

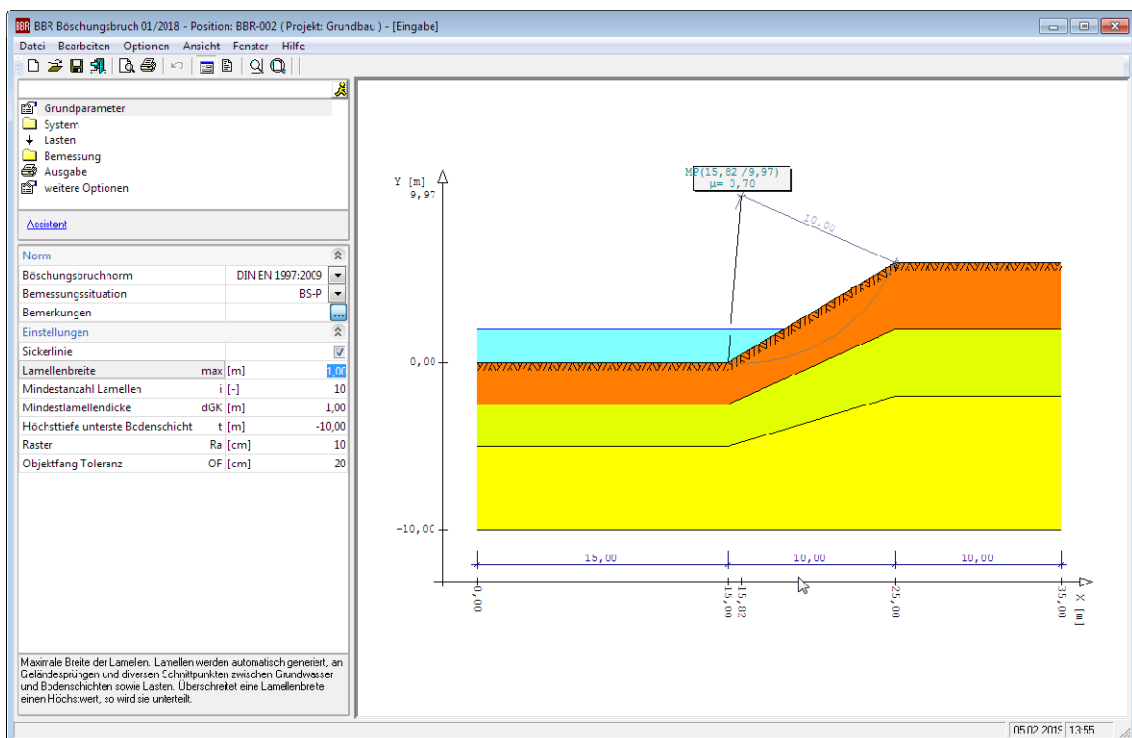
Böschungsbruch – BBR

FRILO Software GmbH

www.friilo.eu

info@friilo.eu

Stand: 05.02.2019



Böschungsbruch - BBR

Inhaltsverzeichnis

Anwendungsmöglichkeiten	3
Berechnungsgrundlagen	4
Berechnungsgrundlagen nach DIN 1054 [2005-01] sowie DIN 4084 [2009-01]	4
Berechnungsgrundlagen nach EN 1997-1 [2009-09]	5
Berechnungsgrundlagen nach - DIN EN 1997-1 [2009-09] - DIN EN 1997-1 [2009-02] NA - DIN 1054-101[2009-02] - DIN 4084 [2009-01]	6
Berechnungsgrundlagen nach ÖNORM EN 1997-1 [2009-05] und ÖNORM B 1997-1 [2007-11]	7
Berechnungsgrundlagen nach IS EN 1997-1 [2005] und AC:2009	8
Berechnungsgrundlagen nach BS EN 1997-1 [2004] und NA [2004]	9
Eingabe	10
Assistent	10
Grundparameter	11
System	12
Bodenschichten	12
Gelände	13
Gelände-Unterteilung	14
Sickerliniendefinition	16
Gewässer	17
Lasten	18
Bemessung	19
Zwangspunkte	19
Gleitkreisvariation	20
Geländeerweiterung	22
Ausgabe	23
Textausgabe - Erläuterungen	23

Grundlegende Dokumentationen - Übersicht

Neben den einzelnen Programmhandbüchern (Manuals) finden Sie grundlegende Erläuterungen zur Bedienung der Programme auf unserer Homepage www.frilo.eu
(▶ Service ▶ Fachinformationen ▶ Bedienungsgrundlagen).

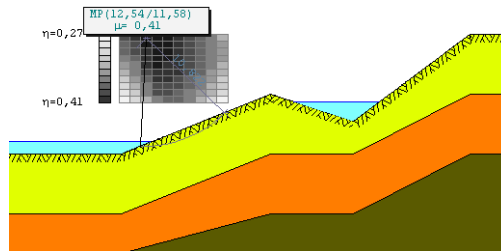
Anwendungsmöglichkeiten

Leistungsumfang

Das Programm BBR ermittelt die Böschungsbruchsicherheit eines definierten Geländes und stellt diese in Form eines Ausnutzungsgrades dar.

Definitionsmöglichkeiten:

- Polygonale Eingabe von Geländeverlauf, Bodenschichtung sowie Grundwasserverlauf.
- Ständige und veränderliche Lasten auf dem Gelände.
- Mehrere Wasserhaltungen.



Zur Ermittlung des Ausnutzungsgrades wird das Lamellenverfahren nach BISHOP verwendet. Dabei wird für einen Gleitkreis, welcher sich über die Definition von Mittelpunkt und Radius ergibt, die Ausnutzung ermittelt.

Zur Vereinfachung der Geländeeingabe ist ein [Eingabeassistent](#) implementiert, welcher aus wesentlichen Kennwerten ein System generiert.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, einen rechteckigen oder kreisförmigen Bereich für diverse Gleitkreismittelpunkte zu definieren. Entsprechend der Vorgaben des Anwenders kann eine Gleitkreisvariation durchgeführt werden, so dass schnell ermittelt werden kann, welche Form und Position der maßgebende Gleitkreis hat.

Normen

- DIN EN 1997-1 [2009-09] mit DIN EN 1997-1 [2010-12] NA
- ÖNORM EN 1997-1 [2009-05] mit ÖNORM B 1997-1 [2007-11]
- BS EN 1997-1 [2004] mit Nationalem Anhang [2004]
- DIN 1054 [2005-01] in Verbindung mit DIN 4084 [2009-01]

Anwendungsgrenzen

Der im Programm BBR geführte Böschungsbruchnachweis basiert auf dem Lamellenverfahren nach BISHOP. Es sind ausschließlich kreisförmige Bruchfiguren möglich. Das Programm bietet die Möglichkeit, mit einem, zwei oder keinen Zwangspunkten zu arbeiten. Es ist möglich, mehrere Hügel und Täler inklusive Seen zu definieren. Dabei werden jedoch stets rechts drehende Gleitkreise untersucht, welche Böschungen nach links abrutschen lassen. Links herum drehende Gleitkreise mit nach rechts abrutschenden Böschungen werden nicht untersucht.

Berechnungsgrundlagen

Berechnungsgrundlagen nach DIN 1054 [2005-01] sowie DIN 4084 [2009-01]

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Bemessungssituationen, Lastfälle, Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen

In DIN 1054 ergeben sich die 3 Lastfälle LF1, LF2 und LF3 aus Variationen von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen. Die Sicherheitsbeiwerte sind exakt den Lastfällen zugeordnet.

Lastfall 1 entspricht der „ständigen Bemessungssituation“ aus DIN 1055-100.

Lastfall 2 entspricht der „vorübergehenden Bemessungssituation“ aus DIN 1055-100.

Lastfall 3 entspricht der „außergewöhnlichen Bemessungssituation“ sowie der „Bemessungssituation für Erdbeben“ aus DIN 1055-100.

Sicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen:

Einwirkung:		LF 1	LF 2	LF 3
Ständig	γ_G	1,00	1,00	1,00
Veränderlich	γ_Q	1,30	1,20	1,00

Sicherheitsbeiwerte für die Widerstandsgrößen:

Widerstand:		LF 1	LF 2	LF 3
Reibungsbeiwert für un-/drainierten Boden	$\gamma_\varphi, \gamma_{\gamma_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' drainierter Boden und Scherfestigkeit c_u undrainierter Boden	γ_c, γ_{c_u}	1,25	1,15	1,10

Berechnungsgrundlagen nach EN 1997-1 [2009-09]

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Nachweisverfahren

Das Programm verwendet für den Eurocode 7 ohne Anwendungsdokument das Nachweisverfahren 3. Das entspricht der Kombination **A2 + M2 + R3**.

Sicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen:

Einwirkung		Symbol	Werte
Dauer	Bedingung		A2
Ständig	Ungünstig	γ_G	1,00
	Günstig	γ_G	1,00
Veränderlich	Ungünstig	γ_Q	1,30
	Günstig	γ_Q	0,00

Sicherheitsbeiwerte für die Widerstandsgrößen:

Bodenkenngrößen	Symbol	Werte
		M2
Wirksamer Scherwinkel (mit $\tan \varphi$)	γ_φ	1,25
Wirksame Kohäsion	γ_c	1,25
Wichte	γ_γ	1,00

Berechnungsgrundlagen nach

- DIN EN 1997-1 [2009-09]
- DIN EN 1997-1 [2009-02] NA
- DIN 1054-101[2009-02]
- DIN 4084 [2009-01]

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Nachweisverfahren

Das Programm verwendet für den Eurocode 7 mit deutschem Anwendungsdokument die DIN 4084 und die DIN 1054-101 in Verbindung mit dem Nachweisverfahren 3. Das entspricht der Kombination **A2 + M2 + R3**.

Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus DIN 1054-101[2009-02]: Tabelle A2.1:

Einwirkung: GEO-3		BST-P	BST-T	BST-A
Ständig	γ_G	1,00	1,00	1,00
Veränderlich	γ_Q	1,30	1,20	1,00

Sicherheitsbeiwerte für Widerstandsgrößen aus DIN 1054-101[2009-02]: Tabelle A2.2:

Widerstand: GEO-3		BST-P	BST-T	BST-A
Reibungsbeiwert für un-/drainierten Boden	$\gamma_\varphi, \gamma_{\gamma_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' drainierter Boden und Scherfestigkeit c_u undrainierter Boden	γ_c, γ_{c_u}	1,25	1,15	1,10

Berechnungsgrundlagen nach ÖNORM EN 1997-1 [2009-05] und ÖNORM B 1997-1 [2007-11]

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Nachweisverfahren

Entsprechend ÖNORM B 1997-1 [2007-11] verwendet das Programm Nachweisverfahren 3 aus ÖNORM EN 1997-1. Dabei werden die äußeren Einwirkungen auf den Boden (z.B. Tragwerkslasten, Verkehrslasten) als geotechnische Einwirkungen behandelt. Das entspricht der Kombination **A2 + M2 + R3**. Die verwendeten Sicherheitsbeiwerte stammen aus ÖNORM B 1997-1 [2007-11] Tabellen 16,17 und 18.

Sicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen ÖNORM B 1997-1 [2007-11] Tabelle 16:

Einwirkung		Symbol	Werte		
Dauer	Bedingung		BS 1	BS 2	BS 3
Ständig	Ungünstig	γ_G	1,00	1,00	1,00
	Günstig	γ_G	1,00	1,00	1,00
Veränderlich	Ungünstig	γ_Q	1,10	1,10	1,10
	Günstig	γ_Q	0,00	0,00	0,00

Sicherheitsbeiwerte für die Widerstandsgrößen ÖNORM B 1997-1 [2007-11] Tabelle 17:

Bodenkenngrößen	Symbol	Wert für Schadensfolgeklasse								
		CC 1			CC 2			CC 3		
		BS1	BS2	BS3	BS1	BS2	BS3	BS1	BS2	BS3
Effektiver Reibungswinkel	γ_ϕ	1,10	1,05	1,00	1,15	1,10	1,05	1,30	1,20	1,10
Effektive Kohäsion	γ_c	1,10	1,05	1,00	1,15	1,10	1,05	1,30	1,20	1,10
Wichte	γ_γ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Berechnungsgrundlagen nach IS EN 1997-1 [2005] und AC:2009

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Nachweisverfahren

Das Programm verwendet für den IS EN 1997-1 [2005] und Werten aus zugehörigem Anwendungsdokument das Nachweisverfahren 3.

Das entspricht der Kombination **A2 + M2 + R3**.

Sicherheitsbeiwerte Einwirkungen IS EN 1997-1 [2005] Table A3

Einwirkung		Symbol	Werte
Dauer	Bedingung		A2
Ständig	Ungünstig	γ_G	1,00
	Günstig	γ_G	1,00
Veränderlich	Ungünstig	γ_Q	1,30
	Günstig	γ_Q	0,00

Sicherheitsbeiwerte Widerstandsgrößen IS EN 1997-1 [2005]+AC:2009 Table NA.2:

Bodenkenngrößen	Symbol	Werte
		M2
Wirksamer Scherwinkel (mit $\tan \varphi$)	γ_φ	1,25
Wirksame Kohäsion	γ_c	1,25
Wichte	γ_γ	1,00

Berechnungsgrundlagen nach BS EN 1997-1 [2004] und NA [2004]

Einwirkungen und Belastung

Lasten werden stets charakteristisch eingegeben. Es stehen ständige und veränderliche Einwirkungen zur Verfügung.

Nachweisverfahren

Das Programm verwendet für den BS EN 1997-1 [2004] und Werten aus zugehörigem Anwendungsdokument das Nachweisverfahren 3.

Das entspricht der Kombination **A2 + M2 + R3**. (Kombinationsbeiwerte ψ werden dabei nicht verwendet.)

Sicherheitsbeiwerte Einwirkungen BS EN 1990 [2002] Table NA.A1.2(C)

Einwirkung		Symbol	Werte
Dauer	Bedingung		
Ständig	Ungünstig	γ_G	1,00
	Günstig	γ_G	1,00
Veränderlich	Ungünstig	γ_Q	1,30
	Günstig	γ_Q	0,00

Sicherheitsbeiwerte Widerstandsgrößen IS EN 1997-1 [2005]+AC:2009 Table NA.2:

Bodenkenngößen	Symbol	Werte
		M2
Wirksamer Scherwinkel (mit $\tan \varphi$)	γ_φ	1,25
Wirksame Kohäsion	γ_c	1,25
Wichte	γ_γ	1,00

Böschungsbruchsicherheit

Um eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen zu erreichen, muss das Verhältnis aus Bemessungswerten der Einwirkungen und Widerständen ≤ 1 sein:

$$\mu = \frac{E_M}{R_M} \leq 1$$

E_M ist die Summe der einwirkenden Momente um den Mittelpunkt des aktuell betrachteten Gleitkreises.

$$E_M = r \cdot \sum_i (G_i + P_{vi}) \cdot \sin \vartheta_i + \sum M_s$$

R_M ist die Summe der widerstehenden Momente um den Mittelpunkt des aktuell betrachteten Gleitkreises.

$$R_M = r \cdot \sum_i \frac{(G_i + P_{vi} - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi + c_i \cdot b_i}{\cos \vartheta_i + \mu \cdot \tan \varphi_i \cdot \sin \vartheta_i}$$

Aus den obigen Formeln wird ersichtlich, dass die Ausnutzung μ sowohl links als auch rechts steht.

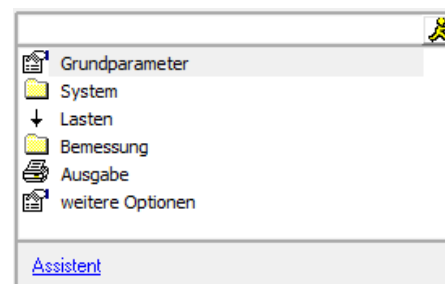
Daher wird zur Ergebnisfindung iterativ vorgegangen. Die Ausnutzung wird geschätzt und mit dieser Schätzung wird gerechnet und überprüft. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis die Abweichung vom vorherigen Iterationsschritt weniger als 3% beträgt.

Eingabe

Assistent

Der Eingabe-Assistent wird bei Programmstart geöffnet. Über die Option „Assistent beim Start“ können Sie dies auch unterbinden (Option auf „nein“ setzen. Bei Aufruf einer Vorlageposition wird der Assistent auch nicht gestartet).

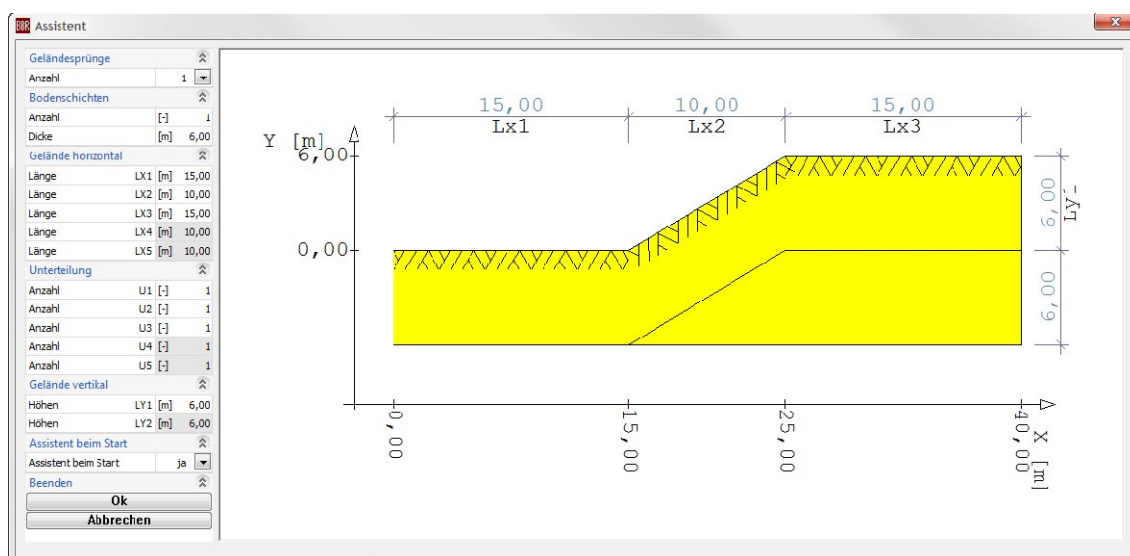
Im Eingabebereich Grundparameter können Sie den Assistenten jederzeit direkt aufrufen.



Der Eingabe-Assistent dient dazu, die Eingabe für Standardfälle zu vereinfachen. Oftmals ist es hilfreich, mit dem Eingabeassistenten ein System zu generieren und dieses System dann mit Hilfe der übrigen Eingabe-Funktionen zu verfeinern.

Im Assistenten können Sie ein oder zwei Geländesprünge definieren und die Anzahl und Mächtigkeit der Bodenschichten festlegen. Dabei haben die Bodenschichten Anfangs alle den gleichen Abstand zueinander sowie Standardeigenschaften, welche später modifiziert werden können.

Jeder Geländeabschnitt kann in Unterteilungen aufgeteilt werden.



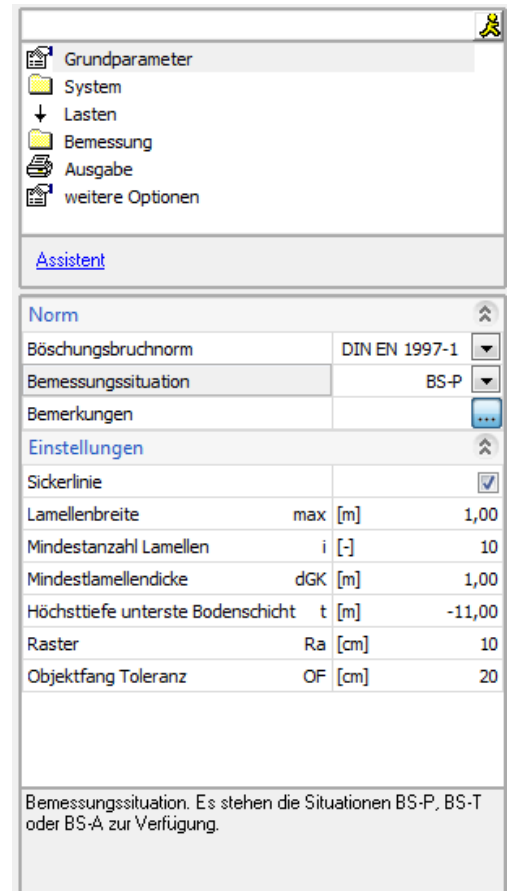
Grundparameter

Norm

Auswahl der Bemessungsnorm sowie in Abhängigkeit der Norm ggf. eine Bemessungssituation und eine Schadensfolgeklasse.

Einstellungen

Sickerlinie	Optionales Aktivieren des Grundwassers (Häkchen setzen).
Lamellenbreite	Maximale Breite der Lamellen. Das Programm generiert automatisch Lamellen an Geländesprüngen und diversen Schnittpunkten zwischen Grundwasser und Bodenschichten sowie Lasten. Überschreitet eine Lamellenbreite den eingegebenen Höchstwert, so wird sie unterteilt.
Mindestanzahl Lamellen	Einige Böschungsbruchnormen fordern eine Mindestanzahl. Wird die eingegebene Mindestanzahl nicht erreicht, werden zusätzliche Lamellen generiert, bis die Mindestanzahl erreicht ist <i>Achtung: das Programm prüft die Mindestanzahl der Lamellen in Abhängigkeit der Normen <u>nicht</u>.</i>
Mindestlamellendicke	Definiert, wie tief der Gleitkreis mindestens lotrecht in das Gelände eindringt. So wird verhindert, dass beispielsweise Gleitkreise mit 1 cm Eindringtiefe und 5 cm Radius o.Ä. untersucht werden.
Höchsttiefe unterste Bodenschicht	Begrenzt das Eindringen der Gleitkreise in den Untergrund.
Raster	Definiert ein unsichtbares Raster im Hintergrund der Grafik. Werden Polygonpunkte von Sickerlinie, Gelände, Gewässern, usw. mit der Maus verschoben, so werden die Koordinaten entsprechend gerundet (an das Raster angepasst).
Objektfang Toleranz	Definiert - in Falle der grafischen Eingabe per Mausklick - wie genau beispielsweise ein Polygonpunkt einer Sickerlinie mit der Maus am Ufer eines Gewässers gesetzt werden muss, damit die Punkte exakt aufeinander zu liegen kommen.

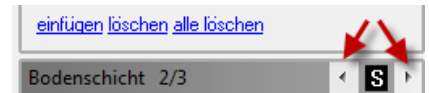


System

Ein Doppelklick auf „System“ öffnet das Untermenü.

Bodenschichten, Geländeverlauf usw. sind tabellarische Eingaben, deren einzelne Zeilen (Anzahl von z.B. Bodenschichten) über die Punkte „einfügen, löschen, alles löschen“ angepasst werden.

Um zwischen den einzelnen Tabellenzeilen (verschiedene Bodenschichten usw.) zu navigieren benutzen Sie die rechts/links Buttons.



Bodenschichten

Die Anzahl der Bodenschichten kann über die Punkte „einfügen, löschen, alles löschen“ angepasst werden.

Ist das Editieren der letzten Bodenschicht beendet, fragt das Programm, ob eine weitere Bodenschicht angelegt werden soll.

Wichte, Wichte unter Auftrieb, Reibungswinkel und Kohäsion sind für jede Bodenschicht charakteristisch einzugeben.

Das Überdruckverhältnis von Porenwasserüberdruck ist hier ebenfalls definierbar. Nach „Konrad Simmer – Grundbau 1“ will ein frisch belasteter Boden sich setzen und den Porenanteil verringern. Sind die Poren ganz oder teilweise mit Wasser gefüllt, so tritt ein Porenwasserüberdruck auf. Der Porenwasserüberdruck ergibt sich zu:

$$\Delta u = r_{\dot{u}} \cdot \gamma \cdot h' [\text{kN/m}^2]$$

Hierbei steht $r_{\dot{u}}=0$ für konsolidiert und $r_{\dot{u}}=1$ für wassergesättigt und frisch belastet.

Die Angaben zu Bodenart und Beimengung sind nur für die Darstellung und Benennung der Bodenschichten da. Sie haben rechnerisch keinen Einfluss.

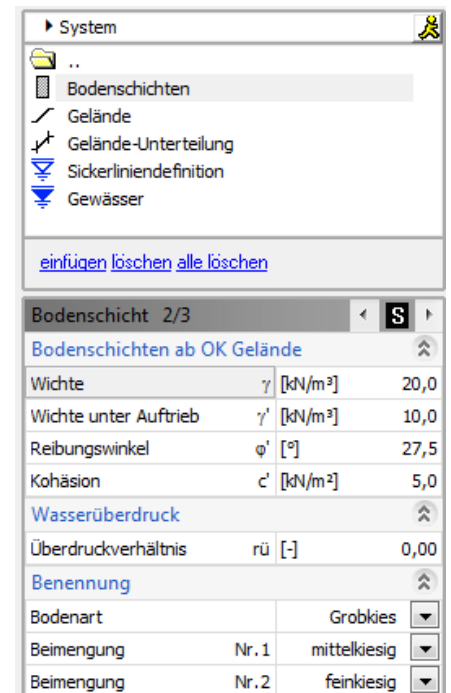
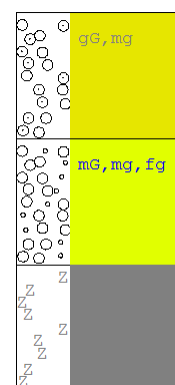


Abb. grafische/farbige Darstellung der Bodenschichten.



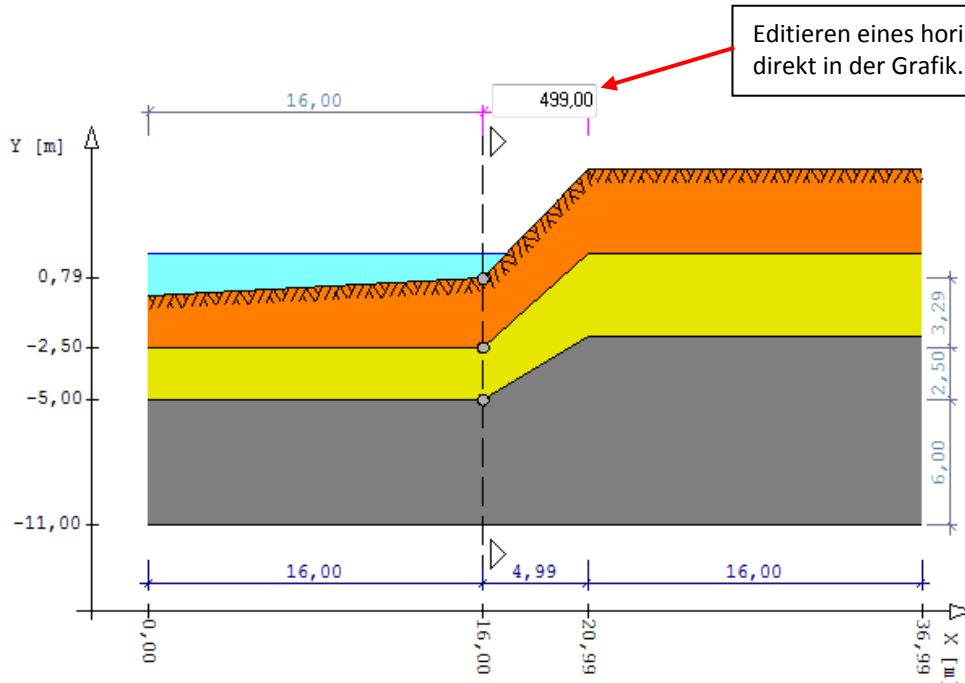
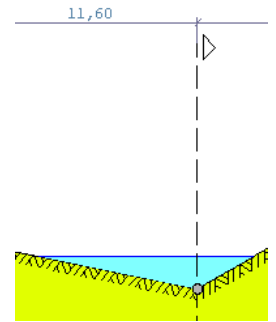
Schicht Nr.:2
mG,mg,fg
Mittelkies,mittelkiesig,
 $\gamma = 20,0$ [kN/m³]
 $\gamma' = 10,0$ [kN/m³]
 $\phi = 27,5$ [°]
 $c' = 5,0$ [kN/m²]

Gelände

Im Eingabebereich „Gelände“ definieren Sie Böschung, Geländeoberkante sowie den Verlauf der Bodenschichten in der Tiefe. Das Gelände wird als Polygonlinie eingegeben. Wird ein Polygonpunkt (📍) editiert, so wird in der Grafik (siehe Abb.) ein zugehöriger Schnitt angezeigt und eine Vermaßung vorgenommen.

Die horizontalen Abstände zu den nächstgelegenen Polygonpunkten auf der Geländeoberkante können auch direkt in der Grafik editiert werden - per Doppelklick auf die entsprechende Maßzahl.

Weiterhin können die grauen Polygonpunkte mit der Maus verschoben werden: Polygonpunkt anklicken, mit der Maus verschieben, mit einem weiteren Mausklick den Punkt neu setzen. Die Polygonpunkte lassen sich mit Hilfe der Pfeiltasten im Eingabebereich durchschalten/aktivieren.



Die Anzahl der Geländepolygone kann über die Schaltflächen „einfügen, löschen, alles löschen“ reguliert werden.

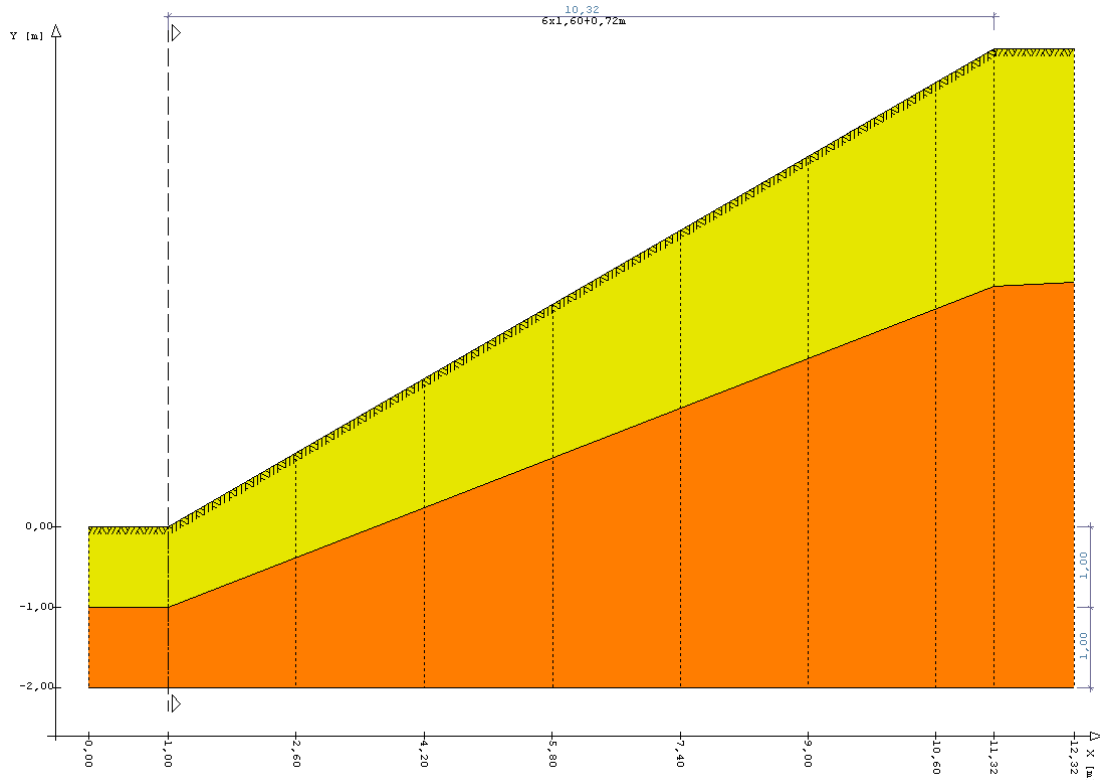
Im Eingabebereich unter „Geländeverlauf“ kann der aktuelle Polygonpunkt editiert werden. Unter „Gefälle rechts“ ist es außerdem möglich, die Steigung der Böschung rechts neben dem aktuellen Polygonpunkt als Steigungsverhältnis oder als Neigung zu definieren. Die Eingabe „Bodenschichten Ordinaten“ ermöglicht für den aktuellen Polygonpunkt die Tiefe der Bodenschichtgrenzen anzugeben. Alternativ besteht die Möglichkeit unter „Bodenschichtdicken“ die Schichtdicken zu definieren. „Anschließende Geländeabschnitte“ korrelieren mit den horizontalen Maßketten in der Grafik und definieren die Abstände zu den nächstgelegenen Polygonpunkten. Die Schichtdicken sind außerdem in der Grafik in den rechten vertikalen Maßketten vermaßt.

1/4		
Geländeverlauf		
X	[m]	0,00
Y	[m]	0,00
Gefälle rechts		
Böschungsneigung	β [°]	2,83
Böschungsneigung	1 [-]	20,25
Bodenschichten Ordinaten		
Schicht	01 Y [m]	-2,50
Schicht	[m]	-5,00
Schicht	[m]	-11,00
Bodenschichtdicken		
Schichtdicke	[m]	2,50
Schichtdicke	[m]	2,50
Schichtdicke	[m]	6,00
anschließende Geländeabschnitte		
bre	[m]	16,00
bli	[m]	0

Gelände-Unterteilung

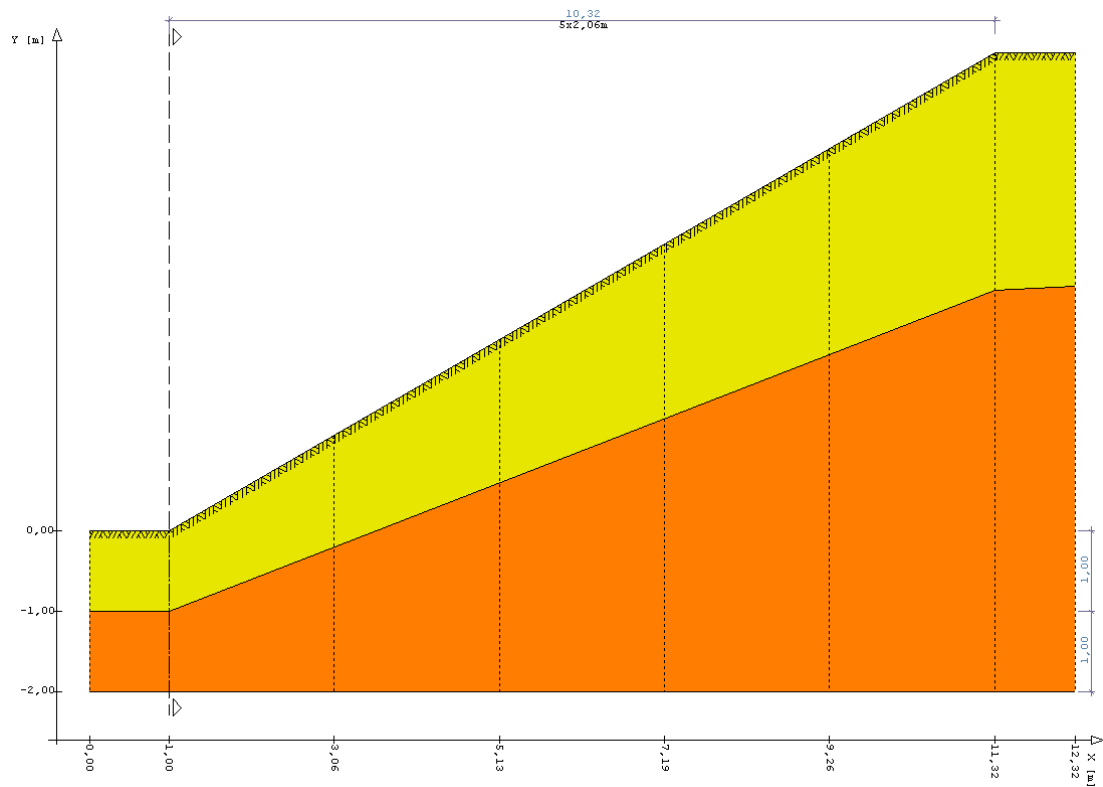
Die Geländeunterteilung zwischen 2 Polygonpunkten stellt eine Möglichkeit dar, zu beeinflussen, wo weitere Lamellen zur Berechnung eingeführt werden sollen. Auf diese Weise können Sie die Berechnung lokal verfeinern oder bereits berechnete Nachweise aus anderer Quelle besser nachvollziehen.

Die Unterteilung kann optional über die Anzahl der Abschnitte oder den Abstand (Länge der Abschnitte) definiert werden. Den entsprechenden Geländepunkt, an dem die Unterteilung beginnt, wählen/aktivieren Sie über die Pfeiltasten oder über die angezeigte Tabelle nach Anklicken des „S“-Buttons.



Bsp. 1: In der Grafik oben und dem Eingabefeld unten ist die Unterteilungsvariante „Abstand“ dargestellt. Der Abstand 10,32 m wird in 1,60m lange Abstände unterteilt. Es ergeben sich 6 1,60 m lange Unterteilungen und ein kleiner Rest von 72 cm.

Geländepunkt 2/4		
Geländeverlauf		
X	[m]	1,00
Y	[m]	0,00
Unterteilung		
Art		in Abstand
Anzahl	n [-]	6
Abstand	bu [m]	1,60
anschließende Geländeabschnitte		
bre	[m]	10,32

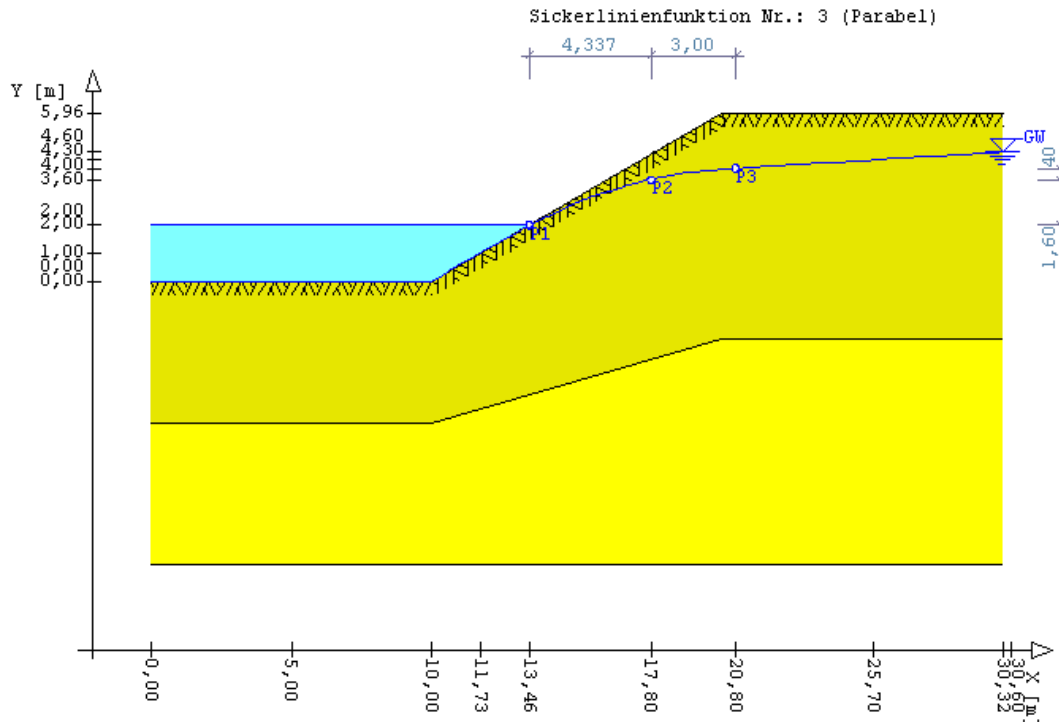


Bsp. 2: Die Unterteilungsvariante „Anzahl“: 10,32 m Länge werden in 5 Abschnitte unterteilt. Es ergibt sich eine Abschnittsbreite von 2,06m.

Geländepunkt 2/4		
Geländeverlauf		
X	[m]	1,00
Y	[m]	0,00
Unterteilung		
Art		in Anzahl ▾
Anzahl	n [-]	5
Abstand	bu [m]	2,06
anschließende Geländeabschnitte		
bre	[m]	10,32

Sickerliniendefinition

Die Sickerliniendefinition ermöglicht die Eingabe von Grundwasser. Das Grundwasser wird über eine gebrochen rationale Funktion aus Geraden und Parabeln dargestellt.



In diesem Beispiel ist eine komplette Sickerlinie definiert. Sie besteht aus Geraden und Parabeln. Aktuell ist die 3. Funktion der Sickerlinie gewählt. Hier können die Koordinaten von P1, P2 und P3 verändert werden, um den Funktionsverlauf der Parabel zu beeinflussen. Nutzen Sie dafür die 4 Maßketten oder klicken Sie mit der linken Maustaste direkt auf die Kreise von P1, P2 oder P3 und verschieben Sie die Punkte mit der Maus. Auf der X- und Y-Achse sind die Koordinaten aller die Sickerlinie definierenden Punkte aufgetragen. Der Objektfang unterstützt das Fallenlassen eines Sickerlinienpunktes auf dem Polygonpunkt eines Gewässers, Geländes, usw..

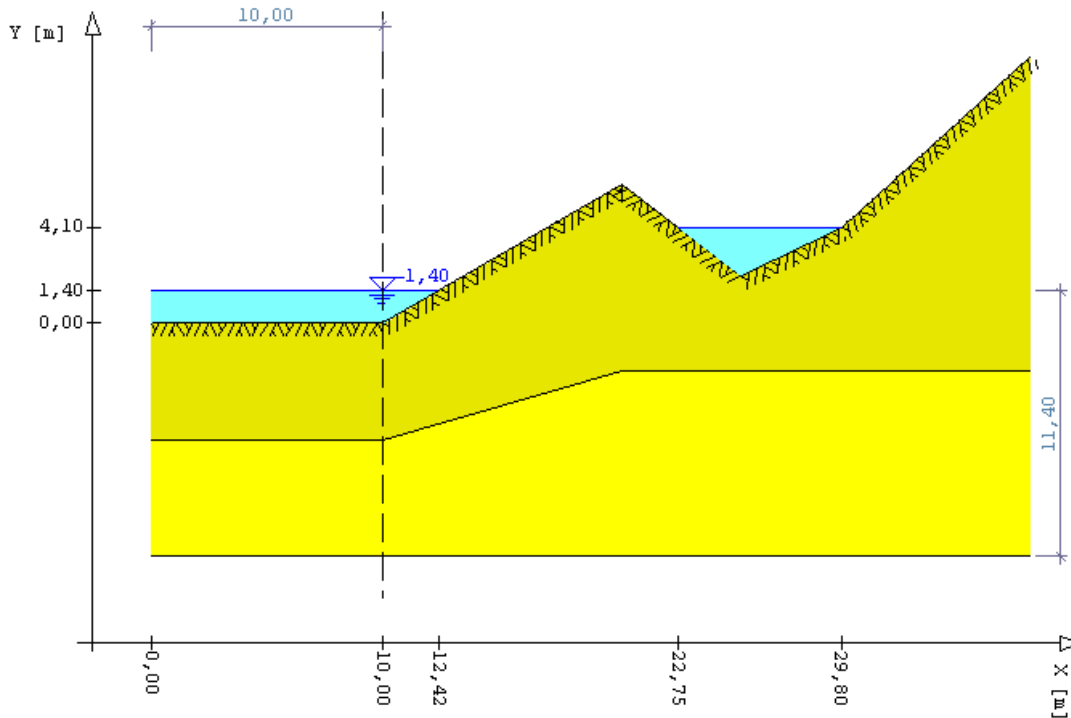
Die Schaltfläche „generieren“ generiert eine Sickerlinie aus Geraden basierend auf dem Geländepolygon und ggf. definierten Gewässern. Nachdem auf diese Art und Weise eine Sickerlinie erstellt wurde, kann diese mit Hilfe von Maus und Tastatur angepasst werden. Ziehen Sie dazu mit der Maus an den Polygonpunkten, wechseln Sie zwischen den Abschnitten der Sickerlinie mit den Pfeiltasten in der Eingabeoberfläche links:



Achtung ! Wichtiger Hinweis: Gewässer und Grundwasser werden völlig getrennt voneinander eingegeben und in der Berechnung berücksichtigt. So ist beispielsweise ein Gewässer ohne Grundwasser aber auch Grundwasser ohne Gewässer möglich.

Gewässer

Die Gewässerdefinition ermöglicht Wasserhaltungen.



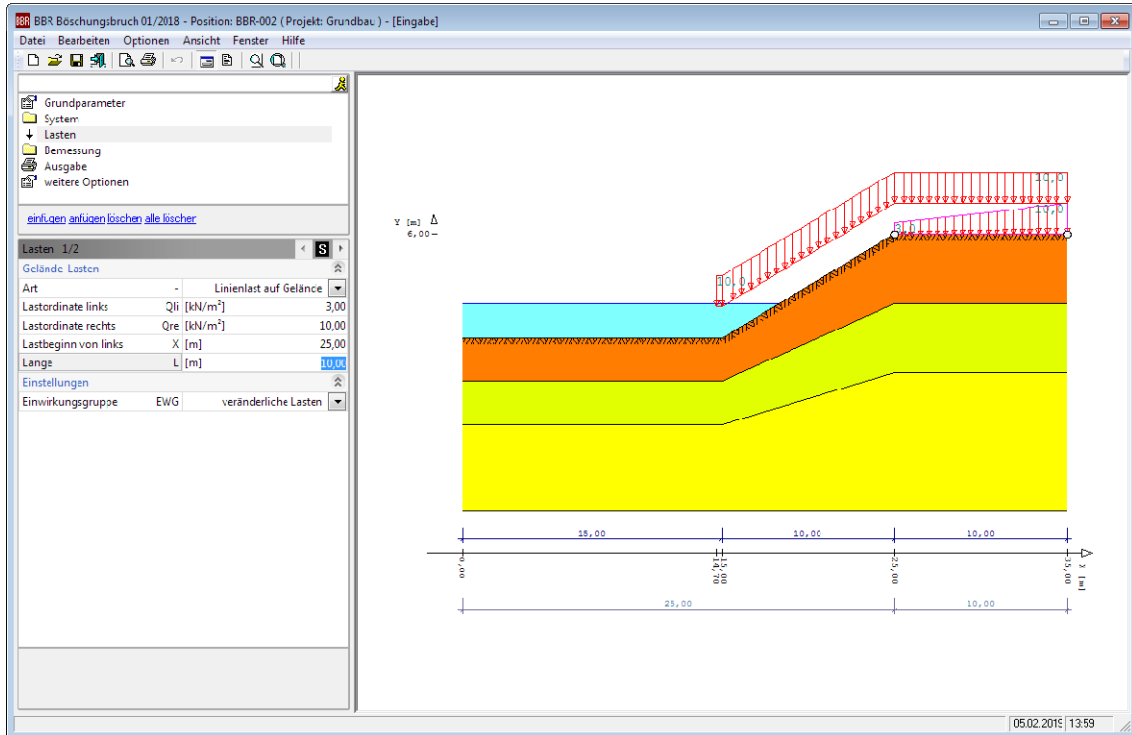
Es können beliebig viele Gewässer eingegeben werden (einfügen...). Ein Gewässer bezieht sich immer auf einen Geländepunkt im Geländepolygon und auf die dort definierte Wassertiefe. Die Ufer links und rechts werden dann berechnet und das Gewässer wird dargestellt. Das aktuell editierte Gewässer wird mit Schnitt und Vermessung gezeichnet.

einfügen löschen alle löschen		
Gewässer 1/2		
Gewässer		
Wassertiefe	hw [m]	2,00
Geländepunkt	Nr	4
Abstand		
Mitte	X [m]	30,32
Höhen		
OK_Grund	Y [m]	3,00
OK_Wasser	Y [m]	5,00

Achtung ! Wichtiger Hinweis: Gewässer und Grundwasser werden völlig getrennt voneinander eingegeben und in der Berechnung berücksichtigt. So ist beispielsweise ein Gewässer ohne Grundwasser aber auch Grundwasser ohne Gewässer möglich.

Lasten

Die Lasteingabe ist für ständige und veränderliche Einwirkungen gedacht. Es sind ausschließlich Trapezlasten möglich. Diese wirken entweder auf das Gelände projiziert direkt auf der Geländeoberfläche.



Steht der Anwender auf dem Eingabefeld „Lasten“, so zeigt die Grafik neben anderen Lasten immer die aktuell zu editierende Last in Verbindung mit 2 Kreisen. Die Anzahl der Lasten wird über „einfügen“, „löschen“ und „alle löschen“ reguliert. Nach dem Beenden des Editierens der letzten Last fragt das Programm, ob eine weitere Last erzeugt werden soll. Die links aktuell gewählte Last kann rechts in der Grafik über die dargestellten Kreise am Fuß der Last mit der Maus verschoben werden.

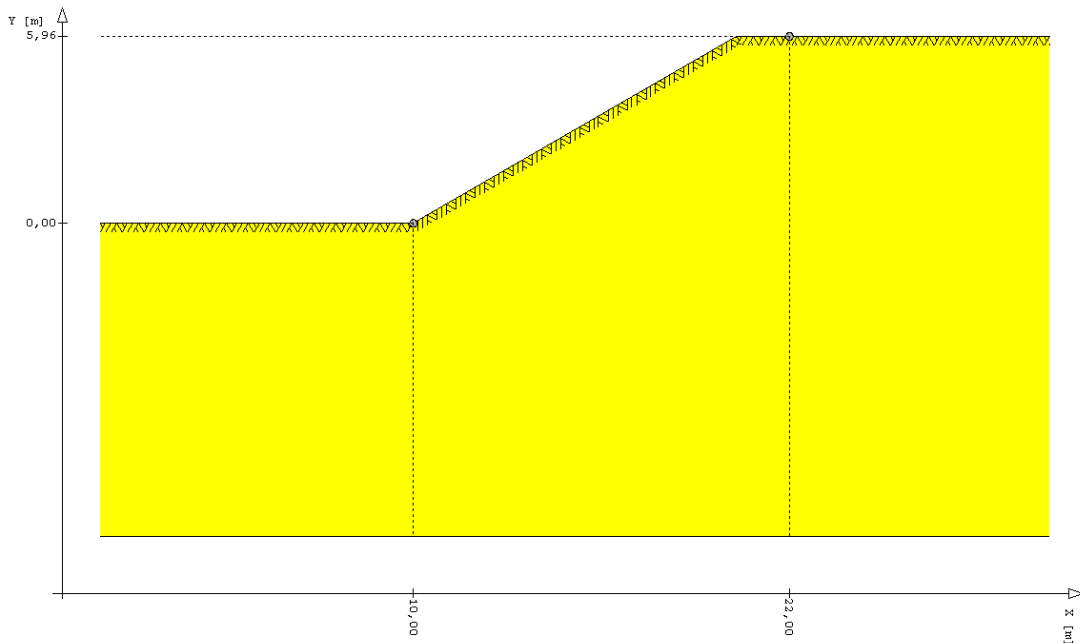


Ständige Lasten wirken immer, veränderliche Lasten nur ungünstig recht vom Gleitkreismittelpunkt.

Bemessung

Zwangspunkte

Es sind einer, zwei oder gar kein Zwangspunkt möglich. Zwangspunkte schränken die Anzahl der möglichen Gleitkreise stark ein. Bei homogenem Boden und einer konstanten Böschung und auch sonst homogenen Verhältnissen verläuft der maßgebende Gleitkreis üblicherweise durch den Fußpunkt der Böschung. Die Zwangspunkte lassen sich auch mit der Maus verschieben.



keinen einen zwei		
Zwangspunkt		
Anzahl		zwei
Zwangspunkt 1	X1 [m]	10,00
Zwangspunkt 1	Y1 [m]	0,00
Zwangspunkt 2	X2 [m]	22,00
Zwangspunkt 2	Y2 [m]	5,96

Gleitkreisvariation

Die Gleitkreisvariation dient dazu, viele Gleitkreise zu berechnen und dadurch den ungünstigsten und maßgebenden herauszufinden. Dazu können Kreisförmige oder Rechteckige Bereiche gewählt werden, deren Rasterung die Kreismittelpunkte definiert. Für die Gleitkreismittelpunkte werden dann die möglichen Radien variiert.

In diesem Beispiel wird ein rechteckiger Bereich untersucht. Aus der Rasterung 20 und 20 ergeben sich 400 Gleitkreismittelpunkte. Die Anzahl der Radien beträgt 2. Also wird pro Mittelpunkt der maximal mögliche und der minimal mögliche Radius untersucht. Der minimal mögliche Radius ergibt sich aus der Mindesteindringtiefe des Gleitkreise in den Boden, der Wert kann in den Grundparametern modifiziert werden. Der Maximale Gleitkreis definiert sich durch das vorhandene Gelände, Gleitkreise verlassen das definierte Gelände nicht. Bei 3 oder mehr Radien werden auch Radien zwischen dem maximal und minimal möglichen Radien untersucht. Die Untersuchung wird mit „Variation“ auf der linken Seite oder über das Kontextmenü in der Grafik mit der rechten Maustaste „Start Variation“ gestartet.

Nach Beendigung der Untersuchung wird das Ergebnis grau schraffiert dargestellt und der maßgebende Gleitkreis aus dem untersuchten Bereich ist gewählt.

Variation Bereich Mittelpunkt		
Gleitkreis		
Radius	R [m]	16,84
Kreismittelpunkt	X [m]	8,43
Kreismittelpunkt	Y [m]	16,81
Analyse		
Variation	Art	Rechteck
Anzahl Radien	i	2
Variationsbereich		
Bereichsmittelpunkt	Xm [m]	12,65
Bereichsmittelpunkt	Ym [m]	11,53
Breite Suchbereich	b [m]	14,75
Höhe Suchbereich	h [m]	10,46
Anzahl Raster	nRastX [-]	20
Anzahl Raster	nRastY [-]	20

- Start Variation
Gleitkreismittelpunkt setzen.

- Variationsbereich mit der Maus wählen.
ungünstigsten Punkt zuweisen
Bereichsmittelpunkt auf Kreismittelpunkt setzen

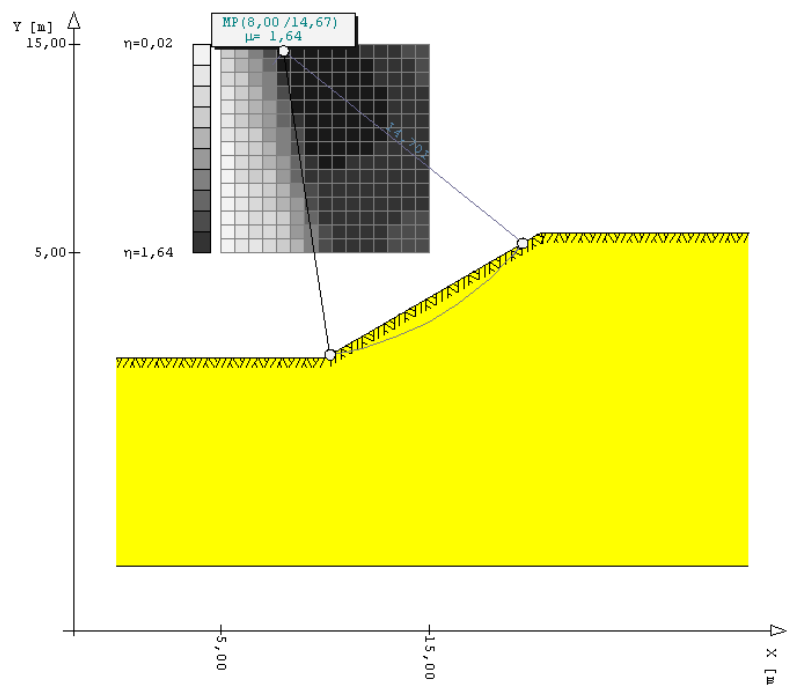
- minimaler Radius
maximaler Radius
ungünstigster Radius

Achtung ! Die Ergebnisse in der Variation beziehen sich immer auf den Mittelpunkt in jedem Quadrat des Rasters.

Bsp. Abb. rechts:

Hier wird ein Bereich von 15 x 15 Elemente untersucht und für den jeweiligen Elementmittelpunkt das Ergebnis der Ausnutzung angezeigt. Wenn nun der gefundene Kreismittelpunkt verschoben wird, wird mit dem neu gewählten Kreismittelpunkt gerechnet und das entsprechende Ergebnis angezeigt. Dies kann nun dazu führen, dass ein größerer Wert für die Ausnutzung gefunden wird. Wählen Sie im Vorfeld eine größere Anzahl an Elementen (z.B. 100 x 100), ist die Wahrscheinlichkeit deutlich geringer, dass es noch Ausreißer nach oben gibt.

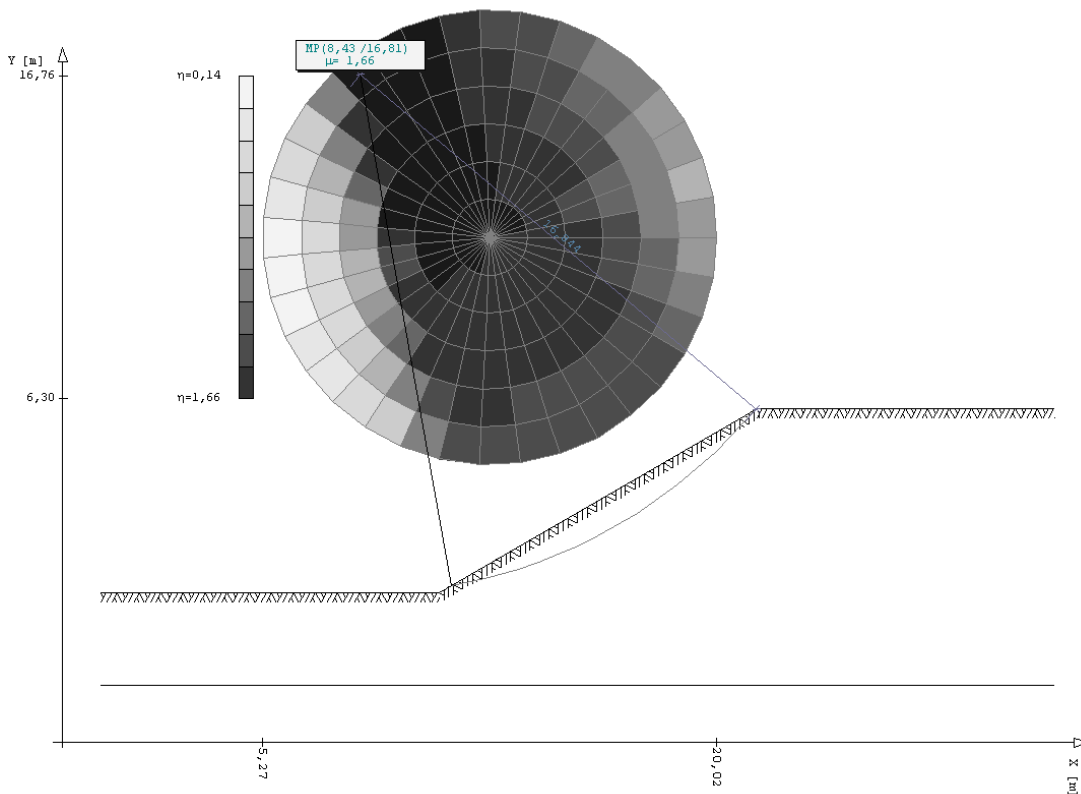
Die Schlussfolgerung: je feiner das Netz, desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass die maximale Ausnutzung im definierten Bereich nicht gefunden wird – dies bedingt allerdings eine erhöhte Rechenzeit.



Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, einen kreisförmigen Bereich zu untersuchen. Die Parameter dafür sind etwas anders.

Variation Bereich Mittelpunkt		
☐ Gleitkreis		
Radius	R [m]	16,49
Kreismitelpunkt	X [m]	8,59
Kreismitelpunkt	Y [m]	16,49
☐ Analyse		
Variation	Art	Kreis ▾
Anzahl Radian	i	2
☐ Variationsbereich		
Bereichsmittelpunkt	Xm [m]	12,65
Bereichsmittelpunkt	Ym [m]	11,53
Radius Bereich	r [m]	7,38
Anzahl Raster	nRast [-]	6
Anzahl Sektoren	nSekt [-]	35

Der Bereich wird mit einem Radius, Raster und Sektoren definiert.



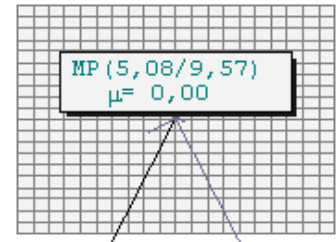
Kontextmenü in der Gleitkreisvariation (rechte Maustaste):

„Start Variation“ startet die Untersuchung des definierten Bereiches. Direkt darunter kann mit einem einfachen Mausklick ein neuer Gleitkreismittelpunkt gesetzt werden. Mit „Variationsbereich mit der Maus wählen“ kann analog zur Zoom-Funktion der Bereich mit der Maus in der Grafik definiert werden.

Start Variation Gleitkreismittelpunkt setzen.
Variationsbereich mit der Maus wählen. ungünstigsten Punkt zuweisen Bereichsmittelpunkt auf Kreismittelpunkt setzen
minimaler Radius maximaler Radius ungünstigster Radius

Klicken Sie auf „Variationsbereich mit der Maus wählen“. Dann definiert der nächste linke Mausklick in der Grafik die linke obere Ecke des Bereiches.

Bewegen Sie jetzt die Maus. Der skalierte Bereich gibt einen Ausblick auf den neuen Bereich. Ein zweiter linker Mausklick definiert den Bereich endgültig. Die Rasterung wird angelegt.



Die Auswahl von „ungünstigsten Punkt zuweisen“ führt dazu, dass der maßgebende Gleitkreis aus einer fertigen Untersuchung gesetzt wird. „Bereichsmittelpunkt auf Kreismittelpunkt setzen“ führt dazu, dass das vorhandene Raster genau mittig auf den aktuellen Kreismittelpunkt gesetzt wird. Darunter besteht die Möglichkeit minimal und maximal mögliche Radien für den aktuellen Kreismittelpunkt zu wählen. „ungünstigster Radius“ bedeuten, dass für den aktuellen Kreismittelpunkt der ungünstigste mögliche Radius eingestellt wird.

Start Variation Gleitkreismittelpunkt setzen.
Variationsbereich mit der Maus wählen. ungünstigsten Punkt zuweisen Bereichsmittelpunkt auf Kreismittelpunkt setzen
minimaler Radius maximaler Radius ungünstigster Radius

Maximale Radien ergeben sich aus der Menge Boden, die eingegeben worden ist. Minimal mögliche Radien ergeben sich aus der Mindesteindringtiefe für Gleitkreise. Diese wird bei den Grundparametern definiert.

Der Gleitkreismittelpunkt und sein Radius lassen sich zusätzlich mit der Maus verschieben. Das Berechnungsergebnis wird passen zur Bewegung der Maus aktualisiert.

Geländeerweiterung

Mit Hilfe der Geländeerweiterung kann der maximal zu untersuchende Bereich ausgeweitet werden, falls sich während der Bemessung herausstellen sollte, dass das definierte System nicht ausreicht, um den maßgebende Radius und / oder Gleitkreismittelpunkt einzustellen.

Geländeerweiterung	
Länge	1,00
Links	
Rechts	
unten	

Ausgabe

Ausgabe der Systemdaten, Ergebnisse und Grafik auf Bildschirm oder Drucker.

Über den Punkt Ausgabe in der Hauptauswahl gelangen Sie zu den Ausgabemöglichkeiten.

Bildschirm	Anzeige der Werte in einem Textfenster
Drucker	Starten der Ausgabe auf den Drucker
Word	Ausgabe im RTF-Format. Das Textverarbeitungsprogramm MSWord wird aufgerufen (sofern es installiert ist). In Word kann die Ausgabe dann individuell formatiert werden.

Zum Starten der Ausgabe klicken Sie auf das entsprechende Symbol.

Text - Ausgabeprofil

Mit Hilfe dieser Optionen können Zusatzausgaben definiert werden, welche das Nachvollziehen des Berechnungsergebnisses vereinfachen sollen. Die Lamellenunterteilung gibt beispielsweise genauere Information darüber, in welche Flächen eine Lamelle aufgrund von Sickerlinie, Bodenschichten, usw. aufgeteilt worden ist.

Word(rtf) Bildschirm Drucker	
<input type="checkbox"/> Text	
Lamellenunterteilung	<input type="checkbox"/>
horizontaler Wasserdruck	<input type="checkbox"/>
vertikaler Wasserdruck	<input type="checkbox"/>
Porenwasser	<input type="checkbox"/>

Textausgabe - Erläuterungen

System

System	Höchstlamellenbreite	b = 3.00 [m]	Radius r =15.80 [m]
Punkt [-]		X [m]	Y [m]
Gleitkreisbeginn links	:	2.52	0.00
Kreismittelpunkt	:	12.00	12.64
Gleitkreisende rechts	:	24.71	3.26

Höchstlamellenbreite: Maximale Breite der Lamellen. Lamellen werden automatisch generiert - an Geländesprüngen und diversen Schnittpunkten zwischen Grundwasser und Bodenschichten sowie Lasten. Überschreitet eine Lamellenbreite einen Höchstwert, so wird sie unterteilt.

Radius: Mit diesem Radius wird der Gleitkreis berechnet.

Gleitkreisbeginn links und rechts: Information, an welchen Stellen der Gleitkreis links und rechts das erste mal in das Gelände eindringt.

Kreismittelpunkt: Mit diesem Kreismittelpunkt wird der Gleitkreis berechnet.

Sickerlinienfunktionen

Sickerlinienfunktionen [cm]: $y=ax^2+bx+c$ (jew. gültig von x_1 bis x_3)									
Nr.	x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	a	b	c
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]
1	0.00	0.00	2.50	2.50	5.00	5.00	0.0	0.0	0.0
2	5.00	5.00	7.50	7.50	10.00	10.00	0.0	0.0	0.0
3	10.00	10.00	15.00	15.00	20.00	20.00	0.6	-600.0	0.0
4	20.00	20.00	22.50	22.50	25.00	25.00	0.0	600.0	0.0
5	25.00	25.00	27.50	27.50	30.00	30.00	0.0	600.0	0.0
6	30.00	30.00	35.00	35.00	40.00	40.00	0.6	-1200.0	0.0
7	40.00	40.00	42.50	42.50	45.00	45.00	0.0	1200.0	0.0
8	45.00	45.00	47.50	47.50	50.00	50.00	0.0	1200.0	0.0

Ab $x = 50.00$ m Sickerlinie konstant bei $y = 12.00$ m.

Das Grundwasser wird im Programm als gebrochen rationale Funktion definiert. Pro Funktion können die Punkte P1, P2 und P3 vorgegeben werden. Falls statt einer Parabel eine Gerade als Funktion gewählt ist, so wird P2 automatisch auf eine Gerade zwischen P1 und P3 gesetzt. Die Koeffizienten a, b und c geben weitere Information darüber, welche Funktionen $y=ax^2+bx+c$ sich aus den Punkten P1(x_1/y_1), P2(x_2/y_2) und P3(x_3/y_3) ergeben.

Die Grundwasserdefinition beginnt grundsätzlich beim ersten Geländepolygonpunkt bzw. dem Geländebeginn.

Der Punkt P3 einer Funktion ist grundsätzlich identisch mit dem Punkt P1 der darauffolgenden Funktion. Ab dem Punkt P3 der letzten Funktion ist das Grundwasser konstant hoch bei y_3 .

Schneidet eine Parabel eine Lamelle, so wird das Grundwasser zwischen den Schnittpunkten als Gerade idealisiert.

Bodenschichten

vorhandene Bodenschichten:								
Nr.	γ_k	γ'_k	γ_{rk}	φ_k	φ_d	c_k'	c_d'	$r_{ü}$
[-]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	
1	20.0	10.0	20.0	27.5	22.6	5.0	4.0	0.00
2	21.0	9.0	19.0	25.0	20.5	3.0	2.4	0.00
3	22.0	13.0	23.0	32.5	27.0	0.0	0.0	0.00
4	19.0	9.0	19.0	30.0	24.8	10.0	8.0	0.50
5	21.0	11.0	21.0	32.5	27.0	10.0	8.0	0.00
6	21.0	11.0	21.0	32.5	27.0	10.0	8.0	0.00

Nr.	Bodenschichtnummer - Nummer 1 ist die oberste Bodenschicht
γ_k	Charakteristische Wichte der Bodenschicht
γ'_k	Charakteristische Wichte der Bodenschicht unter Auftrieb
γ_{rk}	Charakteristische Wichte der Bodenschicht unter Auftrieb + Wasserdruck
φ_k	Charakteristischer Reibungswinkel der Bodenschicht
φ_d	Bemessungswert des Reibungswinkels der Bodenschicht
c_k'	Charakteristische Kohäsion der Bodenschicht
c_d'	Bemessungswert der Kohäsion der Bodenschicht
$r_{ü}$	Porenwasserdruckverhältnis. Grenzwerte: $r_{ü}=0$ bei konsolidiertem Boden, $r_{ü}=1$ bei wassergesättigtem, frisch belastetem Boden.

Geländeverlauf

Geländeverlauf:								
Nr. [-]	X [m]	Y [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]	Y4 [m]	Y5 [m]	Y6 [m]
1	0.00	0.00	-0.38	-0.75	-1.50	-3.00	-6.00	-10.00
2	5.00	0.00	-0.38	-0.75	-1.50	-3.00	-6.00	-10.00
3	10.00	0.00	-0.38	-0.75	-1.50	-3.00	-6.00	-10.00
4	20.00	6.00	5.63	5.25	4.50	3.00	0.00	-10.00
5	26.70	2.10	1.40	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-10.00
6	30.00	6.00	5.63	5.25	4.50	3.00	0.00	-10.00
7	40.00	12.00	11.63	11.25	10.50	9.00	6.00	-10.00
8	45.00	12.00	11.63	11.25	10.50	9.00	6.00	-10.00
9	50.00	12.00	11.63	11.25	10.50	9.00	6.00	-10.00

Der Geländeverlauf ist über ein Polygon definiert. Hier kann man die Koordinaten X und Y von 9 Polygonpunkten in Spalte 2 und 3 sehen. Durch diese Punkte wird die Oberkante des Geländes definiert. Weitere Punkte P1(X/Y1) bis P6(X/Y6) ergeben sich in diesem Beispiel aus 6 definierten Bodenschichten.

Gewässer

vorhandene Gewässer:						
Nr. [-]	linkes Ufer [m]	rechtes Ufer [m]	Geländepunkt P [-]	bei [m]	Tiefe [m]	
1	0.00	16.33	2	5.00	3.80	
2	21.20	29.41	5	26.70	3.20	

Die Gewässer beziehen sich immer auf einen Polygonpunkt des Geländepolygons. An diesem „Geländepunkt P“ wird eine Wassertiefe vorgegeben. Aus diesen Daten ermittelt das Programm, wo sich das linke und das rechte Ufer ergeben. Werden zwei oder mehr Gewässer so definiert, dass sie ineinander laufen, so werden betroffene Gewässer rot statt blau in der Grafik dargestellt. Rechnerisch werden solche Gewässer als ungültig deklariert und gehen nicht die Berechnung ein.

Nachweis

Nachweis nach DIN 4084 Lastfall :1			
Sicherheitsbeiwerte Einwirkungen			
ständige Lasten	γ	$G, \text{sup} = 1.00$	$\gamma G, \text{inf} = 1.00$
veränderliche Lasten	γ	$Q, \text{sup} = 1.30$	$\gamma Q, \text{inf} = 0.00$
Sicherheitsbeiwerte Widerstände			
Reibungswinkel	$\gamma\varphi$	=	1.25
Kohäsion	γc	=	1.25
Wichte	$\gamma\gamma$	=	1.00

Das Textblock „Nachweis“ informiert über die gewählte Bemessungsnorm und Bemessungssituation. Die Texte „DIN 4084“ und „Lastfall“ sind grau, das heißt, sie können mit der Maus angeklickt und modifiziert werden. In Abhängigkeit von gewählter Norm, Bemessungssituation und Sicherheitsklasse ergeben sich die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände. Ständige Lasten wirken immer, unabhängig davon, ob günstig oder ungünstig. Veränderliche Lasten wirken entweder ungünstig oder gar nicht. Die Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände ergeben sich analog der Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen.

Hinweis! Es wird nicht der Reibungswinkel durch den Sicherheitsbeiwert geteilt, sondern der TANGENS des Reibungswinkels wird durch den Sicherheitsbeiwert geteilt:

$$\varphi_d = \arctan(\tan(\varphi_k) / \gamma_\varphi)$$

Lamellenwerte

Lamellenwerte:						
Nr [-]	x [m]	z [m]	b [m]	θ [°]	φ_d [°]	c_d [kN/m ²]
1	0.26	-0.19	0.52	-35.7	22.6	4.0
2	0.81	-0.56	0.57	-33.3	20.5	2.4
3	1.76	-1.12	1.34	-29.3	27.0	0.0
4	2.45	-1.51	0.05	-26.4	24.8	8.0
5	3.67	-2.00	2.38	-21.7	24.8	8.0
6	6.05	-2.73	2.38	-12.6	24.8	8.0
7	7.36	-3.02	0.24	-7.7	27.0	8.0
8	8.81	-3.09	2.66	-2.4	27.0	8.0
9	11.47	-2.98	2.66	7.3	27.0	8.0

In dieser Tabelle können Sie wesentliche Eigenschaften der verwendeten Lamellen im Gleitkreis ablesen. Die erste Lamelle mit der Nummer 1 ist ganz links im Gleitkreis. Sie beginnt lokal bei $x = 0$ m, ihre Mitte ist bei $x = 0,26$ m. Die mittlere Tiefe beträgt $z = -0,19$ m, sie ist $b = 0,52$ m breit. Ihre Neigung im Gleitkreis ist negativ $\theta = -35,7^\circ$. Das bedeutet, sie dringt von links nach rechts gesehen immer tiefer in das Gelände ein. Der Reibungswinkel φ_d stammt aus der untersten Bodenschicht in der Lamelle. Ebenso die Kohäsion c_d .

Lamellenunterteilungen

Lamellen-Unterteilungen:								
Nr [-]	Nr [-]	BSNR [-]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	$\gamma_{\text{MASSG.}}$ [kN/m ³]	A [m ²]	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]
1	1	1	20.00	10.00	20.00	0.00	27.5	5.0
1	2	1	20.00	10.00	10.00	0.10	27.5	5.0
2	1	1	20.00	10.00	20.00	0.00	27.5	5.0
2	2	1	20.00	10.00	10.00	0.21	27.5	5.0
2	3	2	21.00	9.00	9.00	0.11	25.0	3.0
3	1	1	20.00	10.00	20.00	0.00	27.5	5.0
3	2	1	20.00	10.00	10.00	0.50	27.5	5.0
3	3	2	21.00	9.00	9.00	0.50	25.0	3.0
3	4	3	22.00	13.00	13.00	0.50	32.5	0.0

Die Tabelle mit den Lamellen-Unterteilungen kann im [Ausgabeprofil](#) optional zugeschaltet werden. Die Lamellen werden horizontal durch Grundwasser, Bodenschichten, usw. geteilt. In einer Lamelle entstehen dadurch trapezförmige Flächen. In der ersten Spalte steht die Lamellen-Nummer. In der 2. Spalte sind die Unterteilungen der genannten Lamelle nummeriert. In der 3. Spalte findet man die Bodenschichtnummer, danach Wichte und Wichte unter Auftrieb des Lamellenteiles sowie die maßgebend gewordene Wichte dieses Teiles der Lamelle. Die Spalte „A“ informiert über die Fläche, danach werden noch Reibungswinkel und Kohäsion genannt.

Horizontaler Wasserdruck aus Gewässern

Momente aus horizontalem Wasserdruck der Gewässer							
Nr [-]	WAli [m]	WAre [m]	hi [m]	WH [kN]	WHx [m]	WHxges [m]	MwH [kNm]
1	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
2	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
3	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
4	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
5	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
6	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
7	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00
8	3.80	2.20	1.60	-47.92	0.73	11.91	-570.90
9	2.20	0.61	1.60	-22.43	0.65	10.40	-233.23
10	0.61	0.00	0.61	-1.84	0.20	9.24	-17.02
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.13	0.13	0.08	0.04	7.43	0.61
15	0.13	1.15	1.02	6.57	0.38	8.12	53.32
16	1.15	1.42	0.26	3.37	0.13	8.63	29.09
17	1.42	1.52	0.10	1.53	0.05	8.81	13.45
18	1.52	1.86	0.34	5.79	0.17	9.04	52.36
19	1.86	2.04	0.18	3.53	0.09	9.29	32.76
Σ							-639.56

Die Gewässer sorgen nicht nur für Wasserdruck vertikal in das Gelände hinein - an einer Böschung drücken sie auch horizontal gegen das Gelände und erzeugen Momente, welche berücksichtigt werden müssen. Die erste Spalte bezieht sich auf die Lamellen-Nummer. „WAli“ und „WAre“ sind der Wasserstand ab OK Gelände links und rechts über einer Lamelle. „hi“ ist die Differenz aus den Wasserständen. Daraus ergibt sich die horizontale Kraft WH auf die Böschungen. „WHx“ ist der lokale Angriffspunkt der Kraft, „WHxges“ der globale Angriffspunkt der Kraft, bezogen auf den Gleitkreismittelpunkt. Aus dem Hebelarm „WHxges“ multipliziert mit der Kraft „WH“ ergibt sich das Moment „MwH“.

Lasten Tangentialkräfte

Lasten Tangentialkräfte:						
Nr [-]	G _d [kN/m]	P _{vd} (G+P) * sin θ [kN/m]	ΔU [kN/m]	U [kN/m]	T [kN/m]	
1	2.01	20.10	-12.90	0.00	21.11	3.64
2	6.26	21.42	-15.19	0.00	24.60	3.39
3	31.10	50.83	-40.07	0.00	65.87	10.86
4	1.60	1.89	-1.55	0.00	2.65	0.99
5	98.28	90.39	-69.62	5.32	137.88	47.19
6	131.62	90.39	-48.37	13.21	155.43	47.06
7	14.75	9.23	-3.22	1.64	16.55	5.10
8	210.28	79.87	-12.34	17.96	183.33	67.33
9	293.17	37.39	41.82	17.96	180.32	86.74
10	128.54	3.07	31.90	6.83	65.54	37.20
11	248.53	0.00	82.74	12.38	120.64	71.83
12	260.67	0.00	117.11	12.38	126.43	76.59
13	154.39	0.00	84.13	7.39	75.09	47.66
14	24.18	0.14	14.34	1.20	11.96	7.84
15	140.32	11.28	99.13	7.80	80.67	50.54
16	20.62	5.79	19.07	0.80	16.17	9.37
17	6.27	2.62	6.60	0.00	5.81	1.85
18	12.75	9.95	17.40	0.00	16.48	4.79
19	1.82	6.06	6.26	0.00	6.97	2.12
Σ			317.25		582.10	
Momente aus Eigen- und Auflasten			M(Gi) =		5012.53 [kNm/m]	
Momente aus horiz. Wasserdruck			M(Fw) =		-639.56 [kNm/m]	
			E _M =		4372.97 [kNm/m]	
Momente aus Widerständen			M(Ti) =		9197.22 [kNm/m]	
Ausnutzung μ =			M(Gi) / M(Ti) =		0.48 [-]	

Hier der eigentliche Nachweis. „G_d“ sind ständige Lastanteile, „P_{vd}“ sind veränderliche Lastanteile, aber auch Lasten aus Wasser. Diese Werte mit dem Sinus des Neigungswinkels unten in der Lamelle multipliziert, ergeben die Kraft in der Lamelle. ΔU kommt aus dem Porenwasserdruckverhältnis. (Grenzwerte: r_ü = 0 bei konsolidiertem Boden, r_ü = 1 bei wassergesättigtem, frisch belastetem Boden.) U ist aus Porenwasserdruck. T sind die Tangentialkräfte am Gleitkreis. Die Summen der einwirkenden und widerstehende Kräfte (317,25 kN/m und 582,10 kN/m) werden jeweils mit dem Radius des Gleitkreises multipliziert. Es ergeben sich einwirkende und widerstehende Momente (5012,53 kNm/m und 4372,97 kNm/m). Zu den einwirkenden Momenten kommt noch das Moment aus dem horizontalen Wasserdruck auf die Böschungen hinzu (-639,56 kNm/m). Aus dem Quotienten von einwirkendem Moment und widerstehendem Moment ergibt sich die Ausnutzung im Teilsicherheitskonzept unter Berücksichtigung von Sicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite (0,48 = 4372,97 / 9197,22). Das entspricht einer Sicherheit von 2,1 inklusive Sicherheitsbeiwerten, bei tatsächlicher Sicherheit komplett ohne Sicherheitsbeiwerte von ca. 2,6.

Im Bruchzustand ohne Teilsicherheitsbeiwerte würde das so aussehen:

18	12.75	9.95	17.40	0.00	16.48	5.99
19	1.82	6.06	6.26	0.00	6.97	2.65
Σ			317.25		727.60	
Momente aus Eigen- und Auflasten			M(Gi) =		5012.53 [kNm/m]	
Momente aus horiz. Wasserdruck			M(Fw) =		-639.56 [kNm/m]	
			E _M =		4372.97 [kNm/m]	
Momente aus Widerständen			M(Ti) =		11496.15 [kNm/m]	
Ausnutzung μ =			M(Gi) / M(Ti) =		0.38 [-]	
Sicherheit η =			M(Ti) / M(Gi) =		2.63 [-]	