

Nachweis der in mehreren Ebenen rückverankerten Trägerbohlwand

Programm: Baugrube Nachweis

Datei: Demo_manual_07.gp2

Dieses Ingenieurhandbuch beschreibt einen Entwurf einer Verbauwand, die in mehreren Ebenen verankert ist. Diese Verbauwand wurde im Rahmen des Baus der Prager U-Bahn-Station C - Prosek realisiert.

Weitere Informationen und einen Vergleich mit den tatsächlichen Messwerten finden Sie unter folgenden Links (nur Englisch):

- [Produktbroschüre](#)
- [Studien einschließlich Vergleich mit Messwerten](#)

Einleitung:

Die Methode der abhängigen Drücke basiert auf der Annahme, dass sich der Boden oder das Gestein in der Nähe der unterirdischen Wand wie eine ideale elastisch-plastische Winkler-Masse verhält. Diese Masse wird einerseits durch den Bettungsmodul beschrieben, der die Verformung im elastischen Bereiche charakterisiert und weiter durch die Begrenzung der Verformungen, die sich bei Überschreitung der Masse weiter ideal plastisch verhält (weitere Informationen in der Hilfe - F1).

Für die eigene Berechnung der unterirdischen Wand werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Der auf die Wand wirkende Erddruck kann einen beliebigen Wert zwischen aktivem und passivem Erddruck annehmen, jedoch nicht von diesem Intervall abweichen.
- Auf die unverformte Konstruktion wirkt die Belastung, die dem Erdruchedruck entspricht.

Eingabe der Aufgabe:

Betrachten Sie die mehrfach verankerte Wand aus I 400 Stahlstreben mit einer Länge von $l = 21 \text{ m}$. Die Aushubtiefe beträgt $h = 15 \text{ m}$. Die Geländeoberfläche ist horizontal, die Belastung wirkt als ständige und vollflächige Last mit der Größe $q = 25 \text{ kN/m}^2$. Die Aushubtiefe beträgt $h = 15 \text{ m}$. Der GWSp hinter der Konstruktion befindet sich in einer Tiefe von 10 m . Der Achsenabstand der Stahlprofile beträgt $a = 2 \text{ m}$.

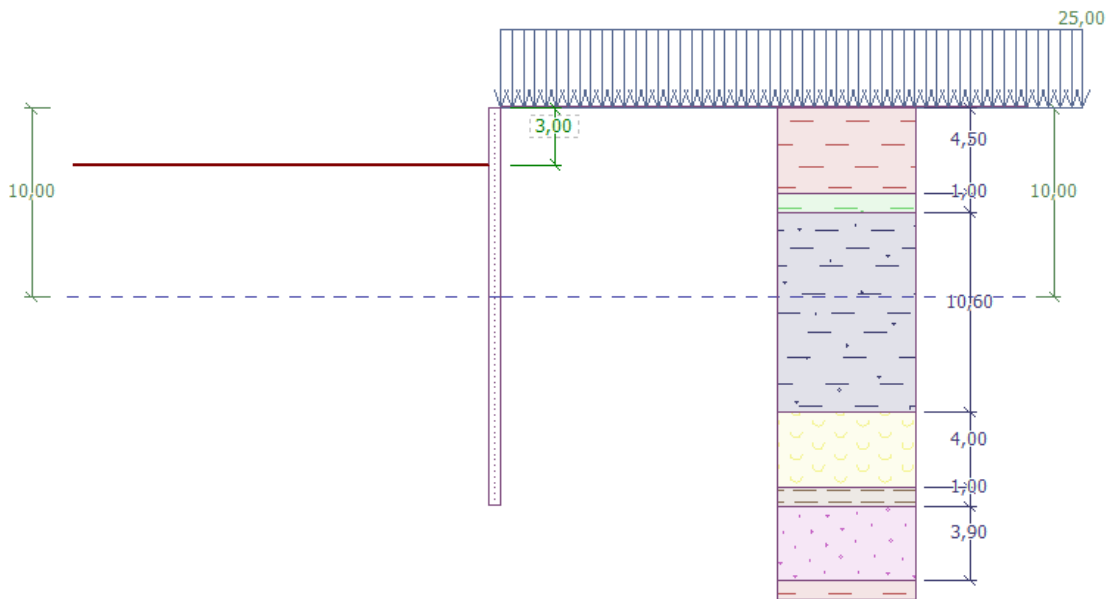


Diagramm der rückverankerten Wand aus der Stahl-I-Profilen - Bauphase 1

Böden (Spezifikation, Zuordnung)	Schichtdicke [m]	Wichte $\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]}$	Winkel der inneren Reibung $\varphi_{ef} \text{ [}^\circ\text{]}$	Kohäsion des Bodens $c_{ef} \text{ [kPa]}$	Reibungswinkel Struktur - Boden $\delta = \text{[}^\circ\text{]}$	Poissonzahl $\nu \text{ [-]}$
F6 – feste Konsistenz	4,5	19,5	20	16	7,5	0,4
F4 – feste Konsistenz	1	19,5	22	14	7,5	0,35
R3 - verwittert	10,6	22	40	100	15	0,25
R5 – sandiger Schiefertone	4	19	24	20	7,5	0,3
R5 - Glaukonit	1	21	30	35	14	0,25
R5 – verwitterten Schiefertone	3,9	21	40	100	15	0,2

Tabelle mit Boden- und Gesteinsparameter

Die Wichte des Bodens γ entspricht dem Gewicht des gesättigten Bodens γ_{sat} . Die Bodenspannung soll **effektiv** sein, der Erdruchdruck wird für **kohäsive** Böden berechnet und die Methode der Berechnung des Auftriebs soll **Standard** sein.

Alle Anker haben einen Durchmesser $d = 32$ mm und einen Elastizitätsmodul $E = 210$ GPa. Der axiale Abstand zwischen den einzelnen Ankern beträgt $b = 4$ m.

Anker Nr.	Tiefe z [m]	Freie Länge l [m]	Wurzel l_k [m]	Neigung α [°]	Ankerkraft F [kN]	Bauphase für neuen Anker
1	2,5	13	6	15	300	2
2	5,5	10	6	17,5	350	4
3	8,5	7	6	20	400	6
4	11	6	4	22,5	500	8
5	13	5	3	25	550	10

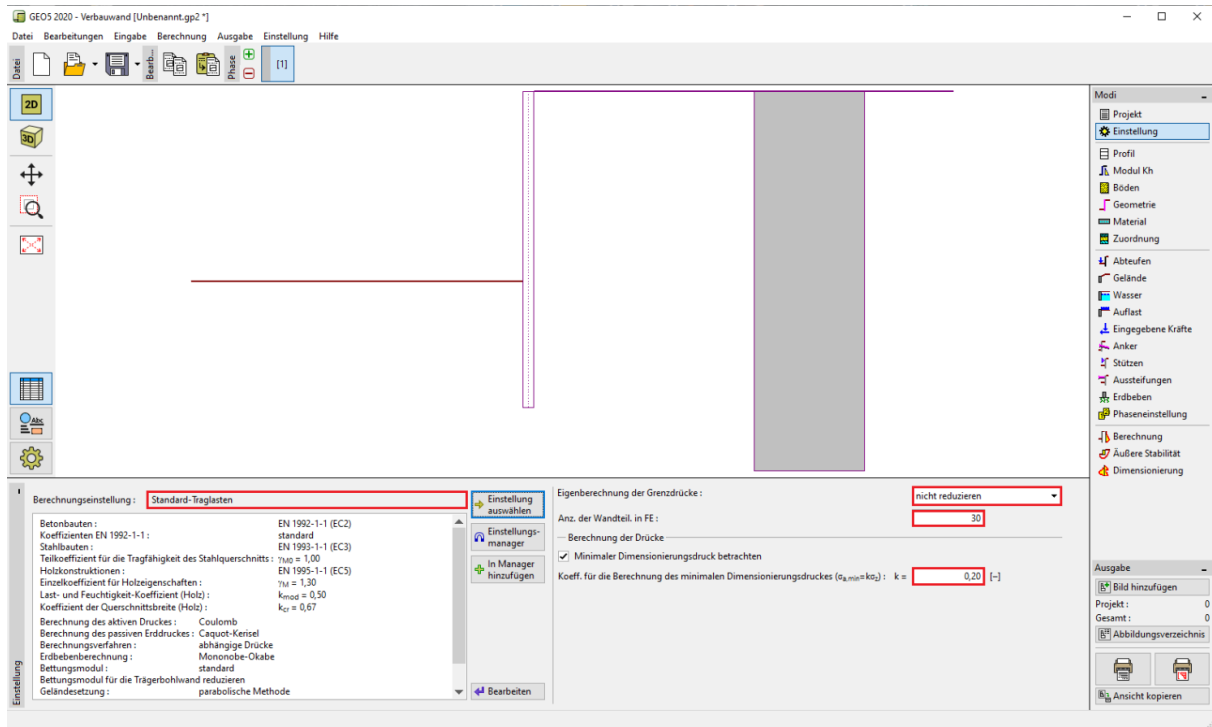
Tabelle mit der Anordnung und Geometrie der Anker

Wir betrachten, dass der Bettungsmodul linear bis zu der Tiefe von 5 m ansteigt, wo er Werte von 10 MN/m^3 annimmt. Ab dieser Ebene ist sein Wert konstant.

Lösung:

Zur Berechnung dieser Aufgabe verwenden wir das Programm **GEO5 -Baugrube Nachweis**. Die statische Berechnung wird ohne Reduzierung der Eingabedaten durchgeführt, um das tatsächliche Verhalten der Konstruktion zu erfassen.

Im Fenster "Einstellung" wählen wir die Einstellung Nr. 2 "Standard - Grenzzustände". Wir betrachten den minimalen Dimensionierungsdruck als Größe $k = 0,2$. Wir ändern die Anzahl der Wandteilungen in FE auf 30 (siehe *Abbildung*).



Fenster „Einstellung“

Hinweis: Für komplexere Aufgaben (z. B. mehrfach verankerte Wände) empfehlen die Autoren des Programms eine eigene Berechnung der Grenzdrücke ohne die Reduktion der Eingabeparameter der Böden durchführen. Die Methode der abhängigen Drücke ohne Reduzierung der Eingabeparameter von Böden entspricht dem tatsächlichen Verhalten der Konstruktion (der Benutzer erhält aus der Berechnung die tatsächlichen Werte der Verformungen) besser und diese Berechnungsmethode ähnelt eher der numerischen Lösung nach der FEM (weitere Informationen in der Hilfe - F1).

Wir öffnen dann die Dialogbox "Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe" über die Schaltfläche "Bearbeiten". Wir ändern die Methode des Bettungsmoduls auf "eingeben". Den Bettungsmodul für die Trägerbohlwand werden wir nicht reduzieren (weitere Informationen finden Sie in der Hilfe - F1).

Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe : Verbauwand

Materialien und Standards Druckberechnung Anker

Berechnung des aktiven Druckes : Coulomb

Berechnung des passiven Erddruckes : Caquot-Kerisel

Berechnungsverfahren : abhängige Drücke

Erdbebenberechnung : Mononobe-Okabe

Bettungsmodul : eingeben

☐ Bettungsmodul für die Trägerbohlwand reduzieren

☐ Reibungswinkel verschieden für aktiven und passiven Druck eingeben

Geländesetzung : parabolische Methode

Beurteilungsmethodik : Grenzzustände

☐ Der Koeff. γ_{mg} reduziert die Tangente des Winkels der inneren Reibung ϕ

ständige Bemessungssituation vorübergehende Bemessungssituation Zufällige Bemessungssituation Erdbeben-Bemessungssituation

— Abminderungsbeiw. der Bodenparameter

Beiwert des Winkels der inneren Reibung :	$\gamma_{mg} =$	1,10	[-]
Beiwert der Kohäsion :	$\gamma_{mc} =$	1,40	[-]
Beiwert der Poissonzahl :	$\gamma_{mv} =$	1,00	[-]
Beiwert der Wichte hinter der Konstruktion :	$\gamma_{my} =$	1,00	[-]
Beiwert der Wichte vor der Konstruktion :	$\gamma_{my} =$	1,00	[-]
Beiwert für die Ankerstabilität :	$\gamma_{Rk} =$	1,10	[-]
Tragfähigkeitsreduktion für hydraulischen Hub :	$\gamma_h =$	1,30	[-]

Berechnungseinstellung für das Programm bearbeiten :

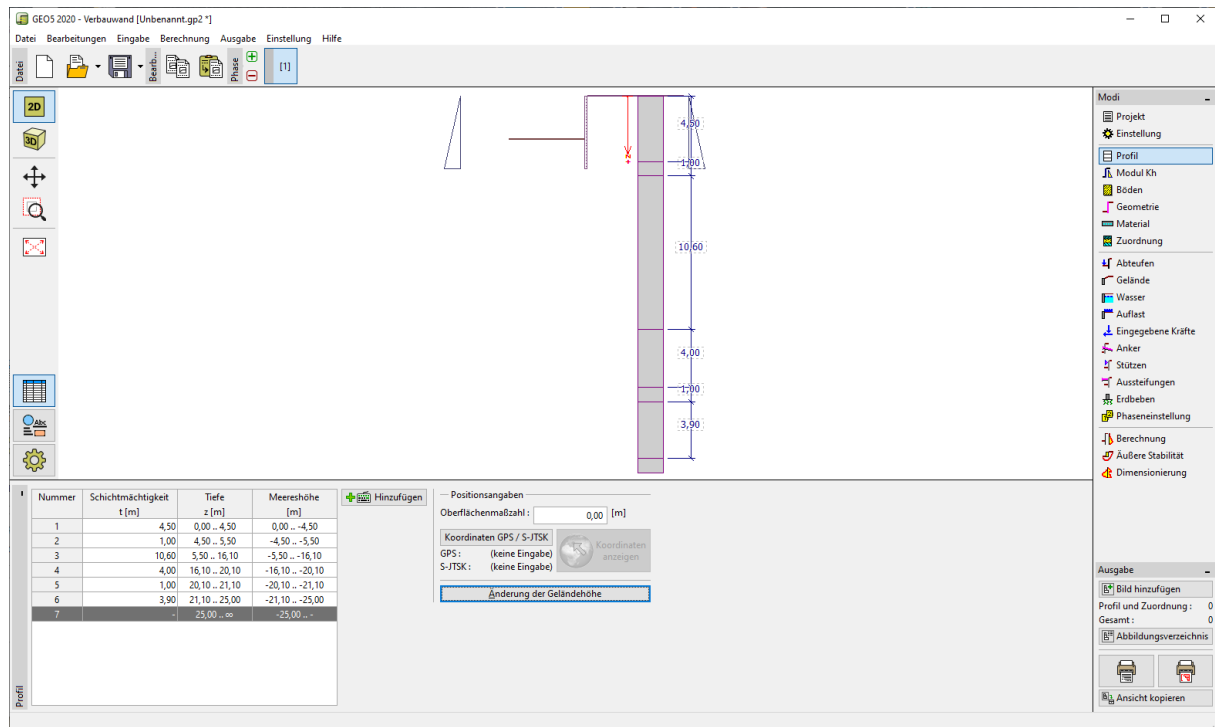
☒ Böschungsbruch

OK

Abbrechen

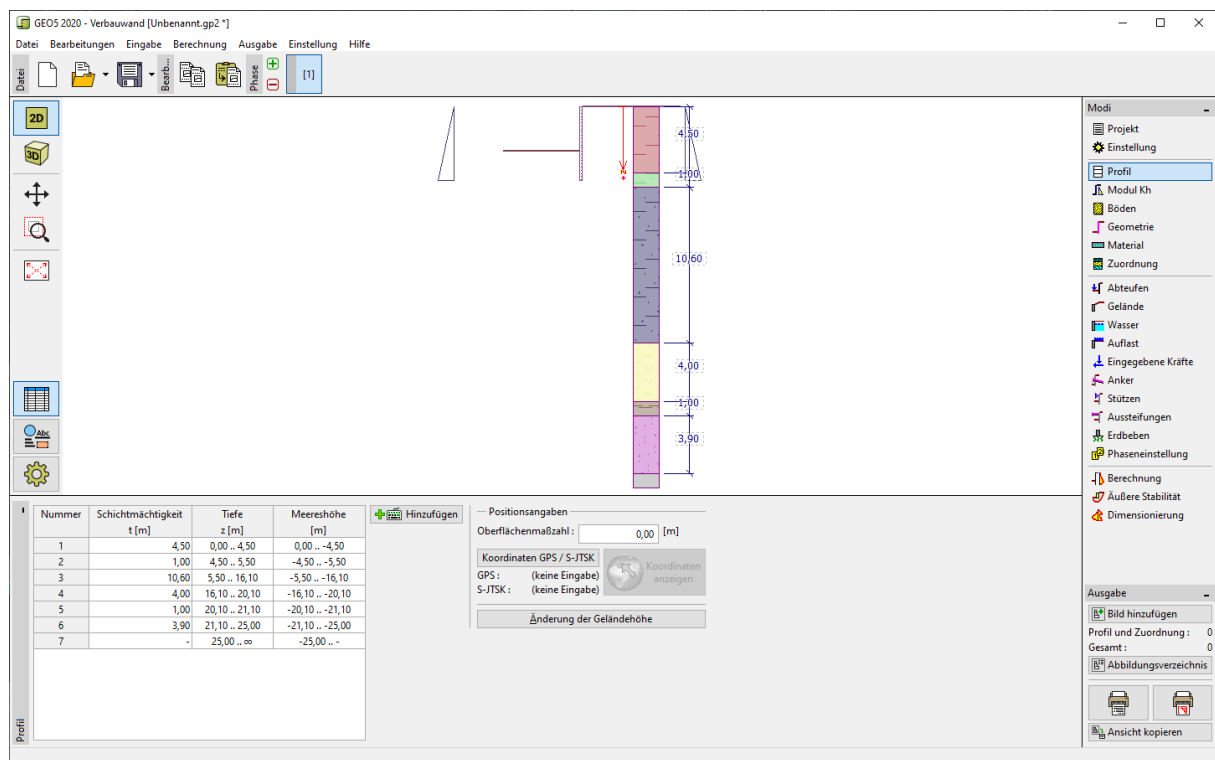
Fenster „Einstellung“ – Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe

Geben Sie in den Fenstern "Profil", "Böden" und "Zuordnung" das geologische Profil der Aufgabe gemäß den Tabellen und Informationen in der Eingabe ein. Zuerst fügen wir im Fenster "Profil" vier neue Schnittstellen hinzu - siehe Abbildung.



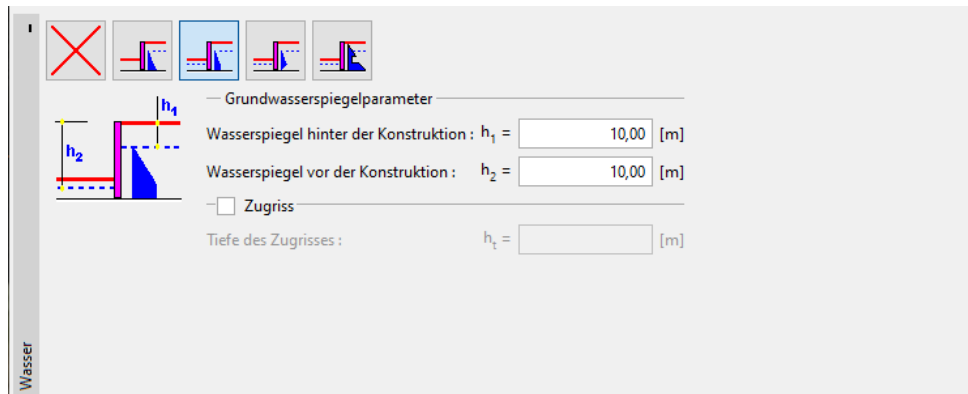
Fenster „Profil“ – Hinzufügen neuen Schnittstellen

Dann fügen wir im Fenster "Böden" sechs neue Böden mit Parametern gemäß der obigen Tabelle hinzu. Im Fenster "Zuordnung" ordnen wir sie dann der Schnittstelle zu.



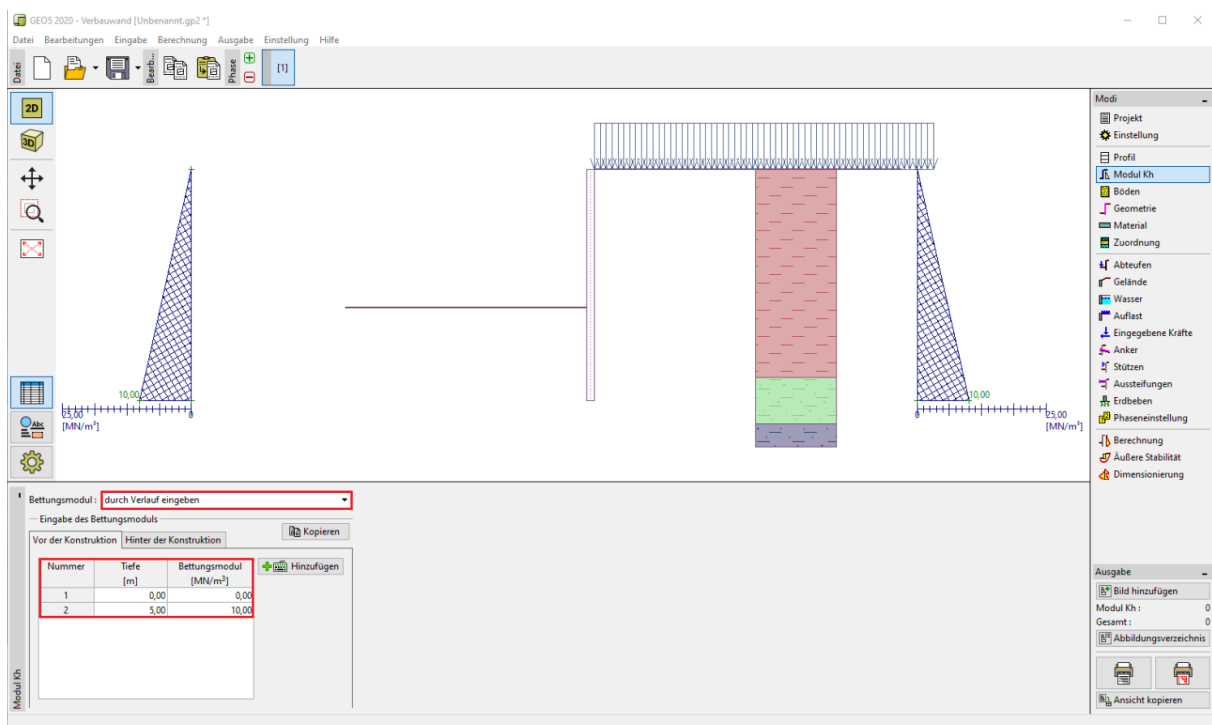
Fenster „Profil“ – Schnittstelle mit zugeordneten Böden

Dann definieren wir den Grundwasserspiegel im Fenster "Wasser". In der ersten Bauphase wird der Wasserspiegel vor und hinter der Konstruktion 10 m erreichen.



Fenster „Wasser“ – Eingabe des Grundwasserspiegels

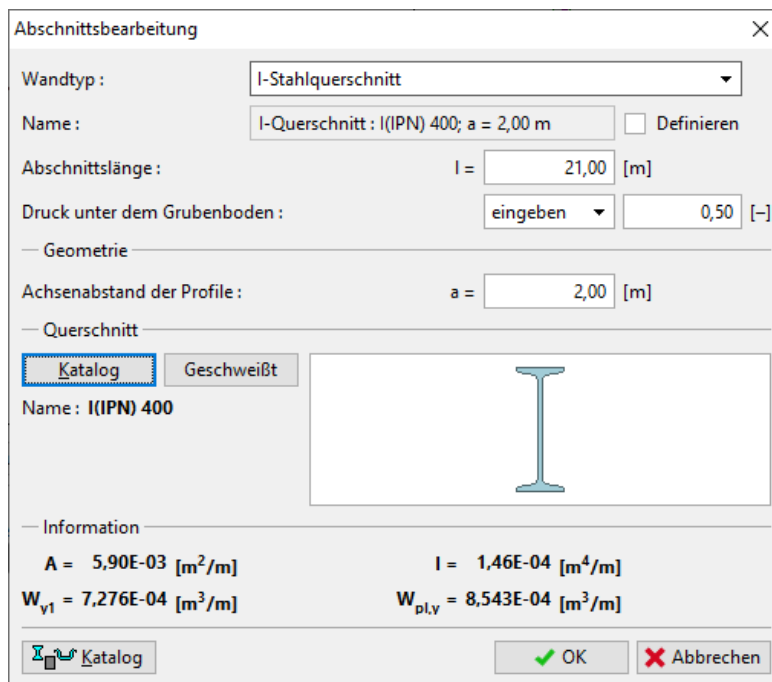
Im Fenster "Modul Kh" werden wir den Verlauf als linear ansteigend bis zu einer Tiefe von 5 m eingeben, wo der Wert von 10 MN / m³ annimmt. Von dieser Ebene aus werden wir den Verlauf als konstant eingeben. Das Modul wird in der Gesamttiefe der Konstruktion definiert. Wenn sich die Länge ändert, wird das Modul automatisch angepasst. In diesem Fall bleibt sein Wert bis zur Gesamttiefe der Konstruktion (21 m) konstant. Wenn wir die Werte von Kh nicht kennen, können wir die vorhandenen Bodeneigenschaften für die Berechnung verwenden (z. B. die Berechnung nach Schmitt - basierend auf E_{oed} oder E_{def}). Weitere Informationen zum Kh-Modul finden Sie in der Programmhilfe (F1).



Fenster „Modul Kh“

Dann gehen wir uns zum Fenster "Geometrie". Hier geben wir die Grundparameter der rückverankerten Trägerbohlwand ein - den Typ der Wand und seine Gesamtlänge $l = 21 \text{ m}$. Klicken Sie auf die Schaltfläche "Hinzufügen", wo Sie den Wandtyp "I-Stahlquerschnitt" auswählen. Wir wählen aus dem Querschnittskatalog Profil **I (IPN) 400** aus. Der Achsenabstand der einzelnen Streben ist gleich $a = 2 \text{ m}$. Als nächstes geben wir den Abminderungskoeffizienten der Erddrücke unterhalb dem Baugrubenboden mit dem Wert von 0,5 ein.

Hinweis: Der Koeffizient der Druckminderung unter dem Boden der Baugrube verringert die Größe des Erddrucks im Boden bzw. Gestein. Im Fall der klassischen Spundbohlen ist er gleich eins, bei dem rückverankerten Trägerbohlwand ist seine Größe je nach Größe und axialem Abstand der einzelnen Streben kleiner oder gleich eins (weitere Informationen in der Programmhilfe - F1).



Abschnittsbearbeitung

Wandtyp: I-Stahlquerschnitt

Name: I-Querschnitt: I(IPN) 400; a = 2,00 m ☐ Definieren

Abschnittslänge: l = 21,00 [m]

Druck unter dem Grubenboden: eingeben 0,50 [-]

— Geometrie —

Achsenabstand der Profile: a = 2,00 [m]

— Querschnitt —

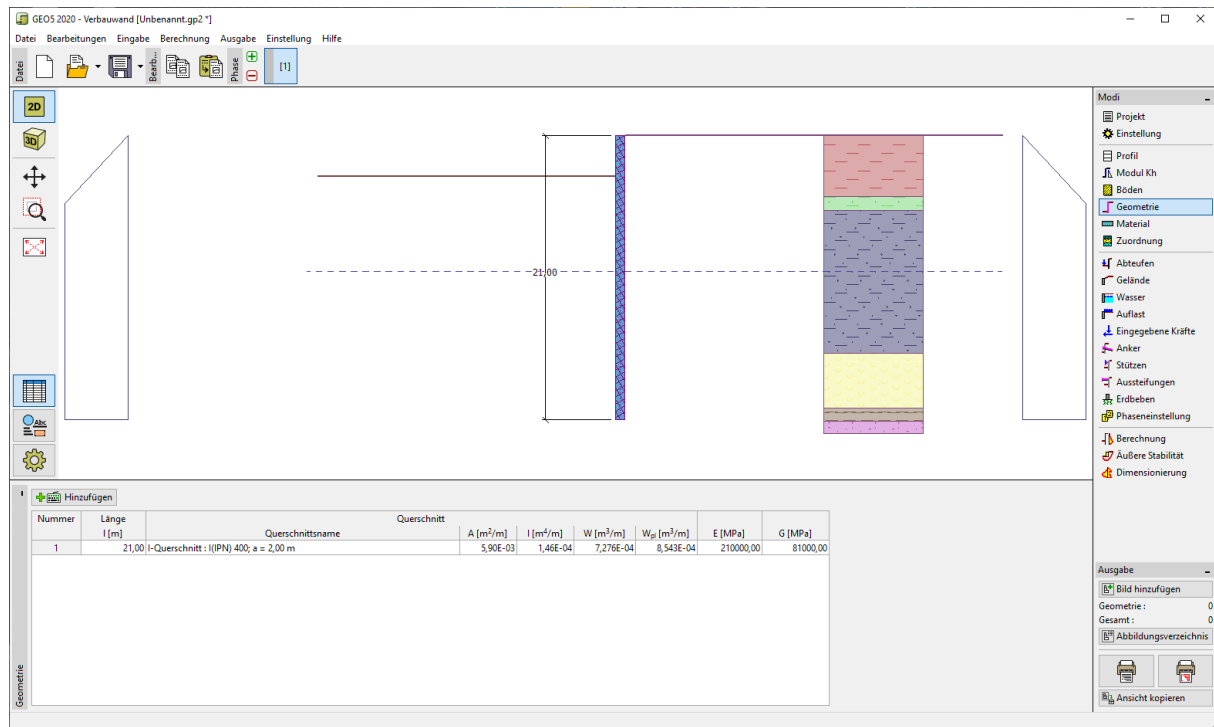
Name: I(IPN) 400

— Information —

A = 5,90E-03 [m²/m] I = 1,46E-04 [m⁴/m]

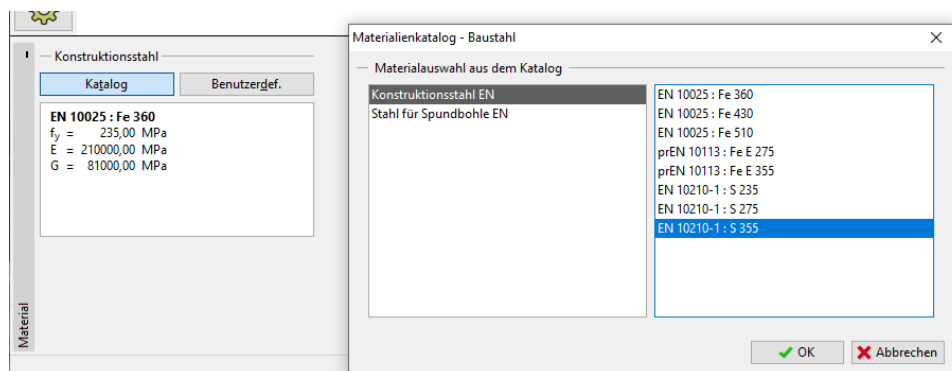
W_{v1} = 7,276E-04 [m³/m] W_{pl,v} = 8,543E-04 [m³/m]

Dialogbox „Neuer Abschnitt“ – Geometrie der rückverankerten Trägerbohlwand



Fenster „Geometrie“ – nach der Hinzufügung des neuen Abschnitts

Wählen Sie dann im Fenster "Material" den entsprechenden Konstruktionsstahl für die Streben aus dem Katalog aus, in diesem Fall den Typ **EN 10210-1: S 355**.

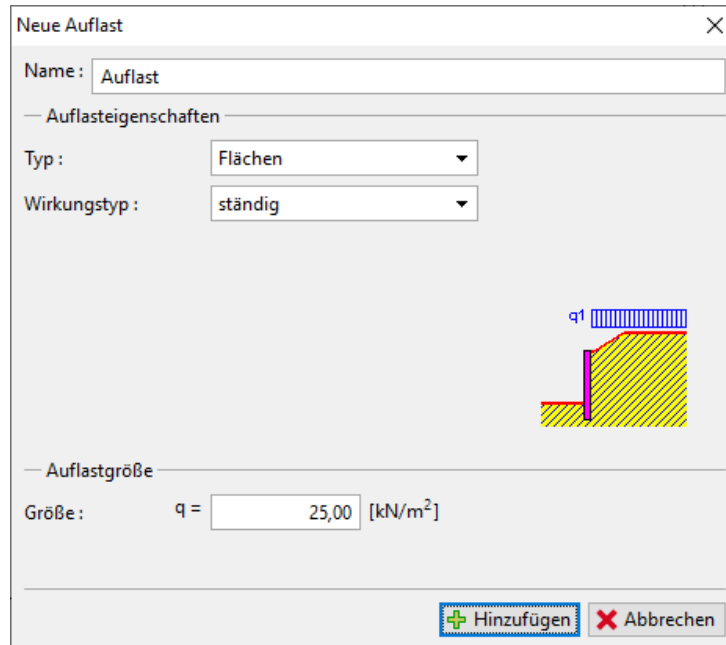


Dialogbox „Materialienkatalog“

Weiter werden wir schrittweise den Aufbau der Wand nach den einzelnen Bauphasen beschreiben. Die Aufgabe muss immer schrittweise so modelliert werden, wie auch die realistische Abfolge auf der Baustelle ist. In jeder Bauphase müssen die Werte der inneren Kräfte und die Verformungen überwacht werden.

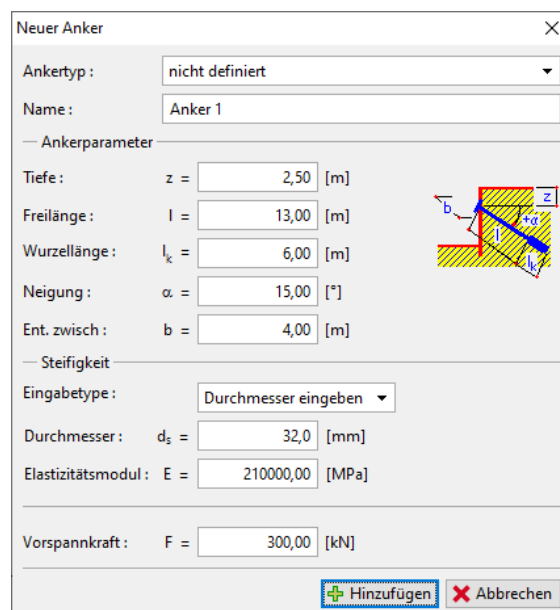
Sollte die Verbauewand in einer bestimmten Bauphase instabil sein oder die berechnete Verformung der Konstruktion zu groß sein, muss die Konstruktion modifiziert werden - z. B. die Länge der Trägerbohlwand verlängert, die Tiefe des Aushubs verringert oder die Kräfte im Anker erhöht werden usw.

In der ersten Bauphase werden wir dem Fenster "Auflast" auch eine ständige Flächenauflast in Höhe von $q = 25,0 \text{ kN/m}^2$ hinzufügen.

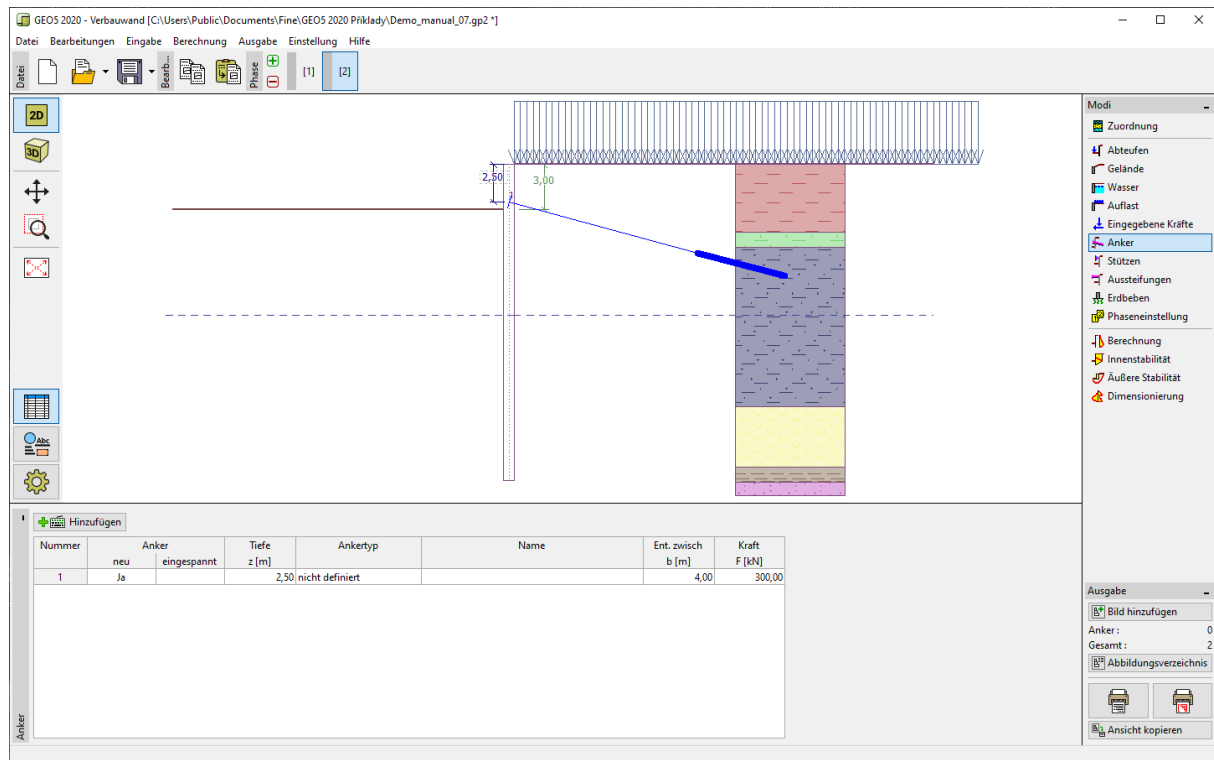


Dialogbox „Neue Auflast“

In der 1. Bauphase wird der Aushub bis zum Niveau $h = 3 \text{ m}$ durchgeführt. Der GWSp vor und hinter der Konstruktion befindet sich $h_1 = h_2 = 10 \text{ m}$ unter dem Gelände. Wir werden die Berechnung durchführen und die zweite Bauphase hinzufügen. In Phase 2 fügen wir einen neuen Anker in der Tiefe $z = 2,5 \text{ m}$ im Fenster "Anker" ein.



Fenster „Anker“ – Neuen Anker hinzufügen (2 Bauphase)



Fenster „Anker“ – 2. Bauphase

Wir werden die Berechnung durchführen und die dritte Bauphase hinzufügen. In der 3. Bauphase wechseln wir uns zum Fenster "Abteufen", wo wir die Schachttiefe auf $h = 6,5 \text{ m}$ ändern. Wir werden in dieser Bauphase keine Anker hinzufügen. Wir werden die Berechnung wieder durchführen und die vierte Bauphase hinzufügen. In Phase 4 werden wir einen Anker in der Ebene $z = 5,5 \text{ m}$ erstellen. Der Verlauf des GWSp ändert sich im Vergleich zu den vorherigen Bauphasen nicht.

Neuer Anker

Ankertyp : nicht definiert

Name : Anker 2

— Ankerparameter

Tiefe : $z = 5,50$ [m]

Freilänge : $l = 10,00$ [m]

Wurzellänge : $l_k = 6,00$ [m]

Neigung : $\alpha = 17,50$ [°]

Ent. zwisch : $b = 4,00$ [m]

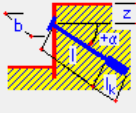
— Steifigkeit

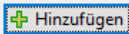
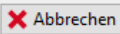
Eingabetype : Durchmesser eingeben

Durchmesser : $d_s = 32,0$ [mm]

Elastizitätsmodul : $E = 210000,00$ [MPa]

Vorspannkraft : $F = 350,00$ [kN]



Fenster „Anker“ – Hinzufügung des neuen Ankers (4. Bauphase)

GEO5 2020 - Verbauwand [Unbenannt.gp2 *]

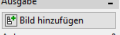
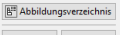
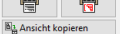
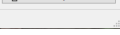
Datei Bearbeitungen Eingabe Berechnung Ausgabe Einstellung Hilfe

2D

Modi

- Zuordnung
- Abteufen
- Gelände
- Wasser
- Auflast
- Eingegebene Kräfte
- Anker
- Stützen
- Aussteifungen
- Erdbeben
- Phaseneinstellung
- Berechnung
- Innenstabilität
- Äußere Stabilität
- Dimensionierung

Ausgabe

-  Bild hinzufügen
- Anker : 0
- Gesamt : 0
-  Abbildungsverzeichnis
-  Drucken
-  Ansicht kopieren

Nummer	neu	Anker	eingespannt	Tiefe z [m]	Ankertyp	Name	Ent. zwisch b [m]	Kraft F [kN]
1	Nein	Nein		2,50	nicht definiert	Anker 1	4,00	365,78
2	Ja	Nein		5,50	nicht definiert	Anker 2	4,00	350,00

Fenster „Anker“ – 4. Bauphase

Wir werden die fünfte Bauphase hinzufügen. In Phase 5 ändern wir die Tiefe der Baugrube auf $h = 9 \text{ m}$. Dann fügen wir eine weitere Bauphase hinzu. In der 6. Bauphase fügen wir einen Anker in der Tiefe $z = 8,5 \text{ m}$ hinzu. Der Verlauf des GWSp ändert sich im Vergleich zu den vorherigen Bauphasen nicht.

Ankerbearbeitung

Ankertyp: nicht definiert

Name: Anker 3

— Ankerparameter

Tiefe: $z = 8,50 \text{ [m]}$

Freilänge: $l = 7,00 \text{ [m]}$

Wurzellänge: $l_k = 6,00 \text{ [m]}$

Neigung: $\alpha = 20,00 \text{ [°]}$

Ent. zwisch: $b = 4,00 \text{ [m]}$

— Steifigkeit

Eingabetype: Durchmesser eingeben

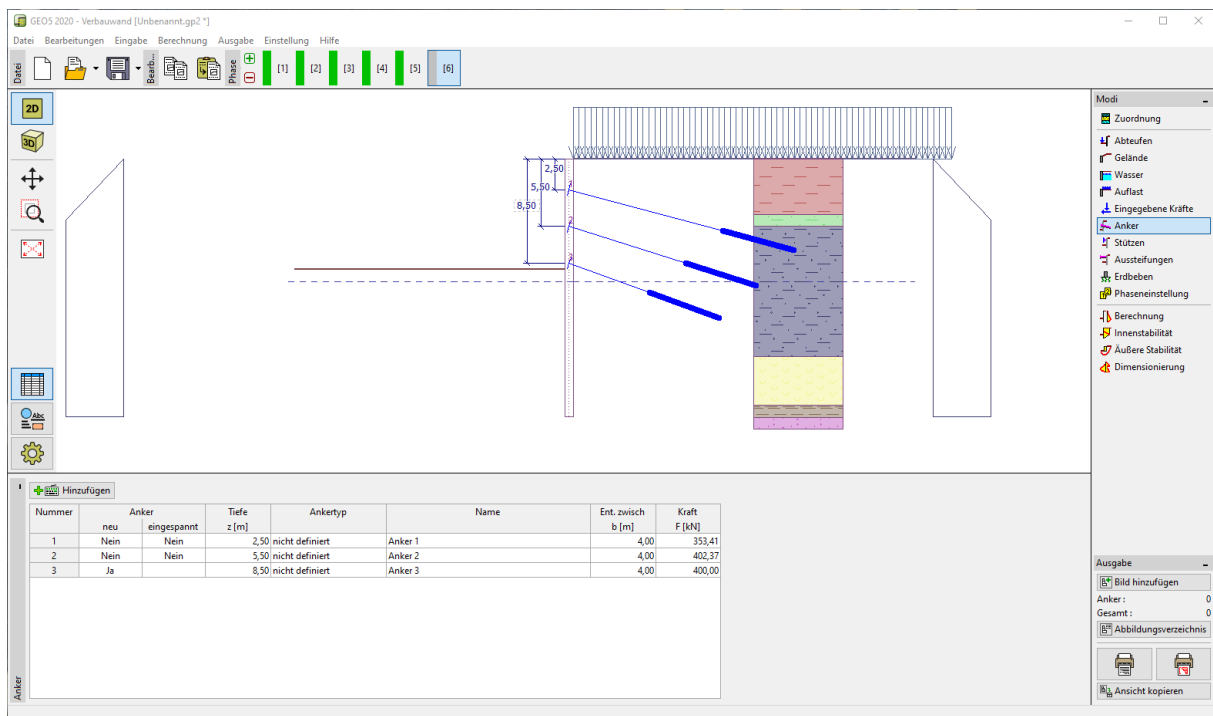
Durchmesser: $d_s = 32,0 \text{ [mm]}$

Elastizitätsmodul: $E = 210000,00 \text{ [MPa]}$

Vorspannkraft: $F = 400,00 \text{ [kN]}$

OK + ↑ OK + ↓ OK Abbrechen

Fenster „Anker“ – Hinzufügen des neuen Ankers (6 Bauphase)



Fenster „Anker“ – 6 Bauphase

Wir werden eine neue Bauphase hinzufügen. In der 7. Bauphase werden wir den Aushub auf die Ebene $h = 11,5 \text{ m}$ ändern. Weiterhin werden wir im Fenster "Wasser" den GWSp der

rückverankerten Trägerbohlwand auf die Ebene $h_2 = 12 \text{ m}$ ändern, hinter der Wand ändert sich die Ebene nicht. Wir werden eine neue Bauphase hinzufügen. In der 8. Bauphase wird der Anker in der Tiefe $z = 11 \text{ m}$ positioniert.

Ankerbearbeitung X

Ankertyp: nicht definiert

Name: Anker 4

— Ankerparameter

Tiefe: $z =$ 11,00 [m]

Freilänge: $l =$ 6,00 [m]

Wurzellänge: $l_k =$ 4,00 [m]

Neigung: $\alpha =$ 22,50 [°]

Ent. zwisch: $b =$ 4,00 [m]

— Steifigkeit

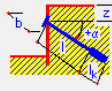
Eingabetype: Durchmesser eingeben

Durchmesser: $d_s =$ 32,0 [mm]

Elastizitätsmodul: $E =$ 210000,00 [MPa]

Vorspannkraft: $F =$ 500,00 [kN]

OK + ↑
OK + ↓
OK
X Abbrechen



Fenster „Anker“ – Hinzufügen des neuen Ankers (8. Bauphase)

GEO5 2020 - Verbauwand [Unbenannt.grd]

Datei Bearbeitungen Eingabe Berechnung Ausgabe Einstellung Hilfe

2D 3D

Diagramm einer Verbauwand mit 8 Bauphasen. Die Bauphase 8 ist hervorgehoben. Die Wand ist mit einem Anker (Anker 4) versehen, der in der Tiefe $z = 11,00 \text{ m}$ positioniert ist. Die Bauphase 8 ist mit einer roten Linie markiert.

Nummer	neu	Anker	eingespannt	Tiefe z [m]	Ankertyp	Name	Ent. zwisch b [m]	Kraft F [kN]
1	Nein	Nein	Nein	2,50	nicht definiert	Anker 1	4,00	353,14
2	Nein	Nein	Nein	5,50	nicht definiert	Anker 2	4,00	393,99
3	Nein	Nein	Nein	8,50	nicht definiert	Anker 3	4,00	488,38
4	Ja	Nein	Nein	11,00	nicht definiert	Anker 4	4,00	500,00

Modi: Zuordnung, Abteufen, Gelände, Wasser, Auflast, Eingegabene Kräfte, Anker, Stützen, Aussteifungen, Erdbeben, Phaseinstellung, Berechnung, Innenstabilität, Äußere Stabilität, Dimensionierung

Ausgabe: Bild hinzufügen, Abbildungsverzeichnis, Ansicht kopieren

Fenster „Anker“ – 8 Bauphase

Wir werden eine neue Bauphase hinzufügen. In der Bauphase 9 wird die Baugrube bis zu der Ebene $h = 13,5 \text{ m}$ ausgehoben. Wir werden auch das GWSp vor der Wand auf die Ebene $h_2 = 15,5 \text{ m}$ ändern. Dann fügen wir eine weitere Bauphase hinzu. In der 10. Bauphase werden wir einen Anker in der Tiefe $z = 13 \text{ m}$ hinzufügen.

Ankerbearbeitung

Ankertyp : nicht definiert

Name : Anker 5

— Ankerparameter —

Tiefe : $z = 13,00$ [m]

Freilänge : $l = 5,00$ [m]

Wurzellänge : $l_k = 3,00$ [m]

Neigung : $\alpha = 25,00$ [°]

Ent. zwisch : $b = 4,00$ [m]

— Steifigkeit —

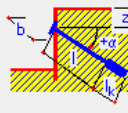
Eingabetype : Durchmesser eingeben

Durchmesser : $d_s = 32,0$ [mm]

Elastizitätsmodul : $E = 210000,00$ [MPa]

Vorspannkraft : $F = 550,00$ [kN]

OK + ↑ OK + ↓ OK Abbrechen



Fenster „Anker“ – Hinzufügen des neuen Ankers (10. Bauphase)

GEO5 2020 - Verbauwand [Unbenannt.gp2 *]

Datei Bearbeitungen Eingabe Berechnung Ausgabe Einstellung Hilfe

Phasen [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10]

2D 3D

Modi

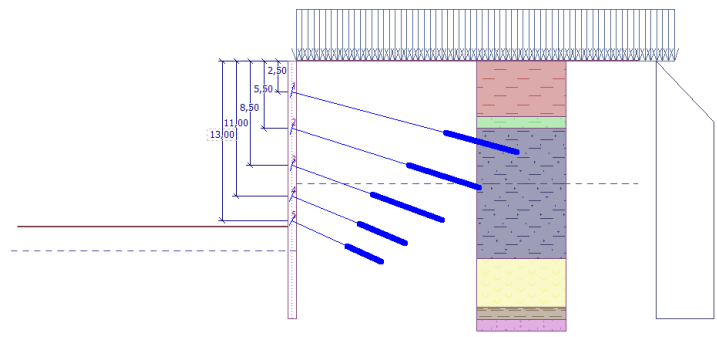
- Zuordnung
- Abteufen
- Gelände
- Wasser
- Auflast
- Eingegebene Kräfte
- Anker
- Stützen
- Aussteifungen
- Erdbeben
- Phaseneinstellung
- Berechnung
- Innenstabilität
- Außere Stabilität
- Dimensionierung

Ausgabe

- Bild hinzufügen
- Anker : 0
- Gesamt : 0
- Abbildungsverzeichnis
- Ansicht kopieren

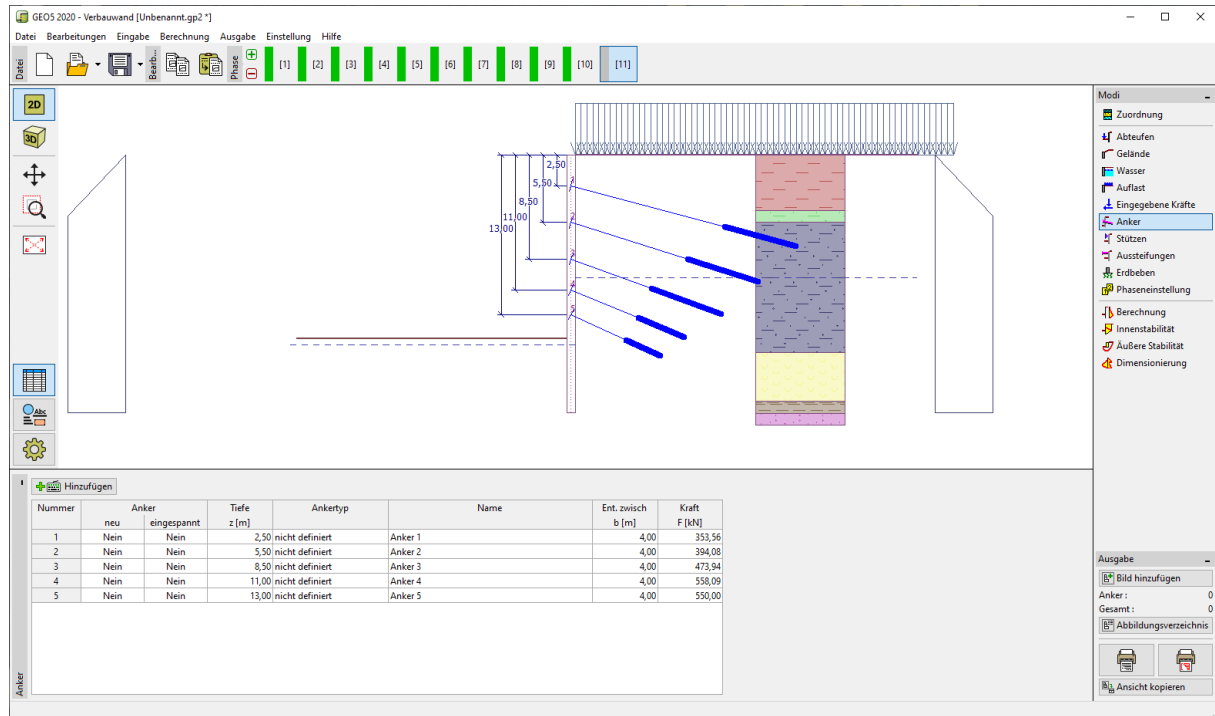
Hinzufügen

Nummer	neu	Anker	eingespannt	Tiefe z [m]	Ankertyp	Name	Ent. zwisch b [m]	Kraft F [kN]
1	Nein	Nein	Nein	2,50	nicht definiert	Anker 1	4,00	353,70
2	Nein	Nein	Nein	5,50	nicht definiert	Anker 2	4,00	393,05
3	Nein	Nein	Nein	8,50	nicht definiert	Anker 3	4,00	472,48
4	Nein	Nein	Nein	11,00	nicht definiert	Anker 4	4,00	591,63
5	Ja	Nein	Nein	13,00	nicht definiert	Anker 5	4,00	550,00



Fenster „Anker“ – 10. Bauphase

In der letzten, d.h. der 11. Bauphase, werden wir die Tiefe des Aushubs auf $h = 15$ m ändern, wir werden keine weiteren Anker hinzufügen. Die Höhe des GWSp wird sich nicht mehr ändern.

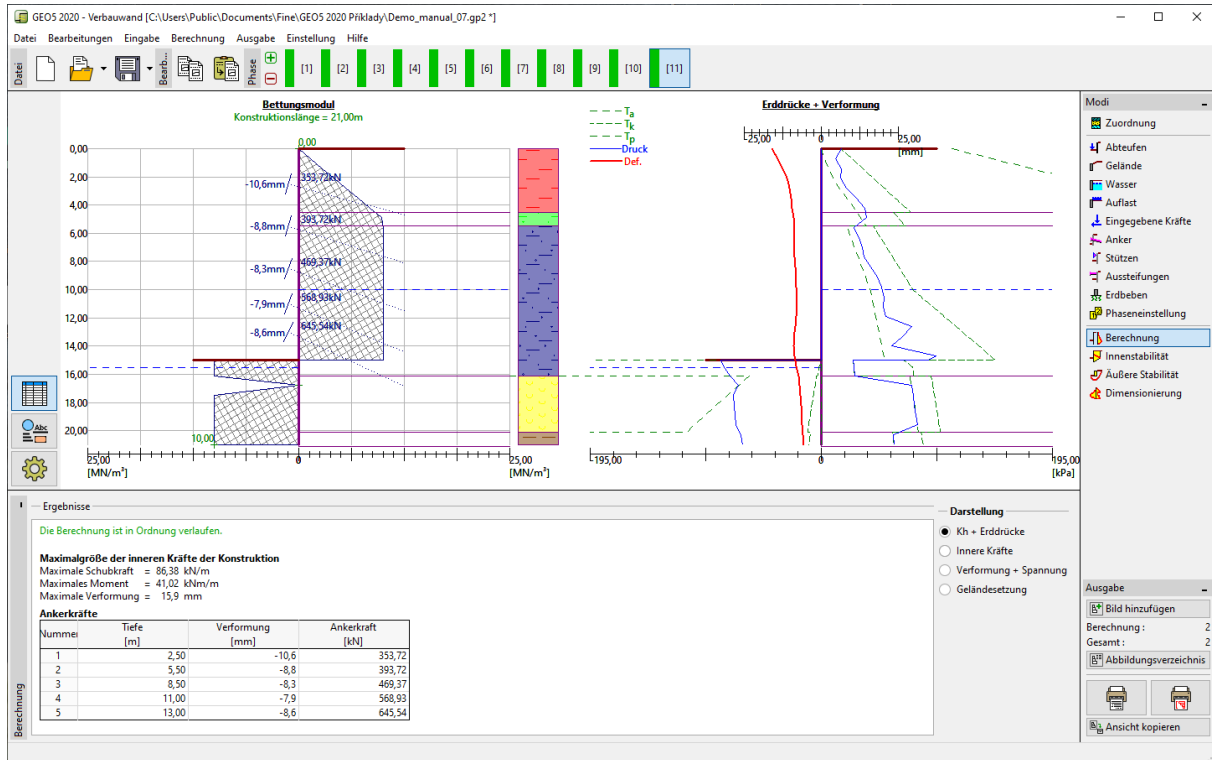


Fenster „Anker“ – 11. Bauphase

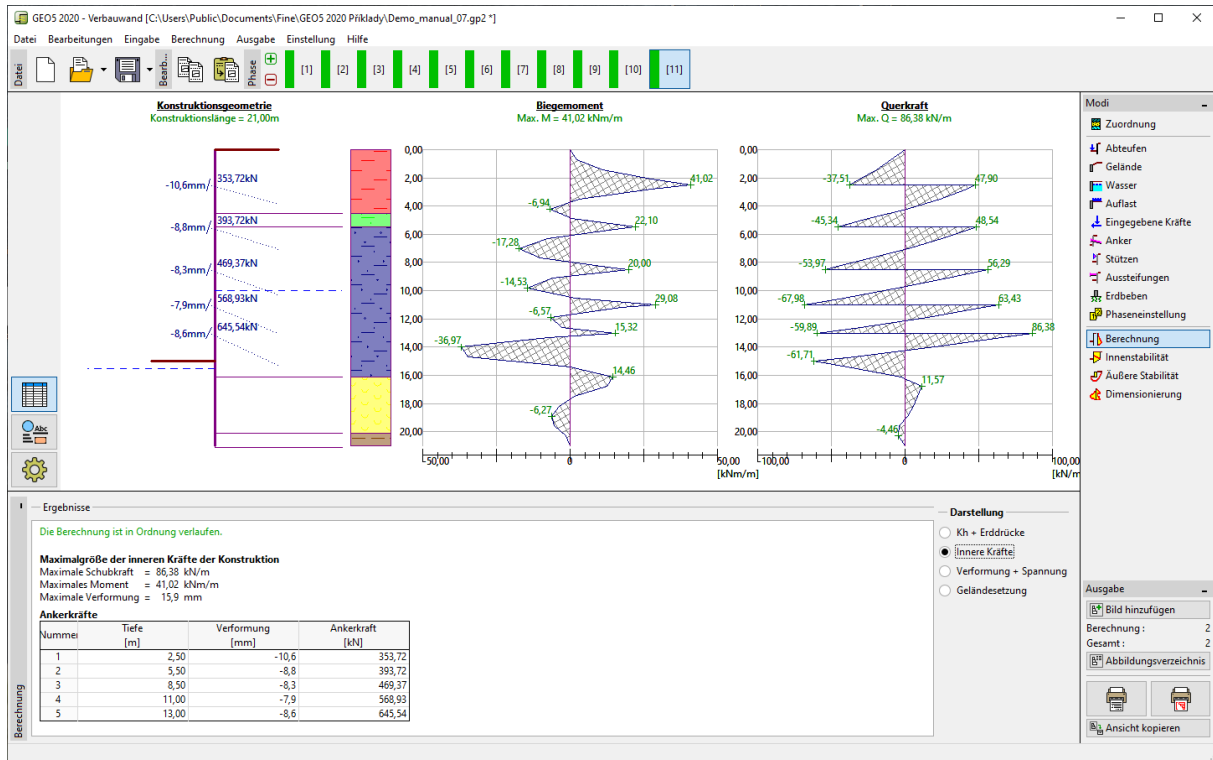
Hinweis: Unter Einfluss der Verformung der Konstruktion ändert sich die Größe der Kräfte in den Ankern in Abhängigkeit von der Verformung der Konstruktion und der Steifigkeit der Anker. Die Kraft in einigen Ankern kann zunehmen, in anderen kann sie abnehmen (aufgrund des Verlusts der Vorspannung). Mit dem Programm kann den eingegebenen Anker jederzeit eine neue Vorspannkraft hinzugefügt werden (weitere Informationen finden Sie in der Hilfe - F1).

Berechnungsergebnisse:

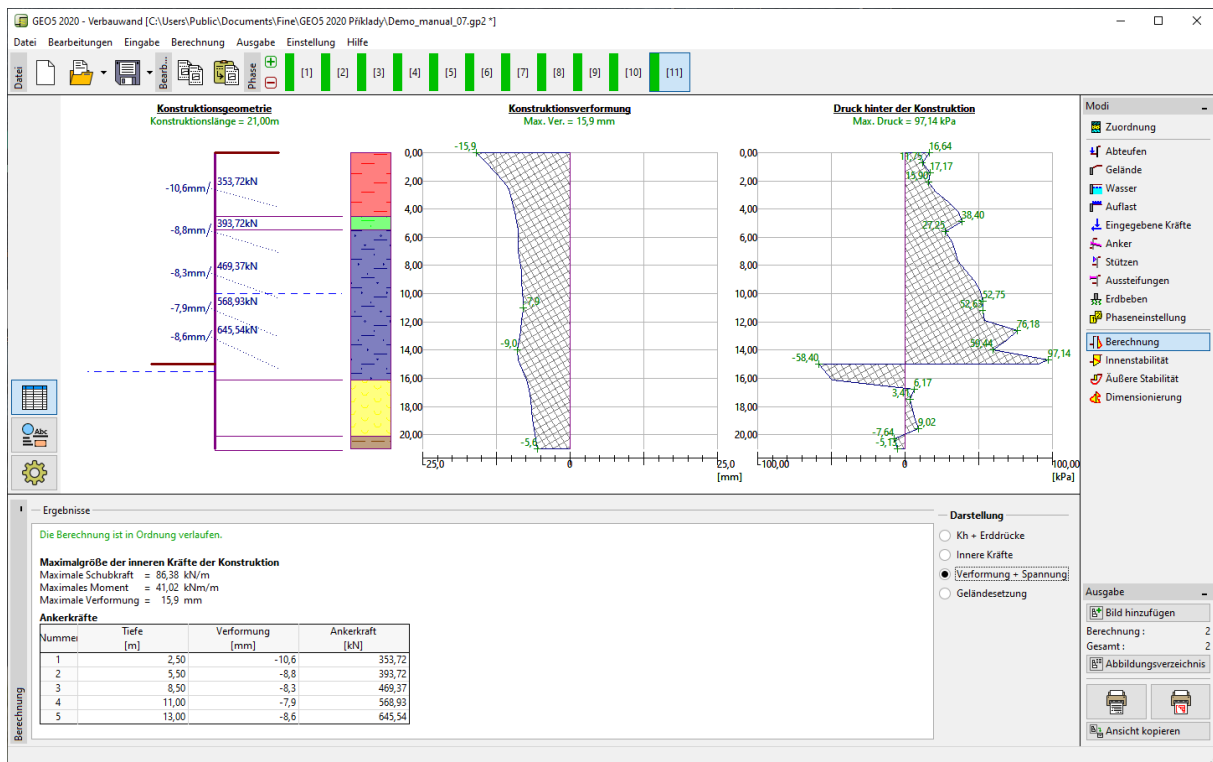
Die folgenden Abbildungen zeigen den Verlauf der inneren Kräfte (Biegemoment und Scherkraft), des Erddrucks und der Verformungen der Konstruktion für die letzte Bauphase.



Fenster „Berechnung“ – 11. Bauphase (Kh + Drücke)



Fenster „Berechnung“ – 11. Bauphase (innere Kräfte)



Fenster „Berechnung“ – 11. Bauphase (Verformung der Konstruktion + Verlauf des Erddrucks)

Alle Bauphasen sind jetzt berechnet. Dies bedeutet, dass die rückverankerte Trägerbohlwand in allen Bauphasen stabil und funktionsfähig ist. Es ist auch notwendig, die Verformung der Konstruktion zu überprüfen und ob die erreichten Kräfte in den Ankern die Tragfähigkeit des betreffenden Ankers nicht überschreiten (im "Baugrube Nachweis"-Programm wird dieses nicht überprüft). Für die 11. Bauphase sind die Ergebnisse wie folgt:

- Max. Schubkraft: $Q_{max} = 86,38 \text{ kN/m}$
- Max. Biegemoment : $M_{max} = 41,02 \text{ kNm/m}$
- Max. Druck auf die Konstr. $\sigma_x = 97,04 \text{ kPa}$
- Max. Wandverformung: $umm_{max} = 15,9 \text{ mm}$

Nachweis des Querschnitts der Strebe:

Um das Stahlprofil zu überprüfen, gehen wir zum Fenster "Dimensionierung", in dem die Umhüllenden der inneren Kräfte und Verformungen aus allen Bauphasen angezeigt werden, d.h. die resultierenden Maximal- und Minimalwerte der relevanten Parameter.

- Max. Schubkraft: $Q_{max,min} = 86,38 \text{ kN/m}$
- Max. Biegemoment: $M_{max,min} = 50,73 \text{ kNm/m}$

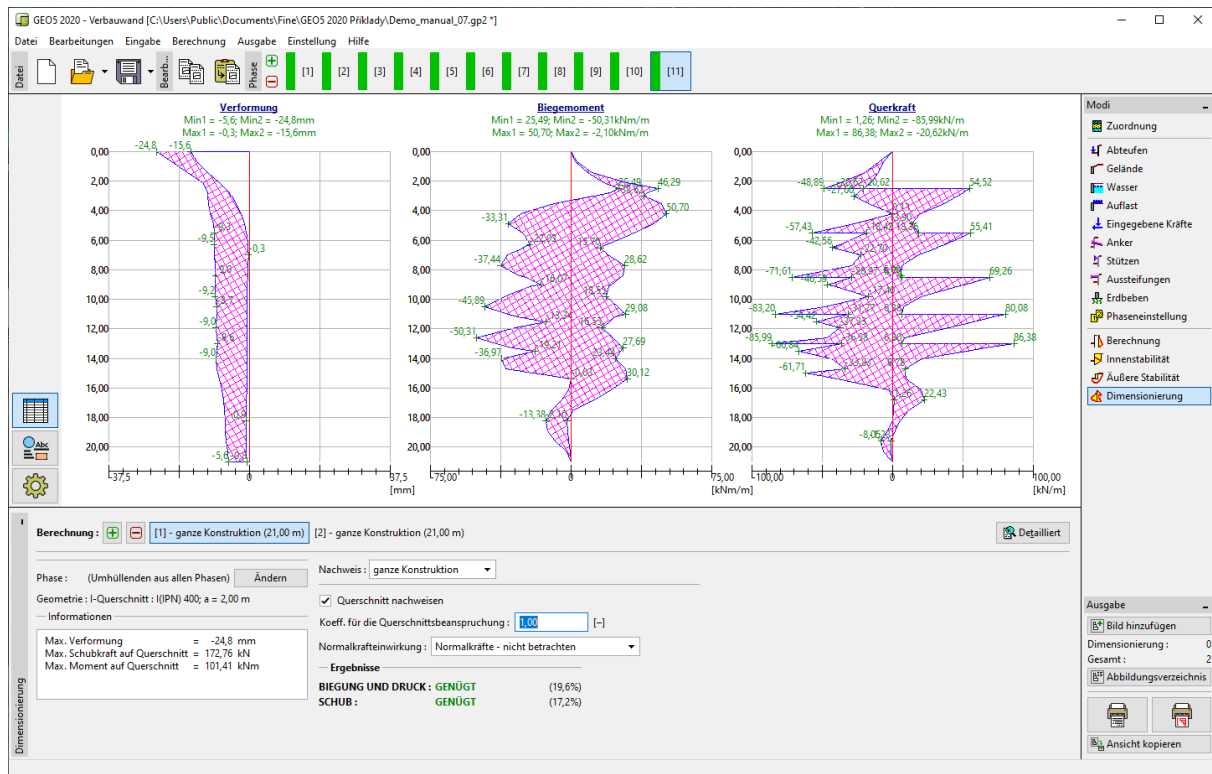
Die inneren Kräfte werden im Programm "Baugrube Nachweis" pro laufenden Meter der Konstruktion berechnet. Für die tatsächliche Dimensionierung der Stahlstrebe müssen wir diese Werte mit dem axialen Abstand der Profile $a = 2 \text{ m}$ multiplizieren, um innere Kräfte zu erhalten, die direkt im Querschnitt der Strebe wirken.

- Max. Schubkraft für Dimensionierung: $Q_{Ed,max} = 86,38 * 2,0 = 172,76 \text{ kN}$,
- Max. Biegemoment für Dimensionierung: $M_{Ed,max} = 50,73 * 2,0 = 101,46 \text{ kNm}$.

Für diese extreme innere Kräfte führt das Programm dann die entsprechende Überprüfung des Querschnitts der Stahlstrebe gemäß der Norm EN 1993-1-1 (EC 3) durch.

Der Berechnungsbeiwert von Querschnittsbelastung haben wir vorerst bei 1,0 belassen. In diesem Fall ist die Gesamtnutzung des Querschnitts wie folgt:

- Nachweis der Biegefestigkeit: $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 101,46 \text{ kNm}$.
- Ausnutz. des Strebenquerschnitts: **19,6 %** Querschnitt I (IPN) 400 genügt.



Fenster „Dimensionierung“ – 11 Bauphase (Nachweis des Querschnitts der Stahlstrebe I 400)

Bei der Berechnung haben wir die Größe der Erddrücke als nicht reduziert belassen, d.h. die Belastung ist niedriger als sie gemäß EN 1997-1 sein sollte. Die erhaltenen Verläufe der inneren Kräfte entsprechen jedoch am besten dem tatsächlichen Verhalten der Konstruktion. Änderungen im Verlauf des Erddrucks führen zu einer Erhöhung der Sicherheit, gleichzeitig aber auch zu einer Verzerrung der Ergebnisse. Aus diesem Grund werden wir für unsere eigene Überprüfung des Stahlquerschnitts unsere eigene Größe des Beanspruchungsfaktors einführen.

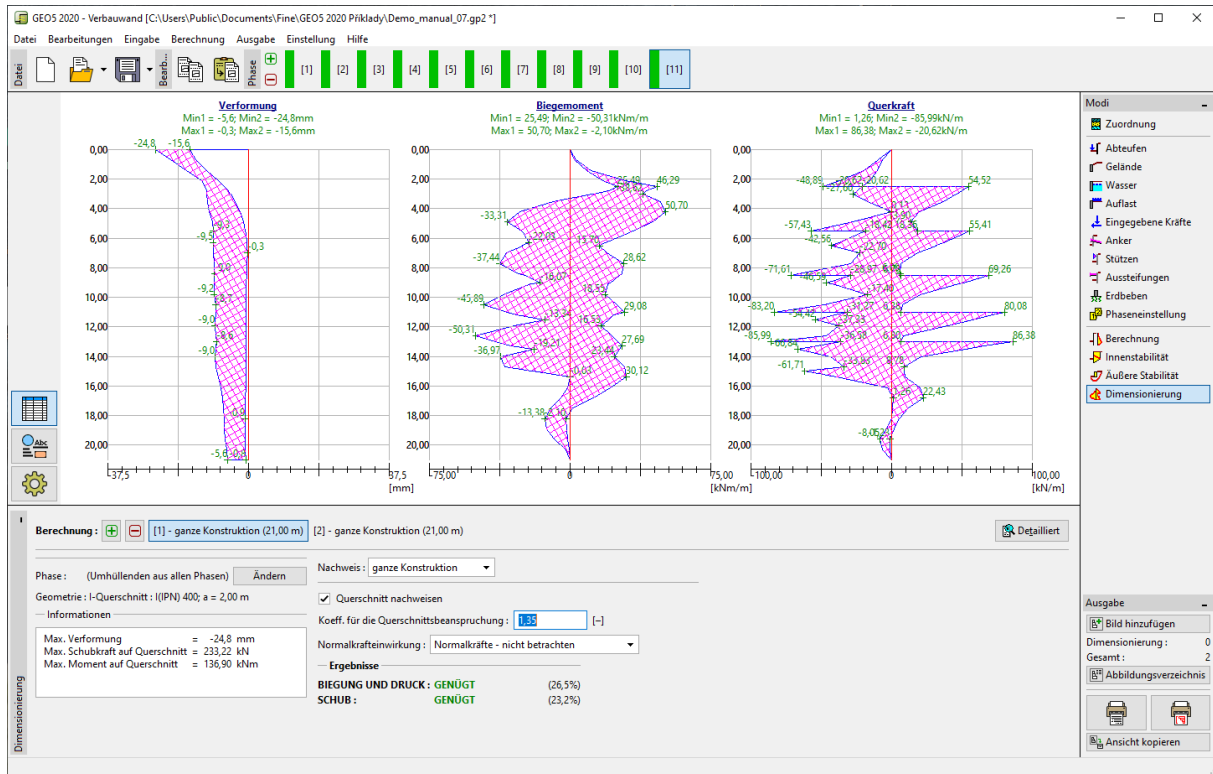
Hinweis: Der Standard EN 1997-1 geht davon aus, dass der Teilsicherheitsfaktor für Dauerlasten gleich $\gamma_G = 1,35$ ist. Bei variablen Lasten wird dann die Größe des Faktors $\gamma_Q = 1,5$ berücksichtigt. In unserem Fall wirken alle Belastungen als ständig, den Koeffizient γ_G betrachten wir in der Größe von 1,35.

Bei einer Kombination von ständigen und veränderlichen Lasten müssen wir die Größe des Berechnungsfaktors durch Schätzung im Bereich von 1,35 bis 1,5 gemäß den vorherrschenden Verhältnissen der einzelnen Komponenten der Last bestimmen.

Wir ändern den Berechnungsfaktor der Querschnittsbeanspruchung auf den Wert 1,35. Die direkt im Querschnitt der Strebe wirkenden innere Kräfte, die wir mit diesem Faktor multiplizieren, sehen dann wie folgt aus:

– Max. Schubkraft für Dimensionierung: $Q_{Ed,max} = (86,38 * 2) * 1,35 = 233,22 \text{ kN}$

- Max. Biegemoment für Dimensionierung: $M_{Ed,max} = (50,73 * 2) * 1,35 = 136,98 \text{ kNm}$



Fenster „Dimensionierung“ – 11 Bauphase (neue Überprüfung des Querschnitts der Stahlstrebe I 400)

Wenn der Koeffizient für die Querschnittsbeanspruchung berücksichtigt wird, sieht die Ausnutzung der Strebe wie folgt aus:

- Überprüfung der Biegefestigkeit: $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 136,98 \text{ kNm}$
- Gesamtnutzung des Querschnitts der Strebe: **26,5 %** I (IPN) 400 **genügt**
- Überprüfung der Scherfestigkeit: $V_{c,Rd} = 1005,29 \text{ kN} \geq Q_{Ed,max} = 233,22 \text{ kN}$
- Gesamtnutzung des Querschnitts der Strebe: **23,2 %** I (IPN) 400 **genügt**

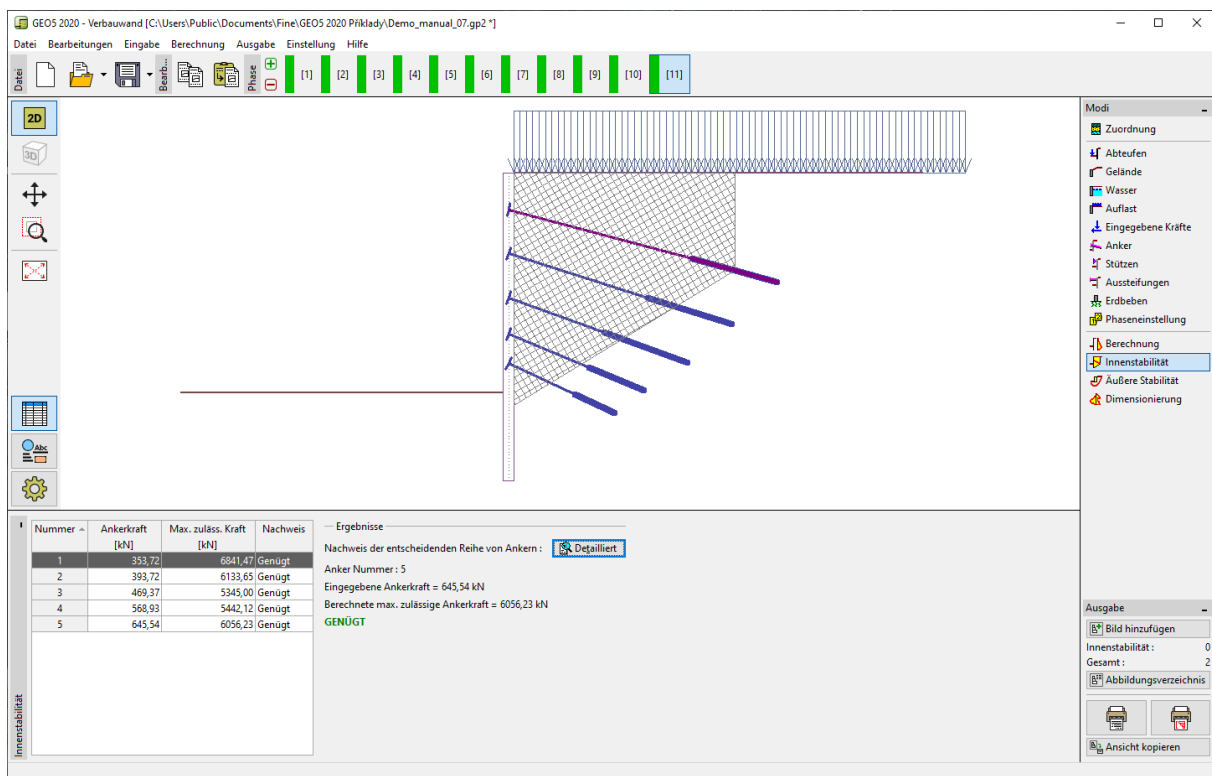
Berechnung der Innenstabilität:

Um die Stabilität des Ankersystems zu bestimmen, gehen wir in der letzten Bauphase zum Fenster "Innenstabilität", wo wir die Werte der maximal zulässigen Kraft in den einzelnen Anker betrachten.

Hinweis: Der Nachweis wird dann folgendermaßen durchgeführt: Zuerst wird die Ankerkraft festgestellt, die dann das Kräftesystem ins Gleichgewicht bringt, das auf den Erdblock wirkt. Dieser Erdblock wird durch die Verbauwand, die Geländeoberfläche, die Verbindung des theoretischen Fußes der Verbauwand mit der Mitte der Ankerwurzel und der Vertikalen zwischen der Mitte der Ankerwurzel und der Geländeoberfläche abgegrenzt (weitere Informationen finden Sie unter Hilfe - F1). Wenn der Nachweis eines Anker nicht ausreichend ist, muss seine Form geändert werden - meistens reicht es aus, ihn zu verlängern oder die Vorspannkraft zu verringern.

Aus der Berechnung erhalten wir die maximale Kraft im Anker (Reihe Nr. 5) sowie die Gesamtausnutzung des Ankers:

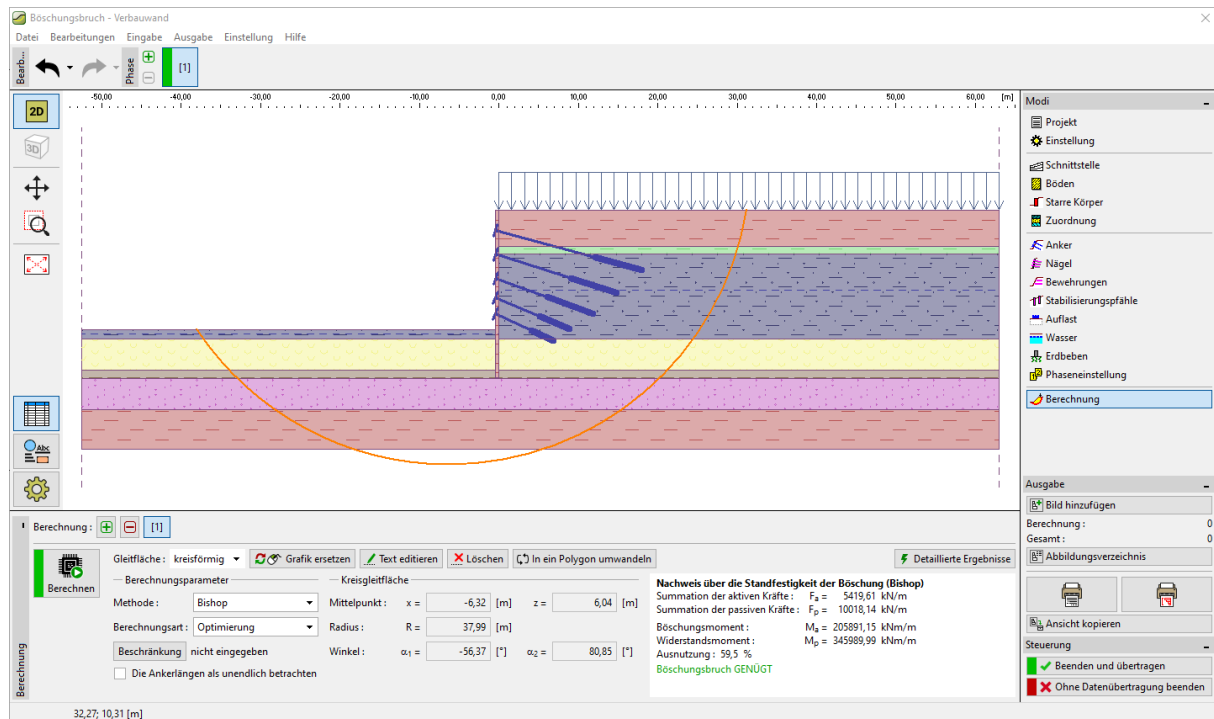
– Innenstabilität: **10,66 %** **$F_{\text{Zad}} = 645,54 \text{ kN} < F_{\text{max}} = 6056,23 \text{ kN}$** **GENÜGT**



Fenster „Innenstabilität“ – 11. Bauphase

Berechnung der äußeren Stabilität:

Der letzte Schritt besteht darin, die äußere Stabilität der Konstruktion zu nachweisen (unter Verwendung des Fensters "Äußere Stabilität"). Durch Klicken auf das Fenster "Äußere Stabilität" wird automatisch das Programm "Böschungsbruch" geöffnet. Dort gehen wir zum Fenster "Berechnung", wo wir auf die Schaltfläche "Berechnen" klicken, um eine Überprüfung des Böschungsbruchs durchzuführen.



Fenster „Äußere Stabilität“ – Bishop (Optimierungg)

Schlussfolgerung, Zusammenfassung der Ergebnisse:

Die vorgeschlagene Konstruktion der rückverankerten Trägerbohlwand aus Stahl-I-Profilen erfüllt alle Konstruktionsanforderungen. Die maximale Verformung der Wand beträgt jetzt 24,8 mm, was für diese Art der Konstruktion geeignet ist. Die Grenzkkräfte in den Ankern wurden nicht überschritten.

– Querschnittstragfah.	26,5 %	516,61 kNm $\geq$ 136,98 kNm	GENÜGT
– Innenstabilität:	10,66 %	$F_{\text{zad}} = 645,54 \text{ kN} < F_{\text{max}} = 6056,23 \text{ kN}$	GENÜGT
– Gesamtstabilität:	59,4 %	Metotho – Bishop (Optimierung)	GENÜGT

Die vorgeschlagene rückverankerte Trägerbohlwand ist in jeder Hinsicht geeignet.