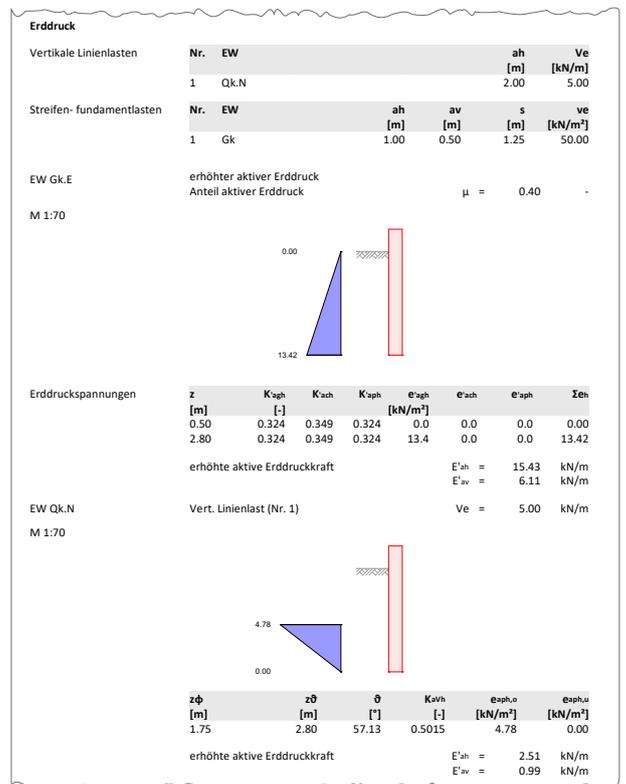


Bild 7. Ausgabe Kapitel „Erddruck“

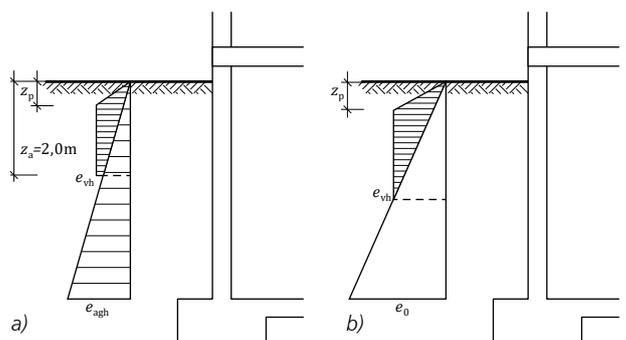


Bild 8. Verdichtungs-erddruck
 a) Ansatz von aktivem Erddruck
 b) Ansatz von Erdruhedruck

Sonderfall Verdichtungserddruck

Wird das Erdreich nach Fertigstellung des Stützbauteils dahinter lagenweise verdichtet, reicht der Ansatz des Erddruckes aus Bodeneigengewicht nicht aus. Anzusetzen ist der Verdichtungserddruck.

Bei nachgiebigen Wänden wird von $e_{vh} = 25 \text{ kN/m}^2$ bis in eine Tiefe von 2 m unter der Geländeoberkante ausgegangen. Bei unnachgiebigen Wänden beträgt der Verdichtungs-erddruck zwischen $e_{vh} = 25 \text{ kN/m}^2$ und $e_{vh} = 40 \text{ kN/m}^2$. Der Verdichtungs-erddruck wirkt dann bis zum Schnittpunkt mit der Erddruckfigur aus Bodeneigengewicht.

Belastungen

Als Belastungen können Lasten direkt auf die Kellerwand sowie erdseitige Geländelasten vorgegeben werden. Falls gewünscht, erfolgt die Ermittlung des Wandeigengewichts automatisch.

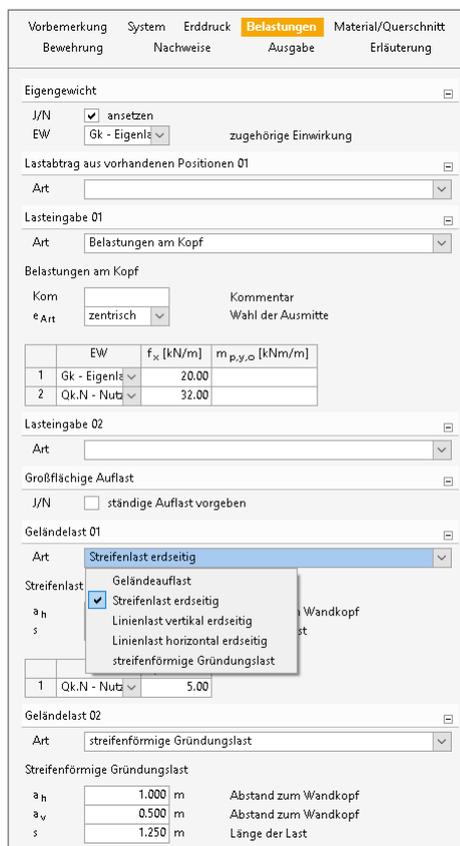


Bild 9. Eingabe Kapitel „Belastungen“

Lasten auf die Kellerwand

Als Belastungen auf die Kellerwand können Vertikallasten, Momente und Horizontallasten definiert werden.

Die Vertikallasten am Kopf können mit einer zusätzlichen Ausmitte definiert werden. Neben einer zusätzlichen Ausmitte können auch Momente am Kopf bzw. am Fuß vorgegeben werden. Als Horizontallasten sind Streckenlasten und beliebige Flächenlasten (Gleich-, Block- und Trapezlasten) möglich.

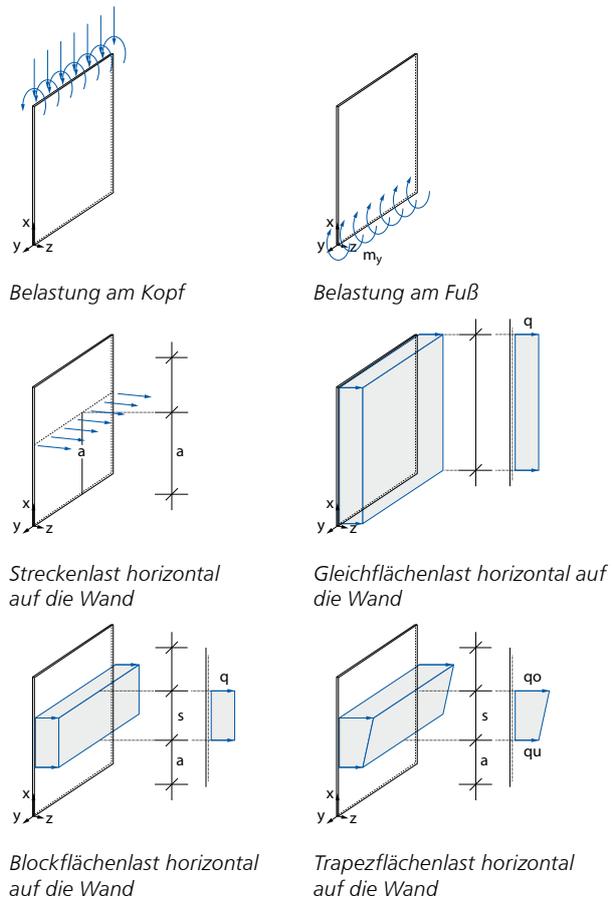
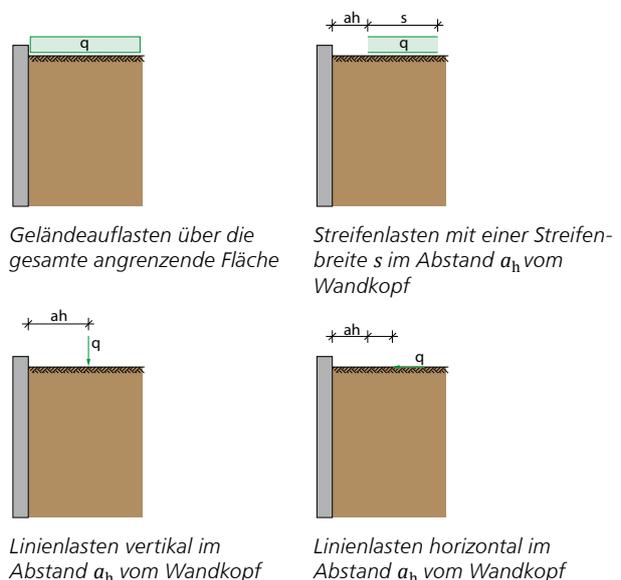
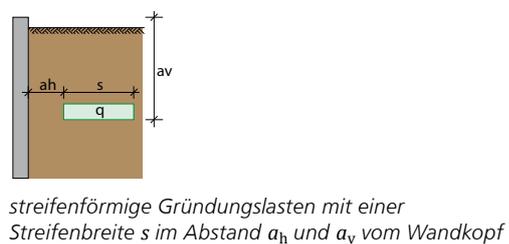


Bild 10. Lasten auf die Kellerwand



Linienlasten vertikal im Abstand a_h vom Wandkopf

Linienlasten horizontal im Abstand a_h vom Wandkopf



streifenförmige Gründungslasten mit einer Streifenbreite s im Abstand a_h und a_v vom Wandkopf

Bild 11. Geländelasten

Geländelasten

Neben dem Erddruck infolge Bodeneigenlast können auch Erddruckanteile infolge vertikaler oder horizontaler Linienlasten, horizontaler Streifenlasten sowie großflächiger Auflasten berücksichtigt werden. Die resultierenden Erddrucklasten auf die Stahlbeton-Kellerwand werden programmseitig ermittelt und bei den Nachweisen und Bemessungen berücksichtigt. Geländelasten können entweder an Geländeoberkante oder unterhalb als Gründungslasten benachbarter Bauwerke angesetzt werden.

Wenn auf der Geländeoberfläche keine speziellen Oberflächenlasten wirken, ist die pauschale Berücksichtigung einer gleichmäßig verteilten Flächenlast $p < 10 \text{ kN/m}^2$ als ständige Einwirkung möglich.

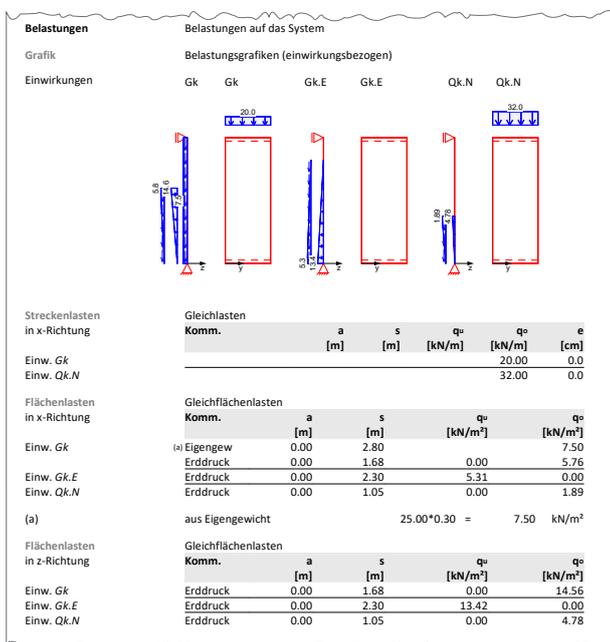


Bild 12. Ausgabe Kapitel „Belastungen“ mit resultierenden Erddrücken infolge Bodeneigengewicht und Geländelasten

Vorbemerkung System Erddruck Belastungen **Material/Querschnitt**

Bewehrung Nachweise Ausgabe Erläuterung

Werkstoff

Art: **Normal**

LP: Luftporenbeton

Festigkeitsklasse Normalbeton: **C 25/30**

Festigkeitsklasse Betonstahl: **B 500SA** (Längs- und Querkraftbewehrung)

Rechteckquerschnitt: h = **30.0** cm (Wanddicke)

Betondeckung: Ermittlung über Expositionsklassen, manuelle Vorgabe

Achsabstand der Längsbewehrung

	Seiten	d' h [mm]	d' v [mm]
1	außen	30	35
2	innen	30	35

Bild 13. Eingabe Kapitel „Material/Querschnitt“

Material/Querschnitt

Im Kapitel „Material/Querschnitt“ werden das Material und der Querschnitt der Stahlbetonwand definiert. Für die Stahlbeton-Kellerwand stehen alle Betonsorten nach EC 2 [3] zur Verfügung. Der Querschnitt wird durch die Vorgabe der Wanddicke h vorgegeben. Der Nachweis der Stahlbeton-Kellerwand erfolgt an einem 1 m-Streifen Ersatzsystem.

Bewehrung

Auf Wunsch kann eine zur Bemessung passende Bewehrungswahl durchgeführt werden. Die Bewehrungswahl erfolgt hierbei unter Beachtung der im Kapitel „Bewehrung“ definierten Parameter.

Die Bewehrungswahl kann wahlweise für Stabstahl, für Betonstahlmatten oder für Stabstahl und Betonstahlmatten kombiniert erfolgen.

Wenn die Bewehrung der Kellerwand aus Betonstahlmatten bestehen soll, kann die Wahl der Betonstahlmatten durch die Vorgabe von zulässigen Mattentypen gesteuert werden.

Vorbemerkung System Erddruck Belastungen Material/Querschnitt

Bewehrung Nachweise Ausgabe Erläuterung

Bewehrungsart: keine, Stäbe, Matten, Stäbe und Matten

Stabdurchmesser [mm]: d1

Stabbewehrung vertikal: d_{min} 6 mm, d_{max} 28 mm, s_{min} 5.0 cm, s_{max} 30.0 cm, Δs 2.5 cm

Stabbewehrung horizontal: d_{min} 6 mm, d_{max} 28 mm, s_{min} 5.0 cm, s_{max} 30.0 cm, Δs 2.5 cm

Mattentypen: Typ1 Q, Typ2

Verlegerichtung: Richt **automatisch**, Auswahl Verlegerichtung

Bild 14. Eingabe Kapitel „Bewehrung“

Wenn die Bewehrung aus Stabstahl bestehen soll, können Mindest- und Maximaldurchmesser für die vertikale und horizontale Bewehrung angegeben werden. Außerdem kann ein minimal und maximal gewünschter Abstand, sowie eine Schrittweite zur Verringerung des Abstands bei der Bewehrungswahl vorgegeben werden.

Nachweise

Die Stahlbeton-Kellerwand wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf ihre Stabilität hin bemessen. Optional kann eine Querkraftbemessung durchgeführt werden. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann ein Rissbreitenachweis geführt werden.

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird die Stabilität mit dem allgemeinen Verfahren nach DIN EN 1992-1-1, 5.8.6 nachgewiesen. Das allgemeine Verfahren basiert auf einer nichtlinearen Schnittgrößenermittlung, die die geometrische Nichtlinearität nach Theorie II. Ordnung beinhaltet. Zusätzlich kann eine Querkraftbemessung nach DIN EN 1992-1-1, 6.2 durchgeführt werden.

Vorbemerkung	System	Erddruck	Belastungen	Material/Querschnitt
Bewehrung	Nachweise	Ausgabe	Erläuterung	
Kombinatorik				
Art	<input checked="" type="radio"/> automatische Kombination der Einwirkungen; <input type="radio"/> manuelle Kombination der Einwirkungen			
Grenzzustand der Tragfähigkeit				
J/N	<input checked="" type="checkbox"/> Nachweise führen			
Querkraftbemessung				
J/N	<input type="checkbox"/> durchführen			
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
J/N	<input checked="" type="checkbox"/> Nachweise führen			
Rissbreitennachweis				
w_{max}	0.30	mm	Grenzwert für rechnerische Rissbreite	
$f_{ct,eff1}$	2.60	N/mm ²	Betonzugfestigkeit (Last)	
	<input checked="" type="checkbox"/> J/N		Mindestbewehrung	
$f_{ct,eff0}$	1.30	N/mm ²	Betonzugfestigkeit (Zwang)	

Bild 15. Eingabe Kapitel „Nachweise“

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann optional ein Rissbreitennachweis nach DIN EN 1992-1-1, 7.3 geführt werden. Als Nachweisparameter kann die einzuhaltende rechnerische Rissbreite sowie die maßgebenden Betonzugfestigkeiten vorgegeben werden.

Nachweise (GZG)																									
Rissbreitenbegrenz.	nach DIN EN 1992-1-1, 7.3 Grenzwert für die Rissbreite $w_{max} = 0.30$ mm																								
vertikale Bewehrung Ek 10	Rissbreitenbegrenzung für Lastbeanspruchung max. Moment ($x = 1.20$ m) zug. Normalkraft wirksame Betonzugfestigkeit Zeitpunkt Lastbeanspruch. Rissbreitenachweis nach 7.3.4 kann entfallen, da max. Beanspruchung nicht zur Erstrissbildung führt $m_{Ed,perm} = 12.06$ kNm/m $n_{Ed,perm} = -45.35$ kN/m $f_{ct,eff} = 2.60$ N/mm ²																								
horizont. Bewehrung	reiner Zug aus innerem Zwang infolge Abfließen der Hydratationswärme und Verformungsbehrderung																								
Mindestbewehrung	für die Begrenzung der Rissbreite nach 7.3.2 wirksame Betonzugfestigkeit Zeitpunkt Zwangsbeanspr. $f_{ct,eff} = 1.30$ N/mm ²																								
GI.(7.1)	<table border="1"> <tr> <th>k_c</th> <th>k</th> <th>$f_{ct,eff}$</th> <th>$f_{ct,0}$</th> <th>h_t</th> <th>A_{st}</th> <th>σ_s</th> <th>d_s^*</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[cm]</th> <th>[cm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[mm]</th> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.80</td> <td>1.30</td> <td>3.00</td> <td>15.0</td> <td>3000.0</td> <td>228.04</td> <td>20.08</td> </tr> </table>	k_c	k	$f_{ct,eff}$	$f_{ct,0}$	h_t	A_{st}	σ_s	d_s^*	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm ²]	[N/mm ²]	[mm]	1.00	0.80	1.30	3.00	15.0	3000.0	228.04	20.08
k_c	k	$f_{ct,eff}$	$f_{ct,0}$	h_t	A_{st}	σ_s	d_s^*																		
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm ²]	[N/mm ²]	[mm]																		
1.00	0.80	1.30	3.00	15.0	3000.0	228.04	20.08																		
Mindestbewehrung	$a_{s,min} = 10.26$ cm ² /m																								

Bild 16. Ausgabe Kapitel „Nachweise (GZG)“

Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe der Nachweise zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann den Ausgabeumfang in der gewohnten Weise steuern.

Neben maßstabsgetreuen Skizzen werden die Schnittkräfte, Spannungen und Nachweise unter Angabe der Berechnungsgrundlage und Einstellungen des Anwenders tabellarisch und grafisch ausgegeben.

David Hübel
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN 4085:2011-05, Baugrund - Berechnung des Erddrucks
- [2] DIN 4085:2011-12, Baugrund - Berechnung des Erddrucks - Beiblatt 1: Berechnungsbeispiele
- [3] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [4] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Eurocode 2: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

! Aktuelle Angebote

S550.de Stahlbeton-Kellerwand – EC 2, DIN EN 1992-1-1:2011-01 **399,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Oktober 2017
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de