

Sicherung der Böschung mithilfe von Stabilisierungspfählen

Programm: **Böschungsbruch, Stabilisierungspfahl**

Datei: Demo_manual_19.gst

Anleitung

Stabilisierungspfähle werden zur Stabilisierung von großen Erdrutschen verwendet. Es handelt sich im Wesentlichen um eine Pfahlwand, die vollständig (oder fast vollständig) an einer Böschung durchgeführt wird, so dass sie über die Scherfläche verläuft und somit weitere Erdrutsche verhindert. Einzelne Pfähle haben normalerweise einen großen Durchmesser. Ihr Querschnitt kann kreisförmig oder rechteckig sein.

Die Böschung, die wir mit Hilfe von Stabilisierungspfählen stabilisieren wollen, sollte mehrere Grundbedingungen erfüllen. Vor allem sollte die Position der Gleitfläche (ihre Tiefe unter dem Gelände am Ort des Stabilisierungspfahls) bekannt sein. Weiterhin ist es wichtig, dass das Gestein (Boden) unter der Scherfläche ausreichend intakt ist und somit die von den Stabilisierungspfählen auf sie ausgeübte Last übertragen kann.

Die Lösung selbst kann in zwei Schritte unterteilt werden. Zunächst ist es notwendig, die Böschung mit Rücksicht auf die Gesamtstabilität zu berechnen. Dazu verwenden wir das GEO5-Programm - Böschungsbruch. Hier erhalten wir die Kräfte, die einzelne Pfählen übertragen müssen, damit die Böschung die erforderliche Sicherheit erreicht. Wenn wir die genaue Position der Scherfläche nicht im Voraus kennen (z. B. aus Inklinometermessungen aus einer durchgeführten geotechnischen Untersuchung), können wir diese in diesem Programm anhand der Optimierung ermitteln. Es ist in der Lage, die ungünstigste Scherfläche an der angegebenen Steigung zu finden (die Kritischste, bei der die Sicherheit am niedrigsten ist). Der zweite Teil der Lösung basiert auf dem gesamten Nachweis und Bemessung von Stabilisierungspfählen, der im Programm *GEO5 - Stabilisierungspfahl* durchgeführt wird. Das Ergebnis dieser Berechnung ist der Verlauf der inneren Kräfte entlang der Pfahllänge und deren horizontale Verformung.

Ein Beispiel für den Einsatz von Stabilisierungspfählen bei der Stabilisierung der Böschung ist im Bild unten zu sehen. Wir werden einen ähnlichen Fall Schritt für Schritt auf den folgenden Seiten lösen.



Stabilisierungspfähle (ganze unter dem Geländeniveau)

Spezifikation der Aufgabe

Wir werden einen Vorschlag zur Stabilisierung der Böschung gemäß dem Schema unter Verwendung von Stabilisierungspfählen machen, so dass der resultierende Stabilitätsgrad mindestens **SF=2,0** beträgt. Wir werden die Sicherstellung des Böschungsbruchs dauerhaft in Betracht ziehen.

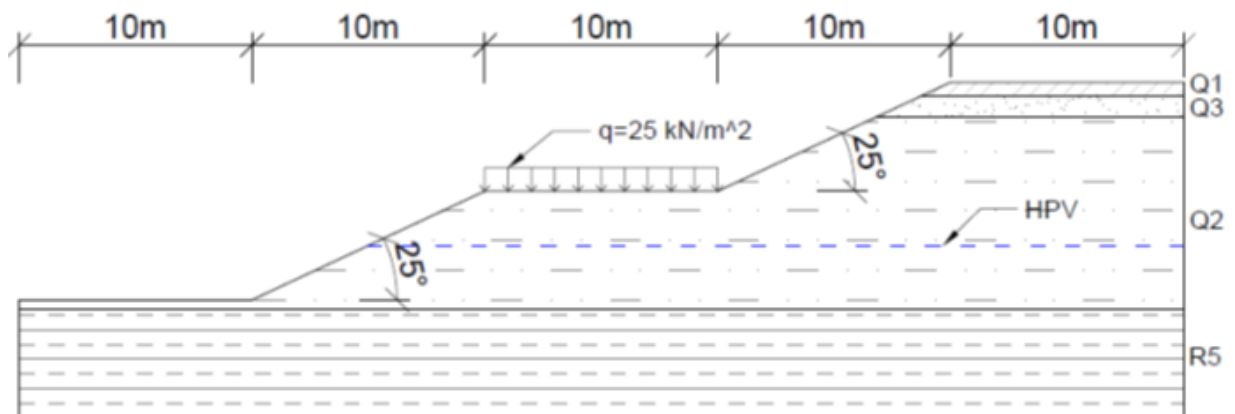


Diagramm der Aufgabe

Die Belastung ist durch den Wert von 25 kN/m^2 gegeben.

Die geologischen Bedingungen am gegebenen und gelösten Ort sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Schicht	Tiefe (m)	CSN 73 1001	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m ³)	ϕ_{ef} (°)	c_{ef} (kPa)	E_{def} (Mpa)	ν (-)
Lehm mit niedriger Plastizität (Q1)	0,0 - 0,6	F5/ML	21/22	20	14	4	0,4
Toniger Sand (Q3)	0,6 - 1,5	S5/SC	18,5/19,5	26	4	8	0,35
Sandiger Ton (Q2)	1,5 - 9,72	F4/CS	18/18,5	22	5	5	0,35
Schluffiger Schiefer, stark verwittert (R5)	9,72 - 17	R5	24/24,2	29	30	15	0,35

Geotechnische Parameter

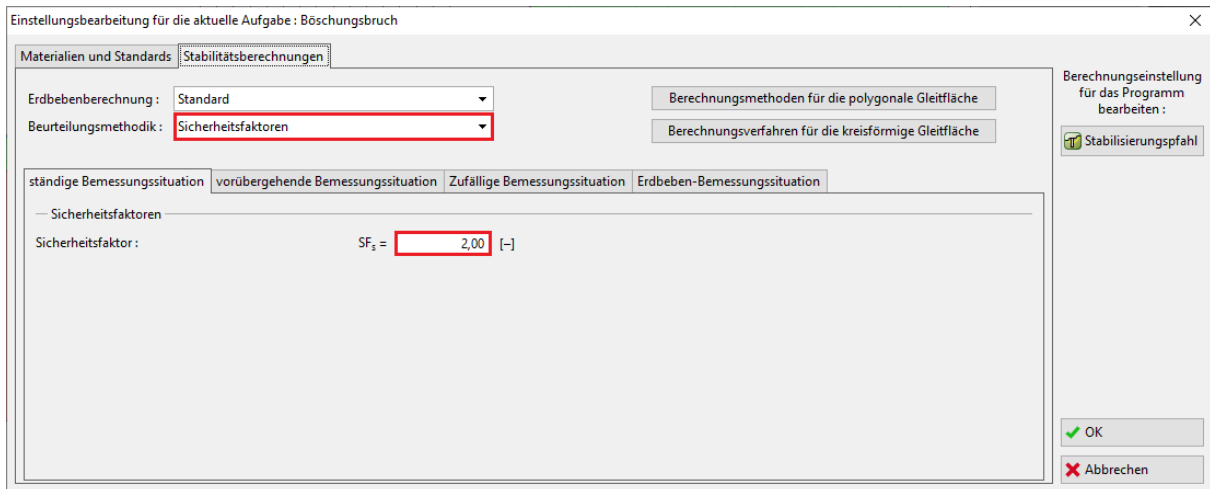
Der GWSp befindet sich in einer Tiefe von 7 m unter dem Gelände.

Lösung

Der erste Teil der Lösung besteht in der Modellierung des gesamten geotechnischen Problems im Programm GEO5 - Böschungsbruch. Das Modellierungsverfahren wird direkt im Ingenieurhandbuch [\(Nr. 8 - Böschungsbruchberechnung\)](#) detailliert erläutert. Daher werden hier nur die Punkte ausführlich beschrieben, die in direktem Zusammenhang mit der Berechnung des Stabilisierungspfahls stehen.

Nachweis der bestehenden Böschung - Bauphase 1

Passen Sie zunächst die Grundeinstellung der Aufgabe mit der Schaltfläche "Bearbeiten" im Fenster "Einstellung" an. Wir werden Sicherheitsfaktor als Beurteilungsmethodik auswählen und den Wert von SF für eine ständige Bemessungssituation auf 2,0 erhöhen.

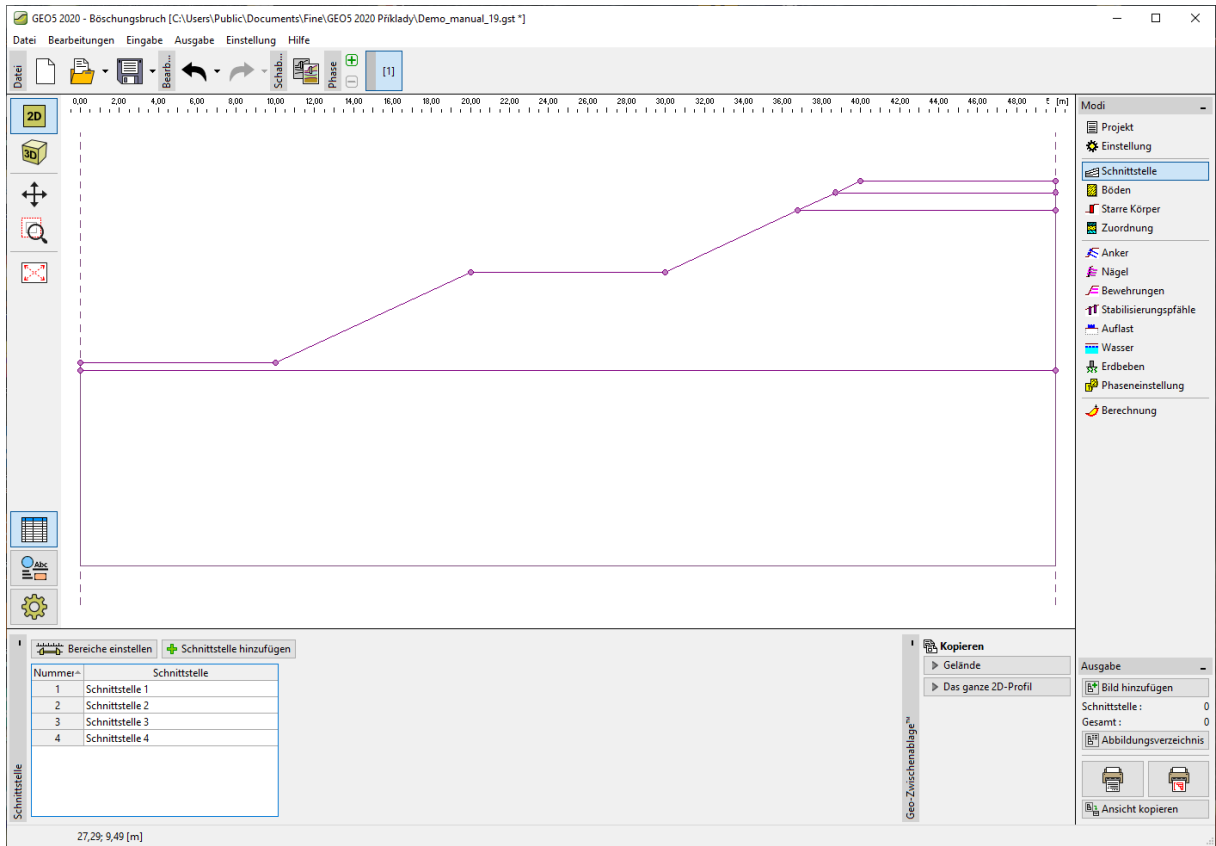


Einstellung der Aufgabe

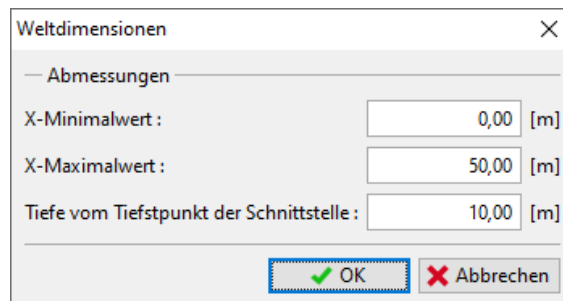
Im Fenster "Schnittstelle" stellen wir den Umfang der Aufgabe fest und anhand der Koordinaten einzelner Punkte modellieren wir die Geländeform und die Schnittstelle zwischen den einzelnen Böden.

Mithilfe der Tabelle werden wir Schnittstelle modellieren:

Schnittstelle 1			Schnittstelle 2			Schnittstelle 3			Schnittstelle 4		
1	0,00	0,00	1	38,71	8,72	1	36,78	7,82	1	0,00	-0,40
2	10,00	0,00	2	50,00	8,72	2	50,00	7,82	2	50,00	-0,40
3	20,00	4,66									
4	30,00	4,66									
5	36,78	7,82									
6	38,71	8,72									
7	40,00	9,32									
8	50,00	9,32									



Fenster „Schnittstelle“



Fenster „Schnittstelle“ – Weltdimensionen

Im Fenster "Böden" fügen wir die einzelnen Bodentypen entsprechend der Eingabe ein.

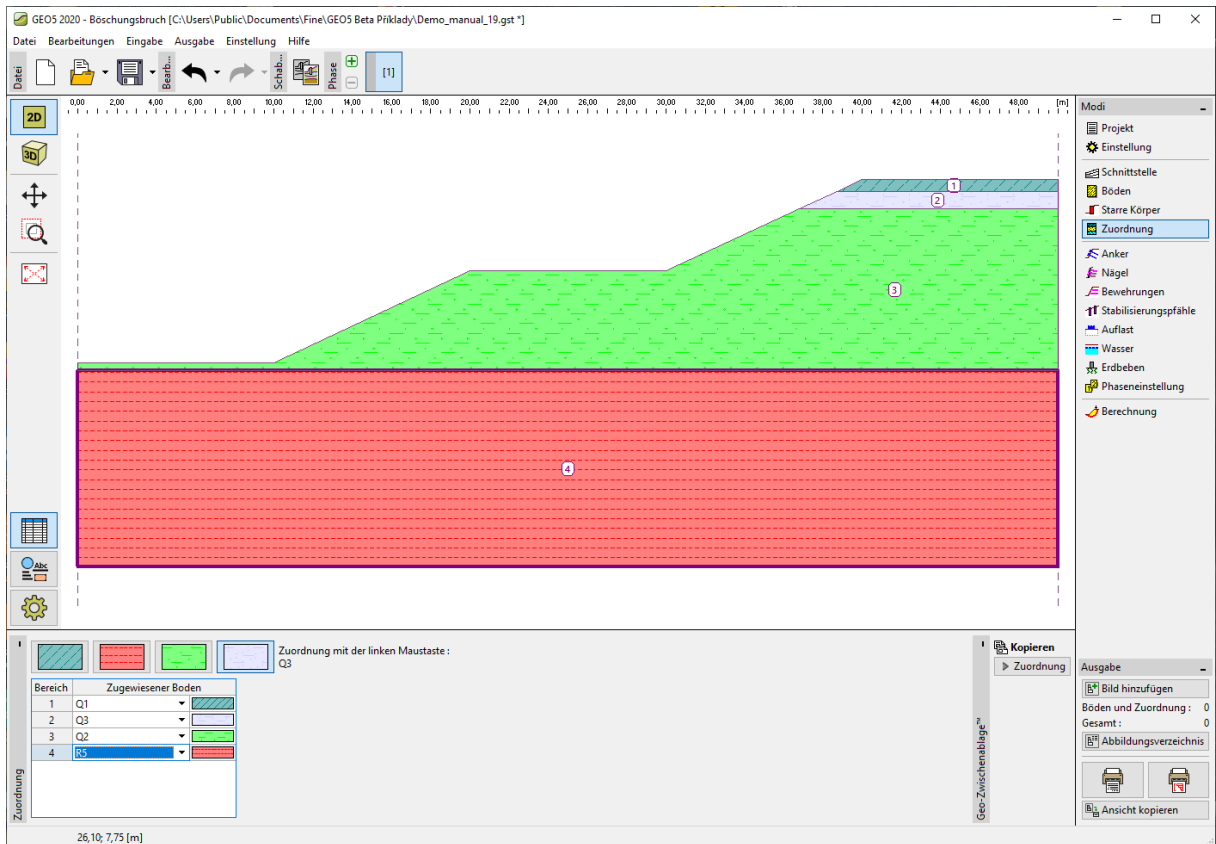
Properties for soil type Q1:

- Wichte: $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
- Spannungszustand: effektiv
- Winkel der inneren Reibung: $\phi_{\text{eff}} = 20,00^\circ$
- Kohäsion des Gesteins: $c_{\text{eff}} = 14,00 \text{ kPa}$
- Wichte des gesättigten Bodens: $\gamma_{\text{sat}} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

Nummer	Name des Bodens
1	Q1
2	RS
3	Q2
4	Q3

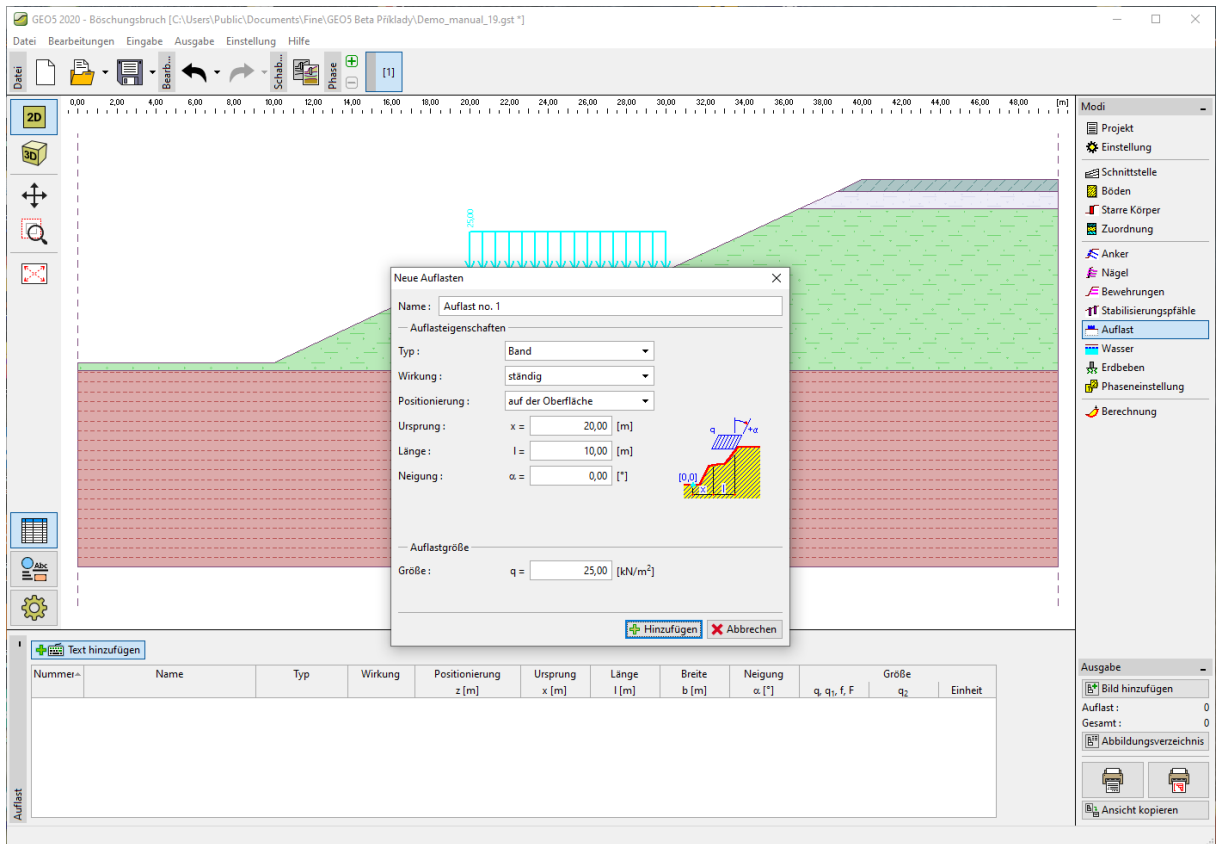
Fenster „Böden“

Danach ordnen wir die Böden den einzelnen Schichten im Fenster "Zuordnung" zu.



Fenster „Zuordnung“

Als nächstes geben wir die Belastung als ständiger Streifenlast von 25 kPa ein.



Fenster „Auflast“

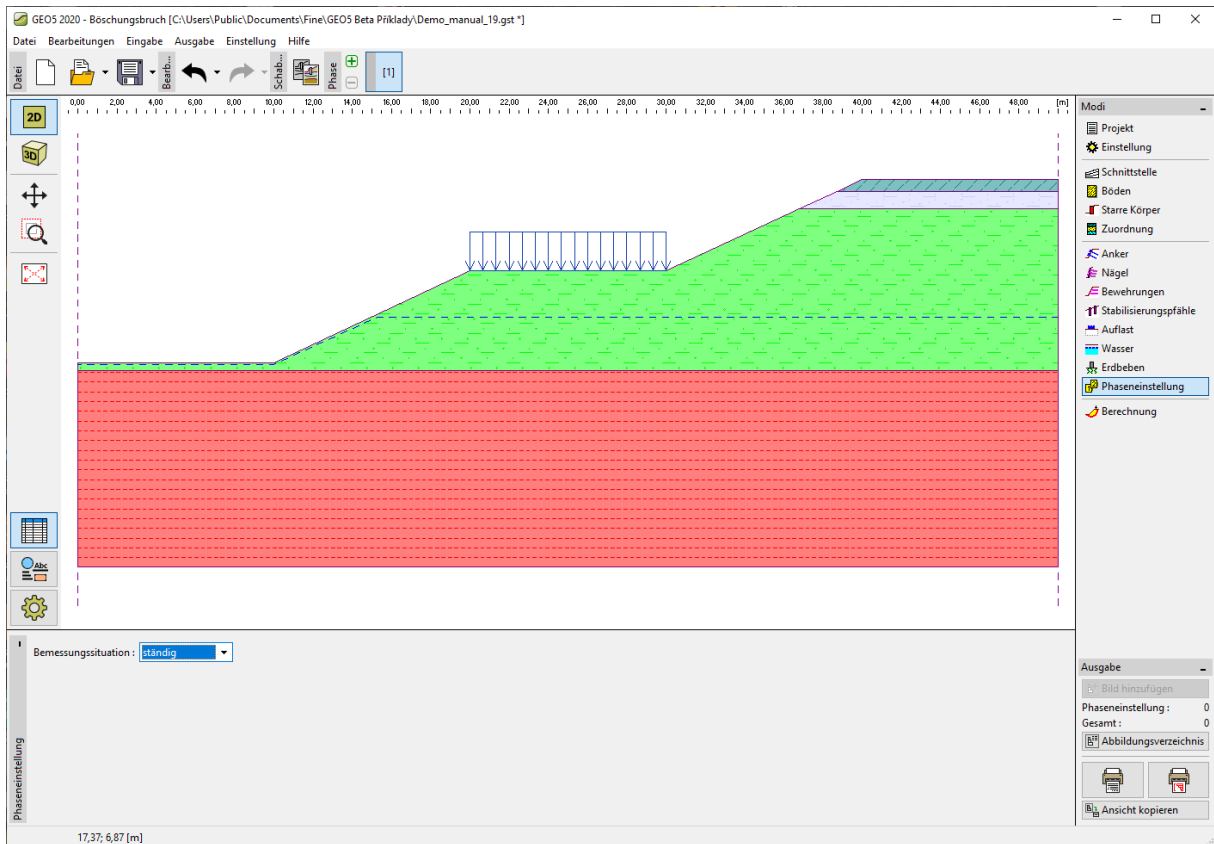
Geben Sie im Fenster "Wasser" den vorausgesetzten Verlauf des Grundwasserspiegels ein.

The screenshot shows the GEO5 2020 software interface. The main window displays a 2D cross-section of a slope with a groundwater table. The groundwater table is represented by a blue line with points. A dialog box titled "Punkte des neuen GWSp" is open, allowing the user to input coordinates for the groundwater table. The dialog box contains a table with 4 rows and 3 columns: Nummer, x [m], and z [m]. The data points are: (1, 0,00, -0,10), (2, 10,00, -0,10), (3, 15,30, 2,32), and (4, 50,00, 2,32). The dialog box has "OK Eingeben GWSp" and "Abbrechen" buttons.

Nummer	x [m]	z [m]
1	0,00	-0,10
2	10,00	-0,10
3	15,30	2,32
4	50,00	2,32

Fenster „Wasser“

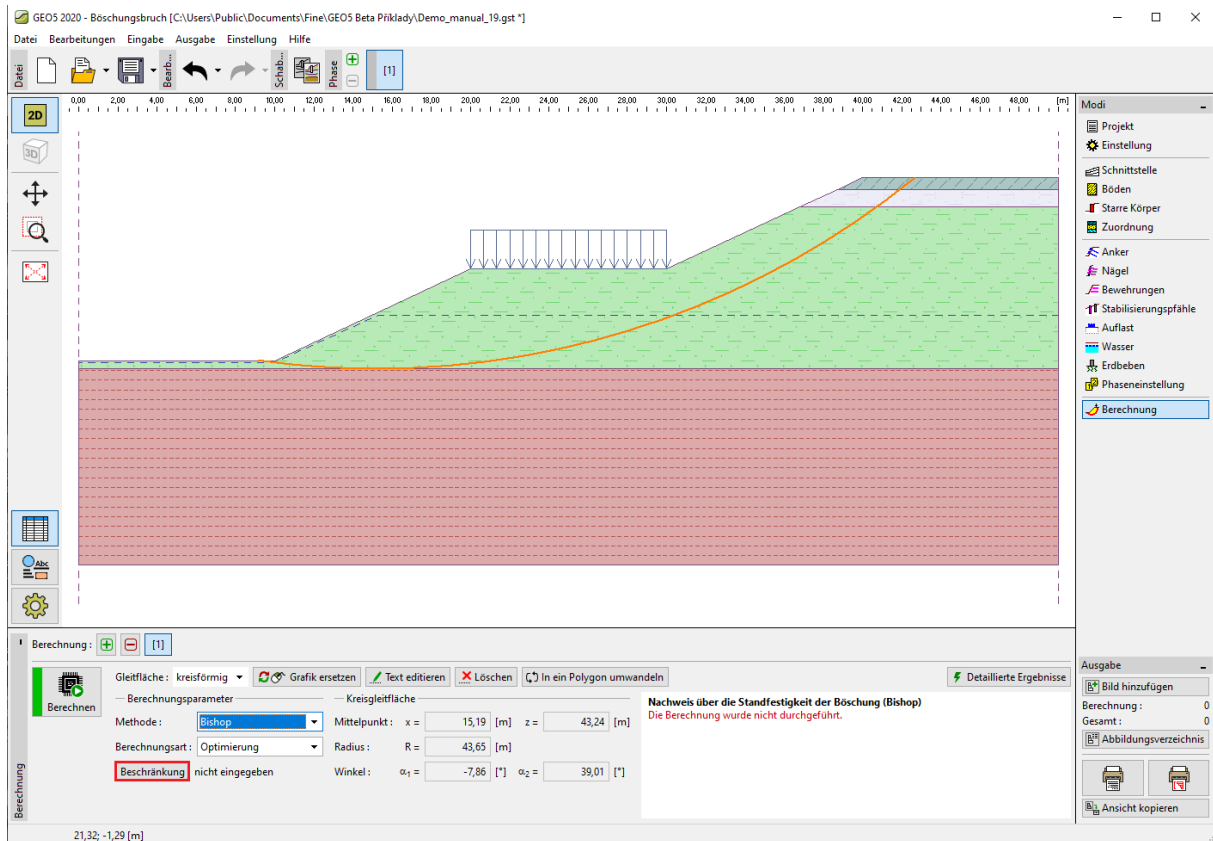
Da wir die Stabilität des Böschungsbruchs als dauerhaft lösen, werden wir die Bemessungssituation als ständig beibehalten.



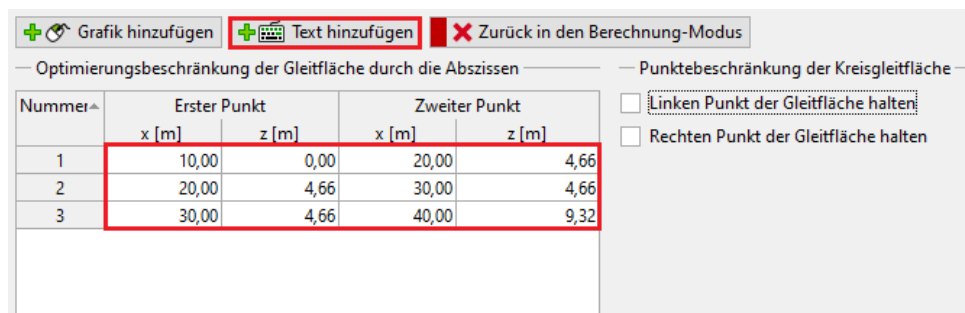
Fenster „Phaseneinstellung“

Dann gehen wir zum Fenster "Berechnung". Wir können verschiedene Methoden verwenden, um die Böschungstabilität zu berechnen. Zur Böschungsbruchberechnung können wir mehrere verschiedene Methoden benutzen. Einen Vergleich und weitere Informationen zu den einzelnen Berechnungsmethoden finden Sie im Ingenieurhandbuch [Nr. 8 \(Böschungsbruchberechnung\)](#) und in der Programmhilfe (F1).

Da wir die **Gesamtstabilität** lösen möchten, werden wir lokale Scherflächen an der Stelle der unteren oder oberen Böschung nicht betrachten, wo wir davon ausgehen, dass sie auf andere Weise gesichert werden. Daher werden wir auf dem Gelände eine Optimierungsbeschränkung eingeben, um sicherzustellen, damit die globale Gleitfläche gefunden wird.



Fenster „Berechnung“ – Eingabe der Optimierungsbeschränkung



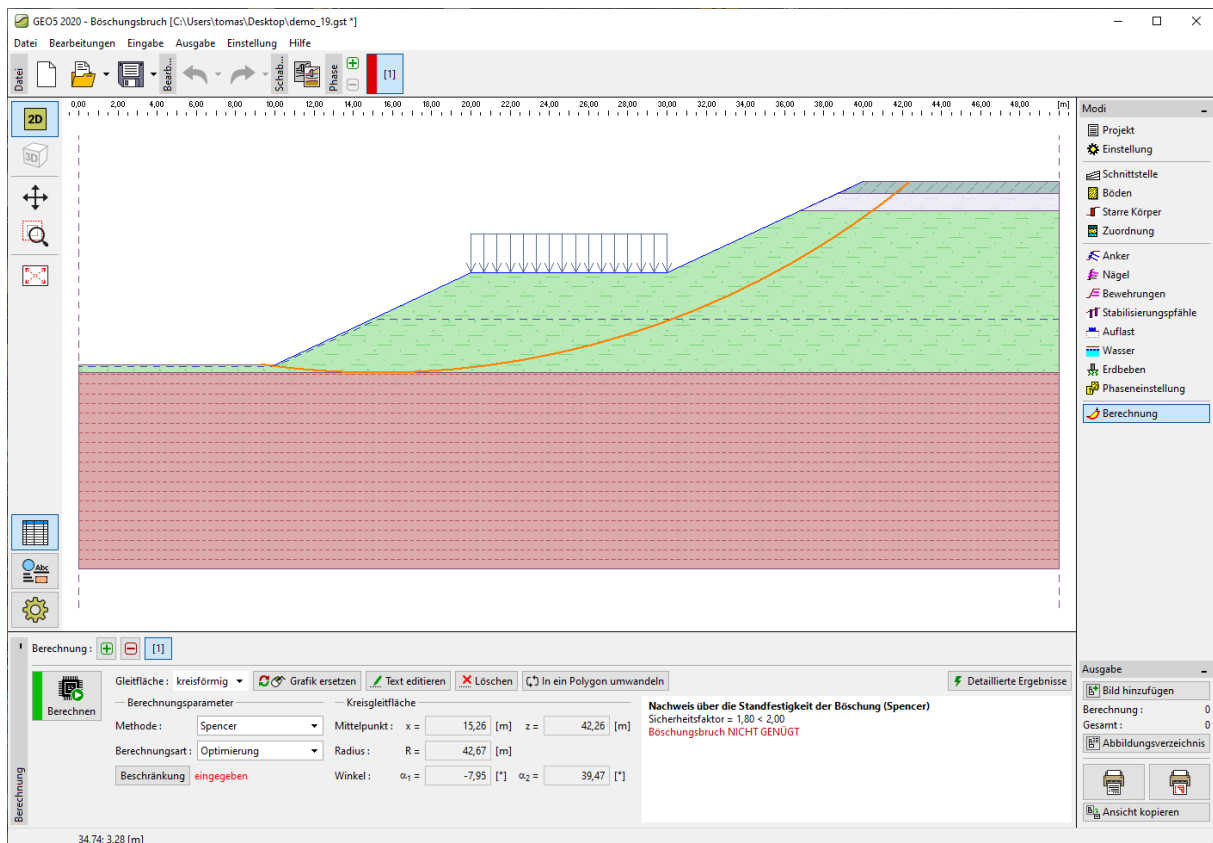
Fenster „Berechnung“ – Optimierungsbeschränkung der Gleitfläche

Um die Stabilität zu berechnen, wählen wir die Spencer-Methode für die optimierte kreisförmige Gleitfläche. Wir geben die Anfangsform der Gleitfläche beliebig ein, die Optimierung findet den schlechtesten Zustand.

Hinweis: Für die weitere Berechnung von Stabilisierungspfählen müssen die auf einzelne Pfähle einwirkenden Kräfte bekannt sein. Nicht alle Methoden im Programm "Böschungsbruch" erlauben die Bestimmung dieser Kräfte. Daher muss für die Berechnung eine der folgenden Methoden gewählt werden: Spencer, Janbu, Morgenstern-Price und ITFM.

Hinweis: Die Wahl der Berechnungsmethode und der Art der Gleitfläche liegt immer im alleinigen Ermessen des Projektants und hängt von seinen Kenntnissen und seiner Erfahrung ab. In der Praxis ist es sinnvoll, die Berechnung mit verschiedenen Methoden durchzuführen und sich erst dann für eine bestimmte Option entscheiden.

Hinweis: Wenn wir die genaue Position der Gleitfläche kennen würden, entlang der Erdbeben auftritt, würden wir den Berechnungstyp auf "Standard" setzen und die Position manuell eingeben. Da wir diese jedoch nicht wissen, wählen wir die Option "Optimierung".



Fenster „Berechnung“

Der berechnete Sicherheitsfaktor beträgt $SF=1,8$, der erforderliche würde $SF=2,0$ betragen. Die Böschung erfüllt somit nicht die erforderliche Stabilität.

Bemessung von Stabilisierungspfählen – Bauphase 2

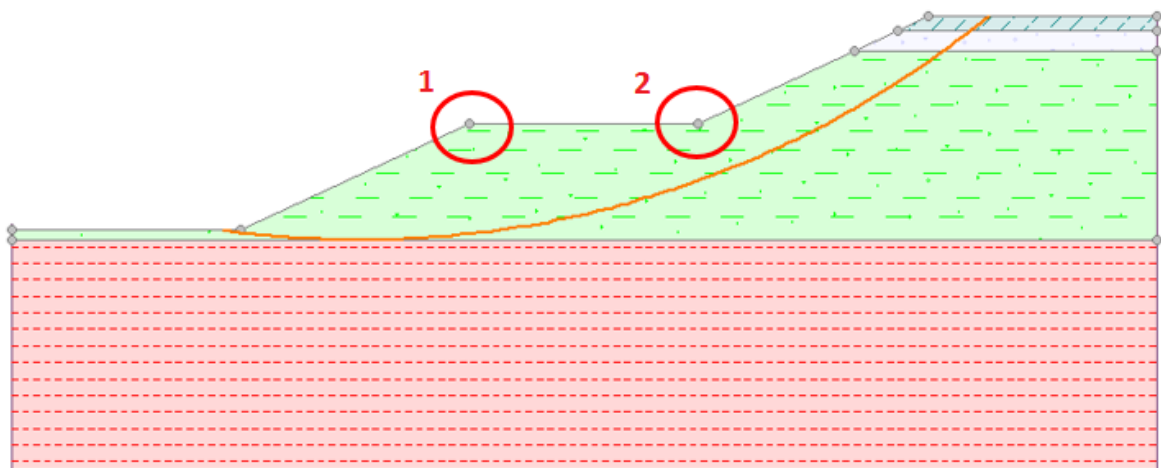
Vor dem eigentlichen Vorschlag wechseln wir zur nächsten Bauphase. Auf diese Weise können wir das Verhalten der Böschung vor und nach der Ausführung der Pfähle vergleichen.

Im Fenster "Stabilisierungspfähle" haben wir zwei Möglichkeiten, um die Pfähle einzugeben. Für die grafische Eingabe bestimmen wir die Position des Pfahls, indem wir direkt auf die Böschung klicken. Für die Texteingabe fügen wir den Pfahl unter Verwendung der Koordinaten des oberen Punkts des

Pfahls und seiner Länge ein. Es ist auch möglich, sie zu kombinieren, wenn wir den Pfahl ungefähr grafisch einfügen und die genaue Position werden wir textlich anpassen möchten.

Hinweis: Die ideale Position zur Einbettung einer Reihe von Stabilisierungspfählen ist normalerweise unbekannt. Stabilisierungspfähle müssen jedoch immer die Scherfläche durchschneiden und in tragfähigere geologische Schichten eingreifen. Es ist auch wichtig, die technologischen Möglichkeiten der Erstellung des Pfahls und möglicherweise die in Betracht gezogene Verankerung zu berücksichtigen. Der Pfahl mitten in einer steilen Böschung würde sicherlich seine Stabilität verbessern, die Frage ist jedoch, wie die Ausführung ablaufen würde.

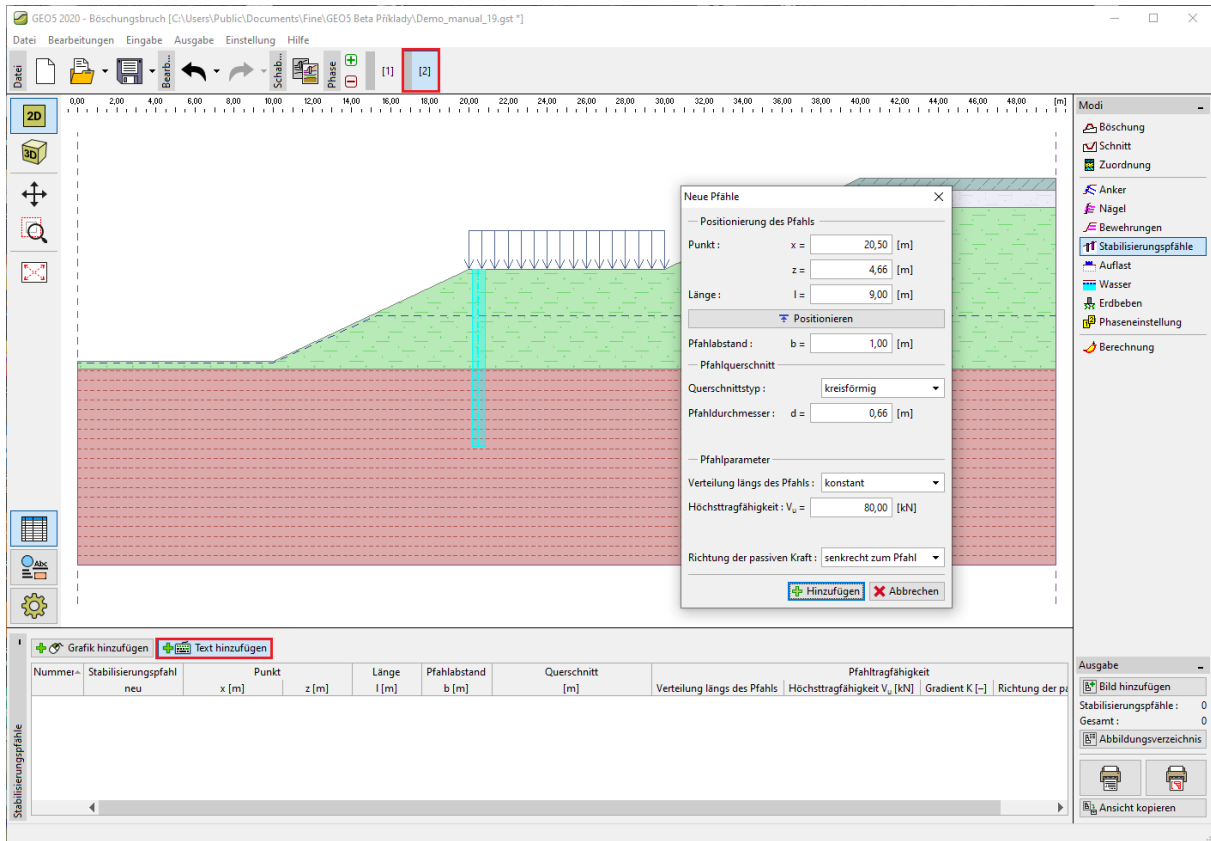
In unserem Beispiel gibt es zwei möglichen Orten für die Positionierung der Stabilisierungspfähle.



Mögliche Positionen für die Realisation der Reihe von Stabilisierungspfählen

Wir werden eine Lösung für Punkt 1 zeigen. Die Entscheidung über die Position der Stabilisierungspfähle liegt jedoch immer beim Projektanten.

Hinweis: Wenn die Pfähle in der Böschung zu stark beansprucht würden oder wir ihren Querschnitt verringern möchten, besteht auch die Möglichkeit, zwei Pfahlreihen zu realisieren, d. h. an beiden Punkten.

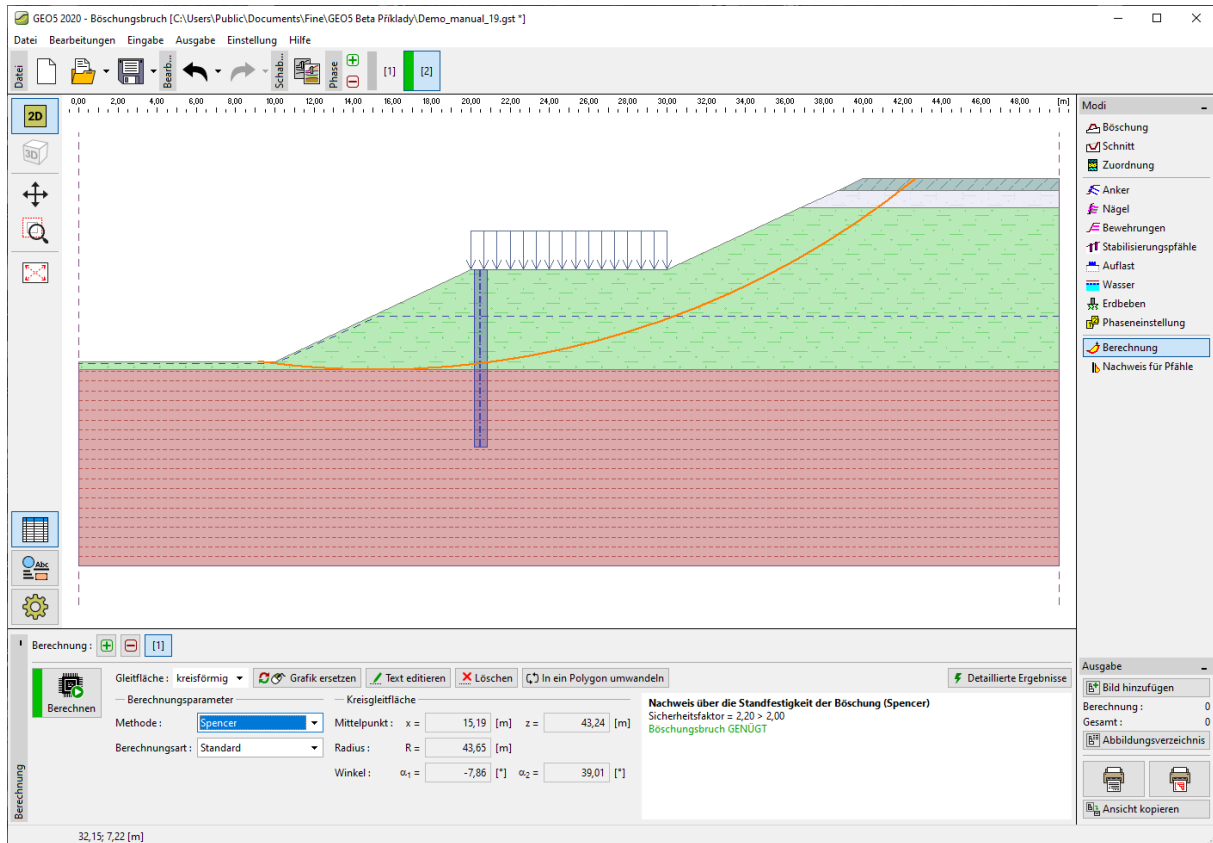


Fenster „Stabilisierungspfähle“ – Text hinzufügen

Hinweis: Neben der Position, dem Abstand und dem Querschnitt der einzelnen Pfähle fügen wir auch andere Parameter ein. Die Tragfähigkeit des Pfahls ist im Wesentlichen die Kraft, die der Pfahl gegen den Erdrutsch ausübt. Wir werden diese Tragfähigkeit in einem weiteren Nachweis im Programm "Stabilisierungspfahl" überprüfen. Die Tragfähigkeit kann als konstant oder linear anwachsend vom Pfahlfuß nach oben eingegeben werden. Die passive Kraft wirkt auf den Pfahl entweder horizontal oder in Richtung der Gleitfläche. Weitere Informationen finden Sie in der Programmhilfe (F1).

In unserem Beispiel haben wir uns für kreisförmige Pfähle mit einer Länge von 9 m und einem Durchmesser von 0,66 m entschieden. Die einzelnen Pfähle sind in einem Achsenabstand von 1 m angeordnet und ihre angenommene Tragfähigkeit (V_u) beträgt 80 kN.

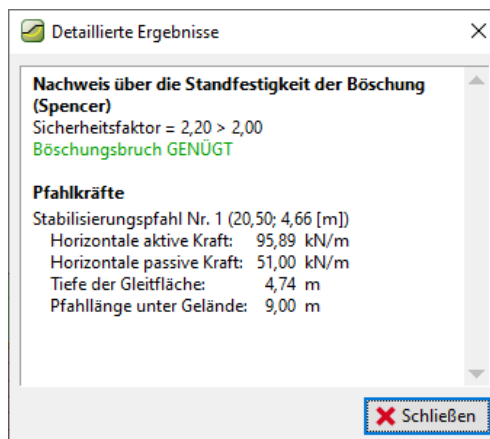
Nach der Eingabe des Pfahls wechseln wir zum Fenster "Berechnung". Wählen Sie nun "Standard" als Berechnungstyp. Bei dieser Art der Berechnung wird nicht nach der kritischen Gleitfläche gesucht, sondern der Sicherheitsgrad wird nur für die eingegebene Gleitfläche berechnet (in unserem Fall wird aus der vorherigen Phase übernommen). Wir lassen die restliche Einstellungen unverändert.



Fenster „Berechnung“ – Einfluss von Stabilisierungspfähle

Nach der durchgeführten Berechnung sehen wir, dass die Verwendung von Stabilisierungspfählen die Stabilität der Böschung verbessert hat und bereits das erforderliche Sicherheitsgrad erreicht hat.

Nachdem Sie auf die Schaltfläche "Detailierte Ergebnisse" geklickt haben, wird eine Dialogbox angezeigt, in dem Informationen zur Berechnung der Stabilisierungspfähle angezeigt werden.



Dialogbox – „Detailierte Ergebnisse“

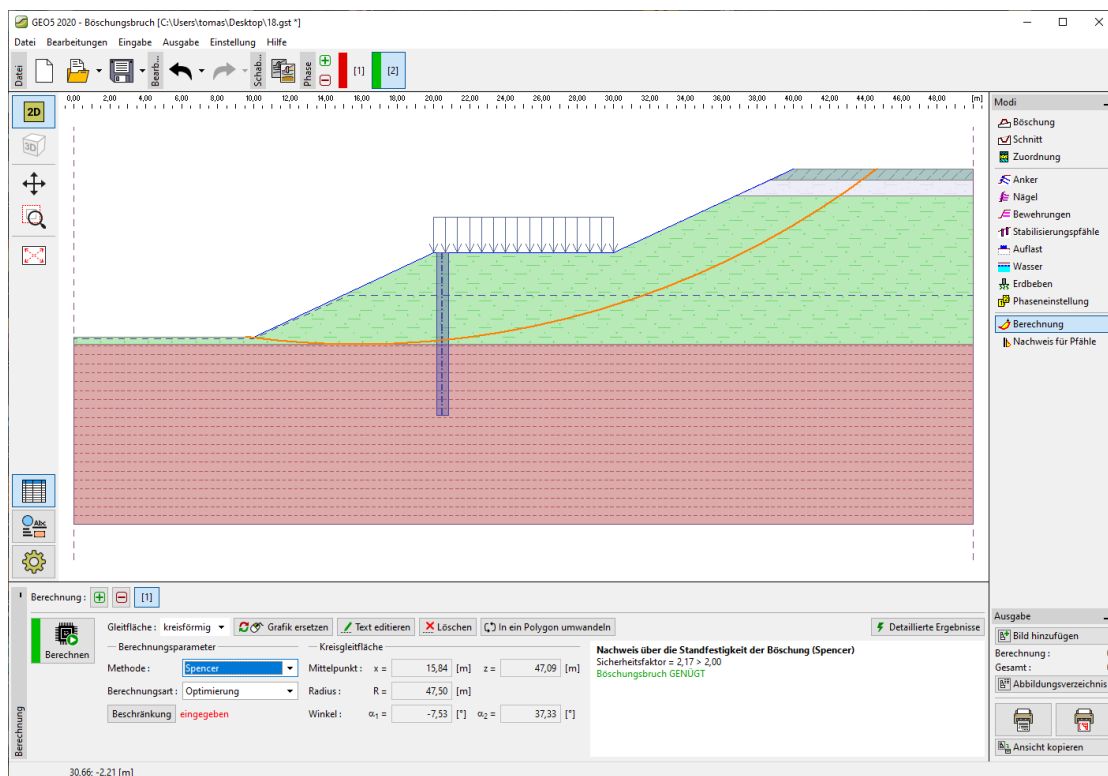
Hinweis: Als Ergebnis der Berechnung erhalten wir die Tiefe der Scherfläche am Pfahlort und die Größe der beiden auf den Pfahl wirkenden Kräfte.

Die **aktive Kraft** ist die Kraft, die der obere Teil der Böschung (rechts) auf den Pfahl wirkt und versucht, die Böschung zu destabilisieren.

Die **passive Kraft** wirkt gegen die Richtung des Rutschs und hilft dem Pfahl, die Böschung zu stabilisieren (Wenn die passive Kraft Null ist, bedeutet dies, dass die Böschung vor dem Pfahl nicht stabil genug ist und daher ihre Stabilität separat berechnet werden muss).

Der Unterschied zwischen aktiver und passiver Kraft ist im Wesentlichen die Kraft, die der Pfahl übertragen muss, damit die Böschung das erforderliche Sicherheitsniveau erreicht. Vereinfacht gesagt ist dies die Tragfähigkeit, die der Pfahl minimal erfüllen muss. Der Sicherheitsgrad der Böschung hängt immer von der eingegebenen Gleitfläche ab. Die kritische Fläche, die wir durch Optimierung an der Böschung ohne Pfahl gefunden haben, beträgt **SF=1,8**. Die gleiche Scherfläche an einer durch Pfähle stabilisierten Böschung hat den Wert von **SF=2,20**. Es ist jedoch möglich, dass es hier noch eine andere Gleitfläche gibt, die vor der Ausführung der Pfähle nicht kritisch war, aber nach der Realisation kritisch wurde. Es wäre eine Gleitfläche, die vor der Stabilisierung **SF>1,8** hatte, aber nach der Realisation des Pfahls **SF<2,20** hat.

Wir werden diese Möglichkeit in der nächsten Phase der Berechnung mithilfe der Optimierung der Gleitfläche unter Berücksichtigung der Stabilisierungspfähle überprüfen.



Fenster „Berechnung“ – Optimierung der Gleitfläche nach der Eingabe des Pfahls

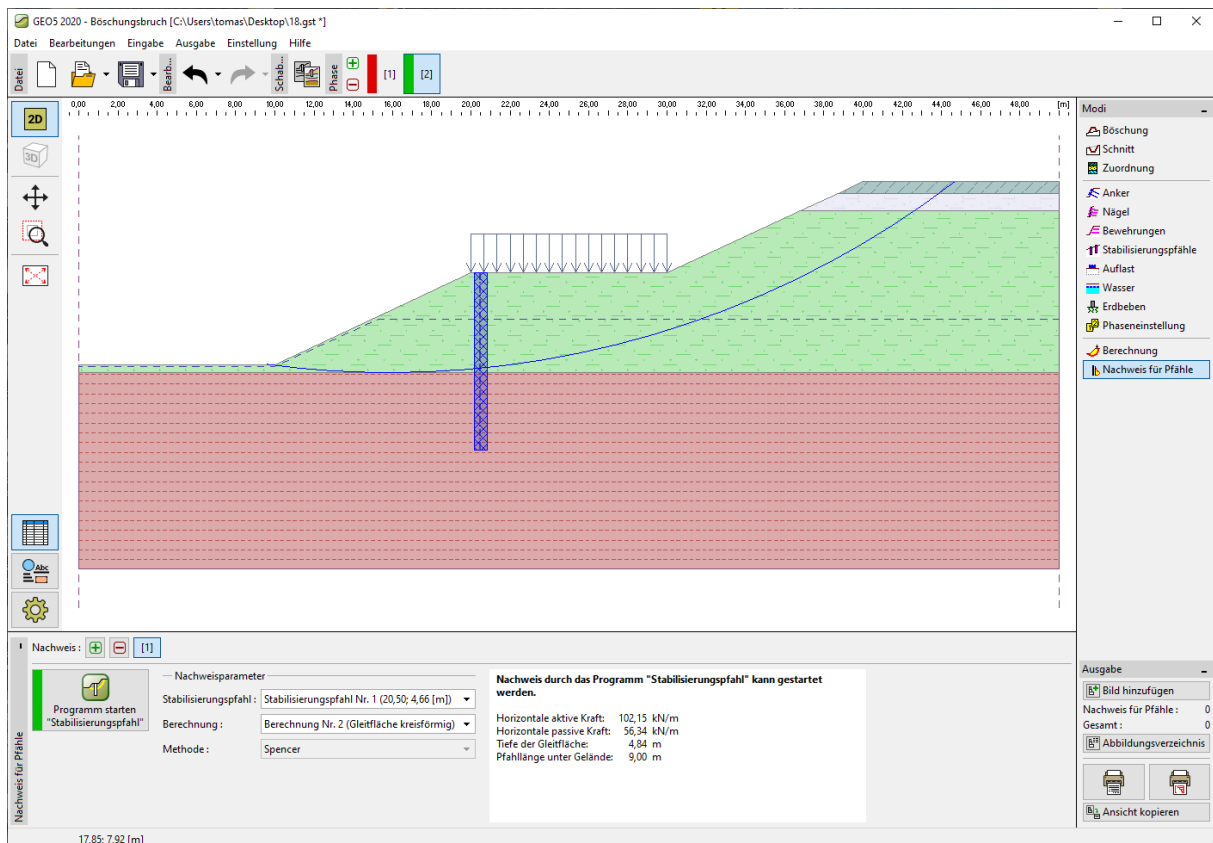
Wir können sehen, dass die Böschung dem erforderlichen Sicherheitsgrad auch mit der neuen kritischen Gleitfläche genügt. Der Unterschied zwischen der alten und der neuen Gleitfläche ist in unserem Fall minimal, aber es muss nicht wie jedes Mal so sein. Es ist immer gut, die neue kritische Gleitfläche auch nach der Herstellung der Pfähle zu überprüfen.

Der Zustand nach der Herstellung der Pfähle ist kritisch, weshalb wir die einzelnen Pfähle dafür weiter überprüfen und dimensionieren werden.

Nachweis und Dimensionierung einzelner Pfähle

Jetzt wählen Sie im Fenster "Pfahlnachweis" Berechnung Nr. 2 (optimierte Scherfläche nach Eingabe des Pfahls) und wählen Sie die Option "Programm Stabilisierungspfahl starten".

Hinweis: Wenn mehr als eine Reihe von Pfählen eingegeben wäre, muss bestimmt werden, für welche Reihe der Pfähle wir den Nachweis durchführen.



Fenster „Pfahlnachweis“

Das Programm *Stabilisierungspfahl* wird verwendet, um Verformungen und die inneren Kräfte entlang der Pfahllänge zu bestimmen. Dieses Programm basiert auf den gleichen Verfahren wie das GEO5-Programm - Verbauwand. Der Hauptunterschied besteht in der Bestimmung der auf die Pfahlwand wirkenden Last. Während im Verbauwand-Programm die Konstruktion entlang ihre gesamte Länge durch Erddrücke belastet wird, wird im Stabilisierungspfahl-Programm die Belastung des Pfahls in zwei Teile untergeteilt. Im Bereich über der Gleitfläche wird der Pfahl aufgrund des

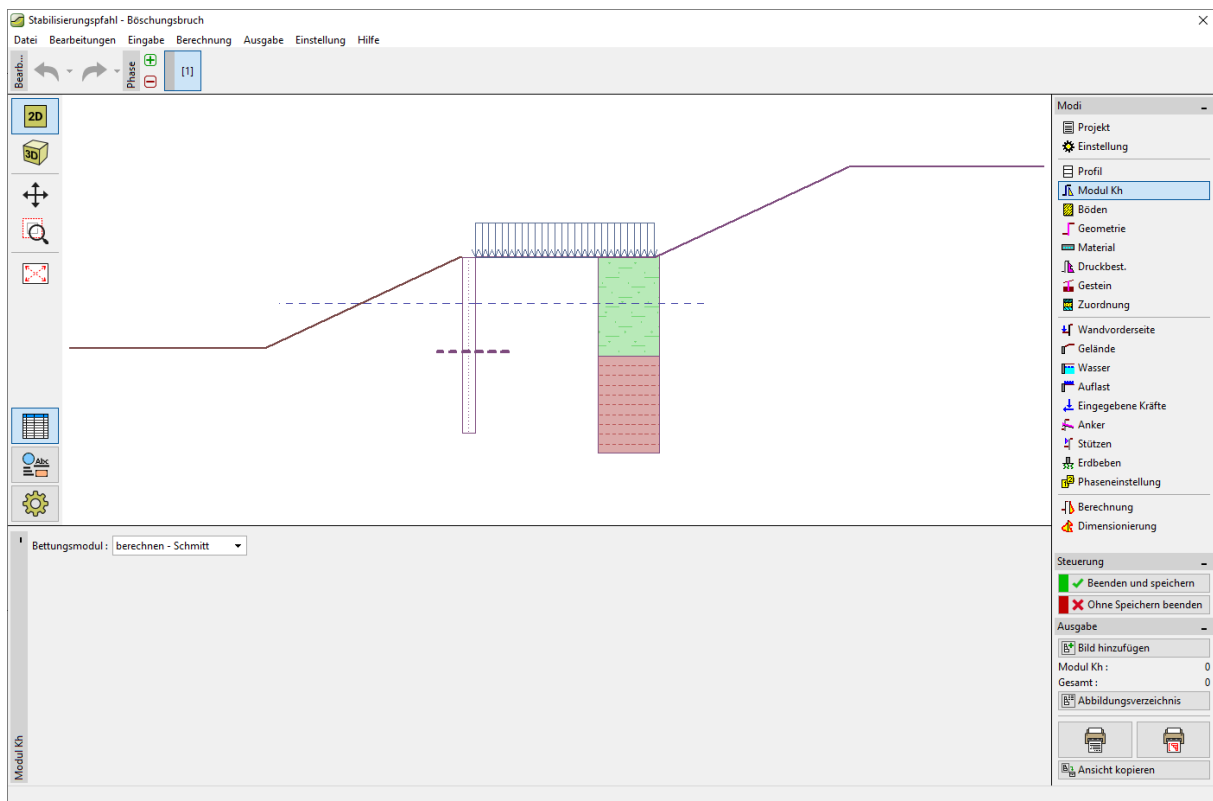
Unterschieds zwischen aktiver und passiver Kraft belastet. Unterhalb der Scherfläche ist die Belastung wieder durch Erddrücke charakterisiert.

Nach dem Start des Programms *Stabilisierungspfahl* werden alle erforderlichen Daten aus dem Programm *Böschungsbruch* automatisch übertragen.

Hinweis: Die Eingabe der meisten Daten in das Programm Stabilisierungspfahl ist identisch mit den Optionen der Eingabe in das Programm Verbauwand und wird in den technischen Ingenieurhandbüchern für dieses Programm (Ingenieurhandbücher [Nr. 6](#) und [Nr. 7](#) ausführlich beschrieben.

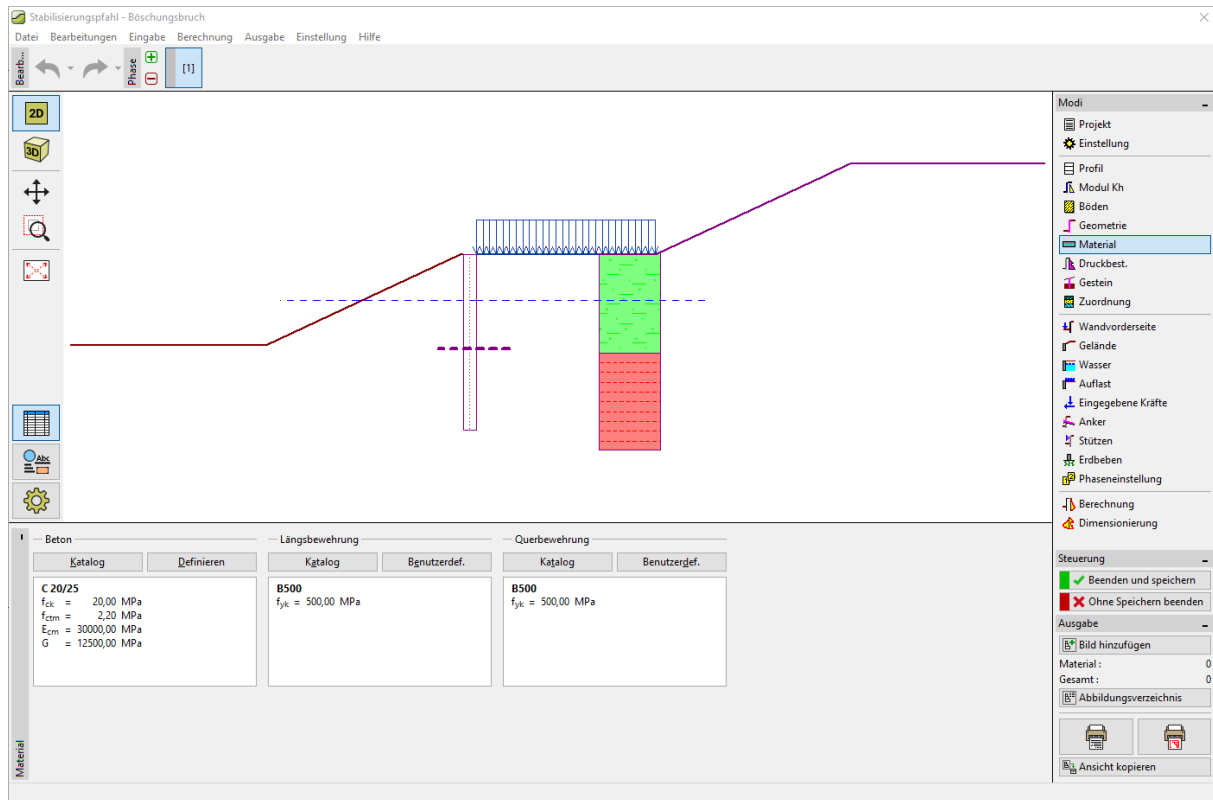
Hinweis: Sollten wir einige Einstellungen für die Berechnung im Programm Stabilisierungspfahl ändern möchten (Druckberechnungen, Standards für Materialien usw.), müssten wir diese Einstellungsänderung bereits im Fenster "Einstellung" des Programms "Böschungsbruch" durchführen.

Wir werden Sie im Fenster "Modul Kh" die Berechnungsmethode des Bettungsmoduls auswählen. Wir wählen die Option zur Berechnung gemäß *Schnitt* aus. Weitere Informationen zum Kh-Modul finden Sie in den Ingenieurhandbüchern zum Programm *Verbauwand* oder in der Hilfe (F1).



Programm „Stabilisierungspfahl“ – „Modul Kh“

Wählen Sie im Fenster "Material" die Art des Betons und die Bewehrung der einzelnen Pfähle aus. Parameter können manuell eingegeben oder aus einem vorbereiteten Katalog ausgewählt werden. Wir haben uns für Beton C20/25 und Bewehrung B500 entschieden.

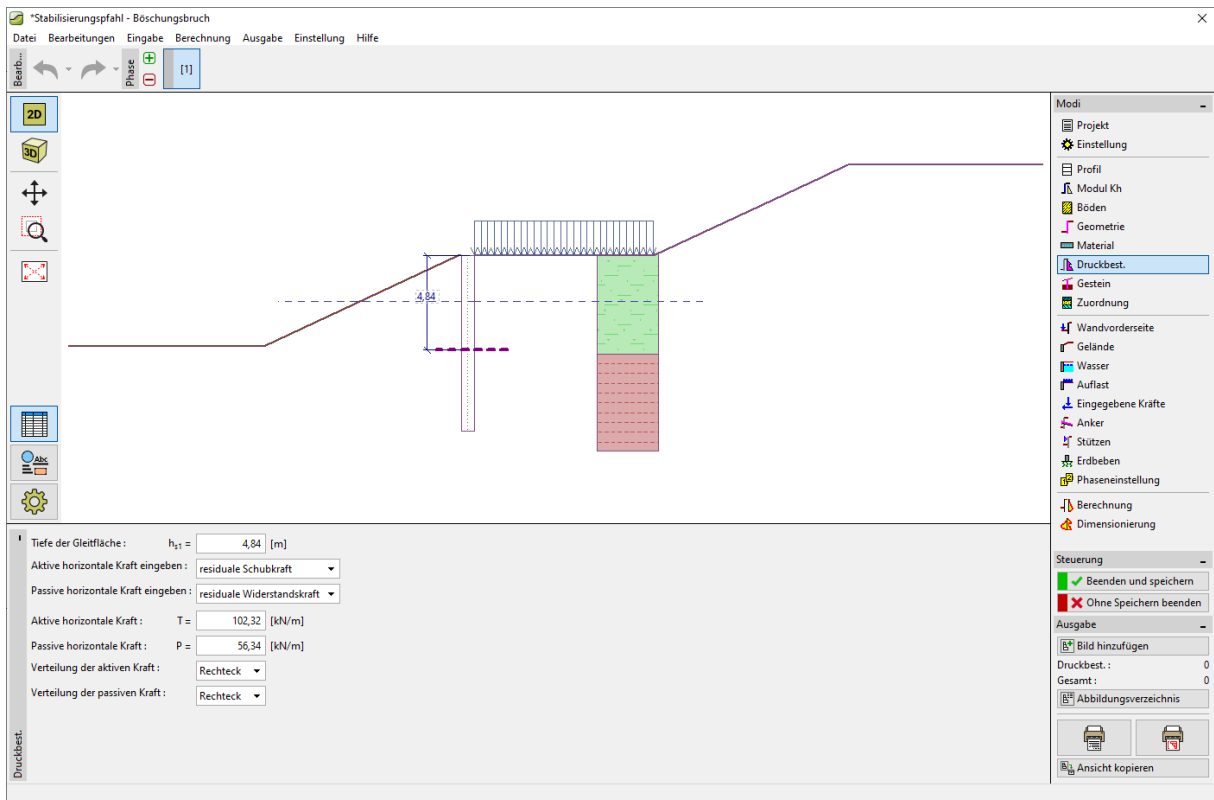


Programm „Stabilisierungspfahl“ – „Material“

Ein weiteres wichtiges Fenster ist die "Druckbestimmung". In diesem Fenster sind schon vom Programm die Größen der aktiven und passiven Kräfte und die Tiefe der Scherfläche automatisch eingefügt. Wir haben diese Daten aus dem Programm Böschungsbruch erhalten.

Darüber hinaus haben wir die Möglichkeit einer Druckverteilung entlang der Länge des Pfahls oberhalb der Gleitfläche. Die aktive Kraft kann nach drei Grundformen (Dreieck, Rechteck und Trapez) verteilt werden, die passive Kraft wird dann entweder als aktiv oder nach einer vereinfachten Parabel verteilt. Die Optionen der Druckverteilung werden in der Programmhilfe von GEO5 (F1) ausführlich erläutert.

Hinweis: Im Allgemeinen hängt die Druckverteilung von der Art des Bodens oberhalb der Gleitfläche ab. In unserem Fall ist der Hauptboden sandiger Lehm - für feinkörnige Böden wird empfohlen, die Verteilung nach einem Rechteck zu verwenden. Die Verteilung der passiven Kraft ist dann eine Entscheidung des Projektants.

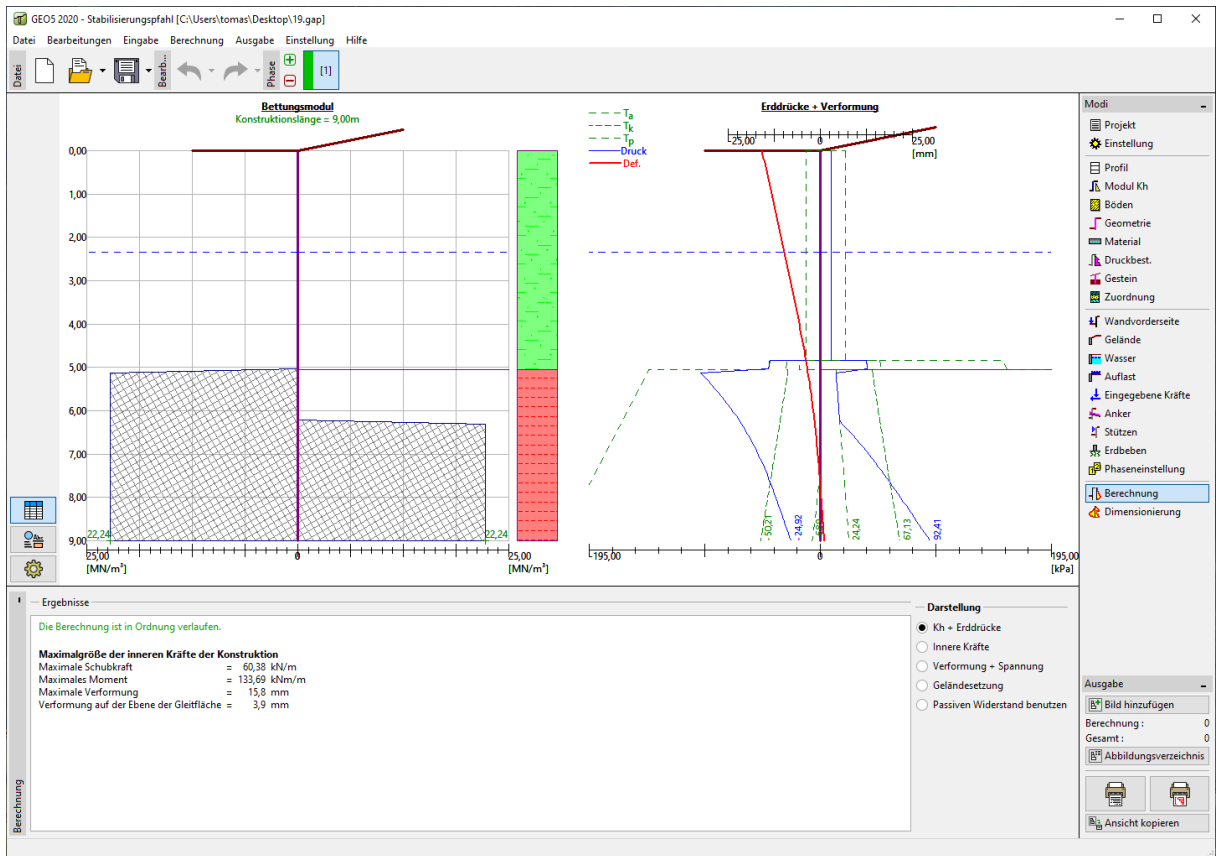


Program „Stabilisierungspfahl“ – Fenster „Druckbestimmung“ –Eingeben aus dem Programm „Böschungsbruch“

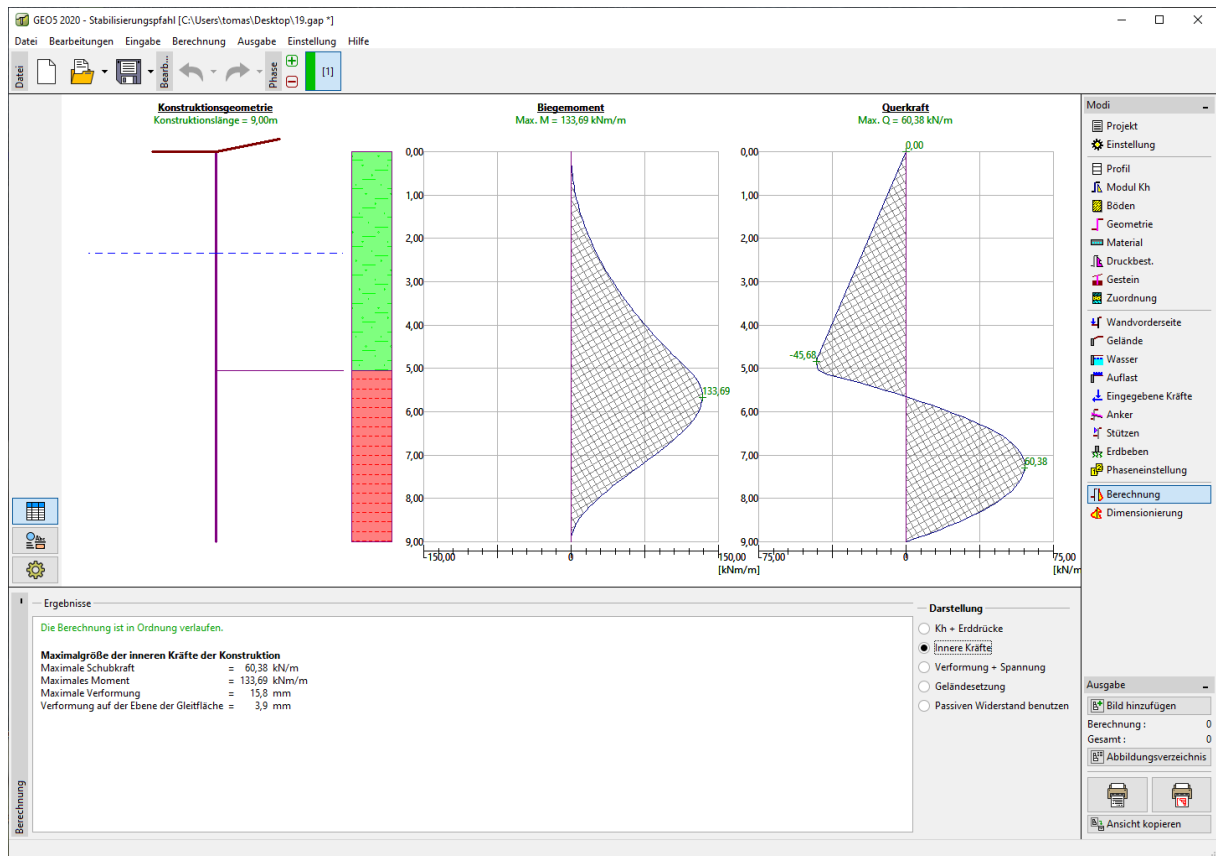
Hinweis: In diesem Fenster haben wir auch die Möglichkeit, den Druck oberhalb der Gleitfläche direkt einzugeben. Diese Option kann verwendet werden, wenn wir die Pfahlbelastung nicht anhand der Differenz zwischen aktiver und passiver Kraft berechnen möchten, sondern sie auf andere beliebige Weise ermittelt wurde.

Hinweis: Sollten wir den im Felsuntergrund eingespannten Pfahl in Betracht ziehen, würden wir auch das Fenster "Gestein" verwenden. In diesem Fall würden wir die Einspannungstiefe des Pfahls und die Bemessungstragfähigkeit des Gesteins eingeben. Die maximale Größe der Spannung würde dann nicht durch den passiven Druck begrenzt, sondern könnte einen beliebigen Wert erreichen. Nachfolgend würde im Fenster Berechnung eine Überprüfung erfolgen, dass die berechnete Spannung die Bemessungstragfähigkeit des Gesteins nicht überschreitet. In unserem Beispiel betrachten wir diese Möglichkeit nicht.

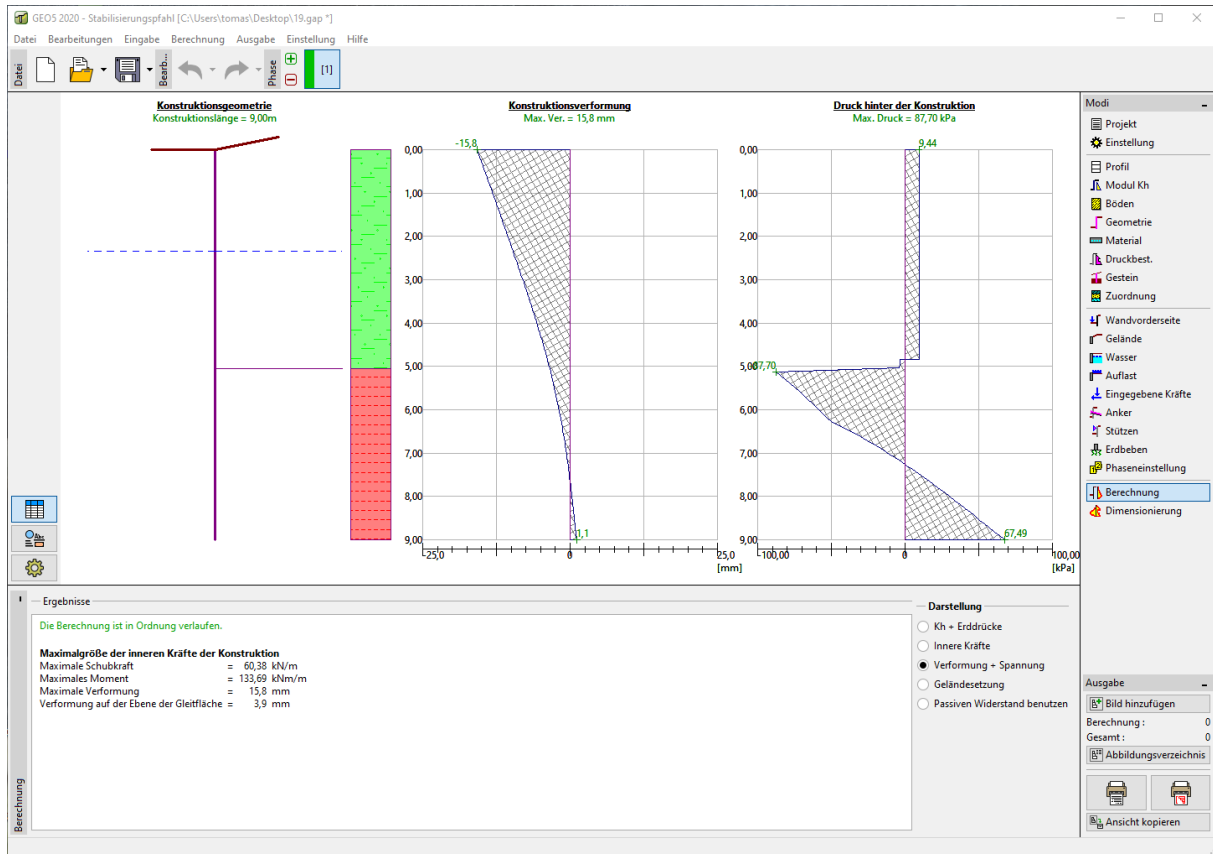
Jetzt wechseln wir zum Fenster „Berechnung“.



Programm „Stabilisierungspfahl“ – Fenster „Berechnung“ – Darstellung des Moduls Kh und der wirkenden Drücke

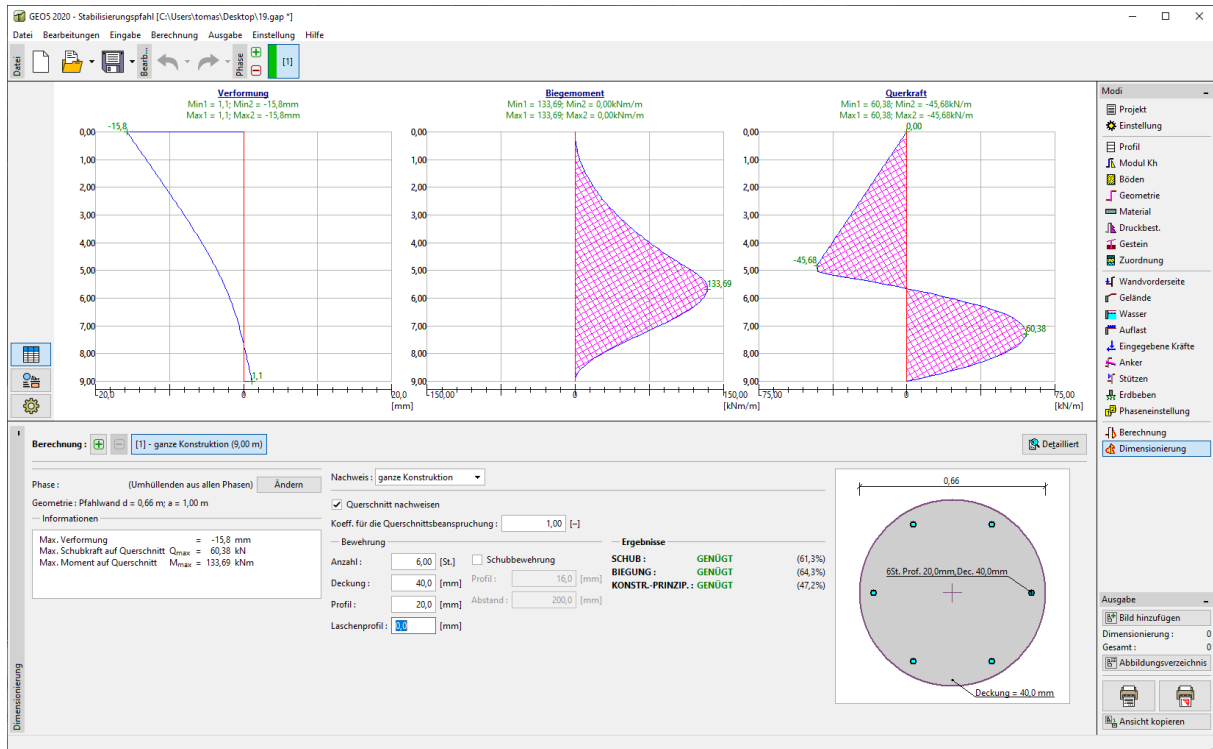


Programm „Stabilisierungspfehl“ – Fenster „Berechnung“ – Darstellung der inneren Kräfte



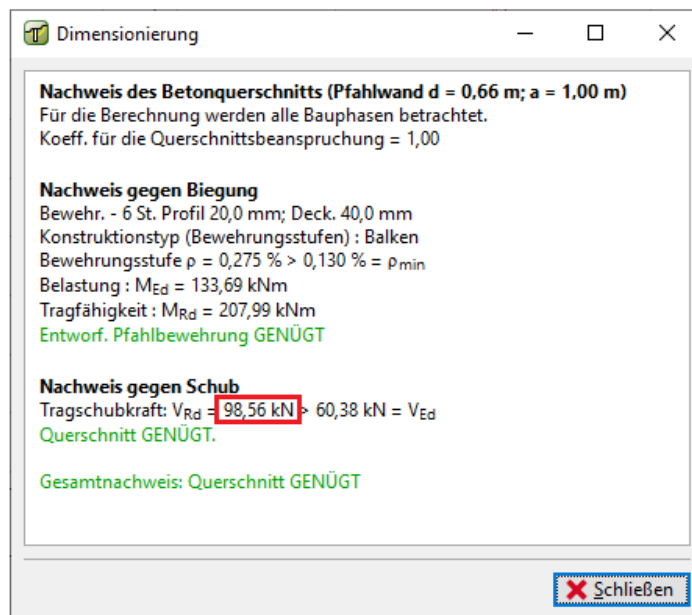
Programm „Stabilisierungspfehl“ – Fenster „Berechnung“ – Darstellung der Verformungen und der Spannungen

Im Fenster "Dimensionierung" werden wir die entsprechende Bewehrung der einzelnen Pfähle vorschlagen.



Programm „Stabilisierungspfahl“ – Fenster „Dimensionierung“

Wir sehen, dass der Pfahl für alle Nachweise ausreichend ist. Falls wir an der maximalen Scherfestigkeit interessiert sind, öffnen wir die Dialogbox "Detailliert".



Programm „Stabilisierungspfahl“ – Fenster „Dimensionierung“ – Detaillierte Ergebnisse

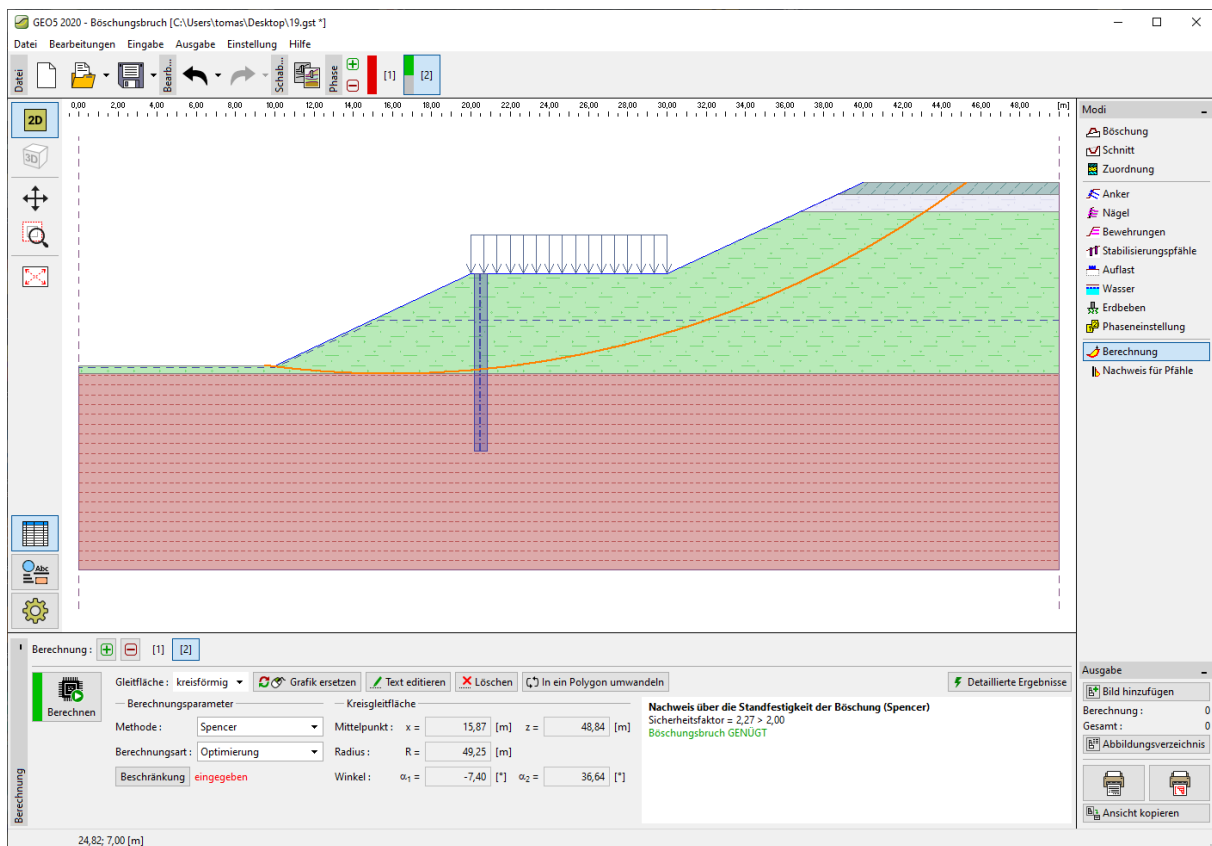
Bei der Berechnung der Stabilität haben wir die Tragfähigkeit einzelner Pfähle als 80 kN betrachtet. Wir sehen jedoch, dass die tatsächliche Tragfähigkeit des Pfahls höher ist (98,56 kN).

Um einen tatsächlichen Sicherheitsfaktor zu erhalten, schließen Sie das Programm "Stabilisierungspfahl" und kehren Sie zum Programm "Böschungsbruch" zurück. In diesem Programm werden wir die Tragfähigkeit der Stabilisierungspfähle vom Wert 80 kN auf 98,56 kN ändern.

Nummer	Stabilisierungspfahl	neu	x [m]	z [m]	Länge l [m]	Pfahlabstand b [m]	Querschnitt [m]	Verteilung längs des Pfahls	Höchsttragfähigkeit V_u [kN]	Gradient K [-]	Richtung der passiven Kraft
1	Ja		20,50	4,66	9,00	1,00	d = 0,66	konstant	80,00		senkrecht zum F

Programm „Böschungsbruch“ – Bearbeiten der Pfahltragfähigkeit

Mit dieser Anpassung führen wir die Berechnung durch.



Programm „Böschungsbruch“ – Berechnung mit der tatsächlichen Tragfähigkeit der Pfähle

Hinweis: Nach dem Bearbeiten der Pfahltragfähigkeit kann sich die optimierte Gleitfläche ändern. Eine unterschiedliche Scherfläche führt zu unterschiedlichen Größen von Kräften, die auf den Pfahl wirken. In unserem Fall ist die Änderung minimal und die Kräfte sind fast identisch. Wenn die Änderungen jedoch größer sein sollten, wäre es notwendig, eine neue Bemessung im Programm "Stabilisierungspfahl" mit diesen neuen Kräften vorzunehmen.

Schlussfolgerung

Der erforderliche Sicherheitsfaktor der eingegebenen Böschung war $SF = 2,00$. Unter Verwendung der Stabilisierungspfählen konnten wir den Sicherheitsfaktor von **SF=1,8** auf **2,27** erhöhen.

Die einzelnen Stabilisierungspfähle genügen allen Bemessungen der Tragfähigkeit (Druck, Schub) und ihre maximale Verformung erreichte einen Wert von 15,8 mm, was ein akzeptabler Wert ist.