



4H- STATIKPROGRAMME
AUS HANNOVER

DTE Desktop®
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet www.pcae.de

Mail dte@pcae.de



4H-EPFL

Bohr- / Ramm- / Mikropfahl

Juli 2024

4H-EPFL

Bohr- / Ramm- / Mikropfahl

Copyright 2010-2024

3. überarbeitete Auflage, Juli 2024

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

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

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert.

Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter www.pcae.de**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden.

S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE®-System.

Produktbeschreibung

Mit dem Programm *##EPFL* werden innere und äußere Standsicherheit von Einzelpfählen nachgewiesen.

Die Berechnung kann entsprechend der aktuellen Eurocodes (EC 2, EC 3, EC 7 + NAs) oder der letzten DIN-Normen-Generation (DIN 1045-1 u. DIN 18800) durchgeführt werden.

Optional kann die Pfahllänge dabei automatisch angepasst werden. Bei Ermittlung der axialen Tragfähigkeit auf Grund von Erfahrungswerten können die Tabellenwerte aus der 2. Aufl. der EA-Pfähle verwendet werden. Alternativ können auch die Werte der 1. Aufl. und der DIN 1054:2005 berücksichtigt werden.

System

- mit *##EPFL* können Bohrpfähle aus Stahlbeton, Rammpfähle aus Stahlbeton oder Stahl sowie Mikropfähle berechnet werden
- bei Bohrpfählen können eine Aufweitung des Pfahlfußes und eine Schutzhülse berücksichtigt werden
- bei Rammpfählen kann zwischen Ortbetonpfählen (Simplexpfahl), Betonfertigteilen und Pfählen aus Stahlprofilen unterschieden werden
- Rammpfähle aus Beton können einen kreisförmigen oder quadratischen Querschnitt aufweisen
- für Rammpfähle aus Stahlprofilen können typisierte oder normierte Doppel-T-, Rechteck und Rohrprofile ausgewählt werden.
Normierte Profile können entweder über den DTE[®]-Profilmanager oder durch Eingabe der korrekten Bezeichnung gewählt werden.
- Rammpfähle können senkrecht stehen oder geneigt sein
- bis zu einem maximalen Durchmesser von 30 cm werden Bohrpfähle als Mikropfähle nachgewiesen
- der Boden kann in beliebig vielen Schichten anstehen
- zusätzlich kann eine Aufschüttung berücksichtigt werden
- der Grundwasserstand kann als konstant oder schwankend angenommen werden
- die Pfahlbettung kann entweder aus dem Steifemodul der Schichten abgeleitet oder linear, parabelförmig oder frei vorgegeben werden
- der Startwert der Bettung wird iterativ reduziert, wenn die zulässigen Bettungsspannungen überschritten werden
- der Pfahlkopf kann elastisch oder starr gehalten sein (Pfahlkopfeinspannung)

Belastung

- die Verwaltung der Einwirkungen und Lastfälle erfolgt über die aus anderen [pcae](#) - Programmen (*##ALFA*, *##NISI*, *##FRAP*...) bekannten Eigenschaftsblätter
- als Lastbilder können Kopflasten aus Normalkraft, Querkraft und Biegemomenten definiert werden
- für Bohrpfähle kann eine Torsionslast berücksichtigt werden
- der Anwender kann zwischen einer ebenen und einer räumlichen Betrachtung wählen
- alle Belastungen sind auf charakteristischem Niveau einzugeben
- die Lastkollektive mit den Bemessungswerten für die zu führenden Nachweise werden vom Programm automatisch erzeugt
- falls eine negative Mantelreibung auftritt, wird diese als ständige Last in allen Lastkollektiven berücksichtigt

innere Standsicherheit

- die innere Standsicherheit von Stahlbetonpfählen kann wahlweise nach DIN EN 1992-1-1 (EC 2) oder DIN 1045-1:2008 berechnet werden
- bei Berechnung nach EC 2 können die Parameter des nationalen Anhangs beeinflusst werden, um auch Berechnungen für andere EU-Länder durchführen zu können
- folgende Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit können geführt werden
 - Biege- und Querkraftbemessung nach Th. I. Ord.
 - Knicksicherheit nach Th. II. Ord. und Zustand 2

- folgende Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit können geführt werden
 - Rissnachweis
 - Spannungsnachweis
- die innere Standsicherheit von Rammpfählen aus Stahlprofilen kann wahlweise nach DIN EN 1993-1:2010 (EC 3) oder nach DIN 18800:2008 berechnet werden
- dabei kann zwischen elastischem oder plastischem Querschnittsnachweis gewählt werden

äußere Standsicherheit

- die äußere Standsicherheit kann wahlweise nach DIN EN 1997-1:2009 (EC 7), nach "alter" DIN 1054:1976 oder DIN 1054:2005 berechnet werden
- auf Tragfähigkeitsniveau wird der Nachweis der axialen Tragfähigkeit und des Erdwiderlagers geführt.
Für die Gebrauchstauglichkeit wird eine Abschätzung der Pfahlkopfverformungen ermittelt.
- bei Bohrpfählen kann die Einleitung einer Torsionslast in den Boden auf Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsniveau nachgewiesen werden

Ausgabe

- Pfahl und Bodenschichten werden in einer maßstäblichen Darstellung gezeigt
- die Widerstands-Setzungs-/Hebungslinie wird grafisch und tabellarisch dargestellt
- die extremalen Werte der relevanten Ergebnisse können als Liniengrafiken und Tabellen ausgewiesen werden
- an den maßgebenden Stellen der inneren Tragfähigkeit wird das Ergebnis für das relevante Lastkollektiv mit den zugehörigen Schnittgrößen protokolliert
- eine Zusammenfassung mit allen relevanten Ergebnissen bei erfolgreicher Nachweisführung oder eine Liste der Ursachen für die nicht erfolgreiche Nachweisführung schließen die Ausgabe ab
- zur Kontrolle kann über einen Detailnachweispunkt ein ausführliches Protokoll der Berechnungsergebnisse aller Lastkollektive einschließlich aller zugehörigen Schnittgrößen an einem Punkt ausgewiesen werden

Allgemeines

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

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



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

Zur #-EPFL -Dokumentation gehören neben diesem Manual die Handbücher

DTE®-DeskTopEngineering und *das pcae-Nachweiskonzept*.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit #-EPFL.

pcae GmbH

Hannover, im Juli 2024

Abkürzungen und Begriffe

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

LF	Lastfall (Teileinwirkung)
Nwtyp	Nachweistyp
El.	Element
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

Buttons

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



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

Index

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

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

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

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

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



bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab



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



ruft das Online-Hilfesystem



bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt



Löschen-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage



Datenzustand
überprüfen

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

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	7
2	Bauteil erzeugen.....	9
3	Programmsteuerung.....	10
3.1	Eingabeoberfläche	10
3.2	Elemente der Steuerbuttonzeile	10
3.3	Ergebnisfenster	11
3.3.1	Stahlbetonbemessung	12
3.3.2	Rissnachweis	12
3.3.3	Spannungsnachweis	13
3.3.4	Stahltragfähigkeit.....	13
3.4	allgemeine Einstellungen	14
3.4.1	Pfahltyp	14
3.4.2	Bemessung	15
3.4.3	Systemdarstellung.....	16
3.4.4	Ausgabe	17
3.4.4.1	Nationale Anhänge zu den Eurocodes	18
3.4.4.2	Sicherheitsbeiwerte DIN 1054	18
3.5	Boden	19
3.5.1	OK Boden / Grundwasser	19
3.5.2	Bodenkennwerte - allgemein.....	19
3.5.3	Bodenkennwerte - axialer Widerstand	20
3.5.4	Bodenkennwerte - E-Modul und Bettung	22
3.5.5	Bodenkennwerte - Erdwiderstand	23
3.6	Pfahlgeometrie	24
3.6.1	Schaftparameter.....	24
3.6.2	Schaftparameter - Stahlpfahl	25
3.6.3	Kopfeinspannung	26
3.6.4	typisierte Stahlquerschnitte	27
3.7	Verwaltung der Einwirkungen.....	27
3.8	Belastung.....	28
3.8.1	Pfahlkopflasten.....	28
3.8.2	negative Mantelreibung.....	29
3.9	Nachweisoptionen	30
3.9.1	Stahlbeton - allgemein	30
3.9.2	Stahlbeton - Nachweise	31
3.9.3	Stahl - Nachweise	31
3.9.4	äußere Standsicherheit - Nachweis	32
3.9.5	äußere Standsicherheit - Bemessungssituationen	32
4	Berechnung und Nachweise.....	33
4.1	Berechnung durchführen	33
4.1.1	vor der Berechnung der Nachweise.....	33
4.1.2	Berechnung der Lastkollektive	33
4.1.3	Ablauf der Berechnung	33
4.1.4	Allgemeines zur Nachweisführung.....	34
4.1.5	Berechnungsprotokoll	34
4.2	negative Mantelreibung	34
4.2.1	Berechnung des neutralen Punktes	34
4.3	Kontrolle der Bettung.....	35
4.3.1	punktueller Kontrolle.....	35
4.3.2	Kontrolle der Resultierenden.....	35

4.4	Stahlbetonbemessung.....	36
4.4.1	Nachweise n. Theorie I. Ordnung	36
4.4.2	Nachweise n. Theorie II. Ordnung (im Zustand 2)	36
4.5	Stahltragfähigkeit.....	36
4.5.1	Nachweis DIN EN 1993	36
4.5.2	DIN 18800	37
4.6	Nachweis der äußeren Standsicherheit	37
4.6.1	Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Bohrpfähle	37
4.6.2	Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Rammpfähle	38
4.6.3	Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Mikropfähle	38
4.7	Nachweis der äußeren Standsicherheit - Torsion.....	39
5	Verzeichnis der verwendeten Normen und Veröffentlichungen	40
6	Index	41

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

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

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte auf S. 9 weiter.

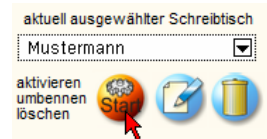
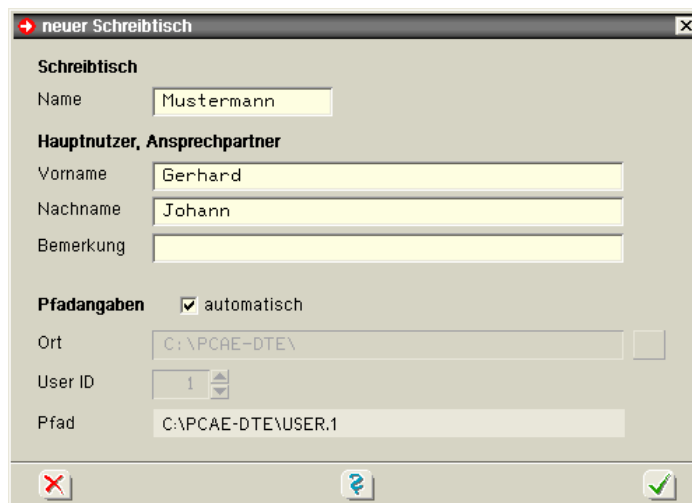


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelclick aus.

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



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

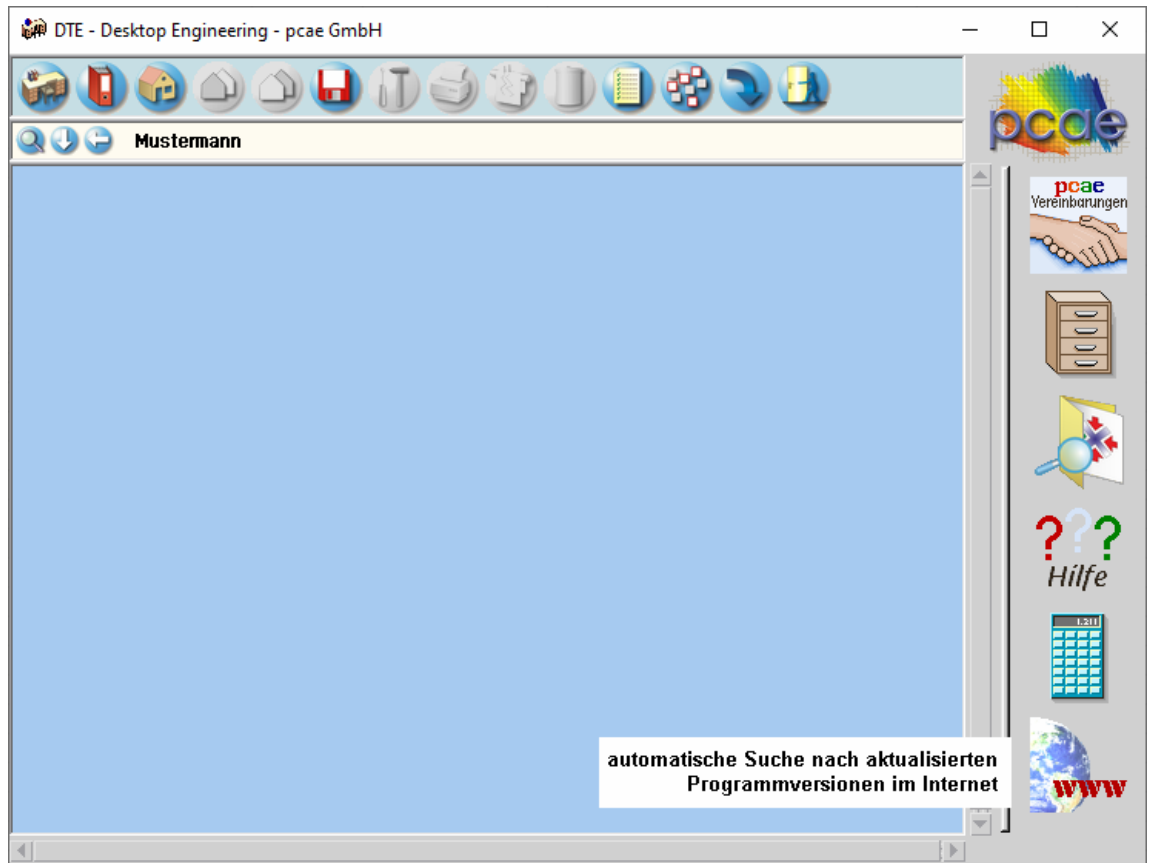


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

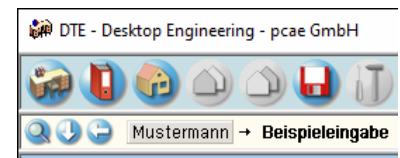
Auf Grund der **Kontextsensitivität** des DTE®-Systems sind manche Buttons solange abgedunkelt und nicht aktiv bis ein Bauteil aktiviert wird.

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

Bauteil erzeugen



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



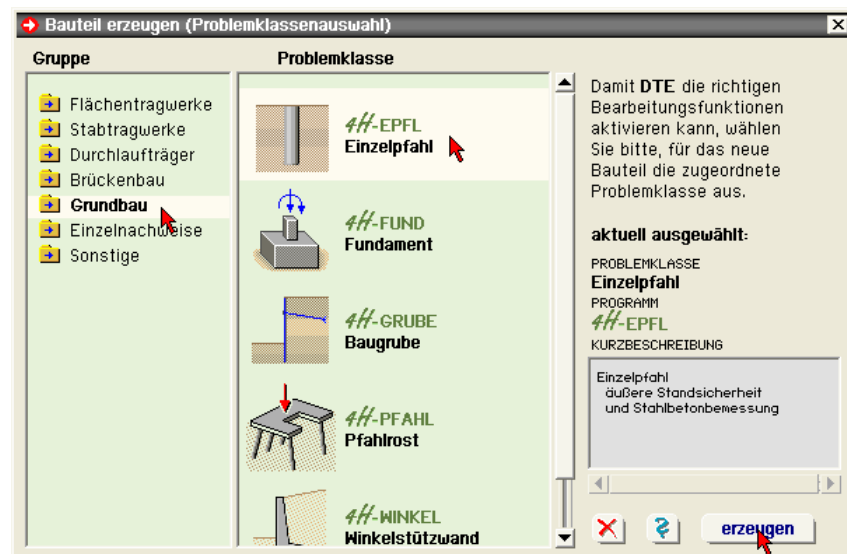
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



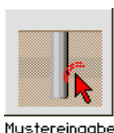
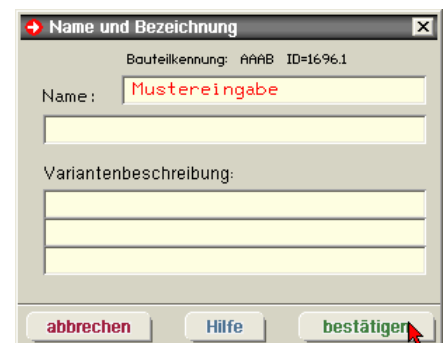
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



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



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



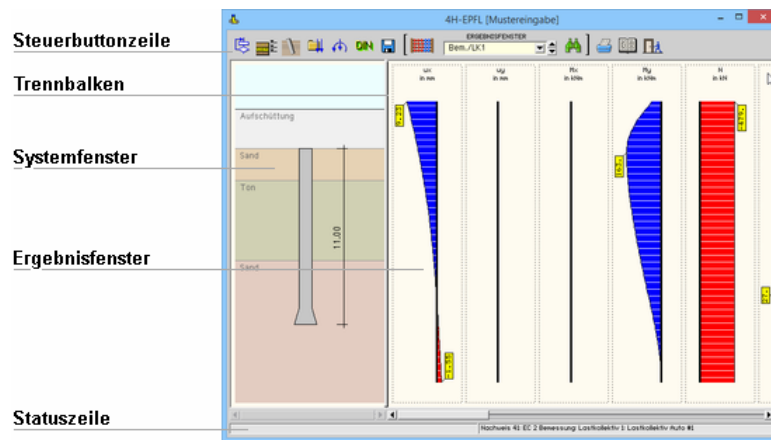
Nach Doppelklicken des neuen Bauteilicons erscheint die Eingabeoberfläche von 4H-EPFL.

3 Programmsteuerung

3.1 Eingabeoberfläche



Nachfolgend ist das Hauptfenster von *4H-EPFL* schematisch dargestellt. Es ist in die Steuerbuttonzeile, die Statuszeile sowie in zwei Unterfenster eingeteilt.



Die Steuerbuttonzeile (s. Abs. 3.2, S. 10) enthält interaktive Steuerelemente mit deren Hilfe die Aktionen des Programms eingeleitet bzw. gesteuert werden.

Im Systemfenster wird eine maßstäbliche Darstellung des aktuell definierten Pfahls und der Bodenschichten angezeigt.

Der Trennbalken ermöglicht das Vergrößern bzw. Verkleinern eines Unterfensters zu Lasten des anderen. Hierzu muss der Trennbalken mit der Maus angefahren werden bis der Mauscursor sein Layout ändert. Bei gedrückter gehaltenen LMT kann nun der vertikale Trennbalken horizontal verschoben werden.

Im Ergebnisfenster (s. Abs. 3.3, S. 11) werden die Rechenergebnisse dargestellt, wenn zum aktuellen Datenzustand ein gültiges Berechnungsergebnis vorliegt.

Die Statuszeile zeigt nähere Informationen zum dargestellten Ergebnis.

3.2 Elemente der Steuerbuttonzeile



Über die Steuerbuttons in der Kopfleiste der Eingabeoberfläche werden alle Eingabe-, Berechnungs- und Ausgabefunktionen angesteuert.



über dieses Symbol erreicht man das Eigenschaftsblatt mit den allgemeinen Berechnungsoptionen (Abs. 3.4, S. 14). Dort werden Einstellungen zu Pfahltyp, Bemessungsnormen und zum Ausgabeumfang vorgenommen.



über dieses Symbol erreicht man das Eigenschaftsblatt mit den Bodenparametern (Abs. 3.5, S. 19). Dort sind Angaben zu Grundwasserstand, Bodenschichten, Bettung und Erdwiderstand vorzunehmen.



über dieses Symbol erreicht man das Eigenschaftsblatt zur Beschreibung der Pfahlgeometrie (Abs. 3.6, S. 24) bzw. Lage des Pfahls im Boden



ein Mausklick auf das Symbol **Einwirkungen bearbeiten** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Struktur von Einwirkungen und Lastfällen definiert und bearbeitet werden kann (Abs. 3.7, S. 27)



für die angelegten Lastfälle können hier die zugehörigen Belastungen (Abs. 3.8, S. 28) eingegeben werden



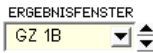
über dieses Symbol erreicht man das Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Nachweisoptionen (Abs. 3.9, S. 30)



ein Mausklick auf das **Diskettensymbol** sorgt dafür, dass der aktuelle Datenzustand in der zum Bauteil gehörenden Eingabedatei gespeichert wird. Solange der Datenzustand nach der letzten Sicherung nicht verändert wurde, ist das Symbol inaktiv.



durch einen Klick auf den **Berechnungssymbol** wird die Berechnung (Abs. 4.1, S. 33) gestartet



diese Listbox ist aktiv, wenn zum aktuellen Datenzustand ein gültiges Berechnungsergebnis vorliegt. Hier kann das Ergebnis ausgewählt werden, das im Ergebnisfenster (Abs. 3.3, S. 11) dargestellt werden soll.



über das **Viewer-Symbol** können die Drucklisten zum aktuellen Berechnungsergebnis am Bildschirm eingesehen werden. Liegt kein gültiges Berechnungsergebnis vor, ist das Symbol inaktiv.



über das **Drucker-Symbol** wird der Druckmanager zur Ausgabe des Druckdokumentes auf dem Drucker aufgerufen. Liegt kein gültiges Berechnungsergebnis vor, ist das Symbol inaktiv.



ein Mausklick auf das **Hilfe-Symbol** ruft das Onlinehilfedokument auf

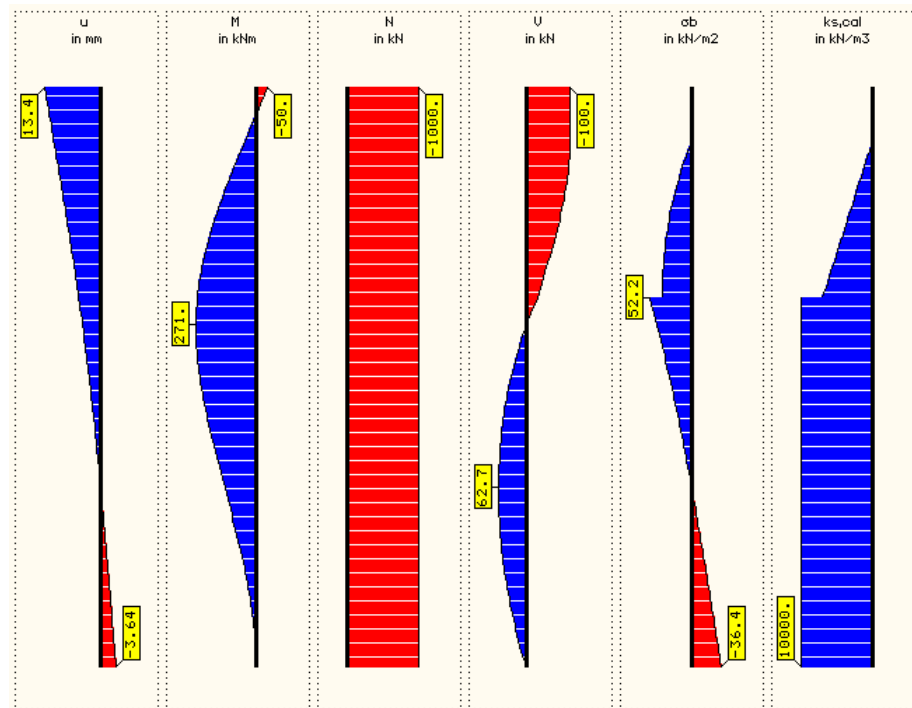


ein Mausklick auf das **Ende-Symbol** beendet die Eingabesitzung nach absichernder Nachfrage

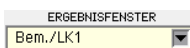
3.3

Ergebnisfenster

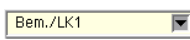
Im Ergebnisfenster werden die Ergebnisse des zuletzt durchgeführten Rechenlaufs dargestellt.



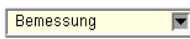
Je nachdem, welche Nachweise geführt wurden, kann die Auswahlliste folgende Elemente enthalten:



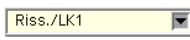
mit der Auswahlliste in der Steuerbuttonzeile wird festgelegt, ob die Ergebnisse eines Lastkollektivs oder die extremalen Ergebnisse eines Nachweises angezeigt werden



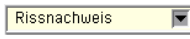
Ergebnisse eines Lastkollektivs der Stahlbetonbemessung (Liniengrafiken)



extremale Ergebnisse aller Lastkollektive der Stahlbetonbemessung (Liniengrafiken)



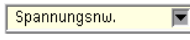
Ergebnisse eines Lastkollektivs des Rissnachweises (Liniengrafiken)



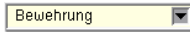
extremale Ergebnisse aller Lastkollektive des Rissnachweises (Liniengrafiken)



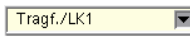
Ergebnisse eines Lastkollektivs des Spannungsnachweises (Liniengrafiken)



extremale Ergebnisse aller Lastkollektive des Spannungsnachweises (Liniengrafiken)



extremale Bewehrung aus allen Nachweisen zur Stahlbetonbemessung (Liniengrafiken)



Ergebnisse eines Lastkollektivs des Nachweises der Stahltragfähigkeit (Liniengrafiken)

Tragfähigkeit	extremale Ergebnisse aller Lastkollektive des Nachweises der Stahltragfähigkeit (Liniengr.)
GZ 1B/LK1	Ergebnisse eines Lastkollektivs zur Berechnung im Grenzzustand des Versagens von Bauteilen und Baugrund* (Liniengrafiken)
GEO-2/LK1	
GZ 1B	extremale Ergebnisse aller Lastkollektive zur Berechnung im Grenzzustand des Versagens von Bauteilen und Baugrund* (Liniengrafiken)
GEO-2	
GZ 2/LK1	Ergebnisse eines Lastkollektivs zur Berechnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** (Liniengrafiken)
SLS/LK1	
GZ 2	extremale Ergebnisse aller Lastkollektive zur Berechnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** (Liniengrafiken)
SLS	
Axial GZ 1B	Ergebnisse aller Lastkollektive zum Nachweis der axialen Tragfähigkeit im Grenzzustand des Versagens von Bauteilen und Baugrund* (Tabelle)
Axial GEO-2	
Axial GZ 2	Ergebnisse aller Lastkollektive zum Nachweis der axialen Tragfähigkeit im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** (Tabelle)
Axial SLS	

*) in DIN 1054:2005 mit GZ 1B und in DIN 1054:2010 mit GEO-2 bezeichnet

**) in DIN 1054:2005 mit GZ 2 und in DIN 1054:2010 mit SLS bezeichnet

Alle Ergebnisse (Ausnahme "Bewehrung", als Zusammenfassung aller Stahlbetonnachweise), die als Liniengrafiken dargestellt werden, enthalten folgende Größen:

u	Verformung senkrecht zur Pfahlachse in mm
M, N, V	Moment, Normalkraft und Querkraft in kNm bzw. kN
σ_b	Bettungsspannung in kN/m ²
$k_{s,cal}$	rechnerische effektive Bettung in kN/m ³

3.3.1 Stahlbetonbemessung

Zusätzlich dargestellte Größen für den Nachweis *Stahlbetonbemessung*

A_{s0l}	Grundbewehrung in cm ²
ΔA_{sl}	notwendige Erhöhung der Längsbewehrung in cm ²
A_{sl}	Längsbewehrung inklusive Erhöhung in cm ²
μ_s	Längsbewehrungsgrad infolge A_{sl} in %
A_{sbl}	Anteil der Längsbewehrung aus Biegebemessung in cm ²
a_{sw}	Querkraftbewehrung in cm ² /m
V_{Ed}	Bemessungswert der Querkraft in kN
V_{Rdct}	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung in kN
V_{Rdmax}	Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit in kN
AB	Ausnutzungsbereich der Querkraft
Θ	Druckstrebenwinkel in Grad [°]

3.3.2 Rissnachweis

Zusätzlich dargestellte Größen für den Nachweis *Rissnachweis*

A_{s0l}	Grundbewehrung in cm ²
ΔA_{sl}	notwendige Erhöhung der Längsbewehrung in cm ²
A_{sl}	Längsbewehrung inklusive Erhöhung in cm ²
μ_s	Längsbewehrungsgrad infolge A_{sl} in %
$A_{sl,Min}$	Mindestbewehrung in cm ²
zul d_{sR}	zulässiger Grenzdurchmesser in mm

3.3.3 Spannungsnachweis

Zusätzlich dargestellte Größen für den Nachweis *Spannungsnachweis*

A_{s0l}	Grundbewehrung in cm^2
ΔA_{sl}	notwendige Erhöhung der Längsbewehrung in cm^2
A_{sl}	Längsbewehrung inklusive Erhöhung in cm^2
μ_s	Längsbewehrungsgrad infolge A_{sl} in %
extr σ_s	extremale Stahlspannung in MN/m^2
σ_c	minimale Betonspannung in MN/m^2

3.3.4 Stahltragfähigkeit

Zusätzlich dargestellte Größen für den Nachweis Stahltragfähigkeit

τ	maximale Schubspannung
σ_v	maximale Vergleichsspannung
σ_{el}	maximale Normalspannung, elastisch
$U_{\sigma,el}$	Spannungsausnutzung elastisch
$U_{\sigma,pl}$	Spannungsausnutzung plastisch
c/t_{0-0}	vorh (c/t), beidseitig gelenkig
$c/t_{\infty 0}$	vorh (c/t), einseitig gelenkig
U	Ausnutzung (Maximum aus U_{σ} und vorh (c/t))

3.4 allgemeine Einstellungen



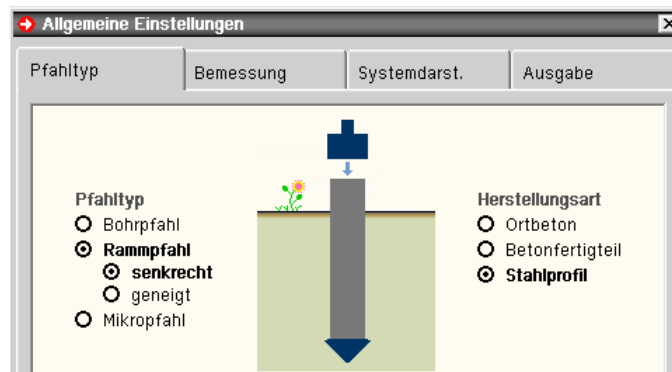
Durch Anklicken des dargestellten Symbols, das sich ganz links in der Kopfzeile befindet, wird das Eigenschaftsblatt *Allgemeinen Einstellungen* aufgerufen.

In vier Registerblättern werden hier Einstellungen zu *Pfahltyp*, *Bemessungsnormen*, *Systemdarstellung* und zur *Ausgabe* vorgenommen.

3.4.1 Pfahltyp

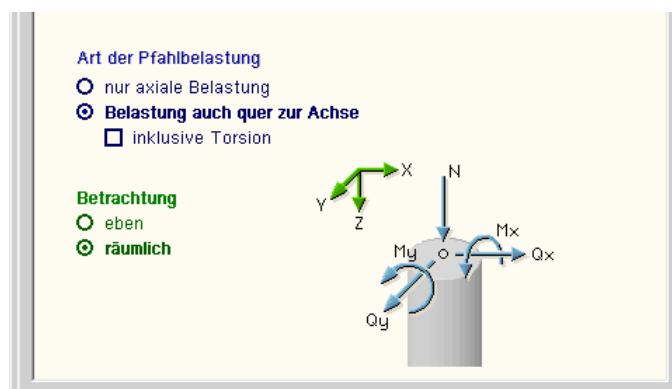
Im ersten Registerblatt oben sind Pfahltyp und Herstellungsart anzugeben.

Während der Bohr- und Mikropfahl nur als senkrecht stehend angenommen werden, kann der Rammpfahl auch geneigt sein. Zusätzlich können für den Rammpfahl als Herstellungsvarianten *Ortbeton*, *Betonfertigteil* oder *Stahlprofil* unterschieden werden.



Im unteren Teil des Registerblatts ist die Art der Belastung anzugeben.

Die Belastung kann entweder rein axial sein (nur Kopflasten in Form von Normalkraft) oder auch quer zur Achse wirken (zusätzlich mit Querkraft und Moment am Pfahlkopf). Bei Belastung quer zur Achse kann zwischen ebener und räumlicher Betrachtung unterschieden werden.



Bei geneigten Rammpfählen ist nur eine axiale Belastung zulässig. In diesem Fall oder wenn vom Anwender die Pfahlbelastung als nur axial vorgegeben ist, wird vom Programm keine Stahlbetonbemessung durchgeführt.

3.4.2

Bemessung

Im zweiten Registerblatt des Eigenschaftsblatts *Allgemeine Einstellungen* kann festgelegt werden, ob innere und/oder äußere Tragfähigkeit nachgewiesen werden sollen.

Bei Pfählen aus Stahlbeton kann für die innere Tragfähigkeit bzw. die Bemessung zwischen DIN EN 1992-1-1 (EC 2) und DIN 1045-1 gewählt werden.



Bei Bemessung nach Eurocode kann über den **Flaggen**-Button das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der national anzupassenden Parameter (NDP's) erreicht werden.



Bei Verwendung von Stahlprofilen kann der Nachweis der inneren Tragfähigkeit entweder nach DIN EN 1993 (EC 3) oder DIN 18800 geführt werden.



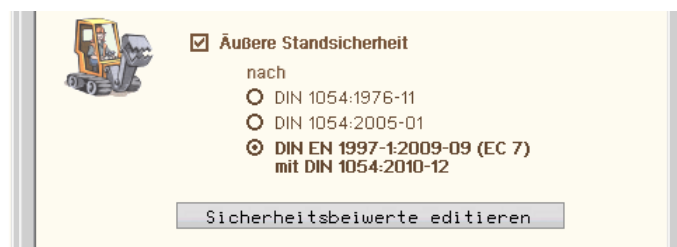
Bei Bemessung nach Eurocode kann über den **Flaggen**-Button das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der national anzupassenden Parameter (NDP's, s. Abs. 3.4.4.1, S. 18) aufgerufen werden.



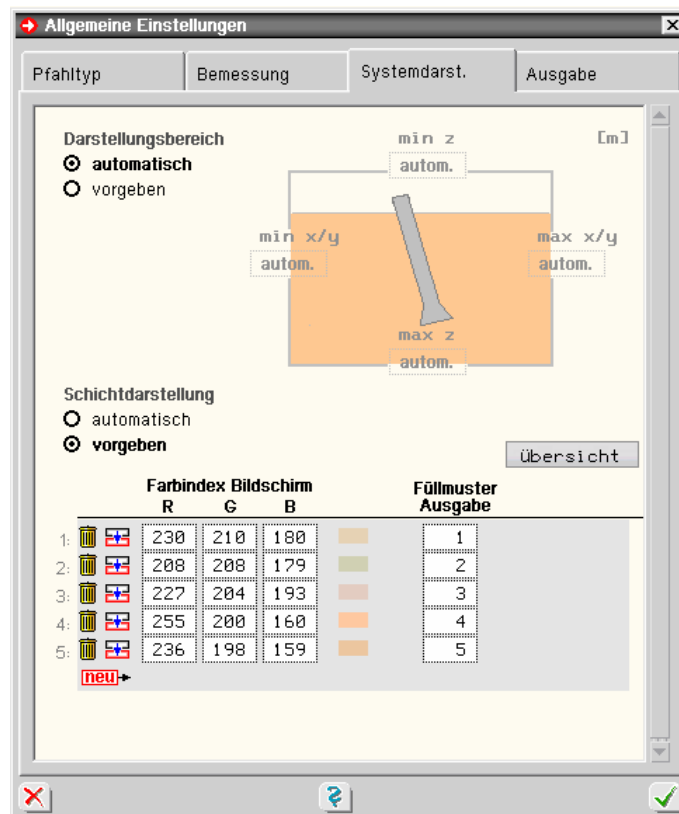
Die äußere Tragfähigkeit bzw. Standsicherheit kann entweder noch nach (ganz) alter DIN 1054:1976, alter DIN 1054:2005 oder DIN EN 1997-1:2009 (EC 7) nachgewiesen werden.

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

Über den Button **Sicherheitsbeiwerte editieren** (s. Abs. 3.4.4.2, S. 18) können die Teilsicherheitsbeiwerte der gewählten Norm verändert werden.



Das dritte Registerblatt beinhaltet die Steuerungsmöglichkeiten für die Systemdarstellung.



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

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

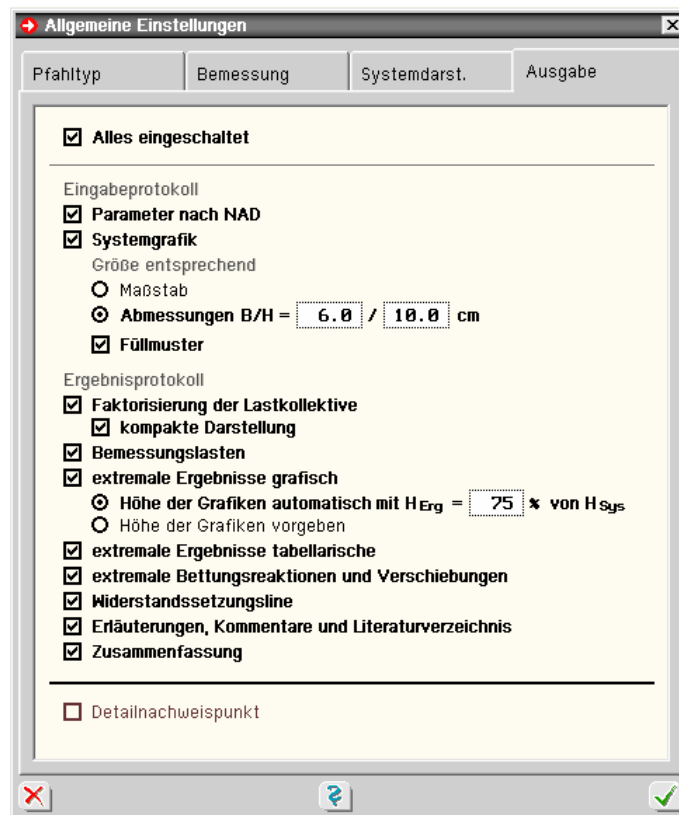
Bei der automatischen Schichtdarstellung werden die Farbe für Bildschirmdarstellung und Ausdruck sowie das Füllmuster des Ausdrucks in Abhängigkeit der Scherparameter gewählt; bei bindigen Böden entspr. der Kohäsion und bei nichtbindigen entspr. dem Winkel der inneren Reibung.

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

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

Im vierten Registerblatt können Teile der Ausgabe abgewählt werden, um ggf. ein kompakteres Druckdokument zu erhalten.

So kann z.B. bei mehreren Ausdrucken für dasselbe Projekt auf die Wiederholung von Kommentaren bzw. das Literaturverzeichnis verzichtet werden.



Für die Systemgrafik können entweder der Maßstab oder die Abmessungen vorgegeben werden. Wenn die benötigten Abmessungen zu groß werden, wird dies nach der Berechnung (bzw. bei Aufbau des Druckdokuments) durch eine Fehlermeldung angezeigt.

Das Abschalten der **Füllmuster** ist vor allem dann angezeigt, wenn der Ausdruck als Fax verschickt werden soll, da bei dieser Übertragung meist nicht die erforderliche Auflösung erreicht wird, um die Muster sauber darzustellen.

Die Ausgabe eines **Detailnachweispunkts** ist standardmäßig nicht aktiviert, weil die Aktivierung normalerweise nicht für die Erstellung eines Statikdokuments erforderlich ist.

Um jedoch das Zustandekommen eines punktuellen Bemessungsergebnisses nachvollziehen zu können oder wenn ein Bemessungsfehler vorliegt, ist die Einrichtung eines Detailnachweispunkts hilfreich. Für die gewählte Stelle wird dann ein Protokoll der Schnittgrößenkombinationen aller geführten Nachweise inklusive der Bemessungsergebnisse erstellt.

3.4.4.1

Nationale Anhänge zu den Eurocodes

Die Eurocode-Normen gelten nur in Verbindung mit ihren nationalen Anhängen in dem jeweiligen Land, in dem das Bauwerk erstellt werden soll.

Für ausgewählte Parameter können abweichend von den Eurocode-Empfehlungen (im Eurocode-Dokument mit 'ANMERKUNG' gekennzeichnet) landeseigene Werte bzw. Vorgehensweisen angegeben werden.

In **pcae**-Programmen können die veränderbaren Parameter in einem separaten Eigenschaftsblatt eingesehen und ggf. modifiziert werden.

Dieses Eigenschaftsblatt dient dazu, dem nach Eurocode zu bemessenden Bauteil ein nationales Anwendungsdokument (NA) zuzuordnen.

NAe enthalten die Parameter der nationalen Anhänge der verschiedenen Eurocodes (EC 0, EC 1, EC 2 ...) und ermöglichen den **pcae**-Programmen das Führen normengerechter Nachweise, obwohl sie von Land zu Land unterschiedlich gehandhabt werden.



Die EC-Standardparameter (Empfehlungen ohne nationalen Bezug) wie auch die Parameter des deutschen nationalen Anhangs (NA-DE) sind grundsätzlich Teil der **pcae**-Software.

Darüber hinaus stellt **pcae** ein Werkzeug zur Verfügung mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des DTE®-Schreibtischs heraus aufgerufen. Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.

3.4.4.2

Sicherheitsbeiwerte DIN 1054

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

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



Hier sind **alle** Sicherheitsbeiwerte der Norm aufgeführt. Bei der Berechnung wird aber nur auf die Werte zurückgegriffen, die den berücksichtigten Grenzzuständen bzw. den vorhandenen Einwirkungs- und Widerstandskategorien entsprechen. Daher muss nicht jede hier vorgenommene Änderung zu anderen Berechnungsergebnissen führen.

Einwirkung	Formelzeichen	Lastfall			
		BS-P	BS-T	BS-A	BS-E
GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund					
Ständige Einwirkungen allgemein	γ_G	1.35	1.20	1.10	1.00
günstige ständige Einwirkungen (nur im Sonderfall nach 7.6.3.1 A(2))	$\gamma_{G,inf}$	1.00	1.00	1.00	1.00
Ständige Einwirkungen aus Erdruchedruck	$\gamma_{G,E0}$	1.20	1.10	1.00	1.00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1.50	1.30	1.10	1.00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit					
$\gamma_G =$		1.00	für ständige Einwirkungen		
$\gamma_Q =$		1.00	für veränderliche Einwirkungen		

3.5 Boden



Durch Anklicken des dargestellten Symbols wird das Eigenschaftsblatt für die Bodenparameter aktiviert.

Im ersten Registerblatt können **Oberkante des Bodens** und **Grundwasserstand** angegeben werden. In den anderen Registerblättern können - unterteilt in verschiedene Kategorien - die Bodenkennwerte der zu berücksichtigenden Schichten eingetragen werden.

3.5.1 OK Boden / Grundwasser

Im ersten Registerblatt sind die Höhen von **Oberkante gewachsener Boden** und des **Grundwasserstandes** über ihre z-Koordinaten zu definieren.

OK Boden / GW

Aufschüttung

- ☐ keine Aufschüttung
- ☒ mit Aufschüttung

$\gamma_A = 19.00 \text{ kN/m}^2$

Grundwasserstand

- ☐ konstant
- ☒ Schwankung
- ☐ Absenkung (Boden ist für den unteren Grundwasserstand noch nicht konsolidiert)

Alle Angaben in [m]

Oberhalb des gewachsenen Bodens kann eine **Aufschüttung** berücksichtigt werden. Die Aufschüttung wirkt in der Berechnung als gleichmäßige Auflast und kann somit eine negative Mantelreibung (Abs. 3.8.2, S. 29) hervorrufen, wenn der Pfahl in bindige Bodenschichten einbindet.

Im Bereich der Auflast wird der Pfahl als nicht gebettet angenommen.

Wenn der Grundwasserstand nicht konstant sondern **Schwankungen** unterworfen ist, können sowohl ein maximaler bzw. oberer und ein minimaler bzw. unterer Grundwasserstand angegeben werden. Vom Programm wird bei der Berechnung immer der ungünstigste Fall von beiden Zuständen berücksichtigt.

Soll der Grundwasserstand z.B. während der Baumaßnahme abgesenkt werden oder ist der Boden aus anderen Gründen für den unteren Grundwasserstand noch nicht vollständig konsolidiert, kann dies durch den Auswahlpunkt **Absenkung** berücksichtigt werden. Dies hat bei einer eventuellen negativen Mantelreibung Einfluss auf die Lage des neutralen Punktes.

3.5.2 Bodenkennwerte - allgemein

Im zweiten Registerblatt können die Bodenschichten über die Steuerbuttons an der linken Seite der Tabelle angelegt, dupliziert oder gelöscht werden.

Bodenkennwerte Allgemein

Zeile löschen

Zeile duplizieren

neue Zeile anhängen

ein-/ausschalten

Kohäsion

☒ beim Er widerstand berücksichtigen mit 50

☐ nicht berücksichtigen

Bezeichnung	Bodentyp	d m	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	ϕ °	c kN/m ²
1: Ton	bindig	4.00	18.00	10.00	20.0	25.00
2: Sand	nicht bindig	5.20	20.00	11.00	30.0	0.00

neue Zeile anhängen

Für jede Bodenschicht ist hier eine **Bezeichnung** zu vergeben. Der **Bodentyp** ist als bindig, nicht bindig oder felsig zu klassifizieren. **Dicke**, **Wichte** und **Reibungswinkel** sind in den weiteren Spalten einzutragen.



Die Dicke der letzten Schicht wird automatisch als unendlich angenommen.

Ist die Option aktiv mit der die Kohäsion beim Erdwiderstand berücksichtigt wird, ist auch dieser Bodenkennwert je Schicht eingebbar.



Dabei ist zu beachten, dass sich Kohäsion günstig auf den Erdwiderstand auswirkt! Daher sollte sichergestellt sein, dass die angegebene Kohäsion auch dauerhaft gewährleistet ist.

3.5.3

Bodenkennwerte - axialer Widerstand

Im dritten Registerblatt sind die Kennwerte zur Berechnung des axialen Widerstandes (Abs. 4.6, S. 37) anzugeben.

Soll auf die Erfahrungswerte der EA-Pfähle zurückgegriffen werden, ist je nach Bodentyp einer von drei Parametern einzugeben.

Für bindige Böden ist die **undränerte Scherfestigkeit**, für nicht bindige Böden der **mittlere Spitzenwiderstand der Drucksonde** und bei felsigem Boden die **einaxiale Druckfestigkeit** erforderlich.



Bei der Ermittlung des axialen Widerstandes aus Erfahrungswerten stellt die 2. Auflage der EA-Pfähle von 2012 den Stand der Technik dar. Daher sollte hier nur zu Vergleichszwecken eine andere Einstellung bzgl. des Tabellenwerks gewählt werden.

Standardmäßig werden nur die unteren (bzw. niedrigsten) Tabellenwerte verwendet. Als **Maßgebende Tabellenwerte** können aber auch die oberen Werte oder Zwischenwerte verwendet werden.

Bei Verwendung von Stahlprofilen als Rammpfahl sieht die EA-Pfähle Reduzierungen der Tabellenwerte vor. Dies ist über Modellfaktoren (≤ 1.0) festgelegt mit denen die maßgebenden Rechenwerte durch Multiplikation mit den Tabellenwerten für Spitzen- und Mantelwiderstand zu ermitteln sind. Diese Modellfaktoren können hier vom Anwender abweichend von der EA-Pfähle festgelegt werden.



Sowohl die Verwendung höherer Tabellenwerten als auch die Veränderung der Modellfaktoren, sollte nur nach Rücksprache mit dem Baugrundgutachter erfolgen.

OK Boden / GW	Bodenkennwerte Allgemein	Bodenkennwerte axialer Widerstand	Bodenkennwerte E-Modul und Bettung	Bodenkennwerte Erdrwiderstand
---------------	-----------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------

Widerstand-Setzungs/Hebungs-Linie
☐ Aus Erfahrungswerten
☒ **Vorgabe von Mantel- und Spitzenwiderstand**
(je Schicht)

Spitzenwiderstandswerte liegen vor für
☐ bezogene Setzungen $s/D = 0.035$ und 0.10
☒ **bezogene Setzungen $s/D = 0.02/0.03$ und 0.10**

$q_{bk, 0.02} / q_{bk, 0.02} / q_{bk, 0.1}$ Spitzenwiderstand bei den bezog. Setzungen $s/D = 0.02 / 0.03 / 0.10$
 $q_{sk, ssg}$ Mantelwiderstand bei Grenzzsetzung

Bezeichnung	Bodentyp	$q_{bk, 0.02}$ kN/m ²	$q_{bk, 0.03}$ kN/m ²	$q_{bk, 0.10}$ kN/m ²	$q_{sk, ssg}$ kN/m ²
Ton	bindig	0.0	0.0	0.0	0.0
Sand	nicht bindig	0.0	0.0	0.0	0.0



Liegen die Mantel- und Spitzenwiderstandswerte der Bodenschichten in Form eines Baugrundgutachtens vor, sollte von der Möglichkeit der direkten Vorgabe Gebrauch gemacht werden. Dies ist einer Berechnung mit aus Erfahrungswerten gewonnenen Widerstandswerten immer vorzuziehen.

Bodenkennwerte - E-Modul und Bettung

Im vierten Registerblatt sind die **E-Moduli** der Schichten anzugeben. Die E-Moduli können entweder als **Steifemodul** oder **mittlerer Zusammendrückungsmodul** angegeben werden.

Vom Programm werden beide Angaben benötigt. Da häufig aber nur eine Variante vorliegt, kann der andere Wert in Form des Verhältnswertes κ in Relation dazu festgelegt werden.

Startwert der Bettung
☐ automatisch
☒ **direkt vorgeben** >> [Bettungsverlauf editieren](#)

Abschattung
☒ in X-Richtung um 50 %
☐ in Y-Richtung

E-Modul
☐ Schichtweise konstant

Bezeichnung	Bodentyp	E _{so} MN/m ²	E _{su} MN/m ²	κ	E _{mo} MN/m ²	E _{mu} MN/m ²
Ton	bindig	7.00	10.00	1.00	7.00	10.00
Sand	nicht bindig	10.00	10.00	1.00	10.00	10.00

Für jede Schicht können je ein Wert für Oberkante und Unterkante angegeben werden. In einfachen Fällen kann aber auch auf **Schichtweise konstant** umgeschaltet werden; dann ist nur ein Wert je Schicht erforderlich.



Bei automatischer Berechnung des Startwerts der Bettung wird diese mit dem Steifemodul berechnet. Die Setzungsberechnung zur Ermittlung der negativen Mantelreibung erfolgt mit dem mittleren Zusammendrückungsmodul.

Alternativ zur automatischen Ermittlung aus dem **Steifemodul** kann der Startwert der Bettung auch direkt vom Anwender vorgegeben werden. Hierzu ist der Schriftzug >> **Bettungsverlauf editieren** anzuklicken.

Im sich dann öffnenden Eigenschaftsblatt kann der Verlauf für den Startwert der Bettung entweder **parabelförmig** oder ganz **frei** über Bettungswerte in bestimmten Tiefen definiert werden. Zwischenwerte werden hierbei geradlinig interpoliert.

Verlauf
☒ **parabelförmig**
☐ frei

OK gewachsener Boden

n = 2.0
 $k_{s,FuB} = 25.00 \text{ MN/m}^2$

n Exponent der Parabel
 $k_{s,FuB}$ Bettung am Fußpunkt

Verlauf
☐ parabelförmig
☒ **frei**

t Tiefe ab OK gewachsener Boden
 k_s Bettungsmodul von t

	t m	k_s MN/m ²
1:	1.00	10.00
2:	3.00	20.00
3:	8.00	25.00
4:	12.00	15.00

neu →



Liegen Messwerte einer Bodensondierung vor aus denen der Bettungsmodul abgeleitet werden kann, sollte von der Möglichkeit der freien Vorgabe Gebrauch gemacht werden.

3.5.5

Bodenkennwerte - Erdwiderstand

Die Berechnung des Erdwiderstandes dient im Programm einzig dem Zweck der Kontrolle der rechnerisch angesetzten Bettung. Die hierzu erforderlichen Angaben von **Wandreibungswinkel** und **Erddruckbeiwert** sind im fünften Registerblatt enthalten.

Bodenkennwerte
Erdwiderstand

Berechnung des Erdwiderstandes zur Kontrolle der Bettung

☒ Rechenwert der Bettung soweit reduzieren bis die charakt. Bettungsspannung in jedem Punkt kleiner als der charakt. Erdwiderstand ist: $\sigma_{hk}(z) < e_{phk}(z)$

☒ Der Bemessungswert der res. Bettungsreaktion darf den Bemessungswert des res. Erdwiderstandes nicht überschreiten: $E_{phd} > B_{hd}$

Bezeichnung	Bodentyp	δ_p	K_{pgh}
Ton	bindig	autom.	autom.
Sand	nicht bindig	autom.	autom.

Erddruckbeiwert ermitteln
(Modus für automatische Ermittlung)

☐ für Erdruchdruck

☐ für ebene Gleitflächen

☒ für gekrümmte Gleitflächen
ab $\varphi \geq 30^\circ$

Wandreibungswinkel
(Faktor für automatische Ermittlung)

$\delta_p = 2/3 \varphi$

δ_p Wandreibungswinkel
 K_{pgh} horiz. Erddruckbeiwert

Beide Werte können je Schicht auch direkt vorgegeben werden; standardmäßig ist jedoch eine automatische Ermittlung eingestellt. Für diesen Fall wird der Erdwiderstandsbeiwert K_{pgh} je nach Einstellung für Erdruchdruck, eben oder gekrümmte Gleitflächen ermittelt.

Der Wandreibungswinkel wird in Relation zum Reibungswinkel ermittelt.

3.6

Pfahlgeometrie



Durch Anklicken des dargestellten Symbols wird das Eigenschaftsblatt für die Pfahlgeometrie aktiviert. Je nachdem, ob es sich um einen Bohrpfahl oder Rammpfahl handelt, weichen einige Parameter ab.

3.6.1

Schaftparameter

Im ersten Registerblatt sind für alle Pfahltypen Durchmesser, z-Koordinaten für Kopf und Fuß, die Länge und das Eigengewicht anzugeben. Hierbei beeinflussen sich die Parameter für die Fußkoordinaten und die Länge gegenseitig.



Soll die Pfahllänge bemessen werden, ist die Option **automatisch anpassen** zu aktivieren. In diesem Fall wird die vorgegebene Pfahllänge automatisch angepasst, wenn die **axiale Tragfähigkeit** nicht ausreichend ist.

The screenshot shows the 'Schaft' (Shaft) tab of the 'Pfahlgeometrie' software. The interface includes the following elements:

- Registers:** 'Schaft' (active) and 'Kopfeinspannung'.
- Pfahlkopf (Pile Head):**
 - $Z_{\text{Kopf}} = -1.00$
- Eigengewicht (Self-weight):**
 - $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Durchmesser (Diameter):**
 - $\varnothing = 1.00$
- Pfahllänge (Pile Length):**
 - ☒ automatisch anpassen
 - $l = 11.00$
- Pfahlfuß (Pile Foot):**
 - $Z_{\text{Fuß}} = 10.00$
- Schutzhülse (Protective Sleeve):**
 - ☒ mit Schutzhülse
 - $z_o = 1.00$
 - $z_u = 2.00$
 - $f_{n,\text{red}} = 0.50$
- Ausbildung des Pfahlfußes (Pile Foot Formation):**
 - ☒ mit Erweiterung
- 3D Visualization:** A central 3D model shows a grey pile of length 11.00 m embedded in a yellow soil. The ground surface is at $z = 0$. The pile head is at $z = -1.00$ and the pile foot is at $z = 10.00$. A protective sleeve is shown extending from $z = 1.00$ to $z = 2.00$. The pile foot is shown with a 1.50 m wide expansion.

Für den Bohrpfahl können zusätzlich Angaben über eine eventuelle **Schutzhülse** oder eine Ausbildung des Pfahlfußes gemacht werden.

Für den Bereich einer Schutzhülse sind seine obere und untere z-Koordinate anzugeben. Die Wirksamkeit einer möglichen negativen Mantelreibung im Bereich der Schutzhülse wird mit dem Reduktionsfaktor $f_{n,\text{red}}$ gesteuert.

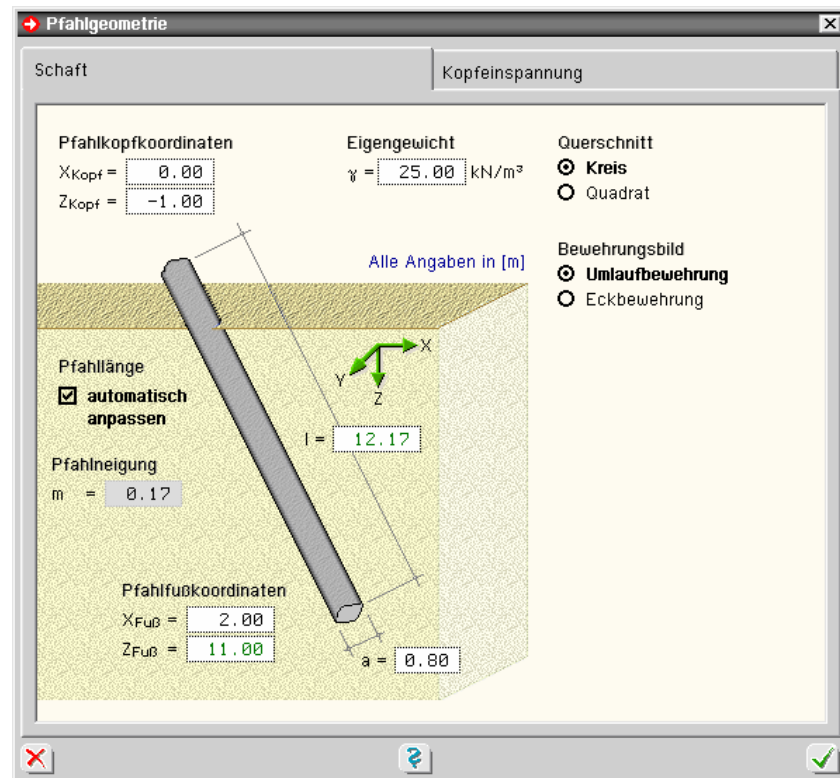


Beim Lastabtrag über Mantelreibung wird der Bereich der Schutzhülse als unwirksam betrachtet. Da die negative Mantelreibung jedoch eine Belastung darstellt, sollte diese mit einem auf der sicheren Seite liegenden Anteil auch im Bereich der Schutzhülse berücksichtigt werden.

Über eine **Erweiterung des Pfahlfußes** kann der Lastabtrag über den Pfahlsitzenwiderstand gesteigert werden. Hierzu sind die Abmessungen der Erweiterung anzugeben.

Beim Rammpfahlquerschnitt kann zwischen Kreis und Quadrat unterschieden werden.

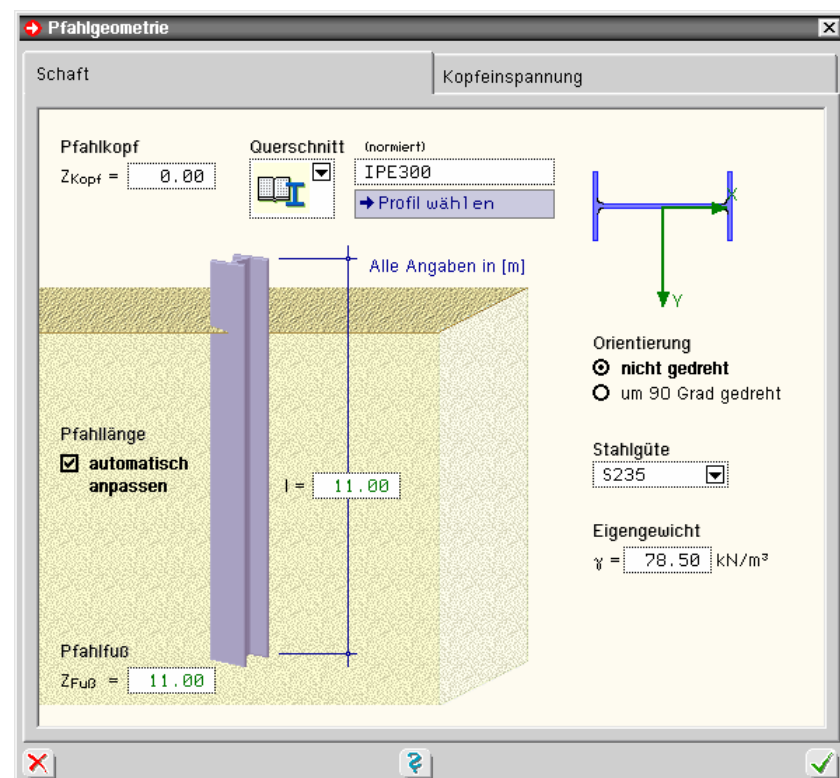
Im Fall eines geneigten Rammpfahls sind hier neben den vertikalen z-Koordinaten die horizontalen Positionen von Pfahlfuß und -kopf durch x-Koordinaten zu bestimmen. Zur Information wird die sich hieraus ergebende Neigung angezeigt.



3.6.2

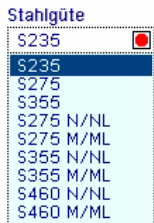
Schaftparameter - Stahlpfahl

Für einen Stahlpfahl sind neben Länge bzw. Fuß- und Kopfkoordinaten Querschnitt, Orientierung des Querschnitts und die Stahlgüte festzulegen.



Als Stützenquerschnitt werden in einer Symbolliste vier Varianten angeboten.

- als oberste Möglichkeit kann ein normiertes Profil aus dem DTE®-Profilmanager gewählt werden, der über den Button **Profil wählen** gestartet wird. Zulässig sind dabei alle Doppel-T-Querschnitt, sowie Rechteck- und Rohrprofile.
- die zweite bis vierte Variante bilden typisierte Doppel-T, Rechteck- oder Rohrprofile, für die unter dem Button **Profil bearbeiten** Höhe, Breite und Blechdicken festzulegen sind



Mit der **Orientierung** wird die Lage des Querschnitts im Koordinatensystem festgelegt. Ist die Option **nicht gedreht** aktiv, liegt der Steg eines Doppel-T-Profils parallel zur x-Achse.

Zur Eingabe der Stahlsorte stehen hier die Stähle der Tab. 1, Anpassungsrichtlinie Stahlbau, Ausg. Dez. 2001, zur Verfügung. Dies sind

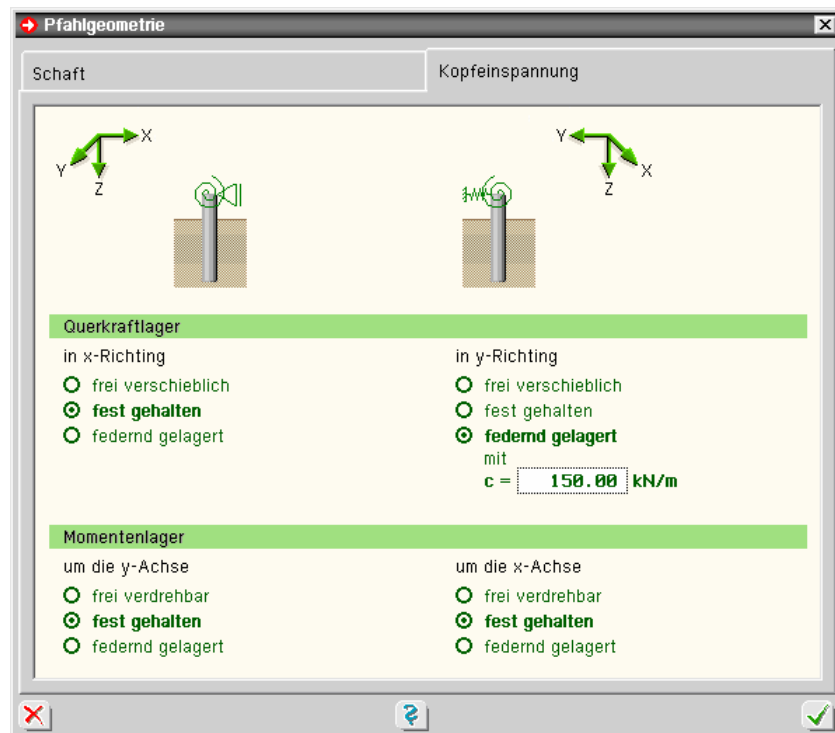
- Baustähle n. DIN EN 10025 (03.94): S235 (St37), S275 (St44), S355 (St52)
- Feinkornbaustähle n. DIN EN 10113 (04.93): S275 N/NL, S275 M/ML, S355 N/NL, S355 M/ML, S460 N/NL, S460 M/ML

Bei Berechnung n. DIN 18800 werden die Rechenwerte der Festigkeit aus Tab. 1 der DIN 18800-1:2008 verwendet, bei Berechnung n. EC 3 die Werte aus Tab. 3.1. von DIN EN 1993-1-1:2010.

3.6.3

Kopfeinspannung

Im zweiten Registerblatt des Eigenschaftsblatts *Pfahlgeometrie* kann eine Kopfeinspannung definiert werden.



Hier können Auflagerbedingungen für Querkraft und Moment festgelegt werden. Die Lagerbedingungen können entweder frei, fest oder elastisch angesetzt werden. Bei elastischer Lagerung ist eine Federkonstante anzugeben.

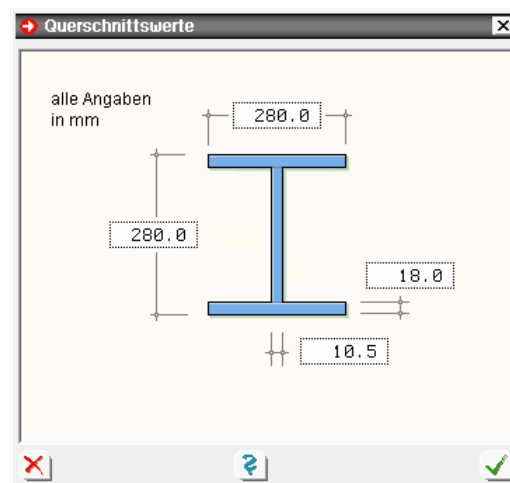


Bei fester Lagerung haben die zugehörigen Schnittgrößen keine Bedeutung mehr für die Berechnung. Bei der Eingabe im Eigenschaftsblatt für die Belastung (Abs. 3.8, S. 28) sind die Zahlen in den entsprechenden Eingabefeldern daher blasser dargestellt.

3.6.4

typisierte Stahlquerschnitte

Zur Beschreibung eines typisierten Stahlquerschnitts sind die Abmessungen für Höhe, Breite und Blechdicken über die Vermaßungen einer Prinzipskizze einzugeben.



3.7

Verwaltung der Einwirkungen

Zur Verwaltung der Einwirkungen s. Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*.

3.8 Belastung



Durch Anklicken des dargestellten Symbols wird das Eigenschaftsblatt für die Belastung aktiviert.

3.8.1 Pfahlkopflasten

Im Normalfall der ebenen Betrachtung mit Querlasten (s. Arten der Pfahlbelastung, Abs. 3.4.1, S. 14) enthält das erste Registerblatt eine Tabelle mit **Normalkraft**, **Querkraft** und **Moment** für alle in der Verwaltung der Einwirkungen (Abs. 3.7, S. 27) angelegten Lastfälle.

Soll nur eine rein axiale Belastung betrachtet werden, ist diese Tabelle auf die Spalte für die Normalkraft reduziert.

Im Fall der räumlichen Betrachtung werden Querkraft und Moment in x- und y-Richtung unterschieden und ggf. auch Torsion berücksichtigt.

Zusätzlich kann eine *Exzentrizität bei der Lasteinleitung* berücksichtigt werden, die entsprechend der zulässigen Herstellungsabweichung gewählt oder direkt vorgegeben werden kann.

Die zulässige Herstellungsabweichung ergibt sich aus den Ausführungsnormen der einzelnen Pfahlarten. Im Programm werden diese wie folgt berücksichtigt.

Pfahltyp	Ausführungsnorm	zulässige Herstellungsabweichung
Bohrpfahl	DIN EN 1536:2010, Abs. 8.1	$e = 0.1 \cdot D \dots \text{mit} \dots 10 \text{ cm} \leq e \leq 15 \text{ cm}$
Rammpfahl	DIN EN 12699:2000, Abs. 7.3	$e = 10 \text{ cm}$
Mikropfahl	DIN SPEC 18539:2012, A.7.1.2	$e = 7.5 \text{ cm}$

3.8.2

negative Mantelreibung

Im zweiten Registerblatt kann entschieden werden, ob eine mögliche negative Mantelreibung (Abs. 4.2, S. 34) berücksichtigt werden soll.

Negative Mantelreibung kann entstehen, wenn bei bindigem Boden eine zusätzliche **Auffüllung** oder eine **Grundwasserabsenkung**, für die der Boden nicht konsolidiert ist, vorliegt (Einstellungen hierzu im Eigenschaftsblatt *Boden* (Abs. 3.5.1, S. 19)).

The screenshot shows a software window titled 'Belastung' with a close button. It has two tabs: 'Pfahlkopflast' and 'Negative Mantelreibung'. The 'Negative Mantelreibung' tab is active. The content area has a yellow background and contains the following settings:

- ☒ **negative Mantelreibung berücksichtigen**
- Begrenzung der negativen Mantelreibung**
 - ☒ **nicht größer als positive Mantelreibung je Schicht**
 - ☐ auf Maximalwert
 - ☐ nicht begrenzen
- Grenztiefe für Setzung des Bodens**
 - ☒ **automatisch ermitteln**
 - ☐ vorgeben
- Pfahlabstand**
 - ☒ **Pfahl steht alleine**
 - ☐ Pfahl gehört zu einer Gruppe



Durch Anklicken des dargestellten Symbols wird das Eigenschaftsblatt *Nachweisooptionen* aktiviert. Hier können sowohl allgemeine Angaben zur Bemessung als auch nachweispezifische Parameter gesteuert werden.

3.9.1

Stahlbeton - allgemein

Ist der gewählte Pfahltyp ein Betonpfahl, können im ersten Registerblatt der *Nachweisooptionen* eine Grundbewehrung, der Stahlrandabstand und der maximal zulässige Bewehrungsgrad der Längsbewehrung angegeben werden.

Darunter kann festgelegt werden, ob der für Schnittgrößenermittlung gültige E-Modul aus den Einstellungen für die Nachweise (s.u.) übernommen wird oder ein davon unabhängiger Wert vorgegeben wird.

Im unteren Bereich des Eigenschaftsblatts kann der Nachweis der inneren Tragfähigkeit durch eine Knickuntersuchung nach Theorie II. Ord. im Zustand 2 ergänzt werden. Die **Knickuntersuchung** wird dann zusätzlich zur Biegebemessung nach Theorie I. Ord. geführt.

Für den Fall, dass die vorgegebene Grundbewehrung oder die aus der Biegebemessung ermittelte Bewehrung nicht ausreicht, um den Knicknachweis zu erfüllen, wird die Bewehrung in einem iterativen Prozess gesteigert und die Berechnung wiederholt. Hierzu sind hier eine maximale Iterationstiefe und die maximale Erhöhung der Bewehrung je Rechenschritt anzugeben.

Wenn bei der Knickuntersuchung **Imperfektionen** berücksichtigt werden sollen, sind wahlweise ein Ersatzlängenbeiwert oder eine Kopfauslenkung anzugeben. Bei Vorgabe eines Ersatzlängenbeiwerts wird die anzusetzende Kopfauslenkung entsprechend der gewählten Berechnungsnorm automatisch ermittelt. Die Imperfektion wird vom Programm als Schiefstellung in der maßgebenden Belastungsrichtung angesetzt.

3.9.2

Stahlbeton - Nachweise

Das zweite Register der *Nachweisoptionen* beinhaltet alle nachweisspezifischen Parameter für die Stahlbetonbemessung (Abs. 4.4, S. 36).

The screenshot shows the 'Nachweisoptionen' dialog box with the 'Stahlbeton Nachweise' tab selected. The 'Nachweise nach EC 2' section includes settings for concrete grade (C30/37), creep and shrinkage (checked), longitudinal reinforcement (BSt 500), and exposure class (X0, XF1, WO). The 'Biegebemessung' section has 'Mindestbewehrung' checked for columns. The 'Schubbemessung' section has 'Schubbewehrung' set to BSt 500 and 'Druckstrebenwinkel' set to 0.00°. The 'Rissnachweis' section has 'Grenz-Ø der Längsbewehrung' set to 16 mm and 'Rissbreite w_k' set to 0.30 mm. A note at the bottom right states: 'w_k < 0.30 mm: häufige oder seltene BewSit', 'w_k ≥ 0.30 mm: quasi-ständige BewSit'.

Neben den Tragfähigkeitsnachweisen *Biege-* und *Schubbemessung* können zum Nachweis der Gebrauchsfähigkeit der *Riss-* und der *Spannungsnachweis* geführt werden.

Mit Ausnahme der Biegebemessung können alle anderen Nachweise durch den entsprechenden **Häckchenschalter** an- oder abgewählt werden.

3.9.3

Stahl - Nachweise

Ist als Pfahltyp ein Rammpfahl aus Stahl (s. Abs. 3.4.1, S. 14) gewählt, steht das erste Registerblatt zur Festlegung der Parameter für den Nachweis der Stahltragfähigkeit zur Verfügung.

The screenshot shows the 'Nachweisoptionen' dialog box with the 'Stahl' tab selected. The 'Stahl' section shows 'DIN EN 1993-1:2010-12'. The 'äußere Standsicherheit Nachweis' section has three radio buttons: 'plastischer Querschnittsnachweis (EC3-1-1 6.2.1(6))', 'elastisch Querschnittsnachweis (EC3-1-1 6.2.1(5))', and 'Grenzwerte grenz (c/t) (EC3-1-1 Tabelle 5.2)'. The 'Grenzwerte grenz (c/t) (EC3-1-1 Tabelle 5.2)' option is selected.

Der Querschnittsnachweis (s. Abs. 4.5, S. 36) kann je nach zugrunde liegender Norm nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) (DIN 18800, El. 747, bzw. DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5)), oder nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) geführt werden (DIN 18800, El. 757, bzw. DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(6)).

3.9.4

äußere Standsicherheit - Nachweis

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für die äußere Standsicherheit (s. Abs. 4.6, S. 37) wird entweder direkt oder indirekt über die Einhaltung von zulässigen Verformungen geführt.

Für den Fall, dass bei einem Bohrpfahl auch eine Torsionsbeanspruchung nachzuweisen ist, kann hier zusätzlich eine zulässige Verdrehung vorgegeben werden.

Nachweisoptionen

Stahlbeton Allgemein | Stahlbeton Nachweise | **äußere Standsicherheit Nachweis** | äußere Standsicherheit Bemessungssituation

Aufnehmbare Pfahlkopfverschiebungen für Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Pfahlkopfsenkung	SSLS, Druck =	3.0	cm
Pfahlkopfhhebung	SSLS, Zug =	1.0	cm
quer zur Pfahlachse	USLS =	1.5	cm
Verdrehung	φ_{SLS} =	0.50	°

3.9.5

äußere Standsicherheit - Bemessungssituationen

Nachweisoptionen

Stahlbeton Allgemein | Stahlbeton Nachweise | äußere Standsicherheit Nachweis | **äußere Standsicherheit Bemessungssituation**

Bemessungssituation für den Nachw. der äußeren Standsicherheit ☒ **Automatisch**

Für alle über die Verwaltung der Einwirkungen (☑) angelegten Lastfälle (☑) ist hier festzulegen, in welchen Bemessungssituationen sie bei den Standsicherheitsnachweisen zu berücksichtigen sind.

Standardbemessungssituation (aller ständigen und veränderlichen Lastfälle)

☒ BS-P
☐ BS-T

Lastfall	BS-P	BS-T	BS-A	BS-E
Eigengewicht	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verkehr	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonderlast	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nach DIN 1054:2010 werden die Bemessungssituationen wie folgt klassifiziert.

- **BS-P** für ständige und vorübergehende Situationen
- **BS-T** für vorübergehende Situationen im Bauzustand
- **BS-A** für außergewöhnliche Situationen
- **BS-E** für Erdbeben



Hinweis zu den "alten" DIN 1054's: Die Bezeichnungen **BS-P** und **BS-A** sind identisch mit **LF1** und **LF 2**. **LF 3** umfasst sowohl außergewöhnliche als auch Erdbebensituationen, also **BS-A** und **BS-E**.

BS-P, **BS-A** und **BS-E** entsprechen den auch aus anderen Bemessungsnormen bekannten Bemessungssituationen. **BS-T** stellt dagegen eine Besonderheit dar. Daher besteht in diesem Registerblatt die Möglichkeit, für alle Lastfälle, die in der Verwaltung der Einwirkungen vom Einwirkungstyp *ständige Lasten* oder *veränderliche Lasten* angelegt wurden, festzulegen, ob sie für den Bemessungszustand **BS-P** und/oder **BS-T** berücksichtigt werden sollen und ob sie ebenfalls auch mit einer ggf. angelegten Sonderlast kombiniert in **BS-A** bzw. in **BS-E** mit Erdbebenlast zu berücksichtigen sind.

Lastfälle vom Einwirkungstyp *Sonderlast* oder *Erdbeben* sind nur für **BS-A** bzw. **BS-E** gültig.

Ist der Modus **automatisch** aktiviert, ist nur festzulegen, ob alle Lastfälle, die als ständige oder veränderliche Einwirkungen angelegt wurden, für **BS-P** oder **BS-T** zu berücksichtigen sind, d.h. die gesamte Berechnung wird dann entweder für den Endzustand oder Bauzustand durchgeführt.

Gleichzeitig werden in diesem Fall alle Lastfälle ebenfalls für **BS-A** berücksichtigt, wenn eine Sonderlast vorhanden ist; bei einer Erdbebenlast ebenso für **BS-E**.

Beispiel:

Folgende Lastfälle sind angelegt: G (*ständige Lasten*), Q (*veränderliche Lasten*) und S (*Sonderlast*) und die Standardsituation ist *BS-P*. Vom Programm werden alle Lastkombinationen aus G und Q gebildet, die für *BS-P*, und alle Lastkombinationen aus G, Q und S, die für *BS-A* möglich sind.

Für den Fall, dass nicht alle Lastfälle entweder für *BS-P* oder *BS-T* oder nicht alle Lastfälle für *BS-A* berücksichtigt werden sollen, muss der Modus **automatisch** deaktiviert werden. Die Zuordnungen können dann für alle Lastfälle frei eingestellt werden.

4 Berechnung und Nachweise

4.1 Berechnung durchführen



durch einen Klick auf den Berechnungsbutton wird die Berechnung gestartet.

4.1.1 vor der Berechnung der Nachweise

Für alle zu führenden Nachweise werden die Lastkollektive mit den Bemessungswerten für die jeweiligen Nachweise automatisch vom Programm erzeugt.

Für den Fall, dass eine negative Mantelreibung (Abs. 3.8.2, S. 29) auftritt, wird diese ermittelt und als ständige Last in allen Lastkollektiven berücksichtigt.

4.1.2 Berechnung der Lastkollektive

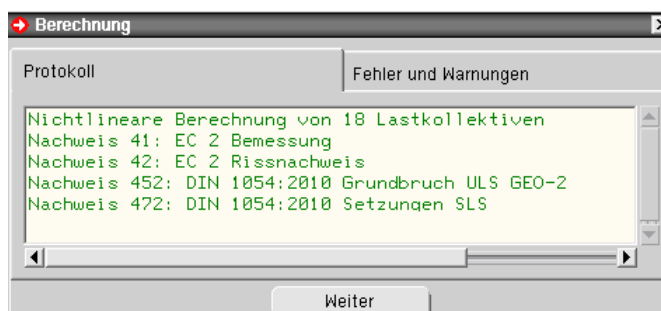
Für jedes Lastkollektiv wird, wenn vom Anwender nicht explizit ausgeschaltet (s. Registerblatt *Erdwiderstand* im Eigenschaftsblatt für *Bodenparameter*, Abs. 3.5.5, S. 23), eine Kontrolle des Bettungsansatzes (Abs. 3.5.4, S. 22) durchgeführt und dieser ggf. in einem iterativen Prozess angepasst.

Diese Vorgehensweise macht es erforderlich, dass alle Nachweise mit Lastkollektiven und nicht mit Extremierungen geführt werden.

4.1.3 Ablauf der Berechnung

Mit dem Start der Berechnung öffnet sich ein Fenster, das den Ablauf protokolliert und nach der Berechnung über den Button **weiter** beendet werden kann.

Bei erfolgreicher Berechnung können die Ergebnisse im *Ergebnisfenster* (Abs. 3.3, S. 11) kontrolliert werden.



Soweit erforderlich bzw. vom Anwender gewünscht, erfolgen die Berechnungen und Ausgaben im Berechnungsprotokoll in folgender Reihenfolge

- Nachweis der inneren Standsicherheit (Stahlbetonbemessung oder Stahltragfähigkeit)
- Gebrauchstauglichkeitsnachweise der inneren Standsicherheit
- Tragfähigkeitsnachweise der äußeren Standsicherheit (Abs. 4.6, S. 37)
- Gebrauchstauglichkeitsnachweise der äußeren Standsicherheit

Zu den Stahlbetonnachweisen s. im Internet www.pcae.de *Stahlbetontheorie*.

4.1.4

Allgemeines zur Nachweisführung

In **pcae**-Programmen wird nicht unterschieden zwischen *Nachweisen*, die auf einem festen Querschnittszustand beruhen und als Ergebnis ein *hält* oder *hält nicht* haben, und *Bemessungen*, die nach erfolgreicher Durchführung eine Bewehrungserhöhung zur Folge haben.

Der Oberbegriff *Nachweis* bezeichnet in **pcae**-Programmen eine Querschnitts- oder Systemuntersuchung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) oder Gebrauchstauglichkeit (GZG), unabhängig von der Art des Ergebnisses.

4.1.5

Berechnungsprotokoll

Zur Ausgabe gehört eine maßstäbliche Darstellung des Pfahls und der Bodenschichten.

Das Protokoll der Belastung und die Berechnungsergebnisse der einzelnen Bemessungen und Nachweise werden kontinuierlich durchnummeriert.

Der abschließende Punkt der Ausgabe ist die *Zusammenfassung*. Sollten einer oder mehrere Bemessung- oder Nachweisteile der Berechnung nicht erfolgreich gewesen sein, ist hier auf einen Blick zusammengestellt, woran diese gescheitert sind.

Konnten alle Nachweise erfolgreich geführt werden, sind die maßgebenden Ergebnisse aller geführten Nachweise hier nochmals in einem Kasten aufgeführt.

4.2

negative Mantelreibung

Negative Mantelreibung entsteht, wenn sich der Boden um den Pfahl stärker setzt als der Pfahl selbst. Dies ist z.B. der Fall, wenn der Pfahl in eine "weiche" bindige Schicht einbindet und diese eine neue Belastung erfährt, für die die Schicht noch nicht konsolidiert ist.

Diese neue Belastung kann entweder in Form einer zusätzlichen Auflast (Aufschüttung) oder durch Absenkung des Grundwasserstandes hervorgerufen werden. Liegt über der sich setzenden bindigen Schicht eine nichtbindige Schicht, wird auch von dieser eine negative Mantelreibung ausgeübt.

Nach EA-Pfähle:2012, Abs. 4.4.2, darf der charakteristische Wert der negativen Mantelreibung $\tau_{n,k}$ wie folgt angesetzt werden

$$\begin{aligned}\tau_{n,k} &= c_{u,k} && \text{bindige Böden} \\ \tau_{n,k} &= \sigma' \cdot K_0 \cdot \tan \varphi'_k && \text{nichtbindige Böden}\end{aligned}$$

Die daraus resultierende charakteristische Beanspruchung kann aber für nichtbindige Schichten nicht größer werden als das Gewicht der Schicht. Ebenso kann die negative Mantelreibung $\tau_{n,k}$ nicht größer werden als eine mögliche positive Mantelreibung $q_{s,k}$.

Die Einflusstiefe der negativen Mantelreibung reicht bis zum so genannten "neutralen Punkt", an dem die Setzungen des Pfahls und des Bodens gleich sind.

4.2.1

Berechnung des neutralen Punktes

Vom Programm wird die vom Anwender vorgegebene zulässige Pfahlkopfsetzung (Abs. 3.9.4, S. 32) als maximale Setzung des Pfahls angenommen.

Entspr. DIN 4019 wird berechnet in welcher Tiefe der Boden infolge der Auflast genau diese Setzung erfährt; diese Tiefe wird dann als c angenommen.

Sollte der neutrale Punkt rechnerisch innerhalb der nichtbindigen Schicht unterhalb der sich setzenden bindigen Schicht liegen, wird er an der Oberkante der nichtbindigen Schicht angenommen.

4.3 Kontrolle der Bettung

4.3.1 punktuelle Kontrolle

Nach DIN 1054:2010 (Abs. A 9.7.1.4) darf die charakteristische horizontale Bettungsspannung des Pfahls $\sigma_{h,k}$ den charakteristischen Wert des größtmöglichen horizontalen Erdwiderstandes $e_{ph,k}$ in keinem Punkt überschreiten.

$$\sigma_{h,k}(z) \leq e_{ph,k}(z)$$

Falls bei der Berechnung eines Lastkollektivs diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird der Bettungsansatz in einem iterativen Prozess reduziert und das Lastkollektiv erneut berechnet.

Da der Erdwiderstand über die Tiefe i.d.R. steigt, wird eine Reduzierung i.d.R. in den oberen Bereichen notwendig sein.

Sollte keine ständige Auflast vorhanden sein, ist der Erdwiderstand an der Oberkante des Bodens immer Null, d.h. auch der Bettungsansatz ist dort auf Null zu reduzieren.

4.3.2 Kontrolle der Resultierenden

Zusätzlich darf nach DIN 1054:2010 (Abs. 9.7.4) der resultierende Bemessungswert der Bettungsreaktion $B_{h,d}$ den resultierenden Bemessungswert des Erdwiderstandes $E_{ph,d}$ nicht überschreiten. Dabei darf auch eine räumliche Wirkung des Erdwiderstandes berücksichtigt werden.

Die resultierende Bettungsreaktion ergibt sich aus der Integration der Bettungsspannung $\sigma_{h,k}$ über die gesamte Einbindetiefe des Pfahls.

$$E_{ph,d} \geq B_{h,d}$$

Diese zweite Forderung ist nur für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit relevant.

Bei Berechnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist bei Einhaltung des punktuellen Kriteriums auch automatisch die resultierende Bettungsreaktion nicht größer als der resultierende Erdwiderstand.

Vom Programm werden für alle Lastkollektive von Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Resultierenden von Erdwiderstand und Bettungsreaktion ermittelt und protokolliert.

Bei Nichteinhalten wird eine entsprechende Warnung in der Zusammenfassung ausgewiesen.

4.4 Stahlbetonbemessung

Das Programm #/EPFL verfügt über folgende vordefinierte Nachweistypen (Basisnachweise), wobei je nach gewählter Norm in den allgemeinen Einstellungen (Registerblatt *Bemessung*, Abs. 3.4.2, S. 15) entweder nur die Nachweise nach EC 2 oder DIN 1045-1 geführt werden können.

Welche Nachweise geführt werden sollen, kann vom Anwender unter den Nachweisoptionen (Registerblatt *Stahlbetonnachweise*, Abs. 3.9.2, S. 31) bestimmt werden.

4.4.1 Nachweise n. Theorie I. Ordnung

- EC 2 Bemessung (Biege- und Schubbemessung im GZT)
- EC 2 Rissnachweis (GZG)
- EC 2 Spannungsnachweis (GZG)
- DIN 1045-1 Bemessung (Biege- und Schubbemessung im GZT)
- DIN 1045-1 Rissnachweis (GZG)
- DIN 1045-1 Spannungsnachweis (GZG)

4.4.2 Nachweise n. Theorie II. Ordnung (im Zustand 2)

- EC 2 Knicksicherheit Z2 (GZT)
- DIN 1045-1 Knicksicherheit Z2 (GZT)

Literatur: *das pcae-Nachweiskonzept* und Internet www.pcae.de *Stahlbetontheorie*.

4.5 Stahltragfähigkeit

4.5.1 Nachweis DIN EN 1993

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) (DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5)) oder nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) geführt werden (DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(6)).

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5), Formel 6.1.

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung entspr.

Kindmann, R., Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele; Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002

überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

Es können Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Rohre als Profile oder typisierte Querschnitte unter zweiachsiger Beanspruchung einschl. St. Venant'scher Torsion und **Wölbkrafttorsion** nachgewiesen werden. Dieses Berechnungsverfahren ist allgemeingültiger als die in DIN EN 1993 angegebenen Interaktionen für spezielle Schnittgrößenkombinationen.

Eine Begrenzung der Grenzbiegemomente wie in DIN 18800, El. 755, ist in DIN EN 1993 nicht erforderlich.

Die Grenzwerte $\text{grenz} (c/t)$ werden je nach Nachweisverfahren aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.5.2, Tab. 5.2, ermittelt. Dies entspricht der Überprüfung der erforderlichen Klassifizierung des Querschnitts. Lässt die Klassifizierung keinen plastischen Nachweis zu, wird der elastische Nachweis geführt.

4.5.2

DIN 18800

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) (DIN 18800, El. 747) oder nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) geführt werden (DIN 18800, El. 757).

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt.

Neben den Nachweisen nach Gl. 31-33 kann bei der Berechnung der Querschnittsausnutzung eine örtliche Plastifizierung erlaubt werden (DIN 18800, El. 747, El. 749, El. 750).

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung entspr.

Kindmann, R., Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele; Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002

überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

Es können Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Rohre als Profile oder typisierte Querschnitte unter zweiachsiger Beanspruchung einschl. St. Venant'scher Torsion und Wölbkrafttorsion nachgewiesen werden.

Die Begrenzung der Grenzbiegemomente (DIN 18800, El. 755) kann ausgeschaltet werden.

Die Grenzwerte $\text{grenz}(c/t)$ werden beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* n. DIN 18800, Tab. 12-14, errechnet. Werden die plastischen Reserven des Querschnitts genutzt, erfolgt die Ermittlung der Grenzwerte $\text{grenz}(c/t)$ n. DIN 18800, Tab. 15.

4.6

Nachweis der äußeren Standsicherheit

Bei den Nachweisen der inneren Standsicherheit (Stahlbetonbemessung bzw. Stahltragfähigkeit) werden alle Nachweise (mit Ausnahme der Knicksicherheit) am Querschnitt geführt. Im Gegensatz dazu wird die Standsicherheit als Nachweis am gesamten Bauteil geführt.

Alle Nachweise werden nach Theorie I. Ordnung berechnet.

Der Nachweis der axialen Tragfähigkeit ist dabei der einzige Nachweis der äußeren Standsicherheit, der im Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. nach DIN 1054:2010 im Grenzzustand GEO-2 (Grenzzustand für das Versagen von Bauteilen) geführt wird.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird entweder direkt oder indirekt über das Einhalten von zulässigen Kopfverformungen erbracht (Eingabe der zulässigen Verformungen s. *Nachweisoptionen*, Registerblatt 3, Abs. 3.9.4, S. 32).

4.6.1

Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Bohrpfähle

Für den Pfahl wird eine Widerstands-Setzungs-Linie bzw. bei Zugbelastung eine Widerstands-Hebungs-Linie ermittelt. Bei Berechnung mit Erfahrungswerten nach EA-Pfähle:2012 geschieht dies entspr. Abs. 5.4.6.2 mit den Tab. 5.12 bis 5.16. In Abhängigkeit der Bodenkennwerte werden so Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung ermittelt.

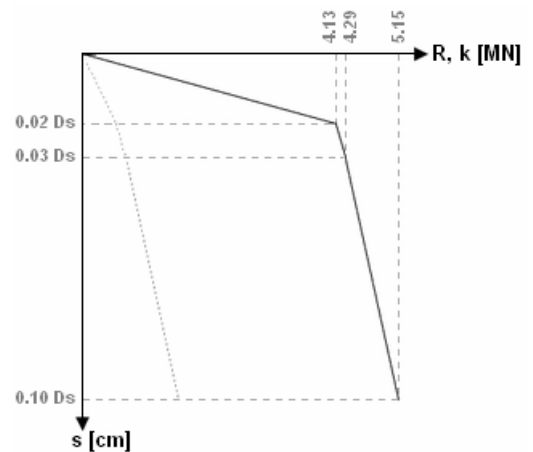
Für nichtbindige Böden wird hierzu der mittlere Spitzenwiderstand q_c aus einer Drucksondierung benötigt; für bindige Böden die undrained Scherfestigkeit $c_{u,k}$ und bei felsigen Böden die ein-axiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$.

Die Werte für den Pfahlspitzenwiderstand bei bindigen und nichtbindigen Böden werden für bezogene Pfahlkopfsetzungen s/D angegeben (mit D für Pfahlschaftdurchmesser bzw. Pfahlfußdurchmesser).

Beispiel für eine Widerstands-Setzungs-Linie:

Die Grenzsetzung beträgt $s_g = 0.1 \cdot D$.

Der zugehörige Widerstandswert stellt den charakteristischen Grenzwert der Tragfähigkeit dar (hier 5.15 MN).



Anhand der Widerstands-Setzungs-(Hebungs-)Linie wird auch die zulässige Setzung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ermittelt.

Bei Zugbelastung wird der Anteil des Pfahlsitzenwiderstandes vernachlässigt; man erhält eine Widerstands-Hebungs-Linie.



Eine Erweiterung des Pfahlfußes hat eine Erhöhung des Pfahlsitzenwiderstandes zur Folge; jedoch reduziert sich die Mantelreibung im unmittelbaren Bereich über der Erweiterung.

4.6.2

Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Rammpfähle

Für die Berechnung nach DIN 1054:2010 wird die Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Rammpfähle entspr. EA-Pfähle:2012, Abs. 5.4.4, durchgeführt. Die zugehörigen Erfahrungswerte sind in Tab. 5.1 bis 5.4 aufgeführt.

Bei Verwendung von Stahlprofilen sind diese mit den Modellfaktoren aus Tab. 5.5 abzumindern.

Im Fall von **Simplexpfählen** wird die Berechnung nach Abs. 5.4.5 und den Tab. 5.6 bis 5.8 geführt. Ebenso wie bei Bohrpfählen werden Erfahrungswerte in Abhängigkeit vom Spitzenwiderstand q_c für nichtbindige und der undrained Scherfestigkeit $c_{u,k}$ für bindige Böden angegeben. Für felsige Böden in denen Rammpfähle i.d.R. auch nicht anwendbar sind, liegen keine Erfahrungswerte vor.

Erst mit Einführung der EA-Pfähle:2012 ist es möglich, die axiale Tragfähigkeit von Rammpfählen auf die gleiche Weise wie bei Bohrpfählen zu ermitteln.



Mit den älteren Tabellen aus der ersten Auflage der EA-Pfähle und der DIN 1054:2005 war eine setzungsabhängige Aussage über die Tragfähigkeit noch nicht möglich. Eine Widerstands-Setzungslinie konnte daher nicht ermittelt werden und damit war auch kein Nachweis der Gebrauchstauglichkeit möglich. Ebenso konnte kein Nachweis der axialen Tragfähigkeit in gemischten Böden geführt werden.

4.6.3

Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes für Mikropfähle

Bei Mikropfählen ist der Durchmesser immer kleiner als 30 cm. Der Spitzenwiderstand wird daher im Nachweis nicht berücksichtigt. Die Erfahrungswerte für die Mantelreibung werden n. EA-Pfähle:2012 aus den Tab. 5.29 und 5.30 ermittelt.

Für Bohrpfähle besteht die Möglichkeit eine Torsionsbelastung sowohl bei der inneren Standsicherheit bzw. Stahlbetonbemessung als auch bei der äußeren Standsicherheit (Nachweis des Torsionsabtrags in den Boden) zu berücksichtigen.

Auch wenn dies derzeit in keiner Norm oder Empfehlung geregelt ist, kann man davon ausgehen, dass die für die axiale Beanspruchung ansetzbare Mantelreibung auch für die Torsionsbeanspruchung verwendet werden kann. D.h. zur Mobilisierung ist in Analogie zum axialen Nachweis statt einer Setzung eine Verdrehung erforderlich.

Im Programm wird näherungsweise davon ausgegangen, dass die in der EA-Pfähle angegebenen Grenzwerte der Setzung bis zur vollen Mantelreibungsaktivierung in Pfahlverdrehungen umgerechnet werden können. Die Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Der Torsionswiderstand kann damit direkt aus dem Widerstand der Pfahlmantelreibung wie folgt ermittelt werden.

$$R_{T,k}(\varphi) = R_{s,k}(s) \cdot r_s \quad \text{mit} \quad \varphi = s \cdot 180^\circ / \pi \cdot r_s$$

φ Verdrehung des Pfahls
 s Pfahlkopfsetzung
 r_s Radius des Pfahlschafts

Der Nachweis erfolgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit dem Widerstand infolge der Grenzverdrehung

$$\varphi_{sg} = s_{sg} \cdot 180^\circ / \pi \cdot r_s \quad \text{mit} \quad s_{sg} = 0.1 \cdot D_s$$

im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit dem Widerstand infolge der vom Anwender vorgegebenen zulässigen Verdrehung (Abs. 3.9.4, S. 32).

Normen - Stahlbetonbemessung

- DIN 1045-1:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Ausgabe August 2008
- DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004+AC:2010, Ausgabe Januar 2011
- DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe April 2013

Normen - Stahlbau

- DIN 18800, Stahlbauten: Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, Ausgabe November 1990
- DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010

Normen - Standsicherheit

- DIN 1054, Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds, Ausgabe November 1976
- DIN 1054:2005-01, Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe Januar 2005, inklusive Berichtigungen 1 bis 4
- DIN EN 1997-1:2009-09, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009, Ausgabe September 2009
- DIN EN 1997-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe Dezember 2010
- DIN 1054:2010-12, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausg. Dezember 2010, inkl. Änderung 1 von August 2012
- EA-Pfähle, Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), Verlag Ernst & Sohn, 2. Auflage 2012
- DIN 4019-1: Baugrund, Setzungsberechnungen bei lotrechter mittlerer Belastung, April 1979
- DIN 4085:2011-05, Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe Mai 2011

6 Index

Abkürzungen.....	3	Lastfall.....	3
Anhang nationaler.....	15	Lastkollektiv	3
Auffüllung.....	29	Mantelreibung negative	24, 29, 34
Aufschüttung.....	19	Mikropfahl	38
Ausgabe.....	17	Nachweisooptionen.....	30
Bauteil erzeugen.....	9	nationaler Anhang.....	15
Belastung.....	28	NDP	15
Berechnungsablauf.....	33	Ordner.....	9
Bettungskontrolle	35	Pfahlgeometrie.....	24
Bettungsverlauf.....	22	Pfahlkopflast	28
Biegebemessung	31	Pfahltyp	14
blank	3	Pfahlwiderstand, axialer, Bohrpfahl	37
Bodenparameter	19	Pfahlwiderstand, axialer, Rammpfahl	38
Buttons.....	3	Punkt neutraler.....	34
Cursor	3	Querschnittsklassifizierung	36
Detailnachweispunkt.....	17	Rammpfahl.....	38
DIN 18800.....	37	Rissnachweis	31
DIN EN 1993.....	36	Schreibtisch	8
Dreiblechquerschnitt.....	36	Schreibtischauswahl	7
EC 3	36	Schubbemessung	31
Einwirkung	3, 27	Schutzhülse	24
e-Mail	8	Sicherheitsbeiwerte.....	18
Erdwiderstand	23	Simplexpfahl	38
Ergebnisfenster.....	11	Spannungsnachweis.....	31
Ergebnisparameter	12	Stahlbetonbemessung	36
Extremalbildungsvorschrift.....	3	Standicherheit	32, 37
Grundwasserabsenkung.....	29	Startsymbol	7
Grundwasserstand.....	19	Steifemodul	22
Imperfektion	30	Steuerbutton	8, 10
Installation.....	7	Teilschnittgrößenverfahren	36
Knickuntersuchung	30	Torsion	39
Kontextsensitivität.....	8	Wandreibungswinkel.....	23
Kontrolle Bettung	35	Widerstand axialer	20
Kopfeinspannung.....	26	Wölbkrafttorsion	36
Lastbild.....	3		