

## Berechnung der instationären Durchströmung eines Damms

Programm: FEM – Wasserströmung

Datei: Demo\_manual\_33.gmk

### Anleitung

Dieses Beispiel zeigt die Verwendung des Moduls GEO5 FEM - Wasserströmung bei der Berechnung der instationären Grundwasserströmung durch einen homogenen Erddamm. Die Geometrie- und Materialparameter sind die gleichen wie im technischen Handbuch Nr. 32 (Berechnung der stationären Strömung). Die Aufgabe unterscheidet sich darin, dass wir nun die Entwicklung des Grundwasserspiegels im Laufe der Zeit untersuchen werden. Das Ergebnis der Berechnung ist der Verlauf des Grundwasserspiegels, die Verteilung der Porendrücke und die Werte des Durchflusses in ausgewählten Zeitschritten.

### Eingabe der Aufgabe

Betrachten Sie einen geschütteten Erddamm, der im technischen Handbuch Nr. 32 beschrieben ist. Bestimmen Sie den Verlauf des Grundwasserspiegels zu den folgenden Zeitpunkten: 1 Stunde, 1 Tag, 7 Tage, 1 Monat, 3 Monate und 1 Jahr nach einem plötzlichen Anstieg des Wasserspiegels im Reservoir von 2 auf 9 m. Bestimmen Sie die Zeit, die benötigt wird, um den stationären Durchfluss des Grundwasserspiegels zu erreichen.

### Lösung – Eingabe der Eintrittsdaten

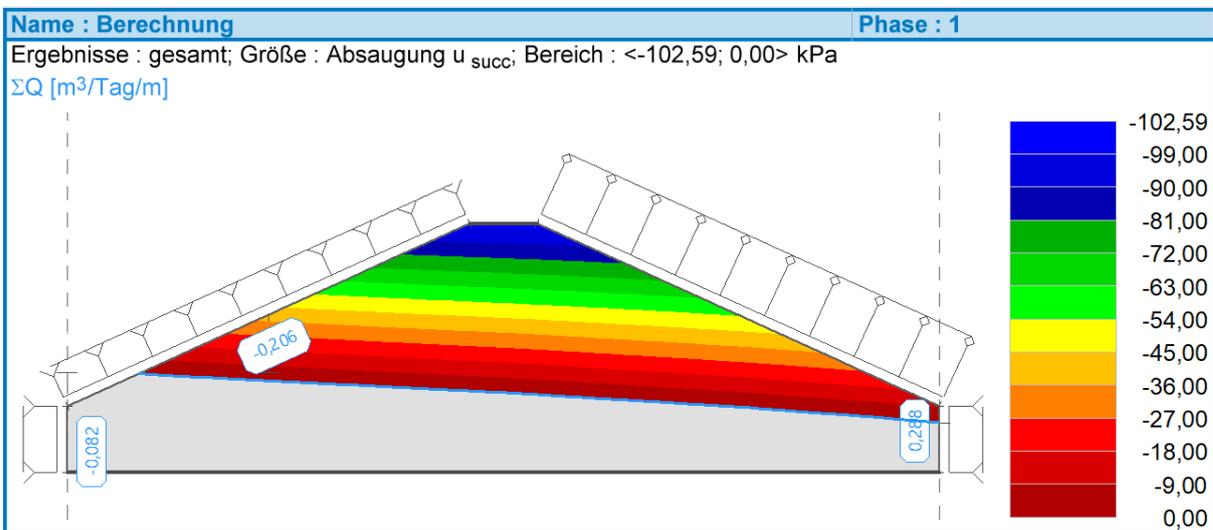
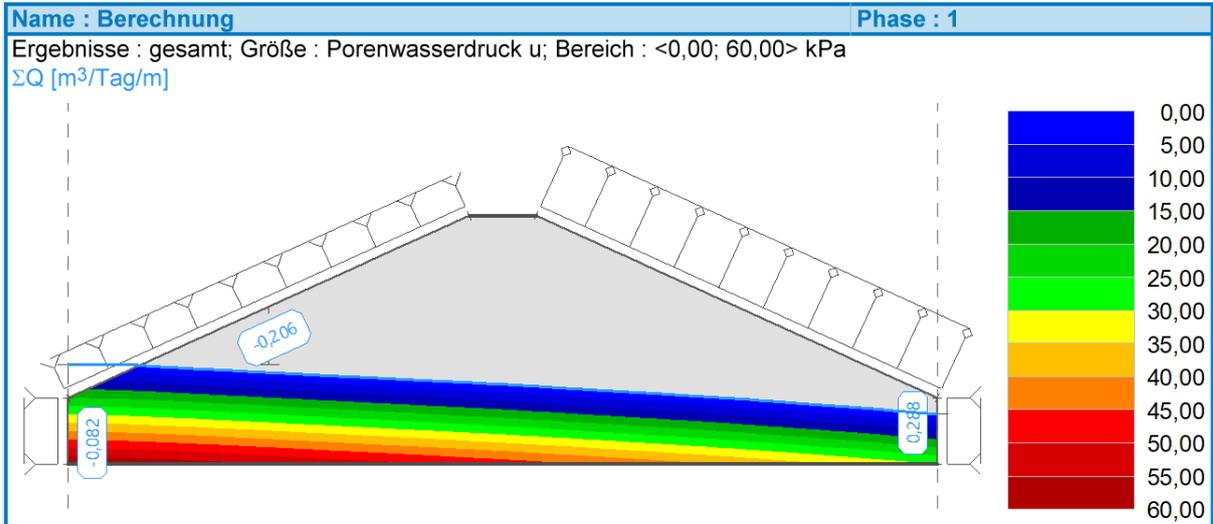
Da die Dammgeometrie und die Materialparameter mit der vorherigen Aufgabe identisch sind, reicht es aus, mit dem Beispiel Demo\_manual\_32.gmk zu beginnen und im Modus Topo-> Einstellungen nur den *Berechnungstyp auf Stationäre Strömung* umzuschalten. Im Programm wählen wir auch mithilfe der *Berechnung der stationären Strömung* die Option *Wasser eingeben in der 1. Phase*.

### Berechnungsphase Nr. 1 - Anfangswasserstand in 2 m

*Anders als bei der stationären Wasserflussanalyse interessieren wir uns für die zeitliche Entwicklung einer bestimmten Variablen ausgehend von einem gegebenen Ausgangszustand. Dieser Zustand muss zuerst definiert werden, bevor die eigentliche Berechnung durchgeführt werden kann. Wenn wir die Option Wasser eingeben in der 1. Phase durch Ausführen einer Berechnung der stationären Strömung wählen, erhalten wir den Verlauf des Grundwasserspiegels und Verteilung der anfänglichen Porendrücke, der mithilfe einer Standardberechnung der stationären Strömung in der ersten Berechnungsphase sowohl unterhalb (Porendruck) als auch oberhalb (Sog) der aktuellen Sickerlinie erhalten wird.*

### Randbedingungen in der ersten Berechnungsphase - anfängliche stationäre Strömung

Die Randbedingungen und die Ergebnisse der Analyse in der ersten Berechnungsphase sind identisch mit der ersten Phase des Beispiels im Ingenieurhandbuch Nr. 32. Hier wird eine völlig identische Aufgabe gelöst. Die Anfangsverteilungen von Porendruck und Sog sind in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.



*Verteilung von Porendruck und Sog (Porendruck über dem Grundwasserspiegel) in der ersten Berechnungsphase - stationärer Anfangszustand*

## Berechnungsphase Nr. 2 – Wasserspiegel in 9 m

In der 2. Berechnungsphase voraussetzen wir einen plötzlichen Anstieg des Grundwasserspiegels im Reservoir um bis zu 9 m. Die Arten der Randbedingungen bleiben gleich. Nur die Höhe des Grundwasserspiegels auf den Linien der Dammsflanke stromaufwärts ändert sich von ursprünglich 2 m auf 9 m.

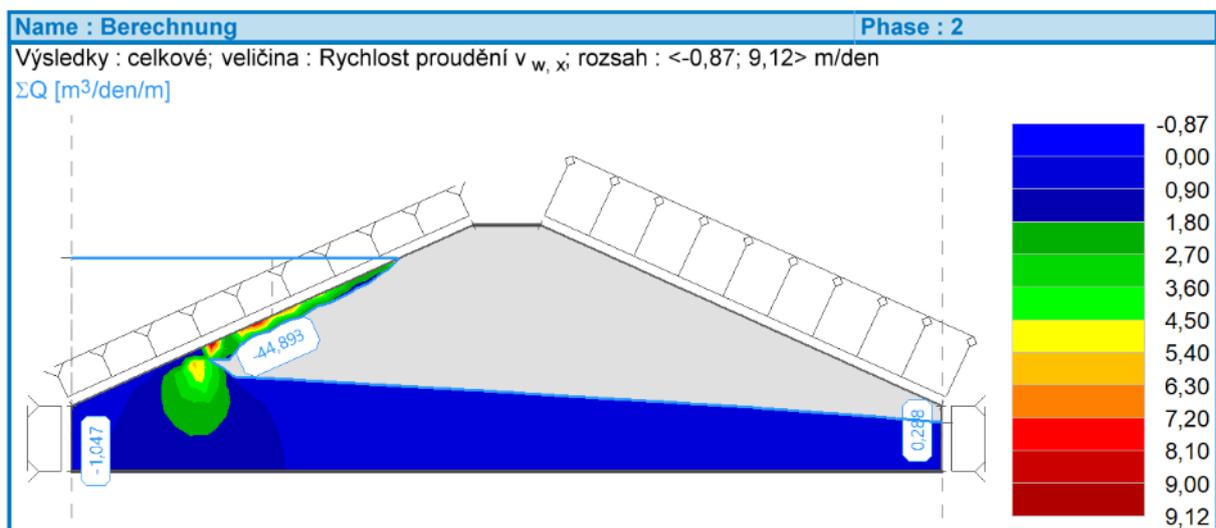
### Einstellung des Zeitschritts

Bevor wir mit der Berechnung der instationären Strömung beginnen, müssen wir *die Dauer der Phase* und die Art und Weise angeben, in der die Randbedingungen eingetragen werden. Entsprechend der Eingabe wird der anfängliche Zeitschritt  $t = 1$  Stunde = 0,04167 Tage ausgewählt. *Zu Beginn der Phase* werden Randbedingungen in die Berechnung einbezogen.

*Hinweis: Das Programm GEO5 FEM - Wasserströmung ermöglicht die Einführung von Randbedingungen zu Beginn der Berechnungsphase oder deren linearen Anstieg während der gesamten Dauer der Phase. In dieser Aufgabe wird die erste Option ausgewählt, die einer sofortigen Erhöhung des Wasserspiegels im Reservoir entspricht.*

## Ergebnisse der 2. Berechnungsphase

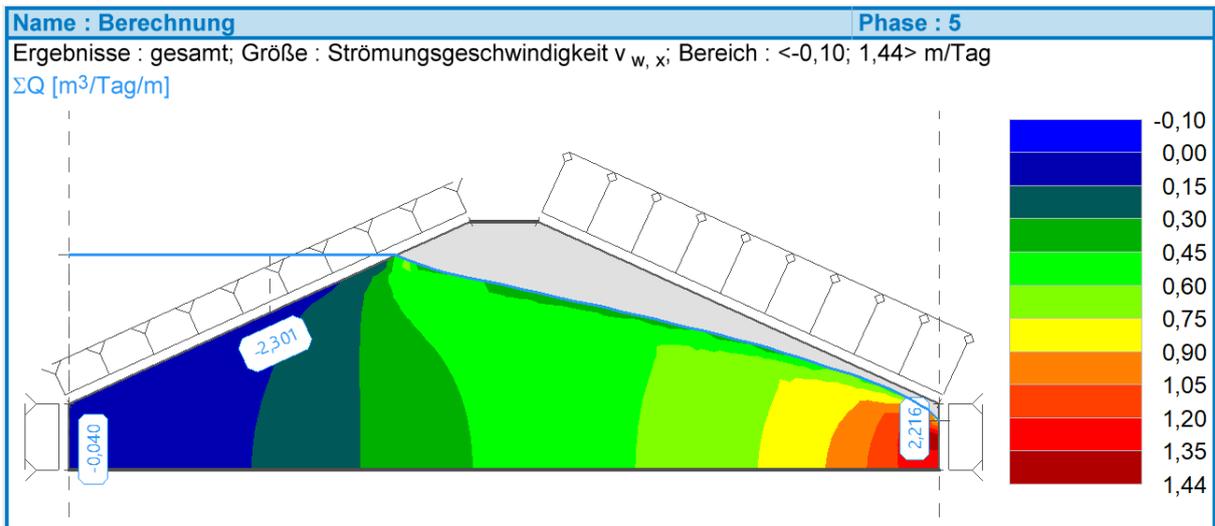
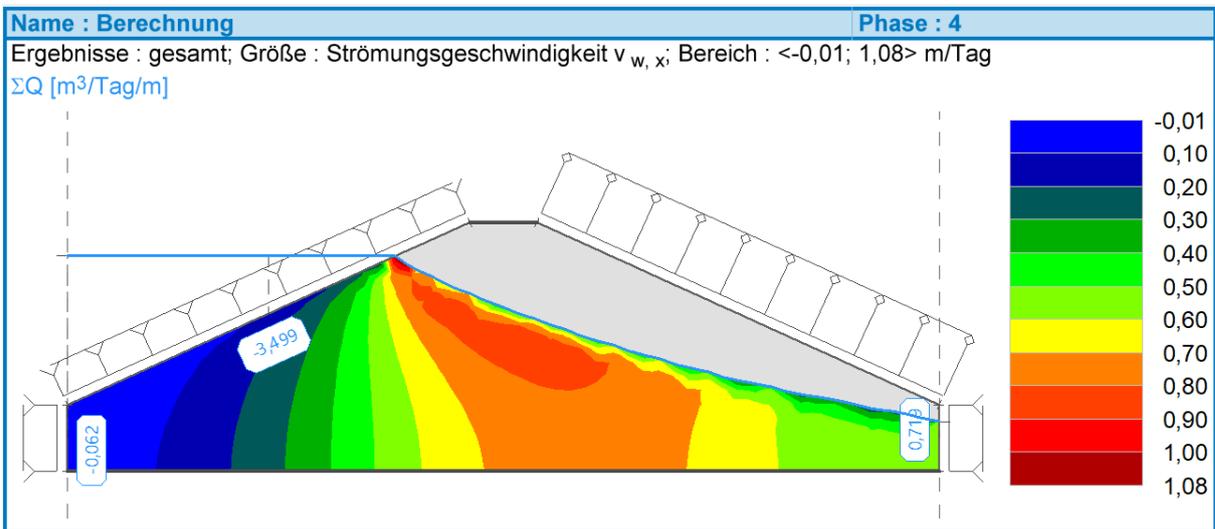
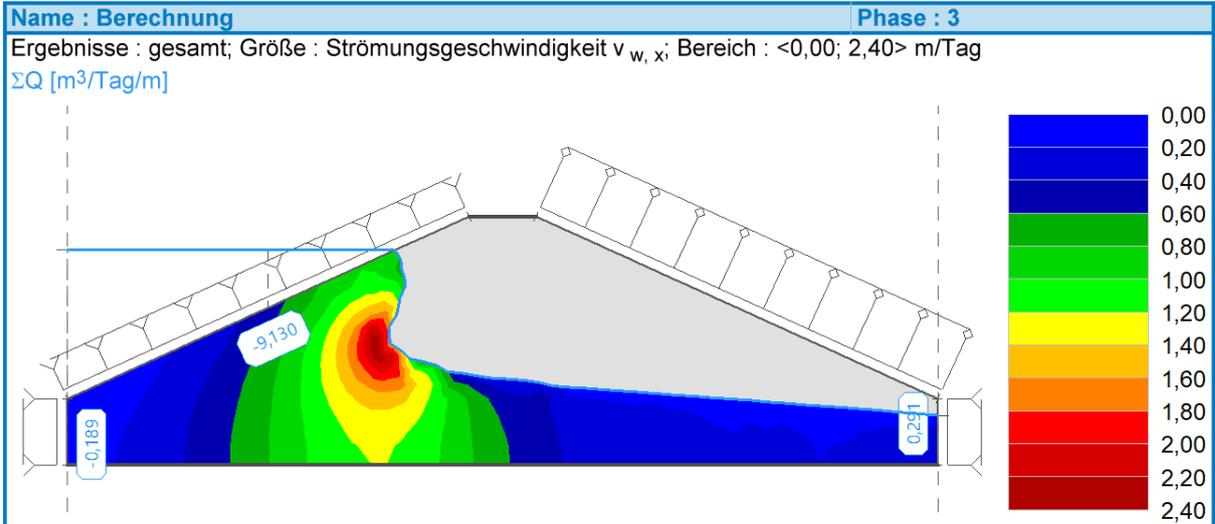
Aus dem Verlauf des Grundwasserspiegels im Bild unten ist ersichtlich, dass sich der Grundwasserspiegel in kurzer Zeit der zweiten Phase nicht in einer typischen Form stabilisiert hat, der Wasserspiegel jedoch praktisch die Dammflanke stromaufwärts kopiert und das Wasser nur bis zu einer Tiefe von etwa 1 m eingedrungen ist. Der Unterschied zwischen dem Zufluss ins Modell ( $1,05 + 44,89 \text{ m}^3/\text{den/m}$ ) und dem Abfluss aus dem Modell ( $0,29 \text{ m}^3/\text{den/m}$ ) zeigen an, dass es zu einer schnellen Sättigung des Dammmaterials kommt.

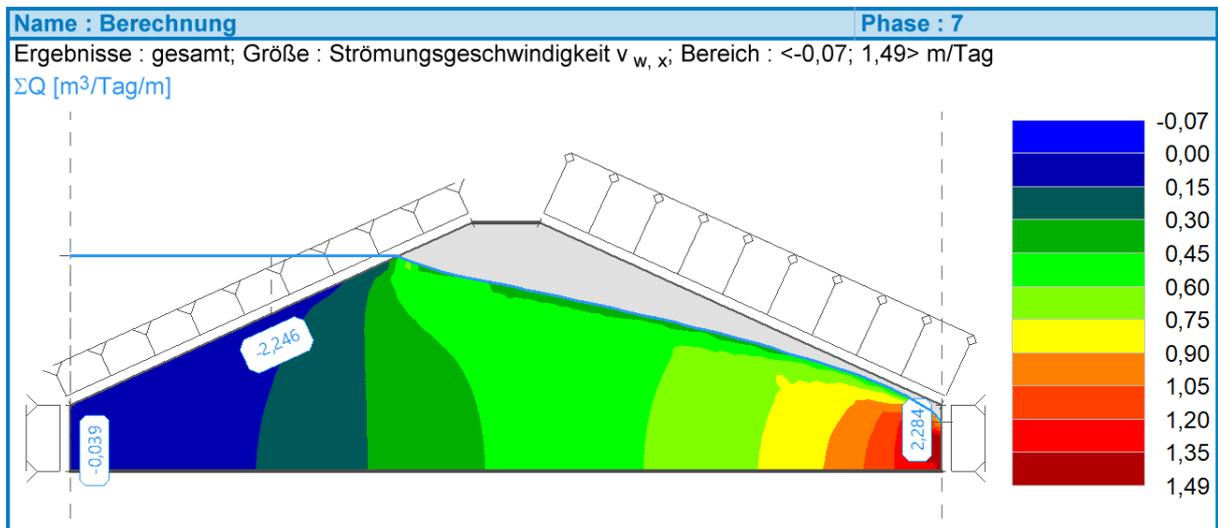
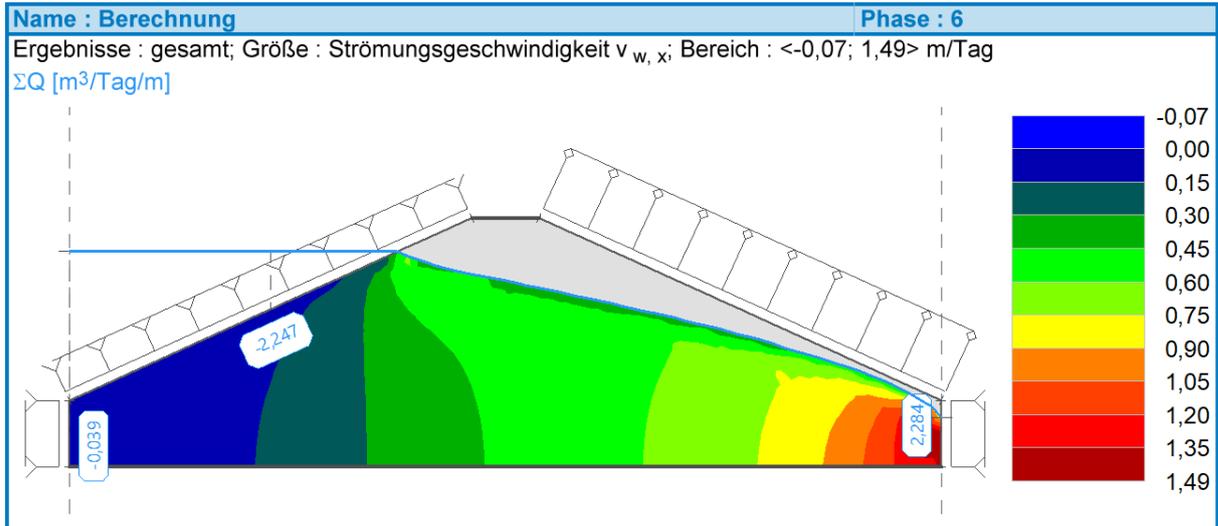


*Der Verlauf der horizontalen Geschwindigkeitskomponente in der Zeit von 1 h ab dem sprungartigen Anstieg des Wasserstandes im Reservoir*

## Nachfolgende Berechnungsphase

In den folgenden Berechnungsphasen bleiben die Randbedingungen unverändert. In den Phasen 3 - 7 möchten wir Ergebnisse in Zeiten von 1 Tag, 7 Tagen, 28 Tagen, 90 Tagen und 365 Tagen erhalten. Die seit der anfänglichen Änderung der Randbedingungen gemessenen Zeiten am Ende der einzelnen Phasen sind immer die Summe der Dauer aller vorhergehenden Phasen. Daher schreiben wir die Dauer der 3. Phase 0,9583 Tage, der 4. Phase 6 Tage, der 5. Phase 21 Tage, der 6. Phase 62 Tage vor. Die letzte 7. Phase dauert 275 Tage. Die Verläufe der Grundwasserspiegel in diesen Phasen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.





*Verlauf des Grundwasserspiegels und horizont. Verteilung der Geschwindigkeit in den Phasen 3-7*

Aus der Abbildungen ist ersichtlich, dass sich der Grundwasserspiegel im Dammkörper in den letzten drei Phasen nicht mehr ändert und somit einem stationären Zustand entspricht. Der stationäre Zustand wird auch durch einen Vergleich der Wassermenge angezeigt, die in das Modell hinein und aus diesem herausfließt. Die folgende Tabelle zeigt, dass der Dammkörper am ersten Tag schnell gesättigt ist und die Zuflüsse und Abflüsse im Intervall zwischen 28 und 90 Tagen nach Anhebung des Wasserspiegels im Reservoir ausgeglichen werden - die stationäre Strömung wird erreicht.

Die Menge an Wasser, die für einzelne Zeiträume in den Dammkörper hinein und aus diesem herausfließt:

Zeit	Zufluss [m <sup>3</sup> /Tag/m]	Abfluss [m <sup>3</sup> /Tag/m]	Differenz [m <sup>3</sup> /Tag/m]
------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

1 Stunde	45,94	0,288	45,652
1 Tag	9,319	0,291	9,028
7 Tage	3,561	0,719	2,842
28 Tage	2,341	2,216	0,125
90 Tage	2,286	2,284	0,002
365 Tage	2,285	2,284	0,001

*Hinweis: Die Ergebnisse der letzten beiden Phasen, die wir als stationären Zustand betrachten, sind identisch mit den Ergebnissen der Lösung der vorherigen Aufgabe der stationären Strömung (Ingenieurhandbuch Nr. 32). Hier beträgt der Wert des Zuflusses in das Modell 2,284 m<sup>3</sup> / Tag / m und entspricht genau dem Wert des Abflusses aus dem Modell.*

### Schlussfolgerung

Der Grundwasserspiegel erreicht nach 90 Tagen einen stationären Zustand. Aus praktischer Sicht können wir davon ausgehen, dass der Wasserspiegel schon nach 28 Tagen stabil ist, da sich seine Höhe nach dieser Zeit nur noch in der Größenordnung von Zentimetern ändert.