

Geschütteter Erddamm- Berechnung der stationären Strömung

Programm: FEM – Wasserströmung

Datei: Demo_manual_32.gmk

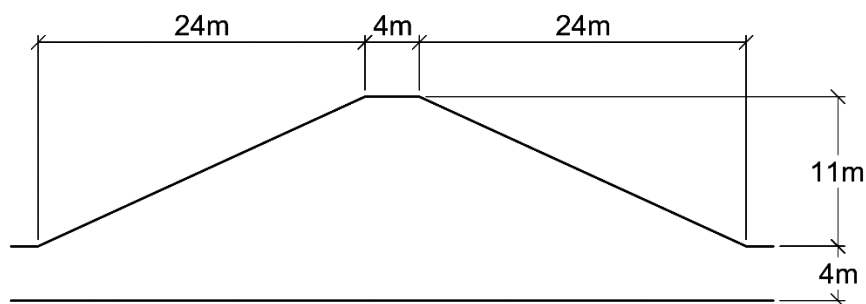
Einleitung

Dieses Beispiel veranschaulicht eine Anwendung des GEO5 FEM-Moduls - Wasserströmung zur Berechnung von Sickerwasser durch einen homogenen Erddamm. Ziel ist es, einen Grundwasserspiegel (phreatische Zone) innerhalb des Dammes zu lokalisieren. Dieses Problem fällt in die Kategorie einer nicht eingegrenzten Wasserströmung. Die Aufgabe erfordert die Festlegung der Dammgeometrie, der Materialeigenschaften des Bodens und der hydraulischen Randbedingungen. Die Berechnung liefert den Verlauf des Grundwasserspiegels innerhalb des Dammkörpers, die Verteilung der Porendrücke unterhalb des Grundwasserspiegels und die Verteilung der Filtergeschwindigkeiten. Im Gebiet oberhalb des Grundwasserspiegels ermöglicht das Programm auch die Darstellung der negativen Porendrücke (Sog). Ein Gesamtdurchfluss durch durchlässige Grenzen des Modells ist ebenfalls berechnet.

Eingabe der Aufgabe

Die Dammhöhe wird mit 11 m, die projizierte Länge entlang der stromaufwärts (Wasserseite) und stromabwärts gelegenen Seite (luftige Seite) mit 24 m und die Dammkrone mit 4 m festgelegt. Der undurchlässige Untergrund befindet sich 4 m unter der Geländeoberfläche und der Grundwasserspiegel an der stromabwärts gelegenen Seite befindet sich 1 m unter der Geländeoberfläche. Der Boden innerhalb des gesamten Gebietes gilt als homogen und isotrop mit den gleichen hydraulischen Eigenschaften in vertikaler und horizontaler Richtung. Der gewählte Boden wurde auf der Grundlage des USDA-Klassifizierungssystems als sandiger Lehm klassifiziert.

Die Aufgabe besteht darin, die Verteilung der Porendrücke unter Berücksichtigung des Wasserspiegels im Reservoir in 2 m, 9 m bzw. 10,8 m Höhe über der Geländeoberfläche zu bestimmen. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob der Wasserabfluss am Fuß der luftigen Seite der Böschung erfolgt.



Geometrie von Querschnitt eines homogenen Erddamm

Lösung - Eingabe der Eingangsdaten

Die Grundeinstellung des Projekts, die Geometrie des Berechnungsmodells und die Materialparameter werden im Topologiemodus [Topo] festgelegt. Darin wird auch das Finite-

Elemente-Netz generiert. Die hydraulischen Randbedingungen werden anschließend in einzelnen Berechnungsphasen [1], [2] und [3] eingeführt.

Projekteinstellung

Wählen Sie im Modus Topo-> Einstellung den *ebenen* Aufgabentyp und den Berechnungstyp für die *stationäre Strömung* aus.

Hinweis: Um die Visualisierung aller berechneten Variablen zu ermöglichen, kreuzen wir auch den Punkt Detaillierte Ergebnisse. In diesem Fall stellt das Programm neben den Porendrücken und Strömungsgeschwindigkeiten auch die Werte des relativen Durchlässigkeitskoeffizienten dar, der die Durchlässigkeit in der ungesättigten Zone oberhalb der Grundwasserspiegel (über der Sickerlinie) charakterisiert.

— Aufgabeneigenschaften — — Berechnungsnormen — — Erweiterung der Programmoptionen —

Aufgabengeometrie: Eben Betonbauten: EN 1992-1-1 (EC2)

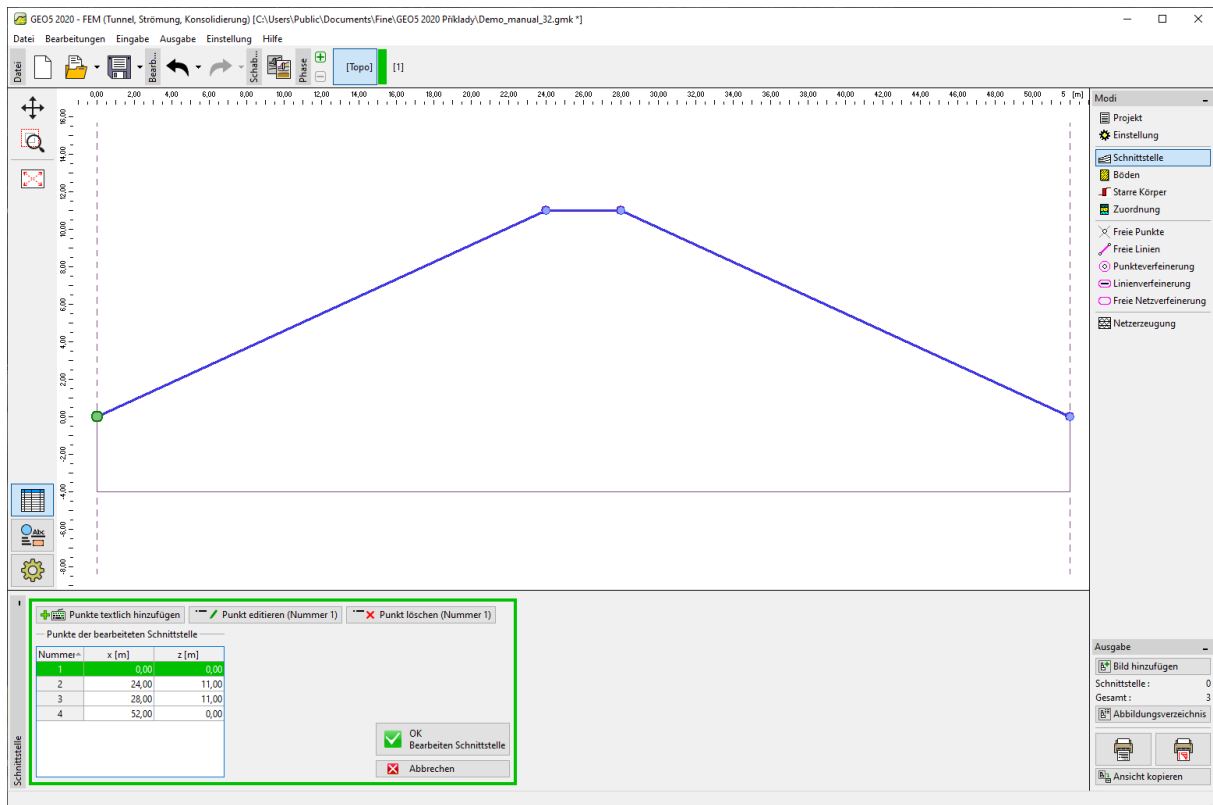
Berechnungstyp: Stationäre Strömung

Detailparameter der Netzerzeugung
 Detailbodenparameter
 Erweiterte Bodenmodelle
 Detail-Strömungsparameter
 Detaillierte Ergebnisse

Fenster „Einstellung“

Geometrie von Dammquerschnitt

Zur Erstellung des Berechnungsmodells genügt es, den Grundrissbereich des Modells von 0 bis 52 m einzustellen und eine Schnittstelle mit Punkten mit den Koordinaten [0, 0], [24, 11], [28, 11] und [52, 0] einzugeben. Die Tiefe des Modells unterhalb des tiefsten Schnittstellenpunktes wird in der Dialogbox Bereiche einstellen auf 4 m eingestellt.



Material

Die erforderlichen Materialparameter des Bodens sollten durch Labormessungen ermittelt werden. Im Falle unseres illustrativen Beispiels waren solche Messungen jedoch nicht verfügbar. Daher nahmen wir Näherungswerte an, die sandigem Lehm entsprechen. In der Programmhilfe¹ sind Richtwerte für die einzelnen Bodenklassen angegeben.

Typische Werte des Filtrationskoeffizienten und der Van-Genuchten-Modellparameter für sandigen Lehm entsprechen $k_{x,sat} = k_{z,sat} = 1,06$ m/Tag, $\alpha = 7,5$ a $n = 1,89$. Ein typischer Wert der Porenzahl für diesen Bodentyp ist $e_0 = 0,7$.

¹ <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/materialove-modely-proudni-01/>

Bodeneigenschaften bearbeiten

Identifikation

Name:

Strömung

Durchlässigkeitsbeiwert in Richtung X: $k_{x,sat} = 1,060E+00$ [m/Tag]

Durchlässigkeitsbeiwert in Richtung Z: $k_{z,sat} = 1,060E+00$ [m/Tag]

Anfangs-Porenzahl: $e_0 = 0,70$ [-]

Modell der Übergangsschicht:

Modellparameter: $\alpha = 7,500$ [1/m]

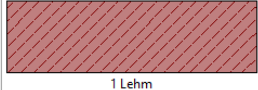
Modellparameter: $n = 1,890$ [-]

Darstellung

Probenkategorie:

Suchen:

Untergruppe:

Muster: 

1 Lehm

Farbe:

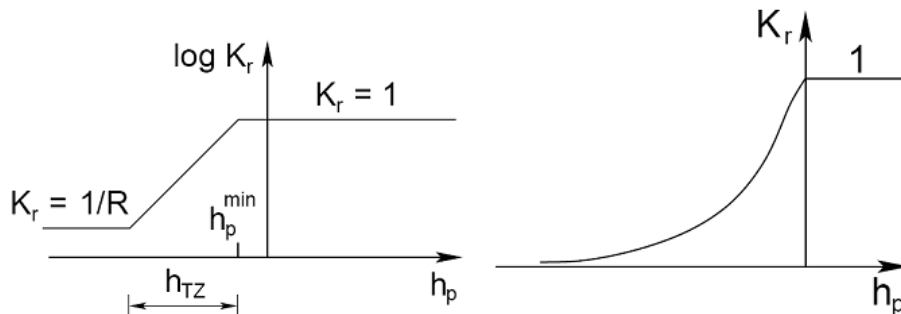
Hintergrund:

Sättigung <10 - 90>: [%]

Klassifizieren
Löschen
OK
Abbrechen

Die im Fenster "Bearbeitung der Bodeneigenschaften" eingegebene Materialparameter

Hinweis: Die Bodendurchlässigkeit im ungesättigten oder teilweise gesättigten Boden oberhalb der Sickerlinie wird als ein Vielfaches des Permeabilitätskoeffizienten, in einem vollständig gesättigten Boden K_{sat} und des Koeffizienten der relativen Durchlässigkeit K_r , ausgedrückt. Letzterer folgt aus dem Modell der Übergangsschicht. Dieses Modell gibt an, wie sich der Koeffizient der relativen Durchlässigkeit K_r mit dem Druck entwickelt, den der Boden hatte (Porendruck) h_p . Diese Abhängigkeit ist in der folgenden Abbildung schematisch für das logarithmisch-lineare und das van Genuchten-Modell dargestellt.



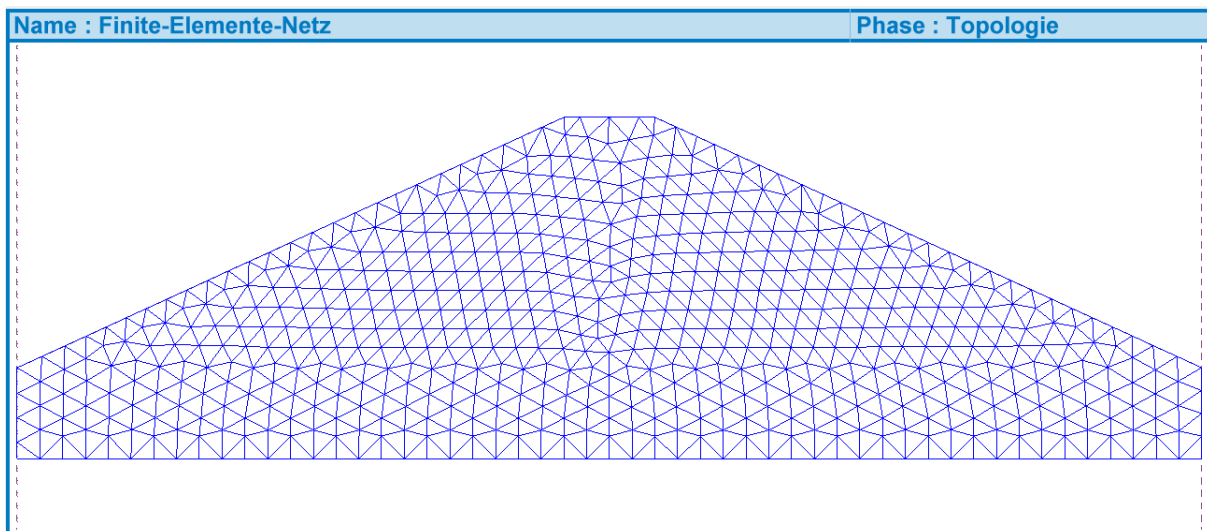
Abhängigkeit des relativen Permeabilitätskoeffizienten von der Druckhöhe für das logarithmisch-lineare und van Genuchten-Modell der Übergangsschicht.

Es ist ersichtlich, dass für eine positive Druckhöhe - also für den Bereich unterhalb der Grundwasserspiegel - der Koeffizient der relativen Durchlässigkeit immer konstant und gleich 1 ist. Das Übergangszonenmodell beeinflusst also den Wasserfluss unterhalb der Grundwasserspiegel in der vollgesättigten Zone nicht. Im Bereich mit einer Unterdruckhöhe (über dem Grundwasserspiegel) nimmt der Sättigungsgrad ab. Der Grund für die Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit ist die Tatsache, dass nur der gesättigte Teil der Poren an der Grundwasserleitung beteiligt ist und daher der relative Permeabilitätskoeffizient auch mit der Abnahme des Sättigungsgrades abnimmt.

Finite-Elemente-Netz

Die Aufgabe verwendet dreieckige Elemente mit drei Knoten, die im Programm GEO5 FEM - Strömung die Standardauswahl sind. Für die verwendete Geometrie des Damms beträgt die geeignete Kantengröße des Elements 1 m. Da es sich um einen homogenen Damm handelt, ist es nicht erforderlich, das Finite-Elemente-Netz zu verfeinern.

Hinweis: Die Netzverfeinerung wird wichtig, wenn man ein detaillierteres geometrisches Modell betrachtet, das relativ kleine Konstruktionselemente enthält, z.B. Abdichtungen oder Drainagen. Wenn die Option Erweiterte Eingabe aktiviert ist, sollte auch ein gemischtes (dreieckiges und viereckiges) Netz zur Auswahl stehen.



Netz der dreieckiger finiter Elemente

Berechnungsphase Nr. 1 - Ebene in 2 m

In jeder Berechnungsphase müssen vor Beginn der Berechnung die hydraulischen Randbedingungen eingegeben werden. Diese Randbedingungen werden im Programm als Punkte oder Strömungslinien bezeichnet.

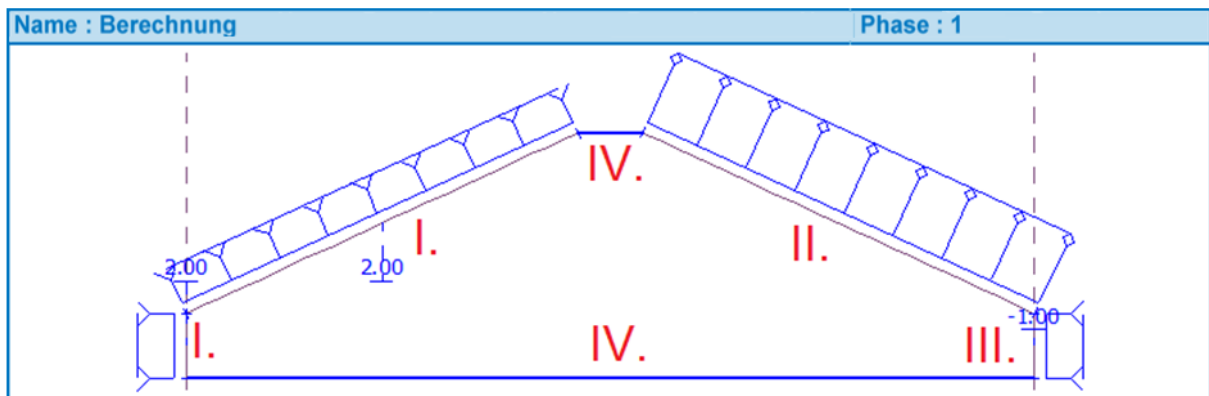
Randbedingungen in der ersten Berechnungsphase

In der 1. Berechnungsphase definieren wir folgende Randbedingungen:

- I. Auf der stromaufwärts gelegenen Seite (Wasserseite) schreiben wir die Bedingung für den Porendruck mit einer Höhe von 2 m über der Geländeoberfläche vor. In dem Teil über dem angegebenen Grundwasserspiegel schreibt diese Randbedingung einen Nullfluss über die Grenze vor. Der Sog entlang der Grenze mit dem vorgeschriebenen Porendruck wird daher nicht eingegeben, sondern ist das Ergebnis einer Berechnung.
- II. Wir schreiben an der stromabwärts gelegenen Seite (luftseitige Seite) die gesättigten Randbedingungen vor.
- III. Auf der vertikalen Oberfläche am Fuß der stromabwärts gelegenen Seite (luftige Seite) definieren wir in diesem Beispiel den *Porendruck*typ der Randbedingung, indem wir den

Grundwasserspiegel in einer Höhe von - 1 m lokalisieren. Diese Bedingung deutet auf einen begrenzten Wasserfluss mit einem Grundwasserspiegel auf diesem bestimmten Niveau hin.

- IV. Wir schreiben eine undurchlässige Art von Grenze für die untere Grenze des Modells und die Dammkrone vor. Dies entspricht den Eigenschaften des undurchlässigen Untergrunds, auf dem der Damm gebaut ist, und der Annahme, dass durch die Grenze an der Dammkrone kein Wasser fließt.



Stromlinie (Randbedingungen) in der Berechnungsphase Nr. 1

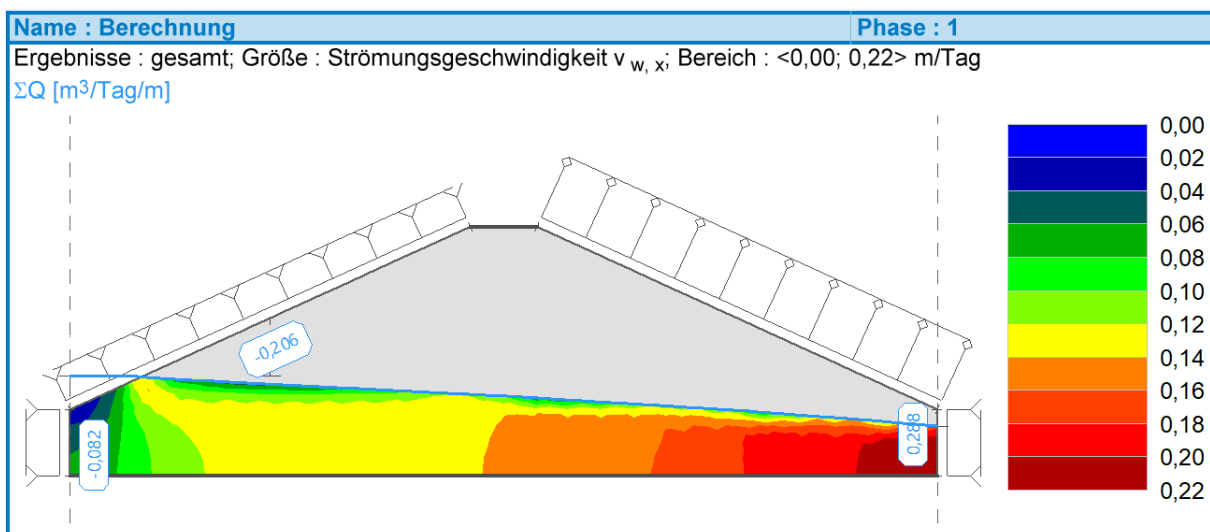
Nummer	Positionierung	Grenzentyp	Parameter
1	Die Netzlinie Nr. 1	undurchlässig	
2	Die Netzlinie Nr. 2	Porenwasserdruck	$z_{\text{Sp}} = 2,00 \text{ m}$
3	Die Netzlinie Nr. 3	Porenwasserdruck	$z_{\text{Sp}} = 2,00 \text{ m}$
4	Die Netzlinie Nr. 4	undurchlässig	
5	Die Netzlinie Nr. 5	Porenwasserdruck	$z_{\text{Sp}} = -1,00 \text{ m}$
6	Die Netzlinie Nr. 6	Durchsickerung	

Eingabe der Art von Linienströmung (Randbedingungen)

Hinweis: Der Versickerungstyp der Randbedingung wird in den Fällen verwendet, bei denen nicht bekannt ist, ob die Aufgabengrenze über oder unter dem Grundwasserspiegel liegen wird. Die Sickerfläche löst eine automatische Suche nach einem Sickerpunkt aus (ein Punkt auf der Sickerfläche, der von der Grundwasserspiegel gekreuzt wird) und definiert geeignete Randbedingungen unterhalb (Null-Porendruck) und oberhalb (Null-Fluss) dieses Punktes. Diese Bedingung sollte nur an einem Gelände berücksichtigt werden, an der ein freier Wasserabfluss stattfinden kann.

Ergebnisse – Berechnungsphase Nr. 1

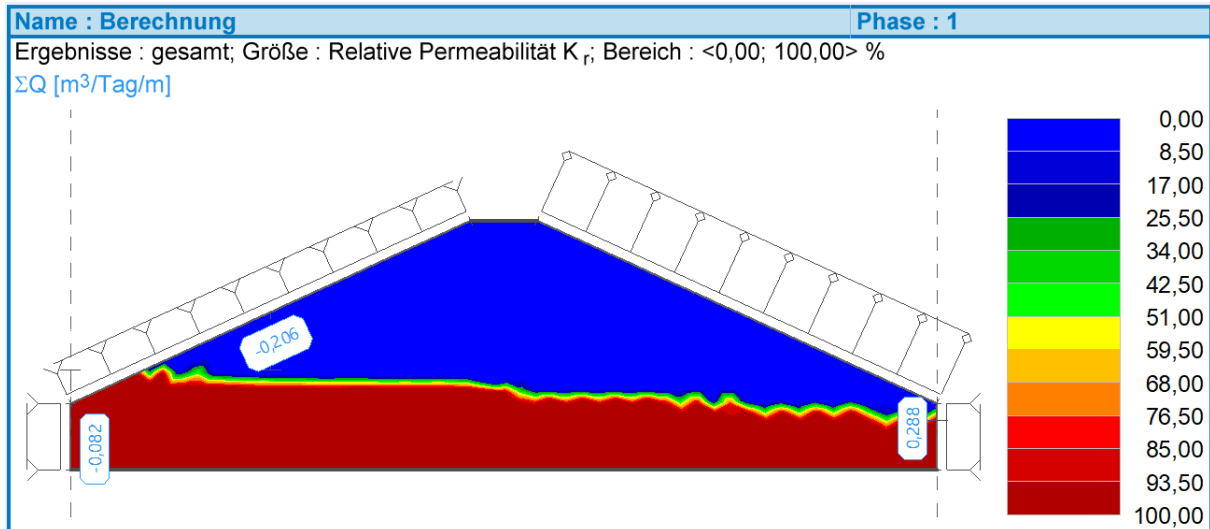
Die Einstellung der Option *Detaillierte Ergebnisse* (Topo->Einstellungen) ermöglicht es uns, unterhalb des Grundwasserspiegels die Verteilung des Porendrucks, die horizontalen und vertikalen Komponenten des Vektors der Geschwindigkeit von Wasserströmung und die hydraulische Gesamthöhe zu visualisieren.



Verteilung der horizontalen Geschwindigkeitskomponente

Das Programm ermöglicht auch die Anzeige der Werte der Gesamtströme auf den Grenzen, in denen ein Wasserfluss stattfindet. Ein negatives Vorzeichen repräsentiert den Zufluss von Wasser in das Modell, während das positive Vorzeichen den Abfluss von Wasser aus dem Modell repräsentiert. Aus dem Bild ist ersichtlich, dass das Wasser durch die Grenze am stromaufwärtigen Hang (Führungsseite der Damm) in den Damm fließt und nur unter dem Geländeniveau unter dem Fuß des Damms fließt. Die Durchflusswerte beziehen sich auf einem laufenden Meter er Damm.

Die Abbildung unten zeigt deutlich, dass oberhalb der Grundwasserspiegel die relative Permeabilität der Boden schnell abnimmt. Die überwiegende Menge der Durchströmung findet somit unterhalb des Grundwasserspiegels statt, wo der Boden voll gesättigt ist.

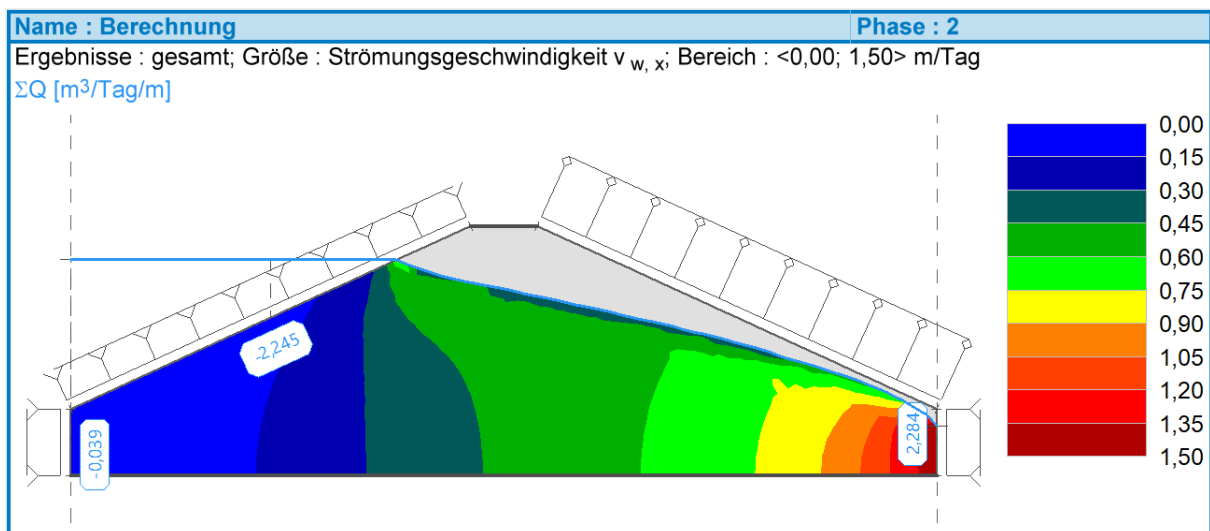


Verteilung des relativen Permeabilitätskoeffizienten

Berechnungsphase Nr. 2 – Wasserspiegel in 9 m

In dieser Berechnungsphase werden wir den Wasserstand im Reservoir im Niveau von 9 m über dem Gelände berücksichtigen. Die Arten der Randbedingungen bleiben unverändert. Es wird sich nur die vorgeschriebene Druckhöhe auf der stromaufwärts gelegenen Seite (Führungsseite von Damm) geändert (die Schräglinie) und die Linie am Fuß des stromaufwärtigen Seite von Hang (vertikale Linie) ändert sich von ursprünglich 2 m auf 9 m.

Nach Änderung der Randbedingung führen wir die Berechnung durch. Aus dem Verlauf des Grundwasserspiegels im Bild unten ist ersichtlich, dass sich der Grundwasserspiegel dem Luftseite der Böschung nähert, es jedoch noch keine Abflüsse gibt und alle Abflüsse unterhalb des Geländeneiveaus stattfinden.

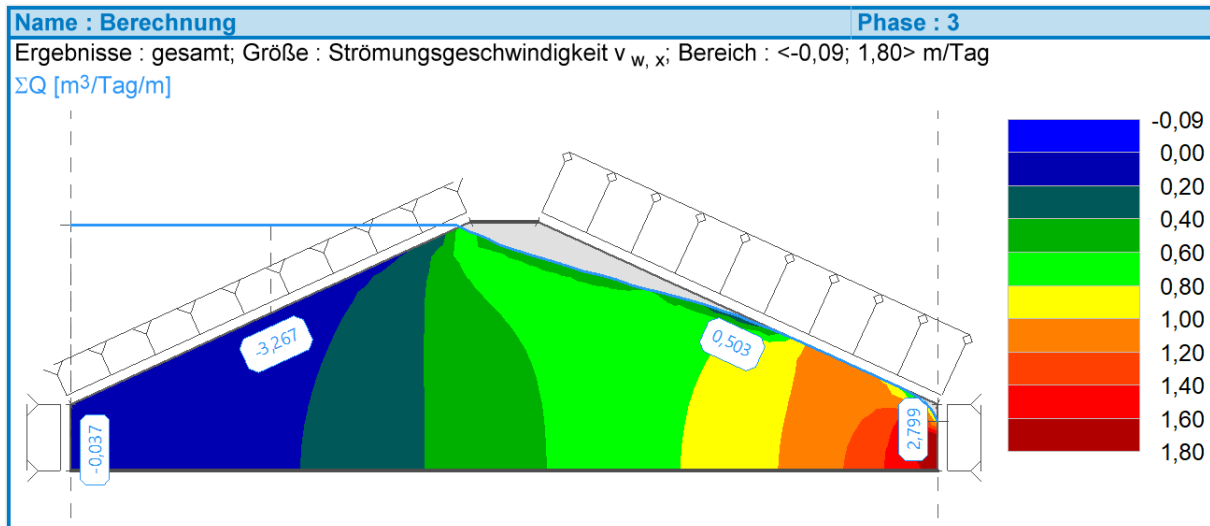


Der Verlauf der horizontalen Geschwindigkeitskomponente in der zweiten Berechnungsphase

Berechnungsphase Nr. 3 – Wasserspiegel 10,8 m

In dieser Phase erhöhen wir den Wasserstand im Wasserreservoir um weitere 1,5 m, d.h. auf das Niveau 10,8 m von der Sohle. Die einzige Anpassung erfolgte daher bei der Änderung der Parameter beider Stromlinien am wasserseitigen Hang (Führungsseite).

Die Ergebnisse der Berechnung zeigen, dass in diesem Fall der Grundwasserspiegel bereits mit dem luftigen Hang in Kontakt steht und das Wasser abfließt. In diesem Fall wird der Durchflusswert auch für die Durchflussfläche angegeben.



Der Verlauf der horizontalen Geschwindigkeitskomponente in der dritten Berechnungsphase

Schlussfolgerung

Es wurden drei Berechnungen der Aufgabe der stationären Strömung für verschiedene Wasserstandshöhen im Wasserreservoir durchgeführt. In Höhen von 2 m und 9 m fließt das Wasser nur unter dem Fuß des Damms ab. Bei einem Wasserstand im Wasserreservoir in einer Höhe von 10,8 m kommt zur Kontakt des Grundwasserspiegels mit der luftigen Dammseite und erfolgen die nachfolgenden Wasserabflüsse.

Hinweis: Bei der Aufgabe wurde auch gezeigt, dass die Position und Form des berechneten Grundwasserspiegels ausschließlich von den Randbedingungen, der Geometrie des Modells und den Materialeigenschaften der Böden abhängt. Im Gegensatz zur Spannungsberechnung oder der Berechnung der instationären Strömung spielt der Ausgangszustand bei dieser Art der Berechnung keine Rolle. Die einzelnen Phasen schließen nicht aufeinander an und können völlig unabhängig voneinander gelöst werden.