



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop®  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet [www.pcae.de](http://www.pcae.de)

Mail [dte@pcae.de](mailto:dte@pcae.de)



# **4H-GRUND**

## **Böschungsbruch**

Juli 2024



# 4H-GRUND

## Böschungsbruch

Copyright 2006-2024

5. überarbeitete Auflage, Juli 2024

**pcae** GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

**pcae** versichert, dass Handbuch und Programm nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurden. Für absolute Fehlerfreiheit kann jedoch infolge der komplexen Materie keine Gewähr übernommen werden.

Teile dieses Handbuches dürfen unter Angabe der Quelle vervielfältigt werden.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert. Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de)**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden. S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE<sup>®</sup>-System.



# Produktbeschreibung

##GRUND, Böschungsbruch, ist ein Produkt der [pcae](#) GmbH, Hannover.

Der Nachweis gegen Böschungsbruch kann mit dem Programm entweder auf Basis der

- alten DIN 1054:1976
- der DIN 1054:2005 oder
- DIN EN 1997-1:2009 (EC 7 + NA)

geführt werden.

Der Nachweis nach Eurocode stützt sich dabei i.W. auf DIN 1054:2010 mit den für Deutschland gültigen Ergänzungsregeln.

Grundlage für die Gelände- und Böschungsbruchberechnung ist das Lamellenverfahren der neuen DIN 4084:2009. Neben neuen Bezeichnungen und Berücksichtigung des Teilsicherheitsprinzips unterscheidet sich diese Norm von ihrer Vorgängernorm DIN 4084:1981 durch die Definition des selbstspannenden Zugglieds. In der vorliegenden Programmversion sind diese Änderungen berücksichtigt.

Nur bei Berechnung nach dem globalen Sicherheitskonzept nach DIN 1054:1976 wird eine Ausgabe gemäß der alten DIN 4084:1981 erzeugt.

In der Systemeingabe stehen dem Anwender folgende Möglichkeiten zur Verfügung

- der Bodenaufbau kann mit waagerechten oder polygonal verlaufenden Schichtgrenzen eingegeben werden
- die Drucklinie des Grundwassers und ein möglicher artesischer Wasserdruck unter einem Grundwasserstauer können polygonal beschrieben werden. Oberflächenwasser kann davon unabhängig berücksichtigt werden.
- als Baukörper können bis zu vier Querschnitte mit beliebigen Abmessungen definiert werden
- für einfache Schwergewichts- und Winkelstützmauern stehen typisierte Querschnittseingaben zur Verfügung
- Einsatz von Ankern und Pfählen zur Böschungssicherung
- zusätzliche äußere Lasten können als vertikale oder horizontale Linienlasten oder vertikale Flächenlasten eingegeben werden

Die zu untersuchenden Gleitkreise können sowohl mit Variationsvorschriften für Mittelpunkt und Radius als auch direkt eingegeben werden.

Am Gleitflächenaustritt kann alternativ der Erdwiderstand angesetzt werden.

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und ##GRUND von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.



Das vorliegende Handbuch beschreibt die Handhabung des Programms. Informationen zu dem jeweiligen Eigenschaftsblatt finden Sie zusätzlich über den lokalen Hilfebutton.

Zur ##GRUND -Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

*DTE®-DeskTopEngineering*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit ##GRUND.

Hannover, im Juli 2024

# Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende **Abkürzungen** benutzt

<b>Maustasten</b>	RMT	rechte Maustaste drücken
	LMT	linke Maustaste drücken
	LF	Lastfall (Teileinwirkung)
	Nwtyp	Nachweistyp



signalisiert Anmerkungen

## Buttons

Das Betätigen von Buttons wird durch Setzen des Buttoninhalts in **blaue Farbe** und die Auswahl eines Begriffs in einer Listbox durch diese **Farbe** symbolisiert.



**Rot** markierte Buttons bzw. Mauszeiger kennzeichnen erforderliche Eingaben bzw. anzuklickende Buttons.

## Index

Indexstichworte werden im Text zum schnelleren Auffinden **grün markiert**.

Beim Verweis auf Eigenschaftsblätter wird deren *Bezeichnung kursiv gedruckt*.

## Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

## blank

Leerzeichen

## Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

## icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

## Fangerechteck

Ein Fangerechteck wird durch Drücken der LMT und Ziehen der Maus mit gedrückter LMT aufgespannt. Alle Elemente, die vollständig innerhalb des Rechtecks liegen, werden ausgewählt. Waren Elemente bereits vor dem Aufspannen des Rechtecks ausgewählt und befinden sie sich vollständig in seinem Innenraum, werden sie wieder deaktiviert.

Zur Definition der Begriffe **Lastbild**, **Lastfall**, **Einwirkung**, **Lastkollektiv** und **Extremalbildungsvorschrift** s. Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*, Theoretischer Teil.

Die in der Interaktion mit **pcae**-Programmen stehenden **Buttons** besitzen folgende Funktionen



bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab



lädt abgespeicherte Werte in das Eigenschaftsblatt bzw. speichert die aktuellen Werte zum späteren Abruf in anderen Eigenschaftsblättern



ruft das Online-Hilfesystem



bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt



**Löschen**-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage



Datenzustand überprüfen

Wenn der Mauszeiger einen Moment auf einem Button verweilt, erscheint ein Fähnchen, das den zugehörigen Aufruf beschreibt.

Die Funktionen der Buttons zur Steuerung der **##-GRUND**-Eingabe werden durch ihre Fähnchen erläutert.



Allgemeine Einstellungen



Boden und Grundwasser



Baukörper



Anker und Pfähle



Lastangaben



Variation der Gleitkreise



Berechnung durchführen  
Ergebnisse einsehen



Ergebnisse drucken



Hilfe



Ende

# Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten .....	5
2	Bauteil erzeugen.....	7
3	Eingabeoberfläche.....	9
3.1	Steuerbuttons .....	9
3.2	Allgemeine Einstellungen .....	10
3.2.1	Norm.....	10
3.2.2	Lamellen.....	11
3.2.3	Wasserdruck .....	12
3.2.4	Systemdarstellung.....	12
3.2.5	Ausgabe .....	13
3.3	Teilsicherheitsbeiwerte.....	13
3.4	Bodenaufbau und Grundwasser.....	14
3.4.1	Bodenschichten.....	14
3.4.2	Wasserdruck .....	15
3.4.3	Arteser.....	15
3.5	Baukörper.....	16
3.6	Anker und Pfähle .....	17
3.7	Belastung.....	18
3.7.1	Flächenlasten .....	18
3.7.2	Linienlasten .....	19
3.8	Gleitkreise definieren.....	19
3.8.1	Gleitkreisvariation.....	19
3.8.2	direkte Gleitkreiseingabe.....	20
3.9	Berechnung durchführen.....	21
3.10	Online-Hilfe.....	21
3.11	Bearbeitung beenden .....	21
4	Nachweisführung.....	22
4.1	Berechnung .....	22
4.1.1	Einwirkungen.....	22
4.1.2	Widerstände .....	22
4.1.3	weitere Einwirkungen und Widerstände.....	23
4.2	Teilsicherheitskonzept.....	23
4.3	Erdwiderstand.....	24
4.4	Oberflächen- und Grundwasser .....	24
4.5	Berücksichtigung von Pfählen.....	26
4.6	Berücksichtigung von Ankern.....	27
4.6.1	Berechnung mit aktueller DIN 4084:2009 .....	27
4.6.2	Berechnung nach alter DIN 4084:1981.....	28
5	Literaturverzeichnis .....	29
5.1	aktuelle Normen .....	29
5.2	alte Normen.....	29
5.3	Veröffentlichungen .....	29
6	Index .....	30





# 1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-GRUND* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte auf S. 7 weiter.

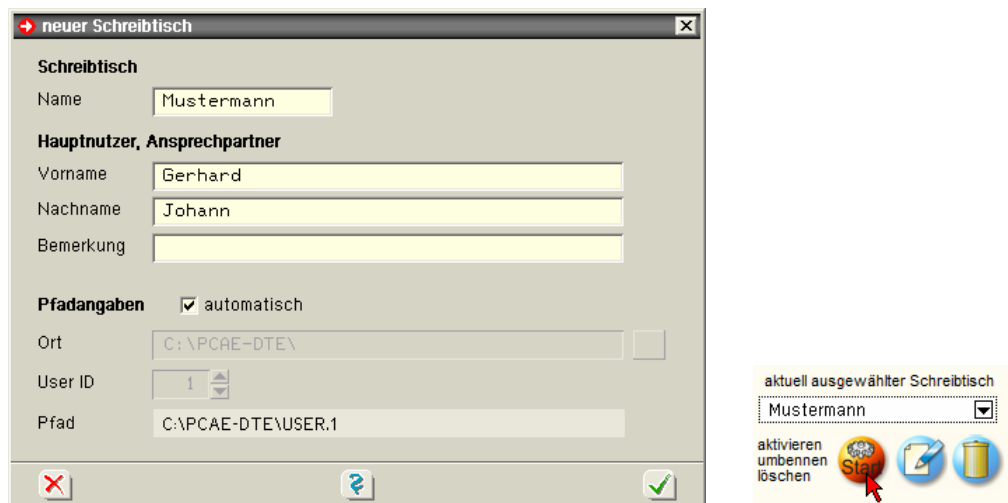


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelclick aus.

Daraufhin erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Schreibtischauswahl**. Da noch kein Schreibtisch vorhanden ist, wollen wir einen neuen einrichten. Klicken Sie hierzu bitte auf den Button **neu**.



**Schreibtischname** Dem neuen Schreibtisch kann ein beliebiger Name zur Identifikation zugewiesen werden. Klicken Sie hierzu mit der LMT in das Eingabefeld. Hier ist *Mustermann* gewählt worden.



Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

DTE® steht für *DeskTopEngineering* und stellt das "Betriebssystem" für *pcae*-Programme und die Verwaltungsoberfläche für die mit *pcae*-Programmen berechneten Bauteile dar.



Zur Beschreibung des DTE®-Systems und der zugehörigen Funktionen s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*.



## Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

Die Funktion eines Steuerbuttons ergibt sich aus dem Fähnchen, das sich öffnet, wenn sich der Mauscursor über dem Button befindet.

Auf Grund der **Kontextsensitivität** des DTE®-Systems sind manche Buttons solange abgedunkelt und nicht aktiv bis ein Bauteil aktiviert wird.

- |  |   |
|--|---|
|  | Die Buttons bewirken im Einzelnen   |
|  | öffnet die Schreibtischauswahl  |
|  | legt einen neuen Projektordner an   |
|  | erzeugt ein neues Bauteil   |
|  | kopiert das aktivierte Bauteil  |
|  | fügt die Bauteilkopie ein   |
|  | lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich auch der <b>e-Mail-Dienst</b> . |
|  | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils                       |
|  | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils                       |
|  | ruft das Planerstellungsmodule des aktivierten Bauteils                   |
|  | löscht das aktivierte Bauteil/Ordner                                      |
|  | öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste                                  |
|  | öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen   |
|  | eröffnet Verwaltungsfunktionen  |
|  | schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung                   |

## Bauteil erzeugen



Durch Erzeugen eines **Ordners** besteht die Möglichkeit, Bauteile einem bestimmten Projekt zuzuordnen. Ein Ordner wird durch Anklicken des nebenstehenden Symbols erzeugt. Der Ordner erscheint auf dem DTE®-Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.



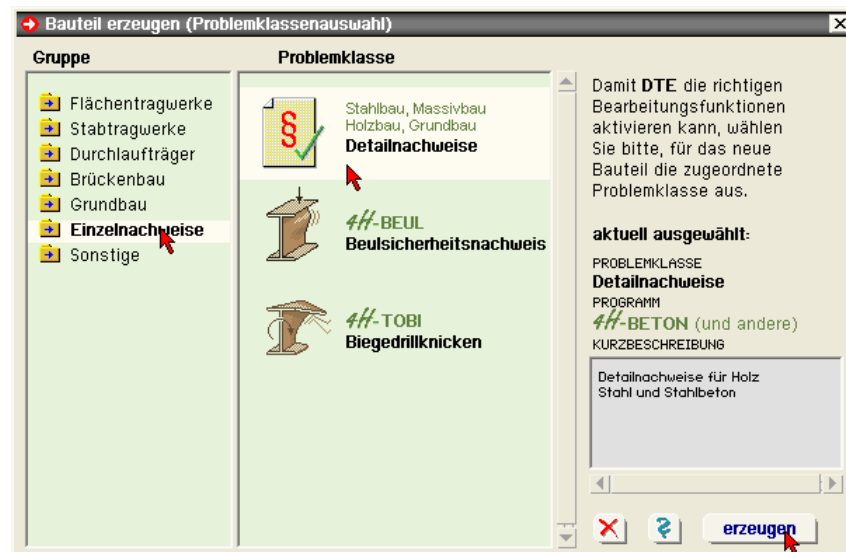
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



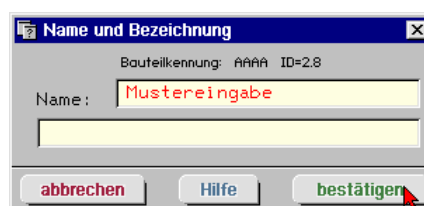
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtischs angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Einzelnachweise**, dann auf die Problemklasse **Detailnachweise** und abschließend auf den **erzeugen-Button**.



Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.

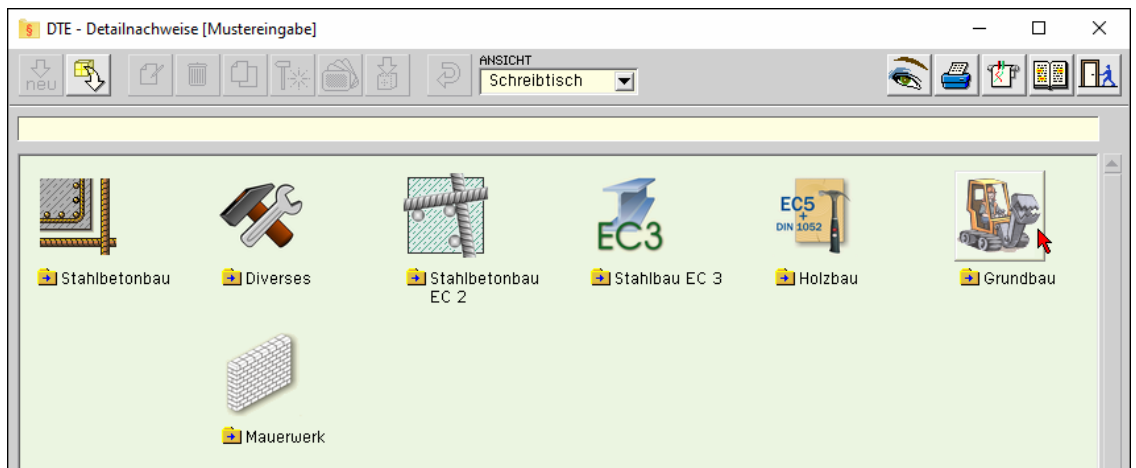


Nach Doppelklicken des neuen Bauteilicons erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.

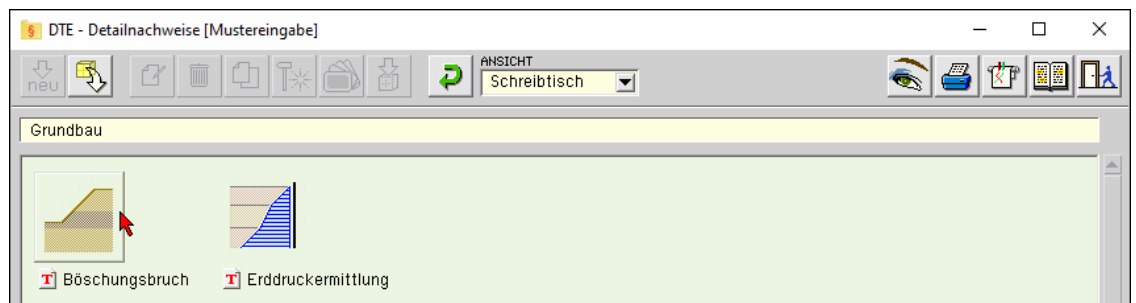


Überschreiben Sie den Begriff *Detailnachweise* zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

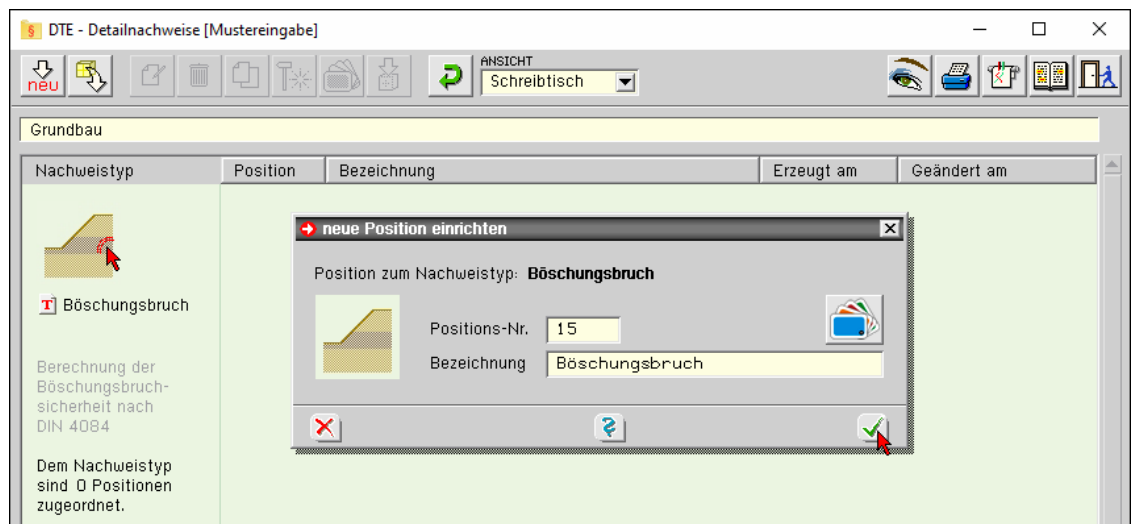
## Übersicht Detailnachweise



## Übersicht Grundbau



Nach Anklicken des Bauteils *Böschungsbruch* und Doppelklicken des darunter befindlichen gleichartigen Nachweistyps wird ein neues Bauteil eingerichtet.

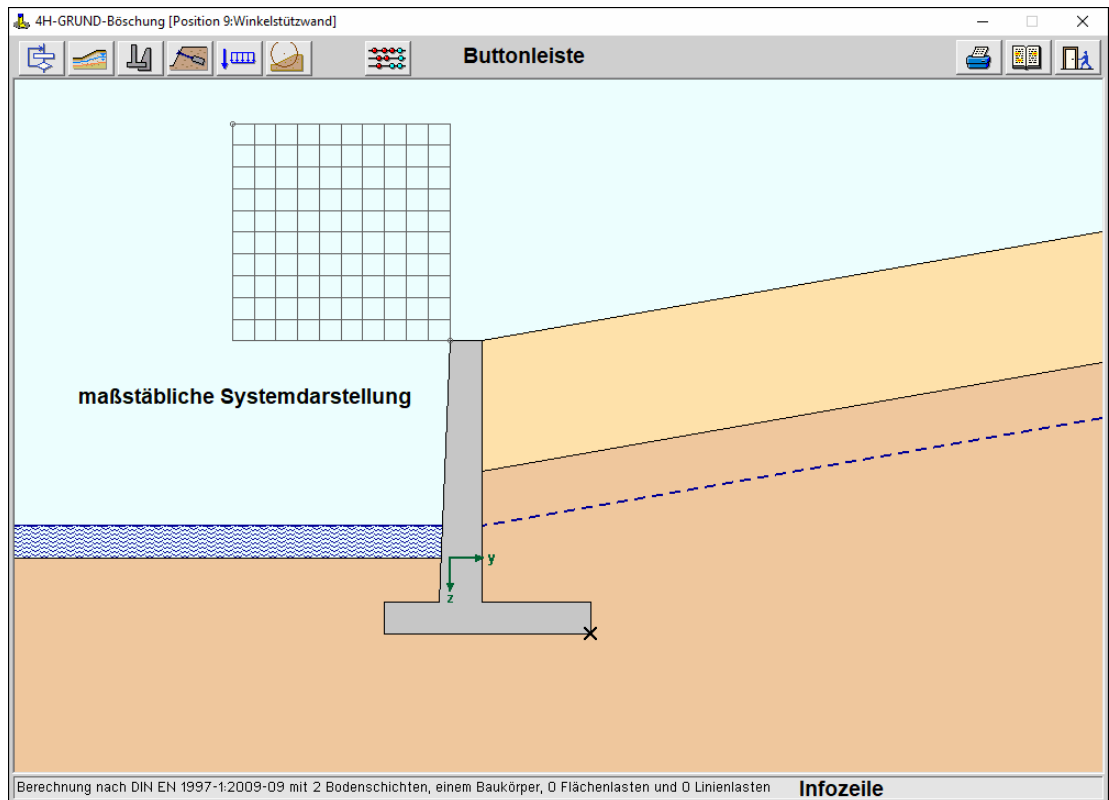


Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Böschungsbruch*.

### 3

## Eingabeoberfläche

Den größten Teil des Haupteigenschaftsblatts nimmt die maßstäbliche Systemdarstellung ein. Die Darstellung wird nach jeder Eingabe aktualisiert und zeigt Schichtaufbau, Wasserstände, Baukörper, Anker, Pfähle und Lasten.













In der unteren Infozeile werden die gewählte Basisnorm, Anzahl der Schichten, Baukörper, Flächen- und Linienlasten angezeigt.

### 3.1

## Steuerbuttons

Am oberen Bildschirmrand befinden sich die Steuerbuttons zur Eingabe der Systemparameter und zur Steuerung des Programmablaufs. Im Einzelnen haben die Buttons folgende Funktionen

-  Allgemeine Einstellungen zu Berechnung, Bildschirmdarstellung und Ausgabesteuerung, s. Abs. 3.2, S. 10
-  Bodenaufbau mit Geometrie des Geländeaufbaus und den notwendigen Rechenwerten der Bodenschichten, s. Abs. 3.4, S. 14
-  Baukörper mit Querschnittsdefinition, s. Abs. 3.5, S. 16
-  Anker und Pfähle zur Böschungssicherung, s. Abs. 3.6, S. 17
-  Lastangaben für zusätzliche äußere vertikale Belastungen in Form von Flächen- und Linienlasten, s. Abs. 3.7, S. 18
-  Gleitkreise definieren, s. Abs. 3.8, S. 19
-  Start der Berechnung mit anschließender Darstellung der Bemessungsergebnisse am Bildschirm
-  Öffnen des Druckdialogs mit dem DTE®-Druckmanager
-  öffnet das Hilfefenster
-  sichert die Bauteileingabedaten und schließt das Programm

## 3.2

## Allgemeine Einstellungen

Dieses Eigenschaftsblatt enthält ein Register zu allgemeinen Berechnungseinstellungen, Lamellen, Wasserdruck, Bildschirmdarstellung und Ausgabesteuerung.

### 3.2.1

### Norm

Im ersten Registerblatt ist die **Basisnorm** festzulegen.

Norm    Lamellen    Wasserdruck    Systemdarst.    Ausgabe

**Basisnorm**

☐ DIN 1054:1976-11

☐ DIN 1054:2005-01

☒ DIN EN 1997-1:2009-09 (EC 7)  
mit DIN 1054:2010-12

Sicherheitsbeiwerte editieren

**Ausnutzung**

☒ Iteration der vorhandenen Ausnutzung

Startwert  $\mu s$  1.00

**Bemessungssituation**

Wenn keine äußeren Lasten definiert sind wird der Nachweis für die Bemessungssituation BS-P geführt.

Der Nachweis kann geführt werden auf Basis der

- DIN EN 1997-1:2009 (EC 7 + NA)
- DIN 1054:2005
- alten DIN 1054:1976

Der Nachweis nach Eurocode stützt sich dabei i.W. auf die DIN 1054:2010 mit den für Deutschland gültigen Ergänzungsregeln.

Bei Berechnung nach DIN 1054:1976 wird die Böschungsstandsicherheit nach DIN 4084:1981 ermittelt. Andernfalls kommt die aktuelle DIN 4084:2009 mit den Teilsicherheitsbeiwerten der gewählten Basisnorm zur Anwendung.

Über den Button **Sicherheitsbeiwerte editieren** (s. Abs. 3.3, S. 13) können die Teilsicherheitsbeiwerte der gewählten Norm verändert werden.

Da die vorhandene Sicherheit bzw. Ausnutzung bei der Berechnung auf der Widerstandsseite berücksichtigt wird, ist die genaue Ermittlung der Sicherheit bzw. Ausnutzung nur iterativ möglich. In Ausnahmefällen z.B. für Kontrollrechnungen kann es jedoch sinnvoll sein, nur einen Rechengang je Gleitkreis durchzuführen. Hierzu kann an dieser Stelle die Iteration unterbunden werden.

Für jeden Gleitkreis wird der erste Iterationsschritt mit dem hier vorzugebenden **Startwert** durchgeführt.

Sollten keine äußeren Lasten (s. Belastung Abs. 3.7, S. 18) definiert sein, ist hier die **Bemessungssituation** vorzugeben, für die der Nachweis nur infolge der Bodensituation zu führen ist.

Mit den Angaben im zweiten Registerblatt hat der Anwender Einfluss auf die Lamelleneinteilung und die Bewertung der einzelnen Lamellen in der Berechnung.

Lamellen

**Lamellenanzahl**

Mindestanzahl min n =

maximale Breite max b =  m

**Lamellenbreite**

☐ konstant

☒ an Baukörper anpassen

**Massgebende y-Koordinate**

☐ immer in der Mitte

☐ bei Dreiecksform im Drittelpunkt, sonst in der Mitte

☒ immer im Schwerpunkt

**Erdwiderstand am Austrittsende**

☐ nicht berücksichtigen

☒ automatisch ermitteln

☐ bei y =  m ansetzen

Die **Lamellenanzahl** richtet sich nach vorgegebener Mindestanzahl und zulässiger Breite.



Die Anzahl der Lamellen hat starken Einfluss auf die Berechnungsgeschwindigkeit. Eine Anzahl von 20 Lamellen ist in den meisten Fällen ausreichend. Es ist wichtiger mehrere Gleitkreise zu untersuchen als an einem Kreis viele Lamellen!

Der Gleitkörper wird nach Möglichkeit in Lamellen mit konstanter Breite eingeteilt. Wenn ein Baukörper vorhanden ist, ist die **Lamellenbreite** im Bereich des Baukörpers sinnvollerweise an diesen anzupassen. Ist kein Baukörper vorhanden, ist diese Einstellung wirkungslos.

In der Handrechnung ist es üblich, das Lamellengewicht über die Höhe in Lamellenmitte bzw. bei dreiecksförmigen Randlamellen über die Höhe im Lamellendrittelpunkt zu bestimmen. Je breiter die Lamellen dabei sind, desto ungenauer ist das Ergebnis. Exakter ist es, die Höhe im Lamellenschwerpunkt zu verwenden. Mit den Optionen zur Bestimmung der **maßgebenden y-Koordinate** wird dem Anwender die Möglichkeit offen gehalten, für Kontroll- oder Vergleichsrechnungen die Vorgehensweise des Programms an die der üblichen Handrechnung anzupassen.

Wenn die Gleitlinie am Austrittsende steiler als die gerade Erdwiderstandsgleitlinie für den Rankine'schen Sonderfall wird, ist der **Erdwiderstand** anzusetzen. Die entsprechende Stelle kann vom Programm automatisch ermittelt oder vom Anwender vorgegeben werden. Diese Programmfunktion kann unterdrückt werden; empfehlenswert ist es aber, dies ausschließlich für Kontroll- oder Vergleichsrechnungen zu tun. Näheres zum Ansatz des Erdwiderstands siehe unter *Erdwiderstand am Austrittsende des Gleitkreises* (Abs. 4.3, S. 24).

### 3.2.3

## Wasserdruck

Nach DIN 4084 sind zwei **Ansätze zur Berücksichtigung von Wasserdrucklasten** zugelassen. Im dritten Registerblatt kann zwischen beiden gewählt werden. Näheres hierzu unter *Berücksichtigung von Oberflächen- und Grundwasser* (Abs. 4.4, S. 24).



Beim vereinfachten Wasserdruckansatz kann kein Grundwasserstauer berücksichtigt werden.

Wasserdruck

**Ansatz zur Berücksichtigung von Wasserdrucklasten**

☒ vereinfacht aus der Ortshöhe über der Gleitlinie

☐ mit Porenwasserdruck auf die Gleitfläche  
(unter Annahme einer waagerechten Strömung)

### 3.2.4

## Systemdarstellung

Das vierte Registerblatt beinhaltet die Steuerungsmöglichkeiten für die Systemdarstellung.

Systemdarst.

**Darstellungsbereich**

☒ automatisch

☐ vorgeben

**Fangraster**

☒ aktivieren

dy =  m

dz =  m

**Schichtdarstellung**

☒ automatisch

☐ vorgeben

**Hinweis zur automatischen Schichtdarstellung**

Die Farbe der Schichtdarstellung am Bildschirm und im Ausdruck sowie das Füllmuster im Ausdruck werden in Abhängigkeit der Scherparameter gewählt. Bei bindigen Böden entsprechend der Kohäsion und bei nichtbindigen Böden entsprechend dem Winkel der inneren Reibung.

Der relevante **Darstellungsbereich** kann vom Programm automatisch ermittelt oder vom Anwender durch minimale und maximale Werte für y und z vorgegeben werden.



Bei der Eingabe von Koordinaten, z.B. für Schichtgrenzen, können Punkte durch Klicken mit der Maus festgelegt werden (s. Abs. 3.4.1, S. 14). Wenn das **Fangraster** aktiviert wird, können nur noch Koordinaten in den vorgegebenen Abständen dy und dz mit der Maus eingefangen werden.

Für die **Schichtdarstellung** kann zwischen **automatisch** und **vorgeben** gewählt werden.

Bei der automatischen Schichtdarstellung werden die Farben für Bildschirmdarstellung und Ausdruck sowie das Füllmuster des Ausdrucks in Abhängigkeit der Scherparameter gewählt; bei bindigen Böden entspr. der Kohäsion und bei nichtbindigen entspr. dem Winkel der inneren Reibung.

Bei direkter Vorgabe von Farbe und Füllmuster ist die Farbe über das RGB-Modell zu definieren. Der Farbindex setzt sich aus drei Werten zwischen 0 und 255 für **R**ot, **G**rün und **B**lau zusammen.

Für die Ergebnis- und Druckausgabe ist eine Kontur vorzugeben; hierzu kann ein Index von 0 bis 60 gewählt werden.

Durch Anklicken des Buttons **Übersicht** erscheint eine Zusammenstellung der verfügbaren Konturen für den Ausdruck.



### 3.2.5

## Ausgabe

Um die Ergebnis-/Druckausgabe zu verkürzen, können im fünften Registerblatt Teile der Ergebnisliste durch Abwählen der entsprechenden Option unterdrückt werden.

Vor allem die **Tabelle der berechneten Gleitkreise** kann bei feiner Variation sehr umfangreich werden. Durch Ausblenden dieser Tabelle verkleinert sich das Ergebnisdokument erheblich.

### 3.3

## Teilsicherheitsbeiwerte

In diesem Eigenschaftsblatt können die durch die aktuelle Norm vorgegebenen Standardwerte der Sicherheiten für Einwirkung und Widerstand geändert werden.

Werte, die nicht dem Standard der aktuellen Norm entsprechen, werden **rot** dargestellt.

Widerstand	Formelzeichen	BS-P	Lastfall BS-T	BS-A	BS-E
<b>GEO-3: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit</b>					
<b>Scherfestigkeit</b>					
Reibungsbeiwert tan $\phi'$ des dränierten Bodens	$\gamma_\phi$	1.25	1.15	1.10	1.00
Kohäsion $c'$ des dränierten Bodens und Scherfestigkeit $c_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_c, \gamma_{cu}$	1.25	1.15	1.10	1.00
<b>Herauszieh-Widerstände</b>					
Verpresskörper von Verpressankern	$\gamma_a$	1.10	1.10	1.10	1.00

### 3.4 Bodenaufbau und Grundwasser



In diesem Eigenschaftsblatt sind die Geometrie des Geländeaufbaus und die notwendigen Rechenwerte der Bodenschichten einzugeben.

#### 3.4.1 Bodenschichten

**Boden**

Schichten | Wasserdruck | Arteser

$\gamma$  Wichte  
 $\gamma'$  Wichte unter Auftrieb  
 $\varphi$  Reibungswinkel  
 $c$  Kohäsion  
 $p_{\text{konsol}}$  Auflast für die die Schicht schon vorkonsolidiert ist  
 $\Psi_{A, \text{max}}$  max. Winkel für selbstspannendes Zugglied  
 $y/z$  Koord. der Schichtoberkante

Zeile löschen  
 Zeile duplizieren  
 neue Zeile anhängen, wenn nicht  
 Punkt einfangen  
 um- / ein-/ausschalten

Bezeichnung	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ °	$c$ kN/m <sup>2</sup>	$p_{\text{konsol}}$ kN/m <sup>2</sup>	$\Psi_{A, \text{max}}$ °	y m	z m	polygon. Oberkante
1: Schicht 1	18.00	10.00	32.50	0.00	0.00	75.0	---	---	Polygon
2: Schicht 2	16.00	6.00	15.00	20.00	100.0	75.0	0.00	-5.00	Polygon
3: Schicht 3	20.00	11.00	35.00	0.00	0.00	75.0	0.00	0.00	Polygon

Im ersten Registerblatt können die Bodenschichten tabellarisch definiert werden. Die notwendigen Rechenwerte sind Wichte, Wichte unter Auftrieb, **Scherbeiwerte** bzw. **Reibungswinkel** und **Kohäsion**. Ist der Kohäsionswert > 0 wird die Schicht als bindig angesehen.

Für bindige Schichten ist es erforderlich anzugeben, wie stark sie bereits **vorkonsolidiert** sind.



Führt eine Gleitlinie durch eine bindige Schicht, wird in den betreffenden Lamellen der haltende Anteil aus Auflast nur berücksichtigt, wenn die resultierende Auflast kleiner ist als diejenige, für die der Boden vorkonsolidiert ist.

Bei Verwendung von Zuggliedern bzw. Ankern ist zur Beurteilung, ob diese selbstspannend wirken, ein maximaler Neigungswinkel  $\max \Psi_A$  in Abhängigkeit der Bodenart vorzugeben.

DIN 4084:2009 gibt dafür nebenstehende Richtwerte vor.

Bodenart	max $\Psi_A$ in °
locker gelagerte nichtbindige Böden bzw. weiche bindige Böden	75
steife bindige Böden	80
mitteldicht gelagerte nichtbindige Böden und halbfeste bindige Böden	85
dicht gelagerte nichtbindige Böden	90

Für jede Schicht ist die Oberkante in Form von y/z-Koordinaten zu definieren. Verläuft die Oberkante horizontal, genügt die Angabe eines Punktes auf der entsprechenden Höhe.



Polygon

Ist die Schichtgrenze jedoch geknickt, muss die zugehörige Oberkante als Polygon definiert werden. Über den Button **Polygon** wird ein weiteres Eigenschaftsblatt aufgerufen, in dem die Koordinaten des Oberkantenpolygons für die Schicht eingegeben werden können.

Der Schichtverlauf links und rechts von den definierten Koordinaten wird horizontal angenommen.



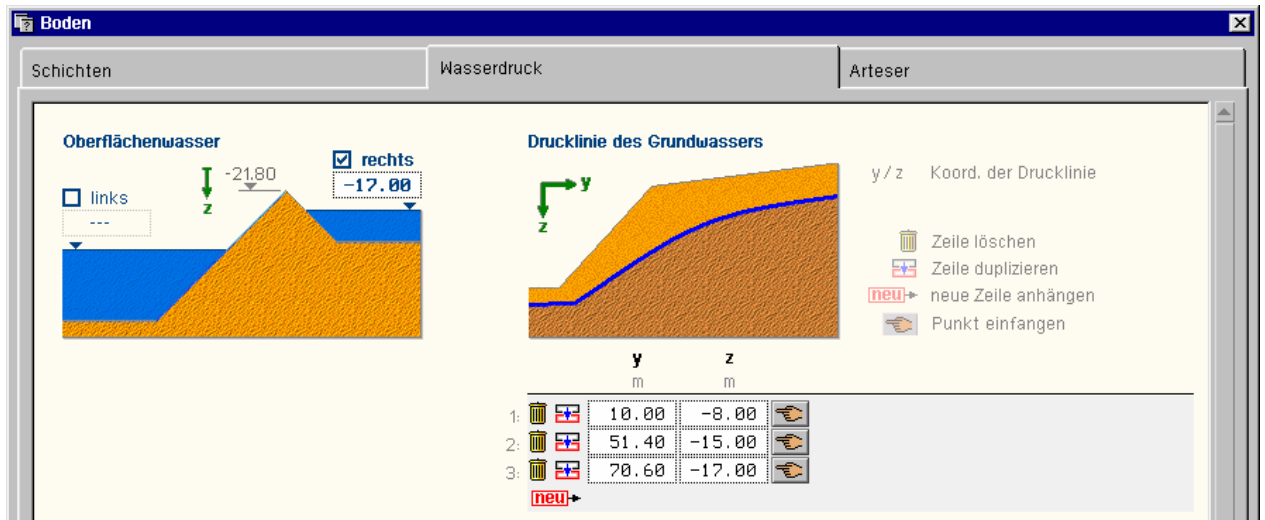
Mit der Oberkante der ersten Schicht wird die Geländeoberfläche definiert; daher ist diese Schicht immer polygonal einzugeben.

**Oberkante 1. Schicht, Sand**

	y m	z m
1:	-2.00	-8.00
2:	10.00	-8.00
3:	51.40	-21.80
4:	70.60	-17.00
5:	80.60	-13.00

### 3.4.2

### Wasserdruck



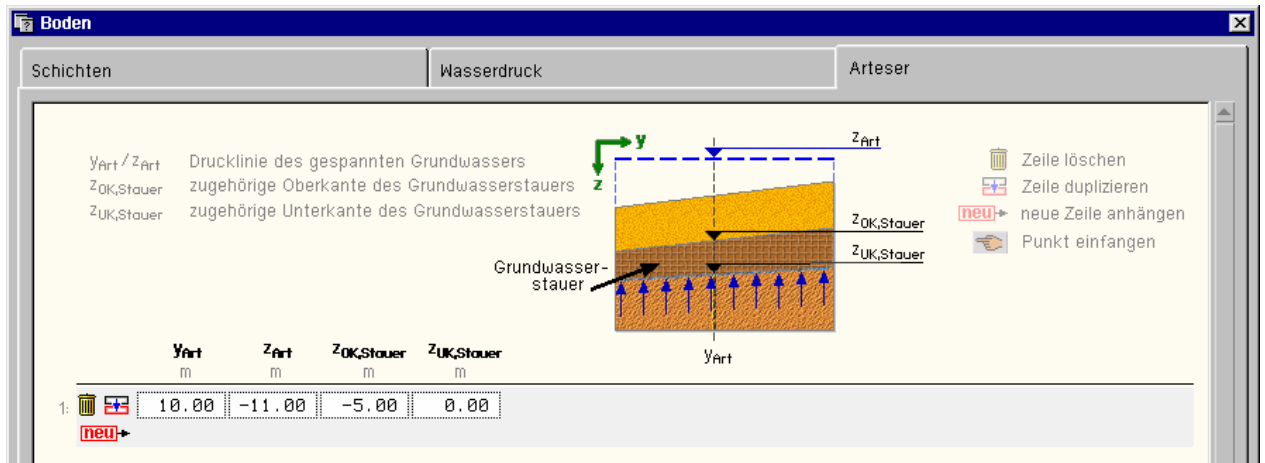
Soll **Oberflächenwasser** berücksichtigt werden, sind die entsprechenden Wasserstände in die Eingabefelder der linken Grafik einzutragen. Ein **rechter** Wasserstand ist nur dann wirksam, wenn das Gelände hinter einem Höchstpunkt nach rechts wieder abfällt. Die z-Ordinate des höchsten Punkts wird zur Information als Höhenkote des "Gipfels" dargestellt.

Für das **Grundwasser** ist die Drucklinie bzw. die Ortshöhe der Sickerline in y/z-Koordinaten zu beschreiben. Ist der Grundwasserstand horizontal, genügt ein Punkt auf entsprechender Höhe.

Näheres zur Wirkungsweise von Oberflächen- und Grundwasser bei der Berechnung s. unter *Berücksichtigung von Oberflächen- und Grundwasser* (s. Abs. 4.4, S. 24).

### 3.4.3

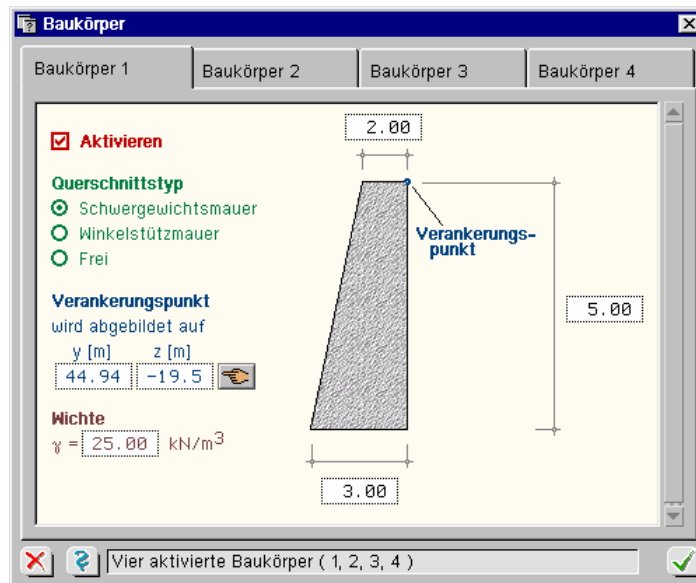
### Arteser



Enthält das System einen Grundwasserstauer mit einem abweichenden Grundwasserdruck unterhalb des Stauers, kann im dritten Registerblatt ein Arteser definiert werden. Für jede y-Ordinate sind die zugehörige Druckhöhe des Grundwassers sowie Ober- und Unterkante des Stauers einzugeben.

Näheres zur Wirkungsweise eines Artesers s. unter *Berücksichtigung von Oberflächen- und Grundwasser* (s. Abs. 4.4, S. 24).

Dieses Eigenschaftsblatt beinhaltet ein vierteiliges Register. Je Registerblatt kann ein Baukörper definiert werden. Die Baukörper sind als Querschnitt zu definieren und wirken durch ihre Gewichtskraft, die aus der angegebenen Wichte ermittelt wird.



Das Programm unterstützt die Querschnittsdefinition der Baukörper durch zwei **Typisierte Querschnitte**. Eine Schwergewichtsmauer oder eine einfache Winkelstützmauer können durch Vorgabe weniger Abmessungen definiert werden.

Über einen **Verankerungspunkt** wird der Baukörper im Gesamtsystem positioniert.



Sollen Baukörper mit anderen Querschnittsformen berücksichtigt werden, sind sie als geschlossene Polygonzüge zu definieren. Die Querschnittskoordinaten beziehen sich dabei auf ein lokales y/z-Koordinatensystem. Die Positionierung im Gesamtsystem erfolgt auch hier über den Verankerungspunkt. Der zugehörige Referenzknoten ist blau unterlegt und kann über eine List-box gewechselt werden.



Durch Anklicken **4H-QUER-Symbols** können Besitzer des gleichnamigen Programms den Querschnitt in der Oberfläche von 4H-QUER konstruieren. Nach dem ordnungsgemäßen Verlassen von 4H-QUER werden die Koordinaten des Querschnitts hier in die Tabelle übertragen.



Verpressanker oder Pfähle, die zur Böschungssicherung beitragen, können in diesem Eigenschaftsblatt beschrieben werden. Bei Verpressankern wird immer davon ausgegangen, dass sie vorgespannt sind.

Zur Wirkungsweise in der Berechnung s. *Berücksichtigung von Ankern* (Abs. 4.6, S. 27) und *Berücksichtigung von Pfählen* (Abs. 4.5, S. 26).



Eine Bemessung oder ein Nachweis von Ankern und Pfählen ist nicht Bestandteil dieses Programms. Die hier vorzugebenden Werte für Ankerkraft und zulässige Pfahlbiegebelastung müssen durch weitere Berechnungen sichergestellt werden.

**Anker und Pfähle**

Verpressanker      Pfähle

Alle Anker mit einheitlicher

☐ Neigung  
☐ Länge

$y_{Kopf} / z_{Kopf}$  Kopfkoordinaten  
 $l$  Länge (insgesamt)  
 $\alpha$  Neigungswinkel gegen die Vertikale  
 $y_{Fuß} / z_{Fuß}$  Fußkoordinaten  
 $b$  Durchmesser bzw. Breite  
 $l_u$  Länge des Verpresskörpers  
 $a$  Achsabstand senkrecht zur Betrachtung  
 $F_{A,0,k}$  Festlegekraft (Vorspannkraft)  
 $F_{A,Ra,k}$  charakt. Herausziehewiderstand  
 $F_{A,Rt,k}$  charakt. Materialwiderstand

Zeile löschen  
 Zeile duplizieren  
 neu neue Zeile anhängen  
 Punkt einfangen  
 um- / ein-/ausschalten

	$y_{Kopf}$ m	$z_{Kopf}$ m	$l$ m	$\alpha$ °	$y_{Fuß}$ m	$z_{Fuß}$ m	$l_u$ m	$a$ m	$F_{A,0,k}$ kN	$F_{A,Ra,k}$ kN	$F_{A,Rt,k}$ kN
1:	35.00	-16.50	30.96	31.1	61.51	-0.51	2.00	3.00	100.00	200.00	300.00

neu

Zur Bestimmung der Ankerlage im System sind Kopfkoordinaten, Länge und Neigungswinkel einzugeben. Alternativ zur Eingabe von Länge und Neigungswinkel können die Fußkoordinaten eingegeben werden. Zum Umschalten des Eingabemodus genügt ein Klick auf den Button neben dem inaktiven Eingabefeld.

Die weiteren notwendigen Parameter einer Ankerlage sind **Verpressstrecke** (als Anteil an Ankerlänge  $l$ ), Achsabstand zum nächsten Anker, **Festlegekraft** sowie die Widerstandswerte gegen Herausziehen und Materialversagen.

Je nachdem, ob ein Anker selbstspannend wirkt oder nicht (s. *Berücksichtigung von Ankern* Abs. 4.6, S. 27), wirkt er als Widerstand mit seinem Herauszieh- bzw. Materialwiderstand oder als Einwirkung mit seiner Festlegekraft (Vorspannkraft).

**Anker und Pfähle**

Anker      Pfähle

Alle Pfähle mit einheitlicher

☐ Neigung  
☐ Länge

$y_{Kopf} / z_{Kopf}$  Kopfkoordinaten  
 $l$  Länge  
 $\alpha$  Neigungswinkel gegen die Vertikale  
 $y_{Fuß} / z_{Fuß}$  Fußkoordinaten  
 $b$  Durchmesser bzw. Breite  
 $b_{eff}$  wirksame Breite für Erdwiderstand  
 $u$  Umfang  
 $a$  Achsabstand senkrecht zur Betrachtung  
 $M_{zul}$  Bemessungswert des zulässigen Biegemomentes

Zeile löschen  
 Zeile duplizieren  
 neu neue Zeile anhängen  
 Punkt einfangen  
 um- / ein-/ausschalten

	$y_{Kopf}$ m	$z_{Kopf}$ m	$l$ m	$\alpha$ °	$y_{Fuß}$ m	$z_{Fuß}$ m	$b$ m	$b_{eff}$ m	$u$ m	$a$ m	$M_{zul}$ kNm
1:	36.00	-16.50	12.00	40.0	43.71	-7.31	0.50	autom.	autom.	3.00	150.00

neu

Die Angaben zur Pfahlage erfolgen analog zur Ankereingabe. Nur der Neigungswinkel versteht sich als Winkel gegen die Vertikale und nicht wie bei der Ankereingabe gegen die Horizontale.

Weitere notwendige Parameter sind Pfahlbreite bzw. Pfahldurchmesser, Achsabstand und das zulässige **Biegemoment** des Pfahls. Die wirksame Breite  $b_{eff}$  und der Umfang  $u$  werden, wenn hier nicht vorgegeben, unter Annahme eines Pfahls mit Kreisquerschnitt automatisch ermittelt (s. hierzu *Berücksichtigung von Pfählen*, Abs. 4.5, S. 26).

Sollen andere Pfahlquerschnitte zum Einsatz kommen, können die Werte  $b_{eff}$  und  $u$  explizit vorgegeben werden.



Das zulässige Biegemoment ist durch Bemessung mit der zugehörigen Materialnorm zu ermitteln und muss bei der Berechnung nach dem Teilsicherheitskonzept (Abs. 4.2, S. 23) als Bemessungswert eingegeben werden.

## 3.7 Belastung



In diesem Eigenschaftsblatt können zusätzliche äußere vertikale Belastungen vorgegeben werden. Als Lastbilder können Flächenlasten und Linienlasten unterschieden werden.

### 3.7.1 Flächenlasten

Jedes Lastbild ist als **veränderlich** oder **ständig** zu typisieren und kann einer oder mehreren Bemessungssituationen zugeordnet werden. Bei veränderlichen Flächenlasten ist festzulegen, ob sie **teilbar** sind oder nur im Ganzen wirken.

Als Bemessungssituationen können bei Berechnung nach Eurocode gewählt werden

- BS-P (ständig und veränderlich)
- BS-T (temporär)
- BS-A (außergewöhnlich)
- BS-E (Erdbeben)

Sowohl DIN 1054:2005 als auch die (ganz alte) DIN 1054:1976 unterscheiden die drei Bemessungssituationen mit den Bezeichnungen LF1, LF2 und LF3.

Im linken Registerblatt sind die Flächenlasten einzugeben.

Bezeichnung	Lasttyp	teilbar	BS	V.-Pos.	y <sub>A</sub> m	z <sub>A</sub> m	y <sub>E</sub> m	z <sub>E</sub> m	l m	q <sub>k</sub> kN/m²
			P T A E							
1: FLast1	ständig	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Oberfl.	30.00	-14.67	35.00	-16.33	5.00	10.00

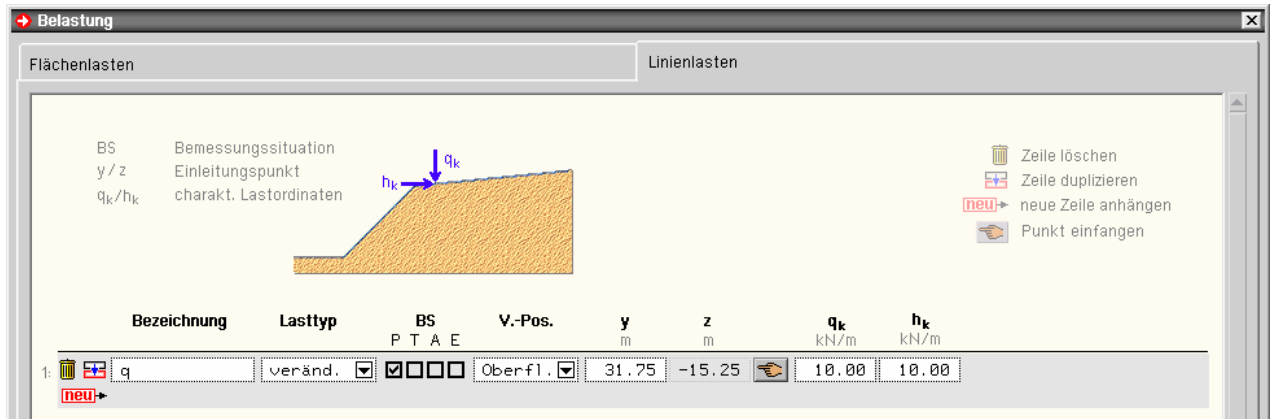
Zur Positionierung im System werden zwei Typen unterschieden

- **Frei** für Anfangs- und Endpunkt der Last ist jeweils ein Punkt mit y/z-Koordinaten anzugeben
- **Oberfläche** für den Anfangspunkt ist nur eine y-Ordinate vorzugeben, der Endpunkt wird aus der Vorgabe der Länge bestimmt. Die z-Ordinaten von Anfangs- und Endpunkt werden automatisch aus der Geländeoberfläche ermittelt.

### 3.7.2

## Linienlasten

Im rechten Registerblatt können Linienlasten eingegeben werden. Zusätzlich zur vertikalen Komponente kann ein horizontaler Anteil definiert werden. Weitere Erläuterungen s. Abs. 3.7.1, S. 18.



### 3.8

## Gleitkreise definieren

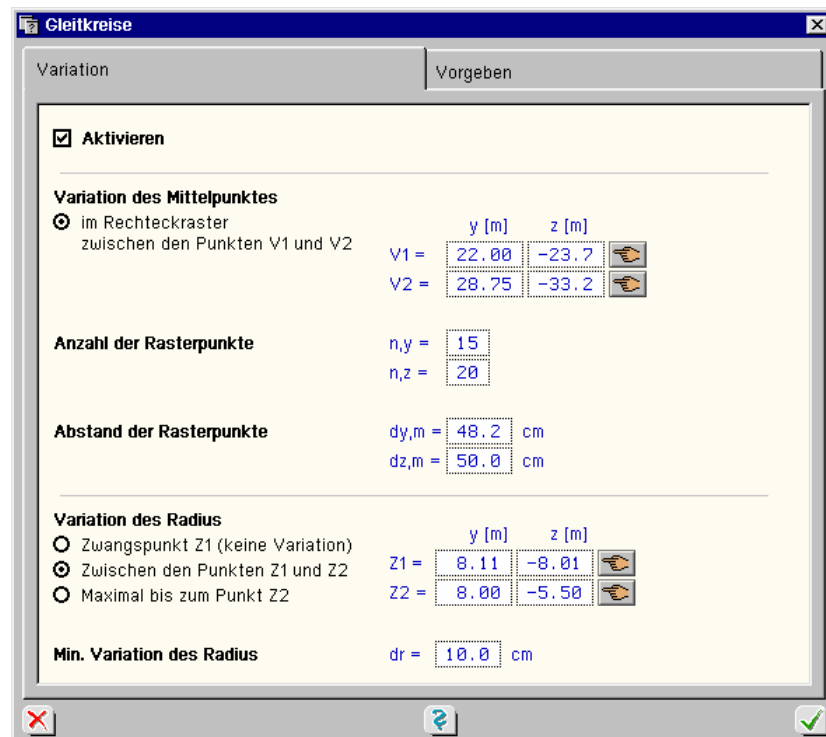


Die zu berechnenden Gleitkreise können indirekt über eine Variationsvorschrift oder direkt über Eingabe von Mittelpunkt und Radius vorgegeben werden.

### 3.8.1

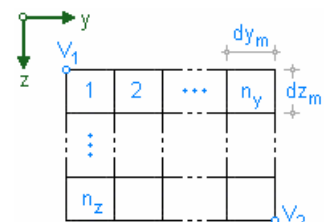
## Gleitkreisvariation

Im linken Registerblatt dieses Eigenschaftsblatts kann die Gleitkreisvariation aktiviert werden. Sowohl Gleitkreismittelpunkt als auch Radius können variiert werden.



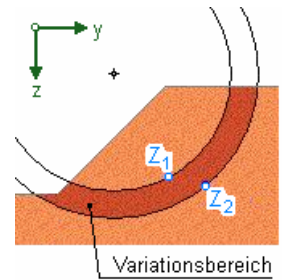
Zur **Variation des Mittelpunktes** ist ein Rechteckraster zu beschreiben. Die äußeren Abmessungen des Rasters werden durch die beiden Eckpunkte V1 und V2 bestimmt.

Die Anzahl der Rasterpunkte in y- und z-Richtung kann alternativ direkt oder indirekt durch den Abstand der Rasterpunkte festgelegt werden.



Die zu berechnenden Gleitkreisradien je Mittelpunkt ergeben sich aus den Zwangspunkten Z1 und Z2. Drei Möglichkeiten zur Vorgabe der Zwangspunkte werden unterschieden

- nur der Zwangspunkt Z1 wird vorgegeben und alle Gleitkreise verlaufen durch Z1. Dies bedeutet, dass je Mittelpunkt nur ein Gleitkreis berechnet wird.
- Z1 und Z2 werden als Zwangspunkte der Grenzradien des Variationsbereichs angenommen
- nur Z2 wird als Zwangspunkt des max. Grenzradius berücksichtigt. Der minimale Grenzradius ist der Gleitkreis, der die Oberfläche so schneidet, dass mindestens zwei Lamellen entstehen.

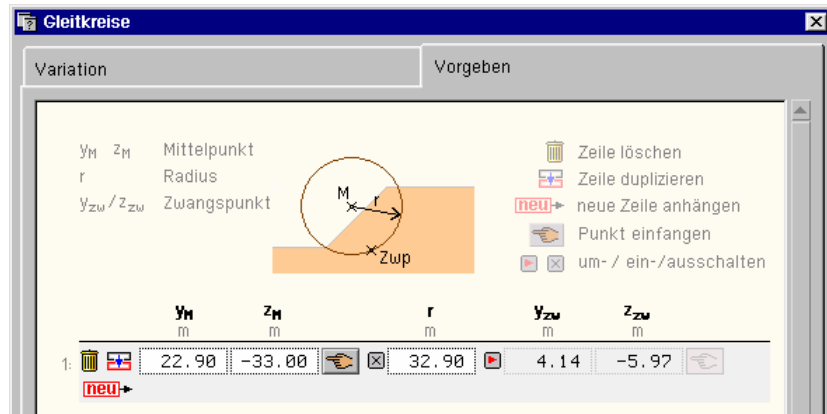


In den letzten beiden Fällen richtet sich der Abstand zwischen zwei Gleitkreisen bzgl. desselben Mittelpunkts nach dem Wert dr.

### 3.8.2

#### direkte Gleitkreiseingabe

Im rechten Registerblatt können konkrete Gleitkreise definiert werden. Alternativ zur direkten Eingabe eines Radius kann er auch indirekt durch einen Zwangspunkt festgelegt werden. Zur Änderung des Eingabemodus genügt ein Klick auf den -Button neben dem inaktiven Eingabefeld.



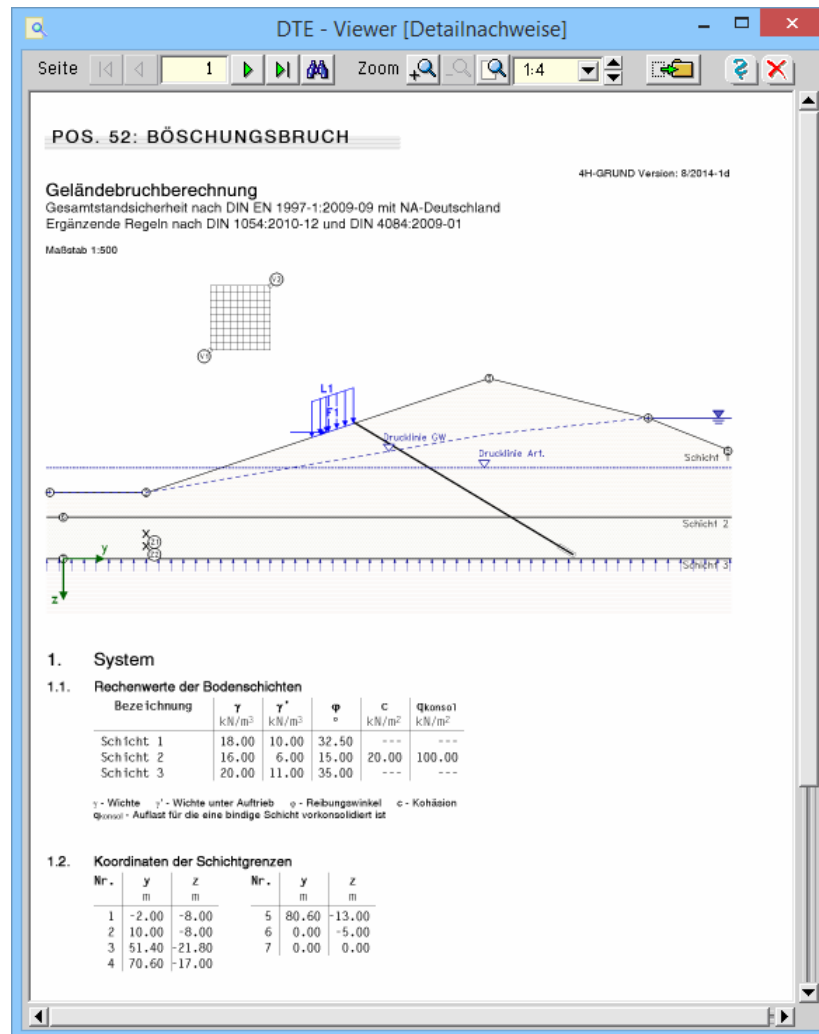


### 3.9

## Berechnung durchführen



Nach Anklicken des Buttons **Berechnung durchführen und Ergebnisse einsehen** wird der Böschungsbruchnachweis geführt. Nach Abschluss der Berechnung wird das Ergebnisprotokoll im DTE®-Viewer auf dem Bildschirm angezeigt.



Der DTE®-Viewer bietet eine Drucklistenvorschau des Gesamtdruckdokuments gemäß der im Eigenschaftsblatt *Allgemeine Einstellungen*, Register *Ausgabe* (Abs. 3.2.5, S. 13) erfolgten Zusammenstellung.



Die Interaktionselemente des Viewers werden genauso wie der Druckmanager, der durch Anklicken des nebenstehenden Symbols aufgerufen wird, im Handbuch *DTE®- DeskTopEngineering* beschrieben.

Ein Beispielausdruck zum Programm ist im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de) zu finden.

### 3.10

## Online-Hilfe



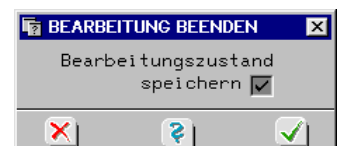
Die Online-Hilfe kann entweder über den Button **Hilfe** oder die im jeweiligen Eigenschaftsblatt lokalisierten **Hilfe**-Buttons aufgerufen werden.

### 3.11

## Bearbeitung beenden



Die Eingabesitzung wird über den **Ende**-Button geschlossen. Über ein abschließendes Eigenschaftsblatt können die Daten gespeichert oder verworfen werden.



## 4 Nachweisführung

### 4.1 Berechnung

Grundlage der Berechnung ist das **Lamellenverfahren** n. DIN 4084:2009, Abs. 9.2.1. Dabei wird der Bruchkörper in einzelne senkrechte Lamellen eingeteilt, an denen jeweils Gleichgewicht bestehen muss. Aus allen auftretenden Kräften wird jeweils ein resultierendes Moment aus Einwirkungen und ein resultierendes Moment aus Widerständen gebildet.

#### 4.1.1 Einwirkungen

Das resultierende Momente aus Einwirkungen ergibt sich zu

$$E_{M,d} = r \cdot \sum ((G_i + P_{d,i}) \cdot \sin \vartheta_i) + \sum M_{s,d}$$

$r$  Radius des Gleitkreises

$G_i$  Eigengewicht der Lamelle

$P_{d,i}$  Bemessungswert der vertikalen Lasten auf der Lamelle

$\vartheta_i$  Neigung der Lamellensohle

$M_{s,d}$  Bemessungswert der einwirkenden Momente, die nicht in  $G$  oder  $P$  enthalten sind

In  $M_{s,d}$  sind die Momente infolge des Außenwasserdrucks auf die Geländeoberfläche innerhalb des Gleitkörpers berücksichtigt; ebenso die resultierenden Momente infolge einer horizontalen Belastung.

Die Kräfte werden mit ihren Hebelarmen um den Kreismittelpunkt multipliziert, durch den Radius des maßgebenden Gleitkreises dividiert und mit entsprechendem Vorzeichen (abtreibend positiv, widerstehend negativ) berücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass alle abtreibenden Einwirkungen mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert werden müssen, widerstehende Einwirkungen werden durch den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert dividiert!

#### 4.1.2 Widerstände

Das resultierende Moment aus Widerständen ergibt sich aus der Summe der Tangentialkräfte, die in der Gleitfläche infolge aktivierter Scherkräfte oder Kohäsionskräfte "haltend" wirken.

$$R_{M,d} = r \cdot \sum (T_i + T_{pvi})$$

Die Tangentialkräfte aus Eigengewicht von Boden, Baukörper und ggf. Porenwasserdruck werden je Lamelle wie folgt berechnet.

$$T_{G,i} = \frac{(G_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i + c_i \cdot b_i}{\cos \vartheta_i + \mu \cdot \tan \varphi_i \cdot \sin \vartheta_i}$$

$G$  ..... Eigengewicht in kN/m

$u$  ..... Porenwasserdruck in kN/m<sup>2</sup>

$\varphi$  ..... Reibungswinkel in °

$b$  ..... Lamellenbreite in m

$c$  ..... Kohäsion in kN/m<sup>2</sup>

$\vartheta$  ..... Tangentenwinkel zur Waagerechten in °

Das maßgebende Eigengewicht aus Bodenschichten und ggf. Baukörpern sowie Porenwasserdruck ermittelt sich aus deren Höhen an der Stelle der maßgebenden y-Koordinate. Wie aus der Gleichung zu ersehen ist, mindert der Porenwasserdruck den "haltenden" Einfluss des Eigengewichts.

Die maßgebenden Werte für Reibungswinkel, Kohäsion und Tangentenwinkel werden am Fußpunkt der Lamelle ermittelt.

Analog zu den Tangentialkräften aus Eigengewicht werden auch die Tangentialkräfte aus vertikalen Auflasten je Lamelle wie folgt berechnet.

$$T_{G,i} = \frac{P_i \cdot \tan \varphi_i}{\cos \vartheta_i + \mu \cdot \tan \varphi_i \cdot \sin \vartheta_i}$$

$P$  ..... maßgebende vertikale Lamellenauflast in kN/m

Bindet der Lamellenfuß in eine bindige Schicht ein, wird der Tangentialkraftanteil aus Auflast nur berücksichtigt, wenn die Summe der Auflasten geringer ist als die Vorkonsolidierung der Schicht. Die Höhe der Vorkonsolidierung ist vom Anwender für jede Schicht im Eigenschaftsblatt *Bodenaufbau und Grundwasser* (Abs. 3.4, S. 14) vorzugeben.

Alle Tangentialkräfte aus veränderlichen Lasten werden - unabhängig, ob sie vom Anwender als teilbar oder nicht teilbar klassifiziert wurden - nur ab einem Horizontalabstand von  $r \cdot \sin \varphi$  rechts vom Gleitkreismittelpunkt berücksichtigt.

Darüber hinaus wird die Tangentialkraft infolge einer vertikalen Auflast nur berücksichtigt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist. Es handelt sich um eine

- ... ständige Last
- ... teilbare veränderliche Last rechts vom Gleitkreismittelpunkt mit

$$P_i \cdot \sin \varphi_i \geq T_{p,i}$$

- ... nicht teilbare veränderliche Last, für deren Gesamteinfluss gilt

$$\sum_i P_i \cdot \sin \varphi_i \geq \sum_i T_{p,i}$$

d.h. in der Summe über alle Lamellen wirkt sie "antreibend"

### 4.1.3 weitere Einwirkungen und Widerstände

Bauteile wie Anker oder Pfähle, die den Gleitkreis schneiden, müssen ebenfalls bei Einwirkungen und Widerständen berücksichtigt werden. Näheres hierzu s. unter *Berücksichtigung von Ankern* (Abs. 4.6, S. 27) und *Berücksichtigung von Pfählen* (Abs. 4.5, S. 26).

Bei Ansatz des Erdwiderstands am Austrittsende des Gleitkreises wird das daraus resultierende Moment ebenfalls im Nenner "haltend" berücksichtigt. Zur Berechnung s. *Erdwiderstand am Austrittsende des Gleitkreises* (Abs. 4.3, S. 24).

## 4.2 Teilsicherheitskonzept

Die in DIN 4084 berücksichtigte Sicherheitsdefinition geht auf die **Fellenius**-Regel zurück, nach der die Scherfestigkeit des Bodens entsprechend des Ausnutzungsgrades  $\mu$  in Anspruch genommen wird.

Die F. gibt an, wie stark die Scherfestigkeit abnehmen kann, bis die Böschung versagt.

$$\eta = \frac{1}{\mu} = \frac{\text{vorhandene Scherfestigkeit}}{\text{mobilisierte Scherfestigkeit}} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_{\text{mob}}} = \frac{c}{c_{\text{mob}}} \quad \dots \text{ bzw. } \dots \quad \mu = \frac{\tan \varphi_{\text{mob}}}{\tan \varphi} = \frac{c_{\text{mob}}}{c}$$

Die Standsicherheit von Böschungen und Geländesprüngen ist nach EC 7 bzw. DIN 1054:2010 als Nachweis der Gesamtstandsicherheit im Grenzzustand GEO-3 zu führen. Diesen Grenzzustand gibt es nur in der Geotechnik und nicht im sonstigen Ingenieurbau. Hierbei werden die charakteristischen Scherparameter mit den Teilsicherheitsbeiwerten reduziert.

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi \quad \dots \text{ und } \dots \quad c'_d = c'_k / \gamma_c$$

Daraus werden anschließend die geotechnischen Einwirkungen und Widerstände wie z.B. Reibungskräfte, Erddruck und Erdwiderstand ermittelt.

Der Ausnutzungsgrad  $\mu$  kann auch als das Verhältnis des für das Gleichgewicht erforderlichen Bemessungswiderstandes für die untersuchte Situation zum Bemessungswert des vorhandenen maximal möglichen Widerstands definiert werden.

Die Grenzzustandsgleichung für den Nachweis eines Ausnutzungsgrades als Quotient aus dem Bemessungswert der einwirkenden Momente  $E_{M,d}$  und dem Bemessungswert  $R_{M,d}$  der widerstehenden Momente ergibt sich zu

$$E_{M,d} / R_{M,d} = \mu \leq 1$$

Da  $\mu$  dem Mobilisierungsgrad der Scherparameter entspricht, ist die Berechnung von  $R_{M,d}$  abhängig von  $\mu$  und daher eine iterative Berechnung erforderlich.

Der Bemessungswert der Beanspruchungen  $E_{M,d}$  ergibt sich i.W. aus der Eigenlast des Gleitkörpers und ggf. äußeren Lasten auf den Gleitkörper oder infolge Wasserdruk.

Festlegekräfte von vorgespannten Ankern (Abs. 3.6, S. 17) bzw. Zuggliedern werden als Einwirkung angesetzt, wenn sie nicht entgegen der Gleitrichtung wirken.

Die Bemessungswerte dieser Einwirkungen ergeben sich durch Erhöhung mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten (Abs. 3.3, S. 13).

### 4.3 Erdwiderstand

An der unteren Austrittsstelle darf die Gleitlinie nicht steiler sein als die sich aus der Geländeneigung für  $\delta_p = 0$  (Rankine'scher Zustand mit  $\delta = \beta$ ) ergebende Erdwiderstandsgleitfuge. Für horizontales Gelände gilt

$$\vartheta_p = 45^\circ - \varphi/2$$

In diesem Fall sollte von der Stelle an, an der der Gleitflächenwinkel  $\vartheta_i$  gleich dem Winkel  $\vartheta_p$  ist, der Erdwiderstand unter Annahme eines Neigungswinkel von  $\delta_p = 0$  angesetzt werden.

Ist im Eigenschaftsblatt *Allgemeine Einstellungen* (Abs. 3.2.2, S. 11) die Option **Erdwiderstand am Austrittsende automatisch ermitteln** gesetzt, wird die Stelle  $y_{ep}$ , von der an der Erdwiderstand anzusetzen ist, wie folgt berechnet.

$$y_{ep} = y_m - r \cdot (45^\circ - \varphi/2)$$

$y_m$	Gleitkreismittelpunkt
$r$	Gleitkreisradius

Bei der Untersuchung sehr tief liegender Gleitkreise, die vor dem Böschungsfuß oder einer Stützwandkonstruktion austreten, empfiehlt das Beiblatt 1 zu DIN 4084:1981 den Ansatz des Erdwiderstands im Böschungsfuß bzw. direkt vor der Stützkonstruktion.

Durch manuelle Vorgabe der y-Ordinate für den Erdwiderstand im Eigenschaftsblatt *Allgemeine Einstellungen* (Abs. 3.2.2, S. 11) kann diese Empfehlung umgesetzt werden.

Der Erdwiderstand an der maßgebenden Stelle wird unter folgenden Annahmen ermittelt

- Berechnung des Erdwiderstandbeiwerts für den Sonderfall waagerechtes Gelände, senkrechte Wand und keine Wandreibung ( $\alpha = \beta = \delta = 0$ )

$$K_{pgh} = \tan^2(45^\circ + \text{cal } \varphi/2)$$

- der Rechenwert des Reibungswinkels entspricht dem mobilisierten Wert, der sich in Abhängigkeit der Sicherheit ergibt als

$$\text{cal } \varphi = \varphi_{\text{mob}} = \arctan(\tan \varphi / \eta)$$

- Kohäsion wird vernachlässigt

Das resultierende Moment  $M_{Ep}$  bzgl. des Gleitkreismittelpunkts aus Erdwiderstand wird dann bei der Berechnung der Sicherheit bzw. Ausnutzung haltend berücksichtigt.

Die Berechnung des resultierenden Widerstandsmoments erweitert sich dabei wie folgt

$$R_{Md} = r \cdot \sum (T_{Gi} + T_{Pvi}) + M_{Ep}$$

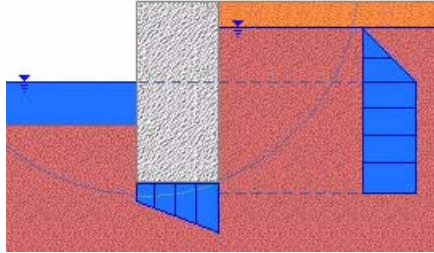
### 4.4 Oberflächen- und Grundwasser

DIN 4084:2009 unterscheidet unter Abschnitt 6 d) zwei Ansätze zur Berücksichtigung der Was-

serlasten. Im Eigenschaftsblatt *Allgemeine Einstellungen* (Abs. 3.2.3, S. 12) kann zwischen diesen beiden Möglichkeiten gewählt werden

- vereinfacht aus der Ortshöhe über der Gleitlinie
- mit **Porenwasserdruck** auf die Gleitfläche

Die folgende Tabelle fasst die Unterschiede bei der Berechnung zusammen.

Ansatz	vereinfacht	mit Porenwasserdruck
Last aus Oberflächen- und Grundwasser	<p>Moment aus horizontaler Wirkung des Wasserdruckunterschieds und Auftriebswirkung aus Sohlwasserdruck auf Baukörper</p> 	<p>Porenwasserdruck <math>u</math> auf die Gleitfläche und Wasserdrücke auf die sonstigen Begrenzungsflächen.</p> <p>Der maßgebende Porenwasserdruck je Lamelle ergibt sich aus der Ortshöhe der Sickerlinie an der maßgebenden <math>y</math>-Ordinate der Lamelle.</p> <p>Diese Vorgehensweise entspricht der Annahme einer waagerechten Strömung.</p>
Gewicht des Bodens oberhalb der Grundwasser- oder Sickerlinie	aus Feuchtwichte $\gamma$	aus Feuchtwichte $\gamma$
Gewicht des Bodens unterhalb der Grundwasser- oder Sickerlinie	aus Wichte des Bodens unter Auftrieb $\gamma'$	aus Wichte des wassergesättigten Bodens $\gamma_r$

### Wirkungsweise eines Grundwasserstauers

Liegt der Fußpunkt einer Lamelle oberhalb des Grundwasserstauers, wird der maßgebende Porenwasserdruck wie beschrieben aus der Drucklinie des Grundwassers bzw. der Ortshöhe der Sickerlinie bestimmt. Liegt der Fußpunkt unterhalb des Grundwasserstauers, ergibt sich der Porenwasserdruck aus dem Wasserdruck unterhalb des Stauers. Liegt der Punkt im Stauer, wird zwischen den beiden Druckniveaus interpoliert.

Ein Grundwasserstauer bzw. **Arteser** kann nur beim Ansatz mit Porenwasserdruck berücksichtigt werden.

## Berücksichtigung von Pfählen

Pfähle haben nur Einfluss auf die Berechnung, wenn sie den Gleitkreis schneiden.

Vom Programm werden zwei Versagensformen untersucht, von denen die mit dem geringeren Widerstand maßgebend wird.

- der Pfahl wird vom Gleitkreis "mitgenommen"; es kommt zum Bruch des Bodens vor dem Pfahl
- der Pfahl erleidet einen Biegebruch

Zur Untersuchung der beiden Fälle wird zunächst der maximal mobilisierbare Erdwiderstand vor dem Pfahl ermittelt, d.h. inklusive Kohäsion und vollem Reibungswinkel.

Wenn vom Anwender im Eigenschaftsblatt *Anker und Pfähle* (Abs. 3.6, S. 17) nicht vorgegeben, wird als wirksame Breite das Maximum aus Achsabstand der Pfähle und drei Pfahldurchmessern angenommen zu

$$b_{\text{eff}} = \max \{a, 3 \cdot b\}$$

Der Erdwiderstandsbeiwert wird für den Rankine'schen Sonderfall berechnet, d.h. Böschungsneigung und Wandreibung werden vernachlässigt

$$\alpha = \beta = \delta = 0.$$

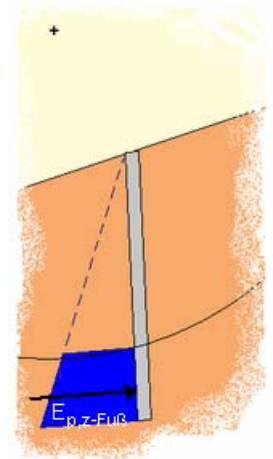
Im ersten Fall ermittelt sich der Widerstand aus dem resultierenden Erdwiderstand, der sich vor dem Pfahl ausbildet, im Bereich vom Schnittpunkt bis zum Pfahlfuß.

$$T_{\text{Pf,Ep}} = E_{\text{p,z-Fuß}} \cdot \cos \alpha_{\text{Pf}} / a \quad \dots \text{ in kN/m} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$E_{\text{p,z-Fuß}}$  res. Erdwiderstand in kN/m

$\alpha_{\text{Pf}}$  Neigungswinkel des Pfahls in °

$a$  Achsabstand in m



Im zweiten Fall wirkt der Pfahl als Dübelelement. Dessen Widerstand wird in Anlehnung an den Vorschlag von Huder (*Stabilisierung von Rutschungen mittels Ankern und Pfählen, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik ETH Zürich, 1983*) ermittelt.

$$T_{\text{Pf,Bruch}} = \sqrt{2 \cdot e_{\text{p,zPf}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot M_{\text{zul}}} \cdot \cos \alpha_{\text{Pf}} / a \quad \dots \text{ in kN/m} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$e_{\text{p,zPf}}$  Erdwiderstand im Schnittpunkt in kN/m<sup>2</sup>

$b_{\text{eff}}$  wirksame Breite in m

$M_{\text{zul}}$  zul. Biegemoment des Pfahls

$\alpha_{\text{Pf}}$  Neigungswinkel des Pfahls in °

$a$  Achsabstand in m

Die Berechnung des resultierenden Widerstandsmoments erweitert sich bei Pfählen, die im untersuchten Gleitkreis wirksam sind, wie folgt

$$R_{\text{Md}} = r \cdot \Sigma (T_{\text{Gi}} + T_{\text{Pvi}} + T_{\text{Pf}})$$

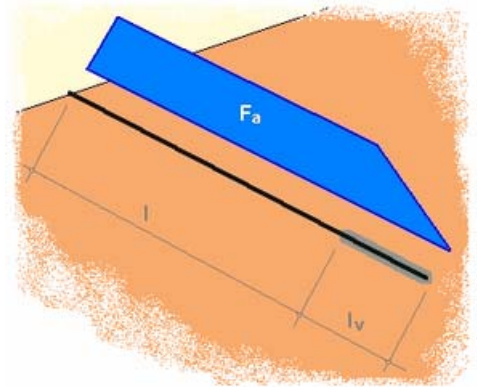
## 4.6

### Berücksichtigung von Ankern

Ankerkräfte werden naturgemäß nur dann berücksichtigt, wenn der Ankerkopf innerhalb des Gleitkörpers und der Ankerfuß außerhalb des Gleitkörpers liegt.

Schneidet der Gleitkreis den Anker im Bereich des Verpresskörpers, wird davon ausgegangen, dass sich die Ankerkraft linear über den Verpresskörper abbaut.

Die wirksame Ankerkraft ergibt sich dann durch Abminderung der Ankerkraft entsprechend der Schnittstelle im Verpresskörper.



Bei der Berechnung von Verpressankern wird immer davon ausgegangen, dass sie vorgespannt sind.

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen alter DIN 4084:1981 und der neuen DIN 4084:2009 ist die Behandlung von Zuggliedern. Im Folgenden wird die Vorgehensweise in Abhängigkeit der eingestellten Norm beschrieben.

#### 4.6.1

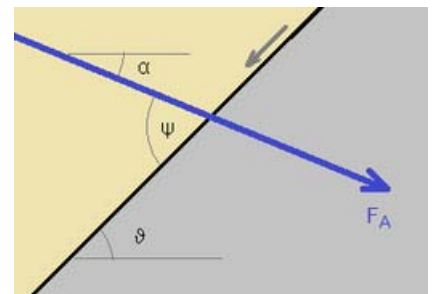
#### Berechnung mit aktueller DIN 4084:2009

Nach DIN 4084:2009, Abs. 7.2.3.4, ist für den Ansatz eines Zugglieds zu unterscheiden, ob es aufgrund seiner Richtung *selbstspannend* oder *nicht selbstspannend* ist.

Dabei gilt ein Zugglied als selbstspannend, wenn es bei der Bewegung des angenommenen Gleitkörpers eine Längung erfährt, da dies zu einer Zunahme der Ankerkraft führt.

Die Unterscheidung, ob ein Anker selbstspannend wirkt, wird in Abhängigkeit des Winkels  $\psi_A (= \alpha + \vartheta)$  zwischen Zuggliedachse und geschnittener Gleitfuge getroffen.

Ist der maximal zulässige Wert  $\psi_A < \max \psi_A$  eingehalten, wird der Anker als selbstspannend angenommen.



Der zulässige  $\max \psi_A$ -Wert ist vom Bodenzustand abhängig und vom Anwender bei Eingabe der Parameter der *Bodenschichten* (Abs. 3.4.1, S. 14) vorzugeben.

#### 4.6.1.1

#### Wirkungsweise eines selbstspannenden Zugglieds

Ein selbstspannendes Zugglied wird ausschließlich auf der Widerstandsseite mit seiner maßgebenden Widerstandskraft berücksichtigt. Die maßgebende Widerstandskraft ergibt sich aus dem Minimum der Bemessungswerte von Herausziehewiderstand und Materialwiderstand.

$$F_{A,d} = \min \{ F_{A,Ra,d}; F_{A,Rt,d} \} = \min \{ F_{A,Ra,k} / \gamma_a; F_{A,Rt,k} / \gamma_M \}$$

Der gleitfugenparallele Anteil der Ankerkraft, die unter dem Winkel  $\alpha$  geneigt ist, erzeugt über den Hebelarm  $r$  ein Moment um den Gleitkreismittelpunkt.

$$M_{A,d} = r \cdot F_{A,d} \cdot \cos \psi_A = F_{A,d} \cdot \cos (\alpha + \vartheta)$$

Die Vertikalkomponente bewirkt in der betroffenen Lamelle analog zu den ständigen Einwirkungen aus Eigengewicht und den vertikalen Einwirkungen (s. *Berechnung* Abs. 4.1, S. 22) eine Erhöhung der Normalkraft in der Gleitfuge, durch die die Reibungskraft in der Gleitfuge erhöht wird.

$$T_{A,i,d} = \frac{\mu \cdot F_{A,d} \cdot \sin \alpha \cdot \tan \varphi_i}{\cos \vartheta_i + \mu \cdot \tan \varphi_i \cdot \sin \vartheta_i}$$

Die Berechnung des resultierenden Moments aus Widerständen ergänzt sich damit wie folgt

$$R_{M,d} = r \cdot \sum (T_{Gi} + T_{Pvi} + T_{A,i,d}) + M_{A,d}$$

#### 4.6.1.2

#### Wirkungsweise eines nicht selbstspannenden Zugglieds

Im Gegensatz zum selbstspannenden Zugglied wirkt das nicht selbstspannende Z. i.W. als Einwirkung und wird nicht mit dem Bemessungswert seiner Widerstandskraft, sondern mit seiner Festlegekraft (bzw. Vorspannkraft)  $F_{A0,d} = F_{A0,k}$  angesetzt.

Der gleitfugenparallele Anteil der Ankerkraft ermittelt sich ebenso wie beim selbstspannenden Zugglied.

$$M_{A0,d} = r \cdot F_{A0,d} \cdot \cos \psi_A = F_{A0,d} \cdot \cos (\alpha + \vartheta)$$

Im Gegensatz zum selbstspannenden Zugglied wird der gleitfugenparallele Anteil jedoch auf der Einwirkungsseite (mit negativem Vorzeichen) berücksichtigt.

$$E_{M,d} = r \cdot \sum ((G_i + P_{d,i}) \cdot \sin \vartheta_i) + \sum M_{s,d} - M_{A0,d}$$

Die Erhöhung der Normalkraft in der Gleitfuge aus der Vertikalkomponente wird wieder ebenso wie beim selbstspannenden Zugglied ermittelt, allerdings ohne Ausnutzungsfaktor mit der vollen Festlegekraft

$$T_{A0,i,d} = \frac{F_{A0,d} \cdot \sin \alpha \cdot \tan \varphi_i}{\cos \vartheta_i + \mu \cdot \tan \varphi_i \cdot \sin \vartheta_i}$$

Die Berechnung des resultierenden Moments aus Widerständen ergänzt sich damit wie folgt

$$R_{M,d} = r \cdot \sum (T_{Gi} + T_{Pvi} + T_{A0,i,d})$$

#### 4.6.2

#### Berechnung nach alter DIN 4084:1981

Ist eine wirksame Ankerkraft vorhanden, beeinflusst diese die Berechnung auf zweierlei Arten.

- aus dem Hebelarm des Ankers zum Gleitkreismittelpunkt ergibt sich ein Moment, das je nach Lage des Ankers positiv oder negativ wirkt. Ein linksdrehendes Moment wirkt haltend, ein rechts drehendes antreibend.

$$M_A = r_A \cdot F_{A,eff}$$

$r_A$  ..... Hebelarm  
 $F_{A,eff}$  wirksame Ankerkraft

- haltende Tangentialkraft in der Gleitfläche, berechnet aus den maßgebenden Reibungs- und Tangentenwinkeln im Schnittpunkt von Anker und Gleitkreis

$$T_A = \frac{F_{A,eff} \cdot \tan \varphi}{\cos \vartheta + 1/\eta \cdot \tan \varphi \cdot \sin \vartheta}$$

$\varphi$  ..... Reibungswinkel  
 $\vartheta$  ..... Tangentenwinkel

Bei Berechnung mit dem Teilsicherheitskonzept (Abs. 4.2, S. 23) wird die Tangentialkraft immer und das Moment nur, wenn es haltend wirkt, mit dem Beiwert  $\gamma_A$  abgemindert.



## **5 Literaturverzeichnis**

### **5.1 aktuelle Normen**

- /1/ DIN EN 1977-1: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013, März 2014
- /2/ DIN EN 1977-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Dezember 2010
- /3/ DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Dezember 2010
- /4/ DIN 1054/A1: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2010; Änderung A1, August 2012
- /5/ DIN 4084: Baugrund, Geländebruchberechnungen, Januar 2009
- /6/ DIN 4084 Beiblatt 1: Baugrund – Geländebruchberechnungen – Beiblatt 1: Berechnungsbeispiele, Juli 2012
- /7/ DIN 4085: Baugrund, Berechnung des Erddrucks, Mai 2011

### **5.2 alte Normen**

- /8/ DIN 1054, Baugrund, Zulässige Belastung des Baugrunds, November 1976
- /9/ DIN 1054, Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Januar 2005
- /10/ DIN 4084, Baugrund, Gelände und Böschungsbruchberechnung, Juli 1981
- /11/ DIN 4084, Beiblatt 1: Erläuterungen, Juli 1981
- /12/ DIN 4084, Beiblatt 2: Berechnungsbeispiele, September 1983

### **5.3 Veröffentlichungen**

- /13/ J. Huder: Stabilisierung von Rutschungen mittels Ankern und Pfählen, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik ETH Zürich, 1983

- ##-QUER 16
- Abkürzungen 2
- Anker 17, 28
- Arteser 15, 26
- Ausgabegestaltung 13
- Baukörper 16
- Bauteil erzeugen 7
- Belastung 18
- Biegemoment 17
- blank 2
- Bodenschichten 14
- Buttons 2, 9
- Cursor 2
- Darstellungsbereich 12
- DIN 1054 10
- DIN EN 1997 10
- Druckausgabe 13
- DTE<sup>®</sup>-Viewer 21
- Eingabeoberfläche 9
- Einwirkung 2
- Einwirkungen 23
- e-Mail 6
- Erdwiderstand 25
- Erdwiderstandsgleitlinie 11
- Extremalbildungsvorschrift 2
- Fangrechteck 2
- Fellenius-Regel 24
- Festlegekraft 17
- Flächenlasten 18
- Geländeaufbau 14
- Gleitkreisvariation 19
- Grundwasser 14, 15, 26
- Grundwasserstauer 26
- Hilfe 21
- Huder 27
- Installation 5
- Iteration 10
- Kohäsion 14
- Kontextsensitivität 6
- Lamelleneinteilung 11
- Lamellenverfahren 23
- Lastbild 2
- Lastfall 2
- Lastkollektiv 2
- Linienlasten 19
- Norm 10
- Oberflächenwasser 15, 26
- Online-Hilfe 21
- Ordner 7
- Pfahl 17, 27
- Porenwasserdruck 26
- Rankine 11
- Reibungswinkel 14
- Scherbeiwerte 14
- Schreibtisch 6
- Schreibtischauswahl 5
- Startsymbol 5
- Steuerbutton 6, 9
- Systemdarstellung 12
- Teilsicherheitskonzept 24
- Verpressanker 28
- Verpressstrecke 17
- Viewer 21
- Vorkonsolidierung 14
- Wasserdruck 12
- Widerstände 23
- Zugglied 28