

## Vorbemessung von Winkelstützmauer

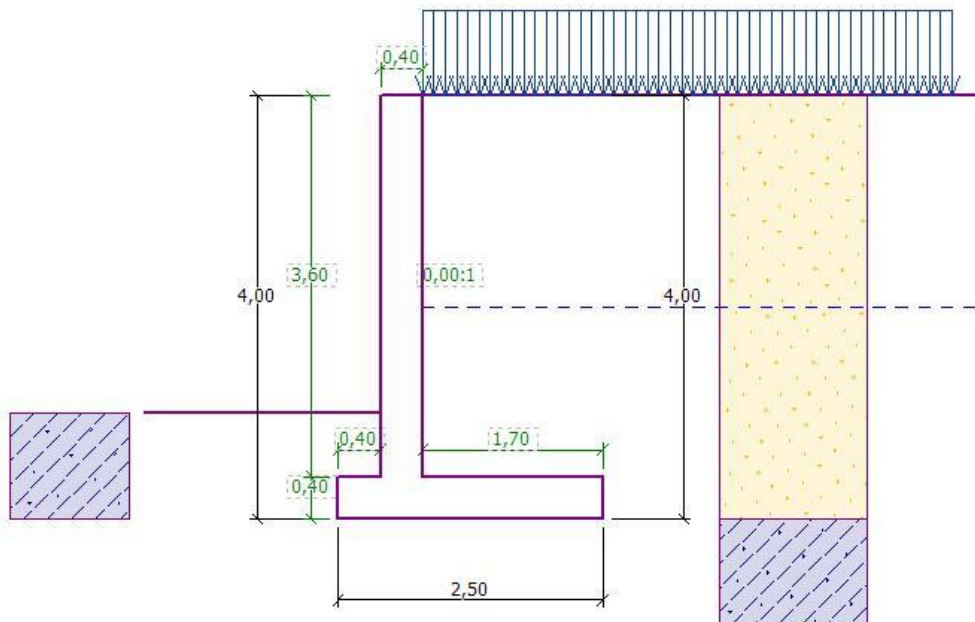
Programm: Winkelstützmauer

Datei: Demo\_manual\_02.gtz

In diesem Ingenieurhandbuch wird die Bemessung und der Nachweis einer Winkelstützmauer beschrieben.

### Eingabe der Aufgabe:

Entwerfen Sie eine Winkelstützmauer mit einer Höhe von 4,0 m und bemessen Sie sie gemäß EN 1997-1 (EC 7-1, Bemessungsansatz 1). Das Gelände hinter der Konstruktion ist horizontal. Der Grundwasserspiegel liegt 2,0 m unter der Geländeoberfläche. Hinter der Mauer gibt es eine Linienlast von 10 kPa mit einer Länge von 5,0 m. Der Gründungsboden besteht aus sandigem Lehm (F3) mit zulässiger Tragfähigkeit von 175 kPa. Die Aufschüttung hinter der Wand wird aus mittel verdichtetem Sand (S3) ausgeführt. Der Winkelstützmauer wird aus Stahlbeton der Klasse C 20/25 gefertigt.



Entwurf der Winkelstützmauer - Eingabe der Aufgabe

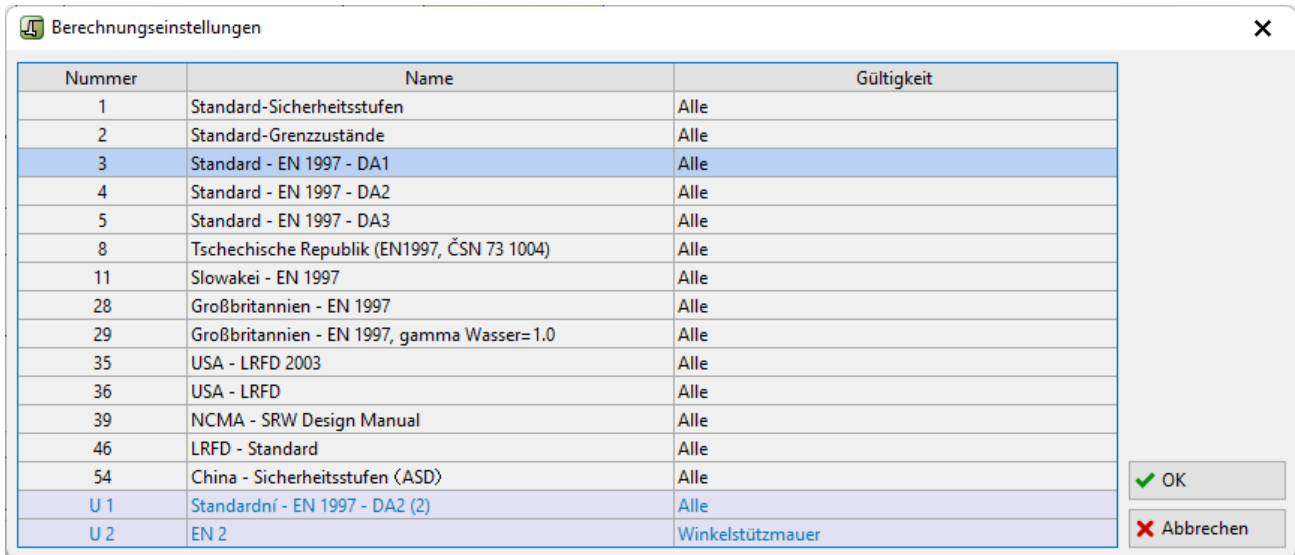
Die Bodenparameter sind wie folgt:

Boden	Profil [m]	Wichte $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Winkel der inneren reibung $\varphi_{ef}$ [°]	Kohäsion des Gesteins $c_{ef}$ [kPa]	Reibungswinkel Struktur - Boden	Wichte des gesättigten Bodens $\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
S-F	0,0 – 4,0	17,5	28,0	0,0	18,5	18,0
MS	from 4,0	18,0	26,5	5,0	17,5	18,5

## Lösung

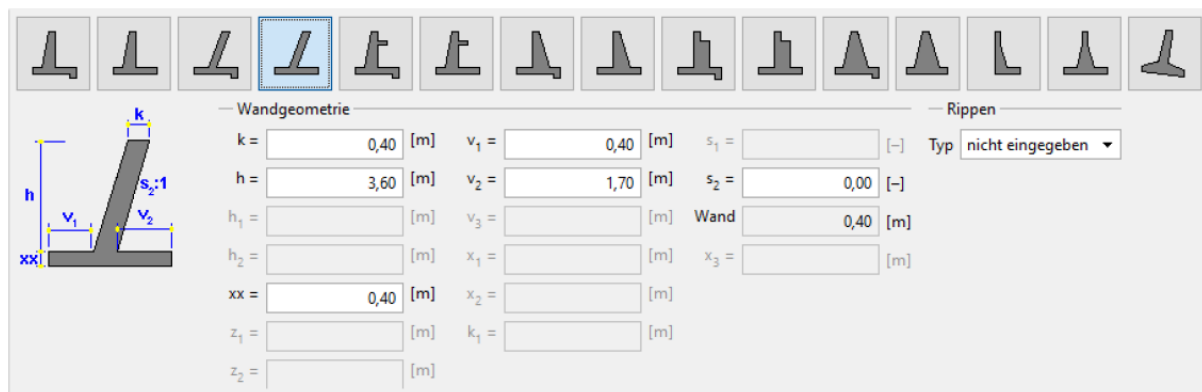
Zur Berechnung dieser Aufgabe benutzen wir das GEO5-Programm – Winkelstützmauer. Im folgenden Text werden wir schrittweise die Lösung der Aufgabe in einzelnen Schritten beschreiben.

Klicken Sie zunächst im Fenster „Einstellung“ auf die Schaltfläche „Einstellung auswählen“ und wählen Sie die Berechnungseinstellung Nr. 3: „Standard - EN 1997, DA1“.



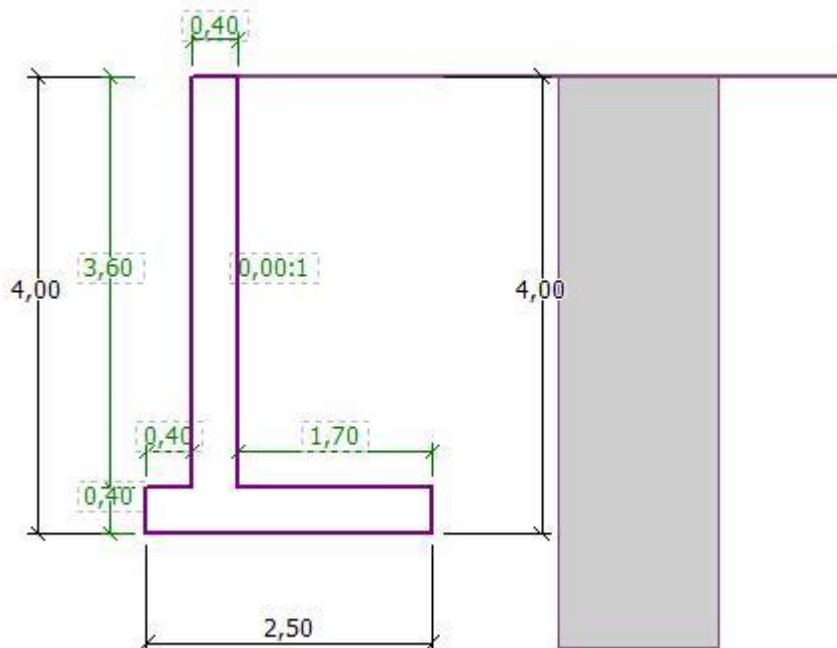
Dialogbox „Berechnungseinstellungen“

Im Fenster „Geometrie“ werden wir die geforderte Wandform auswählen und ihre Dimensionen laut der Abbildung eingeben.



Fenster „Geometrie“

Die eingegebene Wandkonstruktion wird dann wie folgt aussehen:



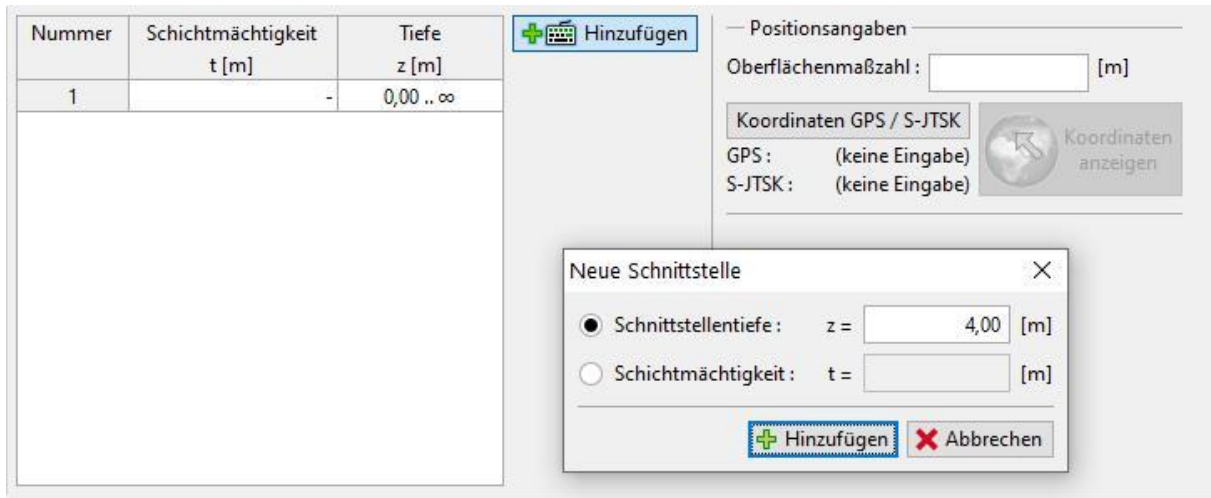
Fenster „Geometrie“ – **Schemaskizze** der eingegebenen Wand

Gehen Sie nun zum Fenster „Material“, in dem Sie die Materialeigenschaften der Wand eingeben. Die Wand wird aus C 20/25 Beton und B500 Stahl bestehen. Die Wandwichte beträgt 25 kN/m<sup>3</sup>.

Wandwichte: $\gamma =$ <input type="text" value="25,00"/> [kN/m <sup>3</sup> ]			
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>— Beton</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Definieren"/></p> <p><b>C 20/25</b>  <math>f_{ck} = 20,00</math> MPa  <math>f_{ctm} = 2,20</math> MPa</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>— Längsbewehrung</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Benutzerdef."/></p> <p><b>B500</b>  <math>f_{yk} = 500,00</math> MPa</p> </td> </tr> </table>		<p>— Beton</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Definieren"/></p> <p><b>C 20/25</b>  <math>f_{ck} = 20,00</math> MPa  <math>f_{ctm} = 2,20</math> MPa</p>	<p>— Längsbewehrung</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Benutzerdef."/></p> <p><b>B500</b>  <math>f_{yk} = 500,00</math> MPa</p>
<p>— Beton</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Definieren"/></p> <p><b>C 20/25</b>  <math>f_{ck} = 20,00</math> MPa  <math>f_{ctm} = 2,20</math> MPa</p>	<p>— Längsbewehrung</p> <p><input type="button" value="Katalog"/> <input type="button" value="Benutzerdef."/></p> <p><b>B500</b>  <math>f_{yk} = 500,00</math> MPa</p>		

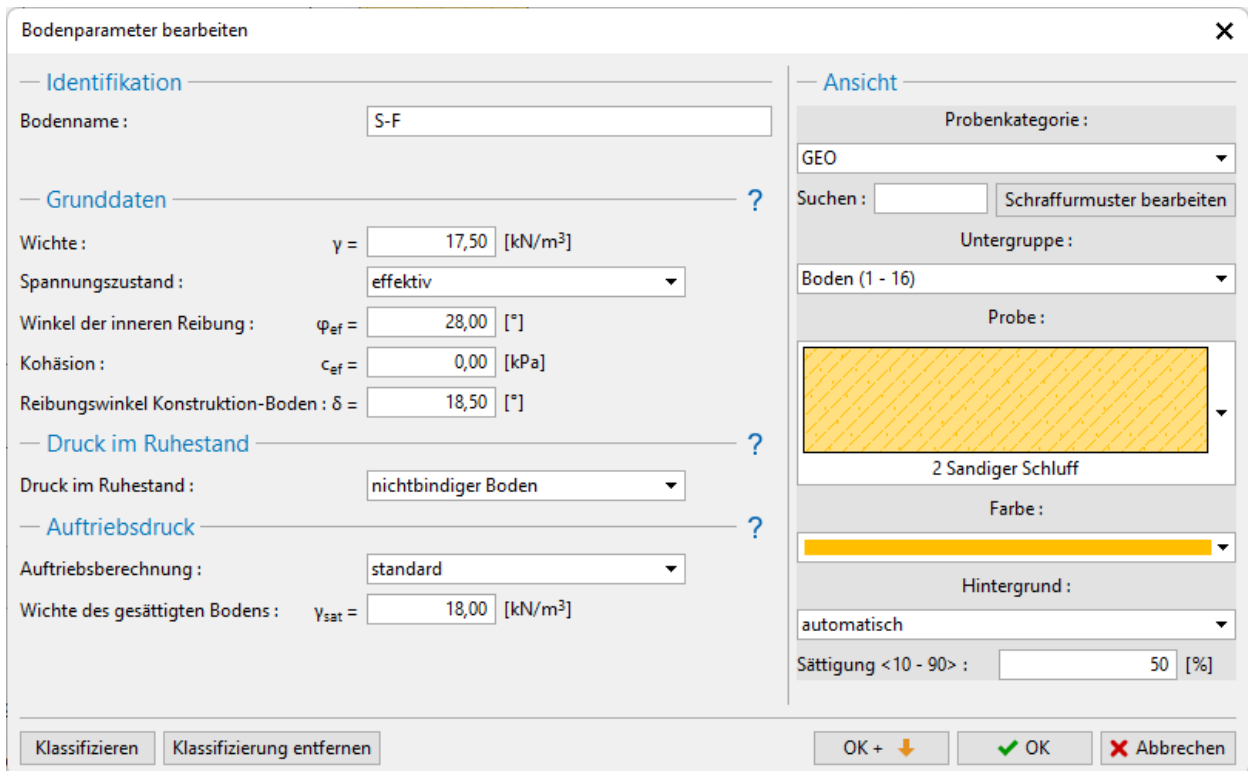
Fenster „Material“ – Eingabe der Materialeigenschaften der Konstruktion

Definieren Sie im Fenster „Profil“ die Schnittstellen des Bodens in einer Tiefe von 4 m mithilfe der Schaltfläche „Hinzufügen“.



Fenster „Profil“ – Eingabe der Schnittstellen des Bodens

Wir gehen weiter zum Fenster „Böden“. Hier definieren wir die Bodenparameter anhand der folgenden Abbildungen. Standardmäßig wird der Wandschaft auf Erdruhedruck geprüft. Zur Berechnung des Erdruhedrucks hinter der Konstruktion wählen wir einen nichtbindigen Boden aus. Wir verwenden zuerst die Schaltfläche "Hinzufügen", um den Boden S-F hinzuzufügen, der eine Hinterfüllung hinter der Wand bildet. Nachfolgend fügen wir auch den Boden MS hinzu, der den Gründungsboden bildet.



Fenster „Böden“ – Hinzufügen des Bodens S-F

**Bodenparameter bearbeiten** [X]

**Identifikation**

Bodenname:

**Grunddaten** ?

Wichte:  $\gamma =$   [kN/m<sup>3</sup>]

Spannungszustand:

Winkel der inneren Reibung:  $\varphi_{ef} =$   [°]

Kohäsion:  $c_{ef} =$   [kPa]

Reibungswinkel Konstruktion-Boden:  $\delta =$   [°]

**Druck im Ruhestand** ?

Druck im Ruhestand:

**Auftriebsdruck** ?

Auftriebsberechnung:

Wichte des gesättigten Bodens:  $\gamma_{sat} =$   [kN/m<sup>3</sup>]

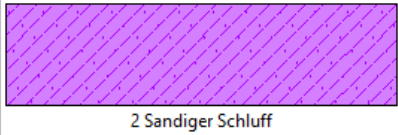
**Ansicht**

Probenkategorie:

Suchen:

Untergruppe:

Probe:



Farbe:

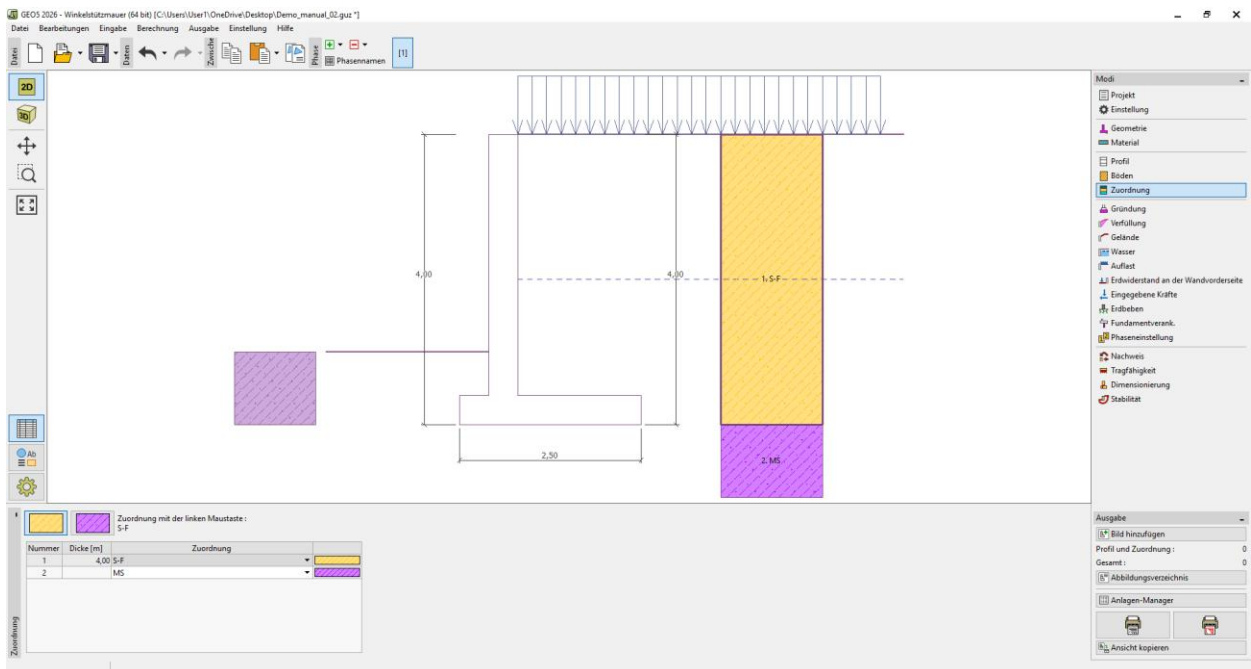
Hintergrund:

Sättigung <10 - 90>:  [%]

Fenster „Böden“ – Hinzufügen des Bodens MS

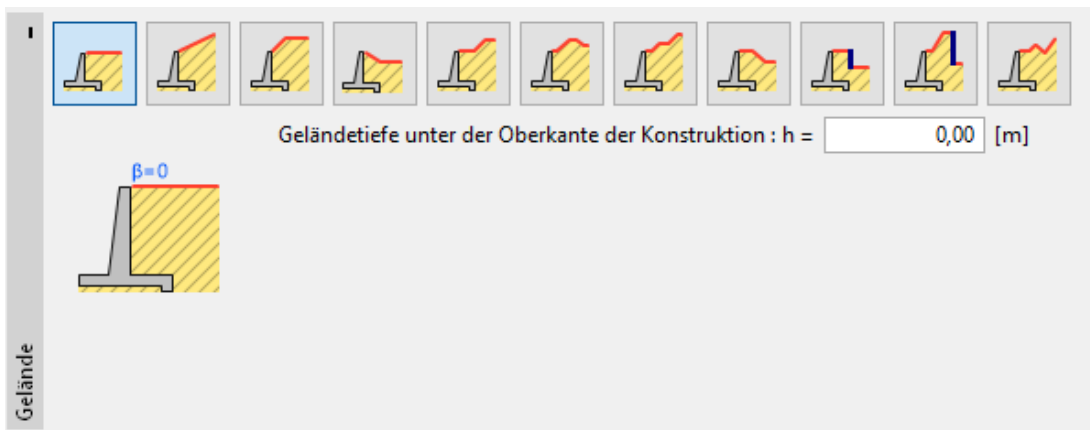
Hinweis: Die Höhe des aktiven Erddrucks hängt auch von der Reibung zwischen Boden und der Konstruktion ab. Der Reibungswinkel hängt vom Material der Konstruktion und dem Winkel der inneren Reibung des Bodens ab - er wird normalerweise im Bereich  $\delta \approx \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) \cdot \varphi_{ef}$  eingegeben.

Im Fenster „Zuordnung“ ordnen wir den Boden entsprechend der Zuordnung dem geologischen Profil zu.



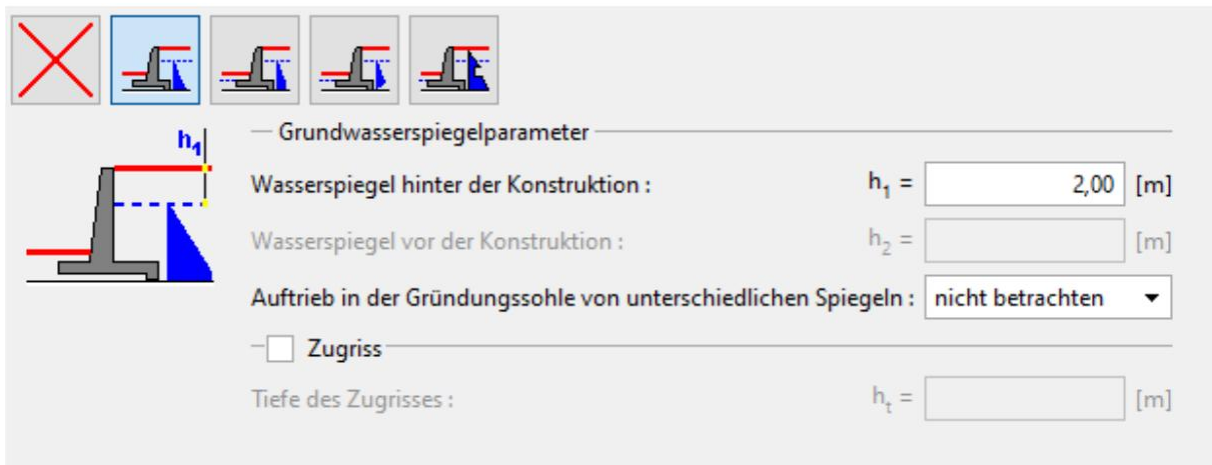
Fenster „Zuordnung“

Im Fenster "Gelände" belassen wir die horizontale Form des Geländes hinter der Wand.



Fenster „Gelände“

Der Grundwasserspiegel liegt in der Tiefe 2,0 m unter dem Geländeniveau. Gehen wir also zum Fenster „Wasser“, wählen den geeigneten Typ der Belastungsfigur aus und geben die entsprechenden Parameter ein.



Fenster „Wasser“

Then, move on to the "Surcharge" frame. Click the "Add" button and select a permanent strip surcharge with a magnitude of  $10 \text{ kN/m}^3$  acting as a dead load on the terrain over a 5 meter distance, as shown in the picture below.

Dialogbox „Neue Auflast“

Im Fenster "Erdwiderstand" wählen wir die Geländeform vor der Wand.

Fenster „Erdwiderstand“

*Hinweis: In diesem Fall wird die Art des Erdwiderstands nicht berücksichtigt, sodass die Ergebnisse konservativ sind. Der Erdwiderstand wird entsprechend der Qualität und dem Grad der Bodenverdichtung vor der Konstruktion und auch in Abhängigkeit von der zulässigen Verformung der Konstruktion eingeführt. Der Erdruchdruck wird für den ursprünglichen oder neu geschütteten, gut verdichteten Boden betrachtet. Passiver Erddruck kann nur betrachtet werden, wenn die entsprechende Verformung der Konstruktion ermöglicht wird (weitere Informationen siehe Hilfe - F1).*

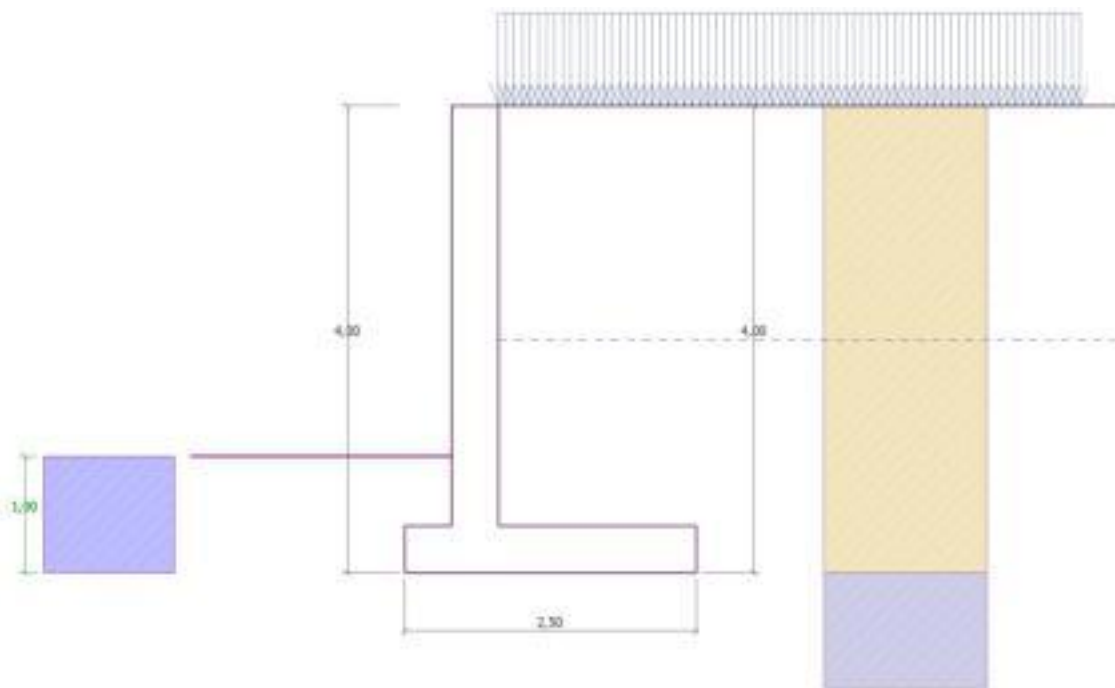
Nachfolgend wählen Sie die Art der Bemessungssituation im Fenster „Phaseneinstellung“ aus. In unserem Fall betrachten wir *eine ständige Bemessungssituation* und geben die Art des Wandverhaltens ein. Wir werden berücksichtigen, dass sich die Wand bewegen kann, so dass sie mit aktivem Druck belastet ist.

Phaseneinstellung	Bemessungssituation :	ständig (BS-P)
	Wanddruck :	Die Wand kann verschoben werden (aktiver Druck)
	Reduktion des Reibungswinkels Boden/Boden :	nicht reduzieren
	Schaftdruck :	Erdruchedruck

Fenster „Phaseneinstellung“

*Hinweis: Der Wandschaft ist normalerweise für den Erddruck in Ruhe dimensioniert, d.h. die Wand kann sich nicht bewegen. Die Möglichkeit, den Schaft und die Wand durch aktiven Druck zu betrachten, wird nur in Ausnahmefällen in Betracht gezogen, z. B. im Falle eines Erdbebeneffekts (seismische Bemessungssituation mit Teilkoeffizienten gleich 1,0).*

Die eingegebene Konstruktion wird jetzt folgendermaßen aussehen:



Betrachtete Konstruktion

Jetzt gehen wir zum Fenster „Nachweis“, wo wir die Nachweise "Kippen" und "Verschiebung" (Gleiten) für unsere Winkelstützmauer führen.

Nummer	Kraft	F		Angriffspunkt		Neben Bel.
		$F_x$ [kN/m]	$F_z$ [kN/m]	x [m]	z [m]	
1	Schwerkraft-Wand	0,00	61,00	0,87	-1,38	<input type="checkbox"/>
2	Schwerkraft-Boden	0,00	4,32	0,20	-0,70	<input type="checkbox"/>
3	Schwerkraft-Erdkeil	0,00	23,55	1,31	-1,54	<input type="checkbox"/>
4	Aktiver Druck	-42,28	60,25	1,80	-1,46	<input type="checkbox"/>
5	Wasserdruck	-20,00	0,00	0,80	-0,67	<input type="checkbox"/>
6	Wasserauftrieb	0,00	0,00	0,80	-4,00	<input type="checkbox"/>
7	L1	-7,99	8,67	1,61	-2,08	<input type="checkbox"/>

<b>— Nachweis</b>	
<b>Nachweis gegen Kippen:</b>	<b>Nachweis ERFÜLLT</b> (52,5%)
<b>Nachweis gegen Verschiebung:</b>	<b>Nachweis NICHT ERFÜLLT</b> (119,7%)

Fenster „Nachweis“

Hinweis: Die Schaltfläche „Detailliert“ auf der rechten Seite des Bildschirms öffnet eine Dialogbox mit der detaillierten Liste der Berechnungsergebnisse.

## Berechnungsergebnisse:

Der Nachweis der Winkelstützmauer gegen Verschiebung (Gleiten) ist nicht erbracht:  
Das Ergebnis lautet wie folgt:

### Nachweis gegen Kippen

Widerstandsmoment  $M_{res} = 209,03 \text{ kNm/m}$

Kippmoment  $M_{ovr} = 109,75 \text{ kNm/m}$

Wand gegen Kippen **ERFÜLLT**

### Nachweis gegen Verschiebung

Hor. widersteh. Kraft  $H_{res} = 68,37 \text{ kN/m}$

Hor. Schubkraft  $H_{act} = 81,83 \text{ kN/m}$

Wand gegen Verschiebung **NICHT ERFÜLLT**

**Gesamtnachweis - WAND NICHT ERFÜLLT**

**Wir haben verschiedene Möglichkeiten, damit der Nachweis doch noch erbracht wird:**

- Durchführung der Aufschüttung hinter der Wand mithilfe eines Bodens mit besseren Eigenschaften
- Verankerung des Fundaments der Winkelstützmauer
- Vergrößerung der Reibung durch die Neigung der Gründungssohle
- Verankerung des Wandschafts

Diese Modifikationen wären wirtschaftlich und technologisch anspruchsvoll, daher wählen wir eine einfachere Alternative. Die effektivste Lösung in der Nachweisphase besteht darin, die Wandform zu ändern.

## Nachweisbearbeitung: Änderung der Wandgeometrie

Wir kehren zum Fenster "Geometrie" zurück und ändern die Form der Winkelstützmauer. Um den Widerstand gegen Verschieben der Konstruktion zu erhöhen, entwerfen wir einen **Sporn** im hinteren Teil des Wandfundaments. Wir ändern die Wandform und den Wert der Variablen  $x_1$  and  $x_2$  laut der Abbildung.

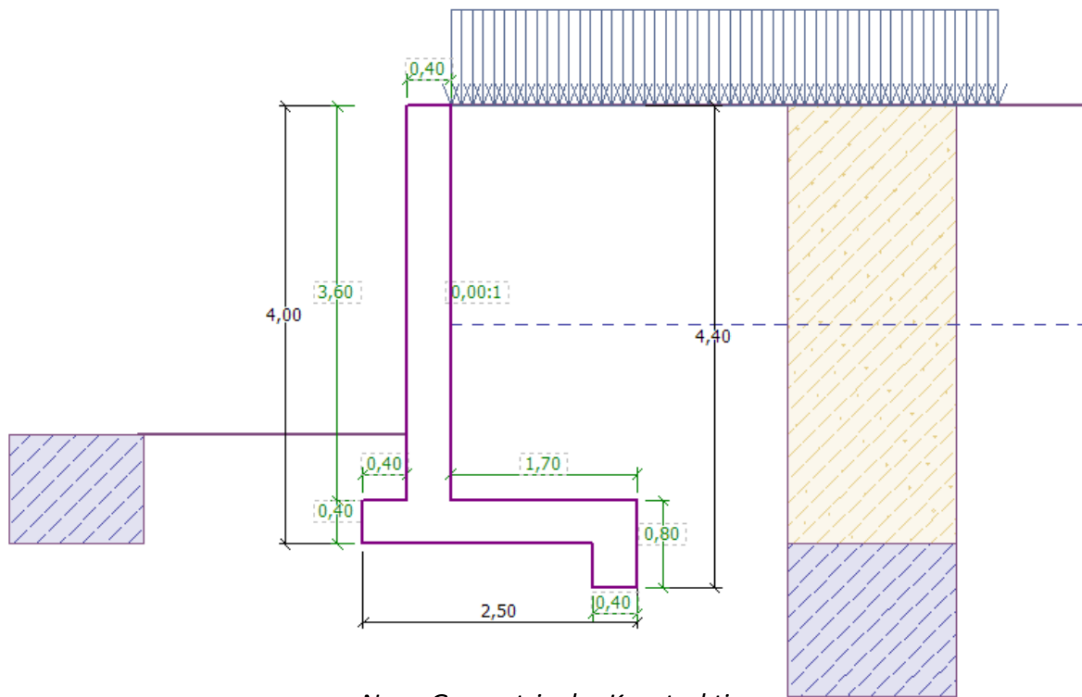
The screenshot shows the 'Wandgeometrie' (Wall Geometry) window with the following parameters:

Wandgeometrie			Rippen		
$k =$	0,40 [m]	$v_1 =$	0,40 [m]	$s_1 =$	[-]
$h =$	3,60 [m]	$v_2 =$	1,70 [m]	$s_2 =$	0,00 [-]
$h_1 =$	[m]	$v_3 =$	[m]	Wand	0,40 [m]
$h_2 =$	[m]	$x_1 =$	0,80 [m]	$x_3 =$	0,00 [m]
$xx =$	0,40 [m]	$x_2 =$	0,40 [m]		
$z_1 =$	[m]	$k_f =$	[m]		
$z_2 =$	[m]				

The diagram on the left shows a cross-section of a wall with a base and a top flange. Dimensions  $h$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $xx$ ,  $k$ , and  $s_2$  are indicated.

Fenster „Geometrie (Bearbeitung der Dimensionen von Winkelstützmauer)“

*Hinweis: Der Sporn wird normalerweise als geneigte Gründungssohle berechnet. Wenn der Einfluss des Sporns als Erdwiderstand betrachtet wird, rechnet das Programm in mit der geraden Gründungssohle, aber der Erdwiderstand der Konstruktion zählt bis zur Tiefe des unteren Teils des Sporns (weitere Informationen siehe Hilfe - F1).*



Neue Geometrie der Konstruktion

Anschließend weisen wir die neu gestaltete Konstruktion mit dem Sporn gegen Kippen und Verschieben nach.

Nummer	Kraft	F <sub>x</sub> [kN/m]	F <sub>z</sub> [kN/m]	Angriffspunkt		Neben Bel.	Nachweis	
				x [m]	z [m]		Nachweis gegen Kippen:	Nachweis gegen Verschiebung:
1	Schwerkraft-Wand	0,00	65,00	0,95	-1,28	<input type="checkbox"/>	<b>Nachweis ERFÜLLT</b> (47,6%)	
2	Schwerkraft-Boden	0,00	4,32	0,20	-0,70	<input type="checkbox"/>	<b>Nachweis ERFÜLLT</b> (93,5%)	
3	Schwerkraft-Erdkeil	0,00	23,55	1,31	-1,54	<input type="checkbox"/>		
4	Aktiver Druck	-47,11	61,78	1,82	-1,29	<input type="checkbox"/>		
5	Wasserdruck	-28,80	0,00	0,80	-0,40	<input type="checkbox"/>		
6	Wasserauftrieb	0,00	0,00	0,80	-4,00	<input type="checkbox"/>		
7	L1	-9,28	9,07	1,65	-1,76	<input type="checkbox"/>		

Fenster „Nachweis“

Die Nachweis gegen Kippen und Verschieben (Gleiten) ist mit 47,6 % bzw. 93,5 % erfüllt.

Jetzt gehen wir zum Fenster „Tragfähigkeit“, wo wir eine Überprüfung der Baugrundtragfähigkeit auf die Bemessungstragfähigkeit von 175 kPa durchführen.

Berechnung der Baugrundtragfähigkeit		Nachweis	
<input checked="" type="radio"/>	Baugrundtragfähigkeit eingeben	<b>EXZENTRIZITÄT:</b>	<b>Nachweis ERFÜLLT</b> (66,0%)
<input type="radio"/>	Gründung durch das Programm "Einzelfundament" berechnen	<b>BAUGRUND:</b>	<b>Nachweis ERFÜLLT</b> (89,1%)
<input type="radio"/>	Gründung durch das Programm "CPT Einzelfundament" berechnen		
<input type="radio"/>	Nicht berechnen		
Form der Spannung im Baugrund: <input type="text" value="Rechteck"/>			
Baugrundtragfähigkeit: R = <input type="text" value="175,00"/> [kPa]			
Gesamtlänge der Wandgründung: <input type="text"/> [m]			
<input type="button" value="Programm starten"/>			

Fenster „Tragfähigkeit“

*Hinweis: In diesem Fall bemessen wir die Baugrundtragfähigkeit auf den eingegebenen Wert, der sich aus der geologischen Untersuchung bzw. aus einiger Standards ergibt. Diese Daten sind meistens sehr konservativ, daher ist es ratsam, die Tragfähigkeit des Gründungsbodens anhand des Programms Einzelfundamente zu überprüfen, das auch andere Einflüsse wie Lastneigung, Fundamenttiefe usw. berücksichtigt.*

Als nächstes führen wir im Fenster „Dimensionierung“ den „Nachweis Wandschaft“ durch. Wir geben die Hauptbewehrung mit - 10 Stück  $\varnothing 12$  mm (30 mm Abdeckung) ein, die dem GZT und allen Konstruktionsprinzipien entspricht.

The screenshot shows the 'Dimensionierung' window with the following data:

Nummer	Kraft	F <sub>x</sub> [kN/m]	F <sub>z</sub> [kN/m]	Angriffspunkt x [m]	z [m]	Neben Bel.
1	Schwerkraft-Wand	0,00	35,99	0,20	-1,80	<input type="checkbox"/>
2	Erdruehdruk	-53,68	0,00	0,40	-1,28	<input type="checkbox"/>
3	Wasserdruck	-12,78	0,00	0,40	-0,53	<input type="checkbox"/>
4	Wasserantrieb	0,00	0,00	0,40	-3,60	<input type="checkbox"/>
5	L1	-17,15	0,00	0,40	-1,94	<input type="checkbox"/>

Additional data from the screenshot:

- Dimensionierungspunkt: Wandschaft nachweisen - hintere Bewehrung
- Dimensionierungsdaten: Bewehrungsdeckung: 30,0 [mm], Anzahl der Einlagen: 10,00 [St], Einlagenprofil: 12,0 [mm]
- Wandpfeller: Nummer, Abstand h<sub>1</sub> [m], Abstand h<sub>2</sub> [m], Anzahl [St], Profil [mm]
- Bewehrungsfläche: Nutzfläche der Bewehrung: 970,2 mm<sup>2</sup>, Eingegebene Bewehrungsfläche: 1131,0 mm<sup>2</sup>
- Rissanzahl berücksichtigen:  Unter dem Einfluss der Normalkraft
- Max. Rissbreite: w<sub>max</sub> = 0,300 [mm]
- Wandschaft nachweisen - hintere Bewehrung:
  - SCHUB: Nachweis ERFÜLLT (80,7%) Tiefe = 3,60 m
  - BIEGUNG: Nachweis ERFÜLLT (86,4%) Tiefe = 3,60 m
  - KONSTR.-PRINZIP: Nachweis ERFÜLLT (41,8%)

Fenster „Dimensionierung“

Wir gehen dann zum Fenster „Stabilität“, in dem wir die Gesamtstabilität der Wand überprüfen. Nachdem Sie auf das Fenster "Stabilität" geklickt haben, wird das Programm "Böschungsbruch" geöffnet, in dem wir zum Fenster "Berechnung" wechseln. In unserem Fall wählen wir die gebräuchlichste Berechnungsmethode „Bishop“. Wir führen die Berechnung mit der **Optimierung der Kreisgleitfläche** durch, bestätigen sie mit der Schaltfläche „Berechnen“ und nach Abschluss der Berechnung wird das Programm „Böschungsbruch“ mit der Schaltfläche „Beenden und Übertragen“ beendet. Die eingegebenen Bilder werden im Programm "Winkelstützmauer" in den Berechnungsbericht übernommen.

The screenshot shows the 'Berechnung' window with the following data:

Methodenparameter:

- Methoden: Bishop
- Berechnungsart: Optimierung
- Einschränkung: nicht eingegeben

Kreisförmige Schubfläche:

- Mittelpunkt: x = -0,60 [m], z = 0,75 [m]
- Radius: R = 5,65 [m]
- Winkel:  $\alpha_1 = -48,42$  [°],  $\alpha_2 = 82,37$  [°]

Nachweis über die Standfestigkeit der Böschung (Bishop):

- Summierung der aktiven Kräfte: F<sub>a</sub> = 154,91 kN/m
- Summierung der passiven Kräfte: F<sub>p</sub> = 219,38 kN/m
- Böschungsmoment: M<sub>a</sub> = 875,23 kNm/m
- Widerstandsmoment: M<sub>p</sub> = 1239,51 kNm/m
- Ausnutzung: 70,6 %
- Böschungsbruch Nachweis ERFÜLLT

Programm „Böschungsbruch“ – Fenster „Berechnung“

## Schlussfolgerung:

### Berechnungsergebnisse – Ausnutzung:

Kippen:	47.6%	GENÜGT
Verschieben:	93.5%	GENÜGT
Baugrundtragfähigkeit:	89.1%	GENÜGT
Dimension. Schafr:	86.4%	GENÜGT
Gesamtstabilität:	70.6% Bishop-Methode(Optimierung)	GENÜGT

Dieser vorgeschlagene Entwurf einer Winkelstützmauer genügt den Anforderungen.

