

# DC-Pfahl

## Inhaltsverzeichnis

Inhalt des Programms DC-Pfahl	2
Vorgehensweise	3
Normdefinition	5
Berechnung nach Eurocode 7	8
Bemessung nach Eurocode 2	12
Bemessung nach Eurocode 3	14
Menü und Bedienelemente	15
Werkzeugleiste	15
Drucken	16
Export	16
Eingabe der Daten	17
Pfahldaten	17
Parameter/Kopf/Fuß	24
Schichtdaten	25
Menü Projekt	29
Name/Norm	29
Menü Start	30
Berechnung	30
Ergebnisse	30
Zeichnen	30
Menü Einstellungen	32
Konfiguration	32
Drucken	32
Berechnung	33
Sonstiges	34
Grundlagen der Berechnung	35
Äußere Tragfähigkeit	35
Innere Tragfähigkeit	37
Querkraftbemessung nach Bender & Mark	39
Stahl - Bemessung nach Eurocode 3	40
Bemessung mit Schöck ComBAR	44
Berechnung von Duktülpfählen	45
Berechnung der Setzung	47
Knicknachweis / Stabilitätsnachweis nach Eurocode 3	48
Bemessung nach ZTV-Lsw bzw. M EBGs-Lsw 2018	51
Dateien für DC-Software	56

## Inhalt des Programms DC-Pfahl

Das Programm DC-Pfahl dient zur Bemessung von Einzelpfählen:

- Nachweis der äußeren Tragfähigkeit über Mantelreibung und evtl. Spitzendruck (Vertikallasten)
- Bei Zugpfählen wahlweise zusätzlich Nachweis des aktivierten Erdkörpers
- Nachweis der äußeren Tragfähigkeit über elastische Bettung, Anpassung an den passiven Erddruck (Horizontallasten)
- Berechnung der vorhandenen Sicherheit mit Bruchwerten oder der zulässigen Last für eine vorgegebene Setzung aus dem Widerstand-Setzungsdiagramm
- Nachweis der inneren Tragfähigkeit über Biege- und Schubbemessung des Kreisquerschnitts, bei rein zentrischer Last auch mit Wahl von Ankerstählen, z.B. Ischebeck Titan.

Es können nachgewiesen werden:

- Bohrpfähle nach Eurocode 7, DIN 1054 mit EA-Pfähle, DIN EN 1536, DIN 4014, SIA 267, ÖNORM B 4440, British Standard BS 8004, wahlweise mit Fußverbreiterung
- Mikropfähle (Verpresspfähle) nach Eurocode 7, DIN 1054 mit EA-Pfähle, DIN 4128, SIA 267, BS 8004 (ohne Spitzendruck)
- Verdrängungspfähle (Rampfpfähle) nach Eurocode 7, DIN 1054 mit EA-Pfähle, DIN 4026, SIA, BS 8004

jeweils als

- Druck- oder Zugpfähle
- senkrechte oder geneigte Pfähle.

Die Bemessung der Pfähle kann erfolgen nach Eurocode 2 (Stahlbeton) oder 3 (Stahl), DIN 1045, DIN 1045-1 oder DIN 18800, SIA 262 oder 263, ÖNORM B 4700, British Standard BS 8110 oder 5950 und indischer Norm IS 456 oder 800.

Der Baugrund kann beliebig geschichtet sein. Für jede Schicht kann die charakteristische Mantelreibung und der char. Spitzendruck sowie der Steifemodul für die Bettung vorgegeben werden.

Für die Belastung sind unterschiedliche Lastfälle mit Belastung horizontal/vertikal oder in Pfahlrichtung sowie Momente möglich.

Die Berechnung der zu erwartenden Setzung mit einer Widerstand-Setzungslinie ist nicht nur gemäß EA-Pfähle für Bohr- und Rampfpfähle, sondern darüber hinaus gehend auch für Mikropfähle gemäß Verfahren Ischebeck möglich.

### Inhalt des Programms DC-Pfahl/Lsw

Das Produkt DC-Pfahl/Lsw dient zur Bemessung von Pfählen in Böschungen, z.B. für die Gründung von Lärmschutzwänden, nach ZTV-Lsw 06 sowie Merkblatt M EBGs-Lsw 2018 gemäß dem Verfahren von Vogt.

Die Berechnung folgt der Veröffentlichung:

Vogt, N.: Vorschlag für die Bemessung der Gründung von Lärmschutzwänden. Geotechnik 11 (1988), Heft 4, Ernst & Sohn, Berlin 1988.

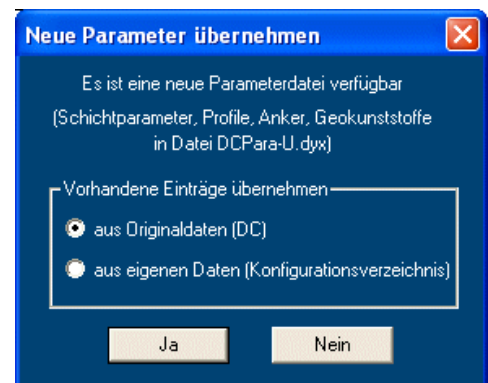
## Vorgehensweise

*Hinweis: Grundsätzliche allgemeine Beschreibungen finden Sie im Dokument [DC-Bedienungsgrundlagen](#).*


### Initialisierung

Beim ersten Öffnen oder Erstellen einer Projektdatei mit einem Programm der Gruppe DC-Grundbaustatik wird das gewünschte (Firmen-) Adressfeld abgefragt. Hier erfolgt auch die Sprachauswahl. Siehe [DC-Bedienungsgrundlagen - Initialisierung](#).

*Hinweis: Wird bei einem Update eine erweiterte Parameterdatei geliefert (die Daten zu Ischebeck-Ankern, aber auch für andere Programme Parametervorschläge für Profile, Anker usw. enthält), bleiben selbst definierte Einträge erhalten. Falls für vorhandene Profile usw. neue Daten zur Verfügung stehen, kann gewählt werden, ob die Werte aus den Originaldaten von DC-Software oder aus den eigenen Daten im Konfigurationsverzeichnis übernommen werden sollen:*



Nach dem Start des Programms DC-Pfahl erstellen Sie zunächst mit

dem Symbol  oder dem Menüpunkt Datei - Neu eine neue Projektdatei oder öffnen eine bereits

vorhandene Datei (z.B. die mitgelieferte Datei Demo) mit  oder Datei - Öffnen.

In einem vorhandenen Projekt können Sie alle Elemente (Pfahl, Schichten, Lasten) durch Doppelklick mit der linken Maustaste bearbeiten. Es wird das entsprechende Dialogfeld angesprungen. Im Folgenden wird die Vorgehensweise beim Erstellen eines neuen Projektes beschrieben.

Beim Erstellen eines neuen Projektes wird zunächst ein Standard-Pfahl dargestellt, dessen Parameter verändert werden können. Die eingestellte Berechnungsnorm kann über den Menüpunkt [Projekt - Name](#) über die Schaltfläche „Berechnungsnorm“ verändert werden. Näheres siehe Kapitel [Normdefinition](#).

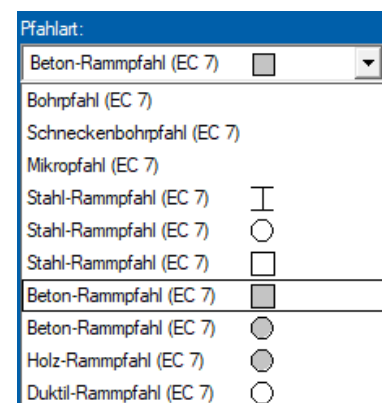
Über die Auswahlliste „Pfahlart“ kann die gewünschte Pfahlart ausgewählt werden: Bohrpfahl, Mikropfahl oder verschiedene Arten von Verdrängungspfählen.

Die Exzentrizität und Schiefstellung nach DIN EN 1536 kann automatisch angesetzt oder ausgeschaltet werden. Über den Durchmesser und die Länge wird die Pfahlgröße bestimmt, wahlweise kann die für die vorhandene Last erforderliche Länge bestimmt werden. Über die Neigung können Schrägpfähle definiert werden. Danach folgen die Materialparameter für Beton und Stahl, die Überdeckung bei Stahlbetonpfählen und die Wichte. Soll das Eigengewicht gemäß DIN 4014 vernachlässigt werden, ist die Wichte zu 0 einzugeben.

Die Belastung kann in unterschiedlichen Lastfällen definiert werden. Über „Neu“ wird ein neuer Lastfall eingetragen, dessen Name im Feld „LF“ verändert werden kann, „Löschen“ löscht den momentan angezeigten Lastfall. Bei Berechnung nach DIN 1054:2010 oder für GEWI-Mikropfähle kann der Lastfalltyp angegeben werden (LF 1, LF 2, LF 3 sowie bei GEWI-Zugpfählen mit Einsatzdauer < 2 Jahre oder doppeltem Korrosionsschutz). Bei Berechnung nach Eurocode 7 wurde der Lastfalltyp ersetzt durch die Bemessungssituationen BS-P, BS-T und BS-A.

Darunter können Kräfte horizontal und vertikal sowie ein Moment eingegeben werden, getrennt als ständige und Verkehrslast. Wahlweise können bei Schrägpfählen die Lasten in Pfahlrichtung und quer dazu eingegeben werden anstatt horizontal und vertikal.

Wichtig: es werden vom Programm keine automatischen Lastfall-Kombinationen vorgenommen. Jeder Lastfall (der einer Lastfall-Kombination entspricht) wird einzeln so berechnet wie eingegeben. Ist also z.B. eine Berechnung mit ständigen Lasten und eine Berechnung mit ständigen + veränderlichen Lasten gewünscht,



dann sind zwei Lastfälle einzugeben: der erste enthält die ständigen Lasten, der zweite die ständigen und die veränderlichen Lasten.

Über die Schaltfläche Parameter/Kopf/Fuß werden verschiedene Parameter definiert wie Fußverbreiterung, Kopf- und Fußfesthaltung sowie Angaben zum Pfahltyp bei Bohrpfählen. Bei Zuggpfählen (nur aktivierbar, wenn eine Vertikallast negativ eingegeben ist) kann auch der aktivierte Erdkörper mit Ausbreitung um  $\phi$  zur Pfahlachse, wahlweise mit Begrenzung des maximalen Durchmessers für Pfahlgruppen, geprüft werden, der evtl. maßgebend wird.


Bei Bohrpfählen und Rammpfählen nach EA-Pfähle stehen zwei Berechnungsarten zur Verfügung:

- Berechnung mit Bruchwerten, d.h. es kann die Bruchlast / Sicherheit aufgebracht werden oder
- Berechnung mit einer zulässigen Setzung, d.h. es kann eine Last ( $<$  Bruchlast) aufgebracht werden, die sich mit der vorgegebenen Setzung aus dem Widerstand-Setzungs-Diagramm ergibt. Für diese Last wird zusätzlich geprüft, ob Bruchlast / Sicherheit eingehalten ist.


Auf der Seite „Schichten“ werden die Schichtparameter eingegeben. Hier ist zu unterscheiden zwischen den verschiedenen Pfahlarten:

- Für Bohrpfähle (und zusätzlich bei Berechnung nach DIN 1054:2010 für Stahlbeton-Verdrängungspfähle in nicht bindigen Böden) wird mit Mantelreibung und Spitzendruck gerechnet. Bei Berechnung mit Bruchwerten ist die Eingabe der beiden Bruchwerte ausreichend. Soll mit vorgegebener Setzung gerechnet werden oder ist das Widerstand-Setzungsdiagramm gewünscht, sind auch die Spitzendruckwerte für Setzungen von 0.02D, 0.03D und 0.10D (bzw. bei ÖNORM B 1997-1-1 sieben Werte) einzugeben. Nach EA-Pfähle gelten für Rammpfähle für den Spitzendruck Werte bei 0.035D und 0.10D und für die Mantelreibung für die Setzung  $sg^*$  und 0.10D. Die von den Normen und von EA-Pfähle vorgeschlagenen Werte stehen zur Auswahl zur Verfügung. Für Zuggpfähle wird kein Spitzendruck angesetzt.
- Für Mikropfähle wird nur die Mantelreibung angesetzt. Spitzendruck steht nicht zur Verfügung.
- Für Rammpfähle (mit Ausnahme der Stahlbeton-Rammpfähle in nicht bindigen Böden bei Berechnung nach DIN 1054:2005) wird nach DIN nicht mit Mantelreibung und Spitzendruck gerechnet, sondern es stehen feste Werte für die zulässigen Lasten in Abhängigkeit von der Pfahlart, Durchmesser und Länge zur Verfügung. Bei Einstellung der Berechnung nach EA-Pfähle in der [Konfiguration](#) erfolgt auch bei Rammpfählen eine Berechnung über Mantelreibung und Spitzendruck.

Für die Abtragung horizontaler Lasten und Momente wird eine Bettung angesetzt, für die der Bettungsmodul  $k_s$  zu  $E_s/D$  angesetzt wird. Zusätzlich werden die Bettungsspannungen an den passiven Erddruck angepasst, d.h. wenn diese den passiven Erddruck überschreiten würden, wird der Bettungsmodul vermindert. Dieser Ansatz ist nur zulässig für eine Kopfverformung von maximal 0.03D bzw. 2 cm, so dass auch diese Bedingung für die erforderliche Pfahllänge erforderlich sein kann.

Über die Schaltfläche „Berechnung“ auf der Seite „Pfahl“, die Taste *F5* oder das Icon  wird die Berechnung gestartet. Eine erforderliche Bewehrung wird unten angegeben, die gewählte Bewehrung kann ausgewählt werden (Durchmesser und Anzahl bzw. Ganghöhe bei Schubbewehrung). Die gewählte Bewehrung wird nur dann vom Programm automatisch verändert, wenn sie nicht ausreichend ist. Sie wird nicht automatisch vermindert, dadurch kann z.B. eine Mindestbewehrung von 8 Stäben eingegeben werden.

Die Berechnungsergebnisse können im rechten Teilfenster betrachtet werden, indem mit den Bild-Tasten (Bild weiter/zurück bzw. *PgDn* / *PgUp*) geblättert wird. Über die [Zoomfunktionen](#) können Bereiche zur besseren Lesbarkeit vergrößert werden.

Über Datei - Drucken oder Symbol  kann der Ausdruck angefordert werden, wobei das Systembild, die Eingabedaten sowie für jeden gewählten Lastfall die Ergebnisse und (bei Bohrpfählen) das Bemessungsdiagramm angefordert werden können.

## Normdefinition

Über Projekt – [Name/Norm](#) und den Button Berechnungsnorm kann die gewünschte Norm für Berechnung und Bemessung eingestellt werden:

**Norm Berechnung/Bemessung** X

Berechnungsnorm:

gew.: Deutschland  
DIN EN 1997-1

Ansatz der Sicherheiten:

Teilsicherheitsbeiwerte  
 Schichtpar. Widerstand  
 Widerstände  
 Einwirkungen

Widerstand-Setzungslinie verwenden (EA-Pfähle)

Gamma global  
 Gamma = 1

Lastfalltypen BS-P/BS-T/BS-A verwenden
  Lastfalltyp BS-T/A verwenden

Sicherheitsbeiwerte Einwirkungen				
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Ständige Lasten NW-V. 2	1.350	1.200	1.100	1.150
Verkehrslasten NW-V. 2	1.500	1.300	1.100	1.200
Ständige Lasten GZ UPL	1.050	1.050	1.000	1.025
Verkehrslasten GZ UPL	1.500	1.300	1.000	1.150
Günstige ständ. Lasten GZ UPL	0.950	0.950	0.950	0.950

Für Einwirkungen:  
 "NW-V.2" entspricht Nachweisverf. 2 oder Nachweisverf. 1, Kombination 1  
 "NW-V.3" entspricht Nachweisverf. 3 oder Nachweisverf. 1, Kombination 2

Sicherheitsbeiwerte Widerstände				
Beiwerte für...	BS-P			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Bohrpfähle				
Schneckenbohrpfähle				
Verdrängungspfähle				
Mikropfähle				
Spitzendruck NW-V. 2	1.400	1.400	1.400	1.400
Mantelreibung Druck NW-V. 2	1.400	1.400	1.400	1.400
Mantelreibung Zug NW-V. 2	1.500	1.500	1.500	1.500
Erdwiderstand NW-V. 2	1.400	1.300	1.200	1.250
Umrechnungsfaktor eta	1.000	1.000	1.000	1.000

Bemessung

DIN 1045 / 18800
  DIN 1045-1 / 18800
  SIA 262 / 263
  ÖNORM B 4700
  BS 8110 / 5950
  IS 456 / 800 (Indien)

gew.: Deutschland  
 DIN EN 1992 / DIN EN 1993

Normen:

- DIN 4014, DIN ISO 1536, DIN 4026, DIN 4128 (bisherige Berechnung mit globalen Sicherheiten)
- DIN 1054:2005 (neue Norm mit Teilsicherheitsbeiwerten) zusammen mit EA-Pfähle
- Eurocode 7 für verschiedene Länder
- SIA 267 (Swisscode mit Teilsicherheitsbeiwerten) für die Schweiz
- ÖNORM B 4440 mit globalen Sicherheiten
- British Standard BS 8004
- Freie Norm-Definitionen

und für die Bemessung

- DIN 1045 und 18800
- DIN 1045-1 und 18800
- Eurocode 2 (Stahlbeton) und Eurocode 3 (Stahl) für verschiedene Länder

- SIA 262 und 263 für die Schweiz
- ÖNORM B 4700 für Österreich
- British Standard BS 8110 und 5950
- Indische Norm IS 456 und 800

Es kann eingestellt werden, ob das Widerstand-Setzungsdiagramm zur Berechnung von Setzungen gemäß EA-Pfähle verwendet werden soll. Hierzu sind bei den Schichten Werte für den Spitzendruck abhängig von der Setzung erforderlich.

Bei der Auswahl der Berechnungsnorm werden die zugehörigen Parameter automatisch eingestellt. Die Vorgehensweise zum Ansatz der Sicherheiten sowie ob drei getrennte Sicherheitsbeiwerte für die Lastfälle LF1, LF2, LF3 und LF2/3 (nach EAB) bzw. Bemessungssituationen BS-P, BS-T, BS-A und BS-T/A zu verwenden sind, werden bei den vorhandenen Normen fest eingestellt und können nicht verändert werden (außer bei den Eurocode-Einstellungen). Die Sicherheitsbeiwerte werden gemäß Norm vorgeschlagen und können wahlweise geändert werden.

Zusätzlich zu den definierten Normen stehen drei Einstellmöglichkeiten für frei definierbare Normen zur Verfügung. Hier können unter beliebigen Namen eigene Einstellungen vorgenommen werden, wobei auch die Vorgehensweisen zum Ansatz der Sicherheitsbeiwerte und der Unterscheidung nach LF1,LF2,LF3,LF2/3 eingestellt werden können. Damit kann auch eine Berechnung nach anderen als den vorgegebenen Normen erfolgen.

Ist die Option „Lastfalltypen LF1/LF2/LF3 verwenden“ und evtl. „LF2/3 verwenden“ (bzw. BS-P/T/A und BS-T/A verwenden) aktiv, dann stehen für jede Art von Sicherheitsbeiwert drei bzw. vier unterschiedliche Werte für die jeweiligen Lastfalltypen zur Verfügung. Welcher Lastfall welchem Typ 1, 2, 3 oder 2/3 bzw. der Bemessungssituation BS-P, T, A oder T/A entspricht, kann bei der Eingabe der Lasten (siehe Kapitel [Pfhldaten](#)) angegeben werden. Ist die Option „Lastfalltypen LF1/LF2/LF3 verwenden“ ausgeschaltet, dann ist für jede Art von Sicherheitsbeiwert ein Wert vorhanden.

Im Einzelnen sind bei den vordefinierten Normen die folgenden Vorgehensweisen eingestellt:

### 1. DIN 4014, DIN ISO 1536, DIN 4026, DIN 4128

Die gesamte Berechnung erfolgt mit globaler Sicherheit, d.h. die Lasten werden ohne Sicherheitsfaktor angesetzt und die Mantelreibung, der Spitzendruck sowie die Materialfestigkeiten für die innere Standsicherheit um die erforderliche Sicherheit vermindert.

### 2. DIN 1054:2005

Die DIN 1054 unterscheidet vier Grenzzustände:

- GZ 1A = Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit
- GZ 1B = Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen
- GZ 1C = Grenzzustand des Versagens der Gesamtstandsicherheit
- GZ 2 = Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für die Bemessung von Pfählen sind je nach Art und Belastung alle Grenzzustände zu verwenden:

- Für die äußere Standsicherheit (Mantelreibung + Spitzendruck) ist der Grenzzustand GZ 1B maßgebend.
- Die Bemessung der inneren Standsicherheit ist ebenfalls im GZ 1B nachzuweisen.
- Die Adaption der horizontalen Bettung an den passiven Erddruck ist mit charakteristischen Werten durchzuführen.
- Der Nachweis des Gesamt-Erddrucks als Auflagerkraft wird im GZ 1B nachgewiesen.
- Für das Widerstand-Setzungs-Diagramm sowie die Berechnung der Setzung bzw. der zulässigen Last für eine vorgegebene Setzung wird charakteristisch (d.h. mit Sicherheiten 1.0) gerechnet.
- Bei Zugpfählen wird der Nachweis des aktivierten Erdkörpers im GZ 1A durchgeführt.

- Für den Nachweis der zulässigen Lasten bei Verdrängungspfählen (außer Stahlbeton-Verdrängungspfähle in nichtbindigen Böden, die nun ebenfalls mit Mantelreibung und Spitzendruck zu berechnen sind) wird der GZ 2 verwendet (siehe DIN 1054 Anhang C).

Nach DIN 1054:2005 sind die Lastfalltypen LF1/LF2/LF3 zu verwenden:

- LF 1 = maßgebend für alle ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen, außer Bauzustände
- LF2 = vorübergehende Beanspruchungen der Gründung in Bauzuständen
- LF3 = außergewöhnliche Bemessungssituationen
- LF2/3 = Zwischenzustand gemäß EAB.

### 3. SIA 267 (Swisscode)

In der SIA sind die Grenzzustände (bei sonst gleicher Bedeutung) als GZ Typ 1, GZ Typ 2, GZ Typ 3 und GZ der Gebrauchstauglichkeit bezeichnet.

Mangels genauerer Festlegungen in SIA 267 werden die Grenzzustände analog DIN 1054 angesetzt (s.o.) mit entsprechender Bezeichnung der Grenzzustände.

### 4. ÖNORM

Die ÖNORM B 4440 arbeitet mit globalen Sicherheiten analog DIN 4014. Die Berechnung nach ÖNORM B 1997-1-1 steht als Eurocode 7 für Österreich zur Verfügung.

### 5. British Standard BS 8004

BS 8004 gibt in Kap. 7.3.8 an, dass ein geeigneter Sicherheitsfaktor zwischen 2 und 3 liegen sollte, zu verstehen als globale Sicherheit. Gleichzeitig sind für die Stahlbetonbemessung nach BS 8110 aber Teilsicherheitsbeiwerte von 1.40 für ständige und 1.60 für Verkehrslasten anzusetzen. In der Normeinstellung wird daher für die Pfahlwiderstände ein Teilsicherheitsbeiwert von 1.50 vorgeschlagen, so dass sich die gesamte Sicherheit bei allen Lastkombinationen zwischen 2 und 3 bewegt.

### 6. Eurocode 7

Für die Berechnung nach Eurocode 7 stehen eine Reihe von Nationalen Anhängen (Stand 2012: für Deutschland, Österreich, Frankreich, Großbritannien, Italien und Spanien) fest vordefiniert zur Verfügung. Über freie Einstellungen kann eine Definition für jedes Land erfolgen.

Näheres siehe Kapitel "[Berechnung nach Eurocode 7](#)".

### Sicherheitsbeiwerte

Folgende Sicherheitsbeiwerte stehen zur Verfügung:

- Ständige Lasten für GZ 1B und 1A bzw. Typ 2 und Typ 1
- Verkehrslasten für GZ 1B und 1A bzw. Typ 2 und 1 (veränderliche Einwirkungen)
- Pfahlwiderstand für Druck und Zug nach GZ 1B bzw. Typ 2
- Erdwiderstand für den Nachweis des Erdauflegers nach GZ 1B bzw. Typ 2
- Umrechnungsfaktor  $\eta$  speziell für SIA 267

### Bemessung

Die gewünschte Norm für die Bemessung kann unabhängig von der für die Berechnung eingestellt werden. So ist z.B. bei Berechnung nach bisheriger DIN 4014 (globale Sicherheit) die Stahlbetonbemessung nach DIN 1045-1 möglich, indem dort die Schnittgrößen um einen Standardfaktor 1.35 erhöht werden.

Bei Berechnung nach Eurocode 7, DIN 1054:2005, SIA 267 oder BS 8004 sind die Schnittgrößen bereits einschl. Sicherheiten vorhanden, so dass die zugehörige Bemessung nach Eurocode 2 oder 3, DIN 1045-1 oder 18800, SIA 262 oder 263, ÖNORM B 4700, BS 8110 oder 5950 und IS 456 oder 800 direkt erfolgen kann. Die

einzigste nicht wählbare Kombination ist, da sie nicht sinnvoll ist, die Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten und die Bemessung nach „alter“ DIN 1045.

## Ausgabe

In der Ergebnisausgabe in Textform werden bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten die folgenden Informationen aufgeführt:

- Verwendete Norm
- Lastfalltypen LF1,LF2,LF3,LF2/3 bzw. Bemessungssituation BS-P,T,A,T/A, falls verwendet
- Tabelle der verwendeten Sicherheitsbeiwerte mit Erläuterung
- Angesetzter Grenzzustand für die verschiedenen Nachweise.

In der Grafikausgabe sind die Schnittgrößen charakteristisch dargestellt, passend zur an den Erdwiderstand angepassten Bettung und der Verformung.

Wegen der unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte für ständige und Verkehrslasten wird, da die DIN 1054 die Berechnung mit charakteristischen Lasten und die Einrechnung der Sicherheiten erst auf die Beanspruchungen empfiehlt, mit folgendem Vorgehen gearbeitet:

es wird eine Berechnung nur mit ständigen Lasten durchgeführt sowie eine Berechnung mit vollen Lasten. Auf die Schnittgrößen mit ständigen Lasten wird die Sicherheit für ständige Lasten eingerechnet, auf die Differenz zu den Schnittgrößen mit allen Lasten die Sicherheit für Verkehrslasten. Damit können die unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte korrekt berücksichtigt werden.

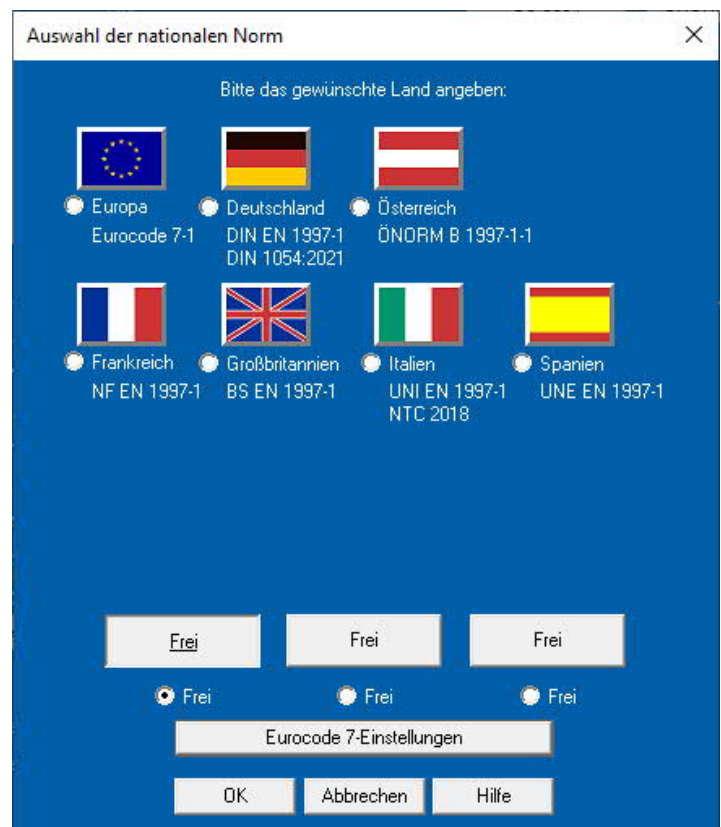
## Berechnung nach Eurocode 7

Im Normdialog wird die Auswahl des Eurocode 7 mit allen drei Nachweisverfahren unterstützt.

Bei Wahl von „Eurocode 7“ werden die direkt mit ihrem Nationalen Anhang unterstützten Länder angezeigt sowie die Möglichkeit der freien Einstellung. Mit Stand 2012 stehen zur Verfügung:

- Europa mit den empfohlenen Werten
- Deutschland (DIN EN 1997-1 mit DIN 1045:2010)
- Österreich (ÖNORM B 1997-1-1)
- Frankreich (NF EN 1997-1)
- Großbritannien (BS EN 1997-1)
- Italien (UNI EN 1997-1 mit NTC 2008)
- Spanien (UNE EN 1997-1 mit DB SE-C)

Durch Klicken auf eine Flagge werden die Ländereinstellungen aktiviert und der Dialog wieder verlassen (Ausnahme: Freie Normeinstellung). Wird noch mal „Eurocode 7“ aufgerufen und die Schaltfläche „Eurocode-Einstellungen“ gewählt, dann können die Einstellungen gemäß Eurocode und der Nationalen Anhänge im Detail eingesehen und soweit zulässig auch verändert werden.



Eurocode 7

Pfahlgründung (GEO) | Schnittgrößen (STR) | Aufschwimmen (UPL)

Nachweisverfahren 1   
 Nachweisverfahren 2   
 Nachweisverfahren 3   
 Freie Einstellung

Kombination 1   
 Kombination 2

A1     M1     R1     BS-P,T,A verwenden  
 A2     M2     R2     BS-T/A (EAB) verwenden  
 R3  
 R4

**Tabelle A.3 - Einwirkungen**

	Beiwerte A1				Beiwerte A2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Ungünstige ständige Einwirkungen: gamma G	1.350	1.200	1.100	1.150	1.000	1.000	1.000	1.000
Ung. ständ. Einwirkungen Ruhedruck: gamma E0,G	1.200	1.100	1.000	1.050	1.000	1.000	1.000	1.000
Günstige ständige Einwirkungen: gamma G	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Ungünstige veränderliche Einwirkungen: gamma Q	1.500	1.300	1.100	1.200	1.300	1.200	1.000	1.100
Günstige veränderliche Einwirkungen: gamma Q	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Tabelle A.4 - Bodenkenngrößen**

	Beiwerte M1				Beiwerte M2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Wirksamer Reibungswinkel tan(phi): gamma phi'	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Wirksame Kohäsion c': gamma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Kohäsion undrännert cu: gamma cu	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Wichte: gamma, gamma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**Tabelle A.6-A.8 - Pfahlwiderstände**

Beiwerte für...  Bohrpfähle     Schneckenbohrpfähle     Verdrängungspfähle     Mikropfähle  
(einschl. Modellfaktor nach 7.3.2.1/A.1)

	Beiwerte R1				Beiwerte R2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Spitzendruck: gamma b	1.250	1.250	1.250	1.250	1.400	1.400	1.400	1.400
Mantelreibung Druck: gamma s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.400	1.400	1.400	1.400
Mantelreibung Zug: gamma st	1.250	1.250	1.250	1.250	1.500	1.500	1.500	1.500

	Beiwerte R3				Beiwerte R4			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Spitzendruck: gamma b	1.000	1.000	1.000	1.000	1.600	1.600	1.600	1.600
Mantelreibung Druck: gamma s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.300	1.300	1.300
Mantelreibung Zug: gamma st	1.100	1.100	1.100	1.100	1.600	1.600	1.600	1.600

OK    Abbrechen    Übernehmen    Hilfe

Für die äußere Standsicherheit axial belasteter Pfähle sind Sicherheitsbeiwerte für Mantelreibung und Spitzendruck definiert. Hierfür sind vier Tabellen R1 bis R4 verfügbar, zusätzlich unterschieden für die Pfahlarten Bohrpfähle, Schneckenbohrpfähle, Verdrängungspfähle und Mikropfähle (Anmerkung: im Eurocode 7 sind Mikropfähle nicht aufgeführt. Wir verwenden hierfür die Sicherheitsbeiwerte wie bei Bohrpfählen).

Je nach Auswahl der Pfahlart im Kasten „Pfahlwiderstände“ können die Sicherheitsbeiwerte für jede Art von Pfahl definiert werden.

Hinweis: die eingetragenen Sicherheitsbeiwerte für Widerstände sind auf der sicheren Seite liegend die für Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten. Bei Pfahlwiderständen aus Probelastungen können niedrigere Sicherheitsbeiwerte angesetzt werden. Die hier verwendeten Sicherheitsbeiwerte enthalten bereits ggf. erforderliche Modellfaktoren, die z.B. nach ÖNORM B 1997-1-1 getrennt ausgewiesen sind. Nach DIN 1054:2010 sind nach 7.6.2.3 (8) und 7.6.3.3 (6) die Modellfaktoren  $\eta_E$  bereits in die Sicherheitsbeiwerte  $\gamma_b$ ,  $\gamma_s$  und  $\gamma_t$  eingerechnet. Der Modellfaktor  $\eta_M$  für Zug-Mikropfähle nach 7.6.3.2 (3c) ist aber noch einzurechnen. In den Werten in DC-Pfahl ist dieser Faktor 1.25 schon enthalten, so dass für Mikropfähle bei Zug der Sicherheitsbeiwert 1.875 anstatt 1.50 beträgt.

Es steht eine Dialogseite für jede Art von Nachweis zur Verfügung:

Eurocode 7

Pfahlgründung (GEO) | Schnittgrößen (STR) | Aufschwimmen (UPL)

Nachweisverfahren 1    
 Nachweisverfahren 2    
 Nachweisverfahren 3    
 Freie Einstellung

Kombination 1    
 Kombination 2

A1     M1     R1     BS-P,T,A verwenden  
 A2     M2     R2     BS-T/A (EAB) verwenden  
 R3  
 R4

A1     M1     R1  
 A2     M2     R2  
 R3  
 R4

Tabelle A.3 - Einwirkungen

	Beiwerte A1				Beiwerte A2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Ungünstige ständige Einwirkungen: gamma G	1.350	1.200	1.100	1.150	1.000	1.000	1.000	1.000
Ung. ständ. Einwirkungen Ruhedruck: gamma E0,G	1.200	1.100	1.000	1.050	1.000	1.000	1.000	1.000
Günstige ständige Einwirkungen: gamma G	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Ungünstige veränderliche Einwirkungen: gamma Q	1.500	1.300	1.100	1.200	1.300	1.200	1.000	1.100
Günstige veränderliche Einwirkungen: gamma Q	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabelle A.4 - Bodenkenngößen

	Beiwerte M1				Beiwerte M2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Wirksamer Reibungswinkel tan(phi): gamma phi*	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Wirksame Kohäsion c': gamma c'	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Kohäsion undränert cu: gamma cu	1.000	1.000	1.000	1.000	1.250	1.150	1.100	1.125
Wichte: gamma, gamma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabelle A.13 - Widerstände

	Beiwerte R1				Beiwerte R2			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Erdwiderstand: gamma R,e	1.000	1.000	1.000	1.000	1.400	1.300	1.200	1.250

	Beiwerte R3				Beiwerte R4 (entspr. R1)			
	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Erdwiderstand: gamma R,e	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Spitzendruck / Mantelreibung

OK    Abbrechen    Übernehmen    Hilfe

Auf dieser Seite ist zu erkennen, dass das Nachweisverfahren 2 aus einer Kombination von Sicherheitswerten der Gruppe A1 für Einwirkungen, M1 für Materialien (Schichtbeiwerte) und R2 für Widerstände besteht. Es werden also Sicherheitsbeiwerte  $> 1$  für Einwirkungen und für Widerstände (passiver Erddruck) angesetzt. Diese von der Norm vorgegebenen Einstellungen sind inaktiv und können nicht geändert werden. Bei deutscher Norm ist rechts zusätzlich angewählt, dass die drei Bemessungssituationen BS-P (permanent), BS-T (temporär) und BS-A (außergewöhnlich) nach DIN 1045:2010 sowie BS-T/A als Zwischenwert nach EAB 2006 mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten zu unterscheiden sind. Für jeden Lastfall kann angegeben werden, um welche Bemessungssituation es sich handelt.

Für die Einstellung Großbritannien ist z.B. für die Schnittgrößen das Nachweisverfahren 1 zu wählen.

Das Nachweisverfahren 1 besteht aus zwei Kombinationen von Sicherheitsbeiwerten: in der Kombination 1 sind die Sicherheiten A1 + M1 + R1 anzusetzen (Sicherheiten  $> 1$  nur auf die Einwirkungen), in der Kombination 2 die Sicherheiten A2 + M1 + R1 (Sicherheiten  $> 1$  nur auf veränderliche Einwirkungen). Die ungünstigere der beiden Kombinationen ist maßgebend. Die Bemessungssituationen BS-P, BS-T, BS-A und BS-T/A werden gemäß British Standard nicht verwendet.

Bei der italienischen Norm steht teilweise gemäß NTC-2008 die Auswahl zwischen den Nachweisverfahren 1 und 2 zur Verfügung, deshalb kann bei Einstellung auf Italien zwischen diesen beiden Verfahren gewählt

werden. Zusätzlich ist zu beachten, dass hier die Definition der Nachweisverfahren etwas anders angegeben wurde, z.B. nur Berechnung einer Kombination im Nachweisverfahren 1 oder dass das Nachweisverfahren 2 aus A1 + M1 + R3 (anstatt R2) besteht.

Für die Pfahlschnittgrößen werden bestimmt:

- Normalkräfte aus Vertikallasten, mit Widerständen Mantelreibung und Spitzendruck
- Querkräfte und Momente aus Horizontallasten und Momenten, mit Erdwiderstand aus elastischer Bettung.

Bei axial belasteten Pfählen besteht für das Nachweisverfahren 1 die Kombination 2 aus den Sicherheitsbeiwerten A2 + M1 + R4. Die Tabelle R4 ist jedoch nur für Mantelreibung und Spitzendruck verfügbar. Für den Erdwiderstand gibt es nur die Tabellen R1 bis R3. Da für die Berechnung der Schnittgrößen sowohl Mantelreibung und Spitzendruck als auch Erdwiderstand benötigt werden, haben wir für den Erdwiderstand eine Tabelle R4 eingeführt, die die gleichen Werte enthält wie R1. Damit kann für die Schnittgrößen im Nachweisverfahren 1 die Tabelle R4 eingestellt werden und für die Querbewertung werden die Sicherheitsbeiwerte der Tabelle R1 verwendet.

Der Nachweis für den aktivierten Erdkörper bei Zugpfählen ist nach Eurocode 7, 7.6.3.1, im Grenzzustand Aufschwimmen (UPL), nicht als EQU, nachzuweisen

**Eurocode 7** ✕

Pfahlgründung (GEO) | **Schnittgrößen (STR)** | Aufschwimmen (UPL)

---

**Tabelle A.15 - Einwirkungen**

	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Ungünstige ständige Einwirkungen: gamma G,dst	1.050	1.050	1.000	1.025
Günstige ständige Einwirkungen: gamma G,stab	0.950	0.950	0.950	0.950
Ungünstige veränderliche Einwirkungen: gamma Q,dst	1.500	1.300	1.000	1.150

BS-P,T,A verwenden  
 BS-T/A (EAB) verwenden

---

**Tabelle A.16 - Bodenkenngrößen und Widerstände**

	BS-P	BS-T	BS-A	BS-T/A
Wirksamer Scherwinkel tan(phi)': gamma phi'	1.000	1.000	1.000	1.000
Wirksame Kohäsion c': gamma c'	1.000	1.000	1.000	1.000
Scherfestigkeit undrännert cu: gamma cu	1.000	1.000	1.000	1.000
Pfahl-Zugwiderstand: gamma st	1.400	1.400	1.400	1.400
Verankerungswiderstand: gamma a	1.100	1.100	1.100	1.100

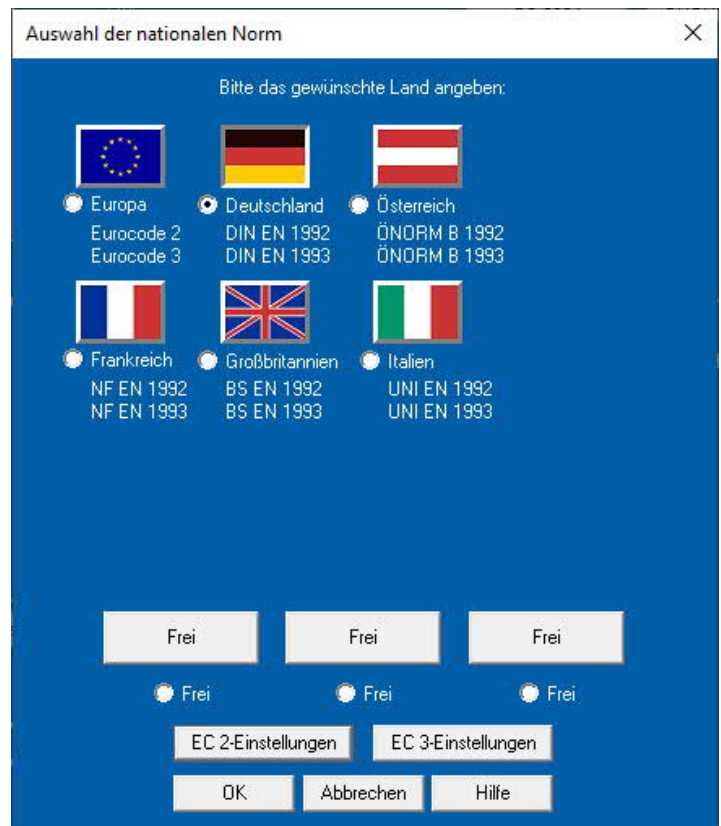
## Bemessung nach Eurocode 2

Im Normdialog wird für die Bemessung die Auswahl des Eurocode 2 zur Bemessung von Stahlbetonpfählen mit allen benötigten national definierbaren Parametern (NDPs) unterstützt.

Bei Wahl von „Eurocode 2/3“ werden die direkt mit ihrem Nationalen Anhang unterstützten Länder angezeigt sowie die Möglichkeit der freien Einstellung. Mit Stand 2012 stehen zur Verfügung:

- Europa mit den empfohlenen Werten
- Deutschland (DIN EN 1992 und 1993)
- Österreich (ÖNORM B 1992-1-1 und 1993-1-1)
- Frankreich (NF EN 1992-1 und 1993-1)
- Großbritannien (BS EN 1992-1 und 1993-1)
- Italien (UNI EN 1992-1 und 1993-1)

Durch Klicken auf eine Flagge werden die Ländereinstellungen aktiviert und der Dialog wieder verlassen. Wird noch mal „Eurocode 2“ aufgerufen und die Schaltfläche „EC 2-Einstellungen“ gewählt, dann können die Einstellungen der national definierbaren Parameter gemäß Eurocode und der Nationalen Anhänge im Detail eingesehen und eingestellt werden.



Es steht eine Dialogseite für jede Art von Nachweis zur Verfügung: Allgemeines zur Bemessung und Querkraftbemessung. Bei Auswahl eines Landes werden alle Parameter automatisch gemäß dem Nationalen Anhang eingestellt. Eine Bearbeitung der Einstellungen ist nur erforderlich für spezielle Fälle oder um die Bemessung für ein anderes Land zu definieren.

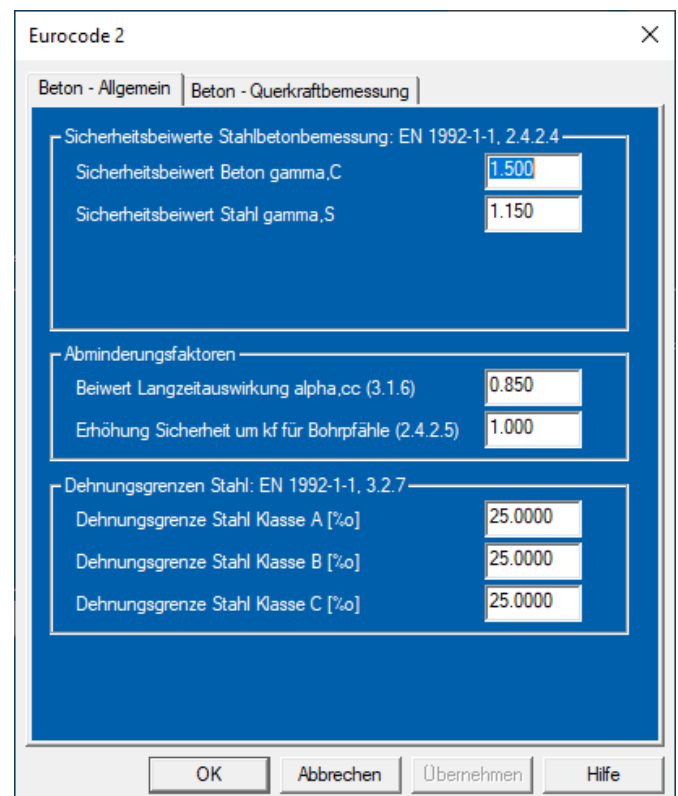
### Beton – Allgemein

Für die Stahlbetonbemessung können die Sicherheitsbeiwerte für Beton  $\gamma_c$  und für Betonstahl  $\gamma_s$  definiert werden. Diese sind im Eurocode 2 in Kapitel 2.4.2.4 (1) in Tabelle 2.1 definiert. Die empfohlenen Werte sind 1.50 für Beton und 1.15 für Betonstahl. In den Nationalen Anhängen für Deutschland, Österreich, Frankreich, Großbritannien und Italien wurden diese Werte übernommen.

Für Ortbeton-Bohrpfähle ist gemäß 2.4.2.5 (2) der Sicherheitsbeiwert für Beton zu erhöhen. Empfohlen wird ein Beiwert  $k_f$  von 1.1. Nach den Nationalen Anhängen für Deutschland, Österreich, Großbritannien und Italien kann ein Faktor von 1.0 verwendet werden, für Frankreich wird der Beiwert in einer Nationalen Norm festgelegt.

Der Beiwert  $\alpha_{cc}$  für die Langzeitauswirkung auf die Betonfestigkeit ist in Abschnitt 3.1.6 (1) definiert. Er wird verwendet für die Bestimmung des Bemessungswertes der Betonfestigkeit mit

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$



Der empfohlene Wert beträgt 1.0. Im Nationalen Anhang für Deutschland, Großbritannien und Italien ist der Wert mit 0.85 festgelegt. Für Österreich und Frankreich wurde der empfohlene Wert übernommen.

Die Dehnungsgrenze  $\epsilon_{ud}$  des Betonstahls ist in Abschnitt 3.2.7 (2) und Bild 3.8 definiert. Im Eurocode 2 ist dafür  $0.9 \cdot \epsilon_{uk}$  empfohlen mit Werten für die drei Stahlklassen A, B und C gemäß Tabelle C.1 im Anhang C. Aus den Werten 2.5, 5.0 und 7.5% für  $\epsilon_{uk}$  ergeben sich Dehnungsgrenzen  $\epsilon_{ud}$  von 22.5, 45.0 und 67.5%. Nach dem Nationalen Anhang für Deutschland ist für alle Stahlklassen eine Dehnungsgrenze von 22.5% zulässig, für Österreich, Frankreich, Großbritannien und Italien wurden die empfohlenen Werte übernommen.

## Beton – Querkraftbemessung

Die Querkraftbemessung ist im Eurocode 2 im Kapitel 6.2 beschrieben.

Der Bemessungswert für den Querkraftwiderstand ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung  $V_{Rd,c}$  ist in Abschnitt 6.2.2 (1) definiert mit

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

mit einem Mindestwert von

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

In diesen Formeln dürfen die Werte  $C_{Rd,c}$  und  $k_1$  sowie die Bestimmung von  $v_{min}$  im Nationalen Anhang fest gelegt werden.

Für  $C_{Rd,c}$  wird ein Wert von  $0.18/\gamma_C$  empfohlen. Dieser ist im Nationalen Anhang für Deutschland mit  $0.15/\gamma_C$  fest gelegt, für Österreich, Frankreich, Großbritannien und Italien wird der empfohlene Wert übernommen.

Für den Beiwert  $k_1$  ist der empfohlene Wert 0.15, nach dem Nationalen Anhang für Deutschland beträgt der Wert 0.12, in den anderen Anhängen wird der empfohlene Wert 0.15 verwendet.

Zur Bestimmung von  $v_{min}$  wird die Formel (6.3) empfohlen:

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

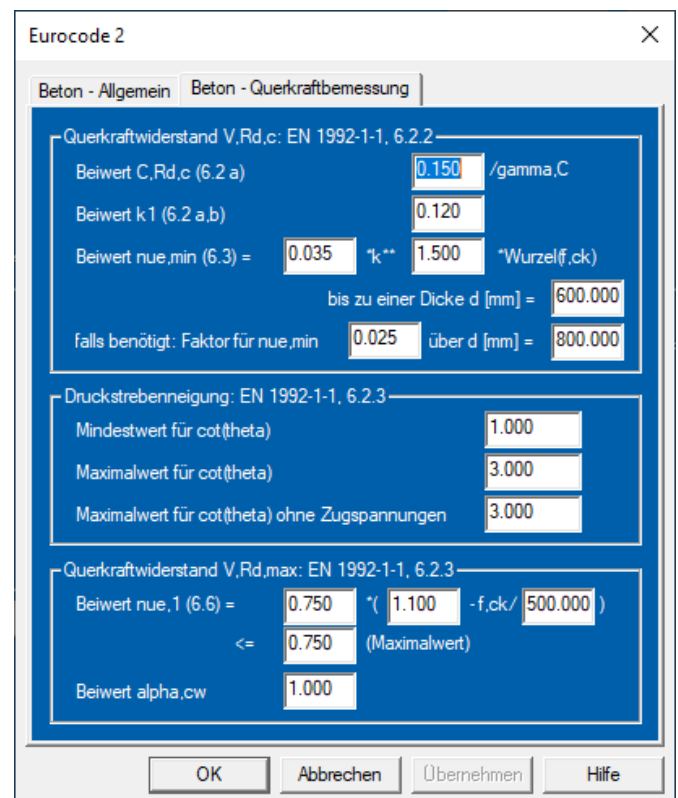
mit einem Wert k von

$$k = 1 + \sqrt{(200 / d)} \leq 2,0$$

Für die Formel (6.3) kann der Faktor (z.B. 0.035) und die Hochzahl für k (z.B.  $3/2 = 1.5$ ) eingestellt werden. Im deutschen Nationalen Anhang gilt die Sonderregelung, dass diese Werte nur bis zu einer Bauteildicke von 600 mm zulässig sind. Über einer Dicke von 800 mm ist ein Faktor 0.025 anstatt 0.035 zu verwenden. Dazwischen ist linear zu interpolieren.

Diese Werte können als „bis zu einer Dicke d[mm]“ (z.B. 600) und „Faktor für  $v_{min}$ “ (z.B. 0.025) „über d[mm]“ (z.B. 800) eingestellt werden. Ist diese Unterscheidung nicht notwendig, wie in den anderen Nationalen Anhängen, kann bei „bis zu einer Dicke“ ein sehr großer Wert wie z.B. 99999 eingetragen werden.

Für den Ansatz der Druckstrebenneigung  $\theta$  sind Grenzen im Abschnitt 6.2.3 (2) fest gelegt. Es wird ein Mindestwert und ein Maximalwert für  $\cot\theta$  angegeben. Empfohlen sind die Grenzwerte 1 und 2.5, was die Neigung  $\theta$  zwischen  $45^\circ$  und  $21.8^\circ$  begrenzt. Im Nationalen Anhang für Deutschland ist die Obergrenze von  $\cot\theta = 3$ , entsprechend einer Druckstrebenneigung von  $18.4^\circ$ . Für Österreich ist eine Untergrenze von  $\tan\theta = 0.6$  fest gelegt, entsprechend einer Obergrenze für  $\cot\theta = 1.667$  oder  $\theta = 30.96^\circ$ . Frankreich, Großbritannien und Italien haben die empfohlenen Werte übernommen.



Die zusätzliche Begrenzung von  $\cot\theta$  im deutschen Nationalen Anhang gemäß Formel (NA.6.7a) ist durch diese Einstellungen nicht darstellbar und im Programm direkt enthalten.

Der maximal mögliche Querkraftwiderstand  $V_{Rd,max}$  ist in Abschnitt 6.2.3 (3) definiert zu

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

Hier dürfen die beiden Werte  $\alpha_{cw}$  und  $v_1$  im Nationalen Anhang fest gelegt werden. Für  $\alpha_{cw}$  ist der empfohlene Wert 1.0, der in den Nationalen Anhängen von Deutschland, Österreich, Frankreich, Großbritannien und Italien übernommen wurde. Für  $v_1$  wird die Formel (6.6) für  $v$  empfohlen mit

$$v = 0,6(1 - f_{ck} / 250)$$

Der Faktor (hier 0.6) sowie der konstante Wert (hier 1) und der Divisor (hier 250) in der Klammer können eingestellt werden. Zusätzlich ist ein Maximalwert für  $v_1$  möglich.

Im Nationalen Anhang für Deutschland ist die Formel mit  $0.75 \cdot (1.1 - f_{ck}/500)$  fest gelegt sowie ein Grenzwert von 0.75 (aus  $v_1 = 0.75 \cdot v_2$  mit  $v_2 \leq 1.0$ ). Die Nationalen Anhänge für Österreich, Frankreich und Großbritannien haben die vorgeschlagenen Werte übernommen, wobei für Großbritannien noch ein Faktor in Abhängigkeit von der Neigung der Querkraftbewehrung  $\alpha$  gilt, der hier mit 1.0 für  $\alpha = 90^\circ$  verwendet wird.

### Beton – Mindest-/Höchstbewehrung

Die Mindestbewehrung für Bohrpfähle richtet sich nach DIN EN 1536 und ist für alle Nationalen Anhänge gleich, deshalb nicht eigens einzustellen.

## Bemessung nach Eurocode 3

Im Normdialog wird für die Bemessung von Stahlpfehlen die Auswahl des Eurocode 3 mit allen benötigten national definierbaren Parametern (NDPs) unterstützt.

Bei Wahl von „Eurocode 2/3“ werden die direkt mit ihrem Nationalen Anhang unterstützten Länder angezeigt sowie die Möglichkeit der freien Einstellung. Siehe auch Kapitel ["Bemessung nach Eurocode 2"](#).

Durch Klicken auf eine Flagge werden die Ländereinstellungen aktiviert und der Dialog wieder verlassen. Wird noch mal „Eurocode 2“ aufgerufen und die Schaltfläche „EC 2-Einstellungen“ gewählt, dann können die Einstellungen der national definierbaren Parameter gemäß Eurocode und der Nationalen Anhänge im Detail eingesehen und eingestellt werden.

Es steht eine Dialogseite für Allgemeines zur Bemessung zur Verfügung. Bei Auswahl eines Landes werden alle Parameter automatisch gemäß dem Nationalen Anhang eingestellt. Eine Bearbeitung der Einstellungen ist nur erforderlich für spezielle Fälle oder um die Bemessung für ein anderes Land zu definieren.

### Stahl – Allgemein

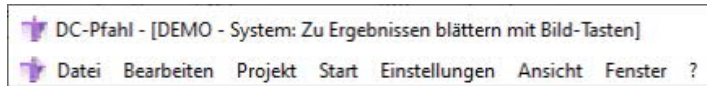
Für die Stahlbemessung kann der Material-Sicherheitsbeiwert  $\gamma_{M0}$  für den Stahl definiert werden

- für Stahlbemessung nach Eurocode 3-1-1, Abschnitt 6.1
- für die Bemessung von Pfehlen und Spundwänden nach Eurocode 3-5, Abschnitt 5.1.1

Die empfohlenen Werte sind 1.0, im Nationalen Anhang für Italien ist ein Wert von 1.05 fest gelegt.

## Menü und Bedienelemente

Das Menü am oberen Rand des Bildschirms enthält die Funktionen des Programms. Klicken Sie auf einen Menüpunkt, um das entsprechende Menü zu erreichen.



## Werkzeugleiste

Die Werkzeugleiste enthält Schaltflächen (Icons), mit denen die wichtigsten Funktionen des Programms DC-Pfahl gestartet werden können.



In der Koordinatenanzeige  der Werkzeugleiste werden die aktuellen Koordinaten der Cursorposition angezeigt. Ist ein [Raster](#) aktiv, dann werden nur auf den Rasterabstand gerundete Koordinaten angezeigt.

Folgende Funktionen stehen zur Verfügung:

	<a href="#">Datei neu</a>	Erstellen einer neuen Projektdatei
	<a href="#">Datei öffnen</a>	Öffnen einer vorhandenen Projektdatei
	<a href="#">Datei speichern</a>	Speichern der aktuellen Projektdatei
	<a href="#">Berechnen</a>	Berechnen des aktuellen Projektes
	<a href="#">Ergebnisse</a>	Anzeige der Ergebnisse
	<a href="#">Drucken</a>	Drucken von System- und/oder Ergebnisgrafik
	<a href="#">Seitenansicht</a>	Anzeige der Grafik in einer Druckvorschau
	<a href="#">Export RTF</a>	Exportieren der Ausgabe in RTF-Format
	<a href="#">Vollbild</a>	Darstellung des gesamten Systems am Bildschirm
	<a href="#">Zoom größer</a>	Vergrößern des Systems
	<a href="#">Zoom kleiner</a>	Verkleinern des Systems
	<a href="#">Zoom</a>	Ausschnittvergrößerung aus dem System
<input type="text" value="x=-1.00, y=0.00"/>		Koordinatenanzeige. Aktuelle Koordinaten des Cursors. Ist ein <a href="#">Raster</a> aktiv, dann werden nur auf den Rasterabstand gerundete Koordinaten angezeigt.

[Info](#)

Information über das Programm



Hilfe

Kontextsensitive Hilfe zu einem bestimmten Menüpunkt etc. Klicken Sie zunächst auf das Icon und dann auf den gefragten Menüpunkt oder ein Icon. Siehe auch [DC-Bedienungsgrundlagen – Hilfe](#).

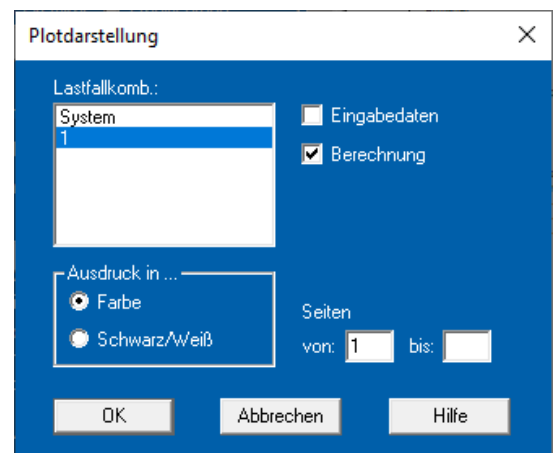
## Drucken

Allgemeine Hinweise zum Drucken und zur Unterstützung des Programms VCmaster finden Sie in den [DC-Bedienungsgrundlagen](#).

Folgende Ergebnisse/Grafiken stehen zur Verfügung:

- Systemgrafik
- eine Übersichtsseite mit Pfahlart, Schichten und Belastungen sowie für jeden ausgewählten Lastfall
- die Berechnungsergebnisse und
- das Bemessungsdiagramm der Biegebemessung (bei Bohrpfählen, falls in der Konfiguration angefordert)

Der Ausdruck kann wahlweise in Farbe oder schwarz/weiß angefordert werden. Voreingestellt ist die Option, die in der [Konfiguration](#) gewählt wurde.



## Export

Über Datei - Export können Grafiken in den Formaten DXF oder JPG sowie Ergebnisdaten im RTF-Format (z.B. für MS-Word) exportiert werden.

Siehe hierzu [DC-Bedienungsgrundlagen](#).

## Eingabe der Daten

Für die Dateneingabe stehen zwei Seiten zur Verfügung, zwischen denen durch Klicken auf die Überschrift umgeschaltet werden kann: [Pfahldaten](#) und [Schichten](#).

Änderungen in einzelnen Eingabefeldern werden sofort wirksam, wenn das Feld verlassen wird, z.B. durch die Tabulator-Taste (?) oder Klicken in ein anderes Feld. Die Berechnungsergebnisse werden erst neu angezeigt, wenn die Berechnung über die Schaltfläche „Berechnung“, Drücken der Taste *F5* oder Klicken auf das Icon

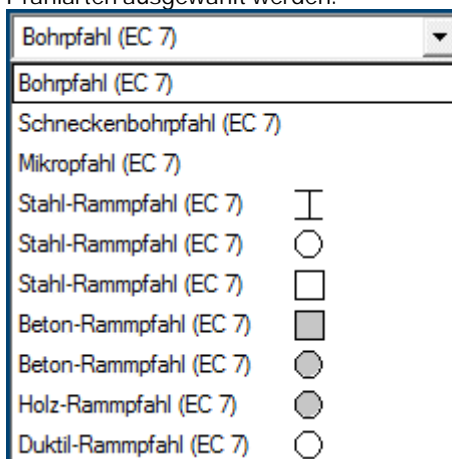


gestartet wurde.

## Pfahldaten

Für den Pfahl werden folgende Daten eingegeben (Beispiel Bohrpfahl):

- Art des Pfahls: Bohrpfahl nach EC 7 / DIN 1054, DIN EN 1536 / DIN 4014, SIA 262 oder ÖNORM B 4440, Mikropfahl nach EC 7 / DIN 1054, DIN 4128 oder SIA 262 oder Verdrängungspfahl nach EC 7 / DIN 1054, DIN 4026 oder SIA 262. Durch Aufklappen über den kleinen Pfeil kann aus der Liste der möglichen Pfahlarten ausgewählt werden:

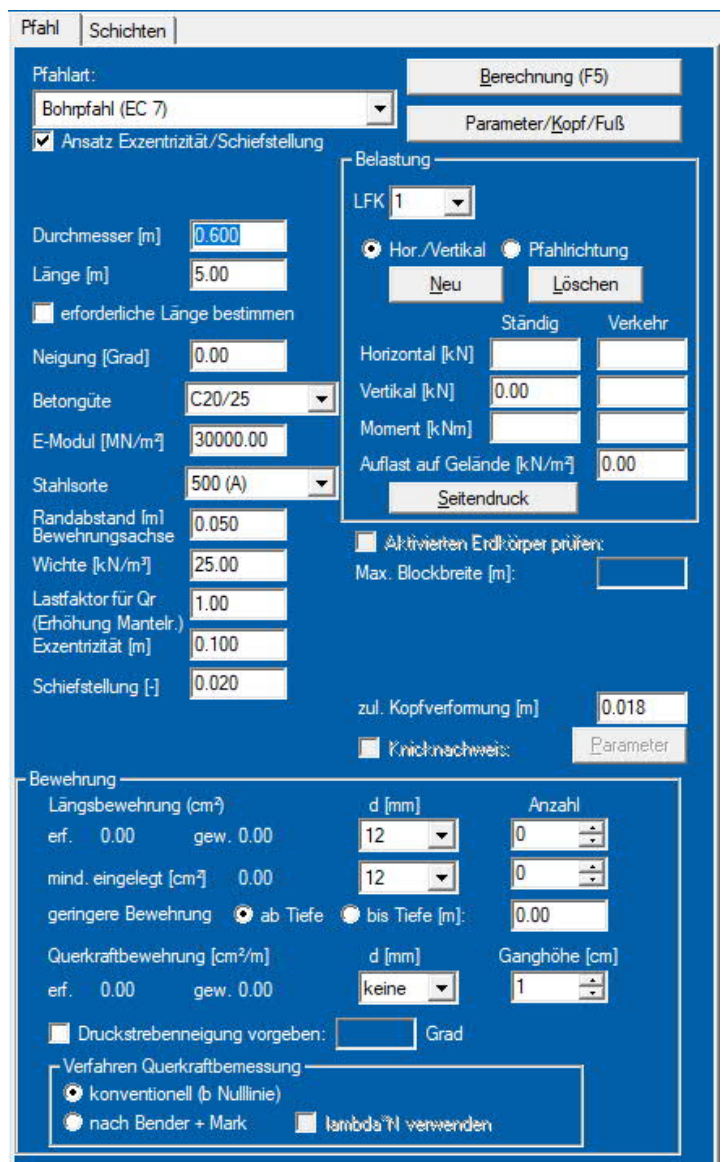


Nur bei Bohrpfählen (und bei Stahlbeton-Verdrängungspfählen in nichtbindigen Böden nach DIN 1054 bzw. bei Rammpfählen nach EA-Pfähle) wird ein Spitzendruck angesetzt, nur bei Bohrpfählen oder bei Beton-Rammpfählen ist eine Fußverbreiterung möglich.


Bohrpfähle werden mit dem Buchstaben B, Mikropfähle mit V gekennzeichnet.

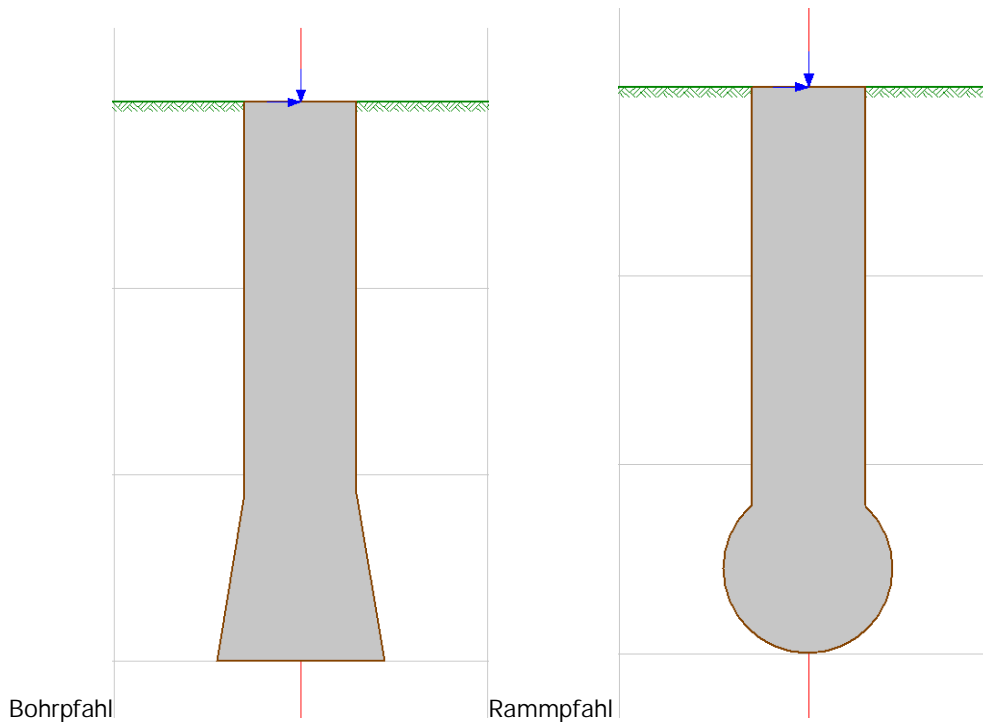
Für Verdrängungspfähle sind Stahlpfähle mit I-, Kreis- oder Kastenprofil möglich sowie Beton- und Holzverdrängungspfähle.

- Ansatz Exzentrizität/Schiefstellung: bei Bohrpfählen kann automatisch der nach DIN EN 1536 für Bohrpfähle erforderliche Ansatz der Exzentrizität der Auflast von  $e = 0.10 \cdot d \geq 10 \text{ cm}$ ,  $\leq 15 \text{ cm}$ , und eine Neigungsabweichung von  $n = 0.02$  bzw.  $0.04$  für Pfahlneigung  $< 1/15$  bzw.  $< 1/4$  gegenüber dem Sollwert berücksichtigt werden (für Neigung  $> 1/4$  existiert kein fest gelegter Wert für die Abweichung, so dass der Maximalwert von  $0.04$  vorgeschlagen wird). Für Verdrängungspfähle nach DIN EN 12699 gilt einheitlich eine Exzentrizität von  $0.1 \text{ m}$  und eine

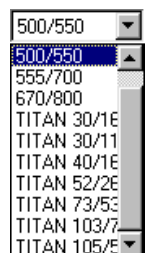


Neigungsabweichung von 0.04. Diese Werte führen zu einem zusätzlichen Moment von  $\Delta M = V \cdot e$  und einer zusätzlichen Querkraft  $\Delta Q = V \cdot n$ , die die eingegebenen Lasten erhöhen. Die Werte für Exzentrizität und Schiefstellung nach sowie die zulässige Kopfverformung (standardmäßig  $0.03 \cdot \text{Pfahldurchmesser}$ , aber maximal 2 cm) werden weiter unten vorgeschlagen und können verändert werden.

- Berechnung: über diese Taste, über *F5* oder das Icon  wird die Berechnung des Pfahls durchgeführt.
- [Parameter/Kopf/Fuß](#): Kopf- und Fußfesthaltung für die Berechnung sowie bei Bohrpfählen Angaben zum Pfahltyp und evtl. Fußverbreiterung.  
Bei Bohrpfählen wird der Pfahlfuß als konische Verbreiterung dargestellt, bei runden Stahlbeton-Rammpfählen (Frankipfahl) als runder Fuß:



- Erforderliche Sicherheit für den Vergleich mit der aufnehmbaren Last (nur bei globalen Sicherheiten).
- Durchmesser des Pfahls.
- Länge des Pfahls zur Bestimmung der Sicherheit bei gegebener Länge.
- erforderliche Länge bestimmen: Berechnung der erforderlichen Pfahllänge, um die Last mit der erforderlichen Sicherheit aufnehmen zu können.
- Neigung: Pfahlneigung zur Senkrechten (positiv: im Uhrzeigersinn geneigt).
- Betongüte: Auswahl aus den möglichen Betongütern bzw. Holzgüte bei Holzpfählen.
- Der E-Modul wird für die gewählte Betongüte vorgeschlagen: bei DIN 1045-1 und DIN EN 1992 aus der Tabelle der Betongütern, bei Bemessung nach SIA 262 gemäß 3.1.2.3.3 Formel 10 mit einem Mittelwert von  $k_E = 9000$  (für gebrochenen Kalk) und auf ganze 100 gerundet.
- Stahlsorte: Auswahl aus den Stahlsorten für die Bewehrung, bei rein zentrischen Lasten in allen Lastfällen ( $H = 0, M = 0$ ) auch Anker Ischebeck Titan.
- Bei Mikropfählen werden eigene Stahlsorten für GEWI-Pfähle angeboten. Diese werden dann mit den entsprechenden Sicherheiten nach der GEWI-Zulassung nachgewiesen.
- Überdeckung der Bewehrung (Randabstand der Bewehrungsachse), bei rein zentrischen Lasten in allen Lastfällen ist für Ankerstähle auch Überdeckung =  $d/2$  möglich.
- Wichte des Pfahls zur Berücksichtigung des Eigengewichts – bei Berechnung ohne Berücksichtigung des Eigengewichts kann 0 eingegeben werden.



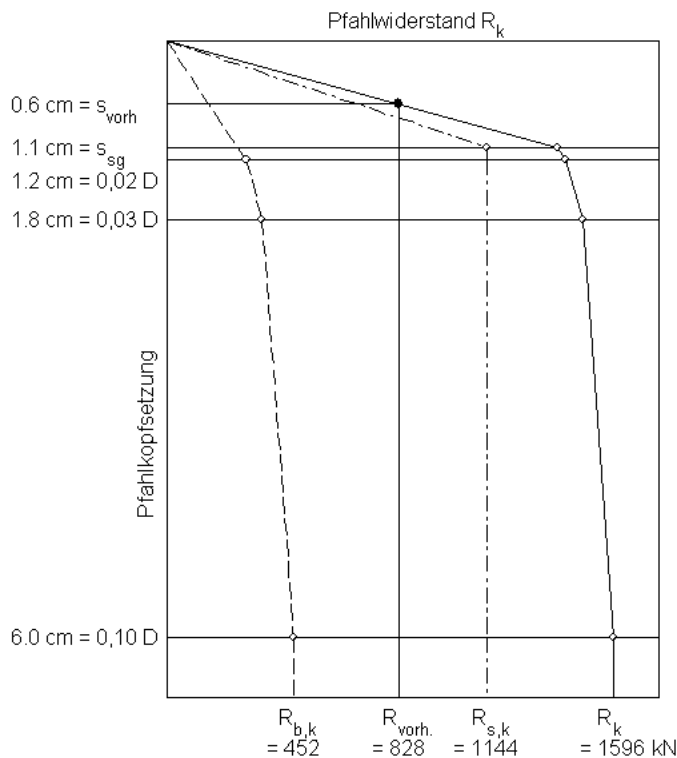
- Lastfaktor für  $Q_r$ : für die zulässige Last aus Mantelreibung kann (z.B. für Teilverdränger / Vollverdränger) ein Lastfaktor angegeben werden. Die zulässigen Kräfte  $Q_r$  aus Mantelreibung werden dann mit diesem Lastfaktor multipliziert.
- Exzentrizität, Schiefstellung: anzusetzende Werte für die Ausmitte und die Schiefstellung des Pfahls, wenn deren Verwendung oben aktiviert ist.
- zul. Kopfverformung: zulässiger Wert für die Verformung am Pfahlkopf. Bei Berechnung der erforderlichen Länge wird versucht, auch diesen Wert einzuhalten. Wenn durch Verlängerung des Pfahls die zulässige Kopfverformung nicht unterschritten werden kann, dann wird die Pfahlänge verwendet, die sich aus der äußeren Standsicherheit mit Mantelreibung und Spitzendruck ergibt.
- Belastung: Lastfallname.
- Lastfall-Typ: für die Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten bei Unterscheidung nach LF1/2/3 (z.B. DIN 1054) ist anzugeben, ob es sich bei dem jeweiligen Lastfall um einen LF1, LF2 oder LF3 handelt. Für GEWI ist anzugeben, ob es sich um eine Belastung nach LF1 bzw. LF2 oder 3 handelt oder wahlweise bei Zugpfählen um einen vorübergehenden Einsatz (< 2 Jahre) oder um einen Mikropfahl mit doppeltem Korrosionsschutz. Diese Option ist nur bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten aktiv, oder wenn bei Mikropfählen eine GEWI-Stahlsorte ausgewählt wird. Für GEWI werden dann die entsprechenden Sicherheiten nach Zulassung angesetzt: 3.03 für LF1, 1.75 für LF2 oder 3 oder generell 1.75 für jeden Lastfall bei vorübergehendem Einsatz oder doppeltem Korrosionsschutz. Bei Ansatz von Teilsicherheitsbeiwerten werden diese speziellen Sicherheiten nach Zulassung durch die Lastsicherheiten dividiert, um einen entsprechenden Materialsicherheitsbeiwert zu erhalten.
- Hor./Vertikal oder Pfahlrichtung: Bezugsrichtung der Lasten bei geneigten Pfählen: Kräfte in horizontaler und vertikaler Richtung oder längs und quer zur Pfahlrichtung.
- Neu: Definition eines neuen Lastfalls.
- Löschen: angezeigten Lastfall löschen.
- Lastwerte horizontal (bzw. quer zum Pfahl), vertikal (bzw. in Pfahlrichtung) und Moment, unterschieden für ständige oder Verkehrslasten.
- Wahlweise kann (unabhängig von den Lastfällen) eine permanente großflächige Auflast auf dem Gelände angesetzt werden. Diese ist für Fälle gedacht, wo auf dem Gelände z.B. eine Überlagerungsspannung vorliegt, die den passiven Erddruck zur Anpassung der elastischen Bettung bei Horizontallasten erhöht.
- Seitendruck: wahlweise kann eine Streckenlast quer zum Pfahl über die Pfahlhöhe eingegeben werden. Es sind bis zu 10 Lastabschnitte mit konstanter ständiger und veränderlicher Last in Tiefen von-bis möglich:
- Ist mindestens eine Zugkraft (Vertikallast negativ) eingegeben, ist nach Eurocode 7, 7.6.3.1 der aktivierte Erdkörper im Grenzzustand Aufschwimmen (UPL) nachzuweisen.
- Aktivierten Erdkörper prüfen (nur aktiv bei Zugpfählen, d.h. wenn in mindestens einem Lastfall eine Zugkraft (vertikaler Anteil < 0) vorhanden ist: es kann z.B. für Pfahlgruppen ein maximaler Radius für den Erdkörper angegeben werden. Das Gewicht des Erdkörpers, vom Durchmesser des Pfahlfußes aus um  $\varphi$  zur Pfahlachse ausgebreitet bis max. zur angegebenen Breite, wird überprüft und – falls geringer als die mögliche Mantelreibung – als maßgebend angesetzt. Die Form des Erdkörpers ist quadratisch wie in DIN 1054:2005 Kap. 8.5.4 und DIN 1054:2010 Kap. 7.6.3.1 definiert.
- Berechnung mit...: wahlweise mit Bruchwerten von Mantelreibung und Spitzendruck oder unter Berücksichtigung einer maximal zulässigen Setzung aus dem Widerstand-Setzungsdiagramm. Letztere Option ist nur möglich, wenn bei allen [Schichten](#) (siehe dort) die drei Werte für  $s = 0.02 \cdot D$ ,  $0.03 \cdot D$  und  $0.10 \cdot D$  (bzw. bei Ramppfählen nach EA-Pfähle  $s = 0.035 \cdot D$  und  $0.10 \cdot D$ ) für den Spitzendruck angegeben wurden. Es kann auch die erforderliche Länge für die Einhaltung der gewünschten Setzung unter einer gegebenen Last bestimmt werden. Die zulässige Last für diese Setzung wird dann der Grenzlast für den Pfahl gegenübergestellt.

Seitendruck ✕

Seitendruck für Lastfall: 1

von Tiefe [m]	bis Tiefe [m]	Belastung horizontal [kN/m]	
		ständig	veränderlich
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.500"/>	<input type="text" value="20.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
<input type="text" value="0.500"/>	<input type="text" value="1.000"/>	<input type="text" value="30.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
<input type="text" value="1.000"/>	<input type="text" value="2.000"/>	<input type="text" value="40.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
<input type="text" value="2.000"/>	<input type="text" value="3.500"/>	<input type="text" value="50.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
<input type="text" value="3.500"/>	<input type="text" value="5.000"/>	<input type="text" value="55.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Die Berechnung mit dem Widerstand-Setzungsdiagramm kann nur bei Bohrpfählen (mit Spitzendruck) sowie bei Rammpfählen nach EA-Pfähle, und zwar mit Druckbelastung bestimmt werden. Bei Zugpfählen wird das Widerstand-Hebungsdiagramm ermittelt, bei dem der Wert  $s_{rg}$  (Grenzhebung für die Mantelreibung) den 1.3-fachen Wert wie bei Druckpfählen hat. Zusätzlich gibt es bei Zugpfählen, da kein Spitzendruck auftritt, nur die  $R_{s,k}$ -Linie. In der Ergebnisausgabe wird dann das Widerstand-Setzungsdiagramm oder Widerstand-Hebungsdiagramm dargestellt. Bei Berechnung nach ÖNORM B 1997-1-1 bzw. 1997-1-3 wirkt die volle Mantelreibung bei einer Setzung von 0, d.h. die Linie beginnt waagrecht, danach folgen sieben Werte für den Spitzendruck.



Bei Rammpfählen nach EA-Pfähle sind auch die Werte für die Mantelreibung setzungsabhängig, so dass dann auch die  $R_{s,k}$ -Linie ab  $s = 0.035D$  noch ansteigend ist.

- Bewehrung: hier wird die erforderliche Längs- und Schubbewehrung dargestellt. Für die gewählte Bewehrung kann ausgewählt werden:
- Durchmesser der Längs- und Schubbewehrung. Ist keine Schubbewehrung erforderlich, kann hier „keine“ ausgewählt werden.
- Anzahl der Stäbe bei Längsbewehrung. Ist keine Bewehrung erforderlich, kann hier eine Anzahl von 0 eingegeben werden.
- Die "mind. eingelegte" Längsbewehrung wird für die [Querkraftbemessung nach Bender & Mark](#) benötigt, siehe die Beschreibung im gleichnamigen Kapitel. Hier kann zusätzlich eine Tiefe angegeben werden, ab oder bis zu der die geringere Bewehrung gilt. Wählt man in der Zeile "mind. eingelegt" den Stabdurchmesser neu aus der Liste aus, dann wird für die ab/bis zu dieser Tiefe erforderliche Bewehrung die erf. Anzahl Stäbe neu bestimmt.
- Ganghöhe der Wendel bei Schubbewehrung
- Für die Querkraftbemessung kann wahlweise die Druckstrebenneigung fest vorgegeben werden. Im Normalfall wird der günstigste Wert iteriert.
- Zur Querkraftbemessung steht bei Bemessung nach Eurocode 2, SIA 262 oder DIN 1045-1 wahlweise das konventionelle Verfahren oder das nach [Bender & Mark](#) zur Verfügung. Der günstig wirkende Normalkrafteinfluss  $\lambda \cdot N$  kann wahlweise ausgeschaltet werden.

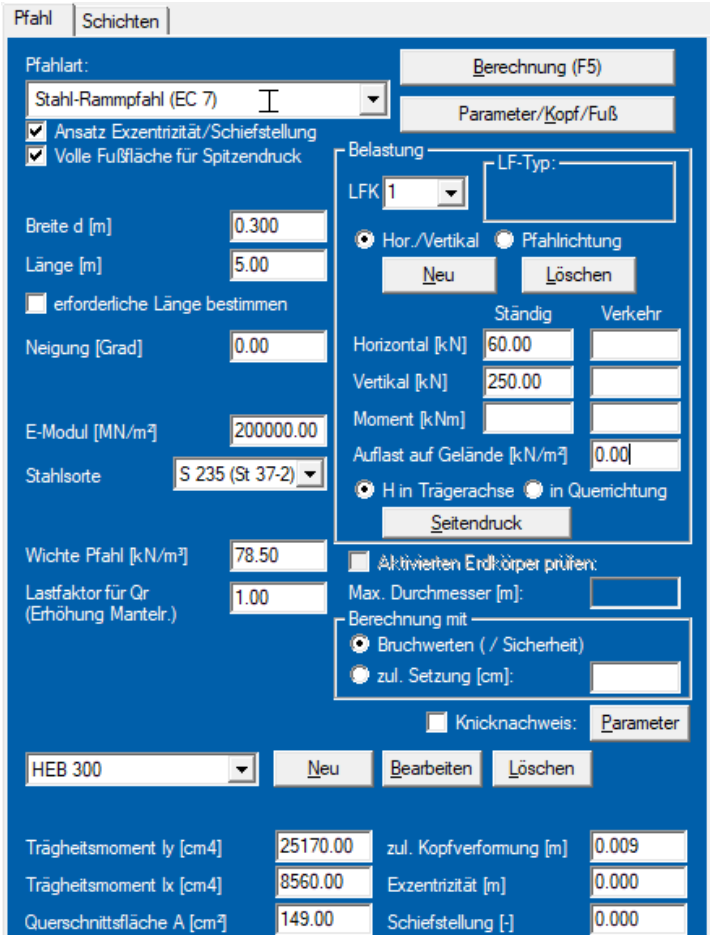
*Bitte beachten:*

*Anzahl Stäbe bzw. Ganghöhe und Durchmesser werden angepasst, wenn die momentan gewählte Bewehrung nicht ausreicht (< erforderliche Bewehrung). Ist die gewählte Bewehrung größer, wird der Wert beibehalten, um*

z.B. grundsätzlich 8 Längsstäbe zu ermöglichen, auch wenn rechnerisch nur einer erforderlich wäre. Außerdem werden automatisch nur Durchmesser ab 16 mm gemäß DIN 4014 angesetzt. Ergibt sich bei Änderung der Last eine geringere erforderliche Bewehrung, ist bei Bedarf die gewählte Bewehrung vom Bearbeiter zur reduzieren. Es wird dann also nicht automatisch die Anzahl vermindert oder die Ganghöhe erhöht.

Für Stahlrammpfähle als I-Träger kann die Stahlsorte ausgewählt werden sowie der verwendete Trägertyp.

Die Liste der verfügbaren Trägertypen kann über die Schaltflächen Neu, Bearbeiten und Löschen bearbeitet werden: Definition neuer Träger, Bearbeiten oder Löschen des ausgewählten Typs. Bei der Auswahl eines Profils werden automatisch die hinterlegten Trägheitsmomente  $I_y$  und  $I_x$  sowie die Querschnittsfläche vorgeschlagen. Bei den Lasten kann für die I-Träger angegeben werden, ob die H-Last in Trägerachse wirkt (es wird  $I_y$  verwendet) oder in Querrichtung (Verwendung von  $I_x$ ).



**Pfahl** | Schichten

Pfahlart: **Stahl-Rammpfahl (EC 7)** Berechnung (F5)

Ansatz Exzentrizität/Schiefstellung Parameter/Kopf/Fuß

Volle Fußfläche für Spitzendruck

Belastung

LFK **1** LF-Typ:

Hor./Vertikal  Pfahlrichtung

Neu Löschen

	Ständig	Verkehr
Horizontal [kN]	60.00	
Vertikal [kN]	250.00	
Moment [kNm]		
Auflast auf Gelände [kN/m²]	0.00	

H in Trägerachse  in Querrichtung Seitendruck

Aktivierten Erdkörper prüfen:

Max. Durchmesser [m]:

Berechnung mit

Bruchwerten (/ Sicherheit)

zul. Setzung [cm]:

Knicknachweis: Parameter

**HEB 300** Neu Bearbeiten Löschen

Trägheitsmoment $I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	25170.00	zul. Kopfverformung [m]	0.009
Trägheitsmoment $I_x$ [cm <sup>4</sup> ]	8560.00	Exzentrizität [m]	0.000
Querschnittsfläche A [cm <sup>2</sup> ]	149.00	Schiefstellung [-]	0.000

Für Rammpfähle als Hohlprofile (offener Kreis- oder Quadratquerschnitt) ist zum Durchmesser bzw. der Pfahlbreite die Wandstärke einstellbar.

Über diese Parameter werden Steifigkeit, Fläche und Gewicht des Pfahls exakt bestimmt und für die Berechnung des Eigengewichts und der Verformung verwendet. Bei Auswahl eines Rohrprofils werden die Maße übernommen, benutzerdefinierte Maße können vorgegeben werden. Bei Stahlrohrpfählen kann auch ein Rammschuh mit größerem Durchmesser verwendet werden (siehe auch unten bei Duktirammpfählen). Zusätzlich zu einer größeren Fußfläche für den Spitzendruck kann wahlweise der größere Durchmesser auch für die Mantelreibung und die horizontale Bettung verwendet werden, wenn die größere Fläche verpresst wird.

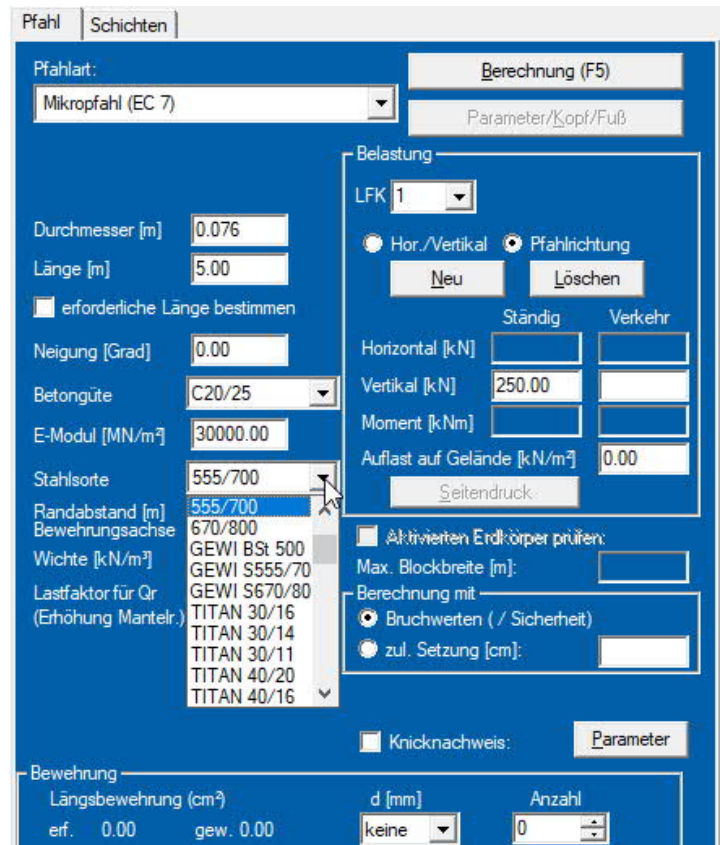
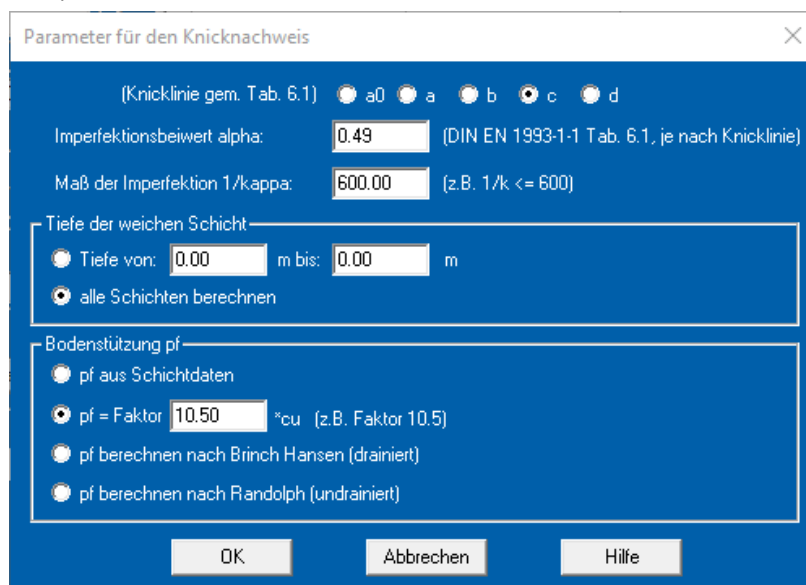
Die Berechnungsergebnisse erreichen Sie im rechten Fenster über die Bild-Tasten. Über die Tasten *Bild v* und *Bild ^ (PgDn und PgUp)* können Sie zwischen den verschiedenen Ergebnisseiten blättern.

Für Mikropfähle stehen in der Auswahl der Stahlsorten auch spezielle Verpresspfähle wie Ischebeck Titan oder DSI-Hohlstäbe zur Verfügung.

Zusätzlich ist für Mikropfähle und Stahl-Rammpfähle wahlweise der Stabilitätsnachweis (Knicknachweis) verfügbar. Die erforderlichen Parameter und Einstellungen können über die Schaltfläche "Parameter" eingegeben werden.

### Parameter für den Knicknachweis

- Bei Auswahl der Knicklinie a0, a, b, c oder d wird automatisch gemäß DIN EN 1993-1-1 Tabelle 6.1 eingetragen: der
- Imperfektionsbeiwert alpha (kann wahlweise verändert werden), Standardwert = 0.49 für Knicklinie c. Bei I-Trägern kommen Flanschdicken > 40 mm normalerweise nicht vor. Außerdem ist die Stahlsorte S 460 die Ausnahme und das Knicken wird im Normalfall um die schwächere (z-)Achse passieren. Deshalb kommen die Knicklinien a und d selten vor. Ist h/b des Trägers > 1.2, dann wird gemäß EC 3-1-1 Tabelle 6.2 die Knicklinie b vorgeschlagen, der ein Imperfektionsbeiwert von 0.34 entspricht. Eine andere Knicklinie mit zugehörigem alpha-Wert kann ausgewählt werden.
- Das Maß der Imperfektion  $1/\kappa$  ist z.B.  $\leq 600$
- Für die Tiefe der weichen Schicht und
- die Bodenstützung pf stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Eine nähere Beschreibung siehe im Kapitel [Knicknachweis](#).

Für Duktil-Rammpfähle stehen in der Auswahl der Rohrprofile die in den Zulassungen und ÖNORM B 2567 aufgeführten Größen mit dem Zusatz "duktil" zur Verfügung. Falls keine Rohrprofile mit Zusatz "duktil" in der Liste verfügbar sind, wird eine aktuelle Parameterdatei [dcpa0.dyx](#) im [Konfigurationsverzeichnis](#) benötigt.

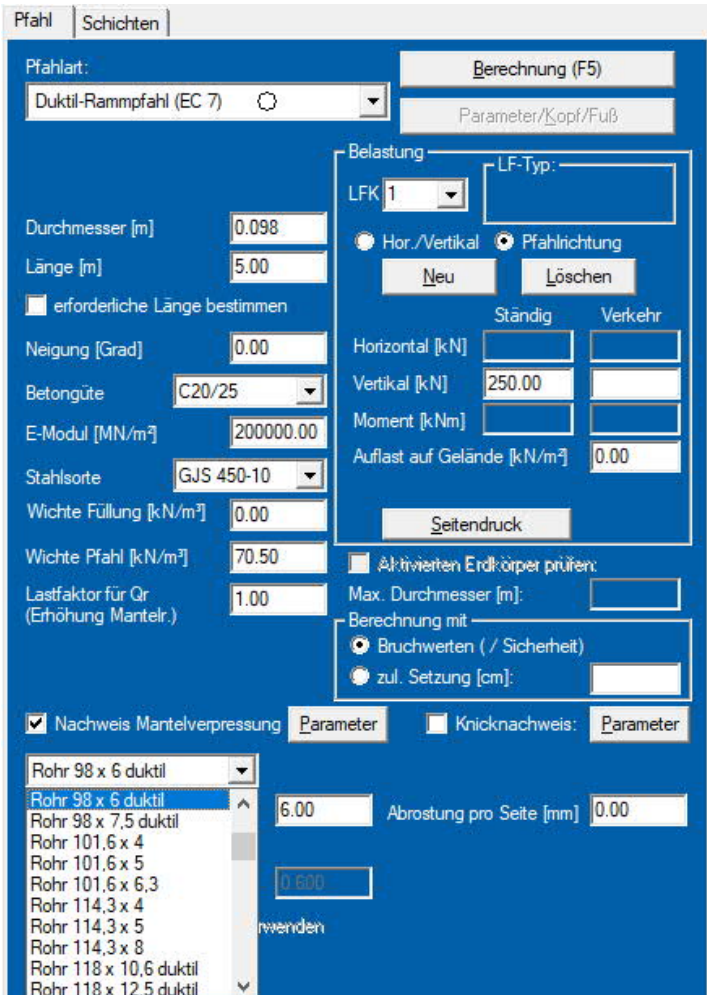
Für Duktilpfähle steht das in den Zulassungen aufgeführte Material GJS 450-10 mit  $f_{t0,2k} = 320$  N/mm<sup>2</sup> zur Verfügung und zusätzlich die Materialparameter für den zur Verfüllung verwendeten Zementmörtel. Es ist der Ansatz einer Abrostung für Durchmesser und Steifigkeit des Rohrs möglich, wobei der Wert der Dickenverminderung je Seite anzugeben ist (also nicht die Reduktion des Durchmessers, die dem doppelten Wert entsprechen würde).

Es ist wahlweise zusätzlich der Nachweis der Mantelverpressung möglich mit Eingabe der dafür erforderlichen Parameter:

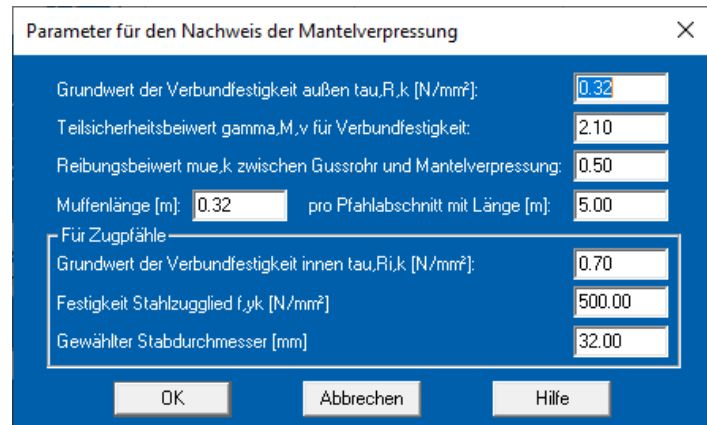
- Grundwert der Verbundfestigkeit  $\tau_{R,k}$  (nach Zulassung 0.32 N/mm<sup>2</sup>)
- Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,v}$  für die Verbundfestigkeit (nach Zulassung 2.10)
- Reibungsbeiwert  $\mu_k$  zwischen Gussrohr und Mantelverpressung
- Länge der Muffen (z.B. 0.32 m) und Länge eines Pfahlabschnitts (z.B. 5.0 m) zur Bestimmung der Pfahlabschnitte ohne die Muffenlängen

Näheres zur Berechnung der Duktilpfähle und der Mantelverpressung siehe im Kapitel "[Berechnung von Duktilpfählen](#)"

Wahlweise kann ein Rammschuh mit größerem Durchmesser als der Rohrdurchmesser berücksichtigt werden zum Ansatz einer größeren Fläche für den Spitzendruck. Ebenfalls wahlweise kann der größere Durchmesser auch für die Mantelreibung verwendet werden, wenn dieser mit Beton verfüllt wird.



The screenshot shows the 'Pfahl' (Pile) calculation window. The 'Pfahlart' (Pile type) is set to 'Duktil-Rammpfahl (EC 7)'. The 'Berechnung' (Calculation) button is active, and the 'Parameter/Kopf/Fuß' (Parameter/Head/Tip) button is also visible. The 'Belastung' (Load) section is expanded, showing 'LFK 1' and 'LF-Typ:'. The 'Hor./Vertikal' (Horizontal/Vertical) radio buttons are selected, and the 'Pfährlichtung' (Pile orientation) radio button is also selected. The 'Horizontal [kN]' field is empty, 'Vertikal [kN]' is 250.00, and 'Moment [kNm]' is empty. The 'Auflast auf Gelände [kN/m²]' (Load on ground) is 0.00. The 'Seitendruck' (Lateral pressure) button is visible. The 'Aktivierten Erdkörper prüfen' (Check activated earth bodies) checkbox is unchecked. The 'Max. Durchmesser [m]' (Max. diameter) field is empty. The 'Berechnung mit' (Calculation with) section has 'Bruchwerten (/ Sicherheit)' (Failure values (/ Safety)) selected. The 'zul. Setzung [cm]' (Allowable settlement) field is empty. The 'Nachweis Mantelverpressung' (Check sleeve compaction) checkbox is checked, and the 'Knicknachweis' (Buckling check) checkbox is unchecked. The 'Parameter' buttons are visible. The 'Rohr 98 x 6 duktil' (Ductile pipe 98 x 6) is selected in the list, and the 'Abrostung pro Seite [mm]' (Abrasion per side) field is 0.00. The 'Anwenden' (Apply) button is visible.



The screenshot shows the 'Parameter für den Nachweis der Mantelverpressung' (Parameters for the check of sleeve compaction) dialog box. The 'Grundwert der Verbundfestigkeit außen  $\tau_{R,k}$  [N/mm²]' (Basic value of bond strength outside  $\tau_{R,k}$  [N/mm²]) is 0.32. The 'Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,v}$  für Verbundfestigkeit' (Partial safety factor  $\gamma_{M,v}$  for bond strength) is 2.10. The 'Reibungsbeiwert  $\mu_{e,k}$  zwischen Gussrohr und Mantelverpressung' (Friction coefficient  $\mu_{e,k}$  between cast pipe and sleeve compaction) is 0.50. The 'Muffenlänge [m]' (Sleeve length [m]) is 0.32, and 'pro Pfahlabschnitt mit Länge [m]' (per pile section with length [m]) is 5.00. The 'Für Zugpfähle' (For tension piles) section has 'Grundwert der Verbundfestigkeit innen  $\tau_{Ri,k}$  [N/mm²]' (Basic value of bond strength inside  $\tau_{Ri,k}$  [N/mm²]) set to 0.70, 'Festigkeit Stabzugglied  $f_{yk}$  [N/mm²]' (Strength of bar  $f_{yk}$  [N/mm²]) set to 500.00, and 'Gewählter Stabdurchmesser [mm]' (Selected bar diameter [mm]) set to 32.00. The 'OK', 'Abbrechen' (Cancel), and 'Hilfe' (Help) buttons are visible at the bottom.

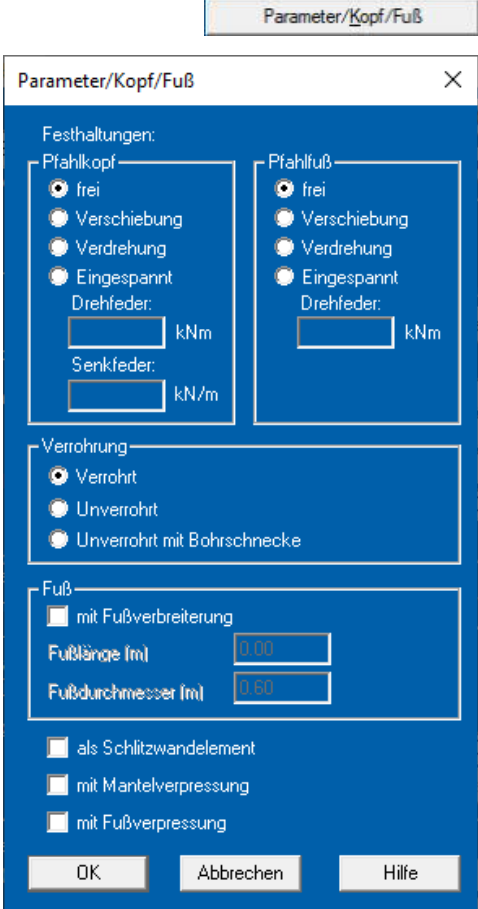
## Parameter/Kopf/Fuß

Über den Button „Parameter/Kopf/Fuß“ können zusätzliche Parameter für den Pfahl eingegeben werden:

- Festhaltungen: für die Berechnung des Pfahls als elastisch gebetteter Balken bei Horizontallasten oder Momenten kann für den Pfahlkopf und für den Pfahlfuß jeweils eine Festhaltung vorgegeben werden. Pfahlanfang und –ende können frei, gegen Verschiebung aufgelagert, gegen Verdrehung festgehalten oder eingespannt (gegen Verschiebung + Verdrehung gehalten) sein. Siehe auch Kapitel „[Äußere Tragfähigkeit](#)“, Abschnitt „Querbelastung und Momente“. Die Festhaltung gegen Verdrehung oder Verschiebung am Pfahlkopf kann wahlweise elastisch angesetzt werden durch Vorgabe einer Federkonstante in kNm für die Drehfeder oder kN/m für die (horizontale) Senkfeder. Am Pfahlfuß ist eine elastische Drehfeder für die Verdrehung möglich.
- Verrohrung: der Pfahl wird nach DIN 4014 gekennzeichnet mit
  - V für „Verrohrt“
  - U für „Unverrohrt“
  - E für „Unverrohrt mit durchgehender Bohrschnecke“
- Fuß: ein Pfahl mit Fußverbreiterung wird mit dem Buchstaben F gekennzeichnet.

Für den Fuß kann die Länge (gemessen vom Ende des Pfahls) und der Durchmesser angegeben werden. Der Pfahlfuß wird dann in der Ergebnisgrafik entsprechend dargestellt.

- als Schlitzwandelement: Kennzeichnung mit S
- mit Mantelverpressung: Kennzeichnung mit M
- mit Fußverpressung: Kennzeichnung mit P



Parameter/Kopf/Fuß

Festhaltungen:

Pfahlkopf

- frei
- Verschiebung
- Verdrehung
- Eingespannt

Drehfeder:  kNm

Senkfeder:  kN/m

Pfahlfuß

- frei
- Verschiebung
- Verdrehung
- Eingespannt

Drehfeder:  kNm

Verrohrung

- Verrohrt
- Unverrohrt
- Unverrohrt mit Bohrschnecke

Fuß

mit Fußverbreiterung

Fußlänge (m)

Fußdurchmesser (m)

als Schlitzwandelement

mit Mantelverpressung

mit Fußverpressung

OK Abbrechen Hilfe

## Schichtdaten

Für die Schichten können folgende Parameter eingegeben werden:

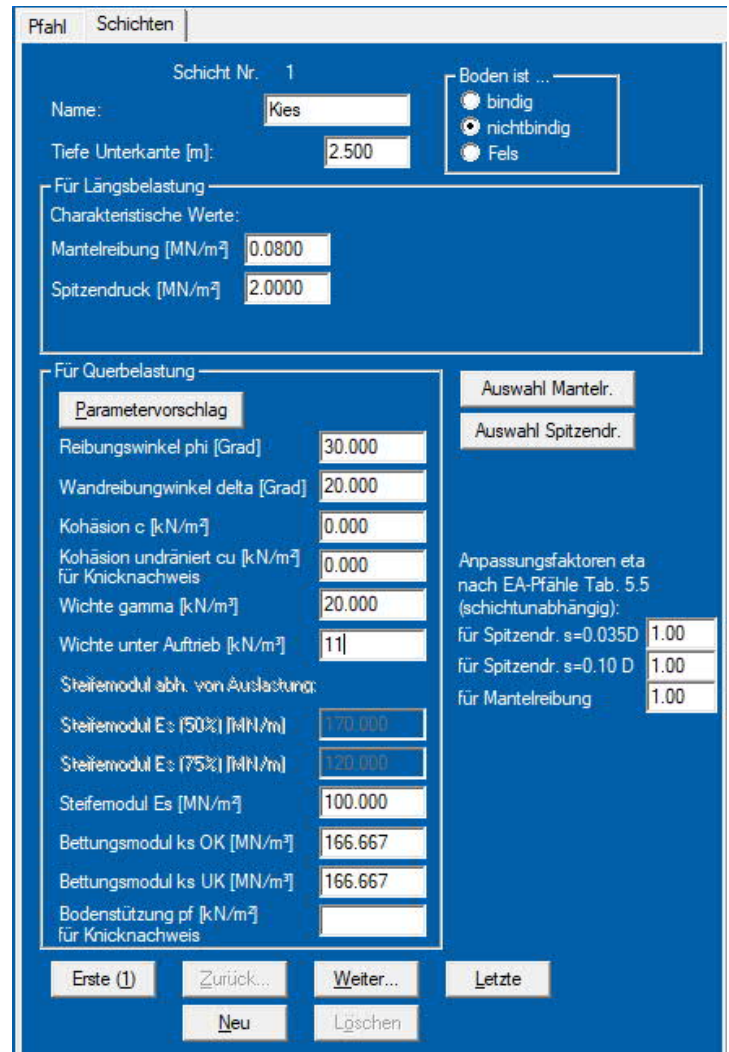
- Name der Schicht
- Tiefe der Unterkante

Für die Aufnahme der Längsbelastung:

- Mantelreibung und
- Spitzendruck als Bruchwerte (charakteristische Werte)

sowie zusätzlich für das Widerstand-Setzungsdiagramm sowie für die Bestimmung der zulässigen Last bei gegebener Setzung

- drei Werte für den Spitzendruck für  $s = 0.02 \cdot D$ ,  $0.03 \cdot D$  und  $0.10 \cdot D$  (siehe DIN 1054) bzw. bei Rammpfählen nach EA-Pfähle zwei Werte für  $s = 0.035 \cdot D$  und  $0.10 \cdot D$ .
- bei Rammpfählen nach EA-Pfähle für die Mantelreibung zwei Werte für  $s = s_{sg}^*$  und  $0.10 \cdot D$
- Bei Berechnung nach ÖNORM B 1997-1-1 (Eurocode 7 Österreich) sind gemäß ÖNORM B 1997-1-3 für Bohrpfähle sieben Werte für den Spitzendruck für bezogene Setzungen von  $0.005D$ ,  $0.01D$ ,  $0.02D$ ,  $0.03D$ ,  $0.05D$ ,  $0.075D$  und  $0.10D$  zu verwenden. Diese zusätzlichen Werte können über die Schaltfläche "weitere" im Schichtendialog eingegeben werden. Zusätzlich ist für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Grenzzustand GZG), d.h. für die Bestimmung der Setzung, ein anderer Wert für die Mantelreibung als für den Tragfähigkeitsnachweis zu verwenden. Dieser Wert wird ebenfalls über die Schaltfläche "weitere" eingegeben. Achtung! In ÖNORM B 1997-1-3 gibt es keinen Setzungswert, ab dem die volle Mantelreibung wirksam wird, wie der Wert  $s_{sg}$  nach EA-Pfähle. Würde man die Mantelreibung ab Setzung  $s = 0$  voll ansetzen, dann würde sich bei Belastungen unterhalb der Summe der Mantelreibung eine Setzung von 0 ergeben. Wir verwenden daher die Setzungswerte der ÖNORM B 4404 (1985), Kap. 7.2.4.3: danach wird die Mantelreibung bei bindigen Böden bei 1 cm Setzung erreicht und für nichtbindige Böden bei 2 cm Setzung. Deshalb ist es bei Berechnung nach ÖNORM wichtig, die richtige Einstufung der Schichten als bindig oder nichtbindig zu wählen.



**Schicht Nr. 1**

Name:  Boden ist ...  bindig  nichtbindig  Fels

Tiefe Unterkante [m]:

**Für Längsbelastung**

Charakteristische Werte:

Mantelreibung [MN/m<sup>2</sup>]:

Spitzendruck [MN/m<sup>2</sup>]:

**Für Querbelastung**

Parameter	Wert
Reibungswinkel phi [Grad]	30.000
Wandreibungswinkel delta [Grad]	20.000
Kohäsion c [kN/m <sup>2</sup> ]	0.000
Kohäsion undräniert cu [kN/m <sup>2</sup> ]	0.000
Wichte gamma [kN/m <sup>3</sup> ]	20.000
Wichte unter Auftrieb [kN/m <sup>3</sup> ]	11
Steifemodul abh. von Auslastung:	
Steifemodul Es (50%) [kN/m]	170.000
Steifemodul Es (75%) [kN/m]	120.000
Steifemodul Es [MN/m <sup>2</sup> ]	100.000
Bettungsmodul ks OK [MN/m <sup>2</sup> ]	166.667
Bettungsmodul ks UK [MN/m <sup>2</sup> ]	166.667
Bodenstützung pf [kN/m <sup>2</sup> ]	

Auswahl Mantelr.

Anpassungsfaktoren eta nach EA-Pfähle Tab. 5.5 (schichtunabhängig):

für Spitzendr. s=0.035D	1.00
für Spitzendr. s=0.10 D	1.00
für Mantelreibung	1.00

Buttons: Erste (1), Zurück..., Weiter..., Letzte, Neu, Löschen

- Für die Schichten kann zusätzlich angegeben werden, ob der Boden als bindig oder nichtbindig oder als Fels anzusehen ist. In Abhängigkeit von der Bodenart stehen unterschiedliche Vorschlagswerte für Mantelreibung und Spitzendruck zur Verfügung. Die richtige Einstufung in bindigen oder nichtbindigen Boden ist gemäß obiger Regelung speziell bei Bohrpfählen nach ÖNORM wichtig.
- Für Rammpfähle allgemein kann für jede Schicht angegeben werden, ob sie als tragfähig oder nicht tragfähig anzusehen ist. Für die zulässige Last bei Verdrängungspfählen nach DIN 4026 und für die Mindestlänge ist die Länge des Pfahls in tragfähigen Schichten maßgebend.
- Gemäß EA-Pfähle können Anpassungsfaktoren  $\eta$  für den Spitzendruck bei  $s = 0.035D$  und  $0.10D$  sowie für die Mantelreibung vorgegeben werden. Diese sind gemäß Tabelle 5.5 nur für Stahl-Rammpfähle abhängig vom Typ kleiner als 1.0 anzusetzen. Bei I-Trägern wird der Wert für  $b/h = 1.0$  vorgeschlagen. Für andere Seitenverhältnisse ist gemäß Tabelle 5.5 für  $s = 0.035D$  ein Wert  $0.61-0.30 \cdot h/b$  und für  $s = 0.10D$  ein Wert  $0.78-0.30 \cdot h/b$  zu verwenden. Diese Abminderungsfaktoren sind nur aktiv, wenn bei Rammpfählen „Volle Fußfläche für Spitzendruck“ gewählt ist.

Für die Aufnahme der Querbelastung und zur Bestimmung des passiven Erddrucks als Grenzwert der Bettung:

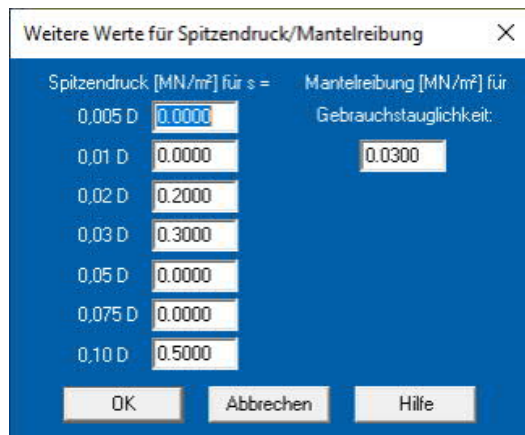
- Reibungswinkel  $\varphi$
- Wandreibungswinkel  $\delta$ : der Wandreibungswinkel wird standardmäßig =  $2/3 \varphi$  gesetzt. Beim Berechnungsverfahren nach ZTV-Lsw 06 wird standardmäßig  $\varphi/2$  (anstatt  $\varphi/3$  in der Veröffentlichung von Vogt) gesetzt.
- Kohäsion  $c$
- Wichte  $\gamma$
- Wichte unter Auftrieb  $\gamma'$
- Steifemodul  $E_s$  zur Bestimmung der Bettung in  $\text{MN}/\text{m}^2$  (Werte abhängig von der Auslastung nur für Mikropfähle, siehe unten)
- der Bettungsmodul  $k_s$  wird standardmäßig bestimmt zu  $E_s/d$  (mit  $d$  = Pfahldicke), kann aber auch unterschiedlich eingegeben werden. Wahlweise ist ein linearer Verlauf, d.h. Eingabe jeweils eines Wertes für die Schicht-Oberkante und –Unterkante möglich.

Es können beliebig viele Schichten angegeben werden. Jede Schicht wird durch einen eindeutigen Namen und die Tiefe der Schichtunterkante gekennzeichnet. Zusätzliche Schichten werden nach ihrer Unterkante automatisch einsortiert.

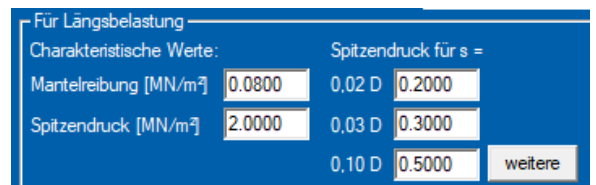
Mit den Tasten „Zurück“ und „Weiter“ kann durch die vorhandenen Schichten geblättert, mit „Erste“ und „Letzte“ zu der ersten oder letzten Schicht gesprungen, und mit „Neu“ und „Löschen“ neue Schichten erstellt oder die gerade angezeigte gelöscht werden.

Die unterstrichenen Buchstaben gelten jeweils als Kurzform für den Aufruf der Funktion mit der *Alt*-Taste, d.h. mit *Alt-W* kann die Funktion „Weiter“ aktiviert werden.

Bei Einstellung von ÖNORM B 1997-1-1 ist für den Spitzendruck noch die Schaltfläche „weitere“ zur Eingabe weiterer Werte verfügbar, die im folgenden Dialog eingegeben werden:



Spitzendruck [MN/m <sup>2</sup> ] für s =	Mantelreibung [MN/m <sup>2</sup> ] für Gebrauchstauglichkeit:
0,005 D <input type="text" value="0.0000"/>	<input type="text" value="0.0300"/>
0,01 D <input type="text" value="0.0000"/>	
0,02 D <input type="text" value="0.2000"/>	
0,03 D <input type="text" value="0.3000"/>	
0,05 D <input type="text" value="0.0000"/>	
0,075 D <input type="text" value="0.0000"/>	
0,10 D <input type="text" value="0.5000"/>	



Charakteristische Werte:	Spitzendruck für s =
Mantelreibung [MN/m <sup>2</sup> ] <input type="text" value="0.0800"/>	0,02 D <input type="text" value="0.2000"/>
Spitzendruck [MN/m <sup>2</sup> ] <input type="text" value="2.0000"/>	0,03 D <input type="text" value="0.3000"/>
	0,10 D <input type="text" value="0.5000"/>

## Dialog für Ramppfähle:

Für Ramppfähle mit I-Profil und Hohlquerschnitte stehen, falls bei den Pfahlparametern „Volle Fußfläche für Spitzendruck“ gewählt wurde, die Anpassungsfaktoren eta nach EA-Pfähle Tabelle 5.5 zur Verfügung. Diese werden bei I-Trägern automatisch gemäß dem Verhältnis h/b vorgeschlagen.

## Dialog für Mikropfähle:

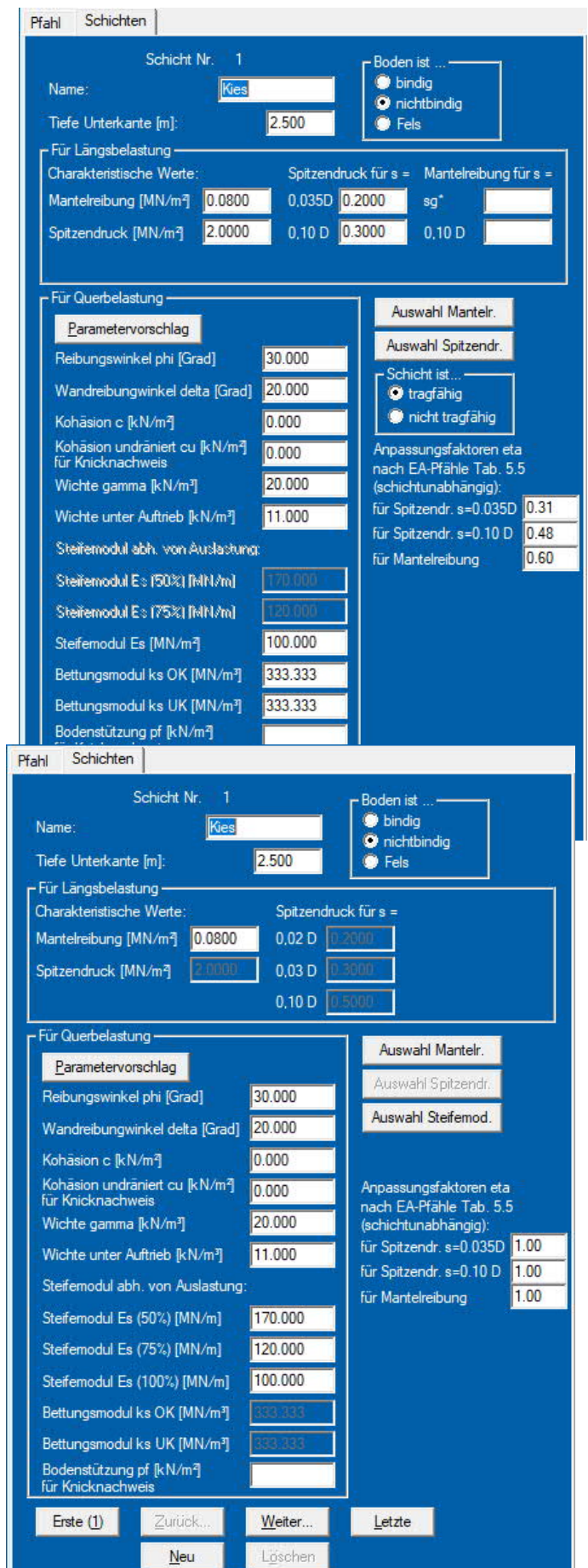
Für Mikropfähle kann die Setzung (Pfahlkopfverschiebung) nach dem Verfahren von Ischebeck in Abhängigkeit von der Auslastung bestimmt werden, siehe Kapitel „[Berechnung der Setzung](#)“.

Hierfür wird der Steifemodul  $E_s$  in MN/m abhängig von der Auslastung des Pfahls benötigt. Es können Werte für 50%, 75% und 100% Auslastung eingegeben werden, da der Verlauf nicht linear ist. Über die Schaltfläche „Auswahl Steifemod.“ stehen Vorschlagswerte (Erfahrungswerte Firma Ischebeck) zur Verfügung. Hier wird  $E_s$  in MN/m statt in MN/m<sup>2</sup> angegeben, da der Eingangswert nicht wie bei einer Setzungsberechnung eine Bodenpressung, sondern eine Einzellast ist und keine Setzungsanteile über die Tiefe summiert werden.

Werte für Spitzendruck und Mantelreibung in Abhängigkeit von verschiedenen Kennwerten sind in DIN 1054, EA-Pfähle bzw. in ÖNORM B 4440 und in ÖNORM B 1993-1-3 angegeben. Es sind hier die charakteristischen Werte einzugeben, da die vorhandene und die zulässige Belastung mit der erforderlichen Sicherheit (z.B. 1.75) verglichen bzw. mit Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt werden.

Über die Buttons „Auswahl Mantelr.“ bzw. „Auswahl Spitzendr.“ können die in DIN 1054, EA-Pfähle bzw. ÖNORM B 4440 und in ÖNORM B 1993-1-3 angegebenen Werte in Abhängigkeit von Pfahlart, Bodenart, Lagerungsdichte, Mantelreibung usw. ausgewählt werden. In EA-Pfähle sind Bereiche von Werten angegeben. DC-Pfahl stellt hierfür jeweils einen unteren, mittleren und oberen Wert zur Verfügung. Es stehen eine Reihe von Dialogen zur Verfügung, die je nach Pfahlart (Bohrpfahl, Ramppfahl, Mikropfahl) und je nach Bodenart (binding, nichtbinding, Fels) angezeigt werden. Damit werden die Werte der Tabellen B.1 – B.5, C.1 – C.5 und D.1 der DIN 1054:2005 sowie 5.1 – 5.32 der EA-Pfähle zur Verfügung gestellt.

Die jeweils anzusetzenden Werte sind auf den Schaltflächen (ein, zwei oder drei Werte für die bezogenen Setzungen) neben dem Auswahlkriterium (z.B. 0.030 und 0.040 für „ $q_c = 7.5$ “ bei Fertigramppfählen) angegeben.



**Pfahl Schichten**

Schicht Nr. 1

Name:

Tiefe Unterkante [m]:

Boden ist ...

- bindig
- nichtbindig
- Fels

**Für Längsbelastung**

Charakteristische Werte: Spitzendruck für s = Mantelreibung für s =

Mantelreibung [MN/m<sup>2</sup>]:  0,035D  sg\*

Spitzendruck [MN/m<sup>2</sup>]:  0,10 D  0,10 D

**Für Querbeltung**

Parametervorschlag

Reibungswinkel phi [Grad]:

Wandreibungswinkel delta [Grad]:

Kohäsion c [kN/m<sup>2</sup>]:

Kohäsion undränniert cu [kN/m<sup>2</sup> für Knicknachweis]:

Wichte gamma [kN/m<sup>3</sup>]:

Wichte unter Auftrieb [kN/m<sup>3</sup>]:

Steifemodul abh. von Auslastung:

Steifemodul  $E_s$  (50%) [MN/m]:

Steifemodul  $E_s$  (75%) [MN/m]:

Steifemodul  $E_s$  (100%) [MN/m]:

Bettungsmodul ks OK [MN/m<sup>2</sup>]:

Bettungsmodul ks UK [MN/m<sup>2</sup>]:

Bodenstützung pf [kN/m<sup>2</sup> für Knicknachweis]:

Auswahl Mantelr.

Auswahl Spitzendr.

Schicht ist ...

- tragfähig
- nicht tragfähig

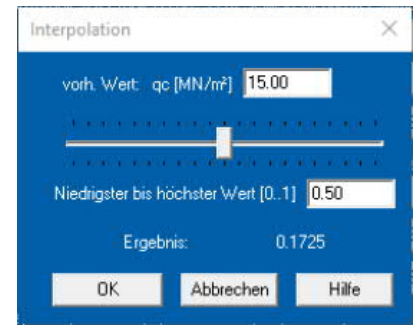
Anpassungsfaktoren eta nach EA-Pfähle Tab. 5.5 (schichtunabhängig):

für Spitzendr. s=0.035D	0.31
für Spitzendr. s=0.10 D	0.48
für Mantelreibung	0.60

Erste (1) Zurück... Weiter... Letzte

Neu Löschen

Anstatt Werte über die Schaltflächen auszuwählen, kann über den Button "Interpolation" auch eine Interpolation zwischen den angegebenen Werten durchgeführt werden. Hierzu ist zunächst auszuwählen, welche Tabelle verwendet werden soll, z.B. Bohrpfähle nach DIN 1054, Bohrpfähle, Atlaspfähle oder Fundexpfähle nach EA-Pfähle. Dann kann im Dialog "Interpolation" der vorliegende Wert für  $q_c$  (bei nichtbindigen Böden) oder  $c_u$  (bei bindigen Böden) eingegeben werden. Damit wird zwischen den Werten nach EA-Pfähle in "vertikaler Richtung" interpoliert. Innerhalb des vorgeschlagenen Wertebereichs zwischen niedrigstem und höchstem Wert wird in "horizontaler Richtung" über den Schieberegler zwischen 0 und 1 interpoliert bzw. ein Wert zwischen 0 und 1 eingegeben. Ein Wert von 0.50 liefert z.B. den Mittelwert des empfohlenen Bereichs.



Das unten angegebene Ergebnis (bei Spitzendruck z.B. 3 Werte) wird mit OK bei der aktuellen Schicht eingetragen.

Soll bei einer Fußverbreiterung der Wert für den Spitzendruck mit dem Faktor 0.75 abgemindert werden (nicht bei allen Pfahlarten erforderlich), kann das im Auswahldialog angefordert werden.

Wahlweise können die Parameter nach ÖNORM B4440 (2001) oder ÖNORM B 1993-1-3 ausgewählt werden. Die Einstellung der gewünschten Norm erfolgt über den Menüpunkt [Projekt - Name](#).

Mantelreibung:

da von der ÖNORM B 4440 hier Bereiche für die Werte angegeben werden, ist als Vorschlag der Mittelwert enthalten.

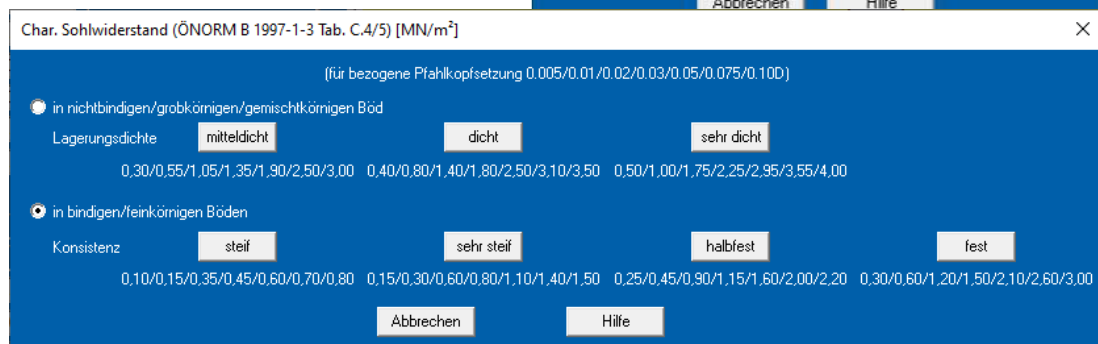
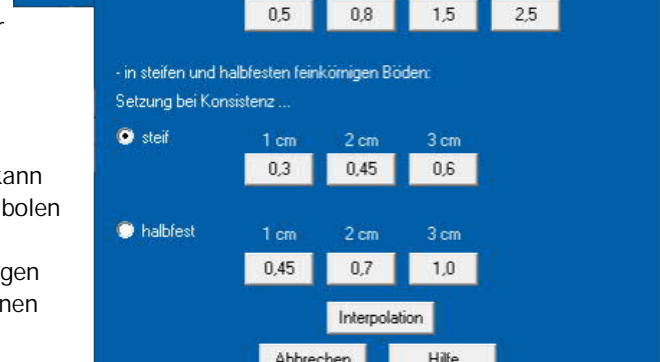
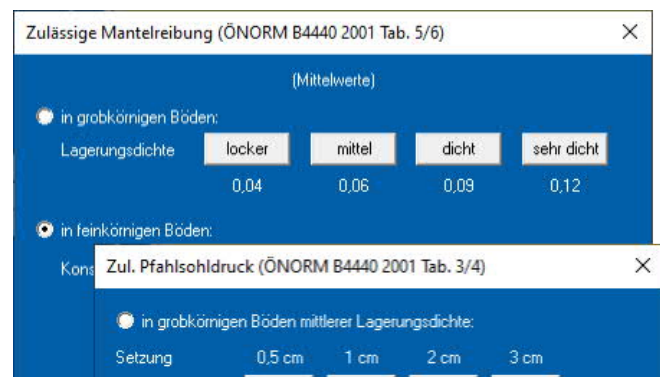
Spitzendruck:

Eine Interpolation über einen vorgegebenen Setzungswert kann nur beim Spitzendruck durchgeführt werden, da bei der Mantelreibung keine Werte, sondern Einstufungen wie locker, mittel, dicht angegeben sind.

Bei Einstellung auf ÖNORM B 1997-1-1 stehen sieben Werte für bezogene Setzungen zur Verfügung.

Wird ein Schichtname eingegeben, der als Langtext oder Kurzbezeichnung nach DIN 4023 dem Programm bekannt ist, kann die Schichtfläche mit der entsprechenden Farbe und/oder Symbolen gefüllt werden (Auswahl siehe Einstellung – Konfiguration – Verwaltung). In der Eingabeoberfläche werden die Symbole wegen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Zur Unterscheidung können auch Ziffern angehängt sein, z.B. Sand1, Sand2 oder G1, G2.

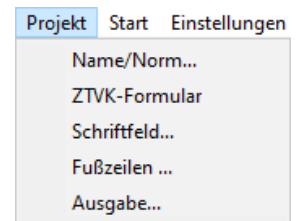
Unter Einstellungen – [Symboleditor](#) können beliebige Namen mit Farben und Symbolen definiert werden.



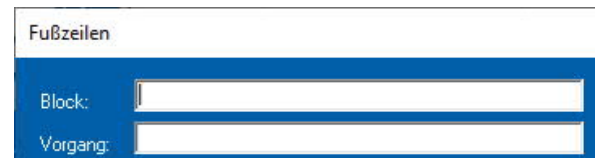
## Menü Projekt

Das Menü Projekt dient zur Eingabe der allgemeinen Parameter eines Projektes.

Die ausführliche Beschreibung der allgemeinen Funktionen/Optionen finden Sie in den [DC-Bedienungsgrundlagen](#).



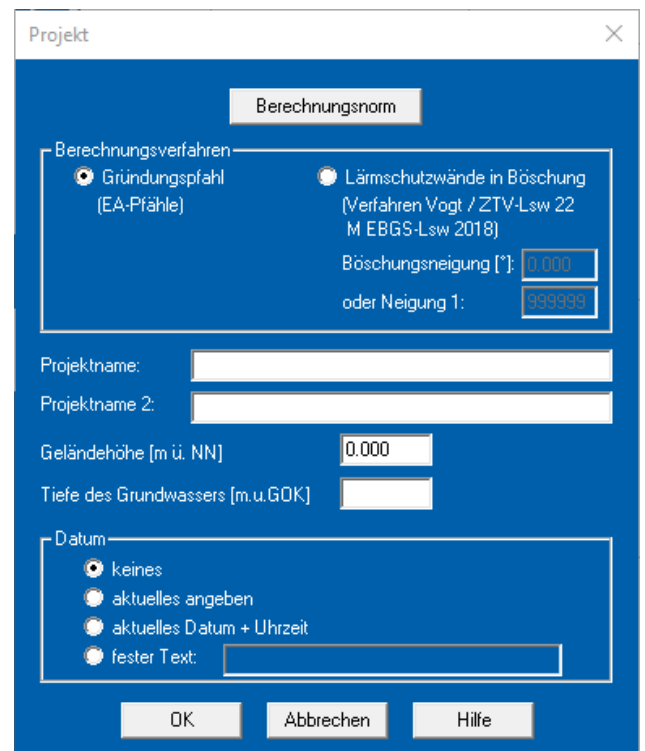
Name/Norm	Norm-Einstellung, Name des Projektes, NN-Höhe, Wasserstand
ZTVK-Formular	Ein- und Ausschalten des des speziellen ZTVK-Formulars
Schriftfeld	Eingabe von Texten für zusätzliche Schriftfeldzeilen, wenn solche unter Einstellungen - <a href="#">Titelfeld</a> definiert wurden
Fußzeilen	Eingabe von Fußzeilen, sofern unter <a href="#">Einstellung - Titelfeld</a> entsprechende Zeilen definiert wurden. Standardmäßig sind keine Fußzeilen vorhanden.
Ausgabe	Ausgabeparameter. Nummer der ersten Seite für die Ergebnisse, Dateiname oder Pfad- und Dateiname.



## Name/Norm

Im Projekt-Dialog können folgende Daten vorgegeben werden:

- Aufruf der Normauswahl über den Button „Berechnungsnorm“ (siehe Kapitel [Normdefinition](#)).
- Berechnungsverfahren: das Programm DC-Pfahl berechnet Gründungspfähle nach EA-Pfähle, Eurocode 7, etc. Ist das Produkt DC-Pfahl/Lsw vorhanden, kann die Berechnung von Lärmschutzwänden in Böschungen nach dem Verfahren von Vogt bzw. [ZTV-Lsw 06](#) / M EBGs-Lsw 2018 ausgewählt werden. Hierfür kann eine Böschungsneigung in Grad oder als Neigung 1:m vorgegeben werden, die dann rechts am Pfahl dargestellt wird.
- Name des Projektes, der im Schriftfeld der Ergebnisse erscheint (max. zwei Zeilen).
- Wahlweise eine NN-Höhe, die in der Schnittdarstellung des Pfahls für die Geländehöhe und die Schichthöhen dargestellt wird.
- Tiefe des Grundwassers unter GOK für den Ansatz der Wichte unter Auftrieb für die Schichten bei der Bestimmung des passiven Erddrucks (Anpassung der Bettung) und für den Pfahl (Eigengewicht).
- Angabe des Datums am Anfang der Ergebnisausgabe: wahlweise kein Datum, automatischen Eintrag des aktuellen Datums, aktuelles Datum + Uhrzeit, oder ein festes Datum als beliebiger Text.

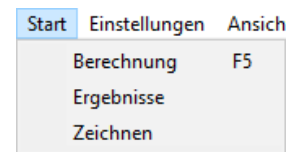


*Zu beachten:* die beiden Projektzeilen erscheinen automatisch im Schriftfeld der Ergebnisse. Die Anforderung geschieht in der Schriftfeld-Definition über [Einstellungen – Titelfeld](#), indem den entsprechenden Zeilen das Attribut „Projektname“ bzw. „2. Namenszeile“ zugeordnet wird.


## Menü Start

Das Menü Start dient zum Starten der Berechnung, der Ergebnisse und der Zeichenfunktionen.


Berechnung Berechnen des Pfahls  
 Ergebnisse Aufruf der Ergebnisse  
 Zeichnen Aufruf der Zeichenfunktionen



## Berechnung

Über Start – Berechnung, die Schaltfläche „Berechnung“, die Taste *F5* oder das Icon  in der [Werkzeugleiste](#) wird die Berechnung gestartet. Nach Veränderung von Parametern stehen erst dann die aktuellen Ergebnisse zur Verfügung, wenn nochmals die Berechnung aufgerufen wurde. Beim Öffnen eines vorhandenen Projektes werden die aktuellen Daten automatisch berechnet.

## Ergebnisse

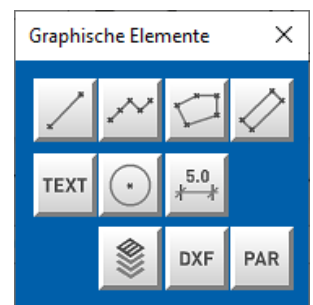
Über Start – Ergebnisse, die Taste *Bild weiter (PgDn)* oder das Icon  in der [Werkzeugleiste](#) werden die Berechnungsergebnisse aufgerufen. Über die Tasten *Bild weiter (PgDn)* bzw. *Bild zurück (PgUp)* oder das Mausrad können Sie durch die Ergebnisse blättern, mit *Strg-Ende* zum Ende der Ausgabe oder mit *Strg-Pos1* zurück zum Eingabefenster springen.

## Zeichnen

Mit der Funktion Start - Zeichnen wird der Dialog mit den Grafikelementen aufgerufen. Dieser kann ständig dargestellt werden, wobei die Menüpunkte und anderen Icons weiterhin aufrufbar sind, oder bei Bedarf wieder geschlossen werden.

Es stehen die folgenden Grafikfunktionen zur Verfügung:

- Linie: zeichnen von einzelnen Linien
- Linienzug: zeichnen von zusammenhängenden Linienzügen (Polyline)
- Polygon: zeichnen von geschlossenen Polygonen
- Rechteck: zeichnen von Rechtecken über eine Grundlinie und die Breite
- Text: darstellen von Texten
- Kreis: zeichnen von Kreisen
- Maßkette: zeichnen von Maßketten: zuerst Angabe der Hauptlinie, d.h. wo die Maßkette erscheinen soll, dann Anklicken aller Punkte (auch von der Linie entfernt), die vermaßt werden sollen, jeweils mit der linken Maustaste, bis die Funktion mit der rechten Maustaste beendet wird
- Folien: verwalten von Layern (darstellen oder ausschalten, sperren und entsperren, Definition von Layern)
- DXF: Import von Grafiken aus DXF-Dateien
- Parameter: Definition der Parameter der Maßketten (Strichstärke, Schriftgröße, Farbe und Textfarbe). Bei den anderen Grafikelementen können die Parameter einzeln per Doppelklick eingestellt werden




Die Eigenschaften der Grafikelemente können nachträglich über Doppelklick auf das Grafikelement verändert werden.

Die Darstellung der Grafikelemente ist in allen Bildern möglich, aber nicht in den Textergebnissen.

Dabei wird unterschieden, in welchem Bild sich die Grafikelemente befinden:

- Grafikelemente im Eingabefenster (Systembild) werden in allen Geometriegrafiken ebenfalls dargestellt, z.B. in Grafiken von verschiedenen Aushubzuständen bei allen Programmen, in denen es Aushübe gibt
- Grafikelemente in einem Ergebnisbild (Geometriebild, evtl. Lastbild oder Schnittgrößenbild je nach Programm) werden nur in diesem einen Bild dargestellt

Da das Eingabefenster maßstabslos ist, können Schriftgrößen (die nicht in Weltkoordinaten, sondern in mm im Blatt gemessen werden) nur in ungefährender Größe dargestellt werden. Maßgebend für die Darstellung auf

dem Blatt ist die Seitenansicht (siehe [Menü Datei](#) oder Icon .

## Menü Einstellungen

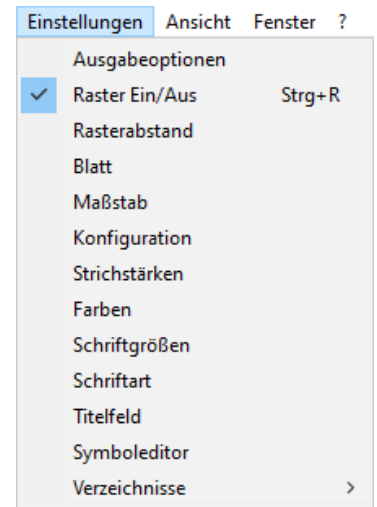
Das Menü Einstellungen dient zur Einstellung verschiedener Optionen für das Programm.

Die allgemeinen (Standard-) Menüpunkte zu den Einstellungen werden im Dokument [DC-Bedienungsgrundlagen](#) beschrieben.

## Konfiguration

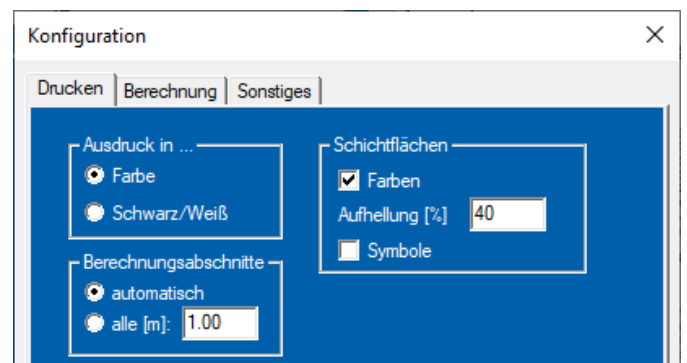
In der Konfiguration stehen drei Gruppen von Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Drucken**      Einstellungen, die das Drucken betreffen
- [Berechnung](#)    Einstellungen, die die Berechnung betreffen
- [Sonstiges](#)      Weitere Einstellungen: Rand für die Ausgabe, Grafik-Konfiguration und Sprache



## Drucken

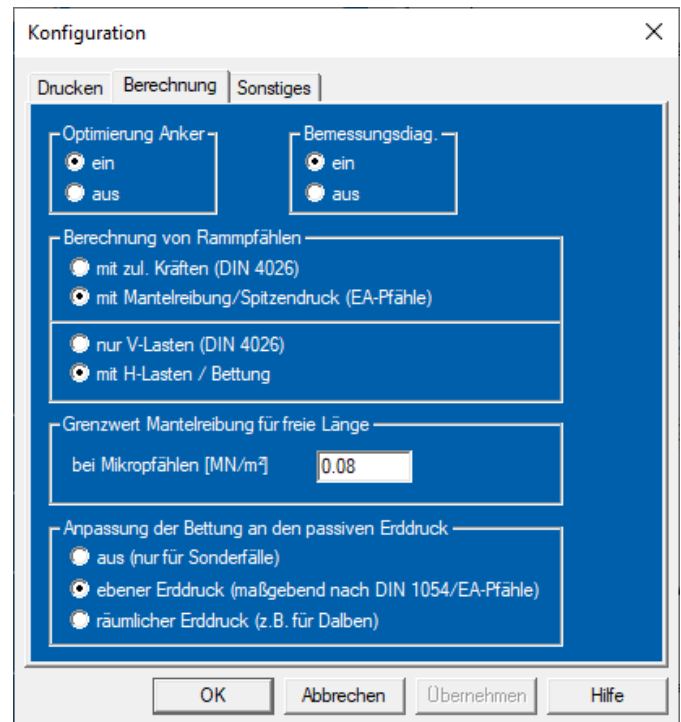
- Für das Drucken kann eingestellt werden, ob standardmäßig mit Farbe oder in schwarz/weiß gedruckt wird. Beim [Drucken](#) selbst wird die gewünschte Option nochmals abgefragt, ist jedoch dann so voreingestellt, wie in der Konfiguration angegeben.
- Berechnungsabschnitte Stahlbeton: standardmäßig werden die Tiefenabschnitte für die Bemessungstabelle in Abhängigkeit von der Pfahlänge gewählt, damit die Tabelle nicht zu lang wird. Die Standard-Abschnittslänge von 1.0 m wird bei langen Pfählen auf 2.5 m, 5.0 m usw. vergrößert. Wahlweise kann die Abschnittslänge vorgegeben werden.
- Schichtflächen: wenn ein definierter Name oder eine Kurzbezeichnung erkannt wird (Definition siehe unter Einstellung – Symboleditor), kann eine Schicht mit Farben nach DIN 4023 (wahlweise mit Aufhellung zwischen 0 und 100%) und/oder mit entsprechenden Schichtsymbolen gefüllt werden. In der Eingabeoberfläche werden wegen der Übersichtlichkeit nur die Farben dargestellt.



## Berechnung

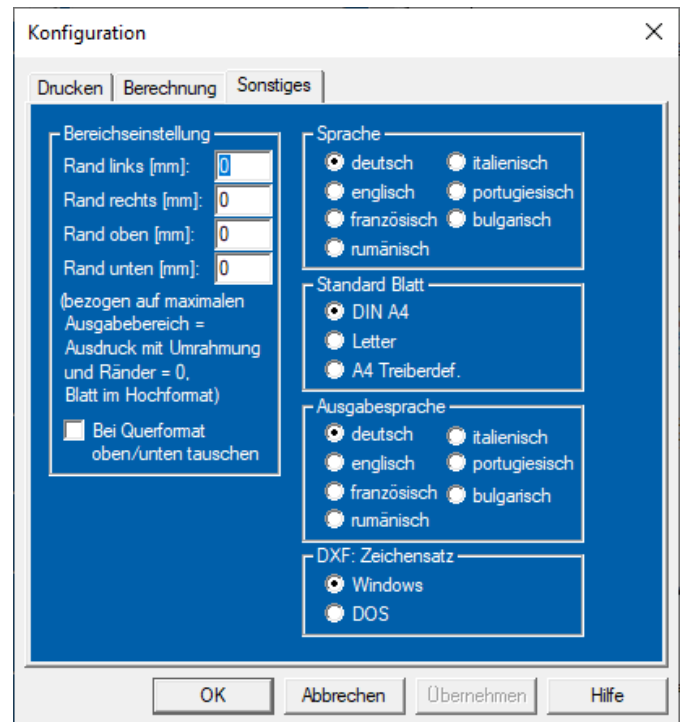
Bei der Verwendung von Ankerstählen (Durchmesser > 28 mm) wird vom Programm die Stahlmenge optimiert, so dass auch zwei verschiedene Durchmesser kombiniert werden können (z.B.  $2 \times d = 35 \text{ mm} + 1 \times d = 43 \text{ mm}$ ). Es wird die Kombination gewählt, die der erforderlichen Stahlmenge erf.  $A_s$  am nächsten kommt. Ist dies eine Kombination aus zwei verschiedenen Durchmessern, wird es in der Ergebnisausgabe zusätzlich ausgewiesen. Die Optimierung kann wahlweise ausgeschaltet werden.

- Die Seite Bemessungsdiagramm mit dem Diagramm für Kreisquerschnitte nach Grasser (Heft 220 DafStb) kann wahlweise ausgeschaltet werden. Anmerkung: das Bemessungsdiagramm entfällt grundsätzlich bei Wahl von Ankern Ischebeck Titan sowie bei zentrischer Bewehrung (Überdeckung =  $d/2$ ).
- Für die Berechnung von Verdrängungspfählen (Ramppfählen) kann die Art der Berechnung gewählt werden: nach DIN 4026 sind hier nur Vertikallasten mit festen zulässigen Kräften in Abhängigkeit von Durchmesser und Einbindetiefe möglich (zul. Lasten aus Tabelle). Nach EA-Pfähle kann eine Berechnung mit Mantelreibung und Spitzendruck sowie mit Bettung für Horizontallasten analog zu Bohrpfählen durchgeführt werden.
- Grenzwert Mantelreibung für freie Länge: für die Berechnung der Setzung von Mikropfählen wird unterschieden zwischen der freien und der Verbundlänge. Die freie Länge wird in Schichten bis zu einem Grenzwert der Mantelreibung, standardmäßig  $0.08 \text{ MN/m}^2$ , angesetzt. Dieser Grenzwert kann hier eingestellt werden. Näheres siehe Kapitel „[Berechnung der Setzung](#)“.
- Anpassung der Bettung an den passiven Erddruck: bei Übertragung von Horizontallasten auf den Boden wird der Pfahl mit elastischer Bettung, d.h. als Balken mit elastischen Federn, berechnet. Nach DIN 1054:2010 und Empfehlungen EA-Pfähle dürfen die Bettungsspannungen den charakteristischen Wert des ebenen passiven Erddrucks nicht überschreiten. Zu prüfen ist hier der passive Erddruck bis zum Drehpunkt, wo also die Verformung einen Nulldurchgang hat. Sind die Bettungsspannungen größer, ist die Steifigkeit der Federn zu reduzieren und neu zu berechnen. Wahlweise kann die Anpassung der elastischen Bettung ausgeschaltet werden (nur für Sonderfälle), so dass mit nicht reduzierter Bettung gerechnet wird, oder es kann mit dem räumlichen passiven Erddruck vor dem Pfahl verglichen werden, was für die Berechnung von Dalben zulässig ist. Bei geringen Tiefen bis zum Drehpunkt ist es möglich, dass die Werte des räumlichen passiven Erddrucks geringer sind also der ebene passive Erddruck.



## Sonstiges

- Unter Sonstiges kann (unter Bezug auf den maximalen Ausgabebereich) ein Rand vorgegeben werden, der auf den vier Seiten des Blattes freigehalten werden soll. Dieser Rand gilt nur für die graphische Darstellung. Damit können Grafiken z.B. auf einen Briefbogen angepasst werden.
- Die Randangaben beziehen sich nicht auf die gesamte Blattgröße, da diese dem Programm nicht bekannt ist. Vielmehr wird der Rand von der äußersten Umrahmung eines Standardbildes abgezogen, das Sie bei Randeinstellungen von 0 erhalten.
- Zur DXF-Ausgabe kann – je nach verwendetem CAD-System – der Windows- oder DOS-Zeichensatz zur richtigen Darstellung der Umlaute verwendet werden.
- Für die Bedienung des Programms und die Ausgabe kann die Sprache deutsch, englisch, französisch, rumänisch, italienisch, portugiesisch oder bulgarisch eingestellt werden, für das Standard-Blattformat zusätzliche die Einstellung auf DIN A4 oder Letter. Es ist auch eine unterschiedliche Einstellung der Sprache für die Oberfläche und die Ergebnisausgabe möglich, z.B. deutsche Bedienung und Ausgabe englischer Ergebnisse.



## Grundlagen der Berechnung

Die Belastung von Bohrpfählen und Mikropfählen sowie bei entsprechender Einstellung in der [Konfiguration](#) auch von Ramppfählen wird wie folgt aufgenommen:

### Äußere Tragfähigkeit

- Längsbelastung: durch Mantelreibung und (bei Bohrpfählen) durch Spitzendruck
- Querbelastung und Momente: durch elastische Bettung im Boden

### Innere Tragfähigkeit

- Längsbelastung und Momente: durch Biegebewehrung
- Querbelastung: durch Schubbewehrung (Wendel)

Die [äußere](#) und die [innere](#) Tragfähigkeit werden getrennt nachgewiesen.

Zusätzlich kann bei Vorliegen der auf die Setzung bezogenen Werte von Spitzendruck (für Bohrpfähle), von Spitzendruck und Mantelreibung (für Ramppfähle) und des Steifemoduls abhängig von der Auslastung (für Mikropfähle) die [Setzung](#) (Pfahlkopfverschiebung) bestimmt werden.

## Äußere Tragfähigkeit

### Längsbelastung

Ein Pfahl wird meist durch eine Last in Pfahlrichtung belastet, d.h. bei senkrechten Pfählen durch eine Vertikallast. Bei Druckbelastung handelt es sich um einen Druckpfahl, bei Zugbelastung um einen Zugpfahl.

Bei Mikropfählen nach DIN 1054 / DIN 4128 sowie bei Zugbelastung wird die Last in den Boden ausschließlich über Mantelreibung übertragen. Bei Bohrpfählen nach DIN 1054 / DIN EN 1536 / DIN 4014 unter Druckbelastung kann zusätzlich der Spitzendruck angesetzt werden. Zusätzlich wird Mantelreibung und Spitzendruck auch für Ramppfähle gemäß EA-Pfähle angesetzt.

Für jede Schicht kann ein Bruchwert für die zulässige Mantelreibung  $\tau_{mf}$  bzw.  $q_{s,k}$  und den Spitzenwiderstand  $\sigma_s$  bzw.  $q_{b,k}$  vorgegeben werden. Bei einem Pfahl mit Durchmesser  $d$ , Länge  $l$ , Wichte  $\gamma$  und Schichtdicken  $\Delta z$  sowie einer möglichen Pfahlneigung  $\alpha$  bestimmt sich die zulässige (Bruch-)last zu

$$zul.V = \sum_{0..l} \left( \frac{\Delta z}{\cos \alpha} * d * \pi * q_{s,k} \right) + 0.25 * d^2 * \pi * q_{b,k}$$

wobei der Spitzendruck  $\sigma_s$  bzw.  $q_{b,k}$  der Schicht angesetzt wird, in der das Pfahlende liegt (bei Lage auf einer Schichtgrenze der zul. Spitzendruck der nächsten Schicht), und zwar nur bei Bohrpfählen und nur bei Druckbelastung.

Bei Fußverbreiterung wird die halbe Differenz des Umfangs für die Mantelreibung und die halbe Differenz der Fläche über die Fußlänge in das Gewicht eingerechnet (jeweils die Hälfte, da der Fuß konisch zuläuft). Für den Spitzendruck wird dann die Fläche des Pfahlfußes verwendet.

Liegt der Pfahl teilweise unterhalb des Grundwasserspiegels, wird die Wichte unter Auftrieb  $\gamma' = \gamma - 10$  (mindestens 0) angesetzt.

Bei Schichten unterhalb des Pfahlfußes, die einen geringeren zulässigen Spitzendruck aufweisen, kann Durchstanzen maßgebend werden, so dass der Spitzendruck in der Schicht, in der das Pfahlende liegt, nicht den Mindestwert darstellt. Das Programm prüft automatisch für alle tiefer liegenden Schichten den auftretenden Spitzendruck unter einer Lastausbreitung unter dem Reibungswinkel  $\varphi$  zur Pfahlachse. Der zulässige Spitzendruck der jeweiligen Schicht wird mit der Fläche unter dem Durchmesser  $d + \Sigma(\Delta z * \tan \varphi)$  multipliziert. Der minimal zulässige Spitzendruck wird maßgebend.

Ist der zulässige Spitzendruck einer tiefer liegenden Schicht mit entsprechender Lastausbreitung maßgebend, wird dies in der Ergebnisausgabe ausgewiesen.

Die zulässige Last muss die vorhandene Last einschließlich Eigengewicht um die erforderliche Sicherheit übersteigen:

$$zul.V \geq vorh.V * \eta$$

$$vorh.V = V + G * \cos \alpha = V + 0.25 * d^2 * \pi * l * \gamma * \cos \alpha$$

(hier ist bei Druckbelastung V positiv, bei Zugbelastung V negativ anzusetzen, d.h. bei Zugpfählen wirkt das Gewicht des Pfahls rückhaltend).

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten werden die Einwirkungen (Lasten) und die Widerstände (Summe von Mantelreibung und Spitzendruck) getrennt mit Sicherheitsbeiwerten beaufschlagt. Zum Ansatz der verschiedenen Grenzzustände siehe Kapitel [Normdefinition](#).

Damit kann die erforderliche Länge des Pfahls bestimmt werden. Bei einer gegebenen Länge bestimmt sich die vorhandene Sicherheit zu

$$\eta = \frac{zul.V}{vorh.V}$$

bzw. bei Teilsicherheiten gilt die Bedingung

$$E_d \leq R_d$$

Wahlweise kann anstatt der Sicherheit für die gegebene Last mit Verwendung der Bruchwerte von Mantelreibung und Spitzendruck bei Druckpfählen auch die zulässige Last bei einer gegebenen zulässigen Setzung bestimmt werden. Hierfür werden aus dem Widerstand-Setzungsdiagramm (siehe DIN 1054 / DIN 4014) die für die vorgegebene Setzung maßgebenden Werte von Mantelreibung und Spitzendruck angesetzt. Für diese Berechnung ist bei den [Schichten](#) die Eingabe der drei Werte für  $s = 0.02 * D$ ,  $0.03 * D$  und  $0.10 * D$  für den Spitzendruck nach DIN 1054 Tab. B 1, 2 oder 5 bzw. nach EA-Pfähle erforderlich, bei Ramppfählen die Werte für  $0.035D$  und  $0.10D$ .

Das Widerstand-Setzungsdiagramm wird in der Ausgabe dargestellt bei Druckpfählen, wenn die drei Werte für den Spitzendruck eingegeben wurden. Bei Zugpfählen wird das Widerstand-Hebungsdiagramm (ohne Anteile von Spitzendruck) dargestellt.

Für Ramppfähle (Verdrängungspfähle) werden bei Druck- und Zugpfählen für Berechnung nach DIN 4026 die zulässigen Lasten nach DIN 4026 Tabelle 2 – 4 bzw. DIN 1054 Anhang C angesetzt. Hierbei wird die Einbindelänge in tragfähige Schichten berücksichtigt (siehe [Schichteingabe](#)) mit einer minimalen Einbindung von 5 m gemäß DIN 4026 Kap. 8.1.1.1.

Bei Ramppfählen ist keine horizontale oder Momentenbelastung zulässig, sowie kein Widerstand-Setzungsdiagramm verfügbar.

Werden die Ramppfähle nach EA-Pfähle berechnet (siehe Konfiguration), dann erfolgt eine Berechnung wie bei Bohrpfählen über Mantelreibung und Spitzendruck. Es kann ebenfalls die Berechnung für Horizontallasten mit elastischer Bettung angefordert werden.

Bei Zugpfählen, d.h. wenn mindestens in einem Lastfall eine Zugkraft auftritt (Last in Pfahlrichtung in der Eingabe  $< 0$ ), kann außer der Mantelreibung auch das Gewicht des aktivierten Erdkörpers maßgebend werden. Im [Eingabefenster](#) kann daher bei Zugpfählen die Option „Aktivierten Erdkörper prüfen“ gewählt und ein maximaler Durchmesser des Erdkörpers angegeben werden (z.B. = Pfahlabstand bei Pfahlgruppen).

Es wird dann das Gewicht des quadratischen Erdkörpers bestimmt, der vom Pfahlfuß ausgehend (Pfahldurchmesser, bzw. falls eingegeben Fußdurchmesser) um den Winkel  $\varphi$  der jeweiligen Schicht von der Richtung der Pfahlachse ausgedehnt ist und vom maximalen Durchmesser begrenzt wird, siehe DIN 1054:2010, Bild 7.2. Wichtig: der Winkel  $\varphi$  wird in der Diagonalen angetragen, d.h. zum Lot auf die Seitenfläche des Erdkörpers ist der Winkel geringer. Im Unterschied zu Bild 7.2 wirkt der Erdkörper außerhalb des Pfahlradius, das Bild würde nur für einen Durchmesser von 0 gelten. Unterhalb der Grundwasserstandes (siehe [Projekt - Name](#)) wird automatisch die Wichte unter Auftrieb  $\gamma'$  berücksichtigt. Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten wird der rechteckförmige Erdkörper nach DIN 1054 Kap. 8.5.4 angesetzt.

Ist das Gewicht des aktivierten Erdkörpers geringer als die Summe der Mantelreibung, dann wird dieses Gewicht maßgebend für die Sicherheit und ggf. die erforderliche Pfahlänge.

Für Ramppfähle wird bei Zugpfählen eine Mantelreibung von  $25 \text{ kN/m}^2$  nach DIN 4026 Kap. 8.1.2 angesetzt bzw. nach DIN 1054 die gleichen zulässigen Kräfte wie für Druckpfähle, wobei eine Einbindung von

mindestens 5 m in tragfähige Schichten erforderlich ist. Nach EA-Pfähle wird analog zu Bohrpfählen mit Mantelreibung gerechnet.

### Querbelastung und Momente

Die Querbelastung des Pfahls ist durch elastische Bettung vom Boden aufzunehmen, d.h. der Pfahl als Träger auf Federn zu berechnen. Die Bettungsspannung darf den passiven Erddruck des Bodens nicht übersteigen.

Nach DIN 1054 bzw. DIN 4014 wird die Bettung standardmäßig angesetzt zu

$$k_s = \frac{E_s}{d}$$

wobei die Dicke des Pfahls  $d$  mit maximal 1.0 m angesetzt werden muss. Bei Berechnung nach ÖNORM entfällt die Begrenzung auf 1.0 m.

Für das statische System kann jeweils eine [Festhaltung](#) für den Pfahlkopf und den Pfahlfuß angegeben werden.

Bei Bestimmung der erforderlichen Länge wird der Pfahl so lange verlängert, bis die zulässige Kopfverformung gemäß Vorgabe (Vorschlag gemäß DIN EN 1536:  $0.03 \cdot d$ , maximal 2 cm), eingehalten ist. Kann die zulässige Kopfverformung durch Verlängerung nicht eingehalten werden (d.h. die Verformung steigt durch die Biegung des Pfahls wieder an), dann wird die Länge verwendet, die sich aus Mantelreibung und Spitzendruck ergibt.

Überschreiten die Bettungsspannungen (lokal je Feder) den passiven Erddruck

$$e_p = K_{pgh} * \sum \gamma * z + K_{pch} * c$$

dann wird der Bettungsmodul abgemindert, bis die maximal zulässige Spannung eingehalten ist. Die Bettungsspannung an der Einzelfeder darf dabei maximal den charakteristischen passiven Erddruck ohne Sicherheitsbeiwert erreichen.

Zusätzlich ist für das gesamte Erdauflager nachzuweisen, dass die Summe der Bettungsspannungen als Bemessungswerte (mit Sicherheiten)  $B_{h,d}$  die Summe des passiven Erddrucks  $E_{r_{h,d}}$  nicht übersteigt. Gemäß EA-Pfähle darf hier der räumliche Erddruck (vor der schmalen Druckfläche nach Weißenbach bzw. der räumliche Erddruck nach DIN 4085:2017) angesetzt werden, allerdings nur bis zum Drehpunkt, d.h. bis in die Tiefe, wo die Pfahlverschiebung = 0 wird.

Die sich ergebende Bettung, Schnittgrößen und Verformungen werden graphisch dargestellt (bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten als charakteristische Werte ohne Sicherheiten).

## Innere Tragfähigkeit

### Längsbelastung und Momente

Bei Bohrpfählen wird eine Biegebemessung des Kreisquerschnittes aus Stahlbeton durchgeführt nach Linse, Thielen: Die Grundlagen der Biegebemessung der DIN 1045 aufbereitet für den Gebrauch an Rechenanlagen. Beton- und Stahlbetonbau 9/1972 bzw. nach DIN 1045-1, SIA 262, ÖNORM B 4700, British Standard BS 8110 oder IS 456. Bei Stahlpfählen erfolgt die Bemessung des Stahlquerschnitts nach DIN 18800, Eurocode 3, SIA 263, BS 5950 oder IS 800.

Zur Bemessung nach Eurocode 3 siehe Kapitel "[Stahl - Bemessung nach Eurocode 3](#)".

Wird bei Berechnung nach DIN 1045 oder DIN 1045-1 die Mindestbewehrung gemäß DIN EN 1536 unterschritten (bei Nennquerschnitt  $A_C \leq 0.5 \text{ m}^2$ : 0.5% von  $A_C$ , bei  $0.5 \text{ m}^2 < A_C \leq 1.0 \text{ m}^2$ :  $25 \text{ cm}^2$ , bei  $A_C > 1.0^2$ : 0.25 von  $A_C$ ), wird auf diese hingewiesen. Ausnahme: bei Pfählen mit  $d > 50 \text{ cm}$  ist keine Mindestbewehrung erforderlich, wenn sich  $A_s = 0$  ergibt (siehe DIN 4014 Abschnitt 5.4).

Aus den Belastungen  $M$  und  $N$  in verschiedenen Lastfällen werden die Momenten- und Normalkraftverläufe bestimmt und der Pfahl alle  $m$ , maximal jedoch an 10 Stellen, bemessen. Es wird die erforderliche maximale Längsbewehrung in  $\text{cm}^2$  bestimmt. Die gewählte Bewehrung kann durch Auswahl der Durchmesser und der Anzahl Stäbe vorgegeben werden.

Zusätzlich zu den „üblichen“ Stahlsorten 500/550 und 420/500 stehen auch Stahlsorten von Ankerstäben 555/700 und 670/800 (z.B. SAS, Dywidag) sowie bei rein zentrischer Belastung auch die Ankertypen Ischebeck Titan zur Verfügung. Für letztere werden dann anstatt erf.  $A_s$  / gew.  $A_s$  die Kräfte vorh. F und zul. F nachgewiesen. Bei Druckpfählen wird für die erforderliche Kraft die vom Beton übernommene Druckkraft abgezogen. Dies gilt nur für Bohrpfähle, bei denen die Ankerstäbe als Bewehrung angesetzt werden. Bei Mikropfählen stehen zusätzlich Stahlsorten GEWI ... zur Verfügung. Wird eine GEWI-Stahlsorte ausgewählt, kann bei jedem Lastfall die Einstufung nach LF1, LF2 oder 3 bzw. bei Zugpfählen für Einsatzdauer < 2 Jahre oder doppelten Korrosionsschutz angegeben werden. In Abhängigkeit davon werden die Sicherheiten nach der GEWI-Zulassung angesetzt. Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten werden die speziellen Sicherheitsfaktoren nach Zulassung durch die Lastsicherheiten dividiert, um entsprechende Materialsicherheiten zu erhalten. Für GEWI-Stähle und Ischebeck TITAN werden die Stahlglieder alleine für die Tragwirkung angesetzt.

Bei der Verwendung von Ankerstäben (Durchmesser > 28 mm) wird vom Programm die Stahlmenge optimiert, so dass auch zwei verschiedene Durchmesser kombiniert werden können (z.B. 2 \* d = 35 mm + 1 \* d = 43 mm). Es wird die Kombination gewählt, die der erforderlichen Stahlmenge erf.  $A_s$  am nächsten kommt. Ist dies eine Kombination aus zwei verschiedenen Durchmessern, wird es in der Ergebnisausgabe zusätzlich ausgewiesen. Die Optimierung kann wahlweise in der [Konfiguration](#) ausgeschaltet werden.

### Querbelastung

Aus der Querbelastung durch eine Last V oder Q wird der Querkraftverlauf bestimmt und der Pfahl alle m, maximal jedoch an 10 Stellen, bemessen. Mit den Querkraftwerten wird eine Schubbemessung durchgeführt. Der Hebelarm der inneren Kräfte z wird aus der Biegebemessung verwendet.

### Querkraftbemessung nach DIN 1045-1, Eurocode 2 und SIA 262

Für die Querkraftbemessung des Kreisquerschnitts von Bohrpfählen kann das Verfahren nach Bender und Mark verwendet werden (Bautechnik 2006 und Betonkalender 2008, siehe auch EA-Pfähle). Siehe Kapitel "[Querkraftbemessung nach Bender & Mark](#)".

Bei Wahl der konventionellen Bemessung erfolgt diese nach DIN 1045-1, Eurocode 2 oder SIA 262, wobei der Hebelarm der inneren Kräfte z aus der Biegebemessung verwendet wird. Die wirksame Breite beim Kreisquerschnitt (Bohrpfahl) ist die Breite der Nulllinie, falls diese im Querschnitt liegt. Andernfalls wird der Mindestwert aus der Querschnittsbreite auf Höhe der Druck- und der Zugkraft verwendet. Liegt keine Druckkraft vor, dann wird die Breite eines Quadrates mit gleicher Fläche wie der Kreis verwendet.

Der Faktor für die Mindestquerkraftbewehrung gilt nicht für SIA 262, weil hier fest 2 ‰ der Querschnittsfläche festgelegt sind.

### Querkraftbemessung nach DIN 1045, ÖNORM B 4700, BS 8110 und IS 456

Der Grundwert der Schubspannung wird bestimmt zu

$$\tau_0 = \frac{Q}{b * z}$$

b ergibt sich aus der Lage der Nulllinie der Biegebemessung als die Breite des Kreisquerschnittes, die von der Nulllinie geschnitten wird. Je nach Schubbereich wird  $\tau$  evtl. um einen Faktor  $f_\tau$  abgemindert.

Die Schubbewehrung ergibt sich dann zu

$$A_{ss} = \frac{f_\tau * Q}{z * \beta_s / \eta}$$

mit  $\eta = 1.75$ .

Ergibt sich kein Hebelarm der inneren Kräfte aus der Biegebemessung, weil der Querschnitt überdrückt ist, dann wird ein einbeschriebener Rechteckquerschnitt mit  $b = d/\sqrt{2}$  verwendet und  $z = 0.85 * b$  angesetzt.

Bei Zugbelastung ist eine Abminderung der Schubspannung nicht zulässig und maximal auf den Wert  $\tau_{02}$  begrenzt.

Bei Bemessung mit anderen Normen als DIN 1045 werden Bemessungsschnittgrößen mit Teilsicherheitsbeiwerten bestimmt und der Teilsicherheitsbeiwert für Beton zur Bemessung verwendet (z.B.  $\gamma = 1.50$  nach DIN 1045-1).

Es wird die maximal erforderliche Schubbewehrung in  $\text{cm}^2/\text{m}$  angegeben. Die gewählte Schubbewehrung kann durch Auswahl des Durchmessers und der Ganghöhe der Wendel vorgegeben werden.

## Querkraftbemessung nach Bender & Mark

Für die Querkraftbemessung von Kreisquerschnitten wurde von Bender & Mark ein Verfahren entwickelt, das veröffentlicht wurde in:

- Bautechnik 2/2006
- Bautechnik 5/2006
- Betonkalender 2008
- Dissertation Michél Bender, Ruhr-Universität Bochum 2009
- Beton- und Stahlbetonbau 7/2010 [1]
- In EA-Pfähle, 2. Auflage 2012, wird in Kapitel 5.10.1 auf dieses Verfahren verwiesen

Das Verfahren nach Bender & Mark wird wie folgt angewandt:

- Es wird ein sogenannter Wirksamkeitsfaktor  $\alpha_K$  eingeführt. Der untere Grenzwert beträgt  $\alpha_K = 0.72$ , sofern kein genauere Nachweis geführt wird. In DC-Baugrube wird der in [1] vorgeschlagene Mittelwert  $\alpha_K = 0.75$  benutzt.
- Anstatt des z.B. von EC 2 oder DIN 1045-1 bekannten „Fachwerkmodells mit Rissreibung“ (siehe [1], Abschn. 3.1) wird das von Bender & Mark in [1], Abschn. 3.2 eingeführte „Fachwerkmodell mit additivem Betontraganteil“ verwendet.
- Die Druckstrebenneigung  $\vartheta$  wird daher anders als üblich als „Schubrisswinkel  $\beta_R$ “ ermittelt:  
 $\cot \vartheta = \cot \beta_R = 1.2 - 1.4 * \sigma_{ed} / f_{cd}$
- Der max. Druckstrebenwiderstand (hier mit der aus DIN1045-1 bekannten Bezeichnung benannt) ergibt sich demnach zu:

$$V_{Rd,max} = \alpha_K * b_w * z * factor * f_{cd} * \cot \vartheta / \left[ (\cot \vartheta + \cot \alpha)^2 + 1 \right]$$

mit:

$b_w = D$  (Durchmesser des Betonquerschnitts)

$\cot \vartheta = \cot \beta_R$

factor = normabhängiger Faktor: DIN 1045-1 =  $\alpha_c$ , EC2:  $\alpha_c * \eta_1$ , SIA:  $k_c$

- Die Gesamttragfähigkeit der Zugstrebe setzt sich zusammen aus dem Widerstand der Querkraftbewehrung für  $\vartheta = \beta_R$  und der Querkrafttragfähigkeit eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung ( $V_{Rd,ct}$ ). Falls Druck-Normalkräfte vorhanden sind, kann ggf. die Tragfähigkeit durch „Sprengwerkneigung“  $V_N$  erhöht werden.

$$V_{Rd,y} = V_{Rd,y}(\vartheta = \beta_R) + V_{Rd,ct} + V_N$$

Dabei ist

$$V_{Rd,ct} = \frac{0.216}{\gamma_c} * K * (100 * \rho_1)^{0.42} * f_{ck}^{1/3} * b_{eff} * z$$

mit:

$b_{eff} = 0.9 * D$

$\rho_1 = 0.5 * A_{s,tot} / A_c$

Der Wert  $V_{Rd,ct}$  ist von der Längsbewehrung  $A_{s,tot}$  abhängig. Um eine Staffelungsmöglichkeit für die Längsbewehrung zu erlauben, gibt es daher in der Eingabe für die Bemessung eine Eingabemöglichkeit für „mind. eingelegte“ Längsbewehrung mit Angabe, ab oder bis zu welcher Tiefe diese geringere Bewehrung gilt. Der hier eingegebene Wert ist für das  $A_{s,tot}$  in den o.g. Formeln maßgebend und beeinflusst somit die erforderliche Schubbewehrung nach Bender & Mark direkt.

- Bei der Bemessung nach Bender & Mark wird der maßgebende Bemessungswert der Querkraft ( $V_{Ed}$ ) um den Wert  $V_{Rd,ct}$  vermindert:

$$V_{Res} = V_{Ed} - V_{Rd,ct}$$

und aus dieser reduzierten Querkraft die erforderliche Schubbewehrung ermittelt:

$$A_{s,w} = \frac{V_{Res}}{z * f_{yw} * \alpha_k * \cot \vartheta}$$

- Die Mindestschubbewehrung wird wie üblich (je nach Norm) ermittelt, mit dem Unterschied, dass als maßgebende Breite der Wert  $b_w = 0.9 * D$  verwendet wird.
- Sofern die Option „lambda\*N verwenden“ (siehe Eingabefenster der Bemessung) aktiviert ist, wird (sofern an der für die Querkraftbemessung maßgebenden Stelle eine Drucknormalkraft vorhanden ist) die Erhöhung der Tragfähigkeit aus Sprengwerkneigung ermittelt:

$$V_N = \lambda * N$$

(Druckkraft positiv)

Die für die Ermittlung der Schubbewehrung maßgebende Kraft ( $V_{Res}$ , siehe oben) wird dann ggf. um diesen Wert weiter vermindert:

$$V_{Res} \rightarrow V_{Res} - V_N$$

- Die Grundlagen für die Ermittlung der Sprengwerkneigung  $\lambda$  sind in [1] für einfache Fälle beschrieben. In DC-Pfahl wird  $\lambda$  für die maßgebende Stelle der Querkraftbemessung ermittelt. Bei der abschnittswisen Bemessung wird die Verminderung der erforderlichen Schubbewehrung nur für den maßgebenden Bereich durchgeführt und entsprechend im Ausdruck markiert. Für die Normalkraft  $N$  wird hierbei der tatsächliche Bemessungswert der Normalkraft verwendet. Der Wert  $\lambda$  sollte immer auf Plausibilität geprüft werden und im Zweifelsfall die Option „lambda\*N verwenden“ nicht gewählt werden. Bei Zug-Normalkräften im Querschnitt hat die Option „lambda\*N verwenden“ keine Auswirkung.

## Stahl - Bemessung nach Eurocode 3

### 1. Schnittgrößenkombinationen

Der Stahlquerschnitt des Pfahls wird für 3 Schnittgrößenkombinationen bemessen:

maxM, minM und max |V| (Querkraft)

### 2. Querschnittsklassifizierung

Zunächst wird die Querschnittsklasse (1 bis 4) nach EN 1993-1-1, Tab. 5.2 ermittelt.

Für Rohrquerschnitte ist sie vom Verhältnis  $D/t$  (Rohrdurchmesser / Wandstärke) abhängig, d.h. sie ist für alle Schnittgrößenkombinationen gleich.

Für Walzprofile (wie I oder U-Profile) ist sie außerdem von der Querschnittsbeanspruchung abhängig, d.h. die Querschnittsklasse kann für jede Schnittgrößenkombination unterschiedlich sein.

Es ist hierbei die Querschnittsklasse von Steg(en) und Flansch(en) getrennt zu ermitteln. Die ungünstigere ist maßgebend.

Da wir nur einachsige Biegung betrachten, ist für den Flansch nur der Fall „auf Druck beanspruchter“ Querschnittsteil zu behandeln, für den Steg kann je nach Beanspruchung der Fall „Druck“, „Biegung“ oder „Druck und Biegung“ vorkommen.

### 3. Effektive Querschnittswerte

Für Querschnitte der Klasse 4 werden die effektiven Querschnittswerte ( $A_{\text{eff}}$ ,  $W_{\text{eff}}$ ) ermittelt.

Die Ermittlung der „wirksamen Querschnittsfläche“  $A_{\text{eff}}$  erfolgt entsprechend EN 1993-1-5, 4.3 (3) („Die wirksame Querschnittsfläche  $A_{\text{eff}}$  wird in der Regel unter der Annahme reiner Druckspannungen infolge der Druckkraft  $N_{\text{Ed}}$  berechnet.“)

Somit kann für diesen Fall der Flansch von I- und U-Profilen nach EN 1993-1-5, Tab. 4.2 als „einseitig gestützter Querschnittsteil“ mit  $\psi=1.0$  behandelt werden, der Steg nach Tab. 4.1 als „zweiseitig gestützter Querschnittsteil“, ebenfalls mit  $\psi=1.0$ .

Die effektiven Querschnittswerte für Rundrohrprofile werden über die Analogie eines äquivalenten Quadratrohrs ermittelt, so dass wiederum „Flansche“ (in diesem Fall zweiseitig gestützt) und „Stege“ wie bei den o.g. Profilen behandelt werden können.

Die Ermittlung des „wirksamen Widerstandsmoments“  $W_{\text{eff}}$  erfolgt entsprechend EN 1993-1-5, 4.3 (4) („Das wirksame Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  ist in der Regel unter der Annahme reiner Biegelängsspannungen infolge  $M_{\text{Ed}}$  zu bestimmen“).

Im Flansch wirken (da einachsige Biegung) wiederum konstante Druckspannungen, also  $\psi=1.0$ , im Steg dagegen (reine Biegung)  $\psi=-1.0$  (Druck= -Zugspannung).

Damit können die Abminderungsfaktoren  $\rho$  nach EN 1993-1-5, 4.4 für Steg und Flansch und daraus die reduzierten Widerstandsgrößen  $A_{\text{eff}}$  und  $W_{\text{eff}}$  bestimmt werden.

### 4. Nachweise

Zunächst erfolgen die Einzel-Nachweise für die Schnittgrößen  $V$ ,  $N$  und  $M$ .

#### 4.1 Einzel-Nachweise

##### 4.1.1 Querkraft

Für den Querkraft-Nachweis muss der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit  $V_{\text{Rd}}$  ermittelt werden. Dies geschieht nach EN 1993-1-1, Gl. 6.18.

Die dazu erforderliche Schubfläche  $A_v$  ergibt sich nach EN 1993-1-1, 6.2.6(3), und zwar für I-Profile nach (3a), für U-Profile nach (3b) und für Rundrohre nach (3g).

Damit ergibt sich  $V_{\text{Rd}} = A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{\text{Mo}}$

(mit:  $f_y$ =char. Wert der Streckgrenze und  $\gamma_{\text{Mo}}$  = Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten = 1.0 nach EN 1993-1-1, 6.1 (1) Anmerkung 2B, bzw. DIN EN 1993-1-1/NA)

Die Querschnittsausnutzung (zulässiger Wert 1,0) ergibt sich aus  $V_{\text{Ed}} / V_{\text{Rd}}$  wobei  $V_{\text{Ed}}$  der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft ist.

##### 4.1.2 Normalkraft

Für die Normalkraft-Beanspruchbarkeit  $N_{\text{Rd}}$  ist im allgemeinen die Querschnittsfläche  $A$  maßgebend:

$$N_{\text{Rd}} = A \cdot f_y / \gamma_{\text{Mo}}$$

Im Falle einer wirkenden Druckkraft ist für Querschnitte der Klasse 4 nach EN 1993-1-1, Gl. 6.11 die wirksame Querschnittsfläche  $A_{\text{eff}}$  maßgebend:

$$N_{\text{c,Rd}} = A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{\text{Mo}}$$

Die Querschnittsausnutzung (zulässiger Wert 1,0) ergibt sich aus  $N_{\text{Ed}} / N_{\text{Rd}}$  wobei  $N_{\text{Ed}}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft ist.

#### 4.1.3 Biegemoment

Das für die Biege-Beanspruchbarkeit  $M_{Rd}$  maßgebende Widerstandsmoment hängt von der Querschnittsklasse ab:

Nach EN 1993-1-1, 6.2.5(2) darf

für Querschnitte der Klasse 1 und 2 das plastische Widerstandsmoment  $W_{pl}$  verwendet werden,

für Querschnitte der Klasse 3 das elastische Widerstandsmoment  $W_{el}$ ,

für Querschnitte der Klasse 4 ist das wirksame Widerstandsmoment  $W_{eff}$  zu verwenden.

Mit dem jeweiligen Widerstandsmoment  $W$  ergibt sich dann

$$M_{Rd} = W * f_y / \gamma_{Mo}$$

Die Querschnittsausnutzung (zulässiger Wert 1,0) ergibt sich aus  $M_{Ed} / M_{Rd}$  wobei  $M_{Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments ist.

#### 4.2 Interaktionsnachweise

Sofern alle 3 Einzel-Nachweise erfolgreich waren (d.h. die Ausnutzungsgrade aller 3 Nachweise überschreiten nicht den zulässigen Wert von 1,0), werden ggf. weitere Interaktionsnachweise durchgeführt, die Beeinflussung des Biege- und Schubwiderstandes durch die Normalkraft bzw. die Querkraft berücksichtigen.

##### 4.2.1 Interaktion infolge Querkraft V

Es gilt EN 1993-1-1, 6.2.8. Demnach ist der Einfluss der Querkraft auf die Momentenbeanspruchbarkeit zu berücksichtigen, sofern der Ausnutzungsgrad des Querkraftnachweises den Wert 0,5 übersteigt.

Im Prinzip ist die Streckgrenze der schubbeanspruchten Querschnittsteile entsprechend der Querkraftbeanspruchung für die Ermittlung einer reduzierten Momententragfähigkeit abzumindern.

Dazu ist nach EN 1993-1-1, Gl. 6.29 ein Ausnutzungsfaktor  $\rho$  zu bestimmen:

$$\rho = (2 * V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2$$

und daraus die abgeminderte Streckgrenze:  $f_{y,red} = f_y * (1 - \rho)$

Die praktische Umsetzung ist abhängig vom Querschnittstyp. Für I- und U-Querschnitte wird die in EN 1993-1-1, Gl. 6.30 angegebene Formel zur direkten Ermittlung der abgeminderten Biegetragfähigkeit  $M_{VRd}$  verwendet.

Rundrohre werden wieder mittels eines äquivalenten Ersatz-Quadratrohr-Querschnitts behandelt. Die o.g. abgeminderte Streckgrenze wird auf den Steg-Querschnitt des Ersatzquerschnitts angewendet.

In allen Fällen wird vom Programm geprüft, dass das ermittelte  $M_{VRd}$  nicht die normale Biegetragfähigkeit  $M_{Rd}$  übersteigt.

##### 4.2.2 Interaktion infolge Normalkraft N

Auch der Einfluss der Normalkraft auf die Biegetragfähigkeit muss ggf. geprüft werden.

Es gilt EN 1993-1-1, 6.2.9.

Die Grenze, ab der der Einfluss berücksichtigt werden muss, ist abhängig vom Querschnittstyp.

Die Berücksichtigung des gleichzeitigen Einflusses der Querkraft erfolgt ggf. dadurch, dass in die Berechnung von  $M_{NRd}$  als Ausgangswert nicht die Momententragfähigkeit  $M_{Rd}$  eingeht, sondern bereits die reduzierte Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der Querkraft  $M_{VRd}$ .

Beim gleichzeitigen Auftreten von M, N und V beinhaltet der Interaktionsnachweis infolge V also den Nachweis der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung aller 3 Schnittgrößen.

##### I- und U-Profile der Querschnittsklassen 1 und 2

Für I- und U-Profile gilt EN 1993-1-1, 6.2.9.1(4). Daraus ergeben sich mit Gl. 6.33 und 6.34 zwei Grenzen. Sobald eine von beiden überschritten ist, muss die Interaktion untersucht werden.

Die Grenze nach Gl. 6.33 heißt:  $N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{Rd}$

D.h. ab einem Ausnutzungsgrad höher als 0,25 beim Normalkraft-Nachweis ist der Interaktionsnachweis erforderlich.

Die zweite Grenze nach Gl. 6.34 heißt:  $N_{Ed} \leq 0,50 \cdot h_{Steg} \cdot t_{Steg} \cdot f_y / \gamma_{Mo}$

D.h. vereinfacht gesagt, wenn die Normalkraft 50% der Normalkraft-Beanspruchbarkeit der Stegfläche überschreitet, ist ebenfalls der Interaktionsnachweis erforderlich.

Der Wert der Momentenbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Normalkraft wird nach EN 1993-1-1, Gl. 6.36 ermittelt:

$$M_{NRd} = M_{Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_{Steg})$$

(wobei  $n$  = Ausnutzungsgrad des Normalkraft-Nachweises und  $a_{Steg}$  = Flächenanteil des Steges an der Gesamtfläche, wobei der Flächenanteil auf max. 50% des Gesamtquerschnitts beschränkt ist)

Rundrohrprofile der Querschnittsklassen 1 und 2

Für Rundrohrprofile wird wiederum ein äquivalentes Quadratrohr-Profil betrachtet und EN 1993-1-1, Gl. 6.39 angewendet. Diese liefert im Prinzip die gleiche Formel wie oben.

Für Quadratrohre ergibt sich unter der Annahme, dass die Wandstärke konstant ist bzw. der Steganteil gleich dem Flanschanteil gleich 50% ist, der Nenner zu 0,75. Wenn man von  $A_v$  ausgeht, wäre beim Rundrohr der Steganteil = 64 %. Da jedoch der Flächenanteil  $a_{Steg}$  gemäß der Formel immer auf 50% zu begrenzen ist, ergibt sich der Nenner auch in diesem Fall zu 0,75, also:

$$M_{NRd} = M_{Rd} \cdot (1 - n) / 0,75$$

Eine explizite Grenze für die Erfordernis der Interaktion ist für diese Profile nicht angegeben.

Da auch hier wie bei der Querkraft-Interaktion zu prüfen ist, dass  $M_{NRd}$  nicht die normale Biegetragfähigkeit  $M_{Rd}$  übersteigt und die o.g. Formel ab Ausnutzungsgraden  $n > 0,25$  Werte  $< 1$  liefert, ergibt sich mit der o.g. Formel implizit die gleiche Grenzausnutzung wie für die I- und U-Profile.

I-, U- und Rundrohrprofile der Querschnittsklassen 3 und 4

Für I-, U und Rohrprofile ab Querschnittsklasse 3 darf der Einfluss der Normalkraft nicht wie oben über den Interaktionsnachweis berücksichtigt werden. Stattdessen müssen Spannungsnachweise nach EN 1993-1-1, 6.2.9.2 f. geführt werden. Dabei sind 2 Nachweise erforderlich.

Der erste Nachweis ergibt sich aus Gl. (6.42) bzw. (6.43) und entspricht einem normalen Nachweis der maximalen (elastischen) Normalspannungen an der Randfaser des Gesamtquerschnitts (infolge Biegemoment und Normalkraft):

$$N_{Ed} / A + M_{Ed} / W \leq f_y / \gamma_{Mo}$$

Diese werden für Querschnittsklasse 3 mit den Querschnittswerten  $A$  bzw.  $W_{el}$  ermittelt bzw. für Querschnittsklasse 4 mit den wirksamen Querschnittswerten  $A_{eff}$  bzw.  $W_{eff}$ .

Der zweite Nachweis ist an der Randfaser des von der Querkraft beanspruchten Querschnitts erforderlich, bei I- und U-Profilen also z.B. in Flanschmitte

Hier ist ebenfalls nachzuweisen, dass die Normalspannungen (aus  $M$  und  $N$ ) die ggf. infolge der Querkraftwirkung (siehe Interaktion infolge Querkraft) reduzierte Streckgrenze  $f_{y,red}$  nicht überschreiten.

$$N_{Ed} / A + M_{Ed} / I \cdot (h - t_{FI}) / 2 \leq f_{y,red} / \gamma_{Mo}$$

## Bemessung mit Schöck ComBAR

Für die Pfähle aus Stahlbeton kann als Bewehrungsart Schöck ComBAR ausgewählt werden, wenn als Bemessungsnorm Eurocode 2 eingestellt ist.

Die Glasfaserbewehrung Schöck ComBAR hat folgende Materialeigenschaften im Vergleich zu Bewehrungsstahl (siehe auch Zulassung Schöck):

- charakteristische Dauerzugfestigkeit  $f_{tk} = 580 \text{ N/mm}^2$
- E-Modul =  $60.000 \text{ N/mm}^2$
- Grenzdehnung 7.4 ‰
- Material-Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_f = 1.30$
- Für Betongüten < C20/25 und bei statisch unbestimmten Systemen gilt allerdings ein höherer Sicherheitsbeiwert und geringere Grenzdehnung, siehe Zulassung Schöck ComBAR. Diese geänderten Werte gemäß der Zulassung werden automatisch angesetzt
- Die Mindestbewehrung für duktilen Bauteilverhalten ist mit einer um den Faktor 0.83 reduzierten Spannung ( $0.83 \cdot 580 \text{ N/mm}^2$ ) zu bestimmen

Für die Querkraftbemessung und analog die Durchstanzbemessung wird das Verfahren nach Kurth, Hegger: Zur Querkrafttragfähigkeit von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung – Ableitung eines Bemessungsansatzes (Bauingenieur 10/2013) verwendet.

Für die Tragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung gilt:

$$V_{Rd,c} = \beta * \frac{1}{424 * \gamma_c} * \kappa * (100 * \rho_l * E_{fl} * f_{ck})^{1/3} * b_w * d$$

Für die maximale Querkrafttragfähigkeit:

$$V_{Rd,max} = V_{Rd,c} + \frac{1.1 * b_w * z * f_{cm}^{2/3}}{\gamma_c * (\cot\vartheta + \tan\vartheta)}$$

Die erforderliche Querkraftbewehrung ergibt sich zu  $a_{fw}$  aus:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$$

$$V_{Rd,f} = a_{fw} * f_{fd,w} * z * \cot\vartheta$$

mit

Bemessungswert der Zugfestigkeit:

$$f_{fd,w} \leq \varepsilon_{fd,w} * E_{fw}$$

Bemessungswert der maximalen Dehnungen:

$$\varepsilon_{fd,w} = 2.3 + \frac{2 * EI^*}{30} \leq 7.0\text{‰}$$

Vereinfachte Bauteilbiegesteifigkeit:

$$EI^* = E_{fl} * A_{fl} * (0.8 * d)^2$$

und  $\vartheta$  = Neigungswinkel der Druckstreben:

$$\vartheta = \arctan \left[ \sqrt{\frac{\frac{M}{V} * a_{fw} * E_{fw}}{A_{fl} * E_{fl}}} \right]$$

$$\vartheta \geq 20^\circ, \quad \vartheta \leq 50^\circ$$

## Berechnung von Duktilpfählen

Für Duktilpfähle werden die folgenden Nachweise geführt:

### 1. Nachweis der äußeren Tragfähigkeit über Mantelreibung und Spitzendruck

Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit über Mantelreibung und Spitzendruck erfolgt wie bei den anderen Pfahlarten über den Vergleich

$$E_d \leq R_d$$

mit  $E_d$  = Bemessungswert der Normalkraft aus äußerer Längsbelastung + Pfahleigengewicht

und  $R_d$  = Mantelreibung \* Pfahlumfang \* Länge + Spitzendruck \* Pfahlquerschnittsfläche

Für den Umfang und die Querschnittsfläche kann eine Reduktion des Querschnitts durch Abrostung berücksichtigt werden durch Eingabe der Abrostung in mm als Reduktion der Wandstärke. Zusätzlich kann ein größerer Durchmesser eines Rammerschuhs für den Spitzendruck und wahlweise auch für die Mantelreibung angesetzt werden.

### 2. Nachweis der Verbundfuge zwischen Mantelverpressung und Gussrohr

Dieser Nachweis kann wahlweise geführt werden. Es wird nachgewiesen

$$E_{v,d} \leq R_{v,d} \quad \text{mit}$$

$$E_{v,d} = \frac{E_d}{R_d} * R_{s,d}$$

als Anteil der Einwirkung, der über Mantelreibung abgetragen wird.

Der Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit der inneren Fuge zwischen Mantelverpressung und Gussrohr ist

$$R_{v,d} = \tau_{R,d} * \pi * d * L_{eff}$$

$d$  = Außendurchmesser des Gussstahlrohrs (ggf. durch Abrostung vermindert)

$L_{eff}$  = Effektive Länge des Pfahls ohne Muffenbereiche

Für  $L_{eff}$  werden ganze Rohrabschnitte der eingegebenen Länge von unten nach oben angesetzt, d.h. eventuelle ungerade Längen befinden sich am Pfahlkopf. An jeder Abschnittsgrenze wird eine Muffenlänge abgezogen.

Der Bemessungswert der Verbundfestigkeit der Fuge zwischen Gussrohr und Mantelverpressung beträgt

$$\tau_{R,d} = \frac{\tau_{R,k}}{\gamma_{M,v}} + \mu_k * \sigma_h$$

$\tau_{R,k}$  = Grundwert der Verbundfestigkeit, nach Zulassung = 0.32 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{M,v}$  = Teilsicherheitsbeiwert, 2.1 für BS-P und BS-T, 1.8 für BS-A

$\mu_k$  = Reibungsbeiwert zwischen Gussrohr und Mantelverpressung, nach Zulassung = 0.5

$$\sigma_h = \frac{\tau_M}{\tan \varphi}$$

mit der Mantelreibung im Gebrauchszustand zwischen Beton und Boden

$$\tau_M = \frac{\tau_{M,k}}{\gamma_P} \text{ mit}$$

$\tau_{M,k}$  = charakteristischer Wert der Mantelreibung der jeweiligen Schicht

$\gamma_P$  = Teilsicherheitsbeiwert für Mantelreibung bei Druckbelastung

### 3. Nachweis der inneren Tragfähigkeit

Duktilpfähle dürfen gemäß Zulassung nur mit Normalkraft belastet werden. Der Nachweis der inneren Tragfähigkeit wird geführt als

$$E_d \leq R_{i,d}$$

mit  $E_d$  = Bemessungswert der Einwirkung (Normalkraft)

und dem Materialwiderstand für Gussstahl + Betonfüllung:

$$R_{i,d} = \frac{R_{sk}}{\gamma_{Ma}} + \frac{R_{ck}}{\gamma_c}$$

$$R_{sk} = A_t * f_{t0,2k}$$

$A_t$  = Querschnittsfläche des Gussrohrs, ggf. mit Berücksichtigung der Abrostung

$f_{t0,2k}$  = Spannung bei 0.2% Dehnung, gemäß Zulassung 320 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{Ma}$  = Material Sicherheitsbeiwert 1.10 für Gussstahl (1.00 nach ÖNORM B 2567)

$$R_{ck} = A_B * f_{ck}$$

$A_B$  = Querschnittsfläche Beton = Innenfläche des Rohrs

$f_{ck}$  = Materialfestigkeit des Betons

$\gamma_c$  = Material Sicherheitsbeiwert des Betons, 1.50 für BS-P und BS-T, 1.30 für BS-A (unterschiedliche Material sicherheiten für BS-A werden derzeit im Programm noch nicht unterstützt)

## Berechnung der Setzung

Um die Setzung (Pfahlkopfverschiebung) zu bestimmen, sind abhängig von der Pfahlart die folgenden Eingaben für alle [Schichten](#) erforderlich:

- für Bohrpfähle: Spitzendruck für Setzungen von 0.02D, 0.03D und 0.10D (D = Pfahldurchmesser)
- für Rammpfähle: Spitzendruck für Setzungen von 0.035D und 0.10D sowie Mantelreibung für  $sg^*$  und 0.10D (siehe Empfehlungen EA-Pfähle, nur wenn unter Einstellungen – Konfiguration – [Berechnung](#) entsprechend eingestellt)
- für Mikropfähle: Steifemodul  $E_s$  für 50%, 75% und 100% Auslastung (siehe Ischebeck: Neue Wege in der Ankertechnik, S. 29)

Für Bohrpfähle und Rammpfähle wird das Widerstand-Setzungsdiagramm gemäß DIN 1054:2005 bzw. EA-Pfähle bestimmt mit den Anteilen aus Mantelreibung und Spitzendruck. Im Diagramm wird die vorhandene Belastung angetragen (charakteristisch, da es sich um einen Gebrauchstauglichkeitsnachweis nach GZ 2 handelt) und daraus die zu erwartende Setzung interpoliert.

Für Mikropfähle existiert bisher keine entsprechende Normung oder Empfehlungen.

Es wird daher das Verfahren von Ischebeck verwendet, um die Pfahlkopfverschiebung und das Widerstand-Setzungsdiagramm auch für Mikropfähle zu bestimmen.

Siehe hierzu auch die beiden Veröffentlichungen der Firma Ischebeck, Ennepetal:

- „Ankerpfähle Ischebeck Titan“ für die Berechnung
- „Neue Wege in der Ankertechnik“ für den Steifemodul in Abhängigkeit von der Auslastung des Pfahls

Die Pfahlkopfverschiebung bestimmt sich danach zu

$$s = s_{Fix} + s_{Free} = \frac{F_k}{E_s} + \frac{F_k * L_{app}}{A * E}$$

mit

$F_k$  = charakteristische Belastung des Pfahls (ohne Sicherheitsbeiwert)

$L_{app}$  = freie Länge

$E_s$  = Steifemodul der Erdschichten in MN/m

$A * E$  = Steifigkeit des Pfahls

Die freie Länge  $L_{app}$  wird bestimmt als Summe aller Schichten ab Geländeoberkante, deren Grenzwert der Mantelreibung einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet. Standardmäßig wird hier der Grenzwert 0.08 MN/m<sup>2</sup> verwendet, er ist unter Einstellungen – Konfiguration – [Berechnung](#) einstellbar. Überschreitet eine Schicht den Grenzwert, dann zählen darunter liegende Schichten mit Mantelreibung < Grenzwert nicht mehr zur freien Länge.

Der Steifemodul  $E_s$  wird in MN/m statt in MN/m<sup>2</sup> angegeben, da der Eingangswert nicht wie bei einer Setzungsberechnung eine Bodenpressung, sondern eine Einzellast ist und keine Setzungsanteile über die Tiefe summiert werden.

Der Steifemodul ist in o.g. Formel abhängig von der Auslastung der inneren Tragfähigkeit des Pfahls anzusetzen. Dabei ist die Abhängigkeit nicht linear, siehe Diagramm in „Neue Wege in der Ankertechnik“. Deshalb wird zwischen den  $E_s$ -Werten für 50%, 75% und 100% quadratisch interpoliert. Liegt die Auslastung unter 50%, dann wird aus den Werten für 50% und 100% linear extrapoliert, um den Steifemodul nicht zu überschätzen. Über die Schaltfläche „Auswahl Steifemod.“ können von Ischebeck vorgeschlagene Erfahrungswerte gewählt werden.

Die Steifigkeit des Pfahls  $A * E$  wird verwendet

- für die in der Zulassung Ischebeck aufgeführten Titan-Anker die dort angegebenen Werte
- für alle anderen Typen: Querschnittfläche des Stahls und  $E = 200.000 \text{ MN/m}^2$

## Knicknachweis / Stabilitätsnachweis nach Eurocode 3

Der Stabilitätsnachweis für Mikropfähle und Stahl-Rammpfähle gemäß Eurocode 3-1-1 basiert insbesondere auf der Veröffentlichung

[1] Vogt, Norbert; Vogt, Stefan: Biegeknickwiderstand von Mikropfählen gemäß den Eurocodes. Bautechnik 2013, Heft 9

sowie zusätzlich

[2] Ofner, Robert; Wimmer, Heinz: Knicknachweis von Mikropfählen in geschichteten Böden. Bautechnik 2007, Heft 12

[3] Meek, Jethro: Das Knicken von Verpreßpfählen mit kleinem Durchmesser in weichem, bindigem Boden. Bautechnik 1996, Heft 3

[4] Brinch Hansen, J.: The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces. Bulletin No. 12, Geoteknisk Institut, Copenhagen 1961

[5] Randolph, M. F.; Houlsby, G. T.: The limiting pressure on a circular pile loaded laterally in cohesive soil. Géotechnique 34, No. 4, 1984

Nach [1], Formel (7), bestimmt sich die ideale Verzweigungslast des Systems aus Pfahl und dem stützenden Boden zu

$$N_{cr} = \frac{w_f * EI * \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 + p_f * D * \left(\frac{L_{cr}}{\pi}\right)^2}{w_f + e_0}$$

Es wird für jede mögliche Länge von 0.01 m bis zur Pfahllänge oder Schichtdicke (zur Wahl der maßgebenden Schicht siehe unten) die Verzweigungslast bestimmt. Maßgebend ist die Knickhalbwellenlänge  $L_{cr}$ , für die sich die minimale Verzweigungslast ergibt.

Der Mobilisierungsweg  $w_f$  ergibt sich nach [1], Formel (1) zu

$$w_f = D * \frac{0.2}{c_u^{0.4}}$$

mit

D = Außendurchmesser des Pfahls

$c_u$  = undrainierte Kohäsion der Schicht

Für die Bodenstützung  $p_f$  als Spannung stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die bei den Parametern für den Knicknachweis ausgewählt werden können:

- 1) Vorgabe eines  $p_f$ -Wertes für jede Schicht gemäß dem Bodengutachten
- 2) Bestimmung des  $p_f$ -Wertes als Faktor\* $c_u$  in Abhängigkeit von der undrainierten Kohäsion der Schichten. Hier sind je nach Rauigkeit des Pfahlschafte Werte zwischen 8.28 und 11.94 üblich ([1] Formeln (2) – (4)).
- 3) Berechnung von  $p_f$  nach Brinch Hansen [4] für den drainierten Fall. Hier wird analog zu einer Erddruckberechnung die Bodenstützung ermittelt zu

$$p_f = K_q * \sigma_z + K_c * c'$$

Die Beiwerte  $K_q$  und  $K_c$  sind in [4] beschrieben.

- 4) Berechnung von  $p_f$  nach Randolph [5] für den undrainierten Fall. Hier wird auch der muschelförmige Bruch in geringen Tiefen berücksichtigt mit

$$p_f = c_u * \left(2 + 1.5 * \frac{z}{D}\right) + \sigma_z$$

maximal jedoch

$$p_f = 10.5 * c_u$$

analog der Option 2.

Ist der Pfahl geneigt, dann wird der Bodenwiderstand bei den Optionen 3 und 4 im Verhältnis des passiven Erddruckbeiwerts  $K_{pgh}$  für abfallendes Gelände zu  $K_{pgh}$  für waagerechtes Gelände abgemindert.

Ist für eine (z.B. kohäsionslose) Schicht kein Wert  $c_u$  vorhanden, dann wird für die Option 2) nach Meek [3] der folgende Wert verwendet:

$$c_u = K_0 * p' * \tan\varphi' + c'$$

$K_0$  = Ruhedruckbeiwert

$$K_0 = 1 - \sin\varphi'$$

$p'$  = Bodenauflast in der Mitte der Schicht.

Die Ausmitte  $e_0$  wird bestimmt zu ([1] Formel (8)):

$$e_0 = \frac{L_{cr}}{2} * \tan\left(\frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{L_{cr}}{2 * 1/\kappa}\right)\right)$$

Gemäß Eurocode 3 (DIN EN 1993-1-1), Kapitel 6.3 wird dann der Stabilitätsnachweis wie folgt geführt (Formel 6.46):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0$$

mit (Formel 6.47):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

und (Formel 6.49):

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\Phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$\alpha$  = Imperfektionsbeiwert nach Tabelle 6.1, für das Tragglied von Mikropfählen, i.a. 0.49 für Knicklinie c. Bei Stahlrammpfählen wird meist auch Knicklinie c maßgebend. Bei I-Trägern kommen Flanschdicken > 40 mm normalerweise nicht vor. Außerdem ist die Stahlsorte S 460 die Ausnahme und das Knicken wird im Normalfall um die schwächere (z-)Achse passieren. Deshalb kommen die Knicklinien a und d selten vor. Ist  $h/b$  des Trägers > 1.2, dann wird gemäß EC 3-1-1 Tabelle 6.2 die Knicklinie b vorgeschlagen, der ein Imperfektionsbeiwert von 0.34 entspricht. Ischebeck TITAN-Pfähle sind warmgefertigt mit Stahlgüte S 460. Deshalb ist für diese Art von Pfählen nach Tabelle 6.2 der DIN EN 1993-1-1 die Knicklinie a0 anzuwenden mit einem Imperfektionsbeiwert von 0.13. Andere Knicklinien und  $\alpha$ -Beiwerte können gewählt werden.

$1/k$  = Krümmungsradius, z.B.  $\leq 600$

Für die verwendeten Querschnittswerte  $A$  und  $I$  wird nur das Stahl-Tragglied berücksichtigt, da der umhüllende Betonquerschnitt aufreißen kann. Die Gesamtdicke des Verpresskörpers  $D$  wird nur für die Stützwirkung des Bodens angesetzt.

Es wird zunächst die maßgebende Halbwellenlänge ermittelt, die sich für einen unendlich langen Pfahl einstellen würde. Ist die Dicke der weichen Schicht geringer als diese Halbwellenlänge, dann wird die Schichtdicke verwendet.

Für die maßgebende Schicht, in der der Stabilitätsnachweis geführt wird, stehen folgende Optionen zur Verfügung:

- 1) Vorgabe der Tiefe von Schichtober- und –unterkante. Enthält dieser Bereich mehrere Schichten, dann werden die Schichtparameter gemittelt, gewichtet mit der Dicke der Schichten.
- 2) Nachweis für jede Schicht einzeln. Es wird die Schicht mit der geringsten Knicklast als maßgebende verwendet. Zur Nutzung dieser Option sollte die maßgebende weiche Schicht als eine Schicht eingegeben und nicht in mehrere Schichten unterteilt werden. Eine Zusammenfassung mehrerer Schichten zu einer maßgebenden weichen Schicht kann nicht automatisch erfolgen. Bei Eingabe zu vieler dünner Schichten ergeben sich durch Beschränkung auf die jeweilige Schichtdicke zu geringe Halbwellenlängen  $L_{cr}$ .

Nach [2] wird berücksichtigt, dass die am Pfahlkopf aufgebrachte Last durch die Mantelreibung über die Tiefe reduziert wird. Für jede Schicht wird die in der maßgebenden Tiefe noch auftretende Normalkraft angesetzt, d.h. für eine Auflast  $N_0$  am Pfahlkopf verbleibt in der Tiefe  $z$  (hier beispielhaft für eine konstante Mantelreibung  $q_{s,k}$ )

$$N_{Ed} = \gamma_{G/Q} * (N_0 - q_{s,k} * z * 2\pi D)$$

Die maßgebende Tiefe bei geschichtetem Boden ist nach Ofner, Wimmer die Tiefe der Schichtoberkante + halbe Knicklänge (Halbwellenlänge  $L_{Hw,i}$ ).

## Bemessung nach ZTV-Lsw bzw. M EBGs-Lsw 2018

Ist das Produkt DC-Pfahl/Lsw vorhanden, dann kann eine Bemessung von Pfählen in Böschungen, z.B. für die Gründung von Lärmschutzwänden, nach ZTV-Lsw 06 bzw. M EBGs-Lsw 2018 gemäß dem Verfahren von Vogt durchgeführt werden. Dafür ist unter [Projekt - Name/Norm](#) das entsprechende Berechnungsverfahren auszuwählen.

Die Berechnung folgt der Veröffentlichung:

Vogt, N.: Vorschlag für die Bemessung der Gründung von Lärmschutzwänden. Geotechnik 11 (1988), Heft 4, Ernst & Sohn, Berlin 1988.

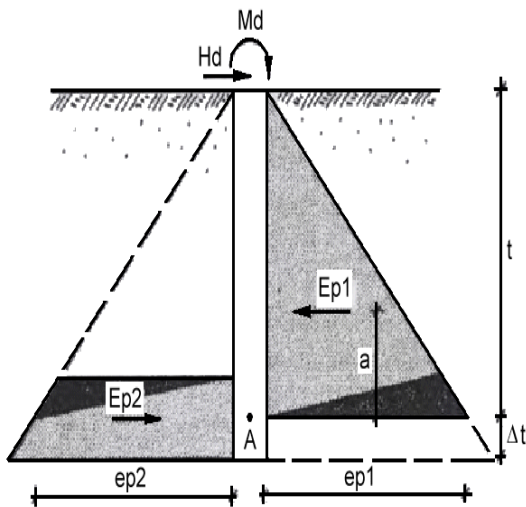
Es wird hierfür das Gleichgewicht an einem Erdkörper zwischen Pfahl und Böschungskante untersucht (alle folgenden Bilder aus der o.g. Veröffentlichung von Vogt). Die erforderliche Pfahllänge ist so zu bestimmen, dass die Summe der Momente um den Drehpunkt A = 0 ist:

$$E_{p1,d} \cdot a - M_d - H_d \cdot t = 0$$

Die Zusatzlänge  $\Delta t$  ergibt sich dann aus der Summe der Horizontalkräfte:

$$E_{p2,d} + H_d - E_{p1,d} = 0$$

Dabei wird näherungsweise  $e_{p2} = e_{p1}$  und der passive Erddruck auf der Pfahlrückseite als konstant angesetzt.



An dem Bodenkörper vor dem Pfahl mit Breite  $b =$  Pfahldurchmesser werden die wirkenden Kräfte angesetzt und ein Krafteck bestimmt:

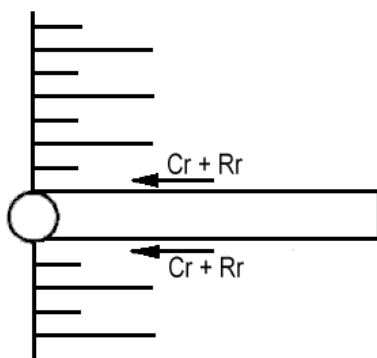


Abb.: Draufsicht

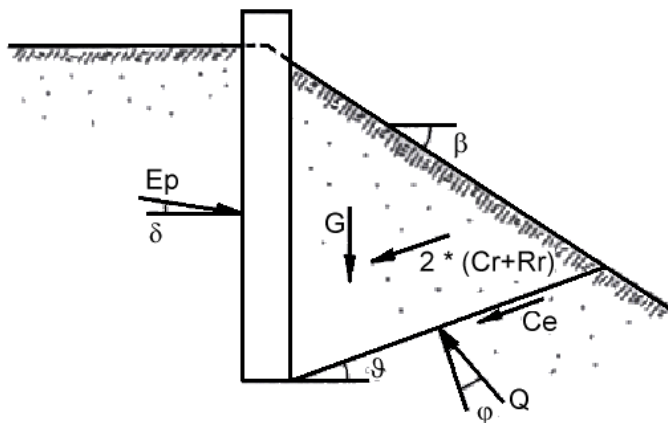


Abb.: Schnitt

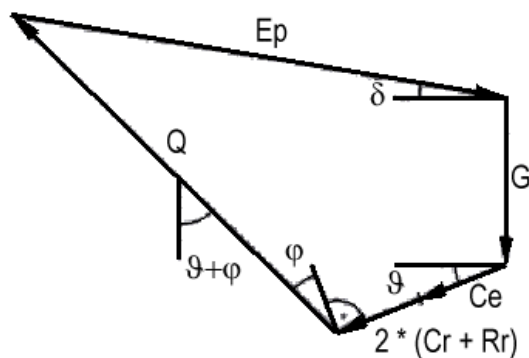


Abb.: Kräfteck

Das von Vogt für eine einheitliche Bodenart und für Globalsicherheit beschriebene Verfahren wurde erweitert auf geschichteten Boden und auf Teilsicherheitsbeiwerte nach Eurocode 7, DIN 1054:2010, SIA 267, etc.

Folgende Parameter werden für die Berechnung benötigt:

- Wandreibungswinkel  $\delta$  für die Neigung des passiven Erddrucks  $E_p$ :  
da der passive Erddruck mit der Tiefe linear zunimmt, wird für geschichteten Boden  $\tan(\delta)$  gemittelt mit Gewichtung über die Schichtdicken und über die mittlere Tiefe der Schichten bis maximal Pfahlende. In der Schichteingabe wird beim Verfahren nach ZTV-Lsw der Wandreibungswinkel gemäß ZTV-Lsw 06 mit  $\varphi/2$  anstatt  $\varphi/3$  nach Vogt oder  $2/3 \varphi$  für die Standardberechnung vorgeschlagen.
- Reibungswinkel  $\varphi$  an der Unterkante des Gleitkörpers als Neigung der Kraft  $Q$  zum Lot auf die unter  $\vartheta$  geneigte Sohle des Gleitkörpers: da hier die Gewichtskraft auf die Sohle des Gleitkörpers einen Einfluss auf das Kräfteck hat, wird für geschichteten Boden  $\tan(\varphi)$  gemittelt mit Gewichtung über die Länge der Schicht in der Sohlfuge und über die Überdeckungshöhe zwischen Böschungsoberkante und Sohlfuge.
- Neigungswinkel  $\vartheta$  der Sohle des Gleitkörpers: die Neigung wird iteriert, um den Block zu finden, der sich mit der geringsten passiven Erddruckkraft  $E_p$  verschieben lässt.
- Wichte  $\gamma$  des Bodens: unterhalb des Grundwasserspiegels wird automatisch die Wichte  $\gamma'$  unter Auftrieb angesetzt
- Böschungsneigung  $\beta$ : die Neigung der Böschung wird in der Eingabe unter [Projekt - Name/Norm](#) vorgegeben
- Pfahlänge  $L$  (=  $t$  im Bild): wahlweise Bestimmung der erforderlichen Pfahlänge, so dass  $\Sigma M$  und  $\Sigma H$  eingehalten ist oder Nachweis für eine vorgegebene Pfahlänge

- Breite  $b$  (bzw. Durchmesser  $D$ ) des Pfahls = Breite des Gleitkörpers

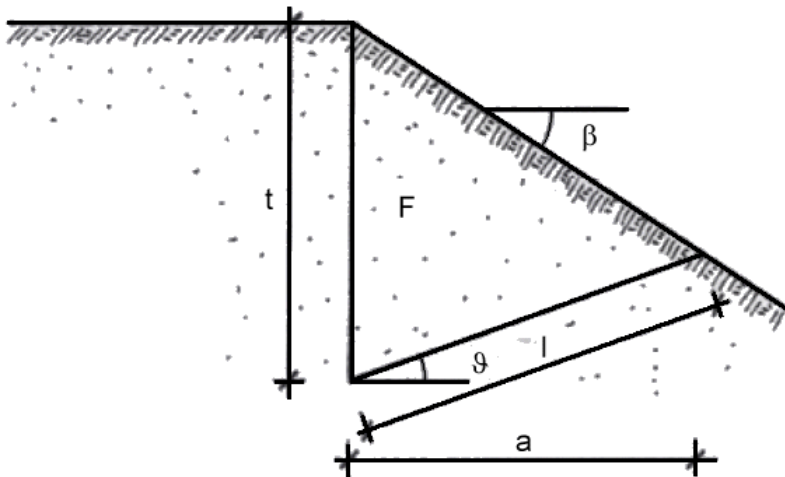


Abb.: Geometrie des Bruchkörpers

Die folgenden Formeln aus der Veröffentlichung von Vogt gelten für eine einheitliche Bodenschicht. Für geschichteten Boden werden die Größen  $F$ ,  $G$ ,  $C_e$ ,  $C_r$  und  $R_r$  anteilig aufsummiert, unter Beachtung der Zunahme des Ruhedrucks  $R$  mit der Tiefe.

$$a = \frac{t}{\tan \vartheta + \tan \beta}$$

Breite des Gleitkörpers:

$$l = \frac{a}{\cos \vartheta}$$

Länge der Gleitfuge:

$$F = 0,5 * a * t$$

Fläche des Gleitkörpers:

$$G = F * b * \gamma$$

Gewicht des Gleitkörpers:

$$C_e = l * b * c'$$

Kohäsionskraft in der Gleitfuge:

$$C_r = F * c'$$

Kohäsionskraft in der Seitenfläche:

$$R_r = \frac{1}{3} * t * \gamma * K_0 * \tan \varphi * F$$

Reibungskraft in der Seitenfläche:

$$C = C_e + 2 * (C_r + R_r)$$

Gesamte Reibungskraft:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

Ruhedruckbeiwert:

Daraus ermittelt sich die Resultierende des passiven Erddrucks:

$$E_p = \frac{C \cdot \left[ \frac{\cos \vartheta}{\sin(\vartheta + \varphi)} + \frac{\sin \vartheta}{\cos(\vartheta + \varphi)} \right] + \frac{G}{\cos(\vartheta + \varphi)}}{\frac{\cos \delta}{\sin(\vartheta + \varphi)} - \frac{\sin \delta}{\cos(\vartheta + \varphi)}}$$

und dessen horizontale Komponente:

$$E_{pk} = E_p \cdot \cos \delta$$

Zur Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten werden die Bemessungswerte der Einwirkungen  $H_d$  und  $M_d$  angesetzt und der passive Erddruck durch den Sicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand dividiert:  $E_{pd} = E_p / \gamma_{Ep}$ .

Zur Ermittlung der erforderlichen Pfahlänge muss die oben aufgeführte  $\Sigma M = 0$  mit Bemessungswerten ermittelt werden. Analog zum Rammtiefenzuschlag bei der Einspannung nach Blum bei Baugrubenwänden zur Abdeckung der Ersatzkraft  $C$  ist für den Pfahl eine Zusatzlänge  $\Delta t$  aus  $\Sigma H = 0$  erforderlich:

$$\Delta t = 0.5 \cdot \frac{E_{p1} - H_d}{2 \cdot \frac{E_{p1}}{t}}$$

Die Schnittgrößen im Pfahl werden mit einer dreiecksförmigen Verteilung des passiven Erddrucks berechnet, wobei für die charakteristischen Schnittgrößen der durch charakteristische Einwirkungen mobilisierte Erdwiderstand angesetzt wird.

Schnittgrößen können nur innerhalb der rechnerischen Pfahlänge  $t$  bestimmt werden, innerhalb der Zusatzlänge  $\Delta t$  sind die Schnittgrößen rechnerisch = 0 (analog zum Rammtiefenzuschlag bei Einspannung nach Blum für Baugrubenwände).

Wenn auf den Pfahlkopf nicht nur eine horizontale Kraft  $H$  und ein Moment  $M$  wirken, sondern auch eine Vertikalkraft  $V$ , dann wird die Lastübertragung über Mantelreibung und Spitzendruck davon unabhängig wie in der standardmäßigen Berechnung für Gründungspfähle nachgewiesen.

Nach dem Merkblatt M EBGs-Lsw 2018 sind zusätzlich zwei Nachweise für die Vertikallasten zu führen:

#### Nachweis des mobilisierten Vertikalanteils des Erdwiderstandes

Es ist nachzuweisen, dass der angesetzte Vertikalanteil des passiven Erddrucks aus dem Wandreibungswinkel  $\delta$  in dieser Größe auftreten kann, d.h. durch Vertikallasten mobilisiert wird. Andernfalls würde der Pfahl rechnerisch abheben, was nicht möglich ist, da es sich beim passiven Erddruck um einen Widerstand handelt.

Nachweis mit charakteristischen Werten analog EAB, EB 9:

$$|E_{pv,k}| \leq G_k + N_k + E_{pv2,k} + N_{qs,k}$$

mit

$$E_{pv,k} = \text{Vertikalanteil des passiven Erddrucks} = E_{ph} \cdot \tan \delta$$

$$G_k = \text{Eigengewicht des Pfahls}$$

$$N_k = \text{vertikale Auflast auf den Pfahl}$$

$$E_{pv2,k} = 0.5 \cdot E_{ph2,k} \cdot \tan \delta \text{ (mit Faktor 0.5 nach EAB, EB 9)}$$

$$E_{ph2,k} = \text{Gleichgewichtskraft für } \Delta t \text{ (s. oben)}$$

$N_{q_s,k}$  = Mantelreibung auf der Aktivseite (Belastungsseite), d.h. mit dem halben Pfahlumfang

Ist der Nachweis nicht eingehalten, dann ist der Wandreibungswinkel  $\delta$  zu reduzieren. Das führt zu einem geringeren passiven Erddruck und damit zu einer größeren erforderlichen Pfahllänge.

#### Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit gegenüber Versinken

Nachweis mit Bemessungswerten analog EAB, EB 84:

$$N_d = \gamma_G * G_k + \gamma_G * N_{G,k} + \gamma_Q * N_{Q,k} \leq R_d = R_{b,k} / \gamma_{R,d} + 0.5 * R_{s,k} / \gamma_{R,d}$$

mit

$N_d$  = Bemessungswert der Vertikallast

$\gamma_G$  = Sicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen

$\gamma_Q$  = Sicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen

$G_k$  = Eigengewicht des Pfahls

$N_{G,k}$  = ständige vertikale Auflast auf den Pfahl

$N_{Q,k}$  = veränderliche vertikale Auflast auf den Pfahl

$R_d$  = Bemessungswert des Widerstands aus Mantelreibung und Spitzendruck

$\gamma_{R,d}$  = Sicherheitsbeiwert für Mantelreibung und Spitzendruck

$R_{b,k}$  = Spitzendruck unter dem Pfahl = Querschnittsfläche \*  $q_{b,k}$

$0.5 * R_{s,k}$  = Mantelreibung auf der Passivseite (Widerstandsseite), d.h. mit dem halben Pfahlumfang =  $0.5 * U * q_{s,k}$

Ist der Nachweis nicht eingehalten, dann ist die Pfahllänge zu vergrößern, um mehr Mantelreibung zu aktivieren oder ggf. eine Schicht mit einem höheren Spitzendruck zu erreichen.

## Dateien für DC-Software

Die Dateien werden allgemein in den [DC-Bedienungsgrundlagen](#) beschrieben.