



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-STAST

Stahleinzelstütze

4H-STAST

Stahleinzeltütze

Copyright 2025

1. Auflage, Mai 2025

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

Das Programm *##-STAST*, Stahleinzelsstütze, weist eine Geschossstütze gemäß EC 3 nach.
Folgende Leistungsmerkmale werden bereitgestellt.

Allgemeines

- Berechnung und Bemessung von eingeschossigen Stahlstützen unter räumlicher Belastung n. Eurocode 3
- Krag-, Pendel- und allgemeine Systeme
- Berechnung nach Theorie I. und/oder II. Ordnung möglich
- automatische Berücksichtigung von Imperfektionen bei Berechnung n. Th. II. Ord.

System

- ein Geschoss mit beliebiger fester oder nachgiebiger Lagerung an Kopf und Fuß der Stütze (Torsion wird nicht betrachtet)
- wahlweise räumliche oder ebene Betrachtung

Querschnitt

- als Stützenquerschnitt können I-Profile, runde oder eckige Hohlprofile gewählt werden
- normierte Querschnitte können der Profildatei des DTE[®]-Profilmanagers entnommen werden
- andernfalls können parametrisierte Querschnitte vom Anwender definiert werden
- normierte Stahlsorten n. EN 10025-2, EN 10025-3 und EN 10025-4 können gewählt werden
- freies Material: die Stahlparameter können vom Anwender vorgeben und somit an andere Produktnormen angepasst werden

Belastung

- Eigenlast kann automatisch ermittelt oder als Linienlast vorgegeben werden
- Einzellasten mit Normal- und Horizontalkraftkomponente (in y- und z-Richtung) und Biegemoment (um y- und z-Achse)
- Linienlasten können konstant, trapezförmig oder linear veränderlich sein
- alle Lastbilder können in beliebiger Höhe der Stütze angreifen

Kombination der Einwirkungen

- automatische Bildung von Lastkombinationen nach Eurocode 0
- alternierende und sich gegenseitig ausschließende Lastfälle
- Berücksichtigung von Erdbeben und Sonderlasten

Nachweise

- Tragfähigkeit nach Th. I. Ord. für eine lineare Berechnung
- Tragfähigkeit nach Th. II. Ord. für eine nichtlineare Berechnung unter Berücksichtigung der Systemverformungen. Imperfektionen werden dabei automatisch berücksichtigt.
- optional kann zusätzlich ein Nachweis gegen Biegedrillknicken n. EC 3, Abs. 6.3, geführt werden
- Vorgabe einer zulässigen Verformung und Nachweis durch eine Berechnung nach Th. II. Ordnung unter charakteristischer Belastung

Bemessung von Fußpunkt und Einzelfundament

- wenn das Programm *##-FUND* (in der Version 2022 oder neuer) installiert ist und ebenfalls eines der Stahlstützenfußprogramme *##-EC3FP* (Fußplatte) oder *##-EC3KF* (eingespannter Stützenfuß), kann automatisch auch der Stützenfuß mit nachgewiesen werden.
- zusätzlich kann die Bemessung einer Einzelfundamentplatte erfolgen. Lasten und Stützenquerschnitt werden dabei automatisch aus der Stützenberechnung übernommen.

Ausgabe

- alle relevanten Annahmen und Parameter werden im Ausdruck protokolliert
- Stütze und Querschnitt werden in einer maßstäblichen Darstellung gezeigt
- für jeden Nachweis eine Tabelle aller berechneten Lastkombinationen unter Angabe der zugehörigen Lastfallfaktoren
- extremale Werte der relevanten Ergebnisse eines Nachweises als Liniengrafiken und Tabelle
- bei jedem Nachweis wird ausgewiesen an welcher Stelle und für welche Lastkombination

das maßgebende Bemessungsergebnis ermittelt wurde

- Zusammenfassung mit der prozentualen Angabe der Ausnutzung aller geführten Nachweise (bei erfolgreicher Nachweisführung bzw. 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 einschl. aller zugehörigen Schnittgrößen an einem Punkt ausgewiesen werden
- die Darstellungshöhen der Grafiken in Eingabe- und Ergebnisprotokoll können individuell eingestellt werden
- Ausgabeumfang reduzierbar durch Deaktivierung von tabellarischen oder grafischen Teilen von Eingabe- und Ergebnisprotokoll
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

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 *##-STAST* von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

Nach der Installationsanweisung wird eine Übersicht der Funktionalitäten der Steuerbuttons der Eingabeoberfläche gegeben.



Im Sinne eines Leitfadens gedacht, kann das Manual nicht alle Fragen beantworten. Im aktuellen Falle wird dann der Hilfebutton im jeweiligen Eigenschaftsblatt Antwort geben.

Zur *##-STAST*-Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

DTE®-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-STAST*.

Hannover, im Mai 2025

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

LF	Lastfall (Teileinwirkung)
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.



Ruft das Online-Hilfesystem.



Bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation	5
2	Bauteil erzeugen	7
3	Eingabeoberfläche	8
3.1	Register System	11
3.2	Register Querschnitt	12
3.2.1	Benutzerdefinierte Stahlgüte	13
3.3	Register Belastung	14
3.3.1	Lastfalldialog	15
3.3.2	Einzellastdialog	16
3.3.3	Streckenlastdialog	16
3.4	Nachweiseinstellungen	17
3.5	Nationale Anhänge zu den Eurocodes	18
3.6	Theorie	19
3.6.1	Nachweis der Querschnittsklassifizierung	19
3.6.2	Nachweis der Querschnittstragfähigkeit	19
3.6.3	Nachweis gegen Biegeknicken	20
3.6.4	Nachweis gegen Biegedrillknicken	21
3.7	Druckdokument	23
4	Literaturverzeichnis	30
5	Index	30

Programminstallation

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-STAST* 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 Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 7 weiter.

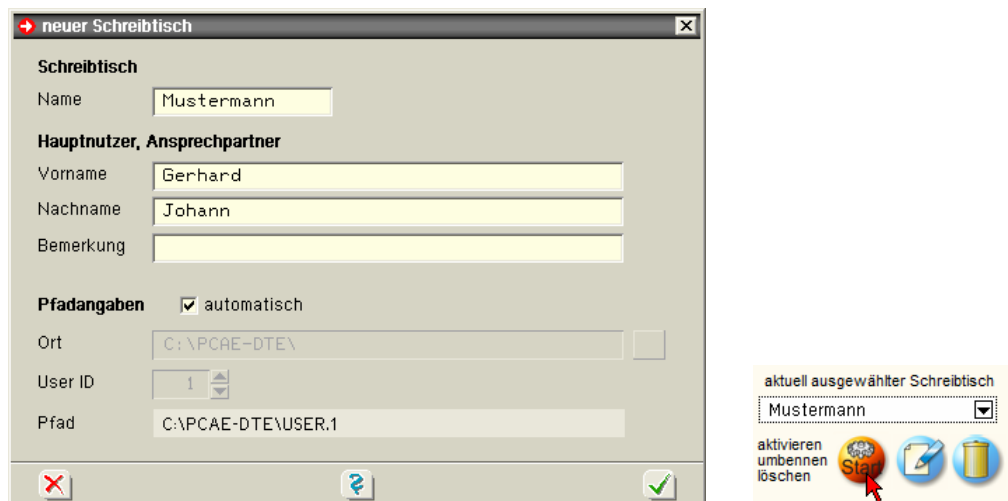


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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.

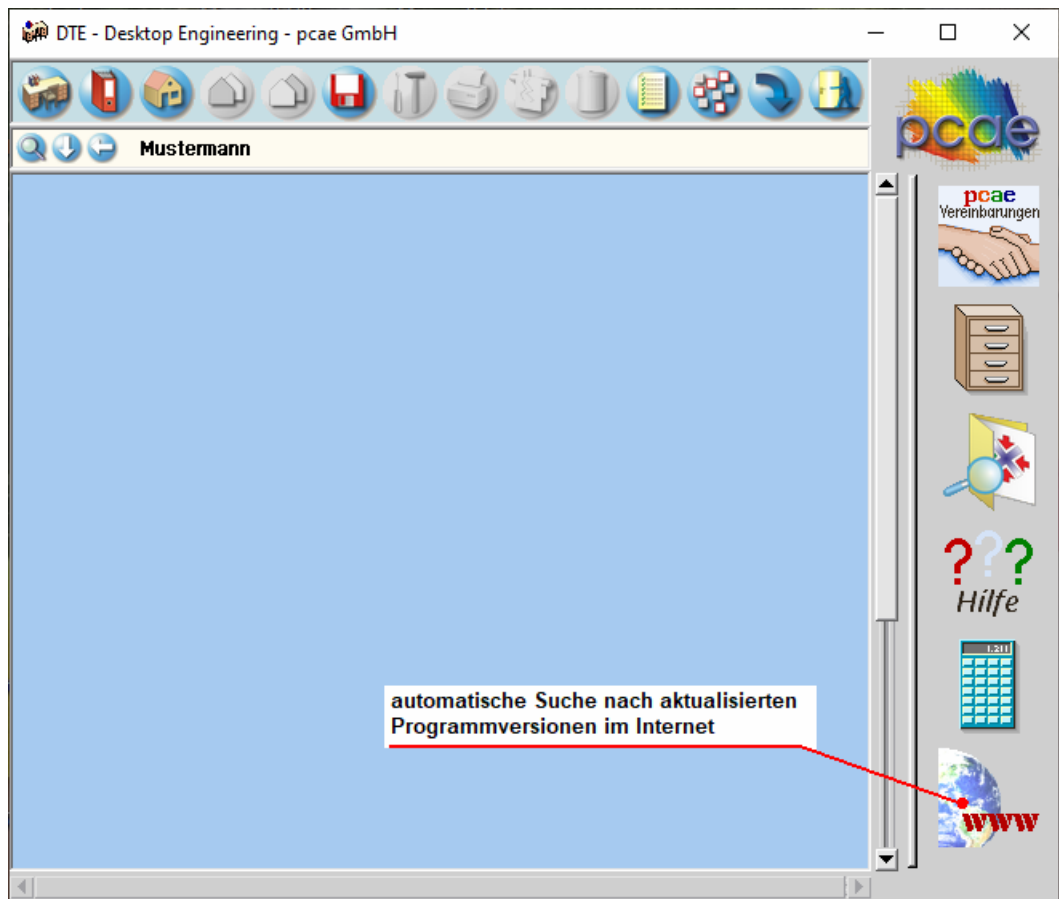


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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 Schreibtisches 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 Planerstellungsmodul 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.



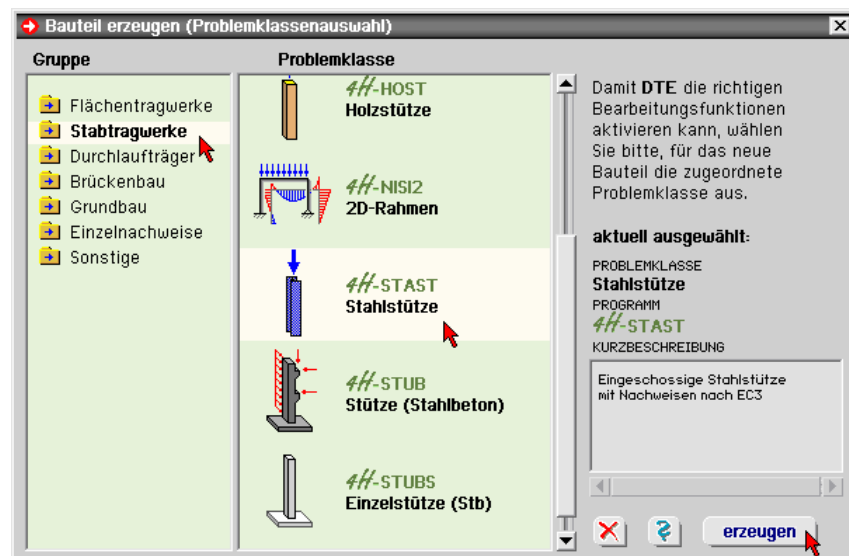
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



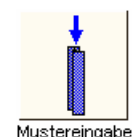
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



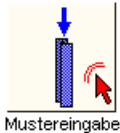
Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtischs angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Stabtragwerke**, dann auf die Problemklasse **Stahlstütze** und abschließend auf den **erzeugen-Button**.



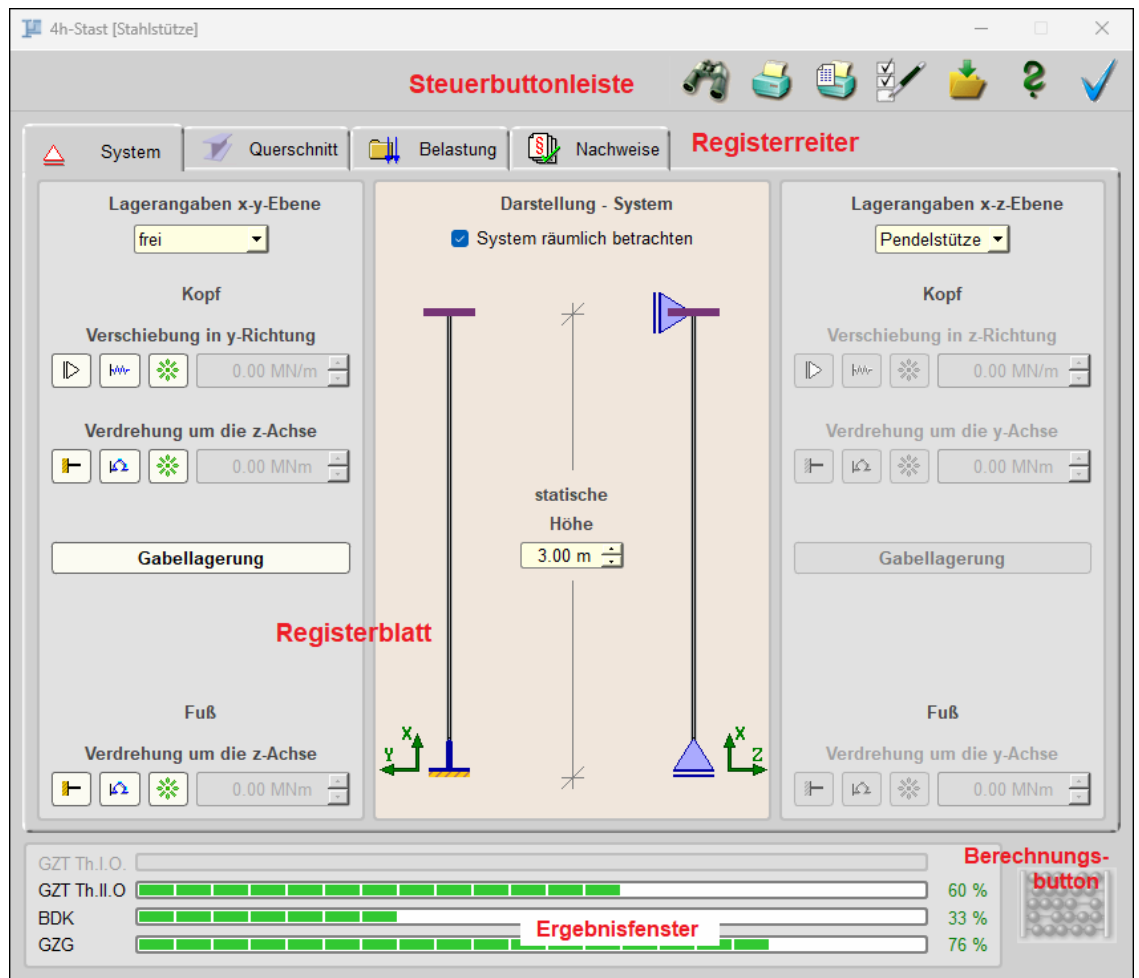
Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint. Nach dessen Bestätigung erscheint das Icon zu 4H-STAST auf dem DTE®-Schreibtisch.



Eingabeoberfläche



Nach Doppelklicken des Bauteilicons erscheint das in die dargestellten Bereiche unterteilte Haupteingabefenster von **4H-STAST**.



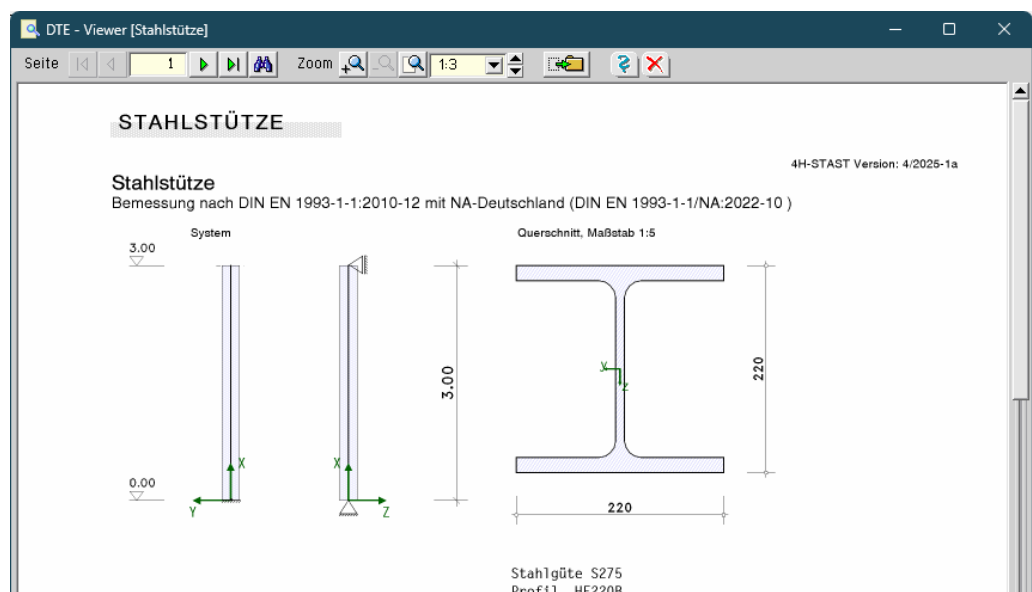
Standardmäßig befindet sich am oberen Bildschirmrand die Steuerbuttonleiste mit den Hauptfunktionen des Programms. Über die Einstellungen der **Bildschirmdarstellung** kann die Steuerbuttonleiste auch seitlich angeordnet werden.

Steuerbuttons

Nachfolgend werden die Funktionen der Steuerbuttons beschrieben.

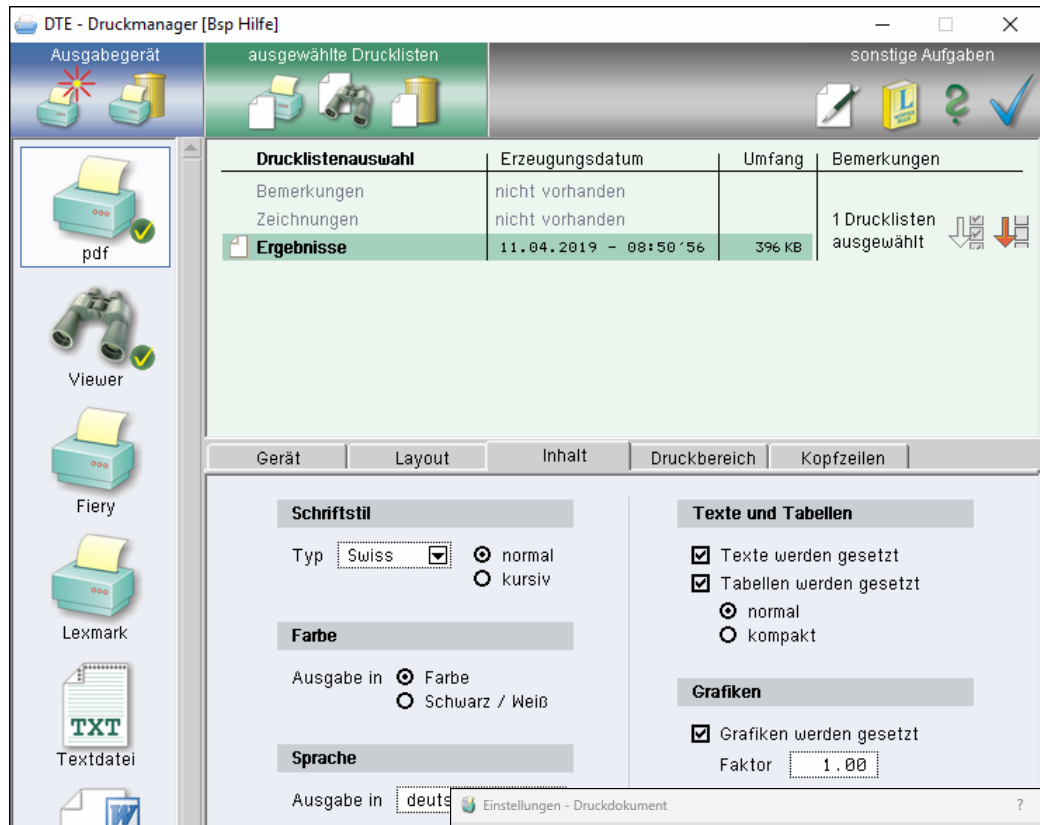


öffnet das Fenster zur **Drucklistenvorschau** (DTE®-Viewer)

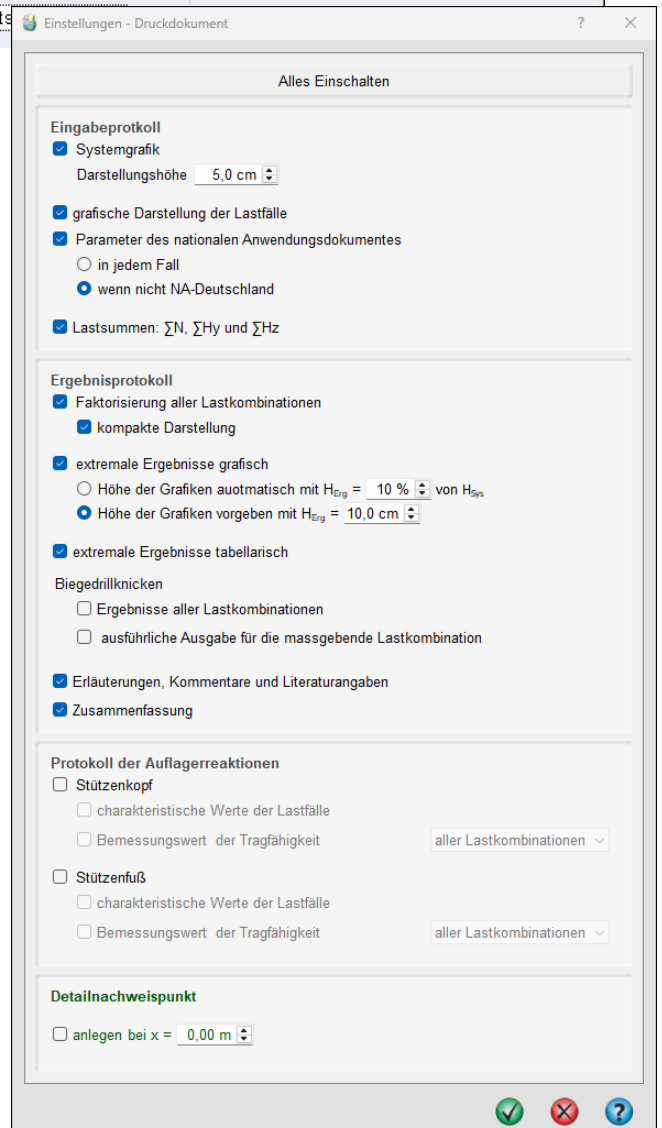




öffnet den Druckdialog zur Bestimmung des Ausgabegeräts (DTE®-**Druckmanager**) und den damit zusammenhängenden Einstellungen



öffnet den Dialog zur **Gestaltung** des Druckdokuments. Hier können Elemente aus Eingabe- und Ergebnisprotokoll für die Druckliste deaktiviert und die Höhen der grafischen Elemente angepasst werden.





Wird die Option für den **Detailnachweispunkt** aktiviert, erweitert sich das Druckdokument um den Abschnitt *Detailnachweispunkt*. Für die mit der Koordinate x definierte Stelle werden dort für alle geführten Nachweise die Ergebnisse aller Lastkombinationen aufgeführt. Der Detailnachweispunkt dient damit der Nachvollziehbarkeit von punktuellen Nachweisergebnissen. Das reguläre Ergebnisprotokoll (s. Abs. 3.7, S. 23) enthält demgegenüber nur extremale Ergebnisse.



ruft den Dialog für die Einstellung des Fonts der Bildschirmdarstellung auf



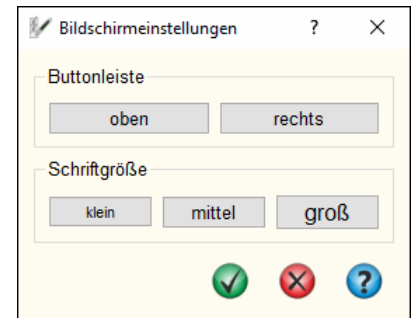
Sicherung der aktuellen Einstellungen



ruft die Online-Hilfe auf



Verlassen des Programms



Registerreiter

Über die Registerreiter erreicht man die vier Registerblätter *System* (s. Abs. 3.1, S. 11), *Querschnitt* (s. Abs. 3.2, S. 12), *Belastung* (s. Abs. 3.3, S. 14) und *Nachweise* (s. Abs. 3.4, S. 17).

In den Registern können alle rechenrelevanten Parameter angepasst werden. Die Darstellung des Registerblattinhalts nimmt den größten Teil des Fensters ein.

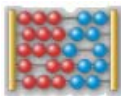
Ergebnisfenster

Im Ergebnisfenster im unteren Bereich der Oberfläche wird die Ausnutzung der aktivierten Nachweise angezeigt. Ein grüner Balken ($\leq 100\%$) bedeutet, der Nachweis wurde erfüllt; ein roter Balken ($>100\%$), dass der Nachweis nicht erfüllt wurde.

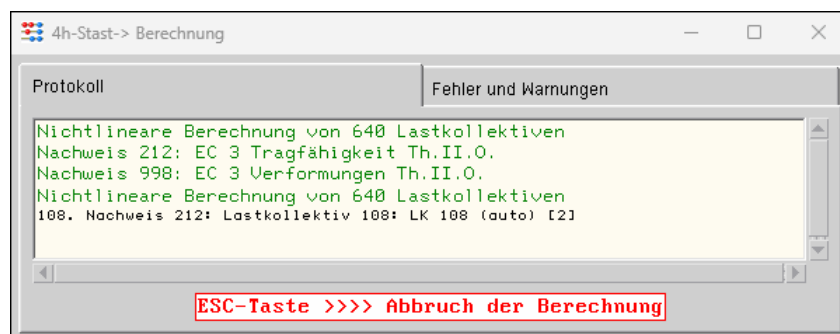
Wenn sich an den rechenrelevanten Daten etwas geändert hat, werden die Balken grau dargestellt, zeigen aber weiterhin das Ergebnis des letzten Rechengangs an. Dafür ist dann der Berechnungsbutton wieder farbig und aktiv.



Berechnungsbutton



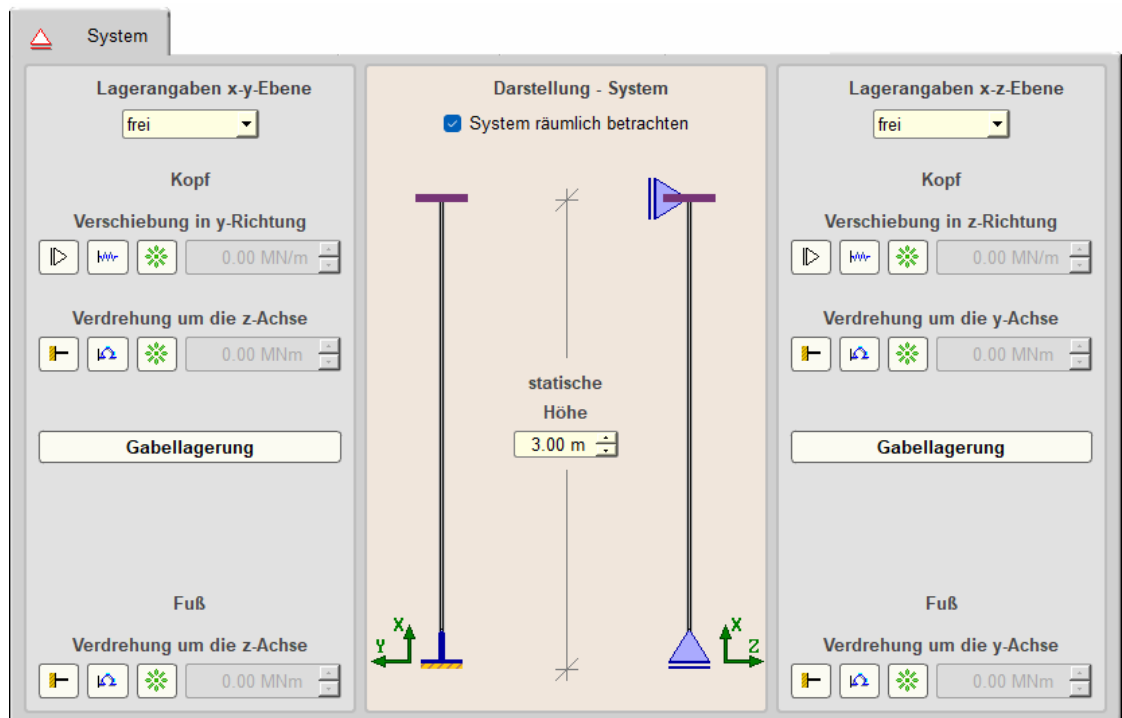
Mit dem **Berechnungsbutton** wird die Berechnung gestartet. Während der Berechnung wird ein zusätzliches Fenster geöffnet, in dem der Rechenfortschritt und eventuelle Fehler oder Warnungen darstellt werden.



3.1

Register System

Im ersten Registerblatt wird das statische System definiert.



Die Angaben zum System beschränken sich auf die Höhe und die **Lagerangaben** an Kopf und Fuß der Stütze.

Über eine Auswahlbox können die Lagerbedingungen direkt für eine Pendel- oder eine Kragstütze festgelegt werden; die Buttongruppen für die Lagerbedingungen im Kopf- und Fußbereich sind inaktiv. Ist die Option **frei** ausgewählt, sind die Buttongruppen aktiv und individuelle Lagerbedingungen können eingestellt werden.

Am Kopf kann je Achsrichtung eine Verschiebungs- und Verdrehungsbehinderung definiert werden. Am Fußpunkt kann nur die Verdrehungsbehinderung manipuliert werden.

Hierzu werden jeweils drei Schalter (Buttongruppe) angeboten, mit denen die zugeordnete Verformung gänzlich unterbunden (starres Lager, linker Schalter), von einer Feder gedämpft (mittlerer Schalter) oder als uneingeschränkt verformbar (rechter Schalter) festgelegt werden kann.

Im Falle einer elastischen Lagerung muss die der Feder zugeordnete Federkonstante im Eingabefeld rechts neben der Schaltergruppe mit einem Wert > 0 angegeben werden.

Ist die Option **System räumlich betrachten** deaktiviert, werden die Eingabemöglichkeiten zur X-Y-Ebene deaktiviert. Die Lasteingabe (s. Abs. 3.3, S. 14) wird dann gleichfalls reduziert.

Register Querschnitt

Im zweiten Registerblatt sind Form, Abmessungen und Material des Stützenquerschnitts festzulegen.

Der gewählte Querschnitt wird im rechten unteren Teil des Eigenschaftsblatts maßstäblich dargestellt. Die Vermaßung von Höhe und Breite erfolgt in [mm].

Als Querschnittstyp können I- (bzw. doppel-T-), Rechteck- und Rohrprofile verwendet werden.

Der Querschnitt kann entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als **parametrisiertes** Stahlprofil eingegeben werden.

Um ein Standardprofil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist die **Profilauswahl** anzuklicken.

Der Name des aktuell gewählten Profils wird oben rechts ausgewiesen.

Standardmäßig sind die Querschnitte mit der starken Achse in Z-Richtung ausgerichtet. Wird das Profil **um 90 Grad gedreht**, ist im Falle eines I-Profils der Steg in Richtung der Y-Achse ausgerichtet.

Soll das Profil parametrisiert beschrieben werden, sind die Eingabefelder im Abschnitt **Abmessungen** aktiv und können vom Anwender geändert werden. Ist ein Standardprofil gewählt, zeigen die Felder die zugehörigen Werte an und sind inaktiv.

Für parametrisiert beschriebene Profile ist zusätzlich die Fertigung anzugeben.

Im Falle von **geschweißten** Querschnitten kann zwischen den Nahttypen **Kehlnaht** und **Stumpfnaht** unterschieden werden. Für Kehl Nähte ist die Nahtdicke anzugeben.

Ist das Profil **gewalzt**, ist bei I-Profilen der Ausrundungsradius zwischen Steg und Flansch anzugeben; bei Rechteckpr. auch der äußere und innere Radius der Ausrundung in den Ecken.

Als Material werden die folgenden typisierten Stahlsorten vorgehalten (s. EC 3-1-1, 3.2.1, Tab.3.1): S235, S275 (auch N/NL, M/ML), S355 (auch N/NL, M/ML), S450, S460 (N/NL und M/ML)

Material

Material aus anderen Produktnormen kann berücksichtigt werden, indem der Eintrag **frei** gewählt wird. Dann kann eine benutzerdefinierte Stahlgüte (s. Abs. 3.2.1, S. 13) angelegt werden, bei der alle zur Bemessung in diesem Programm verwendeten Parameter verändert werden können.

3.2.1

Benutzerdefinierte Stahlgüte

Benutzerdefinierte Stahlgüte

Festigkeiten und Werkstoffkennwerte

E-Modul

Streckgrenze f_y bei $t \leq 40$ mm
 f_y bei größerer Erzeugnisdicke

Zugfestigkeit f_u

Korrelationsbeiwert β_w

Kennung

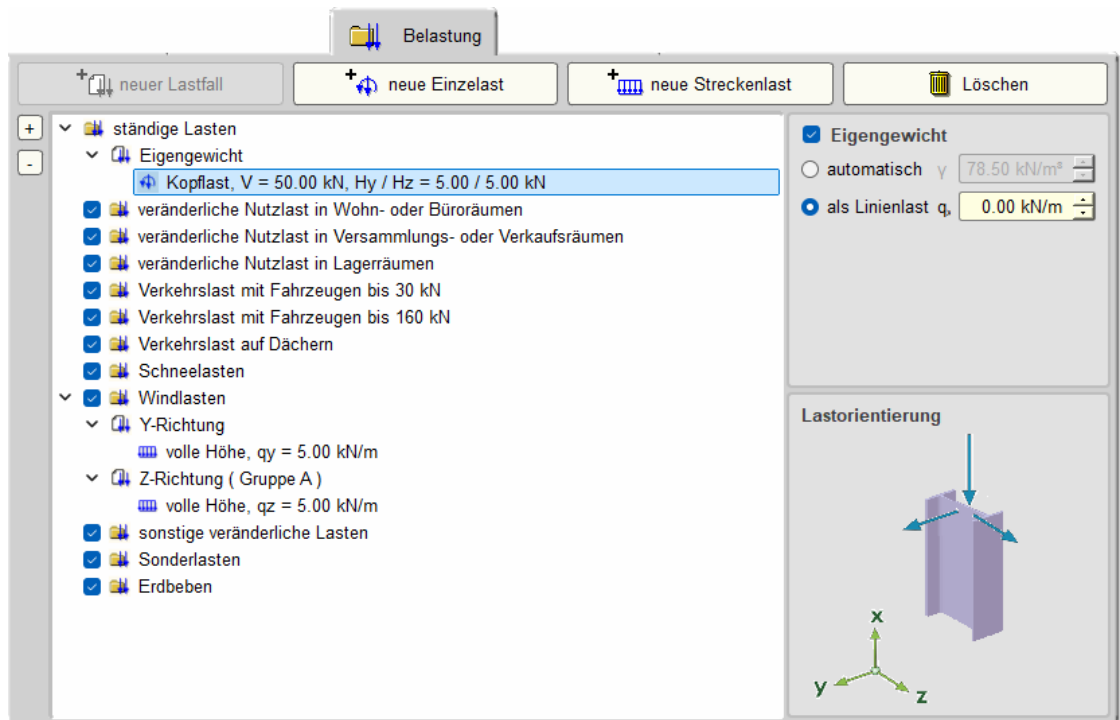
Hier können alle für das Programm relevanten Parameter einer Stahlsorte direkt vorgegeben werden.

Dies sind der Elastizitätsmodul und die Festigkeiten f_y und f_u , die je nach Dicke des Bauteils variieren können, sowie der Korrelationsbeiwert β_w , der bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten relevant ist.

Zur genaueren Bezeichnung der Stahlsorte steht ein Text-Eingabefeld zur Verfügung.

Register Belastung

Im dritten Registerblatt sind die Belastungen festzulegen, für die die Stütze bemessen werden soll.



Allgemeines

Einwirkungen und zugehörige Lastfälle werden in einer Baumstruktur angeordnet. Anders als in anderen **pcae**-Programmen müssen die Einwirkungen nicht vom Anwender angelegt werden.

Für alle vom Eurocode vorgesehenen Einwirkungsarten ist bereits je ein Eintrag vorhanden, der nicht gelöscht werden kann. Optional können die Einwirkungen - mit Ausnahme der ständigen Einwirkung - über das **Häkchen** in der zweiten Spalte deaktiviert werden.

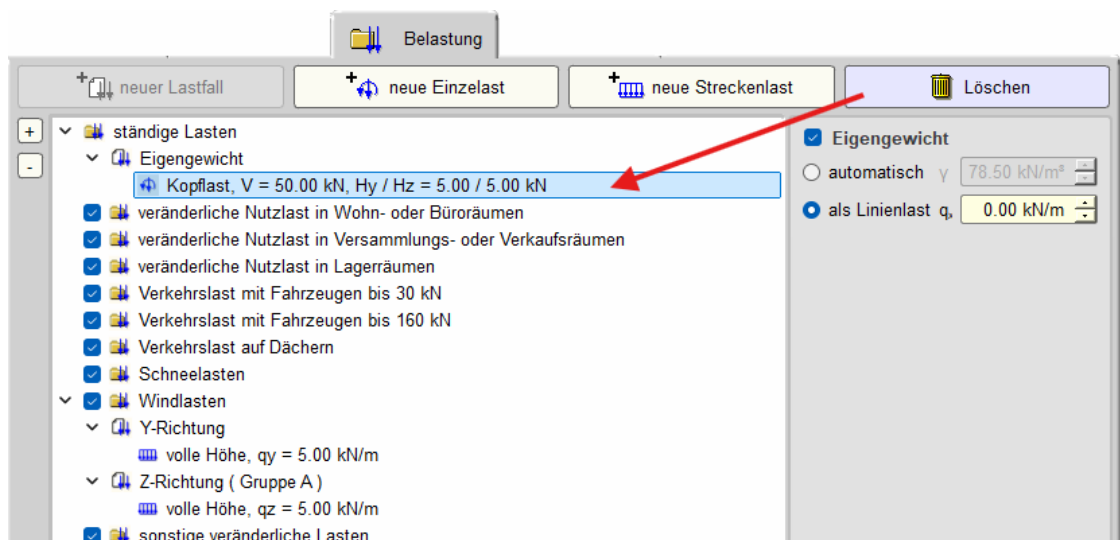
Die Einwirkungen bestimmen die Eigenschaften der ihnen zugeordneten Lastfälle. Diese Eigenschaften haben Einfluss auf die Bildung der Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive der zu berechnenden Nachweise.

Die Symbole in der Baumstruktur haben folgende Bedeutungen

Einwirkung Lastfall Einzellast Streckenlast

Die Buttons **neuer Lastfall**, **neue Einzellast** und **neue Streckenlast** sind selbsterläuternd.

Ein ganzer Lastfall oder einzelne Lastbilder können über den **löschen**-Button entfernt werden. Gelöscht wird dabei immer die farbig unterlegte Zeile im Baum. Bei Löschen von Lastfällen werden alle untergeordneten Lastbilder ebenfalls entfernt.



Durch einfachen Klick auf eine Zeile wird der Eintrag durch eine blaue Unterlegung markiert. Durch Doppelklicken einer Zeile erscheint ein Dialog zur Bearbeitung von Lastfall (s. Abs. 3.3.1, S. 15), Einzellast (s. Abs. 3.3.2, S. 16) oder Streckenlast (s. Abs. 3.3.3, S. 16).

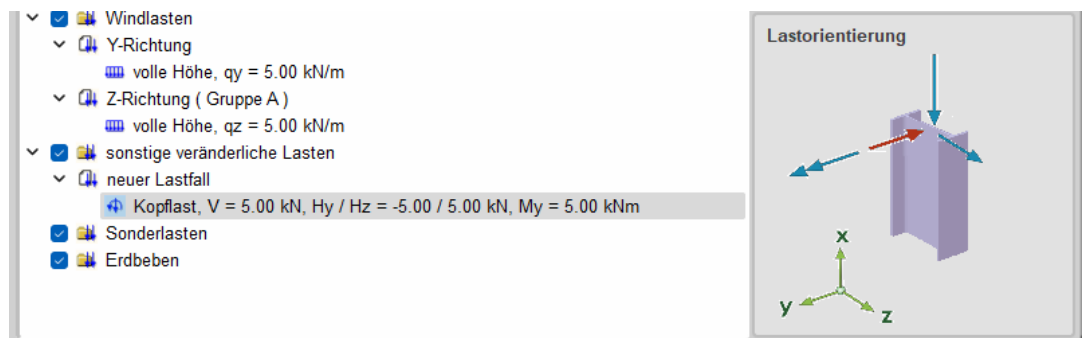
Eigengewicht

Das Eigengewicht kann **automatisch** aus den Abmessungen des Querschnitts und dem Wert γ für das Raumgewicht ermittelt oder direkt **als Linienlast** vorgegeben werden.

Lastorientierung

Wenn der markierte Eintrag im Baum ein Lastbild (Einzel- oder Linienlast) ist, wird im Bereich unten rechts die Orientierung der Lastbildkomponenten dargestellt.

Die Pfeile zeigen dabei nur die Richtung an, die Größe der Symbole ist unabhängig von den Lastbildordinaten. Sind die Pfeile rot, bedeutet dies, dass die Ordinate negativ definiert ist.



3.3.1

Lastfalldialog

Mit diesem Dialog werden die **Eigenschaften** eines Lastfalls festgelegt.

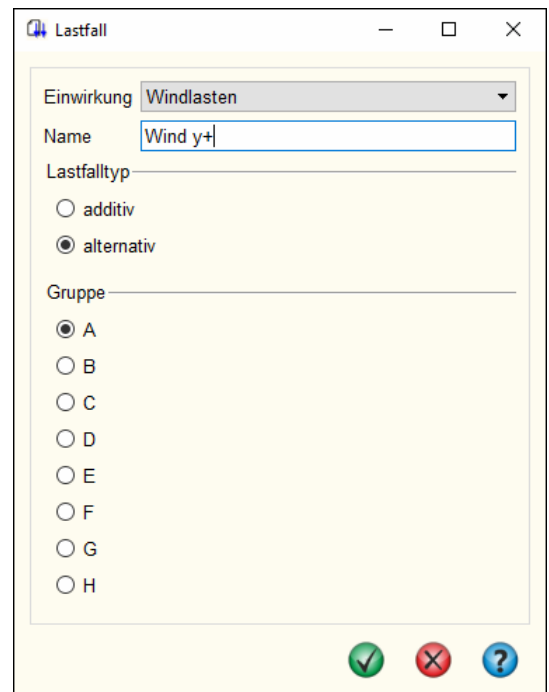
Wird dieser Dialog über die Funktion **neuer Lastfall** aufgerufen, kann hier im oberen Bereich die Zuordnung zu einer gegebenen Einwirkung ausgewählt werden. Bei einem späteren Aufruf über Doppelklick auf den Eintrag des Lastfalls in der Baumstruktur kann die zugeordnete Einwirkung nicht mehr verändert werden.

Der Lastfalltyp unterscheidet zwischen **additiven** und **alternativen** Lastfällen.

Ein additiver Lastfall wirkt (günstig oder ungünstig) immer unabhängig von anderen Lastfällen. Als Beispiel für additive Verkehrslasten können Lastfälle genannt werden, die feldweise Nutzlasten enthalten, die jeder für sich aber auch alle gemeinsam (jedes Feld belastet) vorkommen können.

Alternative Lastfälle werden zu Gruppen zusammengefasst. Hierbei gilt die Regel, dass immer nur der Lastfall einer Gruppe mit der ungünstigsten Auswirkung auf den betrachteten Nachweispunkt zur Anwendung kommt.

Die Lastfälle ein und derselben alternativen Gruppe schließen einander aus. Als Beispiel für alternative Verkehrslasten sind Windlastfälle zu nennen, die unterschiedliche Windrichtungen untersuchen.



3.3.2

Einzellastdialog

In diesem Dialog werden die **Eigenschaften** einer Einzellast festgelegt.

Im Kopfbereich erfolgt über zwei Auswahlboxen die Zuordnung zu Einwirkung und Lastfall.

Als Ort der Lasteinleitung können der Stützenkopf oder eine freie Höhe gewählt werden.

Das Lastbild selbst setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen

- senkrechte Kraft (positive Wirkungsrichtung nach unten)
- horizontale Kraft in y- und z-Richtung
- Momentenbelastung um y- und z-Achse (positiv rechtsdrehend um die jeweilige Achse)

3.3.3

Streckenlastdialog

In diesem Dialog werden die Eigenschaften einer **Streckenlast** festgelegt.

Im Kopfbereich erfolgt über zwei Auswahlboxen die Zuordnung zu Einwirkung und Lastfall.

Als Lastformen stehen konstante, linear veränderliche und Teilstrecken- oder Streckenlasten über die gesamte Höhe zur Auswahl.

Je nach Lastform sind die Ordinaten für obere und untere Einleitungshöhe sowie die Lastgröße anzugeben.

Streckenlasten wirken immer horizontal in y- oder z-Richtung.

Im vierten Registerblatt können die zu führenden Nachweise ausgewählt werden.

Tragfähigkeit

Für den Nachweis der Tragfähigkeit kann die Berechnung entweder nach Th. I. Ord. oder Th. II. Ord. erfolgen.

- Nachweis Th. I. Ord.

Bei Auswahl der Option **Theorie I. Ordnung** wird die Berechnung am statischen System ohne Berücksichtigung von Verformungen durchgeführt.

Bei aktivierter Option **Bemessung für Stabilitätsversagen** wird auf der Widerstandsseite das Sicherheitsniveau für Stabilitätsversagen angenommen und der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} verwendet (andernfalls γ_{M0}).

- Nachweis Th. II. Ord.

Bei Auswahl der Option **Theorie II. Ordnung** wird die Berechnung unter Berücksichtigung der Systemverformung durchgeführt. Die geometrischen Imperfektionen werden automatisch entspr. EC3-1-1, Abs. 5.3, berücksichtigt.

Bei aktivierter Option **Biegedrillknicken berücksichtigen** wird zusätzlich ein Nachweis der Stabilität nach EC3, Abs. 6.3, geführt.

Querschnittsnachweis

Für den Querschnittsnachweis stehen zwei Berechnungsmethoden zur Verfügung.

Bei Auswahl der Option **elastisch** wird der Querschnittsnachweis auf Basis der elastischen Querschnittstragfähigkeit n. EC3-1-1, Abs. 6.2.1(5), durchgeführt.

Bei Auswahl der Option **plastisch** wird der Querschnittsnachweis auf Basis der plastischen Querschnittstragfähigkeit n. EC3-1-1, 6.2.1(6), durchgeführt (Teilschnittgrößenverfahren mit Umlagerung).

Die Option **einschließlich c / t - Nachweis** aktiviert den vereinfachten Beulnachweis, der über die Breiten-/Dickenverhältnisse n. EC3-1-1, Tab. 5.2, geführt wird.

Gebrauchstauglichkeit

Durch Aktivierung der Option **Gebrauchstauglichkeit** wird der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit durchgeführt. Die Berechnung erfolgt nach Theorie II. Ordnung unter charakteristischer Belastung.

Bei aktivierter Option **Verformung nachweisen** werden Durchbiegungen und Verformungen

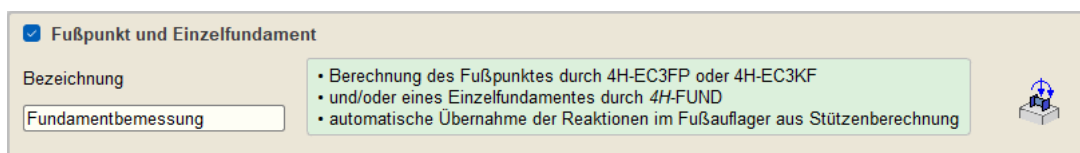
geprüft. Die zulässigen Verformungen können durch **zul. u_x** für die horizontale und **zul. u_y** für die vertikale Richtung vorgegeben werden.

Nationaler Anhang

Ein Klick auf das **Flaggensymbol** führt zu einem separaten Eigenschaftsblatt zur Änderung der Parameter des Nationalen Anhangs (s. Abs. 3.5, S. 18).

Fußpunktbemessung

Wenn das Programm **4H-FUND** und mindestens ein Detailnachweis zur Bemessung von Stahlstützenfüßen (**4H-EC3FP** oder **4H-EC3KF**) installiert ist, kann für den Stützenfußpunkt die Berechnung und Bemessung eines Einzelfundaments mit automatischer Lastweiterleitung durchgeführt werden.



In diesem Fall wird im unteren Teil des Registerblatts ein zusätzlicher Teil sichtbar, über den die Bemessung eines Einzelfundaments aktiviert werden kann.

Über einen Klick auf den Button mit dem **Fundamentsymbol** öffnet sich ein Eingabefenster zur Definition der fundamentspezifischen Parameter. Alle Einzelheiten dazu sind der Hilfe zu **4H-FUND** zu entnehmen.

Wesentlicher Unterschied zur regulären Eingabe von **4H-FUND** ist, dass die Stützenlasten und der Stützenquerschnitt nicht vorgegeben werden können, da sie automatisch aus der Stützenberechnung übernommen werden.

Die maßgebenden Stützenlasten für die Fundamentbemessung werden aus den Auflagerreaktionen am Stützenfuß ermittelt.

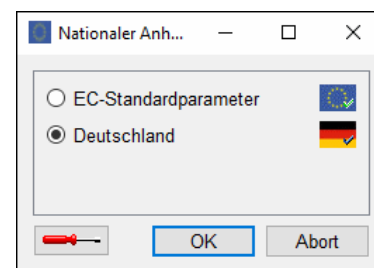
3.5

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**.

3.6

Theorie

3.6.1

Nachweis der Querschnittsklassifizierung

Bei druckbeanspruchten, dünnwandigen Querschnitten ist der Nachweis gegen lokales Beulen einzelner Querschnittsteile notwendig. Der allgemeine Beulsicherheitsnachweis ist in EC 3-1-5 geregelt.

In EC 3-1-1, 5.5, ist der Nachweis der Querschnittsklassifizierung als vereinfachter Beulnachweis angegeben. Die Querschnittsklassen sind gemäß EC 3-1-1, 5.5(1), wie folgt definiert

- Klasse 1 Querschnitte können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastische Berechnung ausbilden
- Klasse 2 Querschnitte können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität
- Klasse 3 Querschnitte erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln
- Klasse 4 Querschnitte sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt. Querschnitte der Klasse 4 können vom Programm nicht behandelt werden.

Maßgebend für die Einordnung in die Klassen sind das Verhältnis von Länge zu Dicke der Querschnittsbleche (c/t -Verhältnis), die Lagerung der Blechenden und die Spannungsverläufe über die Querschnittsteile.

Außerdem wird die Stahlfestigkeit über den Beiwert ϵ berücksichtigt.

Die Einstufung erfolgt gemäß EC 3-1-1, Tab. 5.2.

3.6.2

Nachweis der Querschnittstragfähigkeit

Spannungsnachweis

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 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.

c/t -Nachweis

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.

3.6.3

Nachweis gegen Biegeknicken

Der Nachweis gegen Biegeknicken erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren aus EC 3, 6.3.1. Es wird für dünnwandige offene und Hohl-Profile der Querschnittsklassen 1 bis 3 angewandt.

Die Nachweisgleichung hat die Form

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.46)} \quad \dots \text{mit } \dots$$

N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft

$N_{b,Rd}$... der Biegebeanspruchbarkeit

Dabei gilt

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.47)}$$

Der Wert χ ergibt sich aus

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.49)} \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.50)}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

α Imperfektionsbeiwert gemäß EC 3, Tab. 6.1 und 6.2, für die maßgebende Knicklinie

N_{cr} ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall

i Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene

L_{cr} Knicklänge in der betrachteten Knickebene

Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten kann u.U. auch Drill- oder Biegedrillknicken maßgebend werden. Die Schlankheit ergibt sich in diesem Falle zu:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.52)}$$

3.6.4

Nachweis gegen Biegedrillknicken

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren aus EC 3-1-1, 6.3.2.3. Das Verfahren ist für gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte unter Biegebeanspruchung erlaubt. Es wird für doppelsymmetrische Doppel-T-Profile der Querschnittsklassen 1 bis 3 angewandt.

Die Nachweisgleichung hat die Form

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.54)}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.55)} \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$W_y = W_{pl,y} \quad \dots \text{für Querschnitte der Klassen 1 oder 2}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \dots \text{der Klasse 3}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \dots \text{jedoch } \dots \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1.0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 \quad \text{Höchstwert}$$

$$\beta = 0.75 \quad \text{Mindestwert}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Die Biegedrillknicklinien werden entsprechend EC 3, Tab. 6.5, berücksichtigt.

Das Biegedrillknickmoment wird wie folgt bestimmt:

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr} \cdot \left(\sqrt{c^2 + \left(f \cdot \frac{z_p}{2} \right)^2} + f \cdot \frac{z_p}{2} \right) \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$f = 0.8 \cdot \zeta \quad \dots \text{wenn } \zeta > 1.35 \quad \dots \text{und } M \neq 0 \quad \dots \text{sonst } f = 1$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{(\beta_z \cdot l)^2}$$

$$c^2 = \frac{(\beta_z \cdot l)^2}{I_z} \cdot \left(\frac{I_\omega}{(\beta_0 \cdot l)^2} + \frac{G \cdot I_T}{E \cdot \pi^2} \right)$$

Die ζ -Werte werden nach [13] ermittelt.

Zur Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen darf χ_{LT} wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \dots \text{jedoch } \dots \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1.0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2.0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2] \quad \dots \text{jedoch } \dots f \leq 1.0$$

Hohlprofile sind nach EC 3-1-1, 6.3.2.1(2), nicht biegedrillknickgefährdet, der Abminderungsfaktor ist also nicht relevant ($\chi_{LT,mod} = 1$).

Die Momenten-Querkraft-Interaktion wird n. EC 3-1-1, 6.2.8, durch eine Verringerung der Streckgrenze berücksichtigt,

$$\text{Für } V_{Ed} > V_{pl,Rd}/2 \text{ gilt } f_y = (1 - \rho) \cdot f_y \quad \dots \text{mit } \dots \rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$$

wobei sich die Querkraft aus der Momentenverteilung (s. EC 3-1-1, Tab. 6.6) ergibt.

Der Nachweis für Bauteile, die auf Biegung und Druck beansprucht werden, wird nach EC 3, 6.3.3 geführt.

Die Nachweisgleichungen haben die Form

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.61)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.62)}$$

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ Bemessungswerte der Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y-Achse und z-z-Achse

χ_y, χ_z Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken n. 6.3.1

χ_{LT} ... für Biegedrillknicken n. 6.3.2

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ Interaktionsfaktoren werden nach EC 3, Anhang B, Verfahren 2, bestimmt



Für den Nachweis wird immer von einer Gabelagerung an beiden Enden der Stütze ausgegangen.

Bei jeder Berechnung erstellt das Programm ein Druckdokument, das über den DTE®-Viewer am Bildschirm eingesehen oder über den DTE®-Druckmanager an ein Ausgabegerät gesendet werden kann.

Im Druckdokument werden alle rechenrelevanten Parameter protokolliert. Die extremalen Ergebnisse der geführten Nachweise werden sowohl grafisch als auch tabellarisch dargestellt. Zusätzlich wird jeweils die maßgebende Stelle im System mit Angabe der z-Koordinate und zugehörigen Schnittgrößen ausgegeben.

Nacheinander werden die Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit aufgelistet. Am Ende des Druckdokuments steht der Abschnitt *Zusammenfassung*.

Falls eine Fußpunkt- und/oder Fundamentbemessung aktiviert ist, wird diese in einer separaten Druckliste ausgegeben.

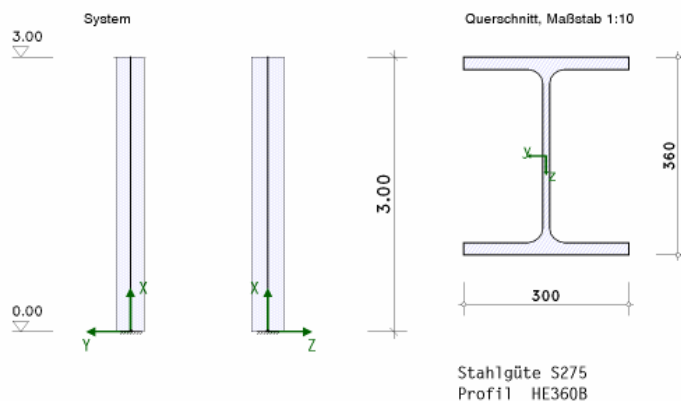
Nachfolgend werden die Komponenten des vollständigen Druckdokuments mit allen Nachweisen gezeigt.

Die Ausgabe beginnt mit dem **Systemprotokoll**, das Angaben zu statischem System, Querschnitt und Materialgütern enthält.

Stahlstütze

Bemessung nach DIN EN 1993-1-1:2010-12 mit NA-Deutschland (DIN EN 1993-1-1/NA:2022-10)

4H-STAST Version: 4/2025-1a



Lagersituation an Kopf- und Fußende

Lager	Querkraft		Moment	
	C _{QY} kN/m	C _{QZ} kN/m	C _{MY} kNm/-	C _{MZ} kNm/-
Kopf	----	----	----	----
Fuß	fest	fest	fest	fest

Darauf folgt das **Protokoll der Belastung** mit der Struktur von Einwirkungen und Lastfalleigenschaften sowie einer tabellarischen und grafischen Darstellung der Lastbilder.

1. Belastung

1.1. Einwirkungsstruktur

Auf der linken Seite sind die Einwirkungen und Lastfälle in einer Baumstruktur dargestellt. Auf der rechten Seite sind deren überlagerungsspezifische Eigenschaften angegeben.

verwendete Symbole: Einwirkung Lastfall

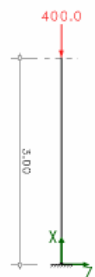
	1: ständige Lasten	ständige Lasten
	1: Eigengewicht	additiv
	2: Nutzlasten	veränderliche Nutzlasten in Wohn-, Büroräumen
	9: Wind	additiv
	3: Y-Richtung	veränderliche Windlasten
	4: Z-Richtung	alternativ in Gruppe A
		alternativ in Gruppe A

1.2. Tabelle der Lastbilder

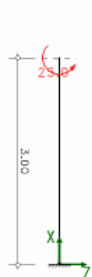
Lastf.	Lastbild	Einführung	Richtung	Wert	Einheit
1	Punktlast	Kopf	N	400.00	kN
2	Punktlast	Kopf	N	85.00	kN
			M _y	25.00	kNm
			M _z	15.00	kNm
3	Punktlast	Kopf	Q _y	45.00	kN
4	Punktlast	Kopf	Q _z	65.00	kN

1.2.1. Grafiken der Punktlasten

Lastfall 1 (Bild 1)



Lastfall 2 (Bild 2)



Lastfall 2 (Bild 3)



Lastfall 2 (Bild 4)



Lastfall 3 (Bild 5)



Lastfall 4 (Bild 6)



Das Eigengewicht, das entweder als Raum- oder Liniengewicht definiert werden kann (s. Belastung S. 14), ist immer dem ständigen Lastfall zugeordnet.

1.3. Eigengewicht der Stütze

Das Gewicht der Stütze wird mit 78.50 kN/m³ im Lastfall 1 berücksichtigt.

Zum Abschluss werden die vertikalen und horizontalen Lastsummen protokolliert (wenn diese als Option bei den Druckeinstellungen, s. S. 9, ausgewählt wurde).

1.4. Lastsummen

$\Sigma N = 494.42 \text{ kN}$ $\Sigma H_y = 45.00 \text{ kN}$ $\Sigma H_z = 65.00 \text{ kN}$

Die Ergebnisausgabe beginnt mit dem **Tragfähigkeitsnachweis**, hier der in der Variante nach Th. II. Ord..

2. Tragfähigkeit nach Th.II.O.

Querschnittsnachweis: plastischer Spannungsnachweis einschl. c/t-Nachweis

Materialsicherheit: $\gamma_{M1} = 1.10$

Zul. Normal-, Schub-, Vergleichsspan.: $\sigma_{x,Rd} = 250.0 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{Rd} = 144.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{v,Rd} = 250.0 \text{ N/mm}^2$

Hier wird vor Ausgabe der eigentlichen Ergebnisse der vom Programm automatisch gewählte Ansatz der baulichen Imperfektionen protokolliert. Dies ist zum einen die gewählte Form und Größe der Imperfektionsfigur je Achsrichtung und zum anderen wie die maßgebende Richtung je Lastkollektiv ermittelt wird.

2.1. Berücksichtigung von baulichen Imperfektionen

2.1.1. Imperfektionsfiguren

Je Achsrichtung wird eine Imperfektionsfigur entsprechend [2] bzw [1], Abschnitt 5.3 ermittelt.

Ersatzlänge $\beta = l_0/l$

globale Anfangschiefe $\Phi = \Phi_0 \alpha_1 \alpha_m$

Knicklast $N_{K1} = (\pi/l_0)^2 EI$

Richtung	Form	β	l_0	Φ	e	EI	N_{K1}
		-	m	-	cm	MNm²	kN
Y	Schiefstellung	2.00	6.00	0.0050	1.499	21.29	5.84
Z	Schiefstellung	2.00	6.00	0.0050	1.499	90.70	24.89

l_0 - Knicklänge e - max. Vorverformung EI - Biegesteifigkeit

2.1.2. Richtung der Imperfektion

$N_{K1,z}/N_{K1,y} = 4.26 > 3 \Rightarrow$ immer in Richtung der geringsten Knicksicherheit (Y-Achse)

Dann folgt eine Liste der berechneten Lastkollektive mit den Faktoren der Lastfälle, aus denen sie gebildet werden. Dort sind unter den Nachweisen n. Th. II. Ord. auch die Anteile der Imperfektionsfiguren enthalten, die sich aus der gewählten Richtung ergeben (bezeichnet mit l_y bzw. l_z).

Da hier im Beispiel alle Lastkollektive eine resultierende Belastung in Achsrichtung aufweisen, sind die Faktoren immer 1.0. Bei einer schiefen Belastung könnte das auch $0.89 \cdot l_y$ und $0.45 \cdot l_z$ lauten. Die resultierende Vektorlänge der beiden Anteile beträgt aber immer 1 ($(0.89^2 + 0.45^2)^{0.5} = 1.0$).

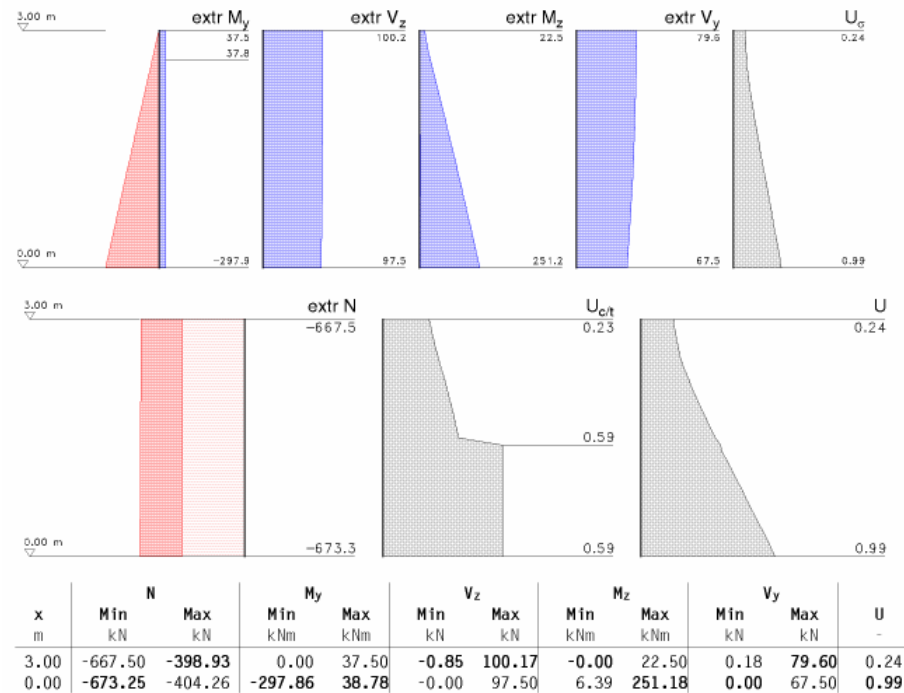
2.2. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssft.	Faktorisierung	LK	Bemessungssft.	Faktorisierung
1	ständig	Lf1+Iy	12	ständig	1.35 Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf4+Iy
2	ständig	1.35 Lf1+Iy	13	ständig	Lf1+0.7 1.5 Lf2+Iy
3	ständig	Lf1+1.5 Lf2+Iy	14	ständig	1.35 Lf1+0.7 1.5 Lf2+Iy
4	ständig	1.35 Lf1+1.5 Lf2+Iy	15	ständig	Lf1+1.5 Lf3+Iy
5	ständig	Lf1+0.6 1.5 Lf3+Iy	16	ständig	1.35 Lf1+1.5 Lf3+Iy
6	ständig	1.35 Lf1+0.6 1.5 Lf3+Iy	17	ständig	Lf1+0.7 1.5 Lf2+1.5 Lf3+Iy
7	ständig	Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf3+Iy	18	ständig	1.35 Lf1+0.7 1.5 Lf2+1.5 Lf3+Iy
8	ständig	1.35 Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf3+Iy	19	ständig	Lf1+1.5 Lf4+Iy
9	ständig	Lf1+0.6 1.5 Lf4+Iy	20	ständig	1.35 Lf1+1.5 Lf4+Iy
10	ständig	1.35 Lf1+0.6 1.5 Lf4+Iy	21	ständig	Lf1+0.7 1.5 Lf2+1.5 Lf4+Iy
11	ständig	Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf4+Iy	22	ständig	1.35 Lf1+0.7 1.5 Lf2+1.5 Lf4+Iy

Die eigentlichen Ergebnisse folgen in Form von grafischen und tabellarischen Darstellungen der extremalen Schnittgrößen und des Bemessungsergebnisses über die Stützenhöhe.

2.3. Extremale Ergebnisse

Die Schnittgrößen sind bezogen auf die verformte Systemachse



Abschließend wird protokolliert, an welcher Stelle und für welche Lastkombination das maßgebende Bemessungsergebnis ermittelt wurde.

Maßgebende Ausnutzung Biegung und Druck:

Aus Lastkollektiv 4 an der Stelle x = 3.00 m, mit den Schnittgrößen:

$N/M_y/M_z = -40.61 \text{ kN} / -0.00 \text{ kNm} / 6.75 \text{ kNm}$

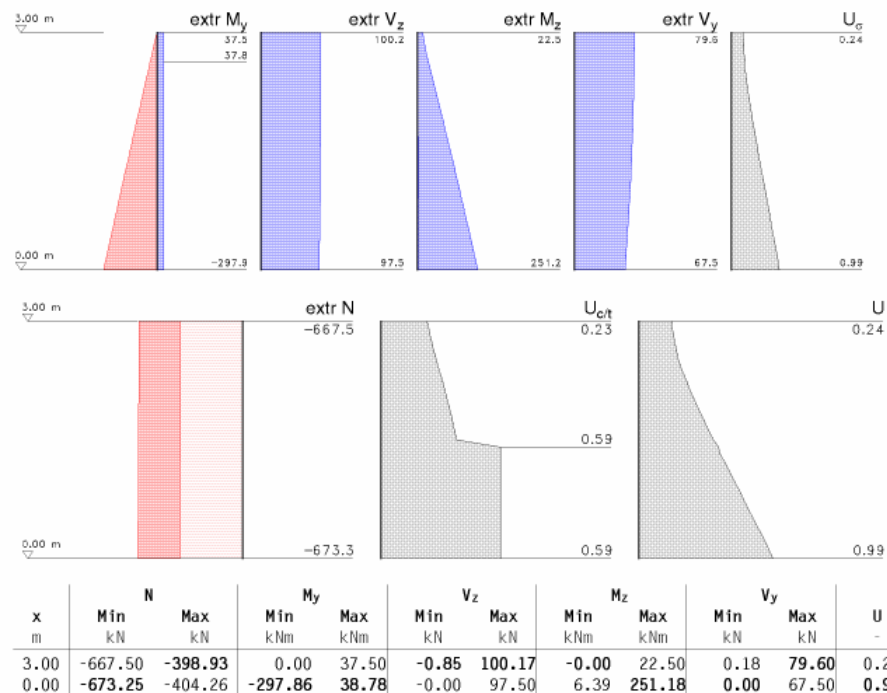
$\max U_{\sigma,c} = -17.51/-18.91 = 0.93 < 1.0 \Rightarrow \text{Zulässige Ausnutzung wird eingehalten}$

Der Nachweis der Querkraft erfolgt mit den gleichen Lastkombinationen.

Die extremalen Ergebnisse über die Stützhöhe und die Informationen zur maßgebenden Querkraftausnutzung werden an diesen Abschnitt angehängt.

2.3. Extremale Ergebnisse

Die Schnittgrößen sind bezogen auf die verformte Systemachse



Abschließend wird protokolliert an welcher Stelle und für welche Lastkombination das maßgebende Bemessungsergebnis ermittelt wurde.

Maßgebende Ausnutzung:

Aus Lastkollektiv 18 an der Stelle $x = 0.00$ m, mit den Schnittgrößen:

$N = -635.00$ kN, $M_y = 27.09$ kNm, $V_z = -0.00$ kN, $M_z = 251.18$ kNm, $V_y = 67.50$ kN

$U_{c/t} = 0.59$, $U_{\sigma} = 0.99 \Rightarrow \max U = 0.99 < 1.0 \Rightarrow$ Zulässige Ausnutzung wird eingehalten

Darauf folgt der Nachweis der **Gebrauchstauglichkeit**.

3. Gebrauchstauglichkeit

Berechnung nach Theorie II. Ordnung für die quasi-ständige Kombination entspr. [3], Gl. 6.16
Nachweis der zulässigen horizontalen Verformung nach [2], Abschnitt 7.2.2

3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

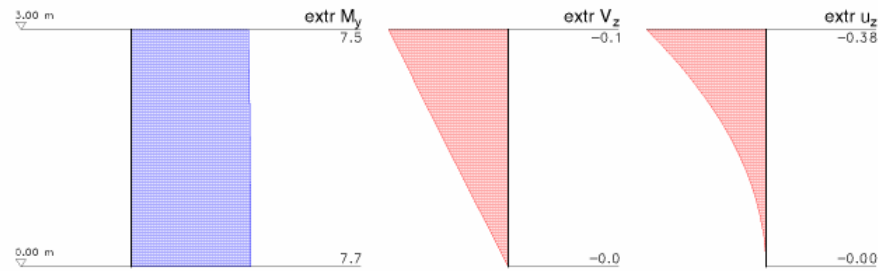
LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig	Lf1
2	ständig	Lf1+0.3 · Lf2

Schnittgrößen und Verformungen werden nach Th. II. Ordnung unter charakteristischer Belastung ermittelt. Die Ergebnisse werden je Achsrichtung dargestellt.

3.2. Extremale Ergebnisse

Die Schnittgrößen sind bezogen auf die verformte Systemachse

3.2.1. Verformung in Z-Richtung



x m	My		Vz		uz	
	Min kNm	Max kNm	Min kN	Max kN	Min mm	Max mm
3.00	0.00	7.50	-0.11	0.00	-0.38	0.00
0.00	0.00	7.66	-0.00	0.00	-0.00	0.00

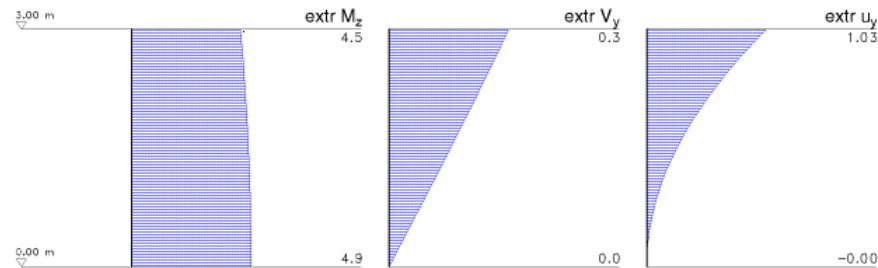
Maßgebende Verformung in Z-Richtung:

Aus Lastkollektiv 2 an der Stelle $x = 3.00$ m, mit den Schnittgrößen:

$N = -425.50$ kN, $M_y = 7.50$ kNm, $V_z = -0.11$ kN, $M_z = 4.50$ kNm, $V_y = 0.29$ kN

$u_z = 0.38 < 2.00$ mm \Rightarrow Zulässige Verformung wird eingehalten

3.2.2. Verformung in Y-Richtung



x m	Mz		Vy		uy	
	Min kNm	Max kNm	Min kN	Max kN	Min mm	Max mm
3.00	0.00	4.50	0.00	0.29	0.00	1.03
0.09	0.00	4.94	0.00	0.01	0.00	0.00
0.00	0.00	4.94	0.00	0.00	-0.00	0.00

Maßgebende Verformung in Y-Richtung:

Aus Lastkollektiv 2 an der Stelle $x = 3.00$ m, mit den Schnittgrößen:

$N = -425.50$ kN, $M_y = 7.50$ kNm, $V_z = -0.11$ kN, $M_z = 4.50$ kNm, $V_y = 0.29$ kN

$u_y = 1.03 < 2.00$ mm \Rightarrow Zulässige Verformung wird eingehalten

x m	N		Vz		My		Wz,fin		Uz,fin
	Min kN	Max kN	Min kN	Max kN	Min kNm	Max kNm	Min mm	Max mm	
3.00	-48.00	-48.00	-2.75	0.00	0.00	4.50	0.0	0.0	0.00
2.91	-48.02	-48.02	-2.70	0.00	0.00	4.24	-1.1	0.0	0.07
2.06	-48.23	-48.23	-2.13	0.00	0.00	2.19	-5.5	0.0	0.37
1.97	-48.25	-48.25	-2.06	0.00	0.00	1.99	-5.6	0.0	0.37
0.19	-48.68	-48.68	-0.03	0.00	-0.02	0.00	-0.7	0.0	0.05
0.00	-48.73	-48.73	0.00	0.25	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00

Maßgebende Ausnutzung Endverformung in Y-Richtung:

Aus Lastkollektiv 2 an der Stelle $x = 1.88$ m, mit den Schnittgrößen:

$N/V_y/M_z = -48.27$ kN / -1.98 kNm / 1.80 kNm

$\max u_{y,fin} = -5.6/15.0 = 0.38 < 1.0 \Rightarrow$ Zulässige Ausnutzung wird eingehalten

Wenn in den Druckeinstellungen (s. S. 9) angewählt, werden nach den Nachweisen noch die **Auflagerreaktionen** für Stützenkopf und/oder Stützenfuß protokolliert, die für den eigentlichen Nachweis der Stütze nicht relevant sind. Es erleichtert aber die Kontrolle der Berechnung und kann zur Bemessung von Anschlüssen genutzt werden.

Zuerst werden die charakteristischen Lagerreaktionen der Lastfälle protokolliert.

4. Auflagerreaktionen

4.1. Charakteristische Lagerreaktionen der Lastfälle am Stützenkopf

Lf	N _k kN	H _{k,y} kN	H _{k,z} kN	M _{k,y} kN	M _{k,z} kN
1	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
3	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00
4	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00
Σ	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00

4.2. Charakteristische Lagerreaktionen der Lastfälle am Stützenfuß

Lf	N _k kN	H _{k,y} kN	H _{k,z} kN	M _{k,y} kN	M _{k,z} kN
1	404.26	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2	85.00	0.00	0.00	25.00	15.00
3	0.00	45.00	-0.00	-0.00	135.00
4	0.00	-0.00	65.00	-195.00	-0.00
Σ	489.26	45.00	65.00	-170.00	150.00

Anschließend werden die **Bemessungswerte** aus dem Nachweis der Tragfähigkeit ausgegeben.

4.3. Bemessungswerte der Lagerreaktionen (Tragfähigkeit Th.II.O.) am Stützenkopf

LK	N _{Ed} kN	H _{Ed,y} kN	H _{Ed,z} kN	M _{Ed,y} kN	M _{Ed,z} kN
1	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00
2	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00
4	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

...

22	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
----	------	------	------	------	-------

4.4. Bemessungswerte der Lagerreaktionen (Tragfähigkeit Th.II.O.) am Stützenfuß

LK	N _{Ed} kN	H _{Ed,y} kN	H _{Ed,z} kN	M _{Ed,y} kN	M _{Ed,z} kN
1	404.26	-0.00	-0.00	-0.00	6.39
2	545.75	0.00	-0.00	-0.00	8.82
3	531.76	-0.00	-0.00	38.51	33.86
4	673.25	-0.00	-0.00	38.78	37.23

...

22	635.00	-0.00	97.50	-271.67	28.53
----	--------	-------	-------	---------	-------

Zum Abschluss der Druckliste wird eine **Zusammenfassung** mit einem Überblick der maximalen Ausnutzungsgrade aller geführten Nachweise ausgegeben.

5. Zusammenfassung

Alle Nachweise konnten erfolgreich durchgeführt werden.

Maximale Ausnutzungen der geführten Nachweise:

Tragfähigkeit Th.II.O	99 %
Biegedrillknicken	34 %
Verformung in Z-Richtung	19 %
Verformung in Y-Richtung	51 %

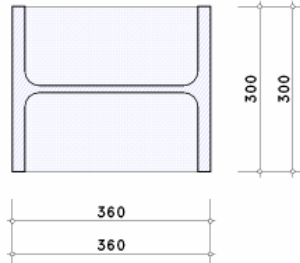
Ist die **Fußpunkt und/oder Fundamentbemessung** (s. Abs. 3.4, S. 17) aktiviert, wird noch eine zweite Druckliste angelegt, die Ausgaben entspr. der verwendeten Module **##-FUND** und **##-EC3FP** oder **##-EC3KF** enthält.

FUSSPUNKTBEMESSUNG

4H-FUND Version: 12/2022-

Stahlnachweise nach DIN EN 1993-1-2:2010-12 mit NA-Deutschland
 Stahlbetonbemessung nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit NA-Deutschland (DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04)
 Äußere Standsicherheit nach DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA-Deutschland
 Ergänzende Regeln nach DIN 1054:2021-04, DIN 4017:2006-03 und DIN 4019:2015-05

Querschnitt, Maßstab 1:10



Stützenquerschnitt

genormtes Profil: HE360B, der Güte S275

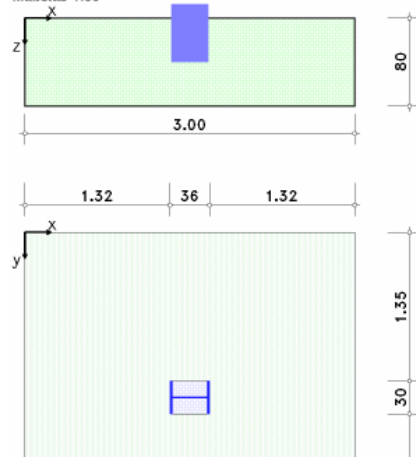
Fußplatte

b = 300 mm h = 360 mm t = 10 mm, der Güte S235

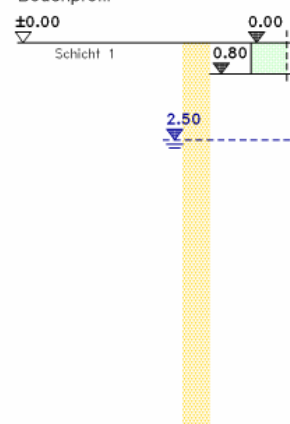
Mörtelfuge unter Fußplatte

h_f = 40 mm

Ansicht, Draufsicht Einzelfundament
 Maßstab 1:50



Bodenprofil



4

Literaturverzeichnis

Normen

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1990/NA/A1, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1, Ausgabe August 2012
- /4/ DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstr. von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Dezember 2010
- /5/ DIN EN 1993-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Teil 1-1, Oktober 2022
- /6/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002

5

Index

Abkürzungen.....	2	Kontextsensitivität.....	6
Bauteil erzeugen.....	7	Lagerangaben.....	11
Belastung.....	14	Lastbild.....	2
Berechnungsbutton.....	10	Lastfall.....	2
blank.....	2	Lastfalleigenschaften.....	15
Buttons.....	2	Lastkollektiv.....	2
Cursor.....	2	Lastorientierung.....	15
Druckdokument.....	23	Nachweiseinstellungen.....	17
Druckdokument Gestaltung.....	9	Nationaler Anhang.....	18
Drucklistenvorschau.....	8	Ordner.....	7
Druckmanager.....	9	Querschnitt.....	12
Eigengewicht.....	15	Schreibtisch.....	6
Einwirkung.....	2	Schreibtischauswahl.....	5
Einwirkungen.....	14	Startsymbol.....	5
Einzellasteigenschaften.....	16	Steuerbutton.....	6
e-Mail.....	6	Streckenlasteigenschaften.....	16
Ergebnisfenster.....	10	System.....	11
Extremalbildungsvorschrift.....	2	Tragfähigkeitsnachweis.....	17
Installation.....	5		