



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop<sup>®</sup>  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

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

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



# **4H-GRAT**

## **Grat- und Kehlsparren**

Mai 2023



# 4H-GRAT

## Grat- und Kehlsparren

Copyright 2009-2023

3. durchgesehene Auflage, Mai 2023

**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](http://www.pcae.de)**.

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



# Produktbeschreibung

##-GRAT ist ein Produkt der **pcae** GmbH, Hannover, und berechnet Grat- und Kehlsparren nach Eurocode 0, EC 1(3), EC 1(4), EC 5(1) und EC 5(2) bzw. DIN 1052 (2008), DIN 1055-1, DIN 1055-3, DIN 1055-4, DIN 1055-5, DIN 1055-100 und DIN 4102-22.

Die Sparrengeometrie wird in Grund- und Aufriss beschrieben. Hierbei werden die sich auf Grund der geometrischen Beziehungen innerhalb des Systems automatisch ergebenden Längen/Winkel vom Programm ermittelt.

Zusätzliche Zwischenauflager/Gelenke können beliebig angeordnet werden.

Aus der Systemgeometrie ergeben sich automatisch die Lastezugsflächen und Lastwichtungsfaktoren für die Sparren und damit die Belastungswerte.

Die ständige Belastung besteht aus dem Eigengewicht (getrennt nach Grat-/Kehlsparren und Schiftersparren) und den Eigengewichten der Außenhaut und des Innenausbaus.

Mannlasten können in jedem sich ergebenden Feld angesetzt werden.

Die Windbelastung ist in die optionalen Anblasrichtungen *von links*, *von rechts* und *von vorn* getrennt.

Zur Ermittlung sowohl der Wind- als auch der Schneelasten kann das Programm ##-WUSL, Wind- und Schneelasten, mit den dahinter befindlichen Datenbanken aus ##-GRAT heraus aufgerufen werden. Die sich durch Vorgabe der Wind- und Schneelastzone automatisch ergebenden Lastwerte können von Benutzerseite übersteuert werden.

Aufgrund der Lastsituation werden die Sparren auf Doppelbiegung beansprucht. Dieser Einfluss kann ausgeschaltet werden.

Sowohl die sich so ergebenden Lastfallergebnisse als auch die Ergebnisse der Tragfähigkeits-, Stabilitäts- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise können auf dem Bildschirm grafisch und tabellarisch eingesehen werden. Der Tragfähigkeitsnachweis umfasst den Sondernachweis *Nord-deutsche Tiefebene* und den Brandschutznachweis.

Die grafische Darstellung des sich aus allen Nachweisen ergebenden Gesamtausnutzungsgrades liefert die Quintessenz der Berechnung.

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 ##-GRAT 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 ##-GRAT-Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

*DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit ##-GRAT.

Hannover, im Mai 2023

# Abkürzungen und Begriffe

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

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



signalisiert Anmerkungen

## Buttons

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



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

## Index

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

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

## Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

## blank

Leerzeichen

## Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

## icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

## Fangerechteck

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

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

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



bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab



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



ruft das Online-Hilfesystem



bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt



**Löschen**-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage



Datenzustand  
überprüfen

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

# Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten .....	5
2	Ordner und Bauteil erzeugen .....	7
3	Eingabeoberfläche .....	9
3.1	Allgemeines .....	9
3.2	Systemdaten .....	10
3.2.1	Basisnorm .....	10
3.2.2	Geometrie .....	11
3.2.3	Lasteinzugsflächen .....	11
3.2.4	Material + Querschnitt .....	12
3.2.5	Lager + Gelenke .....	12
3.3	Belastung .....	14
3.3.1	Ständige Lasten .....	14
3.3.1.1	Eigengewicht .....	14
3.3.1.2	Außenhaut .....	15
3.3.1.3	Innenausbau .....	15
3.3.2	Mannlasten .....	15
3.3.3	Windlasten .....	16
3.3.4	Schneelasten .....	17
3.4	Nachweise .....	18
3.4.1	Tragfähigkeit .....	18
3.4.2	Stabilität .....	19
3.4.3	Formeln .....	20
3.4.4	Sondernachweis Norddeutsche Tiefebene .....	22
3.4.5	Brandschutznachweis .....	23
3.4.6	Gebrauchstauglichkeit .....	23
3.5	Ergebnisse .....	25
3.5.1	... am Bildschirm .....	25
3.5.2	... in der Druckliste .....	26
4	Literaturverzeichnis .....	27
5	Index .....	27





# 1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

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

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, können Sie dieses Kapitel überspringen.

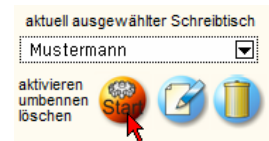


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelclick aus.

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 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 <b>e-Mail-Dienst</b> . |
|  | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils                       |
|  | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils                       |
|  | ruft das Planerstellungsmodule des aktivierten Bauteils                   |
|  | löscht das aktivierte Bauteil/Ordner                                      |
|  | öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste                                  |
|  | öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen   |
|  | eröffnet Verwaltungsfunktionen  |
|  | schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung                   |

## Ordner und 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 Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.



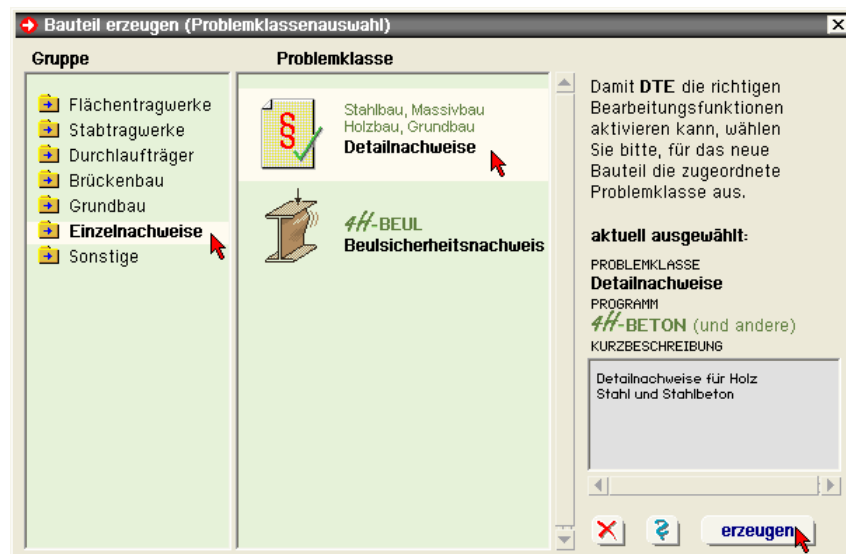
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



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



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

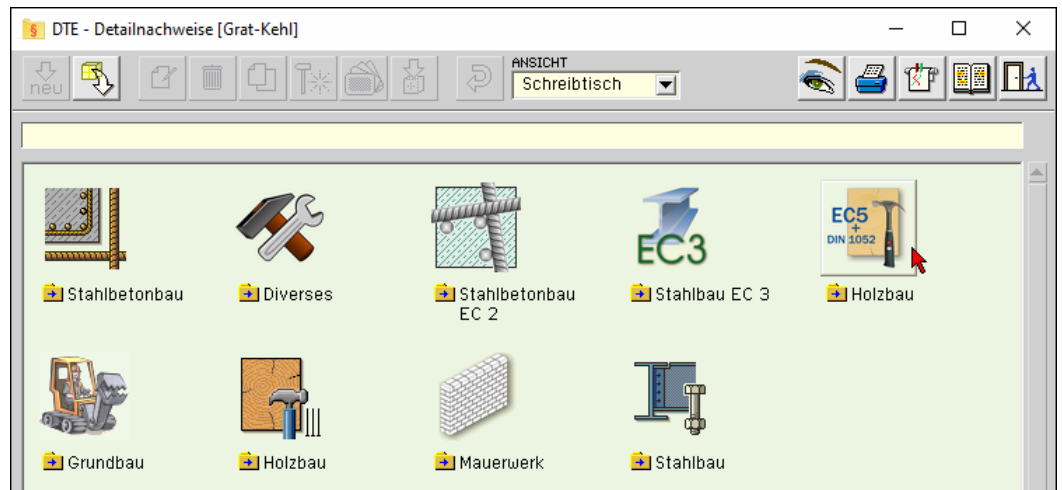


Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.



Nach Doppelklick auf dem neuen Bauteilicon, dem eine individuelle Bezeichnung gegeben werden kann, erscheinen die nachfolgend dargestellten Übersichten der Detailnachweise. Klicken Sie das jeweils gekennzeichnete Icon mit der LMT an.

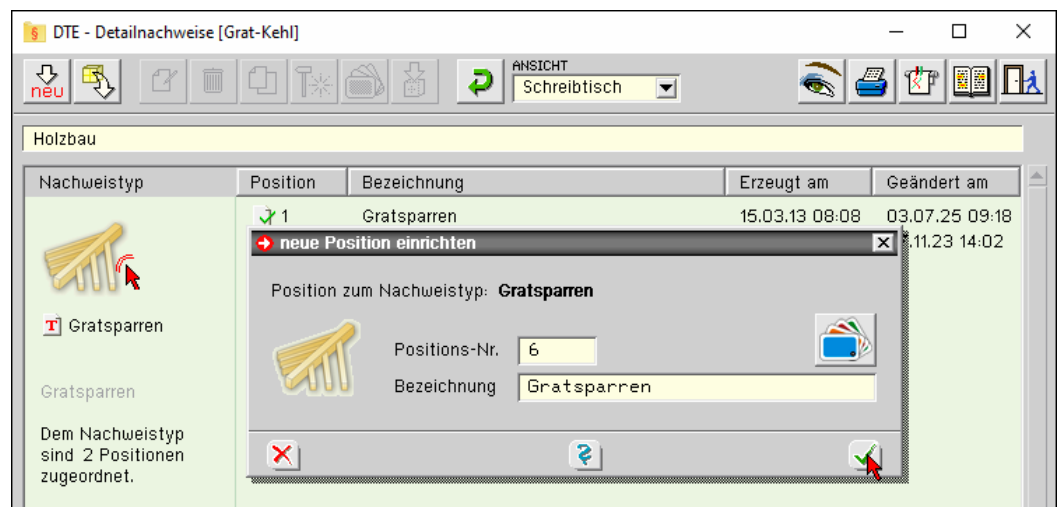
## Detailnachweise



## Holzbau EC 5



## Grat-/Kehlsparren



Im rechten Bereich erscheint die neue Position in einem Verzeichnis. Klicken Sie hier bitte doppelt auf den neuen Schriftzug. Daraufhin erscheint die Eingabeoberfläche des Nachweistyps.

### 3

## Eingabeoberfläche

Nach Aufruf der Position erscheint die Eingabeoberfläche auf dem Bildschirm.

### 3.1

#### Allgemeines

Mit 4H-GRAT lassen sich Grat- und Kehlsparren unter Zugrundelegung der **Normen**

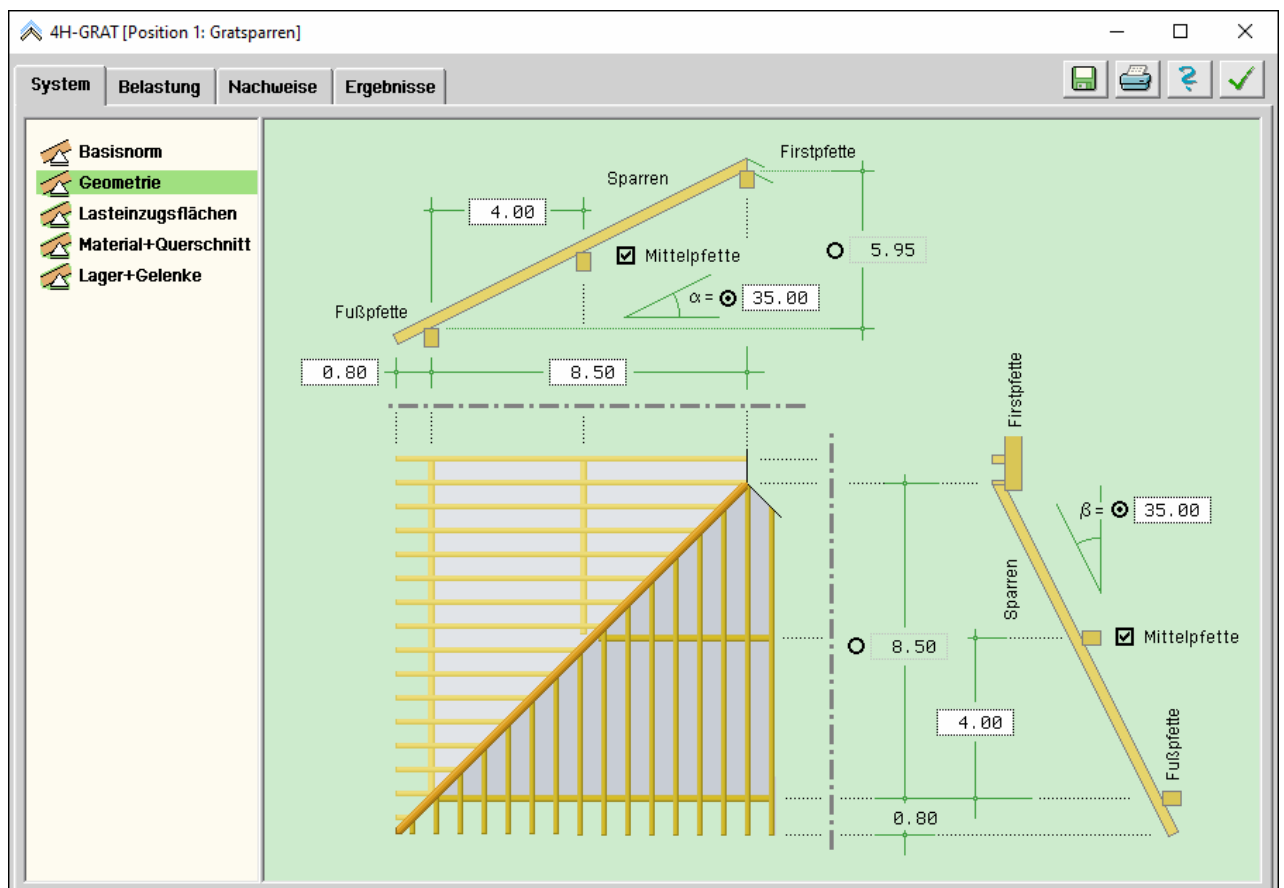
- Eurocode 0      Schnittgrößenüberlagerungsvorschriften
- Eurocode 1(3)    Schneelasten
- Eurocode 1(4)    Windlasten
- Eurocode 5(1)    Holzbau, Bemessung und Konstruktion
- Eurocode 5(2)    Holzbau, Brandschutzbemessung

berechnen. Das Programm unterstützt auch weiterhin die nationalen Vorgängernormen

- DIN 1052 (2008)    Holzbau
- DIN 1055-1        Wichten von Baustoffen
- DIN 1055-3        Nutzlasten für Hochbauten
- DIN 1055-4        Windlasten
- DIN 1055-5        Schneelasten
- DIN 1055-100     Schnittgrößenüberlagerungsvorschriften
- DIN 4102-22      Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 22:  
Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von  
Teilsicherheitsbeiwerten

Ob als Bemessungsgrundlage die etwas ältere DIN-Reihe oder die Eurocode-Normen angewendet werden, wird im ersten Register auf der Seite *Basisnorm* entschieden (s. Abs. 3.2.1, S. 10). Ist Eurocode ausgewählt, muss auch das zugehörige NAD angegeben werden.

Die Handhabung des Programms gestaltet sich weitestgehend intuitiv. Die folgenden Erläuterungen sollen den Einstieg erleichtern.



Das Programm wird im Wesentlichen über die Register gesteuert. Im Register

- *System* wird das statische System hinsichtlich Norm, Geometrie, Lagerung, Material und Querschnitte sowie ggf. Einkerbungen beschrieben
- *Belastung* wird die Belastung des Systems festgelegt
- *Nachweise* werden optionale Angaben zur Steuerung der Nachweise hinterlegt
- *Ergebnisse* können die Ergebnisse zum aktuell definierten System eingesehen werden.

Jedes Register verfügt über eine gewisse Anzahl von Unterseiten, die im Objektfenster angesteuert werden können.



mit dem nebenstehend dargestellten Button wird der aktuelle Eingabezustand gesichert



der Druckerbutton ruft ein Untermenü hervor, das sich mit der Ausgabe der Druckliste beschäftigt, Näheres s. Ergebnisse Abs. 3.5, S. 25



ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button ruft den Hilfetext auf



ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button beendet die Bearbeitung. Der aktuelle Datenzustand wird gesichert und das Fenster geschlossen.

Weitere Informationen finden Sie unter System Abs. 3.2, S. 10, Belastung Abs. 3.3, S. 14, Nachweise Abs. 3.4, S. 18, und Ergebnisse Abs. 3.5, S. 25.

## 3.2 Systemdaten

Das Register *System* enthält die Eingabeseiten *Basisnorm*, *Geometrie*, *Lasteinzugsflächen*, *Material + Querschnitt* und *Lager + Gelenke*, die durch Mausklick im linken Fenster aktiviert werden.

### 3.2.1 Basisnorm

Ob als Bemessungsgrundlage die etwas ältere DIN-Reihe oder die Eurocode-Normen angewendet werden, wird im ersten Register auf der Seite *Basisnorm* entschieden. Ist Eurocode ausgewählt, muss das zugehörige NAD angegeben werden.



Basisnorm  NAD:

DIN EN 1990 + DIN EN 1990/NA (Lastfaktoren)  
DIN EN 1991 + DIN EN 1991/NA (Wind und Schnee, Lastannahmen)  
DIN EN 1995 + DIN EN 1995/NA (Holzbauachweise)

beachte: Die Regelungen aus DIN 1055-F2002-06 und DIN 1055-3:2006-03 wurden gemäß  
DIN EN 1991-1-1/NA zur nationalen Anwendung von DIN EN 1991-1-1 übernommen.

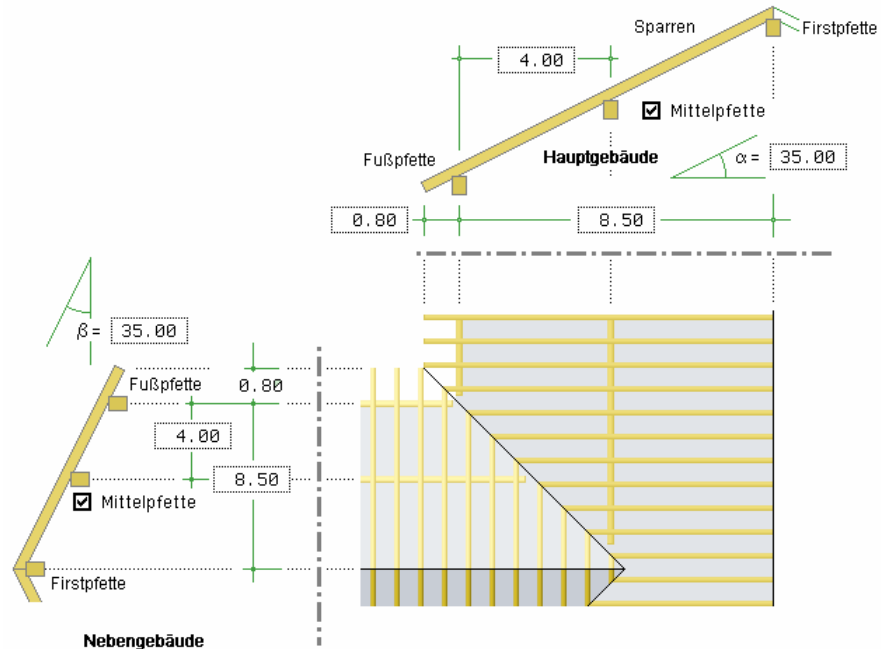
### 3.2.2

## Geometrie

Auf der Seite *Geometrie* werden die geometrischen Grunddaten des zu berechnenden Sparrens festgelegt. Dies geschieht durch Vorgabe der Maße im Grundriss und in den Schnitten. Die Vorgabe einer Mittelpfette ist pro Dachfläche optional.

Geometrie Gratsparren s. S. 9. Das folgende Bild zeigt die Kehlsparrengeometrie.

Die Eingaben dienen dazu, die Lage und Länge des zu berechnenden Sparrens festzulegen und die Ermittlung der Lastezugsflächen zu ermöglichen.

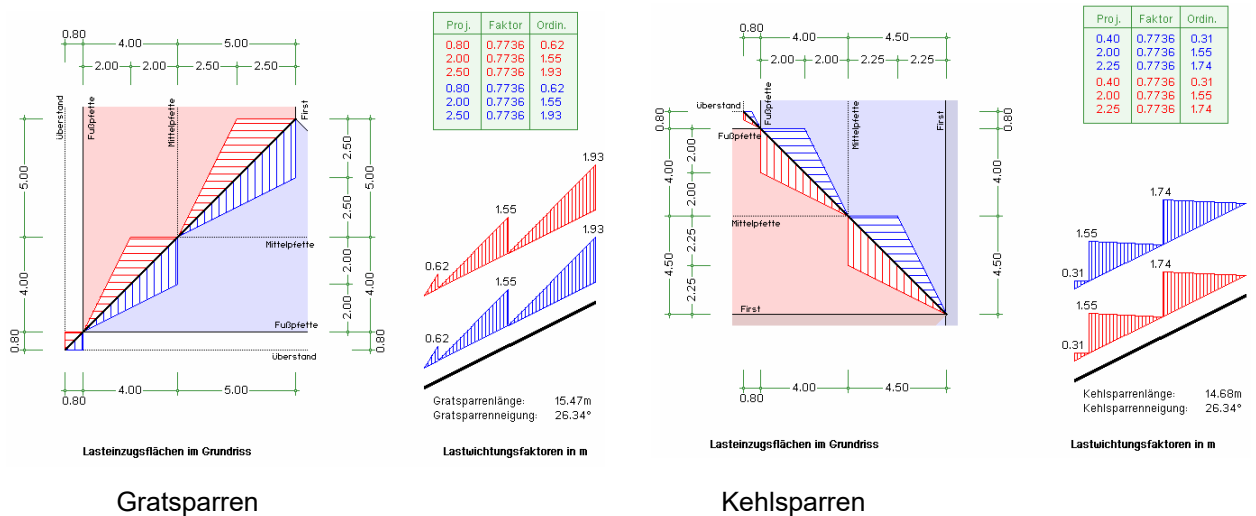


### 3.2.3

## Lastezugsflächen

Die Seite *Lastezugsflächen* besitzt rein informativen Charakter und erfordert keine Eingaben. Sie zeigt an, welche Lastanteile der angrenzenden Dachflächen vom zu berechnenden Sparren aufgenommen werden müssen. Die hieraus resultierenden Lastwichtungsfaktoren stellen Verteilungsfunktionen dar, die mit den (konstanten) Lastordinaten der Flächenlasten auf den Dachflächen multipliziert die vom Grat- bzw. Kehlsparren aufzunehmenden Lasten bilden.

Während auf der Seite *Geometrie* ein statisches Eingabeblatt angeboten wird, wird die Geometrie auf der Seite *Lastezugsflächen* maßstabsgerecht dargestellt.



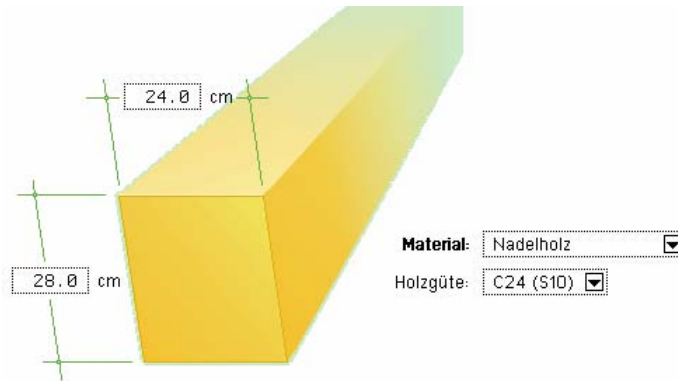
### 3.2.4

#### Material + Querschnitt

Auf der Seite *Material + Querschnitt* werden zunächst das zu verbauende Material (Nadelholz, Laubholz oder Brettschichtholz) und die Holzgüte festgelegt.

Die Auswahlliste für die Holzgüte enthält neben den neuen Bezeichnungen der DIN 1052:2008-12 bzw. EC 5 bei vollständiger Affinität auch die alten Bezeichnungen (in Klammern).

Darüber hinaus werden auf dieser Seite auch die Querschnittsabmessungen (Rechteckquerschnitt mit Höhe  $h$  und Breite  $b$ ) des Sparrens festgelegt.



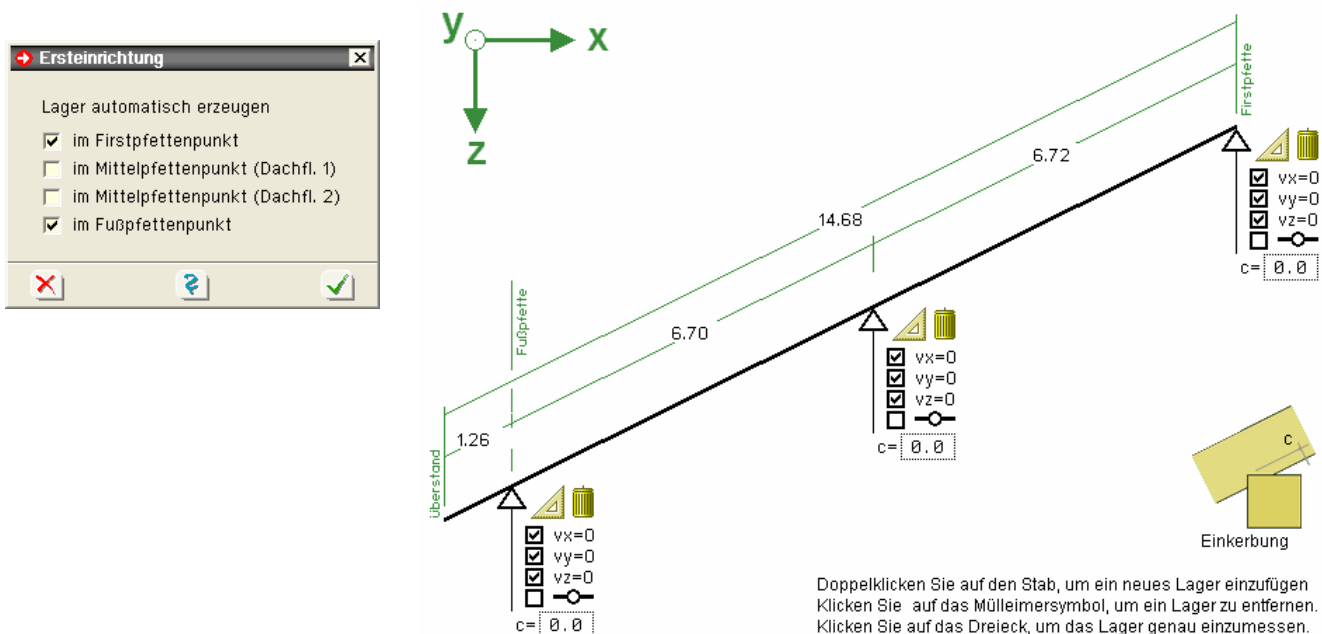
### 3.2.5

#### Lager + Gelenke

Auf der Seite *Lager + Gelenke* kann der zu berechnende Sparren beliebig (unabhängig von der Lage der First-, Fuß- und Mittelpfetten) gelagert werden.

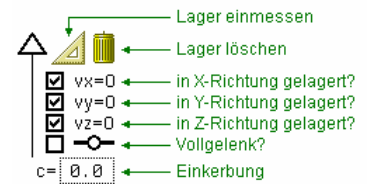
Beim erstmaligen Aufruf der Seite bietet ein Assistent an, automatisch Lager an signifikanten Stellen des Trägers einzurichten.

Um weitere Lager (Gelenke) einzurichten, muss der Träger an der gewünschten Stelle durch Doppelklick aktiviert werden. Das Lager erscheint auf der Seite und kann über die dem Lager angehefteten Interaktionselemente modifiziert werden.





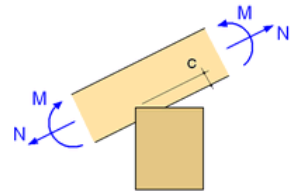
Die Lagerangaben können in allen drei Koordinatenrichtungen unabhängig voneinander festgelegt werden. Es gilt das oben links angegebene Koordinatensystem. Eine Richtung wird als gelagert angenommen, wenn das zugeordnete Kontrollkästchen aktiviert wurde (schwarzer Haken sichtbar). Dasselbe gilt für die Annahme eines Vollgelenkes (s. nebenstehende Skizze).



Mit dem Wert  $c$  kann eine Einkerbung berücksichtigt werden.

**Einkerbungen** sind punktuelle Querschnittsschwächungen im Auflagerbereich der Sparren, die bei der Nachweisführung (nicht jedoch bei der Schnittgrößenermittlung) berücksichtigt werden können. Sie können an jedem Lagerpunkt der Sparren definiert werden.

Eine Kerbe wird erstens durch Addition des Versatzmomentes  $\Delta M = 0.5 \cdot N \cdot c$  zum vorhandenen Moment, zweitens durch Verwendung des Nettoquerschnitts  $b/(h-c)$  berücksichtigt.

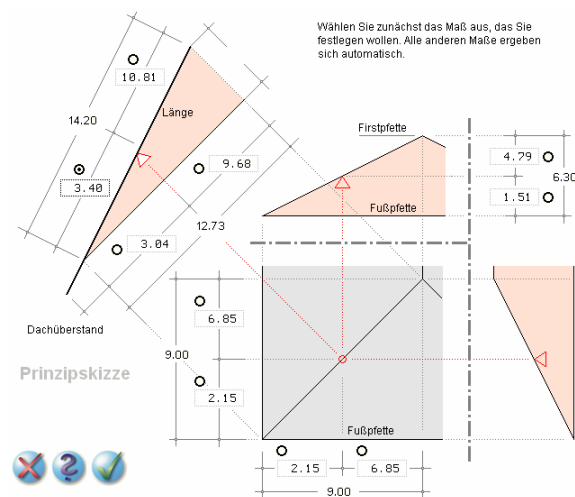


Große Einkerbungen können den sich rechnerisch ergebenden Ausnutzungsgrad sehr stark in die Höhe treiben. Aus diesem Grunde sollte (wenn möglich) überlegt werden, stattdessen (aufgrund der starken Querschnittsschwächung) besser ein Gelenk anzuordnen.

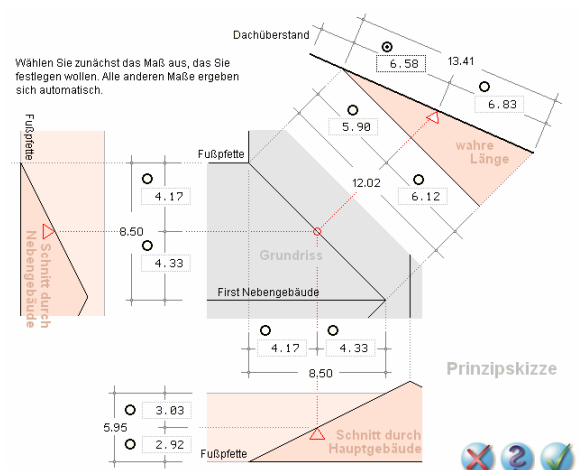
Um das Lager geometrisch an der korrekten Stelle zu positionieren, bietet sich das Werkzeug **Lager einmessen** an. Dieses Werkzeug zeigt sämtliche Längen im Grundriss, in der horizontalen Projektion und in der wahren Länge an. Es ergeben sich 10 Werte, die allesamt voneinander abhängig sind. Durch Anklicken einer einem Eingabewert zugeordneten alternativen Schaltfläche kann ein bestimmtes Maß zur Eingabe ausgewählt werden. Nach Eingabe verändern sich automatisch alle anderen (9) Alternativwerte.

Nach Bestätigen dieses Werkzeugs wird der Wert auf der Seite *Lager + Gelenke* übernommen.

Um Lager auch im Bereich des Dachüberstandes festlegen zu können, dürfen bestimmte Werte auch negativ eingegeben werden.



Gratsparren



Kehlsparren

### 3.3 Belastung

Die Beschreibung der Belastung umfasst die Eingabeseiten *ständige Lasten*, *Mannlasten*, *Windlasten* und *Schneelasten*.

#### 3.3.1 ständige Lasten

##### ständige Lasten

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die Anzahl der zur Einwirkung *ständige Lasten* gehörenden Lastfälle festzulegen.

Zur Auswahl stehen die Lastfälle *Eigengewicht*, Gewichtslasten der *Außenhaut* sowie ein *Innenausbau*lastfall.

Die Einwirkung der **ständigen Lasten** besteht aus den Lastfällen

- ☒ **Eigengewicht** der tragenden Konstruktion,
- ☒ Gewichtslasten der **Außenhaut** sowie
- ☒ Gewichtslasten aus **Innenausbau**


#### 3.3.1.1 Eigengewicht

##### Eigengewicht

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um Angaben zum Eigengewicht der tragenden Konstruktion zu kontrollieren und falls erforderlich zu ändern.

Das Eigengewicht splittet sich in den Anteil des Grat-/Kehlsparrens und den Anteil der Schiftersparren auf.

##### Eigengewicht der tragenden Konstruktion

Gratsparren: ☒   $\gamma = 5.00 \text{ kN/m}^3$  (Wichte)

$$0.40 \times 0.24 \times 5.00 =$$

**0.480 kN/m**

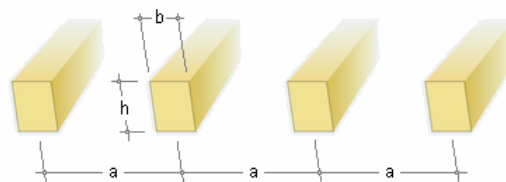
Schiftersparren:

$h = 20.00 \text{ cm}$

$b = 14.00 \text{ cm}$

$a = 0.80 \text{ m}$

$\gamma = 5.00 \text{ kN/m}^3$  (Wichte)




$$0.20 \times 0.14 \times 5.00 / 0.80 =$$

**0.175 kN/m²**

Ist das mit  gekennzeichnete Kontrollkästchen aktiviert, so wird der Wert für die Wichte automatisch aus den Materialangaben – den Vorgaben der DIN 1055-1 entsprechend – ermittelt.

Die Wichte des zu berechnenden Sparrens wird im Regelfall automatisch aus den Materialangaben unter Register *System* nach DIN 1055-1, Abs. 5.8 Tab.9, ermittelt.

Wenn Sie diese Automatik nicht wünschen, klicken Sie das Automatiksymbol (☒ ) an, um den Haken in der symbolischen Schaltfläche zu lösen. Sie können sodann einen anderen Wert für die Wichte vorgeben.

Als Ergebnis dieses Anteils wird eine Gleichstreckenlast (in kN/m) ausgewiesen.

Der zweite Anteil besteht aus dem Eigengewicht der Schiftersparren. Die Querschnittswerte ( $h/b$ ), der Sparrenabstand ( $a$ ) und die Wichte ( $\gamma$ ) müssen hierzu vorgegeben werden.

Die Lastermittlung dieses Anteils resultiert in einer Flächenlast (in kN/m²), die mit der Lastverteilungsfunktion multipliziert zur Belastung des zu berechnenden Sparrens führt.

### 3.3.1.2

### Außenhaut

#### Außenhaut

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die Belastung aus dem Eigengewicht der Außenhaut festzulegen.

Hier kann in bis zu vier Zeilen eine formale Beschreibung der belastenden Anteile mit den zugeordneten Lastwerten angegeben werden. Die Lastwerte werden automatisch in der Lastsumme addiert und mit dem Sparrenabstand multipliziert.

<input checked="" type="checkbox"/>	Falzziegel nach DIN 456 einschl. Lattung	=	0,550	kN/m <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/>	Dampfsperre aus Kunststoffbahn	=	0,020	kN/m <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/>	6 cm Faserdämmstoffe nach DIN 18 165	=	0,060	kN/m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>				

[Belastung speichern / laden](#) Lastsumme = 0,630 kN/m<sup>2</sup>

Die Lastbeschreibungen können permanent (schreibtisch-global) gespeichert werden, so dass sie späteren Dachkonstruktionen zur Verfügung stehen.

### 3.3.1.3

### Innenausbau

#### Innenausbau

Klicken Sie im linken Fenster auf den Innenausbau lastfall, um die Belastung aus den Innenausbauten festzulegen. Die Beschreibung erfolgt in der unter Abs. 3.3.1.2 beschriebenen Form.

### 3.3.2

### Mannlasten

#### Mannlasten

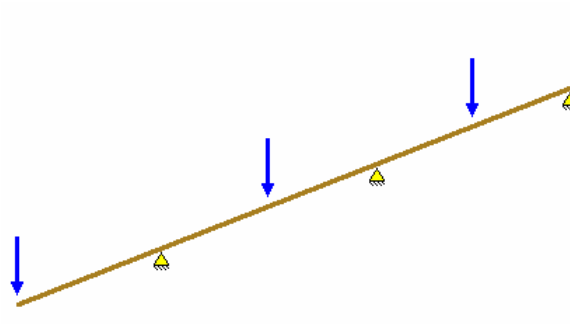
Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um festzulegen, ob Mannlasten nach DIN 1055-3, Abs.6.2 Tab. 2, berücksichtigt werden sollen.

☒ Mannlasten bei Berechnung berücksichtigen

#### Mannlasten

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die Festlegungen zu den Mannlastlastfällen zu kontrollieren und falls erforderlich zu ändern.


Die im Eingabefenster dargestellten Mannlaststellungen sind jeweils in Feldmitte - bei Kragarmen am Kragarmende - angeordnet.





**Mannlasten**

Die hier dargestellten Mannlasten werden bei der Schnittgrößenüberlagerung als alternative Laststellungen betrachtet.

Mannlasten werden darüberhinaus nicht mit Schneelasten kombiniert. (siehe DIN 1055-3 / 6.2 (6))


☒  P = 1,00 kN

Ist das mit  gekennzeichnete Kontrollkästchen aktiviert, so wird der Wert für die Mannlast mit 1 kN gemäß DIN 1055-3 Abs. 6.2 Tab. 2 angenommen.



Jede definierte Laststellung wird in einem separaten Lastfall untersucht. Alle Lastfälle der Einwirkung *Mannlasten* verstehen sich als alternative Laststellungen, sodass bei der Schnittgrößenüberlagerung nur jeweils einer (der für den betrachteten Ort ungünstigste) berücksichtigt wird.

Entsprechend DIN 1055-3, Abs. 6.2 (6), werden Mannlasten niemals mit Schneelasten kombiniert.

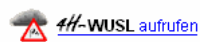
Klicken Sie auf das Automatiksymbol (☒ ) , wenn Sie die Lastordinate, die gemäß DIN 1055-3, Abs. 6.2 Tab. 2, mit dem Wert 1.0 kN vorbelegt ist, mit einem anderen Wert überschreiben wollen.



Windlasten

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um allgemeine Angaben zur Einwirkung *Windlasten* festzulegen.

zu untersuchende Windrichtungen: ☒ Wind von links ☒ Wind von rechts ☒ Wind von vorne



Windzone

☒  $q_{ref}^0 = 0.39 \text{ kN/m}^2$

$h+NN = 60 \text{ m}$

☒ Faktor  $1.000$

☒  $\Rightarrow q_{ref} = 0.39 \text{ kN/m}^2$

nach DIN 1055-4  
Anhang A.1

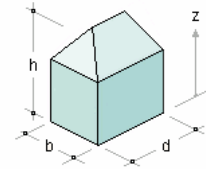
Tabellenwert  
nur für Werte  
> 800 relevant  
nach DIN 1055-4  
Anhang A.2

Rechenwert

Bodenrauigkeitsprofil

Mischprofil der Geländekategorien II und III

Gebäudemodell



$h = 10.25 \text{ m}$

$b = 8.50 \text{ m}$

$d = 12.00 \text{ m}$

$q(z) = 1.5 \cdot q_{ref}$  für  $z < 7 \text{ m}$

$q(z) = 1.7 \cdot q_{ref} \left(\frac{z}{10}\right)^{0.37}$  für  $7 \text{ m} < z < 50 \text{ m}$

$q(z) = 2.1 \cdot q_{ref} \left(\frac{z}{10}\right)^{0.24}$  für  $50 \text{ m} < z < 300 \text{ m}$

☒  $q(h) = 0.67 \text{ kN/m}^2$

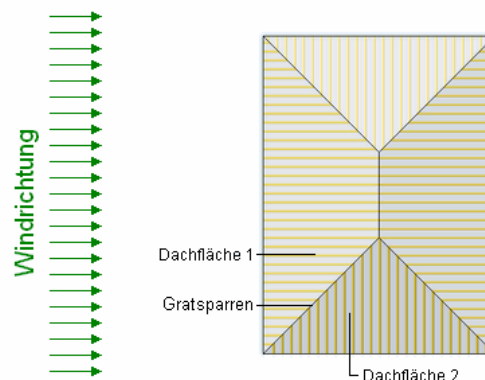
Die mit ☒ gekennzeichneten Eingabewerte werden automatisch ermittelt.

Zunächst können (im Eingabefenster oben) bestimmte Windrichtungen von der statischen Berechnung ausgeschlossen werden. Hiernach müssen die Windzone und die Höhe über NN eingegeben werden.

Sie können hierzu das Programm #WUSL aufrufen (sofern es unter DTE<sup>®</sup> installiert ist), um die Werte in Abhängigkeit von der Ortsbezeichnung ermitteln zu lassen.

In der nachfolgenden Auswahlliste ist eines der unter DIN 1055-4 dargestellten Bodenrauigkeitsprofile auszuwählen. Des Weiteren müssen die Abmessungen des Gesamtbauwerks ( $h/b/d$ ) angegeben werden. Die mit dem Automatiksymbol (☒) gekennzeichneten Eingabefelder werden im Normalfall automatisch ausgefüllt. Diese Automatik kann durch Anklicken des Symbols ausgeschaltet werden.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung des höhenabhängigen Böengeschwindigkeitsdrucks  $q(h)$  ist in Deutschland unabhängig von der zugrundeliegenden Basisnorm identisch: Eurocode (EN 1991-1-4) in Verbindung mit dem deutschen nationalen Anhang (DIN EN 1991-1-4/NA) entspricht in diesem Punkt der DIN 1055-4. Falls außerhalb Deutschlands gebaut werden soll oder weitere spezielle Vorgaben (wie etwa Berücksichtigung der Topographie) benötigt werden, kann der Wert für  $q(h)$  direkt in #WUSL ermittelt und hier eingetragen werden.




☒ Lastermittlung automatisch

$\alpha_0 = 35^\circ$

Dachfläche	Bereich	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10} \cdot q(h)$
1	F	0.57	$0.38 \text{ kN/m}^2$
2	L	-1.37	$-0.91 \text{ kN/m}^2$

Außendruckbeiwerte  $c_{pe,10}$   
im Bereich des Gratsparrens  
gemäß DIN 1055-4:2005-03  
Tabelle 7

Der Einwirkung *Windlasten* sind im linken Fenster je nach Grundsystem (Grat- oder Kehlsparren) unterschiedliche Lastfälle zugeordnet, die alternative Windrichtungen untersuchen. Diese können einzeln ausgewählt und bearbeitet werden.

Die Lastfälle wurden so gewählt, dass sie durch Druck- und Sogeffekte eine extremale horizontale Belastung (in Y-Richtung) des zu berechnenden Sparrens bewirken. Als Außendruckbeiwert wurde ein konstanter, möglichst ungünstiger Wert nach DIN 1055-4:2005-03 bzw. EN 1991-1-4 gewählt. Sie können diese Programmvorgabe überschreiben, indem Sie das Automatiksymbol (☒ ) deaktivieren.

Beim Gratsparren wird mit dem Lastfall *Wind von rechts* zusätzlich ein Abheben bei leichter Bauweise untersucht (Sog, Sog).

Beim Kehlsparren wird mit dem Lastfall *Wind diagonal* zusätzlich eine Belastung (Druck, Druck) konstruiert, die die Beanspruchung des Sparrens aus vertikalen Lasten erhöht.

Die Vorgehensweise ist im Eingabeblatt erläutert. Da dieser Fall von der DIN 1055-4:2005-03 nicht direkt abgedeckt ist, kann ein Unsicherheitsfaktor  $f_u$  (der mit 1.2 vorbelegt ist) angegeben werden.


Alle Windlastfälle werden vom Schnittgrößenüberlagerungsprozess als alternative Lastfälle betrachtet.

### 3.3.4


### Schneelasten


#### Schneelasten

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um allgemeine Angaben zur Einwirkung *Schneelasten* festzulegen.

Zunächst müssen Angaben zur Schneelastzone und zur Höhe über NN gemacht werden. Das Programm *##-WUSL* wird hier behilflich sein. Die hieraus resultierende Schneegrundlast  $s_k$  wird normalerweise vom Programm automatisch ermittelt. Alternativ kann der Wert durch Anklicken des Automatiksymbols (☒ ) direkt eingegeben werden.


☒ Schneelasten bei Berechnung berücksichtigen

 [##-WUSL aufrufen](#)

Schneelastzone  

nach DIN 1055-5  
Absatz 4.1

h+NN  m

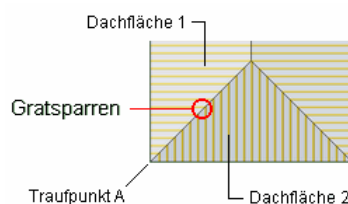
☒   $\Rightarrow s_k = 0.65 \text{ kN/m}^2$

Rechenwert

Das Verfahren zur Ermittlung der Schneegrundlast ist von den Normen DIN EN 1991-1-3/NA wie auch DIN 1055-5 abgedeckt und somit in Deutschland gültig. Falls außerhalb Deutschlands gebaut werden soll, ist der Wert für  $s_k$  direkt einzutragen.

#### Schnee voll

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die sich normengerecht ergebenden Schneelastordinaten für den Lastfall *Schnee voll* einzusehen.



Der Schnee kann ungehindert vom Dach abrutschen auf

- ☒ Dachfläche 1
- ☒ Dachfläche 2

Befindet sich an der Traufe eine Brüstung, ein Schneefanggitter oder ein anderes Hindernis, dann ist als Formbeiwert der Schneelast mindestens  $\mu = 0.8$  zu wählen.

☒  Lastermittlung automatisch


Dachfläche 1:  $\alpha = 35^\circ \rightarrow \mu_1 = 0.67 \rightarrow q_1 = \mu_1 s_k \cos \alpha = 0.35 \text{ kN/m}^2$

Dachfläche 2:  $\alpha = 25^\circ \rightarrow \mu_2 = 0.80 \rightarrow q_2 = \mu_2 s_k \cos \alpha = 0.47 \text{ kN/m}^2$

☐ zusätzliche Einzellast im Traufpunkt A

P =  kN

Je nach Konstruktion ist bei Dachüberständen aus Schneeüberhang an der Traufe nach DIN 1055-5 Abs. 5.1 eine Einzellast anzusetzen, die aus einer Linienlast auf den Schiftersparren an der Trauflinie resultiert.

Die Ermittlung erfolgt nach der zugrundeliegenden Norm unter Verwendung der dort angegebenen Formbeiwerte. Kann der Schnee nicht ungehindert von der Dachfläche abrutschen, wird der Formbeiwert automatisch auf 0.8 korrigiert. Die automatisch ermittelten Werte können nach Lösen des Automatiksymbols () überschrieben werden.

Im Traufpunkt kann zusätzlich eine Einzellast angeordnet werden.



Schneelastfälle werden nicht gemeinsam mit Mannlasten kombiniert (vgl. DIN 1055-3 / 6.2 (6)).


## 3.4 Nachweise

Das Register *Nachweise* enthält die Eingabeseiten zur Festlegung optionaler Einstellungen zu den Tragfähigkeitsnachweisen, Stabilität und zu den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen (hier: Durchbiegungen), die durch Mausklick im linken Fenster aktiviert werden können.


### 3.4.1 Tragfähigkeit

#### Hauptnachweis

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die aktuellen Einstellungen zum Tragfähigkeitsnachweis für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen gemäß DIN 1052:2008-12 bzw. Eurocode EN 1995-1-1 einzusehen und ggf. zu ändern.

Der Materialsicherheitsbeiwert wird vom Programm i.d.R. automatisch belegt. Wenn Sie diese Automatik nicht wünschen, klicken Sie das Automatiksymbol () an, um den Haken in der symbolischen Schaltfläche zu lösen. Sie können dann einen anderen Wert für die Materialsicherheit vorgeben. Die Nutzungsklasse muss vom Benutzer angegeben werden und ist programmintern mit dem Wert 1 vorgelegt.

Im Normalfall erfolgt die Überlagerung der Schnittgrößen nach den Regeln der DIN 1055-100. Gemäß DIN 1052, Abs. 5.2, dürfen beim Tragfähigkeitsnachweis für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen für Hochbauten vereinfachte Kombinationsregeln angewandt werden. Da das letztgenannte Überlagerungsschema in seltenen Fällen günstigere Bemessungswerte liefert, sind beide Verfahren in *4H-GRAT* eingebaut. Der Benutzer kann zwischen den beiden zulässigen Verfahren wählen. Dies gilt nicht bei Nachweisen nach Eurocode! Hier werden die Schnittgrößen allein nach EC 0 (entspr. DIN 1055-100) überlagert.

Die nachfolgende Tabelle, die den definierten Einwirkungen für die Schnittgrößenüberlagerung und die Ermittlung der Ausnutzungsgrade relevante Parameter zuordnet, wird im Normalfall vom Programm automatisch belegt. Wenn Sie diese Automatik nicht wünschen, klicken Sie das Automatiksymbol () an, um den Haken in der symbolischen Schaltfläche zu lösen. Sie können dann die Tabelle inhaltlich bearbeiten. Hierin bedeuten:

$\gamma_{Fsup}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine ungünstige Auswirkung
$\gamma_{Finf}$	... günstige Auswirkung
$\psi_{Fdom}$	Kombinationsbeiwert für die führende Einwirkung nach DIN 1055-100
$\psi_{Fsub}$	... nichtführende Einwirkung nach DIN 1055-100
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer gemäß DIN 1052, Abs. 7.1.2, Tab. 3 und 4
$k_{mod}$	Modifikationsbeiwert gemäß DIN 1052, Abs. 5.3, sowie Anhang F Tab. F.1

Bei Anwendung der vereinfachten Kombinationsregeln nach DIN 1052, Abs. 5.2, gelten folgende Kombinationsbeiwerte:

$\psi_{NK}$	Kombinationsbeiwert für die Nebenkombination gem. DIN 1052, Abs. 5.2 (1)
$\psi_{HK}$	... Hauptkombination gem. DIN 1052, Abs. 5.2 (2)

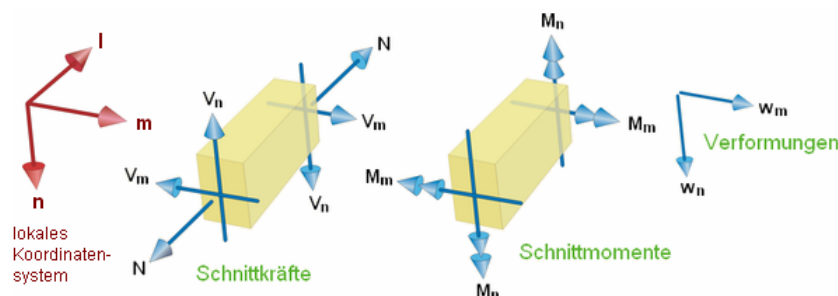
Für die Schnittgrößenkombination (Ermittlung der Extremalen) gelten folgende Regeln:

- die Schnittgrößen der Lastfälle aus ständigen Lasten werden zu einem Lastfall zusammengefasst. Es findet keine Kombination von günstig und ungünstig wirkenden ständigen Lasten statt.
- die Lastfälle der *Mannlasten*, *Windlasten* und *Schneelasten* stellen in ihrer jeweiligen Gruppe alternative Lastfälle dar. Hierbei wird der jeweils ungünstigste Lastfall an der Kombination beteiligt.

- die Lastfälle der Einwirkung *Mannlasten* werden niemals mit den Lastfällen der Einwirkung *Schneelasten* kombiniert. Vgl. hierzu DIN 1055-3, Abs. 6.2 (6).
- durch Anwendung des Modifikationsbeiwertes bei der Nachweisführung muss die Kombination mit den extremalen Schnittgrößen nicht automatisch auch zum maximalen Ausnutzungsgrad führen. Deshalb wird für jede mögliche Kombination in jedem Bemessungspunkt der formale Nachweis vollständig mit dem der Kombination zugeordneten Modifikationsbeiwert geführt.
- der Nachweis wird in allen Bemessungspunkten geführt. Bemessungspunkte sind hierbei alle Punkte, in denen Sprünge oder Knicke in Schnittgrößenverläufen existieren können (Abschnittsanfangs- und -endpunkte, Lagerpunkte, Angriffspunkte von Einzellasten, Start- und Endpunkte von Linienlasten). Im Inneren der verbleibenden Felder wird für die Bemessungspunkte ein regelmäßiger Abstand  $< 15 \text{ cm}$  gewählt.

Infolge der Windlasten ist grundsätzlich eine Bemessung auf Doppelbiegung erforderlich. Die Definition der Schnittgrößen (im lokalen Koordinatensystem) kann der nachfolgenden Grafik entnommen werden. Die Tabelle zeigt an, welche Schnittgrößen von welcher Lastart geweckt werden. Mit *vertikalen Lasten* sind die Lasten der Einwirkungen *Eigengewicht*, *Mannlasten* und *Schnee* zusammengefasst.

Unter der Voraussetzung, dass sämtliche Lasten zentrisch in den zu bemessenden Sparren eingeleitet werden, bleiben Torsionsmomente unberücksichtigt.



	N	V <sub>n</sub>	M <sub>m</sub>	V <sub>m</sub>	M <sub>n</sub>	M <sub>Tr</sub>	w <sub>n</sub>	w <sub>m</sub>
vertikale Lasten	✓	✓	✓	□	□	□	✓	□
Windlasten	□	✓	✓	✓	✓	□	✓	✓

Der Effekt der **Doppelbiegung** wie auch der Einfluss der Einkerbungen auf den Ausnutzungsgrad kann ausgeschaltet werden. Werden die Windlasten in Y-Richtung ignoriert, liegt einachsige Biegung vor.

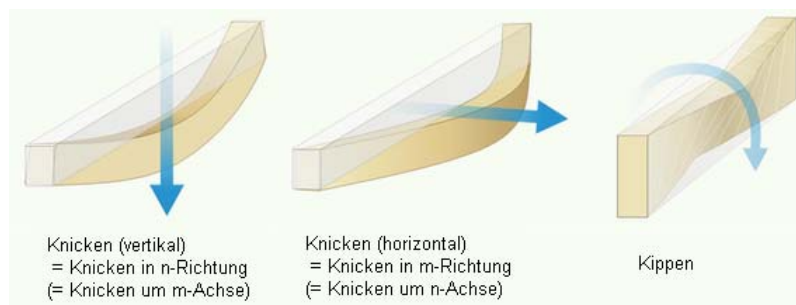
- ☐ Nettoquerschnitt infolge Einkerbungen ignorieren
- ☐ Horizontale Windlasten in Y-Richtung ignorieren (einachsige Biegung)

### 3.4.2

### Stabilität

- ✓ Knicken (vertikal)
- ✓ Knicken (horizontal)
- ✓ Kippen

Wenngleich dies nur selten von Relevanz ist, können Knick- und Kippnachweise nach dem Ersatzstabverfahren eingeschaltet werden. Hier wird zwischen Knicken (vertikal), Knicken (horizontal) und Kippen unterschieden. Jede dieser Stabilitätsuntersuchungen kann unabhängig von den anderen an- bzw. abgewählt werden.



Für jeden (aktivierten) Stabilitätsfall müssen abschnittsweise die Knick- bzw. Kippbeiwerte fest-



gelegt werden. Dies geschieht entweder durch Vorgabe des Knicklängenbeiwertes  $\beta$ , durch Festlegung der Ersatzstablänge  $l_{ef} = \beta \cdot l$  oder direkt durch Vorgabe des Knick- bzw. Kippbeiwertes. In den beiden erstgenannten Fällen werden die Knickbeiwerte nach DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.1, (Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.3.2) und der Kippbeiwert nach Abs. 10.3.2 (Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.3.3) programmintern ermittelt.

Ist eine Stabilitätsuntersuchung angeschaltet, gilt dies für alle aktivierten Tragfähigkeitsnachweise, insbesondere auch für den Brandschutznachweis. Beim Brandschutznachweis müssen die Formeln nach DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.1 und 10.3.2, (Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.2) jedoch unter Zugrundelegung der reduzierten Querschnitts- und Festigkeitswerte ermittelt werden (s. DIN 4102-22:2004-11, Abs. 5.5.2.2; Eurocode: EN 1995-1-2). Um dies dem Programm zu ermöglichen, ist es erforderlich, entweder den Knicklängenbeiwert  $\beta$  oder die Ersatzstablänge  $l_{ef}$  vorzugeben. Bei direkter Vorgabe des Kipp- bzw. Knickbeiwertes wird dieser auch beim Brandschutznachweis angenommen und somit auf eine normengerechte Reduzierung verzichtet.

### 3.4.3

### Formeln

Mit Hilfe der Querschnittswerte

$$\begin{aligned} A &= b \cdot \tilde{h} && \text{Querschnittsfläche} \\ W_m &= b \cdot \tilde{h}^2 / 6 && \text{Widerstandsmoment um m-Achse} \\ W_n &= b^2 \cdot \tilde{h} / 6 && \text{... n-Achse} \\ \tilde{h} &= h - c && \text{im Bereich von Einkerbungen} \\ \tilde{h} &= h && \text{sonst} \\ h &&& \text{Querschnittshöhe} \\ b &&& \text{Querschnittsbreite} \\ c &&& \text{Tiefe der Einkerbung} \end{aligned}$$

ergeben sich Spannungen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte auf Designebene (Index d)

$$\begin{aligned} \sigma_{t0,d} &= N_d / A && \text{Zugspannung aus positiver Normalkraft (Zug)} \\ \sigma_{c0,d} &= N_d / A && \text{Druckspannung aus negativer Normalkraft (Druck)} \\ \sigma_{m,y,d} &= M_{m,d} / W_m && \text{Biegenormalspannung aus Biegung um m-Achse} \\ \sigma_{m,z,d} &= M_{n,d} / W_n && \text{... um n-Achse} \\ \tau_{y,d} &= 1.5 \cdot V_{m,d} / A && \text{Schubspannung aus Querkraft in m-Richtung} \\ \tau_{z,d} &= 1.5 \cdot V_{n,d} / A && \text{... in n-Richtung} \end{aligned}$$

Entspr. der Namensgebung DIN 1052:2008-12 (Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.1.1) stehen der Index y für die m-Achse und der Index z für die n-Achse.

Zum Nachweis eines Bemessungspunktes (ohne Knick- und Kippnachweis) gehören grundsätzlich folgende Teiluntersuchungen

$$\begin{aligned} U_{\sigma} &= \max \left\{ \begin{aligned} &\frac{\sigma_{t0,d}}{f_{t0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d}} \\ &\frac{\sigma_{t0,d}}{f_{t0,d}} + k_{red} \cdot \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d}} + \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d}} \end{aligned} \right\} && \begin{aligned} &\text{Normalspannungen nach} \\ &\text{DIN 1052:2008-12, Abs. 10.2.7 (55 und 56),} \\ &\text{Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.2.3,} \\ &\text{für Biegung und Zug} \end{aligned} \\ U_{\sigma} &= \max \left\{ \begin{aligned} &\left( \frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d}} \\ &\left( \frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_{red} \cdot \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d}} + \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d}} \end{aligned} \right\} && \begin{aligned} &\text{Normalspannungen nach} \\ &\text{DIN 1052:2008-12, Abs. 10.2.8 (57 und 58),} \\ &\text{Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.2.4,} \\ &\text{für Biegung und Druck} \end{aligned} \\ U_{\tau} &= \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 && \begin{aligned} &\text{Schubspannungen nach} \\ &\text{DIN 1052:2008-12, Abs. 10.2.9 (60),} \\ &\text{Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.1.7} \end{aligned} \end{aligned}$$



mit den Festigkeitskennwerten

$$\begin{aligned}
 f_{t,0,d} &= k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot f_{t,0,k} & f_{t,0,k}, f_{m,k}, f_{c,0,k}, f_{v,k} &\text{ sind die charakteristischen Festigkeitskennwerte für Nadelholz, Laubholz, bzw. Brettschichtholz} \\
 f_{m,d} &= k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot f_{m,k} & k_{\text{mod}} &\text{ ist der ungünstigste Modifikationsbeiwert in Abhängigkeit der beteiligten Einwirkungen in der gegebenen Kombination} \\
 f_{c,0,d} &= k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot f_{c,0,k} & \gamma_M &\text{ ist der Materialsicherheitsbeiwert} \\
 f_{v,d} &= k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot f_{v,k} \\
 k_{\text{red}} &= 0.7 \text{ für } h/b < 4 \dots\dots\dots \text{ Abminderungsfaktor bei Doppelbiegung} \\
 &1.0 \text{ sonst}
 \end{aligned}$$

Ist mindestens einer der Stabilitätsnachweise aktiviert, erweitern sich die Normalspannungsnachweise wie folgt.

$$U_{\sigma} = \max \left\{ \begin{aligned} &\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,y}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,z}} \\ &\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,y}} + \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,z}} \end{aligned} \right\}$$

Normalspannungen nach DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.4 (73 und 74), Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.3.3, für Biegung und Zug

$$U_{\sigma} = \max \left\{ \begin{aligned} &\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,y}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,z}} \\ &\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{f_{c,0,d} \cdot k_{c,z}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,y}} + \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,z}} \end{aligned} \right\}$$

Normalspannungen nach DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.3 (71 und 72), Eurocode: EN 1995-1-1, Abs. 6.3.2, für Biegung und Druck

$k_{c,y}$  Knickbeiwert für vertikales Knicken  
 $k_{c,z}$  ... horizontales Knicken  
 $k_{m,y}$  Kippbeiwert für  $h > b$  (sonst 1.0)  
 $k_{m,z}$  ...  $b > h$  (sonst 1.0)

sind bestimmte Stabilitätsfälle nicht aktiviert, wird der ihnen zugeordnete Beiwert mit 1.0 angesetzt

Der ungünstigste Ausnutzungsgrad ergibt sich in einem Bemessungspunkt zu

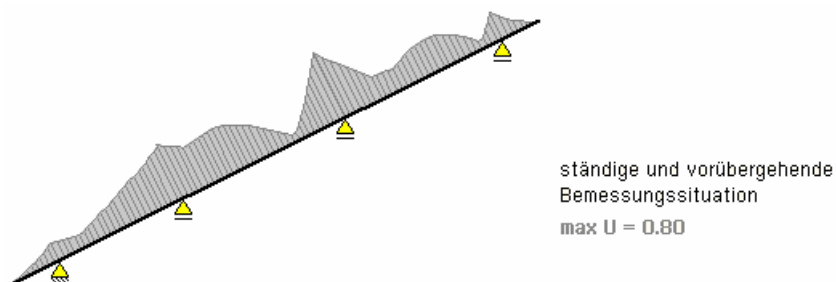
$$U = \max(U_{\sigma}, U_{\tau})$$

Der Nachweis kann als erbracht angesehen werden, wenn in allen Bemessungspunkten

$$U \leq 1.0$$

eingehalten wird. Dies kann leicht unter Register *Ergebnisse* auf der Seite *Tragfähigkeit* kontrolliert werden. In der hier erscheinenden Grafik symbolisiert jede Schraffurlinie einen Bemessungspunkt.

Beispiel



Wenn die Drucklistenoption **Nachweis (formal)** (s. Abs. 3.5.2, S. 26) aktiviert wird, kann das Zustandekommen des ungünstigsten Ausnutzungsgrades pro Traglelement in der Druckliste studiert werden.

## Beispiel

### formaler Nachweis der maximalen Ausnutzung

maßgebende Stelle bei  $\xi = 7.57$  m ( $\xi$  läuft von unten links nach oben rechts)

maßgebende Schnittgrößen: min  $N$ , zug  $M_y$ , zug  $V_z$ , zug  $M_z$ , zug  $V_y$

maßgebender Spannungszustand: Normalspannung

führende Verkehrseinwirkung: Schneelasten

Einwirkung	$\gamma$	$\Psi$	Faktor	$N_k$	$M_{yk}$	$V_{zk}$	$M_{zk}$	$V_{yk}$	$N_d$	$M_{y,d}$	$V_{z,d}$	$M_{z,d}$	$V_{y,d}$
ständige Lasten	1.35	1.00	1.35	-0.89	-3.77	2.33	0.00	0.00	-1.21	-5.09	3.15	0.00	0.00
Mannlasten	0.00	0.00	0.00	-0.22	-0.63	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Windlasten	0.00	0.60	0.00	0.00	2.25	-1.33	2.42	-1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schneelasten	1.50	1.00	1.50	-0.71	-3.22	1.90	0.00	0.00	-1.07	-4.84	2.84	0.00	0.00
Summe (= Bemessungsschnittgrößen in kN, kNm)									-2.28	-9.92	5.99	0.00	0.00

Querschnittswerte:  $h = 20.0$  cm,  $b = 12.0$  cm

$A = 0.0240000$  m<sup>2</sup>

$W_y = 0.0008000$  m<sup>3</sup>

$W_z = 0.0004800$  m<sup>3</sup>

Spannungen:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A = 0.0010 * -2.28 / 0.024000 = -0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d} / W_y = 0.0010 * -9.92 / 0.000800 = -12.40 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{z,d} / W_z = 0.0010 * 0.00 / 0.000480 = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1.5 V_{z,d} / A = 0.0015 * 5.99 / 0.024000 = 0.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1.5 V_{y,d} / A = 0.0015 * 0.00 / 0.024000 = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Festigkeiten nach Eurocode

$f_{c,0,k} = 21.00$ ,  $f_{m,k} = 24.00$  N/mm<sup>2</sup>


Bemessungswerte mit  $\gamma_M = 1.30$  und  $k_{mod} = 0.90$ :

$f_{c,0,d} = 14.54$ ,  $f_{m,d} = 16.62$  N/mm<sup>2</sup> ( $k_{red} = 0.7$ )

$$\text{max Ausnutzung } U = \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,d}} + k_{red} \frac{|\sigma_{m,z,d}|}{f_{m,d}} = \frac{0.09}{0.2065 \cdot 14.54} + \frac{12.40}{16.62} + 0.7 \frac{0.00}{16.62} = 0.78 \leq 1.00$$

## 3.4.4

### Sondernachweis Norddeutsche Tiefebene

 Sondernachweis Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die aktuellen Einstellungen zum Sondernachweis *Norddeutsche Tiefebene* einzusehen und ggf. zu ändern.

Unabhängig von der Basisnorm muss in Deutschland für Orte der norddeutschen Tiefebene neben dem Tragfähigkeitsnachweis für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen der Tragfähigkeitsnachweis für eine außergewöhnliche Bemessungssituation mit den 2.3-fachen Schneelasten geführt werden. Ob dies für das gegebene Bauvorhaben zutrifft, kann ggf. mit #WUSL kontrolliert werden. Aktivieren Sie den Nachweis, wenn es erforderlich ist.

Der Nachweis wird prinzipiell wie der Hauptnachweis geführt, jedoch wird die Schnittgrößenkombination stets nach DIN 1055-100 (Eurocode: EC0) gewählt. Der Nachweis unterscheidet sich vom Hauptnachweis darüber hinaus allein dadurch, dass andere Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte zugrunde liegen.

Nachfolgend eine Gegenüberstellung:

Einwirkung	Hauptnachweis				Sondernachweis "Norddeutsche Tiefebene"			
	ständige und vorübergehende Bemessungssituation				außergewöhnliche Bemessungssituation			
	$\gamma_{Fsup}$	$\gamma_{Finf}$	$\Psi_{dom}$	$\Psi_{sub}$	$\gamma_{Fsup}$	$\gamma_{Finf}$	$\Psi_{dom}$	$\Psi_{sub}$
ständige Lasten	1.35	1.00			1.00	1.00		
Mannlasten	1.50	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Windlasten	1.50	0.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.50	0.00
Schneelasten	1.50	0.00	1.00	0.50	2.30	2.30	1.00	1.00


### 3.4.5

## Brandschutznachweis

#### Brandschutz

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die aktuellen Einstellungen zum Brandschutznachweis einzusehen und ggf. zu ändern.

Beim Brandschutznachweis muss die Tragfähigkeit des Trägers in einer außergewöhnlichen Bemessungssituation für einen bestimmten Zeitraum (Feuerwiderstandsdauer) trotz eines bestehenden Brandes nachgewiesen werden. Hierbei ist davon auszugehen, dass das Feuer einen bestimmten Teil des Querschnitts (Abbrandtiefe) vernichtet hat.

Die Abbrandtiefe kann nach DIN 4102-22, Abs. 5.5.2.1 (9.1), (Eurocode: EN 1995-1-2, Abs. 4.2) berechnet oder direkt vorgegeben werden. Für die direkte Vorgabe der Abbrandtiefe muss zunächst das Automatiksymbol () angeklickt werden, um den Haken in der symbolischen Schaltfläche zu lösen.

Das Programm bietet beide in DIN 4102 beschriebenen Bemessungsverfahren an:

- beim genaueren Verfahren wird neben der Reduzierung des Querschnitts durch die Abbrandtiefe - bedingt durch die hohen Temperaturen - auch eine Reduzierung der Rechenwerte der Festigkeit angenommen. Diese Reduzierung wird vom Programm unter Zuhilfenahme von DIN 4102-22, Abs. 5.5.2.1 (10) ff., (Eurocode: EN 1995-1-2, Abs. 4.2.3) ermittelt.
- beim vereinfachten Verfahren wird auf die Reduzierung der Festigkeiten verzichtet, jedoch ist der Nachweis am ideellen Querschnitt zu führen. Beim ideellen Querschnitt ist die Abbrandtiefe um 7 mm gegenüber dem verbleibenden Restquerschnitt zu erhöhen.

In beiden Fällen darf mit einer Materialsicherheit von 1.0 und den 20%-Fraktilwerten der Festigkeiten gerechnet werden. Die voreingestellten Sicherheits- und Kombinationsbeiwerte entsprechen den Vorgaben der DIN 1055-100 für eine außergewöhnliche Bemessungssituation.



Im Eurocode heißt das vereinfachte Verfahren *Bemessungsverfahren mit reduziertem Querschnitt* und das genauere Verfahren *Bemessungsverfahren mit reduzierten Eigenschaften*. Darüber hinaus sind in den beiden Basisnormen einige Bemessungsparameter geringfügig unterschiedlich vorgegeben, die Verfahren ansonsten identisch.

### 3.4.6

## Gebrauchstauglichkeit

#### Einstellungen

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit beschränkt sich nach DIN 1052 auf den Nachweis zulässiger Durchbiegungen. Die Norm unterscheidet hierbei unter Absatz 9 sowie 8.3 (7) und (8) zwischen zwei Nachweisen, die wahlweise einzeln oder zusammen geführt werden können:

#### ☒ Nachweis mit seltener Bemessungssituation

Der Nachweis der seltenen Bemessungssituation soll Schäden an Trennwänden, Installationen, Bekleidungen oder dergleichen vermeiden.

#### ☒ Nachweis mit quasi-ständiger Bemessungssituation

Der Nachweis der quasi-ständigen Bemessungssituation soll die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild gewährleisten.


Im Gegensatz dazu unterscheidet Eurocode zwischen den Nachweisen für  $w_{\text{inst}}$  und  $w_{\text{fin}}$ . (Ein dritter Nachweis namens  $w_{\text{net,fin}}$  wird in #GRAT nicht angeboten, da Vorverformungen nicht unterstützt werden.)


#### ☒ Nachweis $w_{\text{inst}}$

Nachweis in der charakteristischen Kombination ohne Kriecheinfluss

#### ☒ Nachweis $w_{\text{fin}}$ (= $w_{\text{inst}} + w_{\text{creep}}$ )

Nachweis in der charakteristischen Kombination mit Kriecheinfluss  
 $w_{\text{creep}}$  ist die Kriechverformung aus quasiständiger Kombination

Die eingeblendeten Kombinationsbeiwerte und der Verformungsbeiwert  $k_{\text{def}}$  werden normalerweise automatisch vom Programm normgerecht belegt, wobei  $k_{\text{def}}$  sich aus der gegebenen Nutzungsklasse ermitteln lässt. Wenn Sie diese Automatik nicht wünschen, klicken Sie das Automatiksymbol () an, um den Haken in der symbolischen Schaltfläche zu lösen. Sie können nun andere Werte eintragen.

Klicken Sie im linken Fenster auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um die aktuellen Einstellungen zu den Vergleichslängen und den zulässigen Grenzwerten gemäß DIN 1052:2008-12 einzusehen und ggf. zu ändern. Die Voreinstellung für die Grenzwerte entspricht den Empfehlungen der DIN 1052:2008-12 bzw. dem nationalen Anhang zum EC5. Um die Grenzwerte zu ändern, lösen Sie wieder zunächst das Automatiksymbol ()

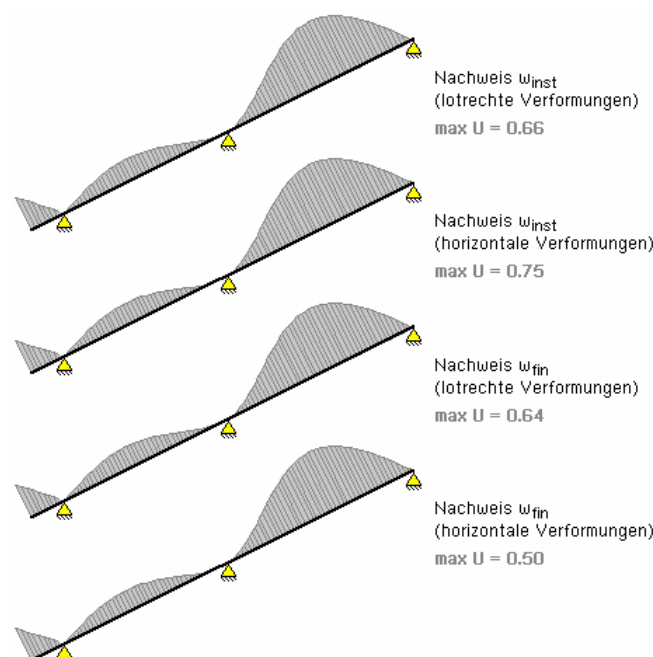
Um Ausnutzungsgrade  $U = w_{\text{vorh.}}/w_{\text{zul.}}$  ermitteln zu können, benötigt das Programm die Vergleichslängen. Voreingestellt ist für alle Abschnitte: Vergleichslänge = Abschnittslänge. Da sich dies bei Teillagerung u. U. zu ungünstig auswirkt, kann der Rechenwert (nach Anklicken des Automatiksymbols) vom Benutzer geändert werden.

Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden nach den Regeln der zugrundeliegenden Basisnorm geführt. Die Nachweise können als erbracht angesehen werden, wenn in allen Bemessungspunkten

$$U \leq 1$$

eingehalten wird. Dies kann leicht unter Register *Ergebnisse* auf der Seite *Durchbiegung* kontrolliert werden. In der hier erscheinenden Grafik symbolisiert jede Schraffurlinie einen Bemessungspunkt.

Beispiel:



Wenn die Drucklistenoption **Nachweis (formal)** aktiviert wird, kann das Zustandekommen des ungünstigsten Ausnutzungsgrades pro Tragelement in der Druckliste studiert werden.

#### formaler Nachweis der maximalen Ausnutzung aus lotrechten Lastanteilen

maßgebende Stelle bei  $\xi = 11.72 \text{ m}$  ( $\xi$  läuft von unten links nach oben rechts)

führende Verkehrseinwirkung: Schneelasten

maßgebende Verformung: max w

maßgebende Vergleichslänge: 7.10 m (alle Durchbiegungen in mm)

Einwirkung	$\gamma$	$\Psi$	F	$w_k$	$w_{\text{inst}}$
ständige Lasten	1.00	1.00	1.00	11.39	11.39
Mannlasten	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00
Windlasten	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00
Schneelasten	1.00	1.00	1.00	4.34	4.34
Summe (in mm)					15.72

$$\text{maßgebende max Ausnutzung } U = \frac{w_{\text{inst}}}{l_v / 300} = \underline{\underline{0.66 \leq 1.00}}$$

## 3.5



## Ergebnisse

### 3.5.1


#### ... am Bildschirm


Durch Anklicken des Registers *Ergebnisse* wird das aktuell definierte System unter Berücksichtigung der aktuell definierten Belastung und Nachweisooptionen im Hintergrund berechnet. Im linken Objektfenster erscheint der nebenstehend dargestellte Baum über den die Ergebnisse eingesehen werden können.


Während unter der Überschrift *Lastfallergebnisse* die Extremalen der definierten Einwirkungen und die Lastfallergebnisse im Einzelnen dargestellt werden, können die sich ergebenden Ausnutzungsgrade der geführten Nachweise unter der Überschrift *Nachweisergebnisse* eingesehen werden.

Klicken Sie auf ein -Zeichen, um einen Ordner zu öffnen und die zu diesem Ordner gehörenden Elemente einzublenden. Klicken Sie auf ein -Zeichen, um den Ordner wieder zu schließen.



 Klicken Sie auf einen der dargestellten Lastfälle, um die Lastfallergebnisse einzusehen. Im oberen Fensterbereich (neben den Registerschaltflächen) erscheint eine Auswahlliste, die es ermöglicht, zwischen *System*, *Verformungen + Lagerreaktionen*, *Schnittgrößen (grafisch)* und *Schnittgrößen (tabellarisch)* hin- und herzuschalten.

 Klicken Sie auf eine der Einwirkungen, um die Extremalen dieser Einwirkung einzusehen. Die Auswahlliste ermöglicht Ihnen nun, zwischen den *extremalen Verformungen und Lagerreaktionen* und den *extremalen Schnittgrößen grafisch* hin- und herzuschalten. Die Extremalwerte ergeben sich auf charakteristischem Lastniveau (ohne Faktorisierung) aber unter Berücksichtigung der Überlagerungseigenschaften *ständig wirkend*, *additiv* bzw. *alternativ*.

 Klicken Sie auf einen Nachweis, um die Ausnutzungsgrade, die sich aus dem Nachweis ergeben, einzusehen.

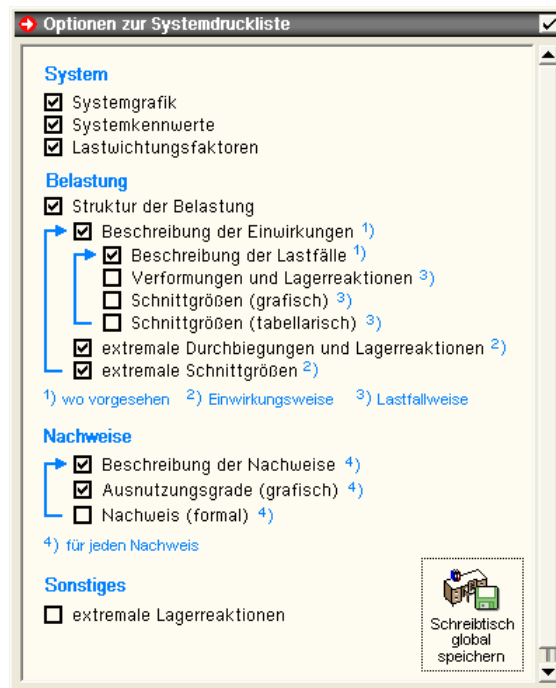
Die Zusammenfassung stellt die extremalen Ausnutzungen aus allen geführten Nachweisen dar und bietet sich an, um mit einem Blick die Einhaltung sämtlicher Nachweise zu kontrollieren. Ein Nachweis kann als erbracht angesehen werden, wenn der größte im System ausgewiesene Ausnutzungsgrad  $\leq 1.0$  ist.

Durch das Umschalten zwischen den Registern *System* und *Ergebnisse* können Auswirkungen von Systemänderungen (etwa Verminderung von Querschnitten) sehr schnell eingesehen werden.



Alle am Bildschirm darstellbaren Ergebnisse können auch in der Druckliste eingesehen werden. Klicken Sie hierzu auf das **Druckersymbol**, um das nebenstehende symbolische Untermenü aufzurufen. Hierin können Sie folgende Aktionen ansteuern:

- optionale Einstellungen zur Druckliste vornehmen (linker Button). Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Elemente der Druckliste einzeln an- bzw. abgewählt werden können. Hierdurch wird der Umfang der Druckliste maßgeblich beeinflusst. Die getroffenen Einstellungen können permanent (schreibtischglobal) gespeichert werden, so dass sie beim nächsten Sparrenprojekt automatisch als Voreinstellung übernommen werden.



- den DTE®-Drucklisten-Viewer aufrufen, um am Bildschirm durch das Druckdokument zu blättern (mittlerer Button).
- den DTE®-Druckmanager aufrufen, um das Druckdokument auf dem Drucker auszugeben (rechter Button).



Die Interaktionsmechanismen des DTE®-Viewers und der DTE®-Druckmanager werden im Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering* beschrieben.

Die Druckliste soll ein prüfbares Statikdokument darstellen, das alle notwendigen Informationen zum System, zur Belastung und zu den Ergebnissen enthält. Die von **pcae** mitgelieferte Voreinstellung zum Umfang der Druckliste stellt sicher, dass eine Prüfung der Statik ohne weitere Nachfragen durchgeführt werden kann. Bei einer Reduzierung des Umfangs (etwa um Papier einzusparen) ist dies nicht mehr unbedingt gewährleistet.

Die Druckliste enthält auf Wunsch weitere Elemente, die nützliche Informationen enthalten. Sie können durch Aktivierung der entsprechenden Option zur Ausgabe gebracht werden:

- ☒ **Nachweis (formal)** Durch Aktivierung der dargestellten Schaltfläche wird der Nachweis für die maximale Ausnutzung formal geführt. Hierbei kann studiert werden unter welcher Schnittgrößenkombination welche der Nachweisformeln maßgebend wird. Beispiele finden sich unter Nachweise, Abs. 3.4, S. 18.
- ☒ **extremale Lagerreaktionen** Ist die hier dargestellte Schaltfläche aktiviert, werden die extremalen Lagerreaktionskräfte als Linienlasten auf charakteristischem Lastniveau, aufgesplittet nach ständigen (G) und nicht-ständigen Lasten (Q) ausgegeben, die dem stützenden Tragwerk als Belastung zugewiesen werden können.

## 4

## Literaturverzeichnis

- /1/ DIN 1052 : 2008-12, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- /2/ Holzbau-Taschenbuch, Bemessungsbeispiele nach DIN 1052, Ausgabe 2004, 10. Auflage, Verlag Ernst & Sohn
- /3/ Volker Krämer: Für den Holzbau, Aufgaben und Lösungen nach DIN 1052, Bruderverlag
- /4/ Steck: 100 Holzbau-Beispiele nach DIN 1052, 2004, Werner Verlag
- /5/ Thiele/Lohse: Stahlbau Teil 1, B.G. Teubner Stuttgart
- /6/ Holschemacher: Entwurfs- und Berechnungstabellen, 2. Auflage, Bauwerk-Verlag
- /7/ Otto W. Wetzell: Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln, 32. Auflage, Beuth-Verlag
- /8/ DIN EN 1995-1-1:2010-12, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- /9/ DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang EC5

## 5

## Index

- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| Abkürzungen 2                | Kontextsensitivität 6     |
| Außenhaut 15                 | Lager 12                  |
| Bauteil erzeugen 7           | Last ständige 14          |
| Belastung 14                 | Lastbild 2                |
| blank 2                      | Lastfall 2                |
| Brandschutz 20               | Lastflächen 11            |
| Brandschutznachweis 23       | Lastkollektiv 2           |
| Buttons 2                    | Mannlast 15               |
| Cursor 2                     | Material 12               |
| Doppelbiegung 19             | Nachweis 18               |
| Druckliste 26                | Norddeutsche Tiefebene 22 |
| Eigengewicht 14              | Normen 9, 10              |
| Eingabeoberfläche 9          | Ordner 7                  |
| Einkerbung 13                | Querschnitt 12            |
| Einwirkung 2                 | Schneelast 17             |
| e-Mail 6                     | Schreibtisch 6            |
| Ergebnis 25                  | Schreibtischauswahl 5     |
| Extremalbildungsvorschrift 2 | Stabilität 19             |
| Fangrechteck 2               | Startsymbol 5             |
| Gebrauchstauglichkeit 23     | Steuerbutton 6            |
| Gelenk 12                    | System 11                 |
| Geometrie 11                 | Tiefebene Norddeutsche 22 |
| Innenausbau 15               | Tragfähigkeitsnachweis 18 |
| Installation 5               | Vergleichslänge 24        |
| Kippen 19                    | Windlast 16               |
| Knicken 19                   |                           |