

**Fassung
April 2016**

Programm

RX-HOLZ 2

**Brettschichtholzträger, Durchlaufträger,
Stützen, Rahmen, Pfetten, Verbände**

Beispiele

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der DLUBAL SOFTWARE GMBH ist es nicht gestattet, diese Beschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

© **Dlubal Software GmbH**
Am Zellweg 2 D-93464 Tiefenbach

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0
Fax: +49 (0) 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.de

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	5	4.2.2	Belastung	40
2.	Brettschichtholzträger	6	4.2.3	RF-KOMBI	41
2.1	Satteldachträger	6	4.2.4	Steuerungsparameter	42
2.1.1	System und Belastung	6	4.3	Ergebnisse	43
2.1.2	Eingabedaten	7	4.3.1	Ergebniskombinationen	43
2.1.2.1	Trägertyp und Material	7	4.3.2	Nachweise	44
2.1.2.2	Geometrie	9	4.3.3	Gebrauchstauglichkeit	46
2.1.2.3	Belastung	10	5.	Rahmen	47
2.1.2.4	Steuerungsparameter	11	5.1	System und Belastung	47
2.1.3	Berechnung	12	5.2	Eingabe der Modelldaten	48
2.1.3.1	Kombinationen mit RF-KOMBI	12	5.2.1	Basisangaben	48
2.1.3.2	Berechnung starten	12	5.2.2	Geometrie	49
2.1.4	Ergebnisse	13	5.2.3	Belastung	51
2.1.5	Dokumentation	16	5.2.4	Steuerungsparameter	53
2.2	Fischbauchträger	18	5.2.5	RF-KOMBI	54
2.2.1	Geometrie	18	5.3	Ergebnisse	55
2.2.2	Kippnachweis	19	5.3.1	Ergebniskombinationen	55
3.	Durchlaufträger	21	5.3.2	Nachweise	56
3.1	System und Belastung	21	5.3.3	Weitere Ergebnismasken	61
3.2	Eingabe der Modelldaten	22	6.	Pfette	62
3.2.1	Basisangaben	22	6.1	System und Belastung	62
3.2.2	Geometrie	23	6.2	Eingabe der Modelldaten	63
3.2.3	Querschnitt	23	6.2.1	Basisangaben	63
3.2.4	Belastung	24	6.2.2	Geometrie	64
3.2.5	Steuerungsparameter	25	6.2.3	Querschnitt und Kopplung	65
3.2.6	Effektive Längen	27	6.2.4	Belastungen	66
3.3	RF-KOMBI	27	6.2.5	Steuerungsparameter	68
3.4	Ergebnisse	31	6.2.6	Effektive Längen	69
3.4.1	Ergebniskombinationen	31	6.2.7	Details	69
3.4.2	Nachweise - Trägerweise	32	6.2.8	RF-KOMBI	70
3.4.3	Tragsicherheit	34	6.3	Ergebnisse	71
3.4.4	Gebrauchstauglichkeit	36	6.3.1	Ergebniskombinationen	71
3.4.5	Lagerkräfte	37	6.3.2	Nachweise der Tragsicherheit	71
4.	Stütze	38	7.	Verband	76
4.1	System und Belastung	38	7.1	System und Belastung	76
4.2	Eingabedaten	39	7.2	Eingabe der Modelldaten	78
4.2.1	Basisangaben	39	7.2.1	Basisangaben	78

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
7.2.2	Geometrie	81	7.3	Ergebnisse	96
7.2.3	Materialien	82	7.3.1	Ergebniskombinationen / Lastkombinationen	96
7.2.4	Querschnitte	83	7.3.2	Nachweise - Alle	97
7.2.5	Verbindungen	84	7.3.3	Nachweise komponentenweise	98
7.2.6	Bauteile	87	7.3.4	Nachweise querschnittsweise	98
7.2.7	Belastungen	89	7.3.5	Nachweise x-stellenweise	99
7.2.8	Steuerungsparameter	94	7.3.6	Lagerkräfte	102
7.2.9	Effektive Längen	95	A:	Index	103
7.2.10	RF-KOMBI	95			

1. Einleitung

Die Programmfamilie RX-HOLZ aus dem Hause DLUBAL ist auf den Ingenieurholzbau abgestimmt. Mit den Programmen dieses Pakets lassen sich Brettschichtholzträger, Durchlaufträger, Stützen, Rahmen, Pfetten, Aussteifungsverbände und Dachsysteme untersuchen. Die maßgebenden Ergebniskombinationen werden automatisch mit dem Modul RF-KOMBI erzeugt, das in RX-HOLZ integriert ist.

Die vorliegende Beispielsammlung ist als Ergänzung zum RX-HOLZ-Handbuch gedacht. Sie stellt Referenzbeispiele für verschiedene Module der RX-HOLZ-Programmfamilie vor, die das Verständnis der Eingabe und die Auswertung erleichtern.

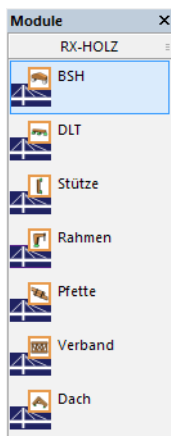
Die Beispiele behandeln modulspezifische Schwerpunkte und verwenden unterschiedliche Nationale Anhänge.

Auf unserer Website www.dlubal.de erhalten Sie stets aktuelle Informationen über die Weiterentwicklung der Programme und über neue Module.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit den Programmen der Familie RX-HOLZ.

Ihr Team von DLUBAL SOFTWARE GMBH

2. Brettschichtholzträger



Die wichtigsten Funktionen des Moduls **RX-HOLZ BSH** werden anhand von zwei Beispielen vorgestellt.

Im ersten Beispiel wird ein Satteldachträger mit geneigtem Untergurt und veränderlicher Höhe (*Trägertyp 6*) eingegeben und berechnet. Das zweite Beispiel im Kapitel 2.2 behandelt den Kippnachweis eines Fischbauchträgers (*Trägertyp 8*).

Die Daten dieser beiden Beispiele finden Sie auch in den Modellen *06.gl* und *08.gl* des Projekts *Beispiele RX-HOLZ*, das bei der Installation automatisch angelegt wird. Für die ersten Schritte mit RX-HOLZ ist es jedoch empfehlenswert, wenn Sie das Beispiel selbst eingeben.

2.1 Satteldachträger

2.1.1 System und Belastung

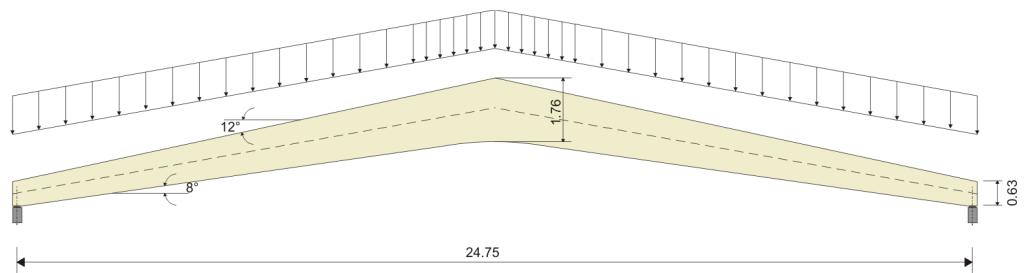


Bild 2.1: System und Belastung

Geometrie und Material

Als Material wird kombiniertes Brettschichtholz **GL24c** verwendet.

Der linear veränderliche Querschnitt des Trägers beträgt am Auflagerand $h_s = 629,2 \text{ mm}$ und in Feldmitte $h_{ap} = 1761 \text{ mm}$. Daraus ergibt sich eine Neigung der oberen Trägerseite von 12° und der unteren Trägerseite von 8° .

Die Trägerbreite beträgt **180 mm**.

Ermittlung der Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht

Die Last ergibt sich aus dem Eigengewicht des Trägers und dem Dachaufbau des Gebäudes.

Im Beispiel gehen wir von einem Dachaufbau von $0,64 \text{ kN/m}^2$ aus. Bei einem Binderabstand von 3 m ergibt sich hieraus eine Streckenlast von $1,92 \text{ kN/m}$ – zuzüglich Trägereigengewicht.

Lastfall 2: Schnee

Das Bauvorhaben liegt in der Zone 1 mit einer Höhe von 200 m über NN. Mit dem Formbeiwert ergibt sich daraus eine Schneelast von:

$$s = 0,8 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot 3 \text{ m} = 1,56 \text{ kN/m}$$

Die Schneelast wird als projizierte Länge mit der Lastrichtung Z angesetzt.

Der Lastfall *Wind* wird in diesem Beispiel nicht behandelt.



2.1.2 Eingabedaten

2.1.2.1 Trägertyp und Material

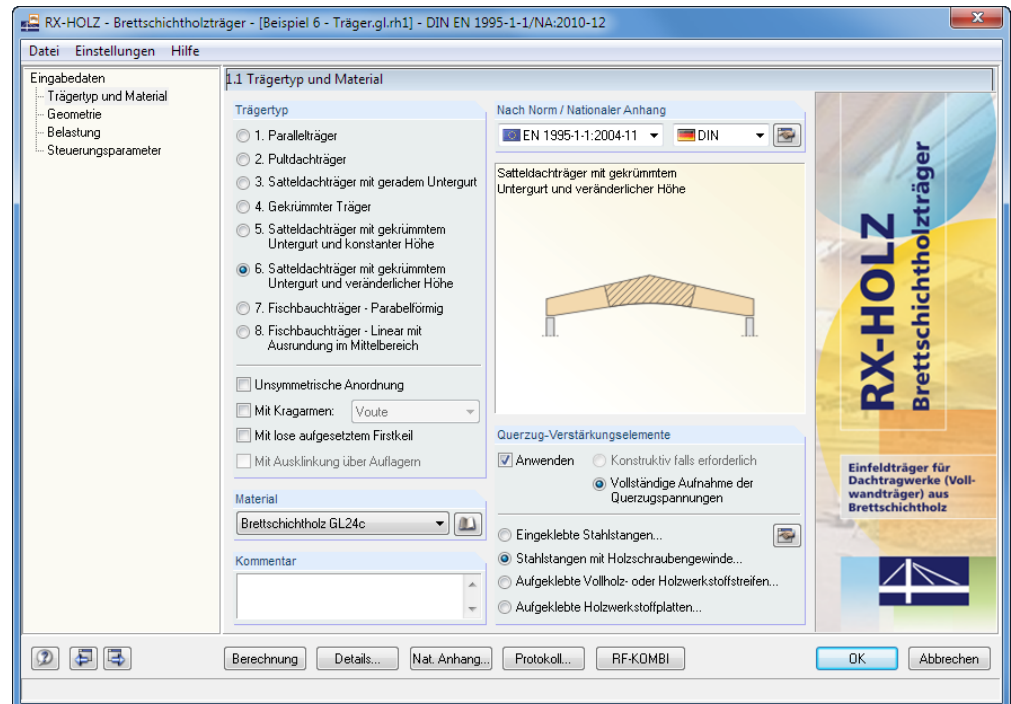


Bild 2.2: Maske 1.1 *Trägertyp und Material*

Um einen Satteldachträger mit veränderlicher Höhe einzugeben, legen wir in Maske 1.1 *Trägertyp und Material* den **Trägertyp 6** und das Material **Brettschichtholz GL24c** fest.

Standardmäßig ist ein Träger *Mit Kragarmen* voreingestellt. Für unser Beispiel deaktivieren wir diese Option, da ein Träger **ohne Kragarme** berechnet werden soll.

Der Träger soll nach **EN 1995-1-1:2004-11** und dem deutschen Nationalen Anhang gemäß **DIN** bemessen werden.

Bei diesem Trägertyp besteht generell eine große Gefahr eines Querzugversagens des Trägers. Deshalb lassen wir die erforderlichen **Querzug-Verstärkungselemente** berechnen.

Für unser Beispiel wählen wir **Stahlstangen mit Holzschraubengewinde**. Es öffnet sich ein neuer Dialog, in dem drei Möglichkeiten bestehen, die *Anordnung der Stahlstangen* zu steuern. Wir wählen die erste Option **Anzahl ermitteln**.

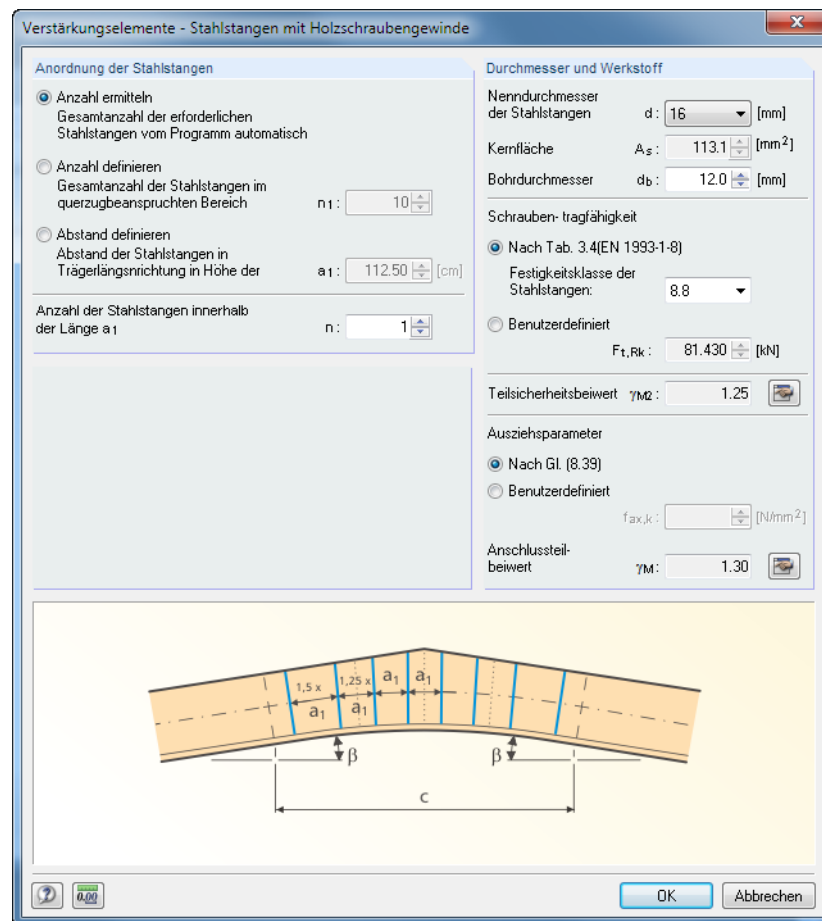


Bild 2.3: Dialog Verstärkungselemente - Stahlstangen mit Holzschraubengewinde

Der Nenn Durchmesser der Stahlstangen beträgt **16 mm**. Die Schraubentragfähigkeit $F_{t,Rk}$ ermittelt sich aus der Festigkeitsklasse der Stahlstangen **8.8** nach EN 1993-1-8, Tabelle 3.4.

2.1.2.2 Geometrie

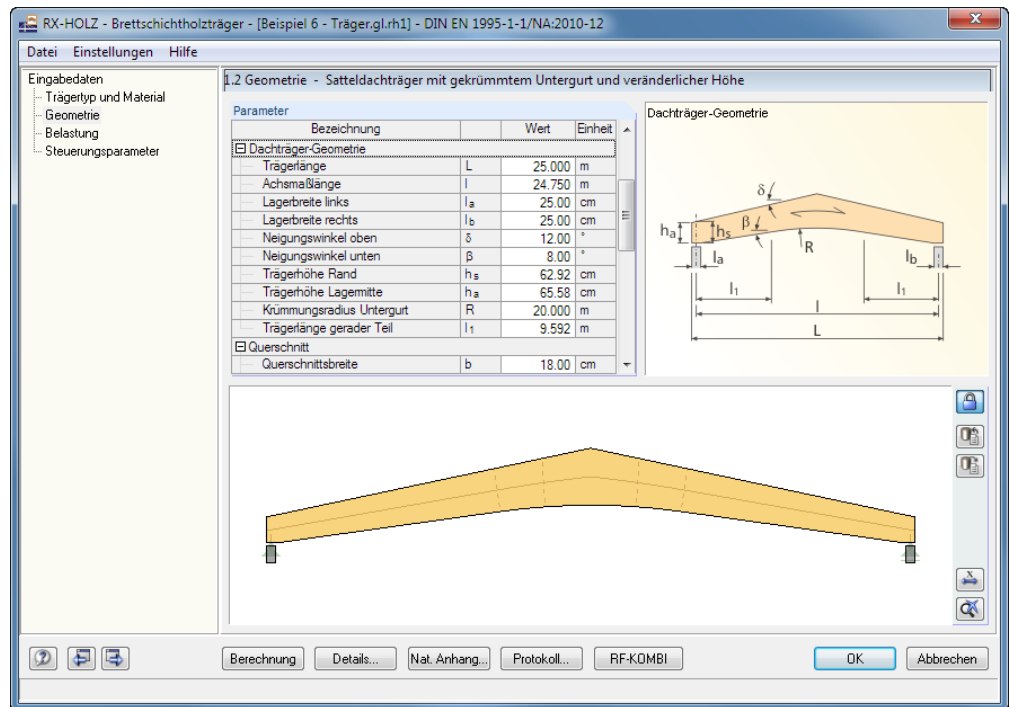


Bild 2.4: Maske 1.2 Geometrie - Satteldachträger mit geneigtem Untergurt und veränderlicher Höhe

In der zweiten Maske wird die Geometrie des Trägers und des Gebäudes eingegeben. Anhand der Gebäudeabmessungen ermittelt der programminterne Wind- und Schneelastgenerierer die Größe der Lastbereiche auf dem Dach sowie der anschließenden Wandflächen. Die Eingabe dieser Daten ist interaktiv: Sobald eine Änderung der Geometrie vorgenommen wird, ändert sich auch die Belastung des Trägers.

Als *Gebäudehöhe* wählen wir für unser Beispiel **10,00 m**, als *Gebäudetiefe* **40,00 m** und als *Binderabstand* **3,00 m**. Die gesamte *Trägerlänge* soll **25,00 m** betragen. Als *Lagerbreite* wählen wir **25 cm**. Die *Trägerhöhe Rand* beträgt **62,92 cm**, der *Neigungswinkel oben* **12°**, der *Neigungswinkel unten* **8°**.

Der *Krümmungsradius* ist nach DIN 1052:2008-12, Gleichung (H1) und EN 1995-1-1 NA 11.4 in der Nutzungsklasse 1-2 zu begrenzen:

$$r = 2,5 \cdot 40^2 \text{ mm} + 117,5 \cdot 40 \text{ mm} = 8700 \text{ mm}$$

Um ein wirtschaftliches Verhältnis von Querkraftbeanspruchung zu Holzvolumen zu erreichen, legen wir den Radius *R* mit **20,00 m** fest.

Als *Lamellendicke* wählen wir **4,0 cm** aus. Die Eingabe jeder gewünschten Lamellenstärke für einen Bereich von 0,5 bis 4,0 cm ist im Programm möglich. Standardmäßig auswählbar ist eine Stärke von 3,3 und 4,0 cm. Als *Querschnittsbreite* stellen wir **18,0 cm** ein.

Unter den *Angaben für Kippen* des Trägers geben wir als *Abstand seitlicher Halterungen* den Wert **3,00 m** und als *Abstand Verband* von der Trägerachse der Wert **31,50 cm** ein.

Der Abstand *e* als Mittenabstand der Aussteifung von der horizontalen Festhaltung des Stabes am Auflager ist in DIN 1052: 2004-08, Bild E.2 dargestellt. Je geringer der Abstand gewählt wird, desto größer wird das Moment, das von der Gabellagerung aufgenommen werden muss, da der Hebelarm zur Aufnahme des Kippmoments verringert wird.

$$T_d = M_d \cdot \left[\frac{1}{80} - \frac{1}{60} \cdot \frac{e}{h} \cdot (1 - k_m) \right]$$

Gleichung 2.1: Ermittlung der Gabellagerung gemäß Erläuterungen zu DIN 1052: 2008-12, Gleichung (14)

2.1.2.3 Belastung

Als erste Einwirkung in Maske 1.3 *Belastung* geben wir die *Ständige Einwirkung* für die Belastung „Eigengewicht und Dachaufbau“ ein. Als *Dachaufbau-Schicht* werden gewählt:

- Trapezblech mit 0,15 kN/m²
- Dampfsperre mit 0,02 kN/m²
- Steinwolle (d = 30 cm) mit 0,30 kN/m²
- Pfetten mit 0,15 kN/m²
- Gipskarton inkl. Unterkonstruktion mit 0,02 kN/m²

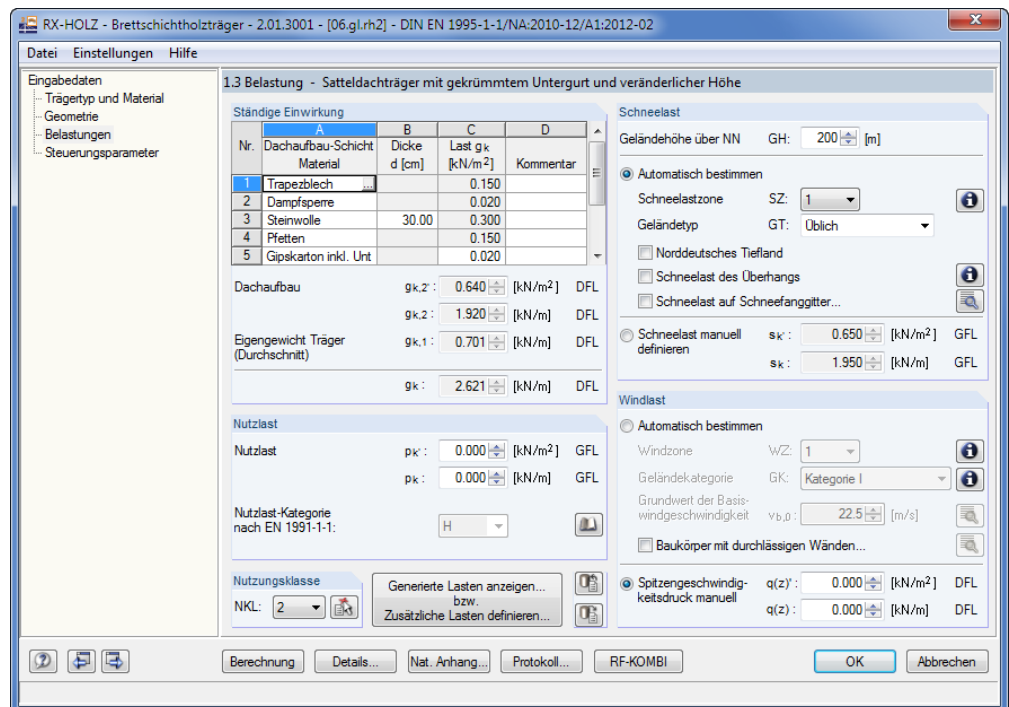


Bild 2.5: Maske 1.3 *Belastung*

Über die Schaltfläche [...] in Spalte *Dachaufbau-Schicht* können die Materialien aus der Bibliothek ausgewählt werden. Dort besteht auch die Möglichkeit, eine neue Belastung in die Materialbibliothek zu integrieren.

Aus diesem Dachaufbau ergibt sich die ständige Last g_k von 2,62 kN/m. Diese Belastung beinhaltet das Eigengewicht des Trägers. Da der Träger eine linear veränderliche Höhe aufweist, wird für das Eigengewicht des Trägers automatisch eine Trapezlast angesetzt. Über die Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen bzw. zusätzliche Lasten definieren] kann die Belastung betrachtet werden. In dieser Tabelle können auch benutzerdefinierte Lasten eingegeben werden.

Es könnte hier eine zusätzliche *Nutzlast* definiert werden, indem man diese über die links dargestellte Schaltfläche aus einer Tabelle auswählt und anschließend die entsprechende *Nutzlast-Kategorie* aus der Liste für EN 1991-1-1 zuweist. Wir legen für unseren Träger allerdings nur noch die **Nutzungsklasse 2** fest.

Zur Ermittlung der *Schneelast* geben wir die *Geländehöhe* von **200 m** über NN an. Die *Schneelastzone SZ 1* wird über einen Doppelklick in der Schneelastkarte definiert.

Die Windlast soll im Beispiel nicht untersucht werden. Dies lässt sich erreichen, indem der *Spitzengeschwindigkeitsdruck* *manuell* in den beiden Eingabefeldern auf **0.00** gesetzt wird.

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...



2.1.2.4 Steuerungsparameter

Die letzte Eingabemaske 1.4 *Steuerungsparameter* verwaltet die Vorgaben zu den Nachweisen, die geführt werden sollen.

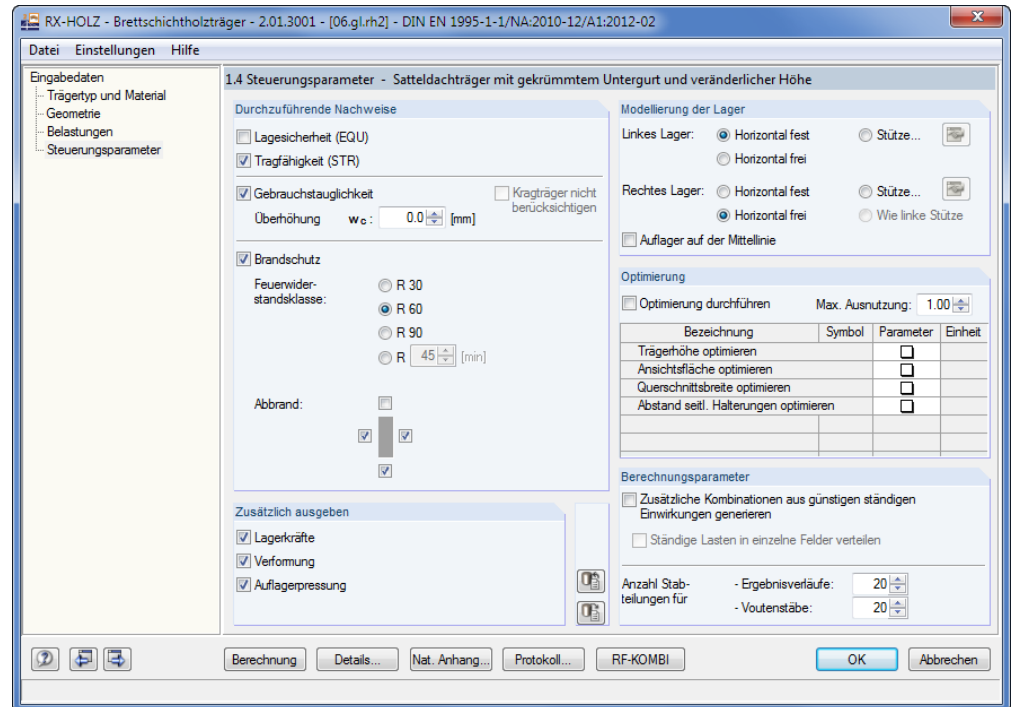


Bild 2.6: Maske 1.4 *Steuerungsparameter*

Für das Beispiel sind die **Tragfähigkeit**, die **Gebrauchstauglichkeit** und der **Brandschutz** nachzuweisen. Als Feuerwiderstandsklasse wählen wir **R 60**. Da an der Trägeroberseite kein **Abbrand** stattfindet, deaktivieren wir diese Seite am Trägersymbol.

Wir überprüfen, ob die weiteren Einstellungen mit denen des oben dargestellten Bildes übereinstimmen. Die Eingabe der Geometrie und der Belastung ist damit abgeschlossen.

2.1.3 Berechnung

2.1.3.1 Kombinationen mit RF-KOMBI

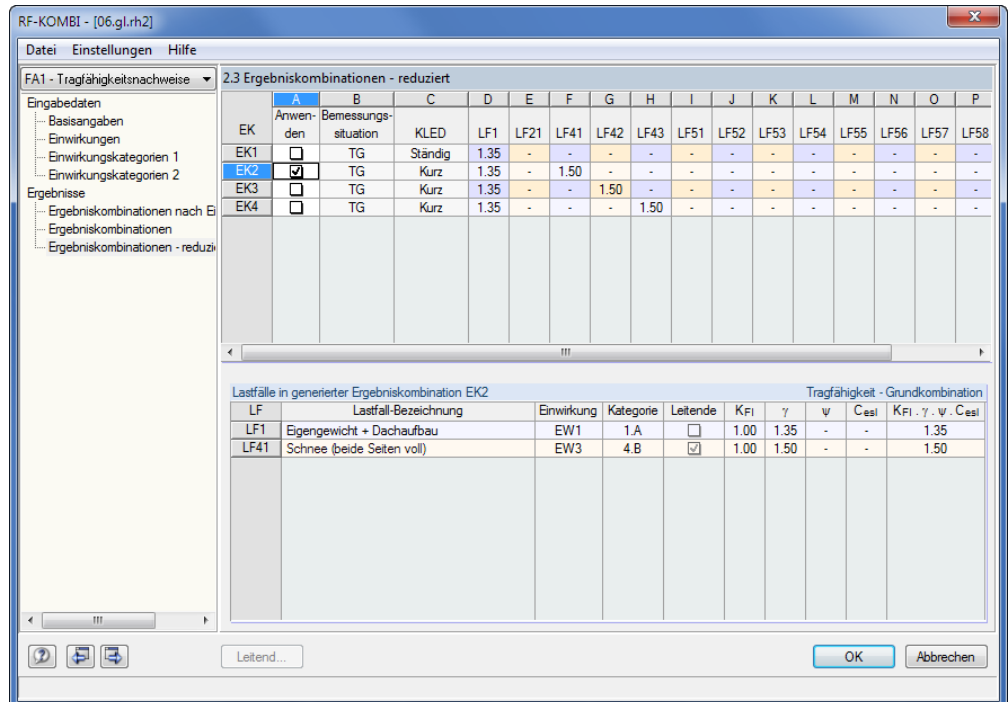
RF-KOMBI

Das Modul RF-KOMBI ist direkt in RX-HOLZ integriert. Damit lassen sich sämtliche Ergebniskombinationen automatisch generieren. Das Modul wird über die Schaltfläche [RF-KOMBI] gestartet.

Um keine unnötig hohe Anzahl an Ergebniskombinationen zu erzeugen, empfiehlt es sich, in der RF-KOMBI-Maske 1.1 *Basisangaben* im Abschnitt *Zusätzliche Untersuchung* die *Reduzierung der möglichen Ergebniskombinationen* zu aktivieren: Dadurch wird gewährleistet, dass die Ergebnisse von RF-KOMBI alle maßgebenden Ergebniskombinationen umfassen, jedoch nicht mehr Lastfälle als erforderlich generiert werden.

Weitere Informationen finden Sie im Handbuch zu RF-KOMBI, das auf www.dlubal.de zum Download bereitliegt.

Für unser Beispiel betrachten wir nur die Ergebniskombination 2. Zu diesem Zweck haken wir in Maske 2.3 *Ergebniskombinationen - reduziert* alle Ergebniskombinationen bis auf **EK 2** ab und verlassen das Modul RF-KOMBI anschließend mit [OK].



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
EK	Anwen-	Bemessungs-	KLED	LF1	LF21	LF41	LF42	LF43	LF51	LF52	LF53	LF54	LF55	LF56	LF57	LF58
EK1	<input type="checkbox"/>	TG	Ständig	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EK2	<input checked="" type="checkbox"/>	TG	Kurz	1.35	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EK3	<input type="checkbox"/>	TG	Kurz	1.35	-	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EK4	<input type="checkbox"/>	TG	Kurz	1.35	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-

LF	Lastfall-Bezeichnung	Einwirkung	Kategorie	Leitende	K _{FI}	γ	ψ	C _{esl}	K _{FI} · γ · ψ · C _{esl}
LF1	Eigengewicht + Dachaufbau	EW1	1 A	<input type="checkbox"/>	1.00	1.35	-	-	1.35
LF41	Schnee (beide Seiten voll)	EW3	4 B	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	1.50	-	-	1.50

Bild 2.7: RF-KOMBI Maske 2.3 *Ergebniskombinationen - reduziert*

2.1.3.2 Berechnung starten

Berechnung

Wurden alle Eingaben entsprechend dieser Vorgaben getätigt, kann im Programm RX-HOLZ die [Berechnung] durch einen Klick auf die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

2.1.4 Ergebnisse

Nach der Berechnung zeigt der Navigator weitere Einträge für die *Ergebnisse* an.

Da in einem Träger die Stelle der größten Biegespannung nicht zwangsläufig die Stelle des größten Moments ist, unterteilt RX-HOLZ den Träger in kleine Abschnitte und führt an diesen Stellen des Trägers die Nachweise. Falls eine noch genauere Berechnung erforderlich ist, kann die Stabteilung in Maske 1.4 *Steuerungsparameter*, Abschnitt *Berechnungsparameter* verfeinert werden. Die Nachweise für die Teilungsstellen können in Maske 2.3 *Nachweise X-stellenweise* eingesehen werden.

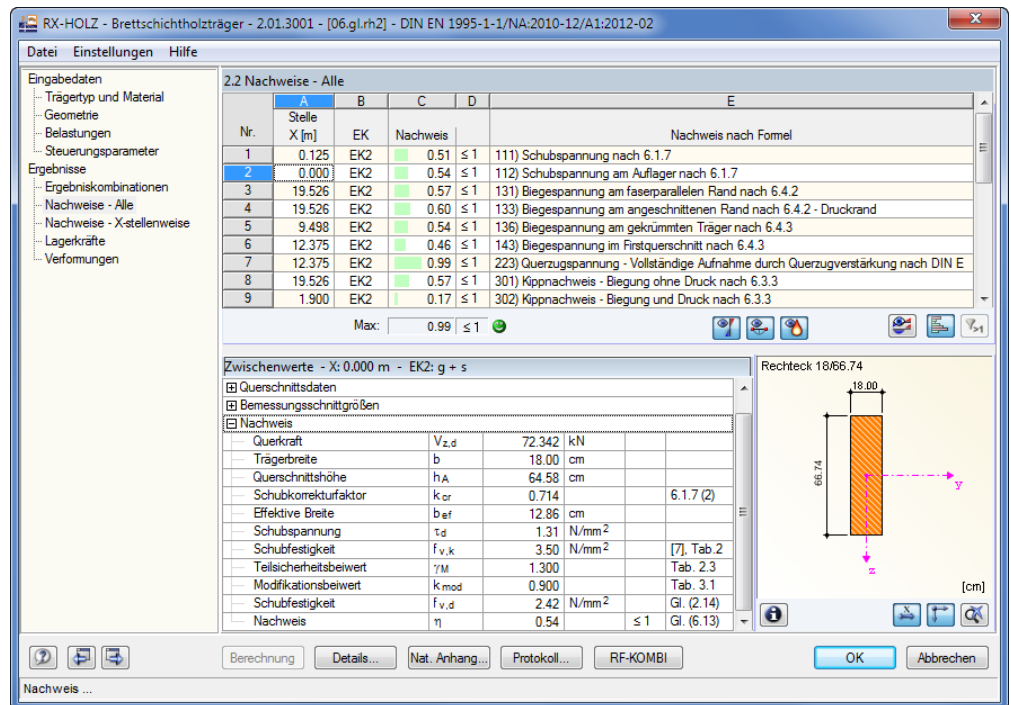


Bild 2.8: Maske 2.2 *Nachweise - Alle* für Tragfähigkeit (Schubspannung am Auflager)



Wir betrachten die Nachweise der [Tragfähigkeit] für die Ergebniskombination EK 2. Anhand der in Spalte E angegebenen Hinweise zu den Gleichungen der EN 1995-1-1:2004-11 sind die einzelnen Nachweise gut nachvollziehbar. Der Abschnitt *Zwischenwerte* unterhalb gibt Auskunft über die Bemessungsdetails des Nachweises, der in der Tabelle oben ausgewählt ist.

In der folgenden Handrechnung setzen wir eine Linienlast von 5,78 kN/m mit gemitteltem Trägereigengewicht an. RX-HOLZ hingegen berücksichtigt beim Eigengewichtsanteil exakt die linear veränderliche Trägerhöhe.

Nachweis der Schubspannung

Eine Reduzierung der Querkraft ist bei diesem Träger nicht notwendig.

Schubspannung am Auflager

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h_A} = 1,5 \cdot \frac{72,34 \cdot 10^3}{128,6 \cdot 645,8} = 1,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{mit } k_{cr} = \frac{2,5}{f_{v,k}}$$

$$b_{ef} = b \cdot k_{cr} = 180 \text{ mm} \cdot 0,714 = 128,6 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 3,5 \cdot \frac{0,9}{1,3} = 2,42 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{\tau_{v,d}} = \frac{1,31}{2,42} = 0,54 < 1$$

Dieser Wert wird wie in Bild 2.8 gezeigt auch in RX-HOLZ für den Schubnachweis am Auflager ausgewiesen.

Nachweis der Biegespannung (Nachweis 6.4.2)

Wie bereits erwähnt, erfolgt der Nachweis für die Biegebeanspruchung des Trägers nicht zwangsläufig an der Stelle des maximalen Biegemoments. Für unser Beispiel berechnen wir die Stelle der maximalen Beanspruchung und vergleichen die Ergebnisse für diese Stelle mit den Werten, die RX-HOLZ hierfür ermittelt.

Stelle der maximalen Beanspruchung (globales Koordinatensystem)

$$x = \frac{l \cdot h_a}{2 \cdot h_1} = \frac{25,00 \cdot 0,656}{2 \cdot 1,565} = 5,24 \text{ m}$$

Trägerhöhe an Stelle $x = 5,24 \text{ m}$

$$h'_x = h_a \cdot \left(2 - \frac{h_a}{h_{ap}} \right) = 0,656 \cdot \left(2 - \frac{0,656}{1,76} \right) = 1,06 \text{ m}$$

$$h_x = h'_x \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} = 1,06 \cdot \cos \frac{12 + 8}{2} = 1,05 \text{ m}$$

Widerstandsmoment

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{18 \cdot 105^2}{6} = 33075 \text{ cm}^3$$

Bemessungsmoment

$$M_{x,d} = \frac{q \cdot x \cdot (l - x)}{2} = \frac{5,9 \cdot 5,26 \cdot (25,00 - 5,26)}{2} = 306,3 \text{ kNm}$$

Biegespannung

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{M_{x,d}}{W_x} = \frac{306,3 \cdot 10^3}{33075} = 9,3 \frac{N}{mm^2}$$

Für den Nachweis im Druckbereich am oberen Trägerrand ergibt sich für unser Beispiel ein Materialwiderstand von:

$$f_{m,\alpha,d} = f_{m,d} \cdot k_{m,\alpha} = 24 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 0,951 = 15,81 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,951 \quad \text{gemäß Gleichung (6.40)}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,\alpha,d}} = \frac{9,3}{15,8} = 0,59$$

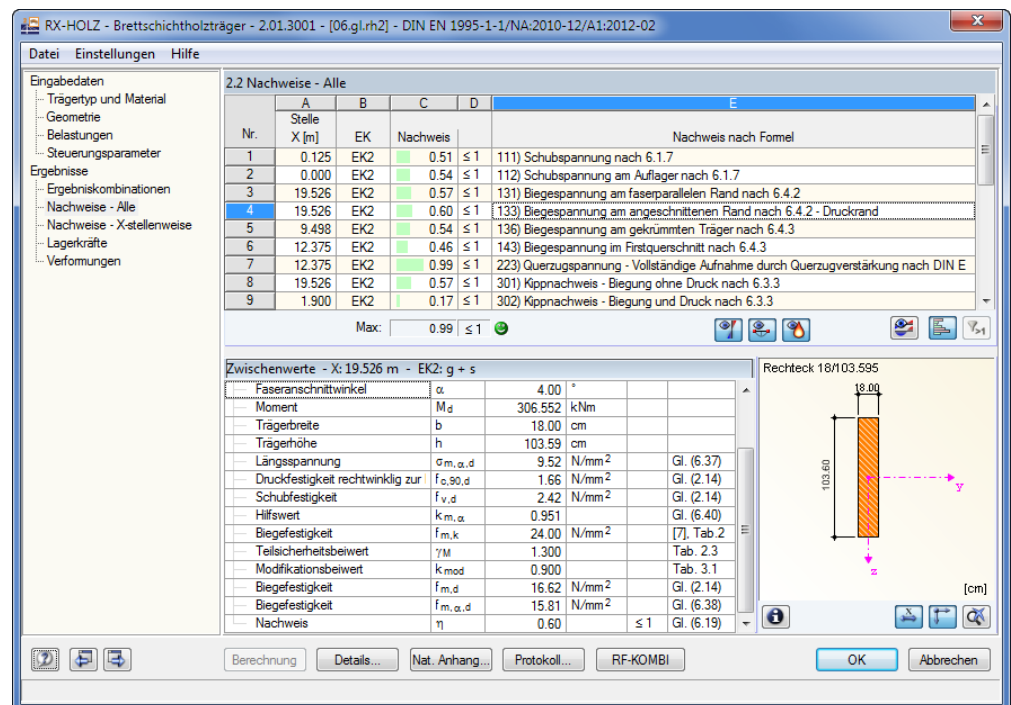


Bild 2.9: Maske 2.2 Nachweise - Alle für Tragfähigkeit (Biegespannung am Druckrand)

Der Nachweisquotient des Programms ist mit 0,60 an der x-Stelle 19,526 m geringfügig größer (siehe Bild 2.9). RX-HOLZ führt den Nachweis wie erwähnt nicht zwangsläufig an der Stelle mit der maximalen Biegebeanspruchung, sondern untersucht die Teilungsstellen. In der Handrechnung ist zudem ein gemitteltetes Trägereigengewicht angesetzt.

Kippnachweis

Zur Aussteifung des Trägers sind zwischengehängte Pfetten vorgesehen, die den Kippabstand auf 3,00 m festlegen.

Bezogener Kippschlankheitsgrad an Stelle x = 5,70 m

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} \cdot 1,4}} = \sqrt{\frac{2,4}{18^2 \cdot 0,78 \cdot 113,60 \cdot 300}} = 0,496 \leq 0,7$$

Bei der Ermittlung des Kippschlankheitsgrades wird gemäß deutschem NA das 5 %-Quantil der Steifigkeitskennwerte mit dem Faktor 1,4 multipliziert.

Für die Stabilitätsberechnung gevouteter Querschnitte setzt RX-HOLZ die Querschnittswerte an, die im Abstand der 0,65fachen Stablänge vom Stabende mit dem kleineren Querschnitt vorliegen. Damit ist gewährleistet, dass der Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren korrekt erfolgt.

Daraus folgt gemäß Gleichung (6.34):

$$k_{crit} = 1$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 24 \cdot \frac{0,9}{1,3} = 16,62 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{9,52}{1 \cdot 16,62} = 0,57 < 1$$

Nach Gleichung (6.35) muss auch eine Überlagerung mit Druckkraft durchgeführt werden.

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = (0,57)^2 + \frac{0,003 \text{ kN/cm}^2}{0,86 \cdot 14,54} = 0,325 < 1$$

Details...

Torsionsnachweis

Bei Trägertypen dieses Beispiels ruft die Einspannung der Gabellager eine Torsion des Querschnitts hervor. Es sind daher spezielle Torsionsnachweise erforderlich, die hier jedoch nicht durchgeführt werden. Die Vorgaben können im Dialog *Details* getroffen werden, der über die gleichnamige Schaltfläche zugänglich ist.

Für die korrekte Anwendung des Verfahrens ist der Abstand e des aussteifenden Verbandes bedeutsam, der in Maske 1.2 *Geometrie* bei den Angaben für Kippen anzugeben ist. RX-HOLZ vergrößert den Abstand bei einem gevouteten Querschnitt automatisch. Ausgangspunkt für das Programm ist hierbei die Achse des Auflagers. Der Abstand e der Aussteifungen wird vom Anfang des Stabes und dort zur Achse bezogen gemessen. Er ist somit auch relevant für den Nachweis der Verdrehung des Querschnitts um seine Achse.

2.1.5 Dokumentation

Protokoll...

Ein Klick auf die Schaltfläche [Protokoll] startet die Druckvorschau der berechneten Daten.

Das geladene Ausdruckprotokoll kann angepasst werden über das Protokoll-Menü

Bearbeiten → **Auswahl**.

Im Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion* wählen wir im Register *Ergebnisse* nur die Nachweise der **Tragsicherheit** aus, indem wir die Häkchen für die Optionen *Gebrauchstauglichkeit* und *Brandschutz* entfernen.

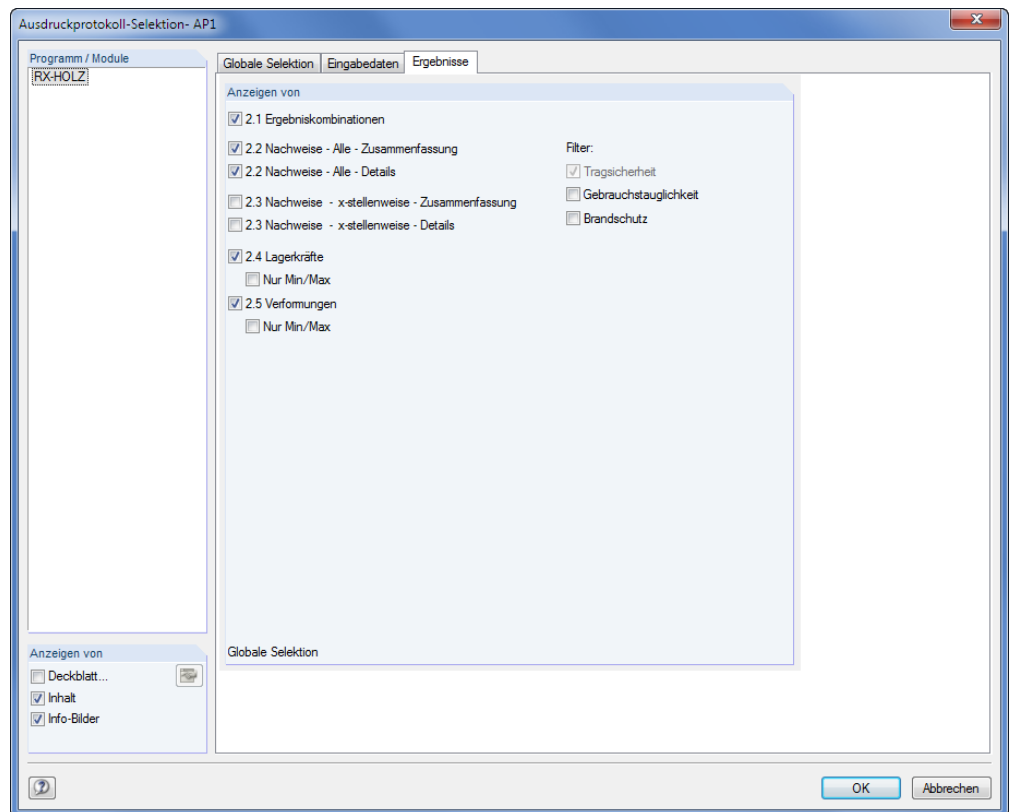


Bild 2.10: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*

Die anderen voreingestellten Werte belassen wir und bestätigen unsere Auswahl mit [OK].

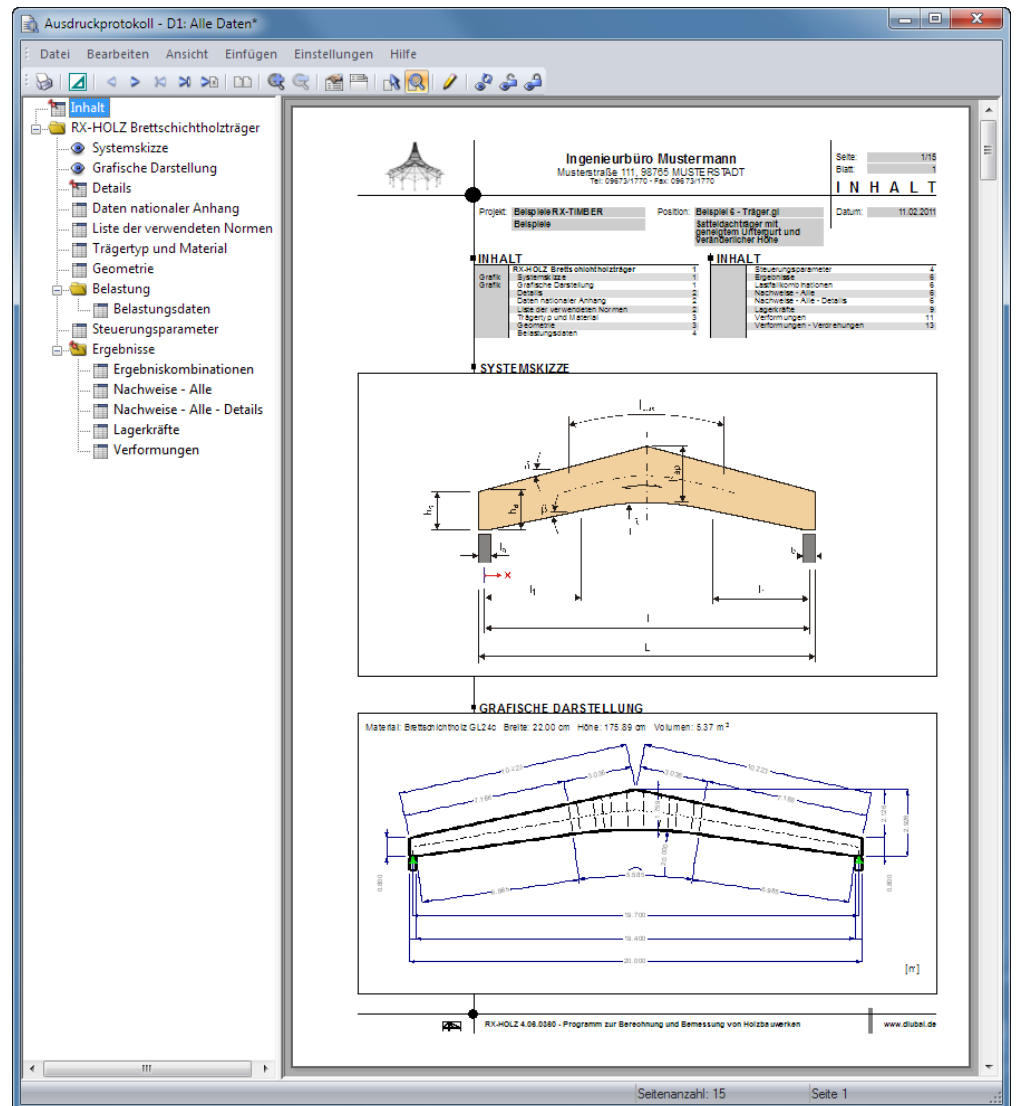


Bild 2.11: Druckvorschau im Ausdruckprotokoll

Programm RX-HOLZ © 2016 Dlubal Software GmbH

2.2.2 Kippnachweis

Die Generierung der Belastung wird nicht mehr behandelt, da sie im vorherigen Beispiel vorgestellt wurde. Zum Vergleich der Ergebnisse empfiehlt sich das Modell 08.gl, das automatisch mit installiert wurde. Zur Untersuchung des Kippnachweises betrachten wir die Ergebniskombination 2 mit den Belastungen aus Dachaufbau und Schnee.

$$EK2 = 1,35 \cdot LF1 + 1,50 \cdot LF41$$

Für den Nachweis wählen wir in Maske 1.4 *Steuerungsparameter* eine relativ exakte Teilung des Binders mit **20 Teilungen**. Anschließend führen wir die [Berechnung] durch.

Berechnung

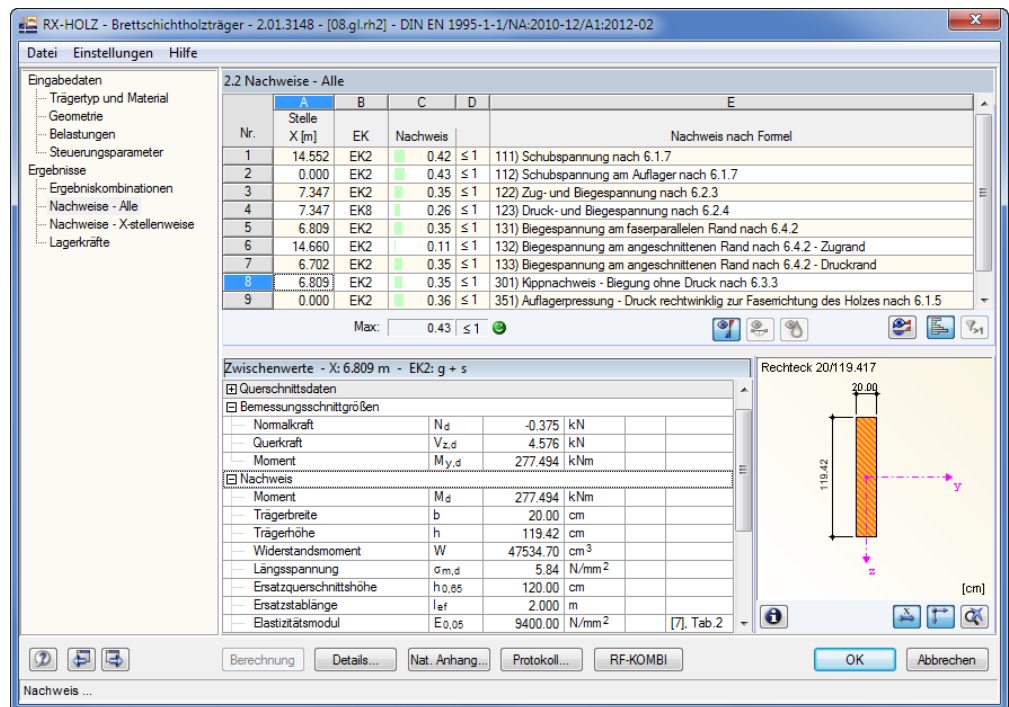


Bild 2.14: Maske 2.2 Nachweise - Alle für Tragfähigkeit

Für die X-Stelle von 6,809 m gibt das Programm eine Auslastung von 35 % im Kippnachweis aus. Der zugehörige Schlankheitsgrad wird mit $\lambda_{rel,m} = 0,375$ angegeben. Als Ersatzhöhe $h_{0,65}$ errechnet das Programm 120 cm. Die Ersatzhöhe für den Schlankheitsgrad nimmt RX-HOLZ hierbei wie im Kapitel 2.1.4 erläutert mit der Höhe an, die im Abstand von 65 % der eingegebenen Ersatzstablänge vom Stabende mit dem kleineren Querschnitt aus vorliegt (siehe DIN 1052:2008-12, 8.4.3 (3), 8.4.3 (4) und 8.4.4 (2)).

Die Ersatzstablänge wurde bei diesem Träger auf 2,00 m festgesetzt. In einem händischen Nachweis würde man nun die Höhe an jedem Punkt, an dem die Kiplänge verkürzt wird, ermitteln und mit dieser Höhe die Spannung für den Punkt ermitteln. Den Kippbeiwert z. B. im Nachweis (6.34) gemäß DIN EN 1995-1-1 ermitteln wir mit einer Ersatzhöhe im Abstand von $0,65 \cdot l_{ef}$.

Für den Handnachweis benutzen wir folgende Werte:

X-Stelle	= 6,81 m
Höhe des Querschnitts	= 1,19 m
Ersatzhöhe $h_{0,65}$	= 1,20 m
Biegefestigkeit $f_{m,k}$	= 24 N/mm ² (GL24c)
Trägerbreite b	= 180 mm

Bezogener Schlankheitsgrad nach Gl. (6.30)

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{0,78 \cdot b^2 \cdot h_{0,65} \cdot l_{ef} \cdot E_{0,05} \cdot 1,4}} = \sqrt{\frac{2,4}{\frac{20^2 \cdot 0,78}{120 \cdot 200} \cdot 940 \cdot 1,4}} = 0,375 \leq 0,7$$

Kippbeiwert $k_{crit} = 1$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 24 \cdot \frac{0,9}{1,3} = 16,62 \frac{N}{mm^2}$$

Widerstandsmoment an X-Stelle = 6,81 m

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{20 \cdot 119,7^2}{6} = 47203 cm^3$$

Spannung an X-Stelle = 6,81 m

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{27749 kNcm}{47203,3 cm^3} = 0,588 \frac{kN}{cm^2} = 5,88 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{5,88}{1 \cdot 16,62} = 0,35 < 1$$

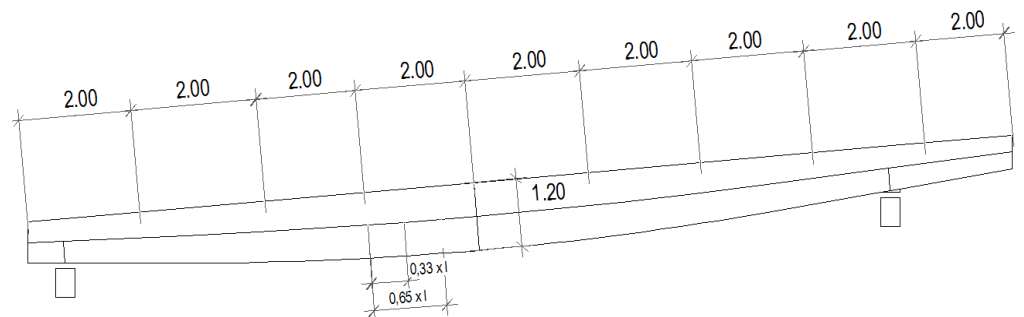


Bild 2.15: Ersatzhöhe im händischen Nachweis

Im Bild oben ist erkennbar, dass das Programm im Gegensatz zum Handnachweis nicht mit der 0,65fachen, sondern mit der 0,33fachen effektiven Stablänge rechnet.

Dies liegt u. a. daran, dass ein Programm nicht erkennen kann, ob die Teilung in X-Stellen bzw. die daraus resultierende Ersatzhöhe zu einem sinnvollen Ergebnis führt. Im Firstbereich des Trägers könnte es sonst vorkommen, dass die Ersatzhöhe hinter dem First gewählt wird und damit deutlich zu gering berechnet wird.

3. Durchlaufträger

Dieses Beispiel stellt die Nachweise gemäß DIN EN 1995-1-1:2010 anhand eines Zweifeldträgers mit 4,00 m und 5,00 m Feldlänge vor.

Die Modelldaten sind im Modell *07.dlt* des Projekts *Beispiele RX-HOLZ* abgelegt. Sie ist unter den Beispieldateien des Programms **DLT** zu finden.

3.1 System und Belastung

LF1 - Eigengewicht und Aufbau

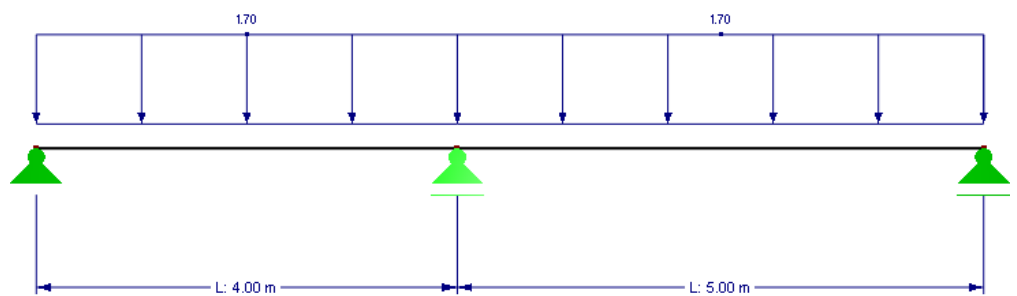


Bild 3.1: System und Belastung

Modell

Querschnitt: $b/d = 70/240 \text{ mm}$ NKL 1 $\rightarrow k_{\text{def}} = 0,6$

Material: NH C24

Die Decke befindet sich oberhalb eines Wohnraums. Daraus folgt die Nutzlast Kategorie **A** und die KLED **mittel**.

Feldlängen: $l_1 = 4,00 \text{ m}$ $l_2 = 5,00 \text{ m}$

Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau $g = 1,7 \text{ kN/m}$ KLED = ständig

Lastfall 2: Nutzlast $q = 2,0 \text{ kN/m}$ KLED = mittel

Ergebniskombinationen

Tragfähigkeit EK 1 = $1,35 \cdot \text{LF1} = 2,3 \text{ kN/m}$

EK 2 = $1,35 \cdot \text{LF1} + 1,5 \cdot \text{LF2} = 5,3 \text{ kN/m}$

Gebrauchstauglichkeit

• Charakteristisch seltene Situation

Beschränkung der Durchbiegung: $w_{\text{inst}} = w_{g,\text{inst}} + w_{q,1,\text{inst}} + \sum \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,\text{inst}} \leq l/300$

$$G_C = g \cdot 1,0 + p \cdot 1,0 = 1,7 \text{ kN/m} + 2,0 \text{ kN/m} = 3,7 \text{ kN/m}$$

• Quasi-ständige Bemessungssituation

$$w_{\text{net,fin}} = w_{g,\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{q,i,\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_C \leq l/300$$

$$GQ = (1 + k_{\text{def}}) \cdot g + \psi_{2,i} \cdot p \cdot (1 + k_{\text{def}}) = (1 + 0,6) \cdot 1,7 \text{ kN/m} + 0,3 \cdot 2 \text{ kN/m} \cdot 1,6 = 3,68 \text{ kN/m}$$

Um die Ergebnisse der Handrechnung besser mit denen des Programms vergleichen zu können, wird das Eigengewicht des Trägers nicht berücksichtigt.

3.2 Eingabe der Modelldaten

3.2.1 Basisangaben

Starten Sie das Programm über das Icon **Dlubal RX-HOLZ 2.xx** und legen im Projektmanager für das Modul **DLT** ein neues Modell an.

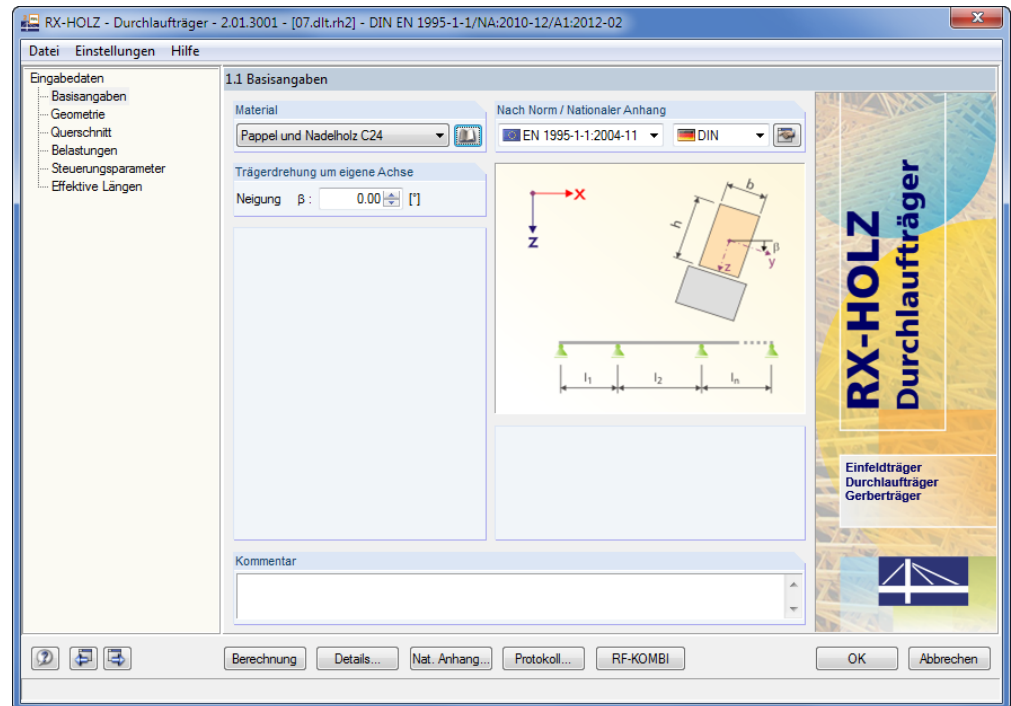
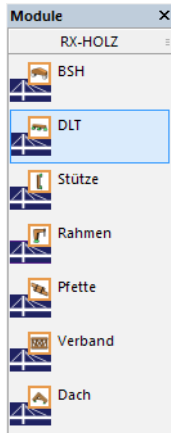


Bild 3.2: Maske 1.1 Basisangaben

Als *Material* wählen wir **Pappel und Nadelholz** der Festigkeitsklasse **C24**.

Die *Trägerdrehung* um die eigene Achse belassen wir bei $\beta = 0^\circ$.

3.2.2 Geometrie

In der zweiten Maske sind die Anzahl der Felder, die Feldlängen sowie die Lager- und Gelenkbedingungen des Trägers einzugeben. Optional können den Lagern und Gelenken benutzer-spezifische Federkonstanten zugewiesen oder Kragträger definiert werden.

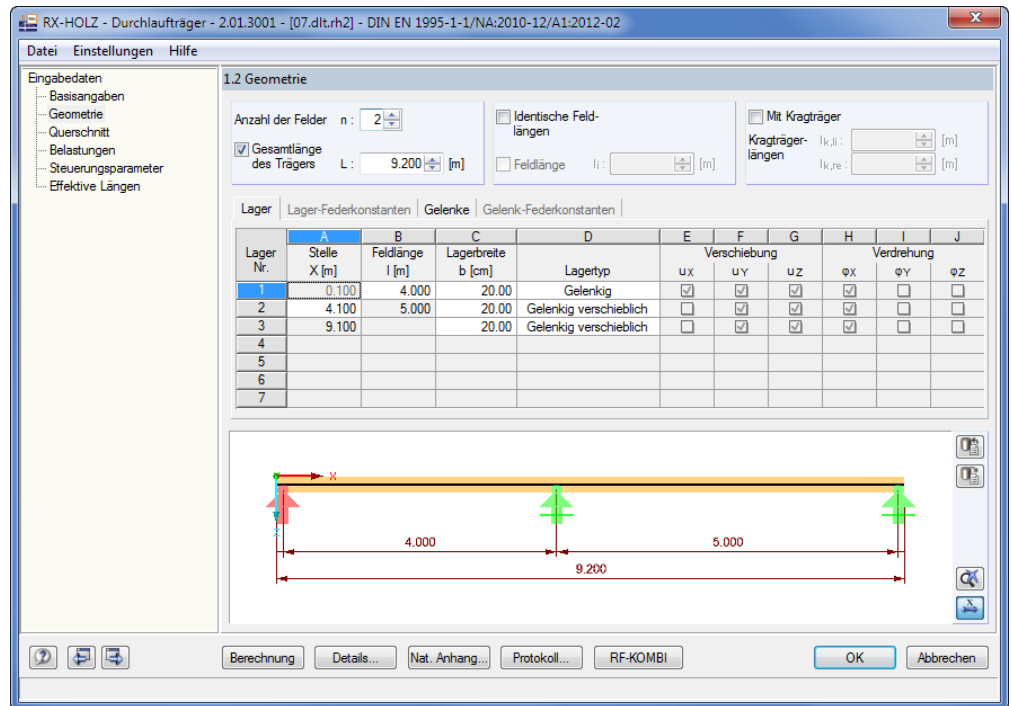


Bild 3.3: Maske 1.2 Geometrie

Für unser Beispiel wählen wir:

- Anzahl der Felder n : **2**
- Gesamtlänge L : **9,20 m**
- Zwei Felder mit Feldlänge l : **4,00 m** bzw. **5,00 m**
- Lagerbreite b : **20 cm**

Aus der Lagerbreite resultiert die erste Stelle X von **0,10 m**.

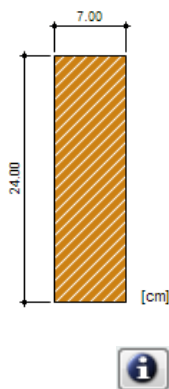
Als *Lagertyp* wählen wir ein *Gelenkiges* Lager Nr. 1 und zwei *Gelenkig verschiebliche* Lager in X -Richtung Nr. 2 und 3. Über die Option *Benutzerdefiniert* wäre es möglich, dem Lager jeden individuellen Freiheitsgrad sowie Weg- und Drehfedersteifigkeiten zuzuweisen.

3.2.3 Querschnitt

In der nächsten Maske sind die Querschnittsabmessungen sowie ggf. Vouten zu definieren, die an die Momentenverläufe angepasst sind. Im Abschnitt *Querschnittsänderungen* lässt sich der Träger mit Angabe der Länge sowie Höhe und Neigung der Änderung beschreiben.

Als *Querschnitt* wählen wir die *Abmessungen* $b = 7 \text{ cm}$ und $h = 24 \text{ cm}$. Die *Nullpunkt-Lage* wählen wir für den **Trägeranfang**. Alle übrigen Werte belassen wir (siehe Bild 3.4).

Unterhalb werden Informationen zu Fläche, Volumen und Masse des Trägers angezeigt. Mit der [Info]-Schaltfläche können die Querschnittswerte des Trägers wie Widerstandsmoment etc. eingeblendet werden.



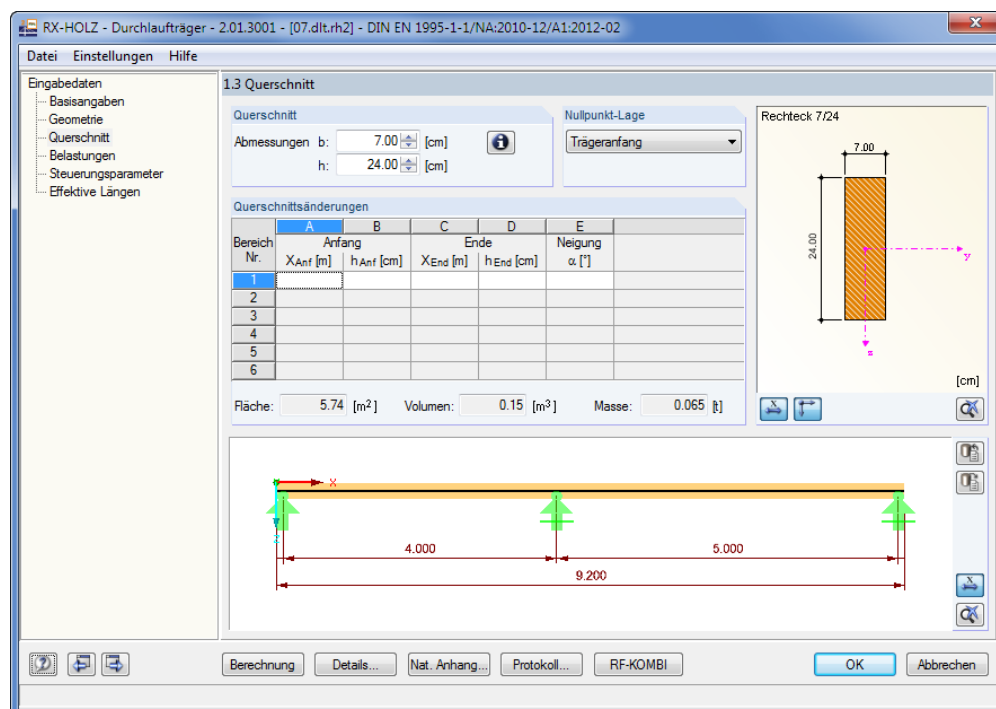


Bild 3.4: Maske 1.3 Querschnitt

3.2.4 Belastung

In dieser Maske sind die diversen Lastarten einzugeben. Es stehen Gleichlasten, Blocklasten, Trapezlasten, Einzellasten und Momente zur Verfügung. Diese Lasten können im Dialog *Lastfälle* (siehe Bild 3.6) getrennt nach x-, y- und z-Richtung eingegeben werden.

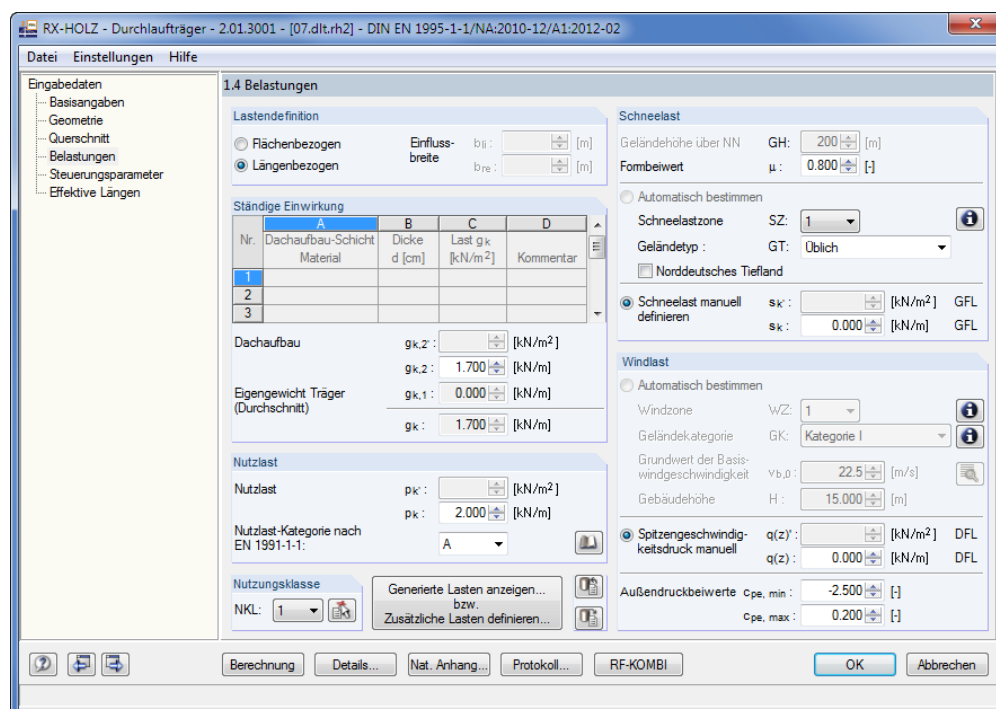


Bild 3.5: Maske 1.4 Belastung

Für das Beispiel wählen wir eine längenbezogene Belastung. Die Belastungen sind wie im Bild oben gezeigt einzugeben. Die Wind- und Schneelasten setzen wir manuell zu null.

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...

Mit der Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen] wechseln wir in den Dialog *Lastfälle*, um die generierten Lasten zu betrachten.

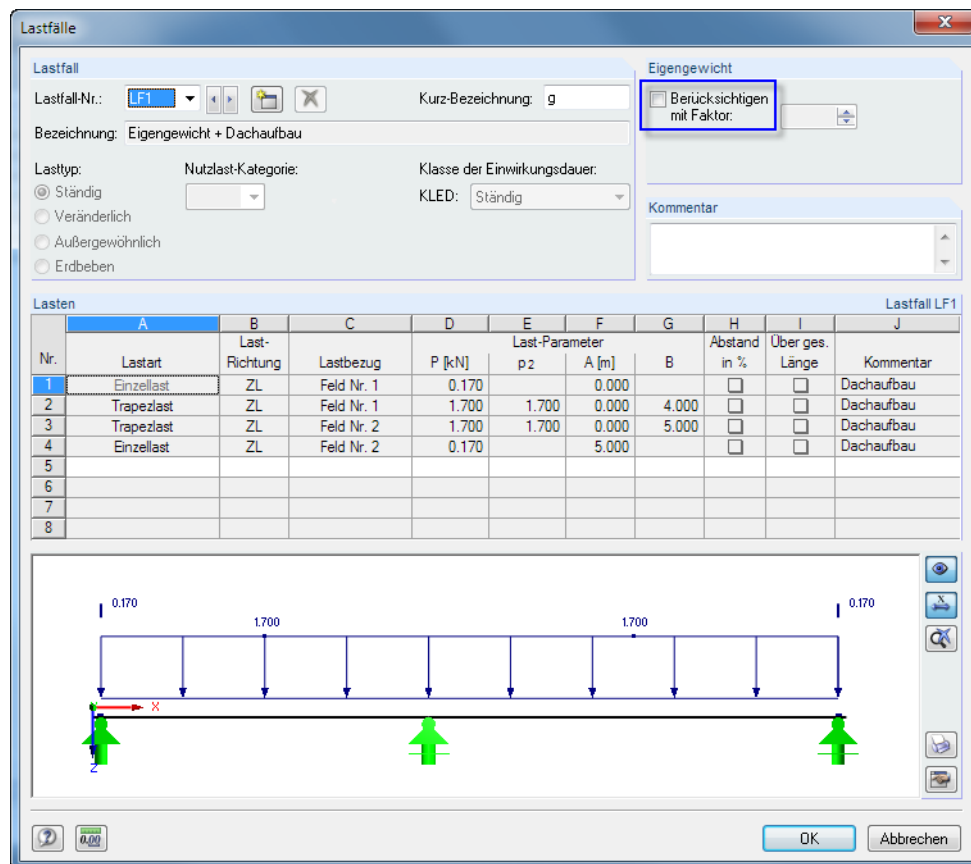


Bild 3.6: Dialog *Lastfälle*

Es wird eine Einzellast resultierend aus der Linienlast außerhalb der Auflagerachse generiert, die ein negatives Moment an dem kurzen Überhang des Trägers verhindert.

Wir deaktivieren das *Eigengewicht* für die Berechnung.

3.2.5 Steuerungsparameter

In Maske 1.5 *Steuerungsparameter* (siehe Bild 3.7) sind die Nachweise für die *Tragfähigkeit*, die *Gebrauchstauglichkeit* und den *Brandschutz* festzulegen. Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit kann eine eventuelle *Überhöhung* vorgegeben werden. Wir verzichten auf die Nachweise des Brandschutzes, indem wir die entsprechende Option deaktivieren.

Im Abschnitt *Zusätzlich ausgeben* haken wir alle Optionen an: *Lagerkräfte*, *Verformungen* und *Auflagerpressung*.

Es soll keine *Umlagerung der Momente* zu nicht ausgenutzten Querschnittsbereichen nach DIN EN 1990, Abs. 1.5.6.4 erfolgen.

Die *Anzahl der Stabteilungen* steuert die Stellen, an denen RX-HOLZ die Nachweise führt.

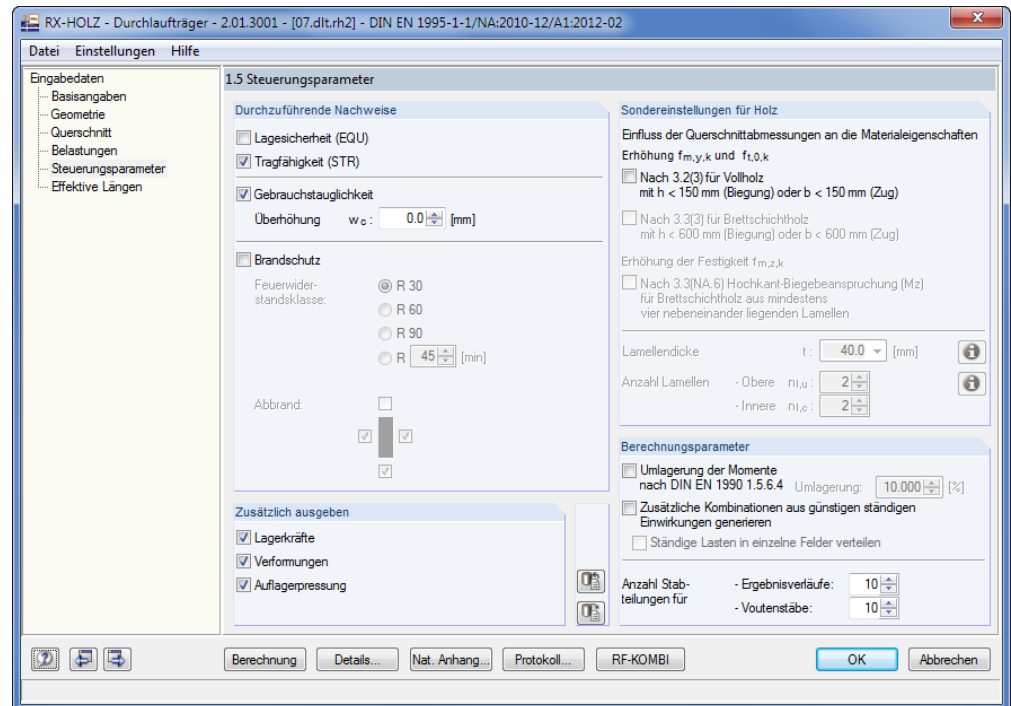


Bild 3.7: Maske 1.5 Steuerungsparameter

Nat. Anhang...

Mit der Schaltfläche [Nat. Anhang] rufen wir den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* auf. Dort können wir die Teilsicherheitsbeiwerte und die Grenzwerte der Verformungen überprüfen.

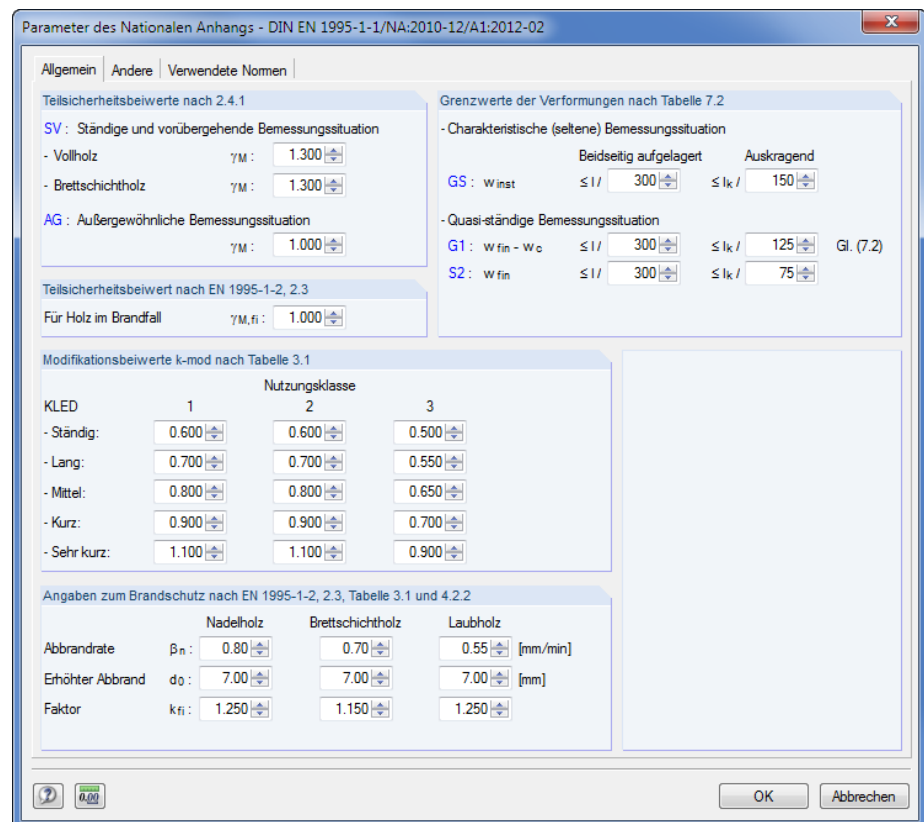


Bild 3.8: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs*

Die Verformung kann unabhängig für das Feld und den Kragarm festgelegt werden.

3.2.6 Effektive Längen

Für unser Beispiel nehmen wir den Faktor β auf der sicheren Seite liegend mit **1,0** an. Diese Werte werden vom Programm automatisch voreingestellt, sodass wir in dieser Maske keine weiteren Einstellungen vornehmen.

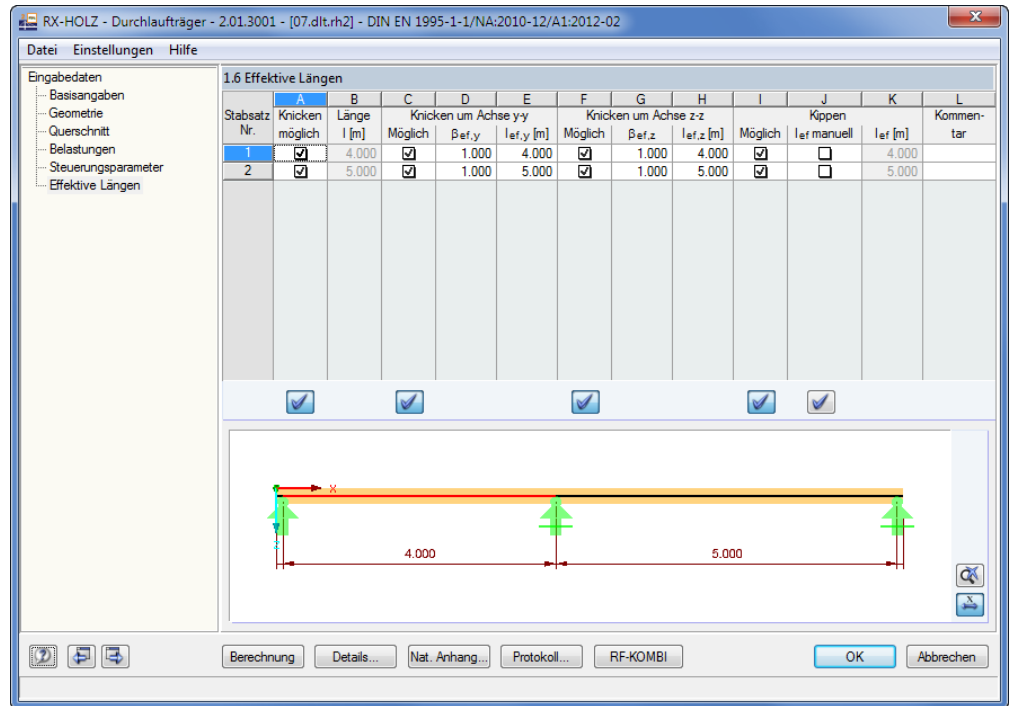


Bild 3.9: Maske 1.6 Effektive Längen

3.3 RF-KOMBI

RF-KOMBI

In RX-HOLZ ist das Modul RF-KOMBI zur Erzeugung von Kombinationen nach DIN EN 1990 und DIN EN 1995-1-1 integriert. Die Lastfälle werden dabei automatisch kombiniert, sodass dieses Modul in der Regel nicht extra aufgerufen werden muss. Wir wechseln jedoch über die Schaltfläche [RF-KOMBI] in dieses Modul, um die Kombinationen einzusehen, die im Hintergrund generiert werden.

Wir stellen den RF-KOMBI-Fall FA2 ein und betrachten die Kombinatorik der *Gebrauchstauglichkeit*.

Der *Deformationsbeiwert* ist mit $k_{\text{def}} = 0,6$ automatisch entsprechend der jeweiligen Nutzungs-kategorie definiert. Für unser Beispiel hatten wir die Nutzungskategorie 1 vorgegeben.

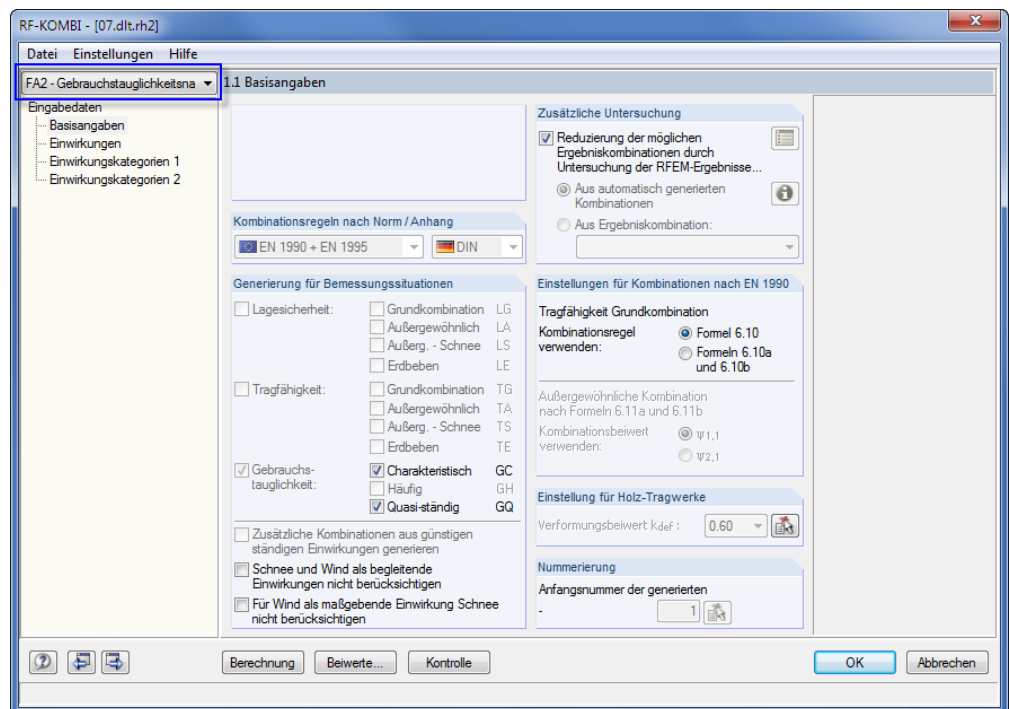


Bild 3.10: Modul RF-KOMBI, Fall 2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

In der nächsten Maske 1.2 *Einwirkungen* werden die Lasten den entsprechenden Einwirkungen zugewiesen und damit die KLED gebildet.

Für die Nutzlast wird bereits die Klasse der Lasteinwirkungsdauer nach Einwirkung A und damit die Lastdauer *mittel* berücksichtigt.

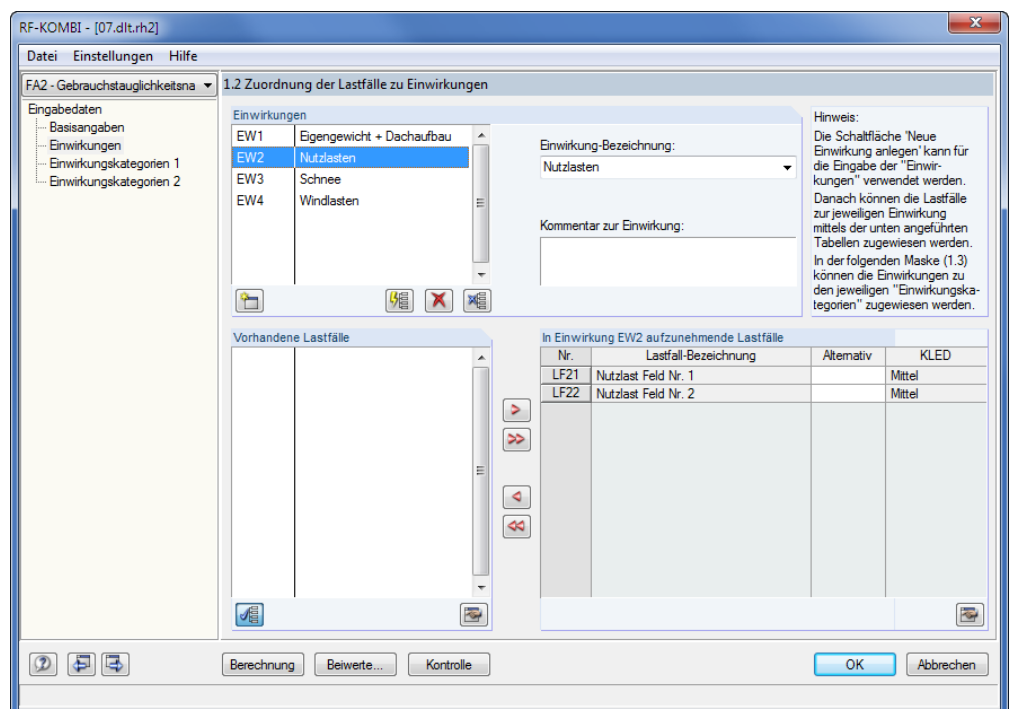
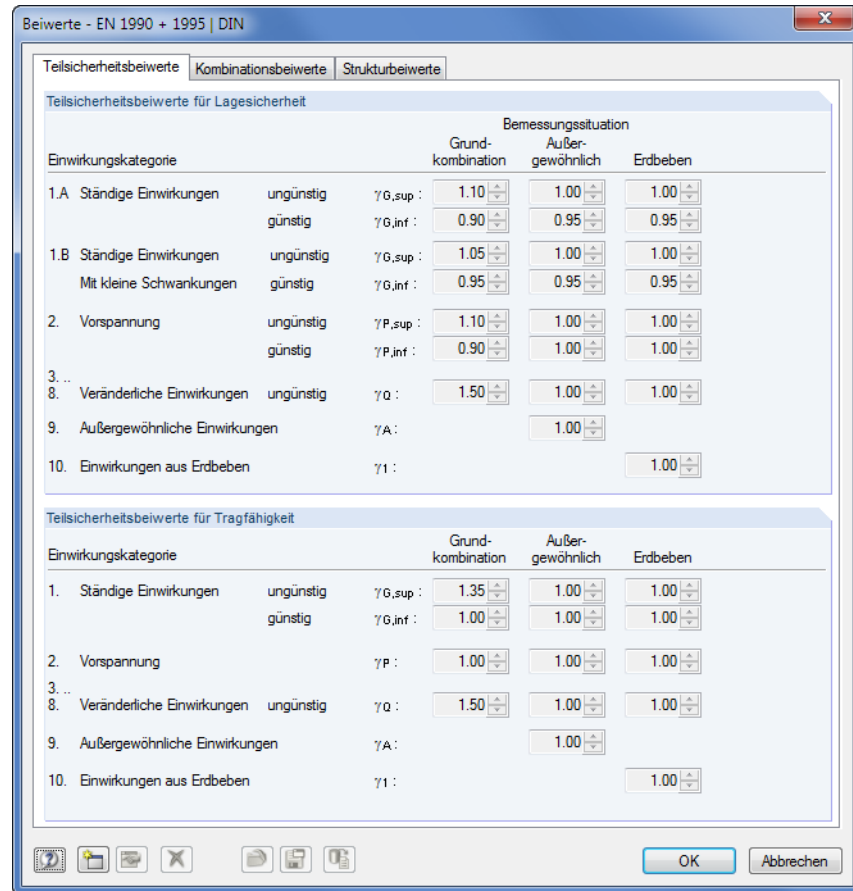


Bild 3.11: RF-KOMBI Maske 1.2: Zuordnung der Lastfälle zu Einwirkungen

Die Möglichkeiten von RF-KOMBI sind im Handbuch zu diesem Modul beschrieben, das auf www.dlubal.de zum Download bereitliegt. Für unser einfaches Beispiel wurden die Einwirkungen und zugehörigen Klassen der Lasteinwirkungsdauer automatisch korrekt gebildet.

Beiwerte...

Die verwendeten [Beiwerte] können in einem Dialog überprüft werden.



Einwirkungskategorie			Bemessungssituation		
			Grundkombination	Außergewöhnlich	Erdbeben
1.A Ständige Einwirkungen	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1.10	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0.90	0.95	0.95
1.B Ständige Einwirkungen Mit kleine Schwankungen	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1.05	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0.95	0.95	0.95
2. Vorspannung	ungünstig	$\gamma_{P,sup}$	1.10	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{P,inf}$	0.90	1.00	1.00
3. ...					
8. Veränderliche Einwirkungen	ungünstig	γ_Q	1.50	1.00	1.00
9. Außergewöhnliche Einwirkungen		γ_A		1.00	
10. Einwirkungen aus Erdbeben		γ_I			1.00

Einwirkungskategorie			Bemessungssituation		
			Grundkombination	Außergewöhnlich	Erdbeben
1. Ständige Einwirkungen	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1.35	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	1.00	1.00	1.00
2. Vorspannung		γ_P	1.00	1.00	1.00
3. ...					
8. Veränderliche Einwirkungen	ungünstig	γ_Q	1.50	1.00	1.00
9. Außergewöhnliche Einwirkungen		γ_A		1.00	
10. Einwirkungen aus Erdbeben		γ_I			1.00

Bild 3.12: Dialog *Beiwerte*, Register *Teilsicherheitsbeiwerte*

Berechnung

Nach der [Berechnung] können wir die Ergebnisse der Kombinatorik mit unserer Handrechnung nachvollziehen (siehe Kapitel 3.1, Seite 21). Die Berechnung erfolgt korrekt (siehe Bild 3.13).

Die erhöhte Anzahl der Kombinationen in RF-KOMBI resultiert aus der zusätzlich erforderlichen Kombination der feldweisen Lasten auf dem Durchlaufträger.

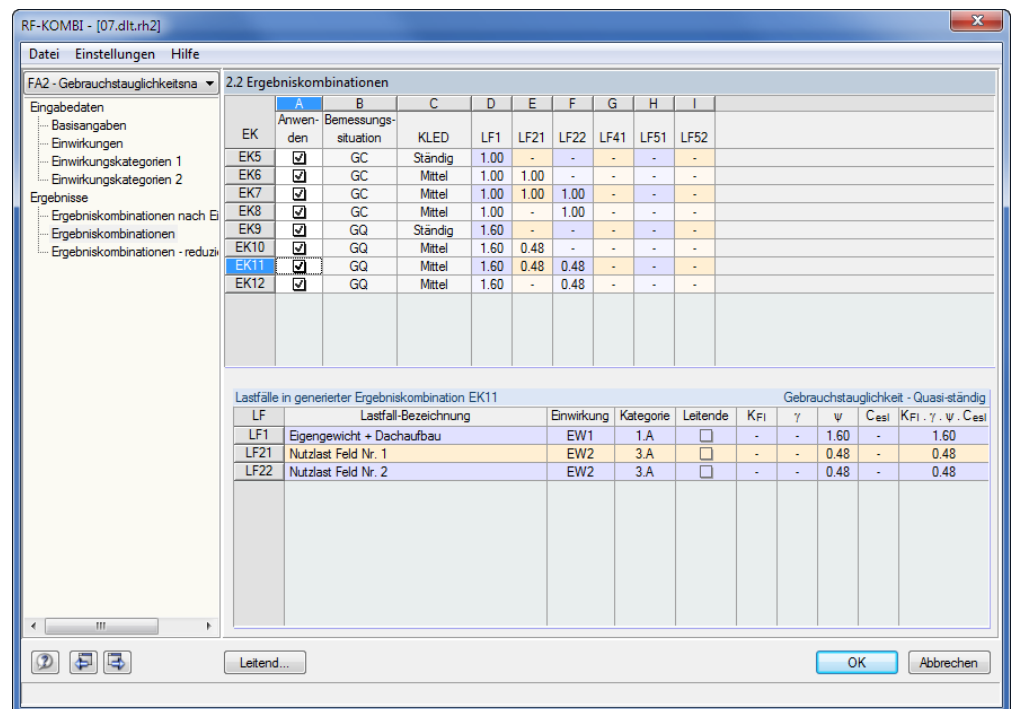


Bild 3.13: RF-KOMBI-Maske 2.2: Ergebniskombinationen

Es besteht die Möglichkeit, bestimmte Kombinationen für die Berechnung im Programm *DLT* auszuwählen. Für unser Beispiel sollen alle Kombinationen der Maske 2.2 berücksichtigt werden.

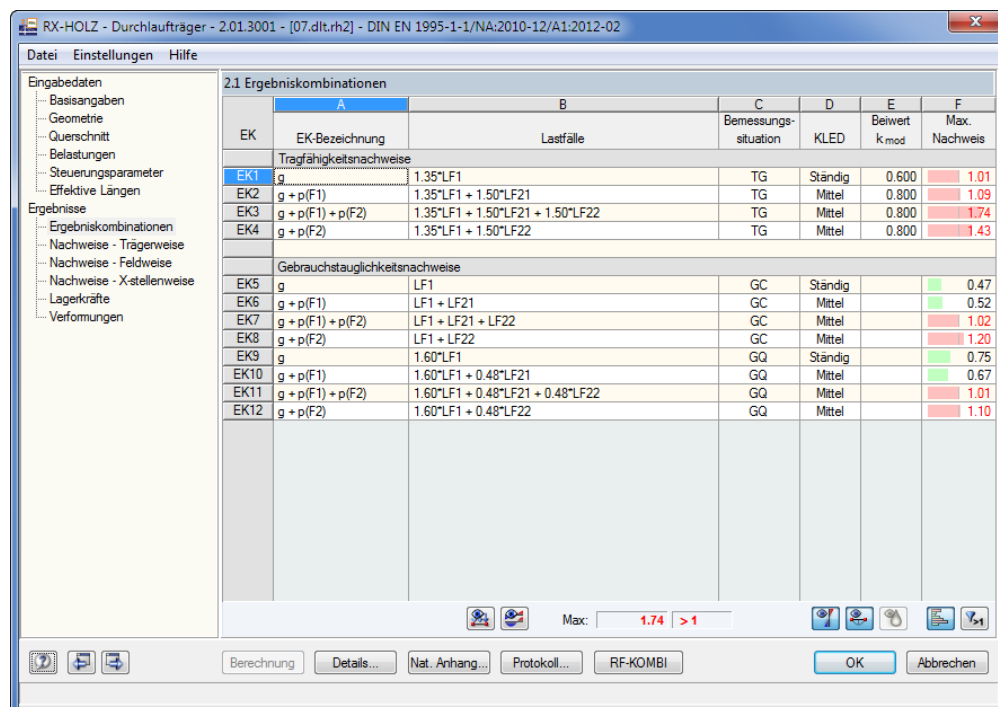
Mit [OK] erfolgt die Rückkehr in das Programm *DLT*.

3.4 Ergebnisse

3.4.1 Ergebniskombinationen

Berechnung

Nach der [Berechnung] werden in Maske 2.1 die Nachweise sämtlicher Kombinationen für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit der zugehörigen Ausnutzung ausgegeben.



2.1 Ergebniskombinationen						
EK	EK-Bezeichnung	Lastfälle	Bemessungssituation	KLED	Beiwert k_{mod}	Max. Nachweis
Tragfähigkeitsnachweise						
EK1	g	1.35*LF1	TG	Ständig	0.600	1.01
EK2	g + p(F1)	1.35*LF1 + 1.50*LF21	TG	Mittel	0.800	1.09
EK3	g + p(F1) + p(F2)	1.35*LF1 + 1.50*LF21 + 1.50*LF22	TG	Mittel	0.800	1.74
EK4	g + p(F2)	1.35*LF1 + 1.50*LF22	TG	Mittel	0.800	1.43
Gebrauchstauglichkeitsnachweise						
EK5	g	LF1	GC	Ständig		0.47
EK6	g + p(F1)	LF1 + LF21	GC	Mittel		0.52
EK7	g + p(F1) + p(F2)	LF1 + LF21 + LF22	GC	Mittel		1.02
EK8	g + p(F2)	LF1 + LF22	GC	Mittel		1.20
EK9	g	1.60*LF1	GQ	Ständig		0.75
EK10	g + p(F1)	1.60*LF1 + 0.48*LF21	GQ	Mittel		0.67
EK11	g + p(F1) + p(F2)	1.60*LF1 + 0.48*LF21 + 0.48*LF22	GQ	Mittel		1.01
EK12	g + p(F2)	1.60*LF1 + 0.48*LF22	GQ	Mittel		1.10

Bild 3.14: Maske 2.1 Ergebniskombinationen

Der Beiwert k_{mod} zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Setzungsverhaltens infolge der Lasteinwirkungsdauer und der klimatischen Besonderheiten des Werkstoffes Holz wird automatisch auf den erforderlichen Wert entsprechend der KLED und der NKL angewandt.

In jeder Ergebnismaske von RX-HOLZ ist es möglich, mit einem Klick auf die Schaltfläche [Überschreitung] nur die überlasteten Nachweise zu betrachten sowie über die Schaltfläche [Relationsskala] die farbige Darstellung der Auslastung an- oder auszuschalten.

Über die Schaltfläche [Lasten der Lastfälle] können die Lasten und die Klassen der Lasteinwirkungen betrachtet werden, die für die aktuelle Ergebniskombination angesetzt wurden (d. h. die EK, in dessen Zeile sich der Cursor befindet).

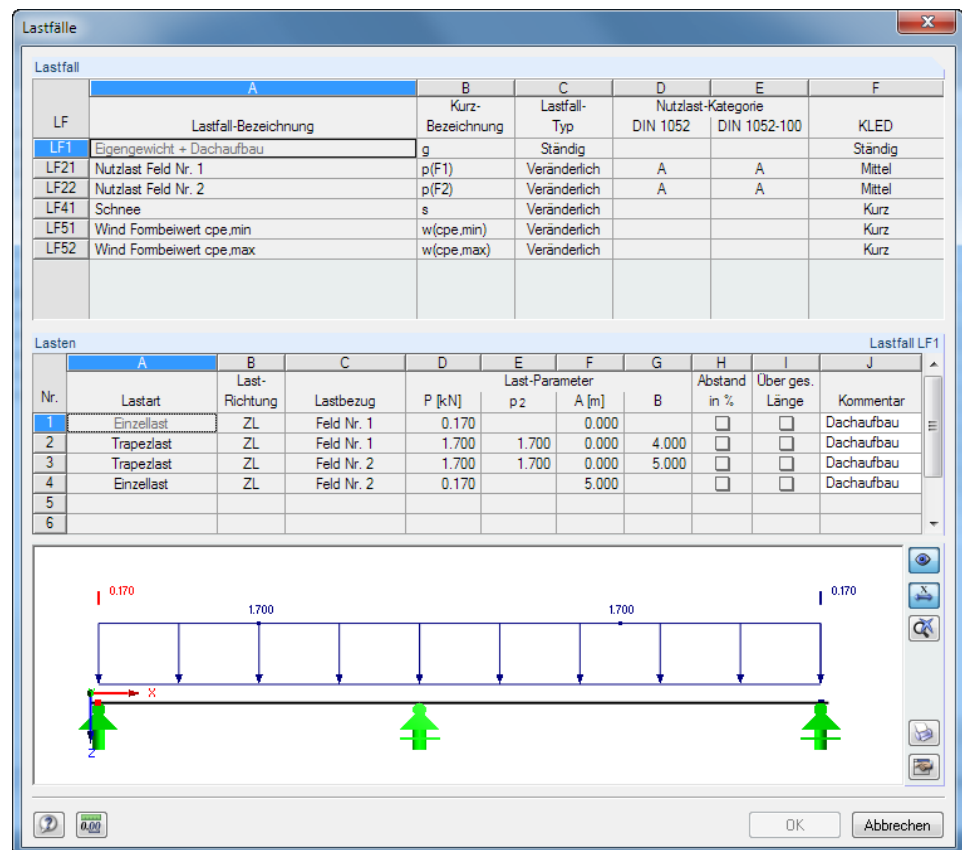


Bild 3.15: Dialog Lastfälle

3.4.2 Nachweise - Trägerweise

In dieser Maske werden alle maßgebenden Nachweise für den gesamten Träger angezeigt.

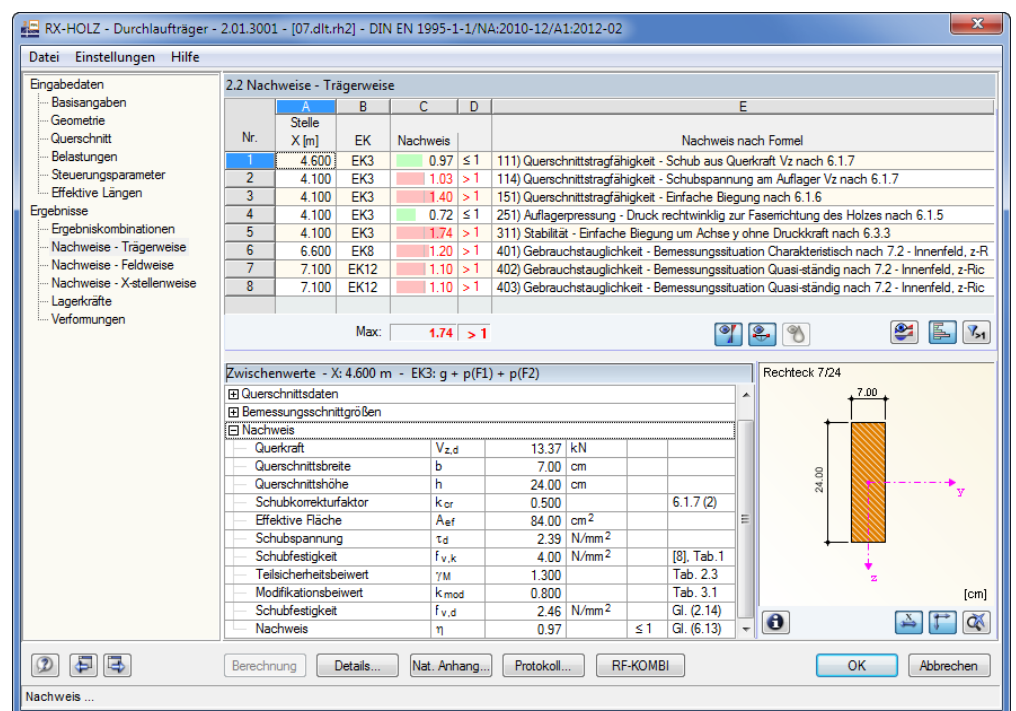


Bild 3.16: Maske 2.2 Nachweise - Trägerweise

Alle Beiwerte und erforderlichen Bemessungsschnittgrößen können interaktiv eingesehen werden: Mit einem Klick auf den entsprechenden Nachweis in der oberen Tabelle können sämtliche *Zwischenwerte* des Nachweises im Abschnitt unterhalb betrachtet werden.

Über die Schaltfläche [Ergebnisverläufe] kann der Verlauf der Schnittgrößen und Auslastungen grafisch überprüft werden. Diese Schaltfläche befindet sich oberhalb der Querschnittsgrafik. Es erscheint ein neues Fenster, in dem die Schnittgrößen und Durchbiegungen des Trägers für jede Ergebniskombination gezielt ausgewählt werden können. Die Ergebniskombination lässt sich in der Liste oben festlegen.

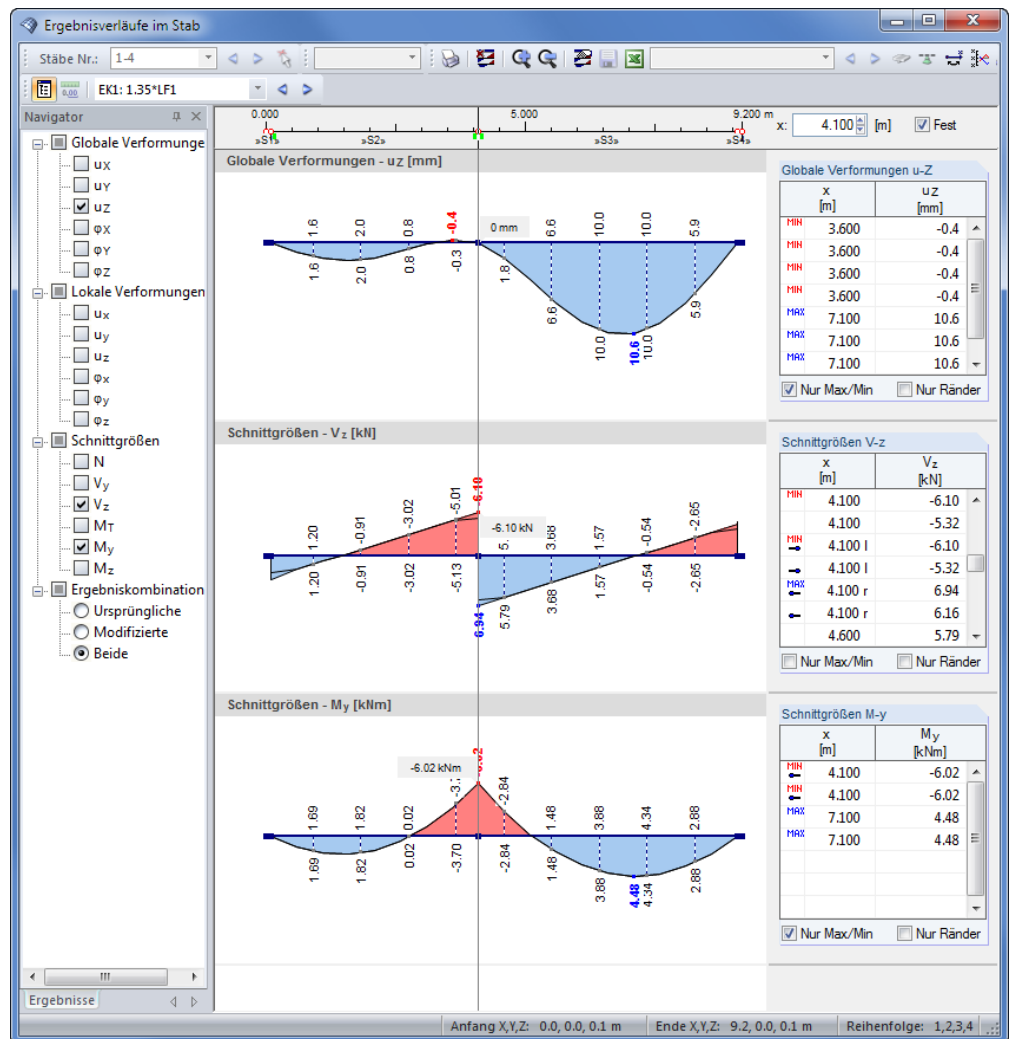


Bild 3.17: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*

Im Navigatoreintrag *Ergebniskombinationen* kann mit der Option **Beide** die Reduzierung der Kräfte gemäß den Einstellungen im Dialog *Details* betrachtet werden. Dies ist eine hilfreiche Funktion, um z. B. die Auswirkung der Querkraftreduzierung abzuschätzen.

Die Schaltfläche [Drucken] übergibt diese Grafik direkt in das Ausdruckprotokoll.

3.4.3 Tragsicherheit



In Maske 2.2 *Nachweise - Trägerweise* lassen sich auch nur die Nachweise zur Tragsicherheit anzeigen, wenn über die Schaltfläche [Gebrauchstauglichkeit] die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit ausgeblendet werden.

2.2 Nachweise - Trägerweise

	A	B	C	D	E
	Stelle				
Nr.	X [m]	EK	Nachweis		Nachweis nach Formel
1	4.600	EK3	0.97 ≤ 1		111) Querschnittstragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vz nach 6.1.7
2	4.100	EK3	1.03 > 1		114) Querschnittstragfähigkeit - Schubspannung am Auflager Vz nach 6.1.7
3	4.100	EK3	1.40 > 1		151) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung nach 6.1.6
4	4.100	EK3	0.72 ≤ 1		251) Auflagerpressung - Druck rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes nach 6.1.5
5	4.100	EK3	1.74 > 1		311) Stabilität - Einfache Biegung um Achse y ohne Druckkraft nach 6.3.3

Max: 1.74 > 1

</

Bild 3.18: Maske 2.2 *Nachweise - Trägerweise* nur für Tragsicherheit

Die Ergebnisse von RX-HOLZ werden durch eine Handrechnung überprüft.

Schubkraftbeanspruchung am Auflager nach 6.1.7

Die maximale Querkraftbeanspruchung liegt über dem mittleren Auflager mit 16,02 kN vor. Mit der Reduzierung nach 6.1.7(NA.5) kann die Beanspruchung auf 14,2 kN und damit auf die Querkraft reduziert werden, die 24 cm (= h) vom Auflager entfernt auftritt.

$$\text{Schubspannung} \quad \tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot k_{cr} \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{14,2 \text{ kN}}{3,5 \text{ cm} \cdot 24 \text{ cm}} = 0,254 \text{ kN/cm}^2 = 2,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schubfestigkeit} \quad f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 4 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{2,54}{2,46} = 1,03 > 1$$

Der Nachweis ist trotz Reduzierung der Querkraft nicht erfüllt. Mit Brettschichtholz könnte der Nachweis eingehalten werden.

Biegebeanspruchung nach 6.1.6

Die maximale Beanspruchung liegt über der Auflagermitte infolge des Stützmoments vor.

$$\text{Biegespannung} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{d,max}}{W} = \frac{13,9 \text{ kNm} \cdot 10^{-3}}{672 \text{ cm}^3 \cdot 10^{-6}} = 20,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Biegefestigkeit} \quad f_{m,d} = \frac{0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{20,68}{14,77} = 1,40 > 1$$

Auch mit einer hier nicht angesetzten Momentenausrundung von 10 % läge die Auslastung bei einem Bemessungsmoment von 12,5 kNm noch bei 126 %. Damit bleiben lediglich die Möglichkeiten, eine höhere Festigkeitsklasse von z. B. C 35 oder einen größeren Querschnitt zu wählen.

Auflagerpressung nach 6.1.5

Wie erwartet stellt sich die maximale Auflagerpressung am mittleren Auflager mit einer Belastung von 30 kN ein. Die Aufstandsfläche wird von RX-HOLZ automatisch um die zulässigen 3 cm in Faserrichtung des Holzes verlängert. Bei dem gewählten 20 cm breiten Auflager erhalten wir damit eine effektive Fläche von 182 cm².

Die maximale Beanspruchung ergibt sich auch bei diesem Nachweis über der Auflagermitte infolge des Stützmoments.

$$\text{Querdruckspannung } \sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{30 \text{ kN}}{182 \text{ cm}^2} = 0,165 \text{ kN/cm}^2 \approx 1,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Querdruckfestigkeit } f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nachweis } \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{1,65}{1,5 \cdot 1,54} = 0,71 < 1$$

Biegestäbe ohne Druckkraft nach 6.3.3 (Kippnachweis)

Zusätzlich muss für diesen Träger der Nachweis der Stabilität geführt werden. Die nachzuweisende Momentenbeanspruchung ist identisch mit der Beanspruchung des Trägers im Nachweis der Biegung im Tragfähigkeitsnachweis.

Biegespannung und Biegefestigkeit sind somit identisch mit der Bemessung nach 10.2.6 und werden hier nicht noch einmal aufgeführt.

$$\text{Trägheitsradius } i_z = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 7 \text{ cm} = 2,02 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Schlankheitsgrad } \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{l_{ef}}{\pi \cdot i_z}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} \cdot G_{05}}} = \\ &= \sqrt{\frac{5,00 \text{ m}}{\pi \cdot 2,02 \text{ cm}}} \cdot \sqrt{\frac{24 \text{ N/mm}^2}{7333 \text{ N/mm}^2 \cdot 460 \text{ N/mm}}} = 1,01 \end{aligned}$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,01 = 0,803$$

$$\text{Nachweis } \frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{20,68}{0,803 \cdot 14,77} = 1,74 > 1$$

Die bei diesem schlanken und hohen Träger zu erwartende Überlastung ließe sich durch eine Verkürzung der Knicklänge reduzieren. In RX-HOLZ könnte man eine durchgehende seitliche Halterung, die in der Realität z. B. durch eine aufgeschraubte OSB-Beplankung erreicht wird, mit dem Entfernen der Kippmöglichkeit in Maske 1.6 *Effektive Längen* modellieren.

3.4.4 Gebrauchstauglichkeit



In Maske 2.2 *Nachweise - Trägerweise* blenden wir über die Schaltfläche [Tragsicherheit] die GZT-Nachweise aus, sodass nur die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit angezeigt werden.

Um die Überlastungen aus der Tragsicherheit zu beseitigen, ändern wir für dieses Beispiel die Festigkeitsklasse von C24 auf C35. Ferner rechnen wir den Träger als mittig gehalten, indem wir in Maske 1.6 *Effektive Längen* die Kipplängen l_{ef} manuell mit **2,0 m** bzw. **2,5 m** festlegen.

Nach der [Berechnung] mit diesen Vorgaben sehen die Ergebnisse wesentlich besser aus.

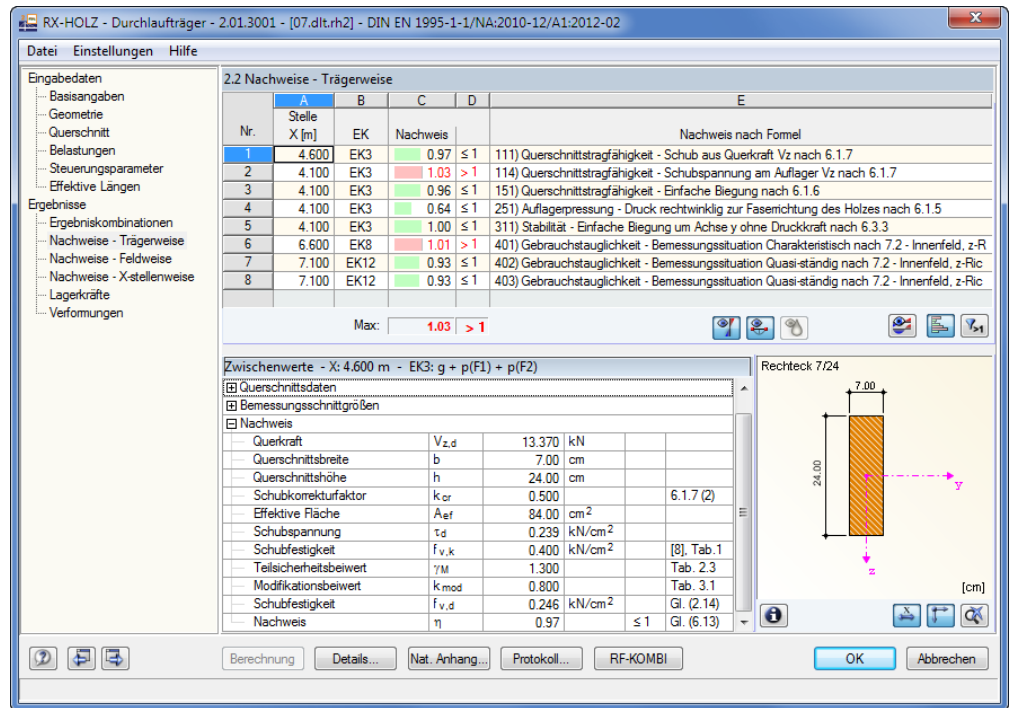


Bild 3.19: Maske 2.2 *Nachweise - Trägerweise*

Die Durchbiegungsberechnung führen wir exemplarisch für die quasi-ständige Bemessungssituation durch. Maßgebend wird die Belastung durch eine Nutzlast nur im rechten Feld.

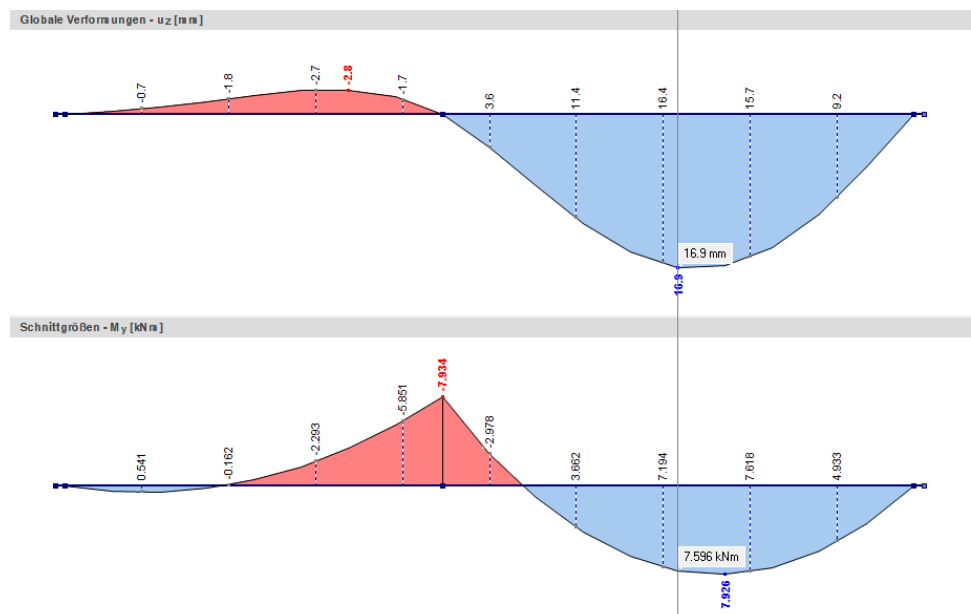


Bild 3.20: Ergebnisverläufe in RX-HOLZ für EK8

Belastung nach GC im rechten Feld: 3,7 kN/m
 Belastung nach GC im linken Feld: 1,7 kN/m
 Feldmoment: 7,93 kNm
 Stützmoment: -7,93 kNm

Durchbiegung

$$f = \frac{104 \cdot (7,93 \text{ kNm} + \frac{7,93 \text{ kNm}}{2}) \cdot 5,00^2 \text{ m}}{8064 \text{ cm}^4} + \frac{62,5 \cdot (-7,93 \text{ kNm}) \cdot 5,00^2 \text{ m}}{8064 \text{ cm}^4} = 2,299 \text{ cm}$$

Um die Durchbiegungsbemessung an den veränderten E-Modul anzupassen, teilen wir unser Ergebnis durch 1,3 ($E = 1300 \text{ kN/cm}^2$) und erhalten damit eine Durchbiegung von 1,77 cm.

Für diesen Nachweis nach Gleichung (42) gibt RX-HOLZ eine Durchbiegung von **16,9 mm** aus.

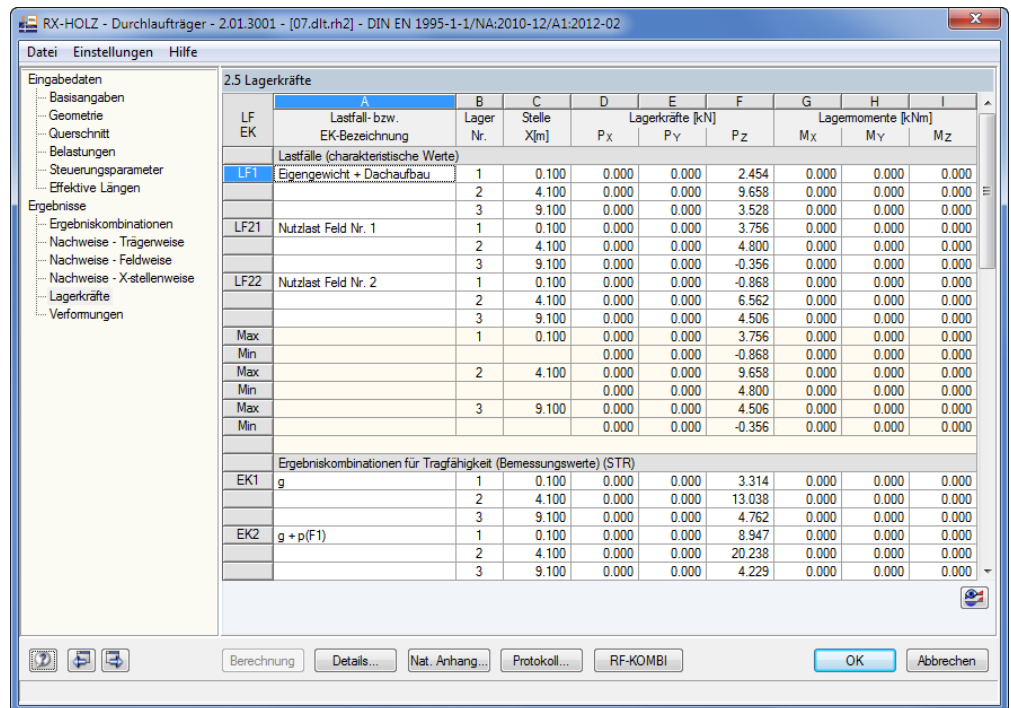
Die Durchbiegung von 16,9 mm liegt somit knapp über dem Grenzwert von

$$l/300 = 5000 \text{ mm}/300 = 16,7 \text{ mm}.$$

3.4.5 Lagerkräfte

In dieser Maske werden die Auflagerkräfte aller Lastfälle und Ergebniskombinationen ausgegeben. Die Lagerkräfte sind getrennt nach Nachweissituationen (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und ggf. Brandschutz) aufgeführt.

Zusätzlich werden für jede Nachweissituation die Maximal- und Minimalwerte ausgegeben.



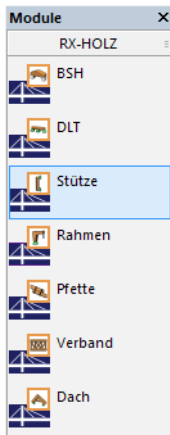
LF	EK	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Lastfall- bzw. EK-Bezeichnung	Lager Nr.	Stelle X[m]	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
Lastfälle (charakteristische Werte)										
LF1		Eigengewicht + Dachaufbau	1	0.100	0.000	0.000	2.454	0.000	0.000	0.000
			2	4.100	0.000	0.000	9.658	0.000	0.000	0.000
			3	9.100	0.000	0.000	3.528	0.000	0.000	0.000
LF21		Nutzlast Feld Nr. 1	1	0.100	0.000	0.000	3.756	0.000	0.000	0.000
			2	4.100	0.000	0.000	4.800	0.000	0.000	0.000
			3	9.100	0.000	0.000	-0.356	0.000	0.000	0.000
LF22		Nutzlast Feld Nr. 2	1	0.100	0.000	0.000	-0.868	0.000	0.000	0.000
			2	4.100	0.000	0.000	6.562	0.000	0.000	0.000
			3	9.100	0.000	0.000	4.506	0.000	0.000	0.000
Max			1	0.100	0.000	0.000	3.756	0.000	0.000	0.000
Min					0.000	0.000	-0.868	0.000	0.000	0.000
Max			2	4.100	0.000	0.000	9.658	0.000	0.000	0.000
Min					0.000	0.000	4.800	0.000	0.000	0.000
Max			3	9.100	0.000	0.000	4.506	0.000	0.000	0.000
Min					0.000	0.000	-0.356	0.000	0.000	0.000
Ergebniskombinationen für Tragfähigkeit (Bemessungswerte) (STR)										
EK1		g	1	0.100	0.000	0.000	3.314	0.000	0.000	0.000
			2	4.100	0.000	0.000	13.038	0.000	0.000	0.000
			3	9.100	0.000	0.000	4.762	0.000	0.000	0.000
EK2		g + p(F1)	1	0.100	0.000	0.000	8.947	0.000	0.000	0.000
			2	4.100	0.000	0.000	20.238	0.000	0.000	0.000
			3	9.100	0.000	0.000	4.229	0.000	0.000	0.000

Bild 3.21: Maske 2.5 Lagerkräfte

4. Stütze

Es werden die Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gemäß EN 1995-1-1 für eine eingespannte Rundholzstütze geführt, die auf Druck und Biegung beansprucht ist.

Die Modelldaten sind im Modell 02.clm des Projekts *Beispiele RX-HOLZ* abgelegt. Sie ist unter den Beispieldateien des Moduls **Stütze** zu finden.



4.1 System und Belastung

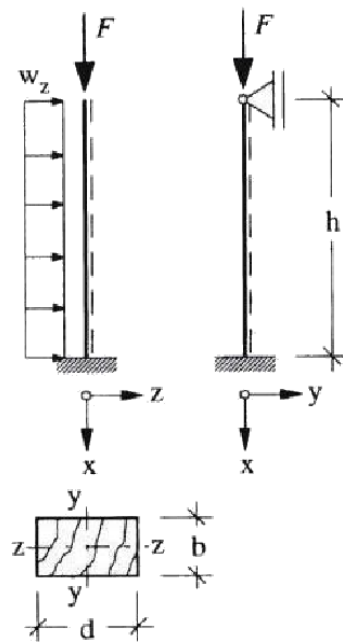


Bild 4.1: System und Belastung

Modell

Querschnitt:	$d = 21 \text{ cm}$
Material:	NH C24
Höhe:	$h = 3,20 \text{ m}$
NKL:	1
KLED:	ständig

Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht	$F = 45 \text{ kN}$
Lastfall 2: Wind	$w = 1,5 \text{ kN/m}$

Bemessungswerte Tragfähigkeit

$N = 1,35 \cdot F = 1,35 \cdot 45 \text{ kN} = 60,75 \text{ kN}$	$(k_{\text{mod}} = 0,6)$
$q = 1,5 \cdot w = 1,5 \cdot 1,5 \text{ kN/m} = 2,25 \text{ kN/m}$	$(k_{\text{mod}} = 0,9)$

4.2 Eingabedaten

4.2.1 Basisangaben

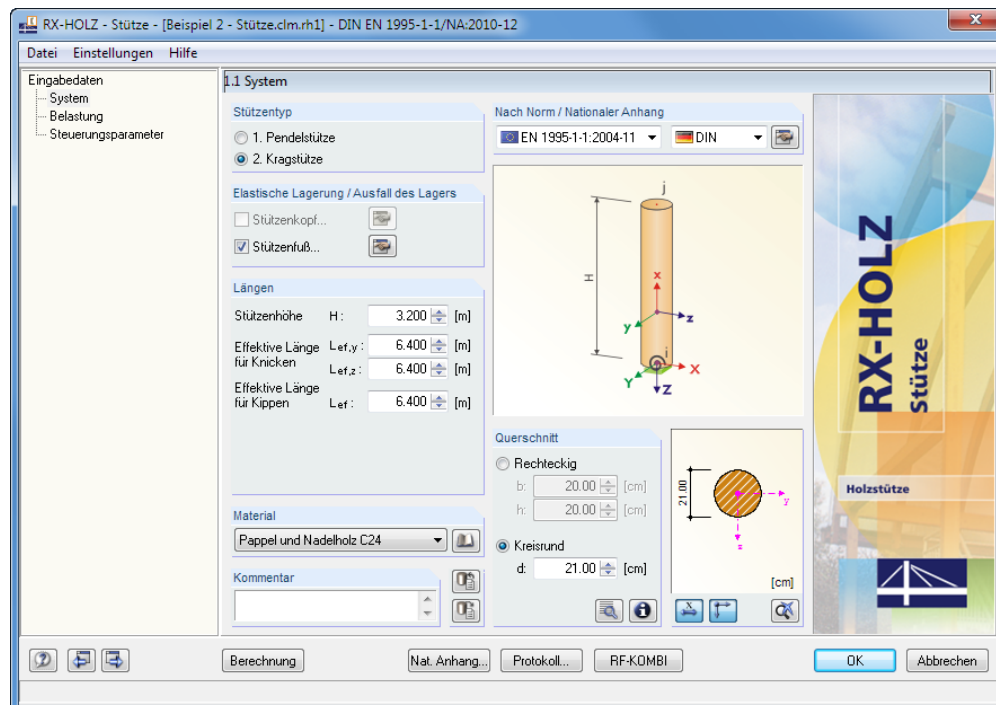


Bild 4.2: Maske 1.1 System

In Maske 1.1 System sind die geometrischen Parameter der Stütze festzulegen.

Es liegt der **Stützentyp Kragstütze** vor. Sie soll nach der **Norm EN 1995-1-1:2004-11** und dem **Nationalen Anhang** gemäß **DIN** bemessen werden.



Die **Lagerung** ist nur am **Stützenfuß** gegeben. Über die Schaltfläche [Bearbeiten] ist zu überprüfen, ob alle Freiheitsgrade eingeschränkt sind.

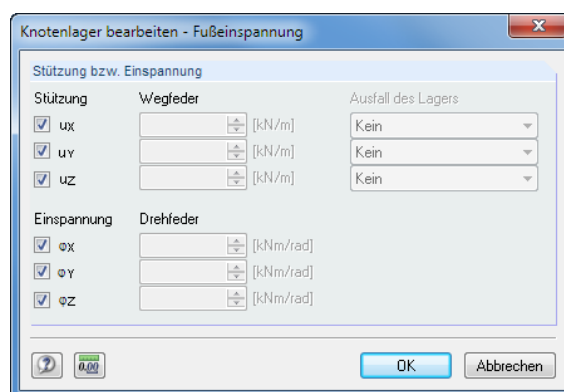


Bild 4.3: Dialog Knotenlager bearbeiten - Fußeingspannung

Wir legen die **Stützenhöhe** mit **3,20 m** fest. Bei diesem Kragmodell sind die **Effektiven Längen** jeweils auf den doppelten Wert von **6,40 m** zu setzen.



Als **Material** wählen wir **Pappel und Nadelholz** der Festigkeitsklasse **C24** – entweder über die Liste oder die Schaltfläche [Bibliothek] in der Materialdatenbank.

Der **Querschnitt** ist **Kreisrund** mit einem Durchmesser von **21 cm**.

4.2.2 Belastung

Der Lastfall Nr. 1 für das Eigengewicht wird automatisch angelegt. Das Eigengewicht ist als *Ständige Einwirkung* in Form einer Knotenkraft von **45 kN** am Stützenkopf einzugeben.

Die *Windlast* wirkt global in X-Richtung als Streckenlast $w_{k,x}$ mit **1,50 kN/m**.

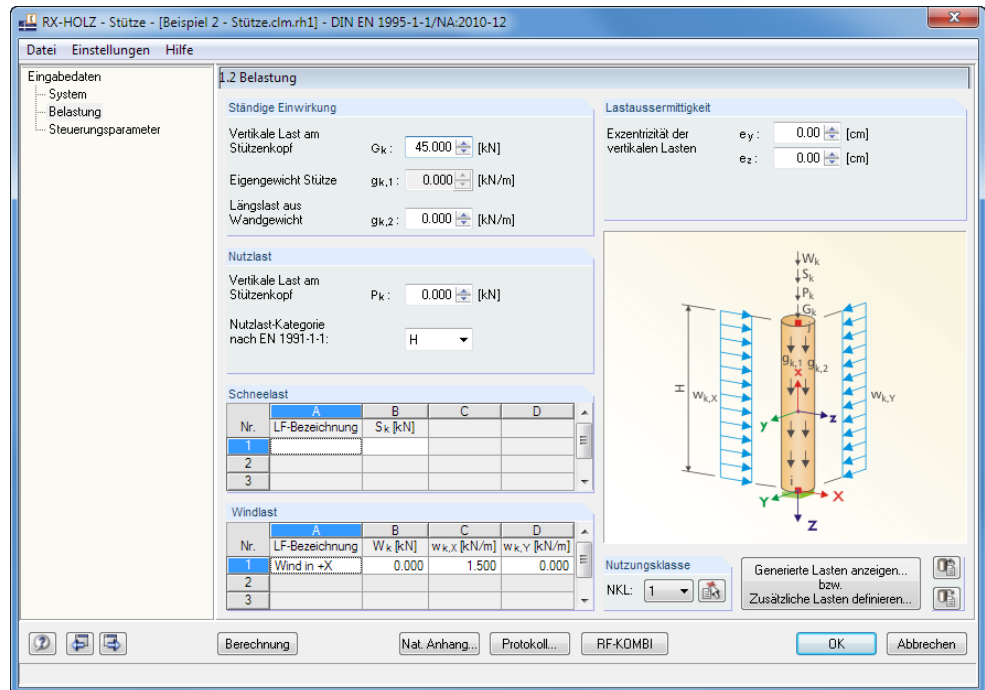


Bild 4.4: Maske 1.2 Belastung

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...

Die Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen] ruft die grafische Darstellung der Lastfälle auf.

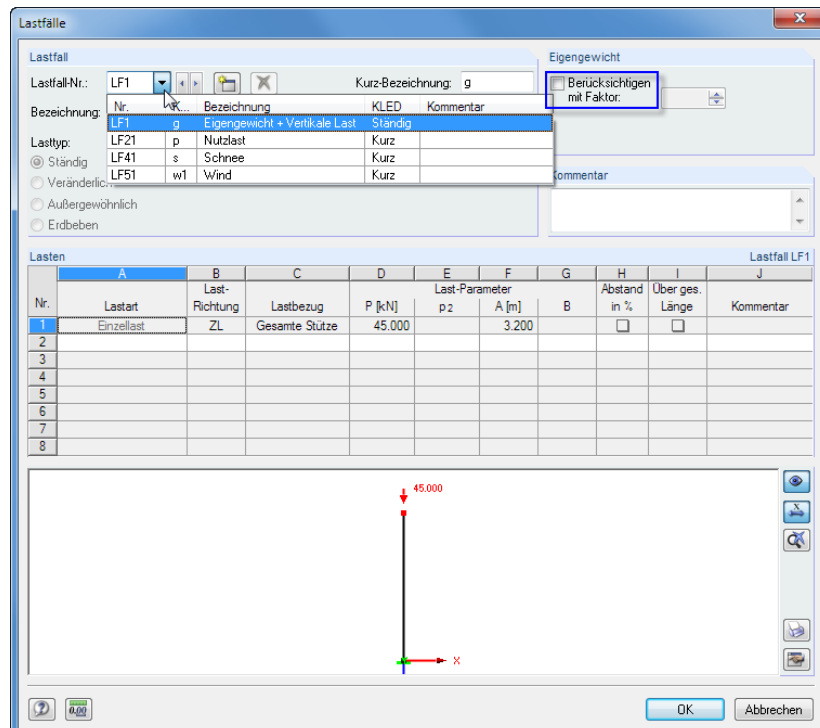


Bild 4.5: Dialog Lastfälle

Für den LF1 **deaktivieren** wir die automatische Berücksichtigung des *Eigengewichts*.

4.2.3 RF-KOMBI

Die Lastfälle LF21 *Nutzlast* und LF41 *Schnee* werden automatisch generiert (siehe Bild 4.5). Sie enthalten jedoch keine Lasten, da in Maske 1.2 weder eine Nutzlast noch eine Schneelast definiert wurde.

RF-KOMBI

Über das Modul [RF-KOMBI] können diese Lastfälle von der Generierung der Kombinationen ausgeschlossen werden.

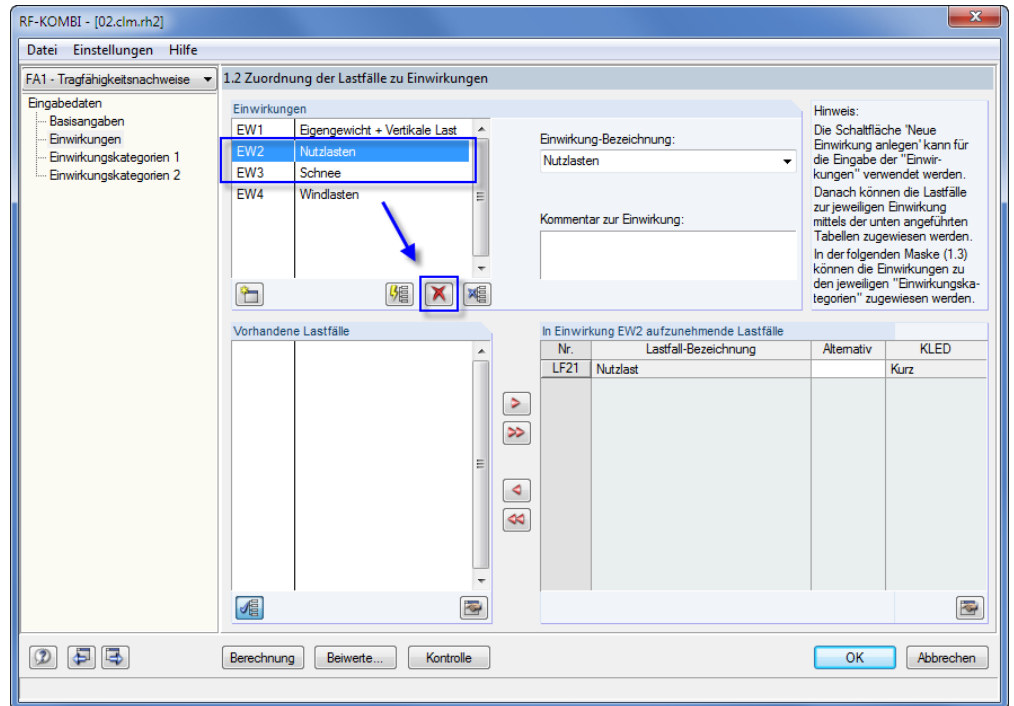


Bild 4.6: RF-KOMBI-Maske 1.2 *Einwirkungen*



Die beiden Einwirkungen **EW2** und **EW3** sind im Abschnitt *Einwirkungen* zu selektieren und zu [Löschen].

Anschließend ist der Generierungsfall *FA2 - Gebrauchstauglichkeitsnachweise* in der Liste (oberhalb des Navigators) einzustellen und der Löschvorgang nochmals durchzuführen.

[OK] übergibt die Änderungen in das Programm *Stütze*.

4.2.4 Steuerungsparameter

Es sind die **Tragfähigkeit** und die **Gebrauchstauglichkeit** nachzuweisen.

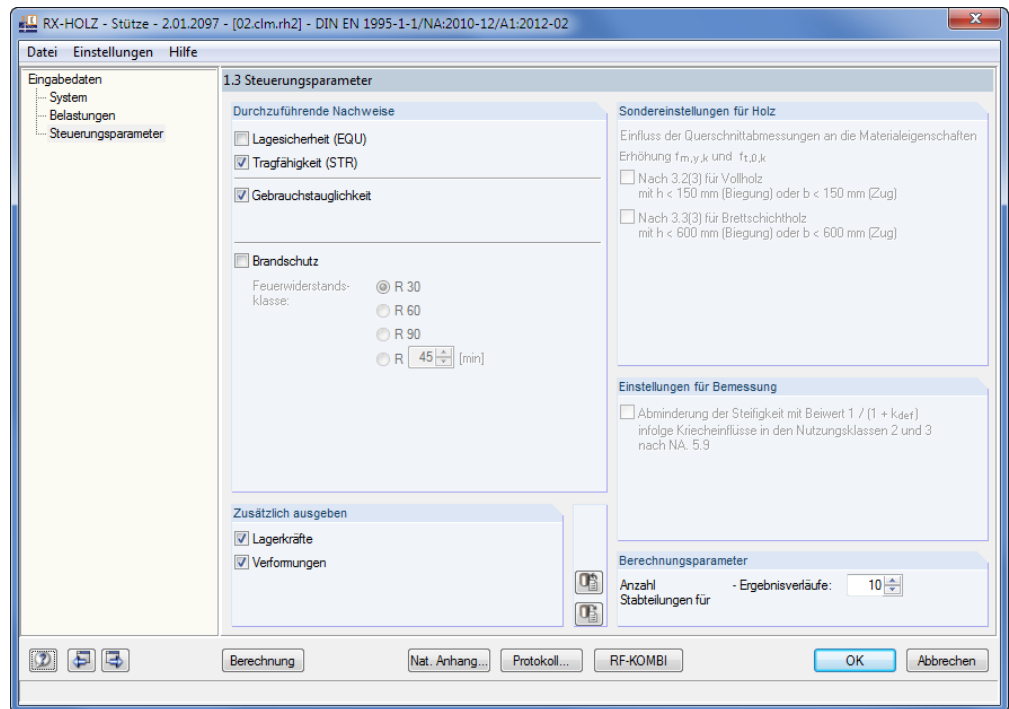


Bild 4.7: Maske 1.3 *Steuerungsparameter*

Nat. Anhang...

Die Schaltfläche [Nationaler Anhang] bietet Zugang zu wichtigen Bemessungsparametern wie z. B. Teilsicherheits- und Modifikationsbeiwerten oder Grenzwerten der Verformungen.

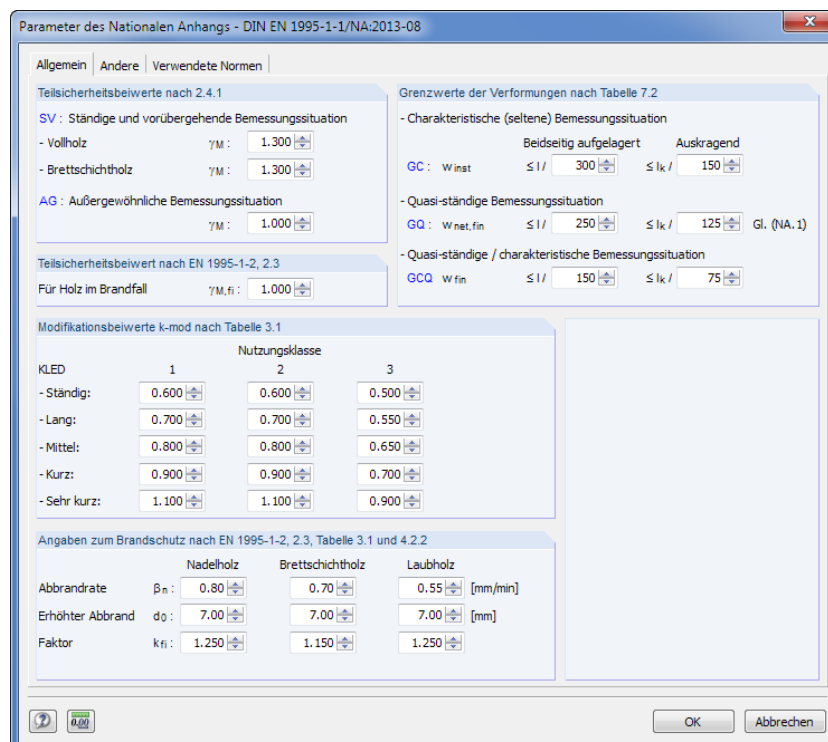


Bild 4.8: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs*

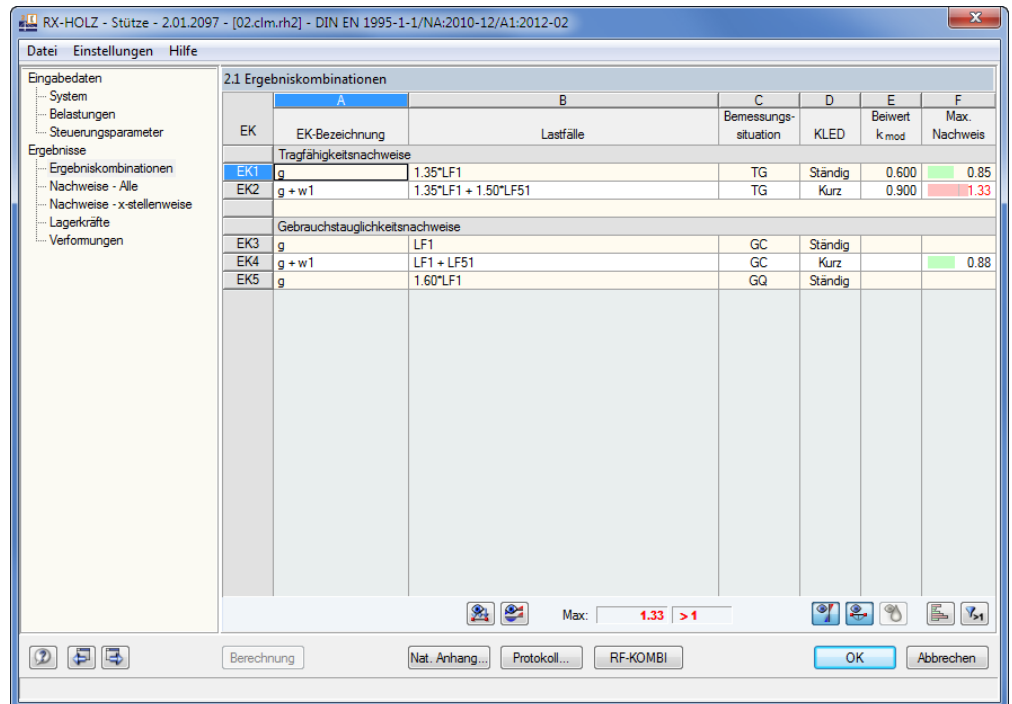
Für das Beispiel können die Voreinstellungen beibehalten werden.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Ergebniskombinationen

Berechnung

Nach der [Berechnung] werden folgende Nachweise für die generierten Ergebniskombinationen angezeigt.



2.1 Ergebniskombinationen						
	A	B	C	D	E	F
EK	EK-Bezeichnung	Lastfälle	Bemessungssituation	KLED	Beiwert k_{mod}	Max. Nachweis
Tragfähigkeitsnachweise						
EK1	g	1.35*LF1	TG	Ständig	0.600	0.85
EK2	g + w1	1.35*LF1 + 1.50*LF51	TG	Kurz	0.900	1.33
Gebrauchstauglichkeitsnachweise						
EK3	g	LF1	GC	Ständig		
EK4	g + w1	LF1 + LF51	GC	Kurz		0.88
EK5	g	1.60*LF1	GQ	Ständig		

Bild 4.9: Maske 2.1 *Ergebniskombinationen*

In dieser Maske werden die Auslastungen für jede Ergebniskombination ausgegeben. Die Auflistung ist in zwei Blöcken nach den Nachweisen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angeordnet.



Über die links dargestellten Schaltflächen lassen sich die [Lasten der Lastfälle] und die Schnittgrößen als [Ergebnisverläufe] betrachten.

4.3.2 Nachweise

In Maske 2.2 *Nachweise - Alle* sind die maßgebenden Nachweise der Stütze aufgelistet.

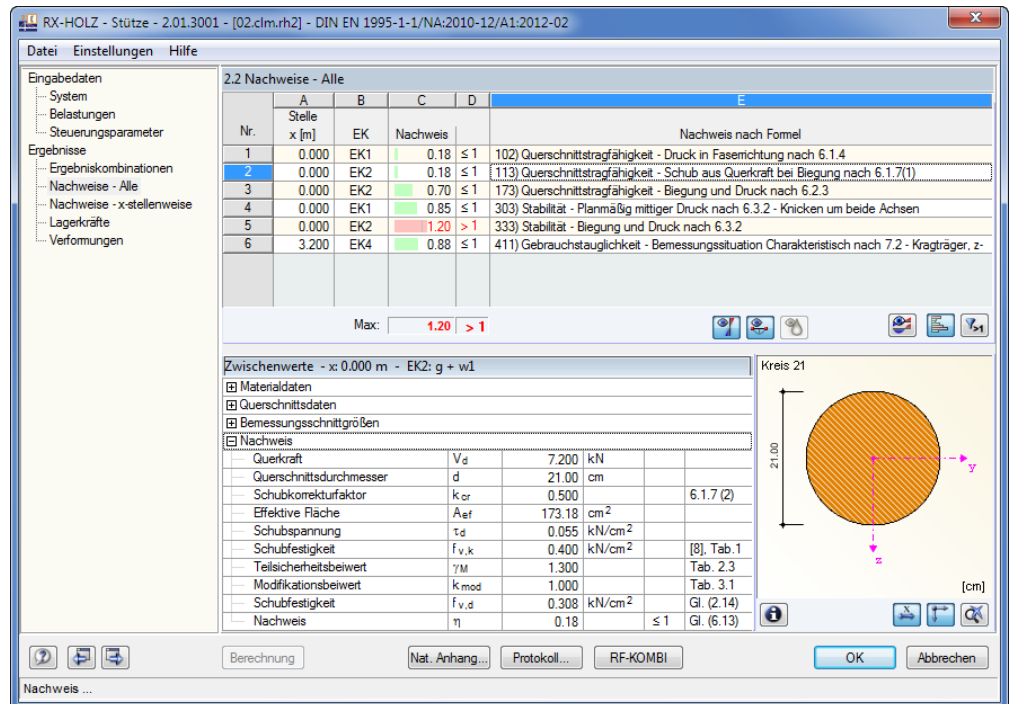


Bild 4.10: Maske 2.2 *Nachweise - Alle*

Um die Berechnung von RX-HOLZ zu erläutern, werden einige Nachweise im Handnachweis überprüft.

Schubkraftbeanspruchung nach 6.1.7

Die maximale Querkraftbeanspruchung liegt am Fußpunkt mit 7,2 kN in der EK2 vor.

Schubspannung

Die effektive Querschnittsfläche des Profils wird mit einem Schubkorrekturfaktor um 50 % abgemindert.

$$\tau_d = 1,33 \cdot \frac{V_d}{A \cdot k_{cr}} = 1,33 \cdot \frac{7,2 \text{ kN}}{346,4 \text{ cm}^2 \cdot 0,5} = 0,055 \text{ kN/cm}^2 = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

Schubfestigkeit

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{1,0 \cdot 4 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 3,08 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,55}{3,08} = 0,18 < 1$$

Druckbeanspruchung nach 6.3.2 (Stabilität)

Die maximale Beanspruchung ergibt sich auch bei diesem Nachweis im Auflagerbereich, diesmal jedoch wegen der Modifikationsbeiwerte in der EK1 mit der KLED ‚ständig‘.

Druckspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{60,75 \text{ kN}}{346,4 \text{ cm}^2} = 0,175 \text{ kN/cm}^2$$

Druckfestigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{0,6 \cdot 2,1 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 0,969 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,175}{0,21 \cdot 0,969} = 0,86 < 1$$

Biegung und Druck nach 6.3.2

Das maßgebende Nachweiskriterium liegt wiederum im Auflagerbereich für die EK2 vor.

Druckspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{60,75 \text{ kN}}{346,4 \text{ cm}^2} = 0,18 \text{ kN/cm}^2$$

Druckfestigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{1,0 \cdot 2,1 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,62 \text{ kN/cm}^2$$

Trägheitsradius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi}{4} \cdot r^4}{r^2 \cdot \pi}} = 5,25 \text{ cm}$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda = \frac{l_{\text{eff}}}{\sqrt{I}} \cdot \sqrt{A} = 121,9$$

Bezogener Schlankheitsgrad

$$\lambda_{\text{rel},c} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 2,07$$

k-Faktor

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},c} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c}^2] = 2,81$$

Knickbeiwert

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel},c}^2}} = 0,21$$

Kippbeiwert k_m nach 6.1.6:

1,0

Nachweis nach Gl. (6.23)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,18}{0,21 \cdot 1,62} + \frac{1,27}{1,0 \cdot 1,85} + 0,7 \cdot \frac{0}{16,62} = 1,22 > 1$$

4.3.3 Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zur Verhinderung von Schäden an nichttragenden Bauteilen wird nach EN 1995-1-1 Absatz 7.2 geführt.

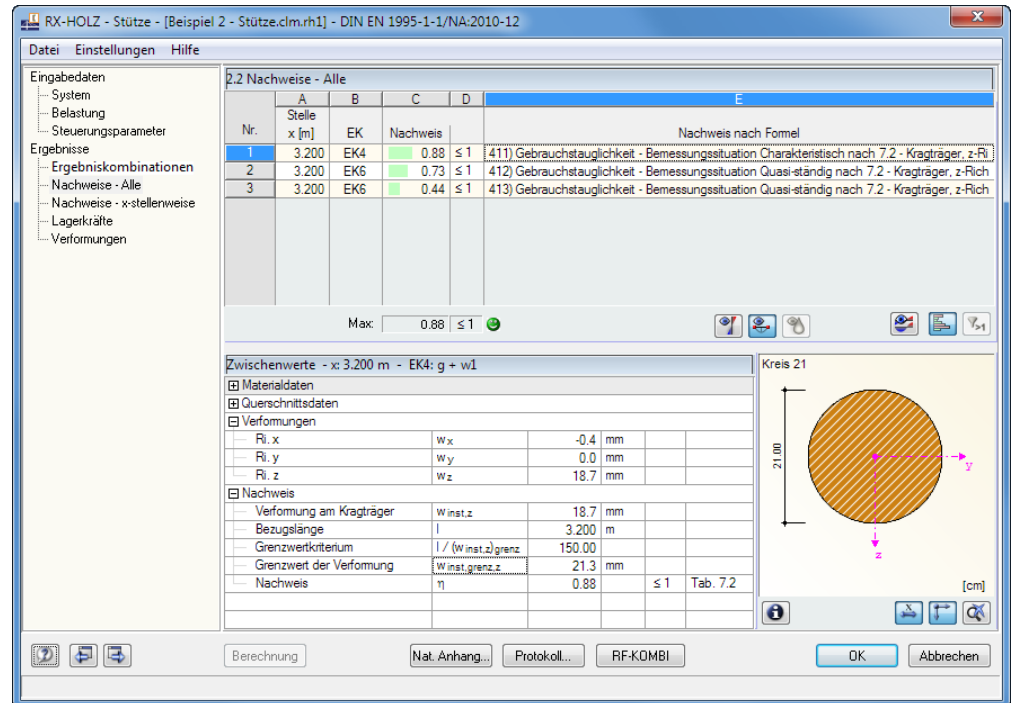


Bild 4.11: Maske 2.2 Nachweise - Alle (Filter für Gebrauchstauglichkeit)

Wegen der geringen zulässigen Verformung von $l/150$ der Kragstütze ist die charakteristische Bemessungssituation maßgebend.

Gebrauchstauglichkeitsnachweis

$$w_{Q,inst} = \frac{w \cdot h^4}{8 \cdot E \cdot I_y} \leq \frac{l}{150}$$

$$w_{Q,inst} = \frac{1,5 \cdot 3,2^4}{8 \cdot 11000 \cdot 9546,56} \cdot \frac{10^{-1}}{10^{-8}} = 1,87 \text{ cm} < 2,13 \text{ cm} = \frac{320}{150}$$

Nachweis

$$\frac{w_{Q,inst}}{w_{inst,grenz}} = \frac{1,87 \text{ cm}}{2,13 \text{ cm}} = 0,88 < 1$$

Dieses Ergebnis stimmt mit den Nachweisen von RX-HOLZ überein.

5. Rahmen

Dieses Beispiel stellt die Tragfähigkeitsnachweise nach EN 1995-1-1 an einem symmetrischen Rahmen vor. Die Stütze ist innen geneigt; die Rahmenecke wird als Keilzinkverbindung mit Zwischenstück ausgeführt.

Die Modelldaten sind im Modell *01.frm* des Projekts *Beispiele RX-HOLZ* abgelegt. Sie ist unter den Beispieldateien des Programms **Rahmen** zu finden.

5.1 System und Belastung



Bild 5.1: System und Belastung

Modell

Querschnittsbreite:	$b = 30 \text{ cm}$
Querschnittshöhe Fuß:	$h_a = 35 \text{ cm}$
Querschnittshöhe Scheitel:	$h_f = 30 \text{ cm}$
Querschnittshöhe Rahmenecke:	$h_1 = 70 \text{ cm}$
Länge Keilzwischenstück:	$l_{zw} = 40 \text{ cm}$

Belastung

Einwirkung 1: Eigenlast/Dachaufbau	$g = 4,32 \text{ kN/m}$	KLED = ständig
Einwirkung 2: Schnee	SZ 1, 200 m	KLED = kurz
Einwirkung 3: Wind	WZ 1, GK II	KLED = kurz

Die verschiedenen Schnee- und Windlastfälle werden automatisch durch die integrierten Lastgenerierer erzeugt.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit werden die Lastfälle gemäß EN 1990 und EN 1995 kombiniert.

5.2 Eingabe der Modelldaten

5.2.1 Basisangaben

Starten Sie das Programm über das Icon **Dlubal RX-HOLZ 2.xx** und legen im Projektmanager ein neues Modell für das Modul **Rahmen** an.

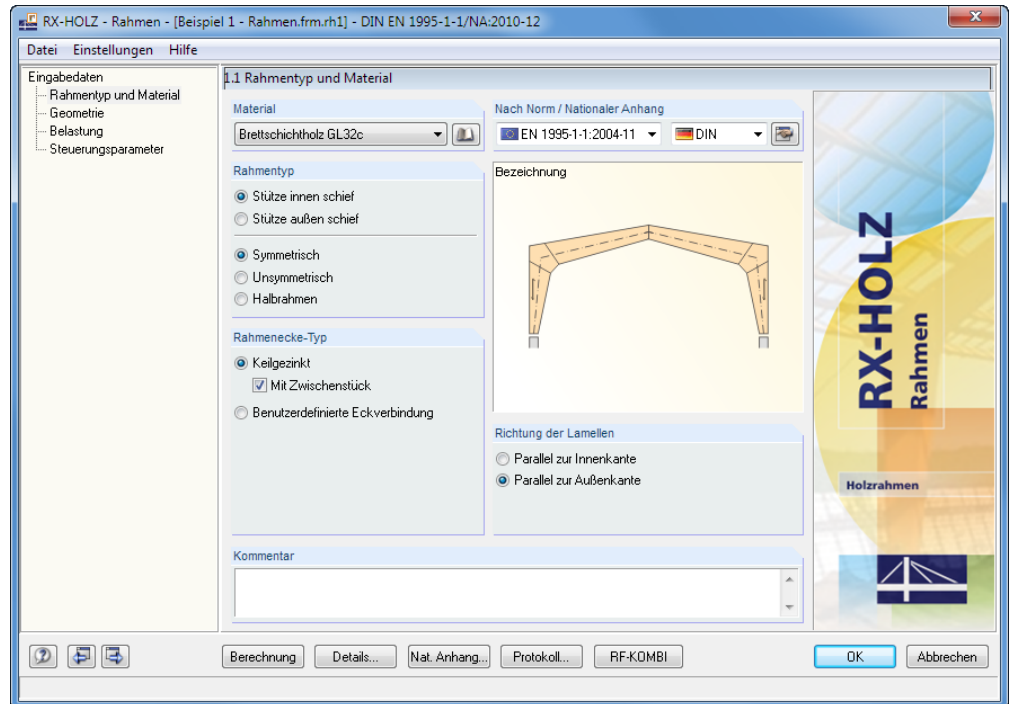
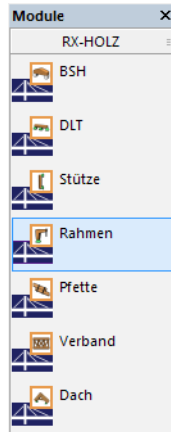


Bild 5.2: Maske 1.1 *Rahmentyp und Material*



Das Material kann in der Liste oder der umfangreichen Datenbank ausgewählt werden. Zusätzlich besteht in der [Bibliothek] die Möglichkeit, eine benutzerdefinierte Holzgüte mit speziellen Festigkeitseigenschaften zu definieren.

Als *Material* wählen wir **Brettschichtholz** der Festigkeitsklasse **GL32c**.

Der Rahmen soll nach der *Norm* **EN 1995-1-1:2004-11** und dem *Nationalen Anhang* gemäß **DIN** bemessen werden.

Es liegt ein *Rahmentyp* vor, dessen **Stütze innen schief** liegt (die Außenseite ist damit in vertikaler Lage) und der **Symmetrisch** angeordnet ist.

Die *Rahmenecke* ist **Keilgezinkt** und **Mit Zwischenstück** versehen.

Im Abschnitt *Richtung der Lamellen* legen wir fest, dass die Lamellen **Parallel zur Außenkante** verlaufen.

5.2.2 Geometrie

In der zweiten Maske sind die Anzahl der Felder, die Feldlängen sowie die Lager- und Gelenkbedingungen des Trägers einzugeben. Optional können den Lagern und Gelenken benutzer-spezifische Federkonstanten zugewiesen oder Kragträger definiert werden.

Für unser Beispiel tragen wir die *Gebäude-Abmessungen* und den *Querschnitt* wie im folgenden Bild dargestellt ein.

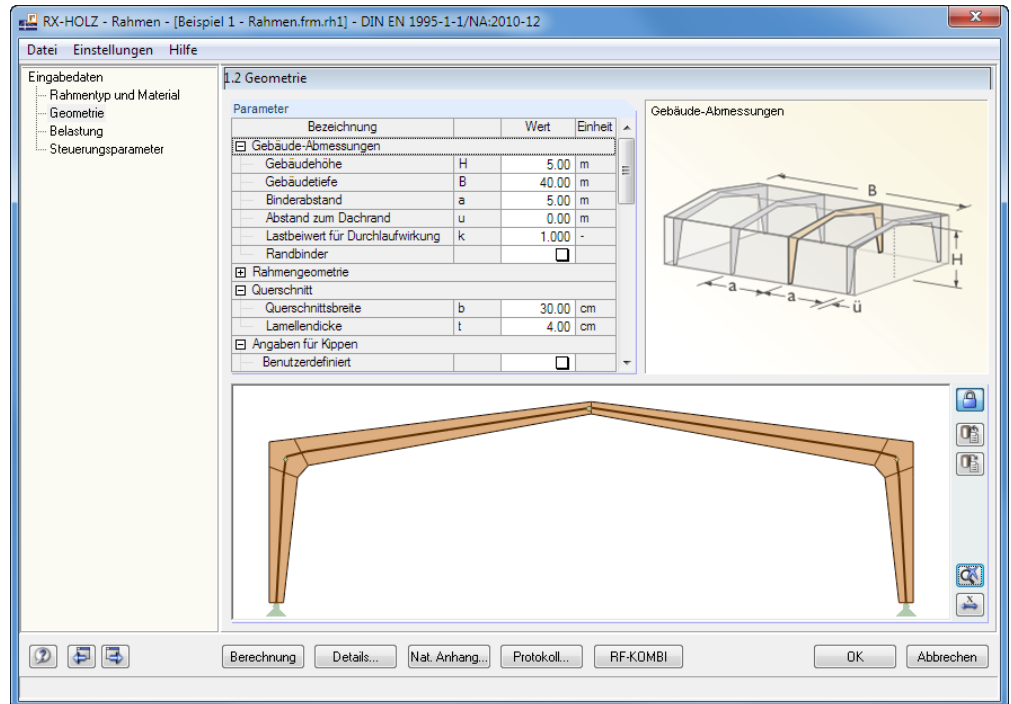


Bild 5.3: Maske 1.2 Geometrie

Die *Rahmengenometrie* definieren wir über folgende Parameter.

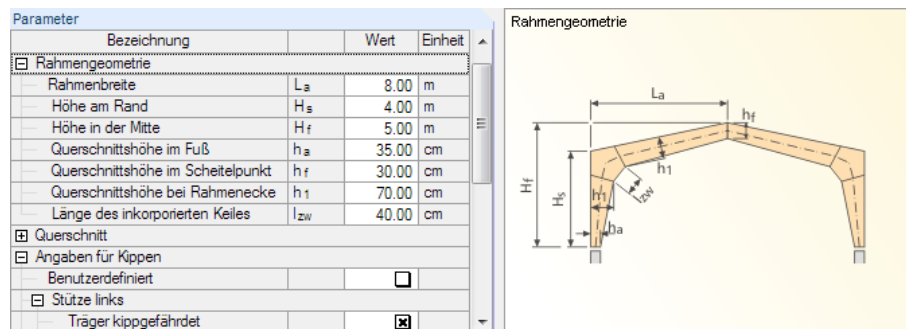


Bild 5.4: Parameter der *Rahmengenometrie*

Unter den *Angaben für Kippen* legen wir fest, dass die *Stütze links* sowie der *Riegel links* **kippgefährdet** sind (siehe Bild 5.5).

Falls seitliche Halterungen vorhanden sind, können die Abstände *c* dieser Zwischenstützungen angegeben werden. Dies ist in unserem Beispiel jedoch nicht der Fall.

Parameter			
Bezeichnung		Wert	Einheit
Angaben für Kippen			
Benutzerdefiniert		<input type="checkbox"/>	
Stütze links			
Träger kippgefährdet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Seitliche Halterung vorhanden		<input type="checkbox"/>	
Abstand seitlicher Halterungen	c	2.00	m
Abstand Verband	e	0.60	m
Knicklängenbeiwert	β_s	-	
Riegel links			
Träger kippgefährdet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Seitliche Halterung vorhanden		<input type="checkbox"/>	
Abstand seitlicher Halterungen	c	2.00	m
Abstand Verband	e	0.60	m
Knicklängenbeiwert	β_r	-	

Angaben für Kippen - Stütze links
Abstand seitlicher Halterungen

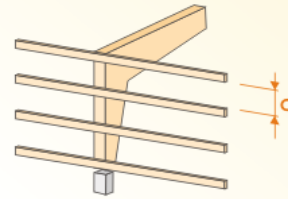


Bild 5.5: Parameter für Kippen

Durch Anhängen der Option *Benutzerdefiniert* werden die beiden Felder zur direkten Eingabe der *Knicklängenbeiwerte* zugänglich. Wir verzichten jedoch auf diese Möglichkeit und belassen die programmseitigen Voreinstellungen.

Die Liste der Parameter setzt sich mit den Angaben zu einer eventuell vorhandenen *Attika* fort. Dort sind keine Einträge vorzunehmen.

Abschließend können wichtige *Informationsparameter* zur Geometrie des Rahmens überprüft werden.

Parameter			
Bezeichnung		Wert	Einheit
Angaben für Kippen			
Attika links			
Attika rechts			
Informationsparameter			
Neigung der oberen Riegelkante	δ	7.13	°
Winkel in Rahmenecke	ε_0	48.56	°
Anschlusswinkel in Rahmenecke	ε	69.28	°
Anschnittswinkel in Rahmenecke	α	20.72	°
Anschnittswinkel der Stütze	α_s	6.41	°
Anschnittswinkel des Riegels	α_r	3.22	°
Anstrichfläche Rahmen	A _S	38.04	m ²
Volumen Rahmen	V	3.63	m ³
Rahmengewicht	G	1.451	t

Informationsparameter

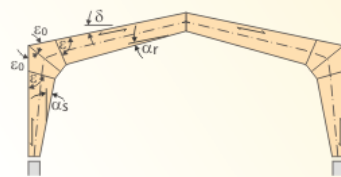


Bild 5.6: Informationsparameter

5.2.3 Belastung

Als erste Einwirkung in Maske 1.3 *Belastung* geben wir die *Ständige Einwirkung* für die Belastung „Eigengewicht und Dachaufbau“ ein. Als *Dachaufbau-Schicht* werden gewählt:

- Trapezblech mit 0,15 kN/m²
- Pfetten mit 0,15 kN/m²
- Dampfsperre mit 0,02 kN/m²
- Steinwolle (d = 20 cm) mit 0,20 kN/m²
- OSB-Platten (d = 25 mm) mit 0,15 kN/m²

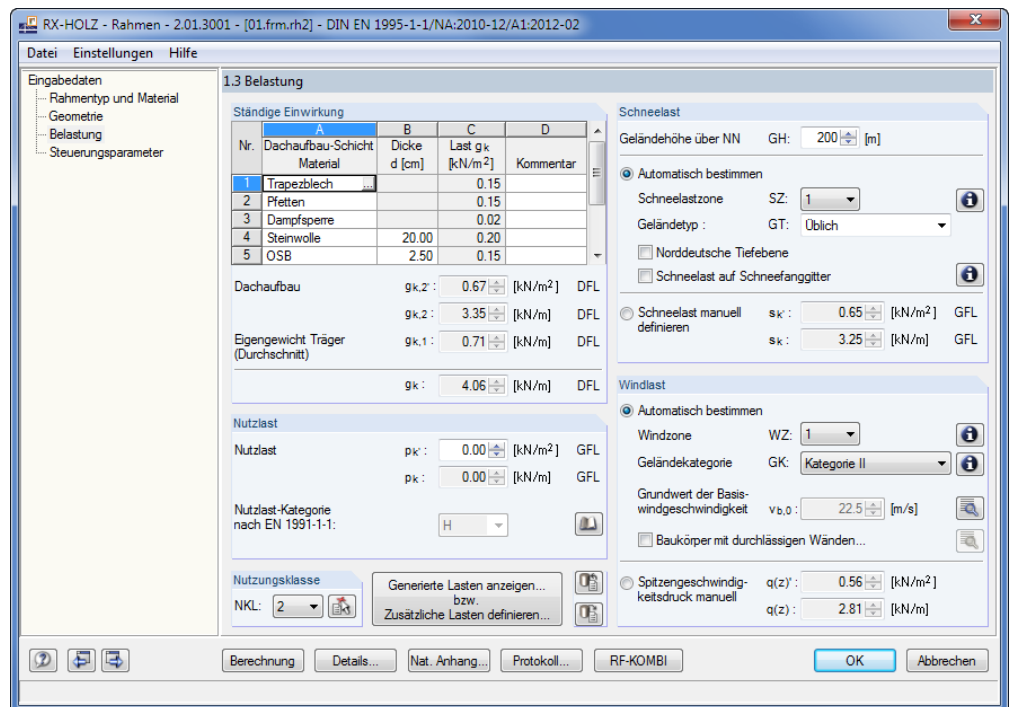


Bild 5.7: Maske 1.3 *Belastung*



Über die Schaltfläche [...] in Spalte *Dachaufbau-Schicht* können die Materialien in einer Bibliothek ausgewählt werden.

Aus diesem Dachaufbau ergibt sich die ständige Last g_k von 4,06 kN/m. Diese Belastung beinhaltet das Eigengewicht des Trägers. Da der Träger eine linear veränderliche Höhe aufweist, wird das Eigengewicht des Trägers automatisch als Trapezlast angesetzt.



Es könnte hier eine zusätzliche *Nutzlast* definiert werden, indem man diese über die links dargestellte Schaltfläche aus einer Tabelle auswählt und anschließend die entsprechende *Nutzlast-Kategorie* aus der Liste für EN 1991-1-1 zuweist. Wir legen für unseren Träger allerdings nur noch die **Nutzungs-kategorie 2** fest.



Zur Ermittlung der *Schneelast* geben wir die *Geländehöhe* von **200 m** über NN an. Die *Schneelastzone* **SZ 1** lässt sich per Doppelklick in der Schneelastkarte definieren.



Die *Windlast* lassen wir für unser Beispiel **Automatisch bestimmen**. Hierzu geben wir nur die *Windzone* **WZ1** und die *Geländekategorie* **GK II** vor. Auch hier erleichtern informative Dialoge die Zuordnung.

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...

Mit der Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen] wechseln wir in den Dialog *Lastfälle*, um die generierten Lasten zu betrachten.

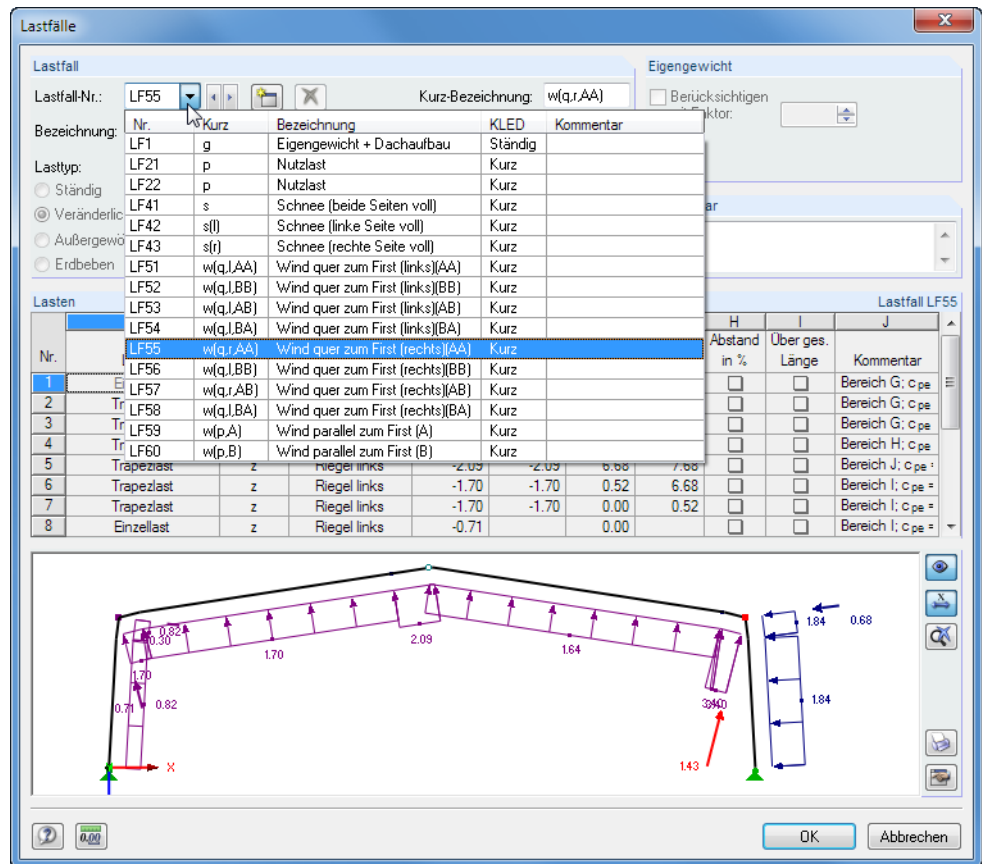


Bild 5.8: Dialog *Lastfälle* mit Liste der generierten Schnee- und Windlasten

Maßgebend für die Windlastgenerierung sind die Gebäudeabmessungen. Aus den in Maske 1.2 *Geometrie* angegebenen Maßen werden die Bereiche F, G, H, I gemäß DIN 1055-4 bzw. EN 1991-1-4 ermittelt und die Windlasten entsprechend generiert.

Für die Bereiche, in denen sowohl Druck- als auch Sogkräfte angesetzt werden, erzeugt das Programm für jede Windeinwirkung mehrere Lastfälle mit den entsprechenden Sog- oder Druckkräften.

5.2.4 Steuerungsparameter

In Maske 1.4 *Steuerungsparameter* legen wir fest, dass nur der Nachweis für **Tragfähigkeit** geführt werden soll. Die Optionen *Lagesicherheit*, *Gebrauchstauglichkeit* und *Brandschutz* sind daher zu deaktivieren.

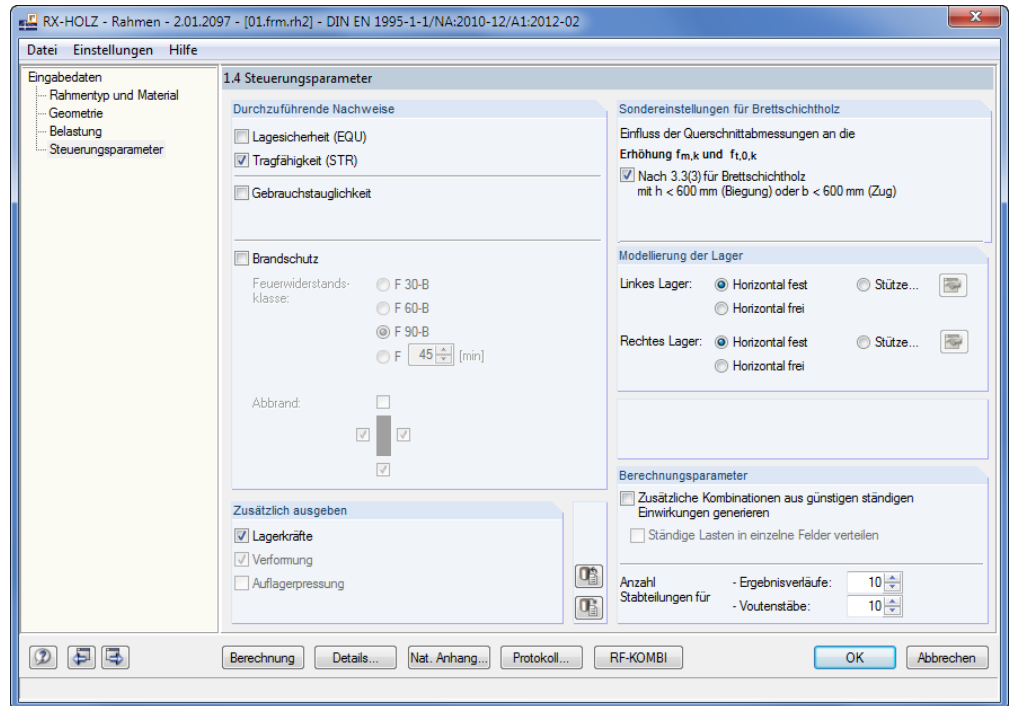


Bild 5.9: Maske 1.4 *Steuerungsparameter*

Im Abschnitt *Zusätzlich ausgeben* haken wir die Option **Lagerkräfte** an.

Die *Modellierung der Lager* erfolgt in der Weise, dass beide Seiten als **Horizontal fest** definiert werden.

Wir belassen die Voreinstellungen in den Abschnitten *Sondereinstellungen für Brettschichtholz* und *Berechnungsparameter*.

5.2.5 RF-KOMBI

RF-KOMBI

Das in RX-HOLZ integrierte Modul RF-KOMBI kombiniert die Lastfälle automatisch. RF-KOMBI braucht nicht aufgerufen werden. Wir wechseln jedoch über die Schaltfläche [RF-KOMBI] in dieses Modul, um die Kombinationen einzusehen, die im Hintergrund generiert werden.

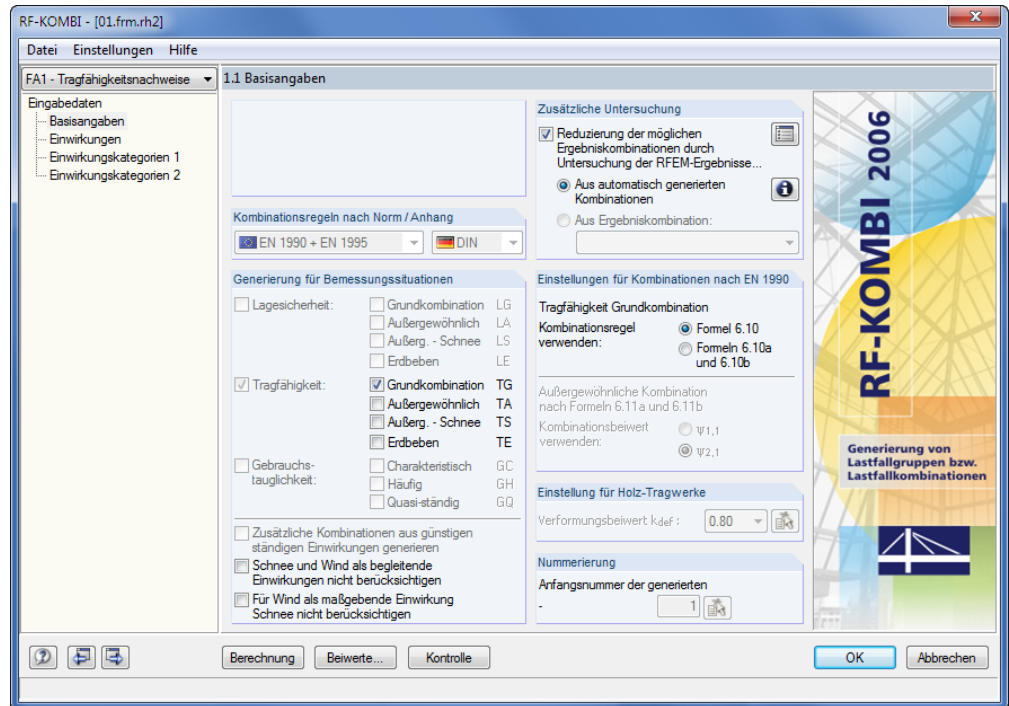


Bild 5.10: Modul RF-KOMBI

Berechnung

Über die Schaltfläche [Berechnung] lassen wir die Kombinationen erzeugen.

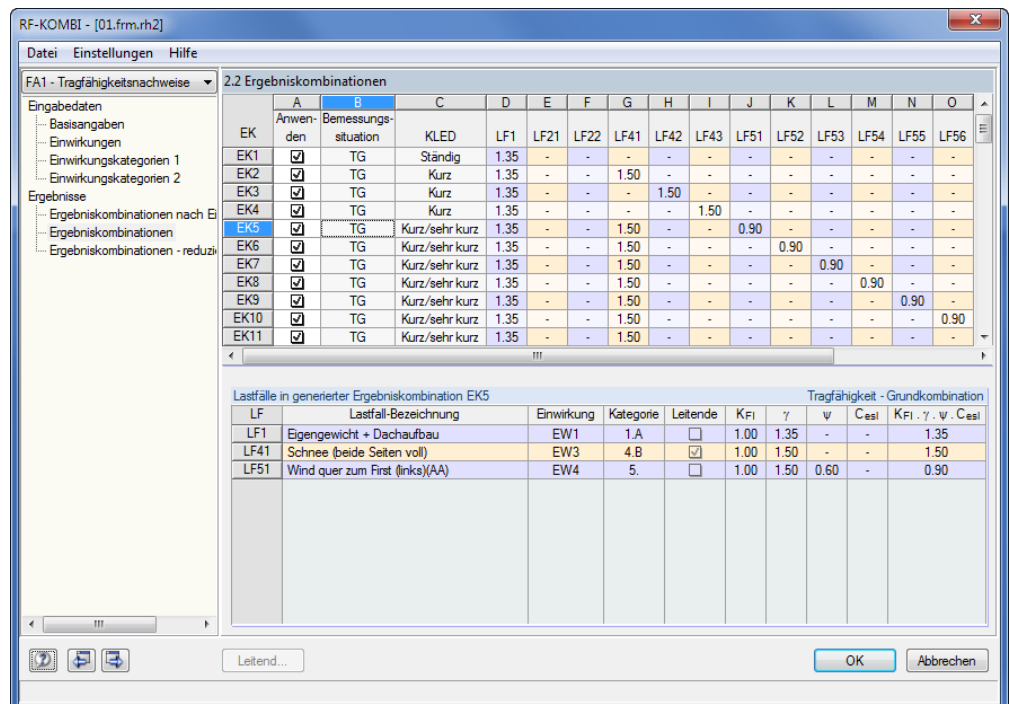


Bild 5.11: RF-KOMBI-Maske 2.2: Ergebniskombinationen

Mit [OK] erfolgt die Rückkehr in das Programm *Rahmen*.

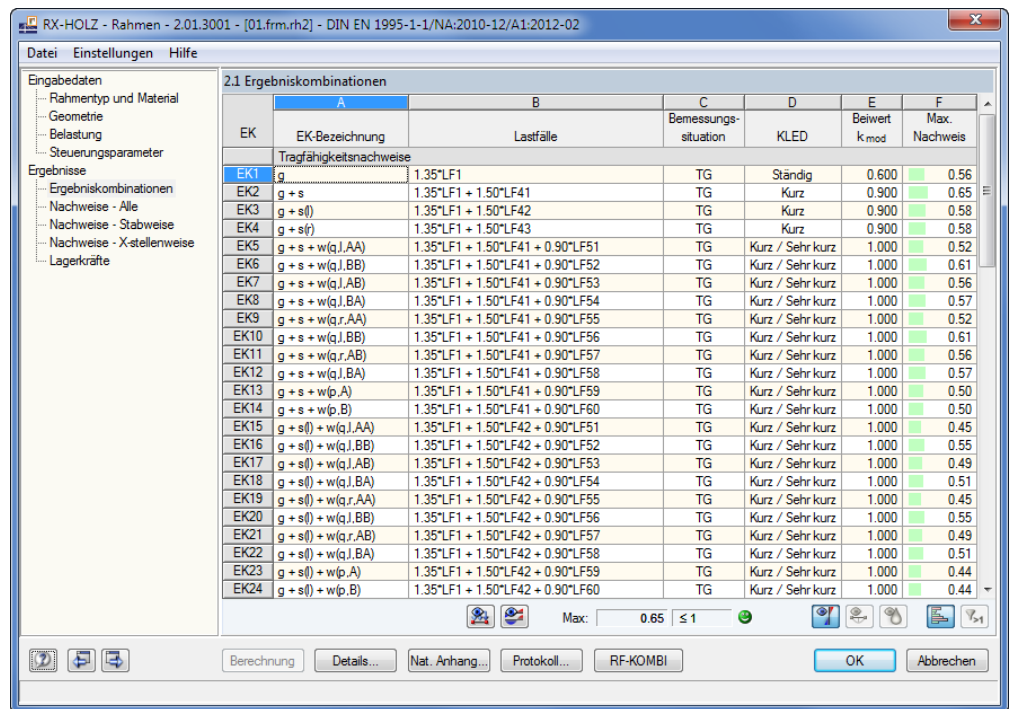
5.3 Ergebnisse

5.3.1 Ergebniskombinationen

Berechnung

Wir starten die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche.

Die Nachweise der Kombinationen mit den jeweiligen Ausnutzungen werden in Maske 2.1 ausgegeben.



EK	A	B	C	D	E	F
	EK-Bezeichnung	Lastfälle	Bemessungssituation	KLED	Beiwert k_{mod}	Max. Nachweis
EK1	g	1.35*LF1	TG	Ständig	0.600	0.56
EK2	g + s	1.35*LF1 + 1.50*LF41	TG	Kurz	0.900	0.65
EK3	g + s(I)	1.35*LF1 + 1.50*LF42	TG	Kurz	0.900	0.58
EK4	g + s(II)	1.35*LF1 + 1.50*LF43	TG	Kurz	0.900	0.58
EK5	g + s + w(q, AA)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF51	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.52
EK6	g + s + w(q, BB)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF52	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.61
EK7	g + s + w(q, AB)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF53	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.56
EK8	g + s + w(q, BA)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF54	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.57
EK9	g + s + w(q, AA)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF55	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.52
EK10	g + s + w(q, BB)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF56	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.61
EK11	g + s + w(q, AB)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF57	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.56
EK12	g + s + w(q, BA)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF58	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.57
EK13	g + s + w(p, A)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF59	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.50
EK14	g + s + w(p, B)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF60	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.50
EK15	g + s(I) + w(q, AA)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF51	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.45
EK16	g + s(I) + w(q, BB)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF52	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.55
EK17	g + s(I) + w(q, AB)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF53	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.49
EK18	g + s(I) + w(q, BA)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF54	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.51
EK19	g + s(I) + w(q, AA)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF55	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.45
EK20	g + s(I) + w(q, BB)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF56	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.55
EK21	g + s(I) + w(q, AB)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF57	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.49
EK22	g + s(I) + w(q, BA)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF58	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.51
EK23	g + s(II) + w(p, A)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF59	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.44
EK24	g + s(II) + w(p, B)	1.35*LF1 + 1.50*LF42 + 0.90*LF60	TG	Kurz / Sehr kurz	1.000	0.44

Bild 5.12: Maske 2.1 Ergebniskombinationen

Der Beiwert k_{mod} zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Setzungsverhaltens infolge der Lasteinwirkungsdauer und der klimatischen Besonderheiten des Holzes wird automatisch entsprechend der KLED und der NKL angewandt.



Über die Schaltfläche [Lasten der Lastfälle] können die Lasten und die Klassen der Lastenwirkungen betrachtet werden, die die aktuelle Ergebniskombination betreffen (d. h. die EK, in dessen Zeile sich der Cursor befindet).

5.3.2 Nachweise

Diese Maske listet alle Nachweise auf, die für den gesamten Rahmen maßgebend sind.

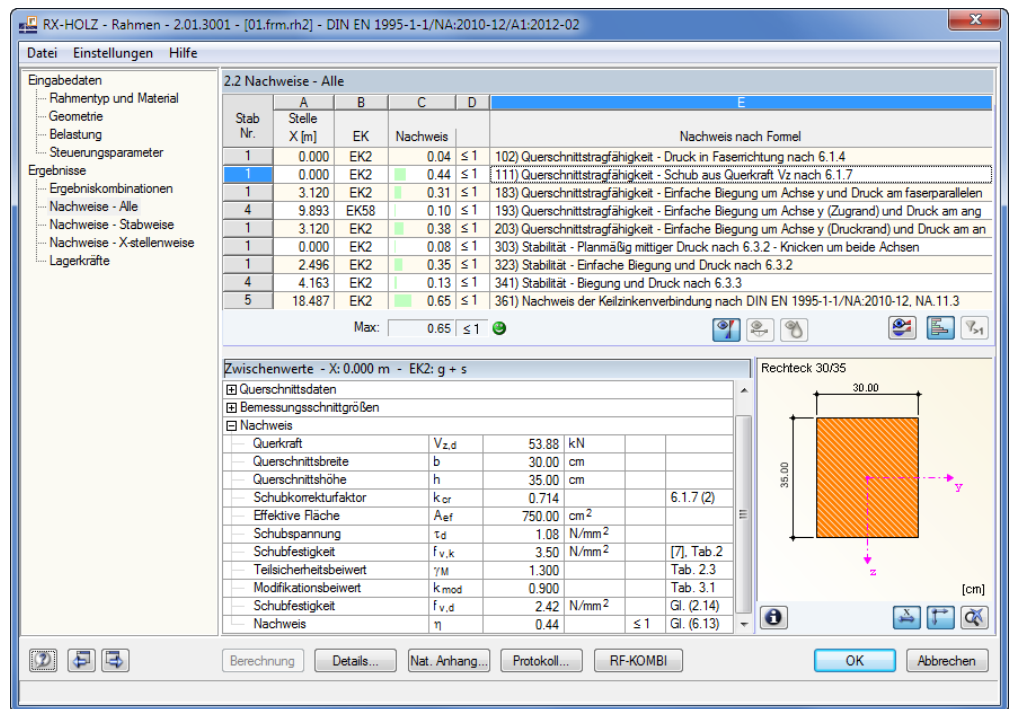


Bild 5.13: Maske 2.2 Nachweise - Alle

Die Beiwerte und Bemessungsschnittgrößen sind interaktiv abrufbar: Mit einem Klick auf einen Nachweis in der oberen Tabelle können alle *Zwischenwerte* des Nachweises im Abschnitt unterhalb betrachtet werden.

Die Ergebnisse des Programms werden durch eine Handrechnung überprüft.

Schub aus Querkraft V_z nach 6.1.7

Die maximale Querkraft von 53,88 kN tritt am linken Stützenfuß in der EK2 auf.

Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{53,88 \text{ kN}}{21,4 \text{ cm} \cdot 35 \text{ cm}} = 0,108 \text{ kN/cm}^2 = 1,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,714 \cdot 30 \text{ cm} = 21,4 \text{ cm}$$

$$k_{cr} = \frac{2,5}{f_{v,k}} = \frac{2,5}{3,5} = 0,714$$

Schubfestigkeit

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 3,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,08}{2,42} = 0,44 < 1$$

Einfache Biegung und Druck am faserparallelen Rand

Die Querschnittstragfähigkeit wird nach Absatz 6.4.2 und 6.2.4 untersucht.

Die maximale Beanspruchung infolge Biegung und Druck tritt in der linken Rahmenecke in der EK2 auf. Die [Ergebnisverläufe] stellen die Schnittgrößen an den aneinandergereihten Stäben dar, wenn die EK2 oben in der Liste eingestellt ist.

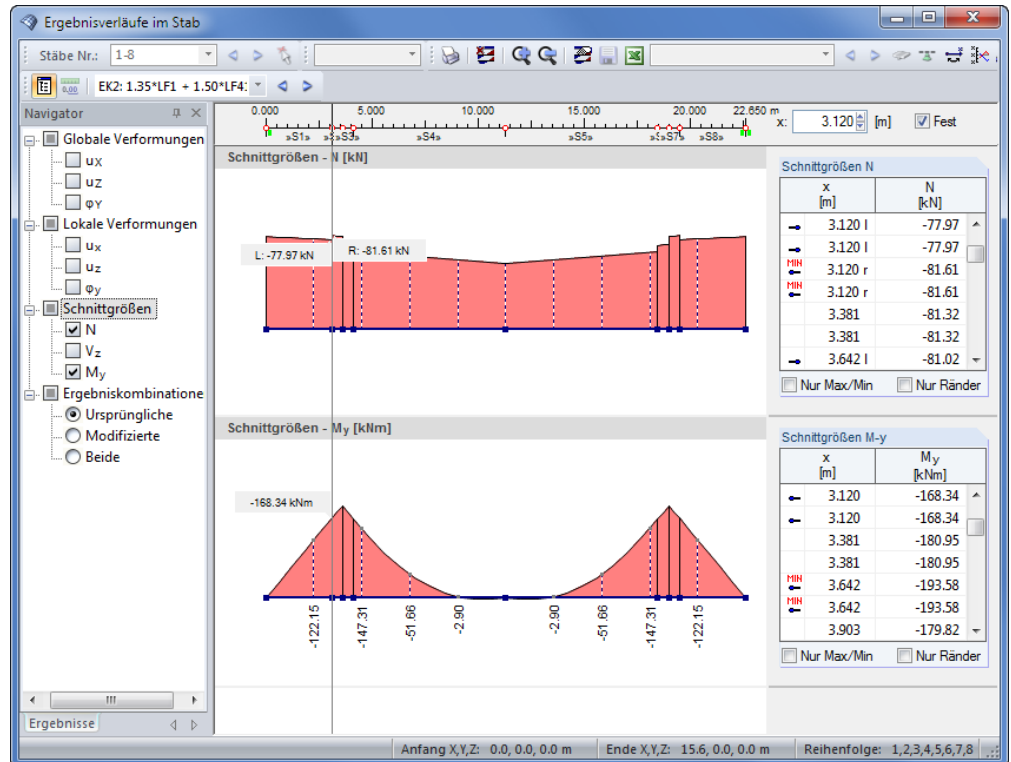


Bild 5.14: Verlauf der Schnittgrößen N und M_y in EK2

RX-HOLZ weist die Querschnittstragfähigkeit an der Stelle $X = 3,12$ m wie folgt nach.

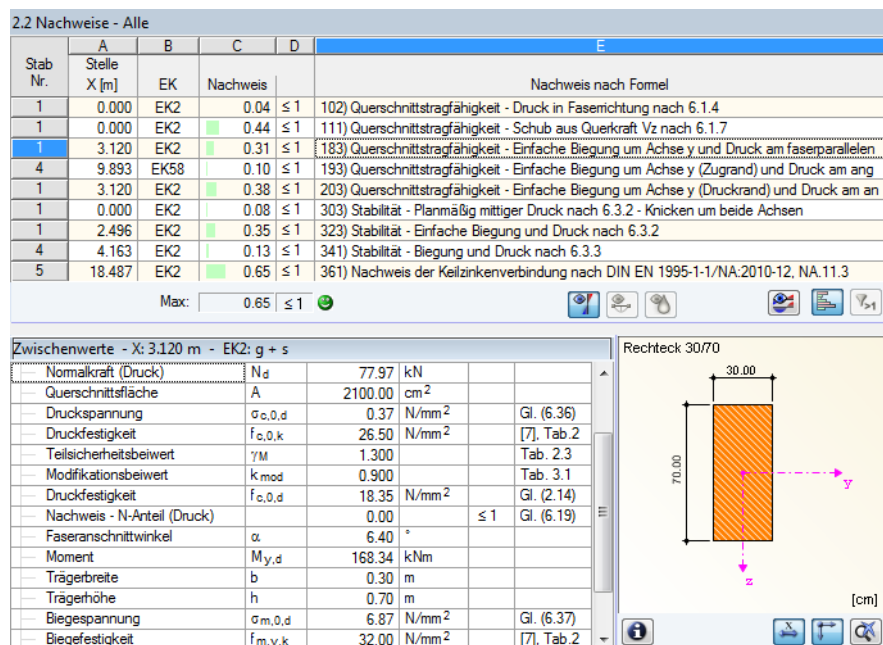


Bild 5.15: Nachweis der Querschnittstragfähigkeit für Biegung und Druck am faserparallelen Rand

Druckspannung $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{77,97 \text{ kN} \cdot 10^3}{2100 \text{ cm}^2 \cdot 10^2} = 0,37 \text{ N/mm}^2$

Nachweis N-Anteil $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 = \left(\frac{0,39}{18,35} \right)^2 \approx 0,00$

Biegespannung $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{168,34 \text{ kNm} \cdot 10^6}{24500 \text{ cm}^3 \cdot 10^3} = 6,87 \text{ N/mm}^2$

Biegefestigkeit $f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{32 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 22,15 \text{ N/mm}^2$

Nachweis M-Anteil $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{6,87}{22,15} = 0,31$

Nachweis $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0,00 + 0,33 = 0,31 < 1$

Einfache Biegung und Druck am angeschnittenen Rand (Druckrand)

Die maximale Beanspruchung liegt an der gleichen Stelle X vor – ebenfalls in der EK2.

2.2 Nachweise - Alle

Stab Nr.	A Stelle X [m]	B EK	C Nachweis	D	E
1	0.000	EK2	0.04	≤ 1	102) Querschnittstragfähigkeit - Druck in Faserichtung nach 6.1.4
1	0.000	EK2	0.44	≤ 1	111) Querschnittstragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vz nach 6.1.7
1	3.120	EK2	0.31	≤ 1	183) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y und Druck am faserparallelen
4	9.893	EK58	0.10	≤ 1	193) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y (Zugrand) und Druck am ang
1	3.120	EK2	0.38	≤ 1	203) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y (Druckrand) und Druck am an
1	0.000	EK2	0.08	≤ 1	303) Stabilität - Planmäßig mittlerer Druck nach 6.3.2 - Knicken um beide Achsen
1	2.496	EK2	0.35	≤ 1	323) Stabilität - Einfache Biegung und Druck nach 6.3.2
4	4.163	EK2	0.13	≤ 1	341) Stabilität - Biegung und Druck nach 6.3.3
5	18.487	EK2	0.65	≤ 1	361) Nachweis der Keilzinkenverbindung nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12, NA.11.3

Max: 0.65 ≤ 1

Zwischenwerte - X: 3.120 m - EK2: g + s

	My,d	168.34	kNm		
Trägerbreite	b	0.30	m		
Trägerhöhe	h	0.70	m		
Biegespannung	$\sigma_{m,\alpha,d}$	6.87	N/mm ²	Gl. (6.37)	
Biegefestigkeit	$f_{m,y,k}$	32.00	N/mm ²	[7], Tab.2	
Biegefestigkeit	$f_{m,y,d}$	22.15	N/mm ²	Gl. (2.14)	
Druckfestigkeit	$f_{c,90,k}$	3.00	N/mm ²	[7], Tab.2	
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	3.50	N/mm ²	[7], Tab.2	
Schubfestigkeit	$f_{v,d}$	2.42	N/mm ²	Gl. (2.14)	
Druckfestigkeit	$f_{c,90,d}$	2.08	N/mm ²	Gl. (2.14)	
Faseranschnittwinkel	α	6.40	°		
Verteilungsbeiwert	$k_{m,\alpha}$	0.820		Gl. (6.40)	
Biegefestigkeit	$f_{m,\alpha,d}$	18.18	N/mm ²	Gl. (6.38)	
Nachweis - My-Anteil		0.38		≤ 1	Gl. (6.38)

Rechteck 30/70

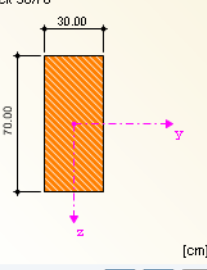


Bild 5.16: Nachweis der Querschnittstragfähigkeit für Biegung und Druck am angeschnittenen Rand

Es liegen die gleichen Druck- und Biegespannungen vor wie am faserparallelen Rand (siehe oben). Für den Nachweis am angeschnittenen Rand ist der Beiwert $k_{m,\alpha}$ entscheidend.

Beiwert Druckrand $k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} = 0,82$

Nachweis $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \left(\frac{0,39}{18,35} \right)^2 + \frac{6,87}{0,82 \cdot 22,15} = 0,38 < 1$

Stabilität für einfache Biegung und Druckkraft nach 6.3.2

Bei den Stabilitätsnachweisen wird der Kippnachweis für einfache Biegung um die Stabachse y mit Druckkraft als maßgebend ausgewiesen.

2.2 Nachweise - Alle					
Stab Nr.	A Stelle X [m]	B EK	C Nachweis	D	E
1	0.000	EK2	0.04 ≤ 1		102) Querschnittstragfähigkeit - Druck in Faserrichtung nach 6.1.4
1	0.000	EK2	0.44 ≤ 1		111) Querschnittstragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vz nach 6.1.7
1	3.120	EK2	0.31 ≤ 1		183) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y und Druck am faserparallelen
4	9.893	EK58	0.10 ≤ 1		193) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y (Zugrand) und Druck am ang
1	3.120	EK2	0.38 ≤ 1		203) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse y (Druckrand) und Druck am an
1	0.000	EK2	0.08 ≤ 1		303) Stabilität - Planmäßig mittlerer Druck nach 6.3.2 - Knicken um beide Achsen
1	2.496	EK2	0.35 ≤ 1		323) Stabilität - Einfache Biegung und Druck nach 6.3.2
4	4.163	EK2	0.13 ≤ 1		341) Stabilität - Biegung und Druck nach 6.3.3
5	18.487	EK2	0.65 ≤ 1		361) Nachweis der Keilzinkenverbindung nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12, NA.11.3
Max: 0.65 ≤ 1					

Bild 5.17: Stabilitätsnachweise

Die maßgebende Stelle X = 2,496 m liegt bei der linken Stütze vor. Es sind folgende Schnittgrößen der EK2 nachzuweisen:

- Normalkraft $N_d = 78,64 \text{ kN}$
- Moment $M_{y,d} = 134,63 \text{ kNm}$

$$\text{Druckspannung} \quad \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{78,64 \text{ kN} \cdot 10^3}{1890 \text{ cm}^2 \cdot 10^2} = 0,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Biegespannung} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{134,63 \text{ kNm} \cdot 10^6}{19845 \text{ cm}^3 \cdot 10^3} = 6,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Knicklängenbeiwert} \quad \beta_s &= \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot I_s \cdot s}{3 \cdot h \cdot I_R} + \frac{I_s \cdot N_R \cdot s^2}{I_R \cdot N_s \cdot h^2}} = \\ &= \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot 5,83E+09 \cdot 7683}{3 \cdot 3641 \cdot 4,833E+09} + \frac{5,83E+09 \cdot 76209 \cdot 7683^2}{4,833E+09 \cdot 85357 \cdot 3641^2}} = 4,143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Schlankheitsgrad} \quad \lambda_y &= \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{\beta_s \cdot h}{i_y} = \frac{4,143 \cdot 3641}{177,7} = 84,283 \\ \lambda_z &= \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{3642}{86,6} = 42,051 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bezog. Schlankheitsgrad} \quad \lambda_{rel,c,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{84,283}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 1,311 \\ \lambda_{rel,c,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{42,051}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 0,654 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hilfsknickbeiwert} \quad k_y &= 0,5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = \\ &= 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (1,311 - 0,3) + 1,311^2 \right) = 1,410 \\ k_z &= 0,5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = \\ &= 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (0,654 - 0,3) + 0,654^2 \right) = 0,732 \end{aligned}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,410 + \sqrt{1,410^2 - 1,311^2}} = 0,519$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,732 + \sqrt{0,732^2 - 0,654^2}} = 0,944$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{6,78}{22,15} + \frac{0,42}{0,519 \cdot 18,35} = 0,35$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{6,78}{22,15} + 0,7 \cdot \frac{0,42}{0,944 \cdot 18,35} = 0,24$$

maßgebend: 0,38 < 1

☐ Nachweis					
— Normalkraft (Druck)	N _d	78,64	kN		
— Querschnittsfläche	A	1890,00	cm ²		
— Druckspannung	σ _{c,0,d}	0,42	N/mm ²		Gl. (6.36)
— Ersatzstablänge	l _{ef,y}	14,987	m		
— Ersatzstablänge	l _{ef,z}	3,642	m		
— Trägheitsradius	i _y	17,77	cm		
— Trägheitsradius	i _z	8,66	cm		
— Schlankheitsgrad	λ _y	84,347			
— Schlankheitsgrad	λ _z	42,051			
— Bezogener Schlankheitsgrad	λ _{rel,y}	1,312		> 0,3	Gl. (6.21), i
— Bezogener Schlankheitsgrad	λ _{rel,z}	0,654		> 0,3	Gl. (6.22), i
— Imperfektionsbeiwert	β _c	0,100			Gl. (6.29)
— Hilfsknickbeiwert	k _y	1,411			Gl. (6.27)
— Hilfsknickbeiwert	k _z	0,732			Gl. (6.28)
— Knickbeiwert	k _{c,y}	0,518			Gl. (6.25)
— Knickbeiwert	k _{c,z}	0,944			Gl. (6.26)
— Druckfestigkeit	f _{c,0,k}	26,50	N/mm ²		[7], Tab. 2
— Teilsicherheitsbeiwert	γ _M	1,300			Tab. 2.3
— Modifikationsbeiwert	k _{mod}	0,900			Tab. 3.1
— Druckfestigkeit	f _{c,0,d}	18,35	N/mm ²		Gl. (2.14)
— Elastizitätsmodul	E _{0,05}	11100,00	N/mm ²		[7], Tab. 2
— Reduktionsbeiwert	k _m	0,700			6.1.6
— Moment	M _{y,d}	134,63	kNm		
— Widerstandsmoment	W _y	19845,00	cm ³		
— Biegespannung	σ _{m,y,d}	6,78	N/mm ²		
— Biegefestigkeit	f _{m,y,k}	32,00	N/mm ²		[7], Tab. 2
— Biegefestigkeit	f _{m,y,d}	22,15	N/mm ²		Gl. (2.14)
— Nachweis 1	η ₁	0,35		≤ 1	Gl. (6.23)
— Nachweis 2	η ₂	0,24		≤ 1	Gl. (6.24)
— Nachweis	η	0,35		≤ 1	

Bild 5.18: Stabilitätsnachweis für einfache Biegung und Druck nach 6.3.2

Keilzinkenverbindung nach DIN EN 1995-1-1/NA 2009, NA.11.3

Für den Nachweis der Keilzinkenverbindung sind zunächst die Knicklängen und Spannungen wie oben dargestellt zu berechnen. Als maßgebend erweisen sich wieder die Schnittgrößen der EK2, die in diesem Fall an der Stelle X = 18,487 m vorliegen.

$$\begin{aligned} \text{Knicklängenbeiwert Riegel} \quad \beta_R &= \beta_S \cdot \sqrt{\frac{I_R \cdot N_S}{I_S \cdot N_R}} \cdot \frac{h}{s} = \\ &= 4,15 \cdot \sqrt{\frac{4,814E+09 \cdot 81610}{5,83E+09 \cdot 72860}} \cdot \frac{3641}{7683} = 1,89 \end{aligned}$$

$$\text{Schlankheitsgrad} \quad \lambda_R = \frac{l_{ef,R}}{i_y} = \frac{\beta_R \cdot s}{i_y} = \frac{1,89 \cdot 768 \text{ cm}}{16,77 \text{ cm}} = 86,6$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,dS}}{k_{cS} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,dS}}{f_{m,d}} \right) = \frac{15,59}{12,47} \cdot \left(\frac{0,5}{0,511 \cdot 15,59} + \frac{8,59}{18,83} \right) = 0,65$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,dR}}{k_{cR} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,dR}}{f_{m,d}} \right) = \frac{15,59}{12,47} \cdot \left(\frac{0,43}{0,489 \cdot 15,59} + \frac{8,5}{18,83} \right) = 0,64$$

maßgebend: 0,65 < 1

☐ Nachweis					
— Normalkraft im Stiel	N _S	81.61	kN		
— Moment im Stiel	M _S	168.34	kNm		
— Höhe des Stieles	h	3.642	m		
— Querschnittsbreite	b	30.00	cm		
— Querschnittshöhe Stielseite	h _{S 0,65}	61.55	cm		
— Trägheitsmoment Stielseite	I _S *	583018.00	cm ⁴		
— Knicklängenbeiwert Stiel	β _S *	4.150			Tab. NA.23
— Schlankheitsgrad Stiel	λ _S *	85.047			
— Bezogener Schlankheitsgrad	λ _{rel,cS} *	1.323			Gl. (6.21)
— Beiwert	β _c	0.100			Gl. (6.29)
— Knickbeiwert	k _S *	1.426			Gl. (6.27)
— Knickbeiwert	k _{cS} *	0.511			Gl. (6.25)
— Normalkraft im Riegel	N _R	72.86	kN		
— Moment im Riegel	M _R	166.68	kNm		
— Länge des Riegels	s	7.683	m		
— Querschnittshöhe Riegelseite	h _{R 0,65}	0.577	m		
— Trägheitsmoment Riegelseite	I _R *	481392.00	cm ⁴		
— Knicklängenbeiwert Riegel	β _R *	1.891			Tab. NA.23
— Schlankheitsgrad Riegel	λ _R *	87.180			
— Bezogener Schlankheitsgrad	λ _{rel,cR} *	1.356			Gl. (6.21)
— Knickbeiwert	k _R *	1.472			Gl. (6.27)
— Knickbeiwert	k _{cR} *	0.489			Gl. (6.25)
— Winkel	α	20.72	°		
— Biegefestigkeit	f _{m,k}	32.00	N/mm ²		
— Druckfestigkeit	f _{c,0,k}	26.50	N/mm ²		
— Querdrukfestigkeit	f _{c,90,k}	3.00	N/mm ²		
— Schubfestigkeit	f _{v,k}	3.50	N/mm ²		
— Teilsicherheitsbeiwert	γ _M	1.300			Tab. 2.3
— Modifikationsbeiwert	k _{mod}	0.900			Tab. 3.1
— Biegefestigkeit	f _{m,d}	18.83	N/mm ²	11.3(NA6)	Gl. (2.14)
— Druckfestigkeit	f _{c,0,d}	15.59	N/mm ²	11.3(NA6)	Gl. (2.14)
— Querdrukfestigkeit	f _{c,90,d}	2.08	N/mm ²		Gl. (2.14)
— Schubfestigkeit	f _{v,d}	2.42	N/mm ²		Gl. (2.14)
— Querdrukfestigkeit unter α	f _{c,α,d}	12.47	N/mm ²		Gl. (NA.152)
— Normalspannung	σ _{c,0,dS}	0.49	N/mm ²		
— Biegespannung	σ _{m,dS}	8.59	N/mm ²		
— Nachweis 1	η ₁	0.65		≤ 1	Gl. (NA.147)
— Normalspannung	σ _{c,0,dR}	0.43	N/mm ²		
— Biegespannung	σ _{m,dR}	8.50	N/mm ²		
— Nachweis 2	η ₂	0.64		≤ 1	Gl. (NA.147)
— Nachweis	η	0.65		≤ 1	Gl. (NA.147)

Bild 5.19: Nachweis der Keilzinkenverbindung

5.3.3 Weitere Ergebnismasken

Die übrigen Ergebnismasken und die Dokumentation im Ausdruckprotokoll decken sich weitgehend mit denen der Beispiele, die in den Kapiteln 2 und 3 vorgestellt wurden.

6. Pfette

Dieses Beispiel stellt die Tragfähigkeitsnachweise einer Koppelpfette mit unregelmäßigen Feldabständen vor. Die Bemessung erfolgt nach EN 1995-1-1:2004-11 mit Nationalem Anhang ÖNORM B 1995-1-1:2009-07.

Die Modelldaten sind im Modell *01.pft* des Projekts *Beispiele RX-HOLZ* abgelegt. Sie ist unter den Beispieldateien des Programms **Pfette** zu finden.

6.1 System und Belastung

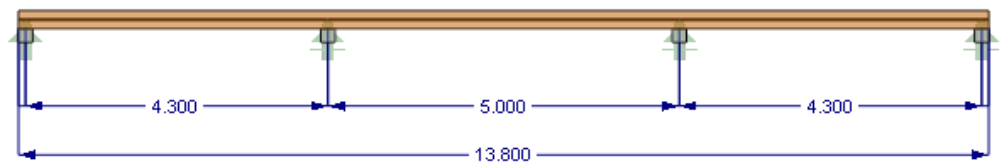


Bild 6.1: System

Modell

Querschnitt:	$b/d = 14/26 \text{ cm}$	
Material:	Nadelholz C24	
Feldlängen:	$l_1 = l_3 = 4,30 \text{ m}$	$l_2 = 5,00 \text{ m}$
Dachneigung:	$6,0^\circ$	
Pfettenachse:	geneigt in Dachebene	
Kopplung:	Nagelverbindung $d = 8 \text{ mm}$, $l = 280 \text{ mm}$ gemäß Bild 6.2	

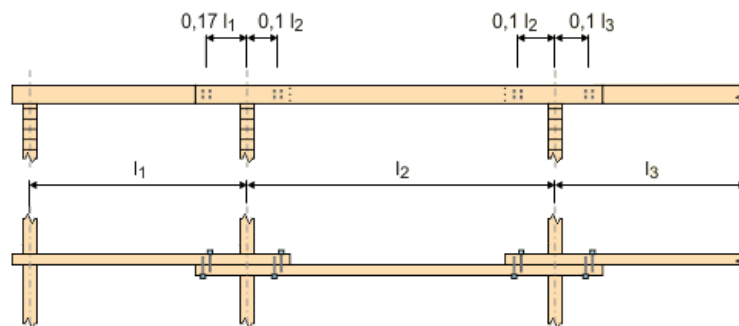


Bild 6.2: Pfettenverbundungschema

Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau	$g = 1,6 \text{ kN/m}$	KLED = ständig
Lastfall 2: Schneelast	SZ 2, 400 m	KLED = kurz
Lastfall 3: Windlast	Geländekategorie II	KLED = kurz

Die Schnee- und Windlasten werden automatisch von den integrierten Lastgenerierern ermittelt.

Die Einwirkungen sind für den Nachweis der Tragfähigkeit gemäß EN 1990 und EN 1995 mit Nationalem Anhang für Österreich zu kombinieren.

6.2 Eingabe der Modelldaten

6.2.1 Basisangaben

Starten Sie das Programm über das Icon **Dlubal RX-HOLZ 2.xx** und legen im Projektmanager ein neues Modul für das Programm **Pfette** an.

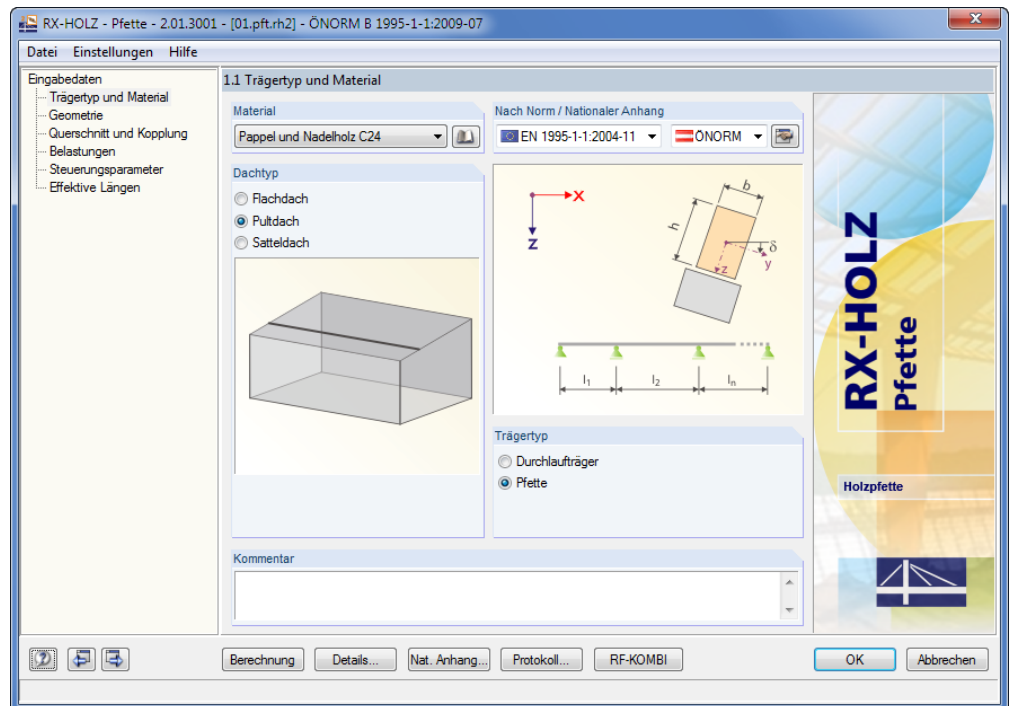
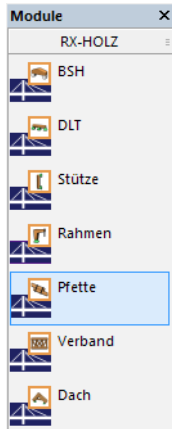


Bild 6.3: Maske 1.1 Trägertyp und Material

Als *Material* wählen wir **Pappel und Nadelholz** der Festigkeitsklasse **C24**.

Der *Dachtyp* stellt ein **Pultdach** dar. Der Träger soll nach der *Norm* **EN 1995-1-1:2004-11** und dem *Nationalen Anhang* gemäß **ÖNORM** bemessen werden.

Bei dem *Trägertyp* handelt es sich um eine **Pfette**. Diese Vorgabe steuert, ob in den folgenden Masken Gelenke oder Kopplungen zugelassen sind.

6.2.2 Geometrie

In der zweiten Maske sind die Anzahl der Felder, die Feldlängen sowie die Dachparameter und Lagerbedingungen der Pfette festzulegen.

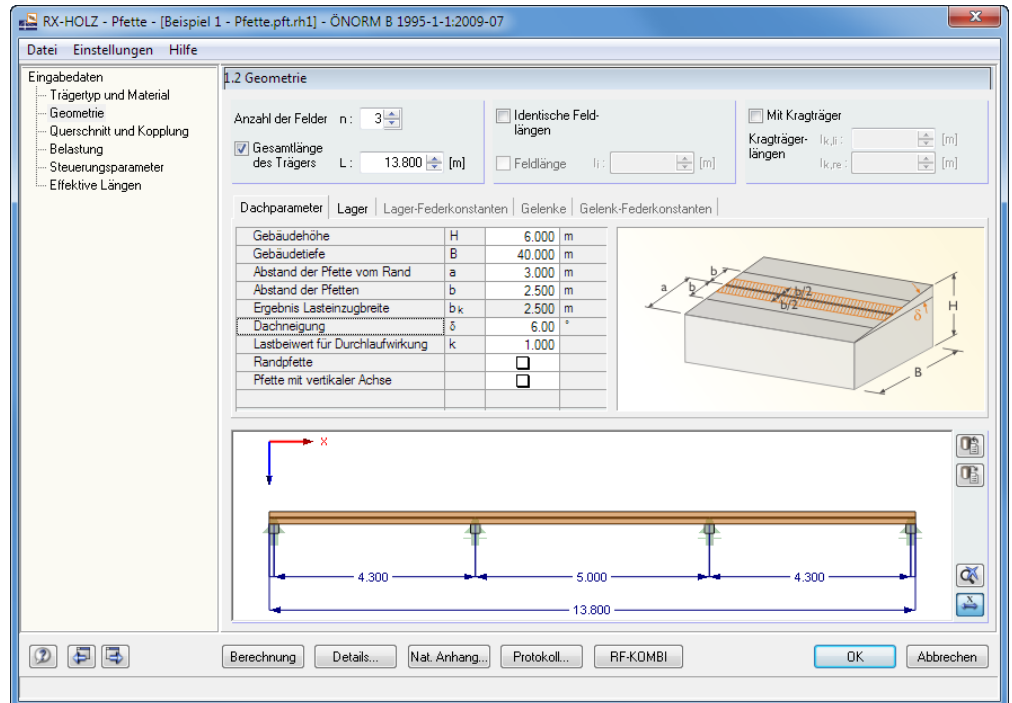


Bild 6.4: Maske 1.2 Geometrie, Register Dachparameter

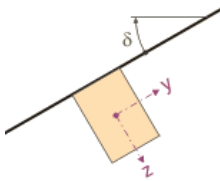
Für unser Beispiel wählen wir:

- Anzahl der Felder n : **3**
- Gesamtlänge L : **13,80 m**

Da die Feldlängen variieren, ist das Kontrollfeld *Identische Feldlängen* ggf. zu deaktivieren.

Im Register *Dachparameter* sind die Angaben wie im Bild oben gezeigt vorzunehmen. Die Achsen der Pfette sind an die Neigung des Daches von **6,0°** angepasst. Deshalb ist das Kontrollfeld *Pfette mit vertikaler Achse* zu deaktivieren.

Im zweiten Register *Lager* können dann die Feldlängen und Lagerbreiten festgelegt werden.



Dachparameter Lager Lager-Federkonstanten Gelenke Gelenk-Federkonstanten										
Lager Nr.	A Stelle X [m]	B Feldlänge l [m]	C Lagerbreite b [cm]	D Lagertyp	E Verschiebung			F Verdrehung		
					u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z
1	0.100	4.300	20.00	Gelenkig	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	4.400	5.000	20.00	Gelenkig verschieblich	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	9.400	4.300	20.00	Gelenkig verschieblich	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	13.700		20.00	Gelenkig verschieblich	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5										
6										
7										

Bild 6.5: Maske 1.2 Geometrie, Register Lager

Die *Stelle X* ergibt sich jeweils aus der Feldlänge und Lagerbreite, die wie im Bild oben einzugeben sind. Am ersten Lager ist die Pfette in Längsrichtung gehalten; die übrigen Lager sind gelenkig und frei verschieblich in X.

6.2.3 Querschnitt und Kopplung

In der nächsten Maske sind die Querschnittsabmessungen, die Kopplungen und die Verbindungselemente zu definieren.

Als *Querschnitt* wählen wir die Abmessungen **b = 14 cm** und **h = 26 cm**.

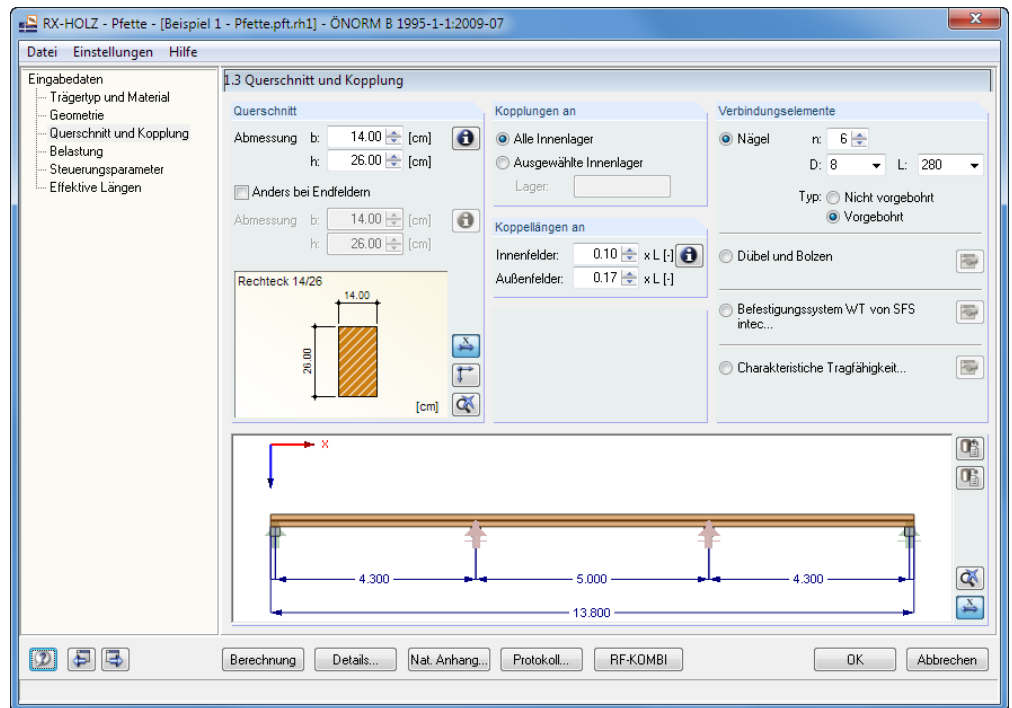
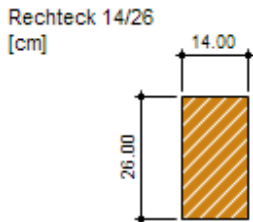


Bild 6.6: Maske 1.3 Querschnitt und Kopplung

Die *Kopplungen* sind für **Alle Innenlager** vorzusehen.

Die voreingestellten *Koppellängen* belassen wir unverändert. Über die [Info]-Schaltfläche kann das Verbindungsschema der Pfetten überprüft werden (siehe Bild 6.2, Seite 62).

Als *Verbindungselemente* sind **Nägel** vorgesehen:

- Anzahl *n*: **6**
- Durchmesser *D*: **8 mm**
- Länge *L*: **280 mm**
- Typ: **Vorgebohrt**



6.2.4 Belastungen

Diese Maske verwaltet die diversen Lastarten.

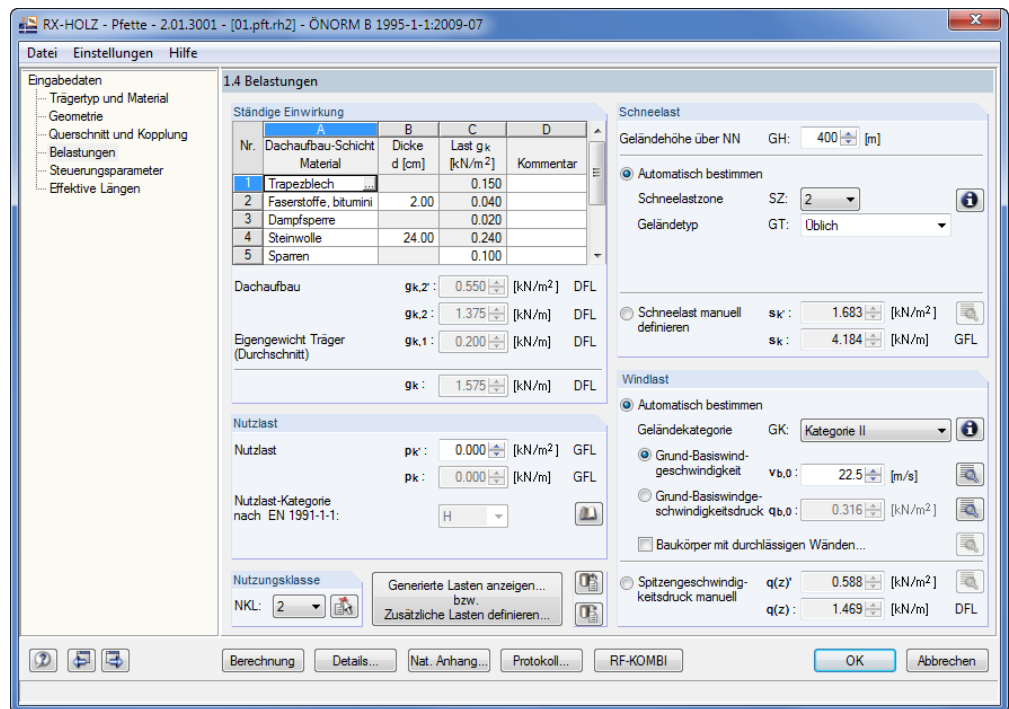


Bild 6.7: Maske 1.4 Belastungen



Die *Ständige Einwirkung* ist wie im Bild oben gezeigt einzugeben. Über die Schaltfläche [...] können die Materialien schnell in der Bibliothek ausgewählt werden.

In unserem Beispiel ist keine *Nutzlast* vorhanden.

Zur Eingabe der *Schneelast* legen wir die Geländehöhe mit **400 m** über NN fest und lassen dann die Last *Automatisch bestimmen*:

- *Schneelastzone SZ*: **2**
- *Geländekategorie GK*: **Üblich**



Die *Schneelastzone* kann über die [Info]-Schaltfläche auch grafisch in der Karte gewählt werden (siehe Bild 6.8).

Die *Windlast* lassen wir ebenfalls *Automatisch bestimmen*. Hierzu geben wir lediglich die **Geländekategorie II** vor.



Über die [Info]-Schaltfläche sind nähere Informationen zu den einzelnen Geländekategorien zugänglich.

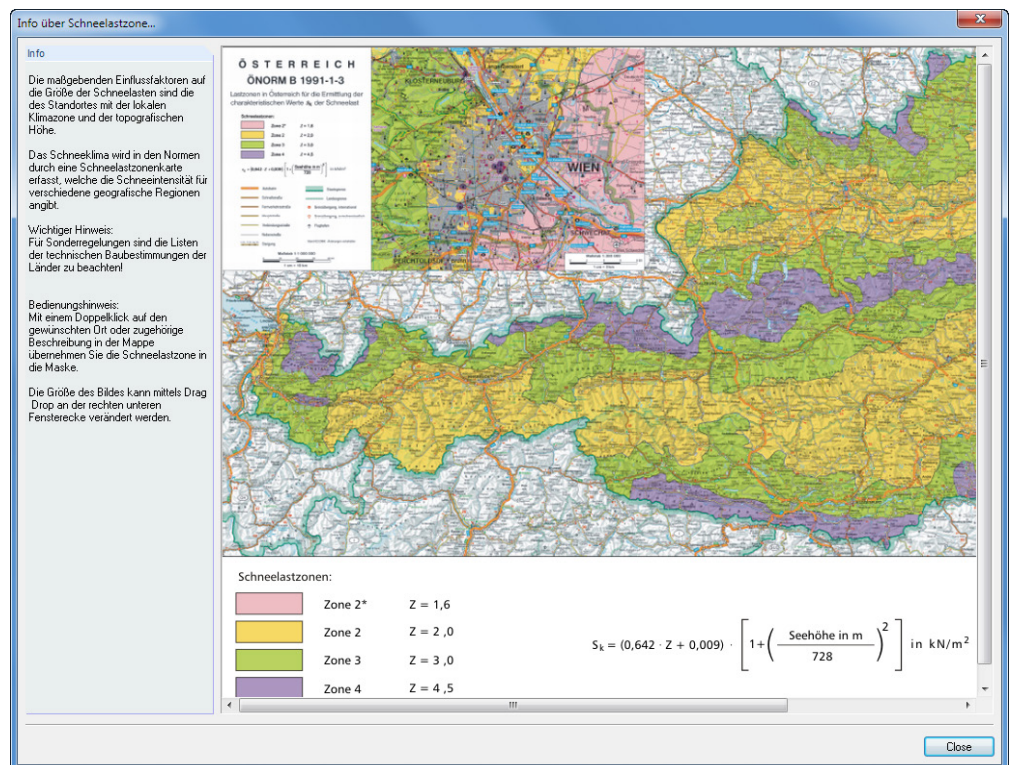


Bild 6.8: Schneelastzonenkarte für Österreich

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...

Mit der Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen] wechseln wir in den Dialog *Lastfälle*, um die generierten Lasten zu betrachten.

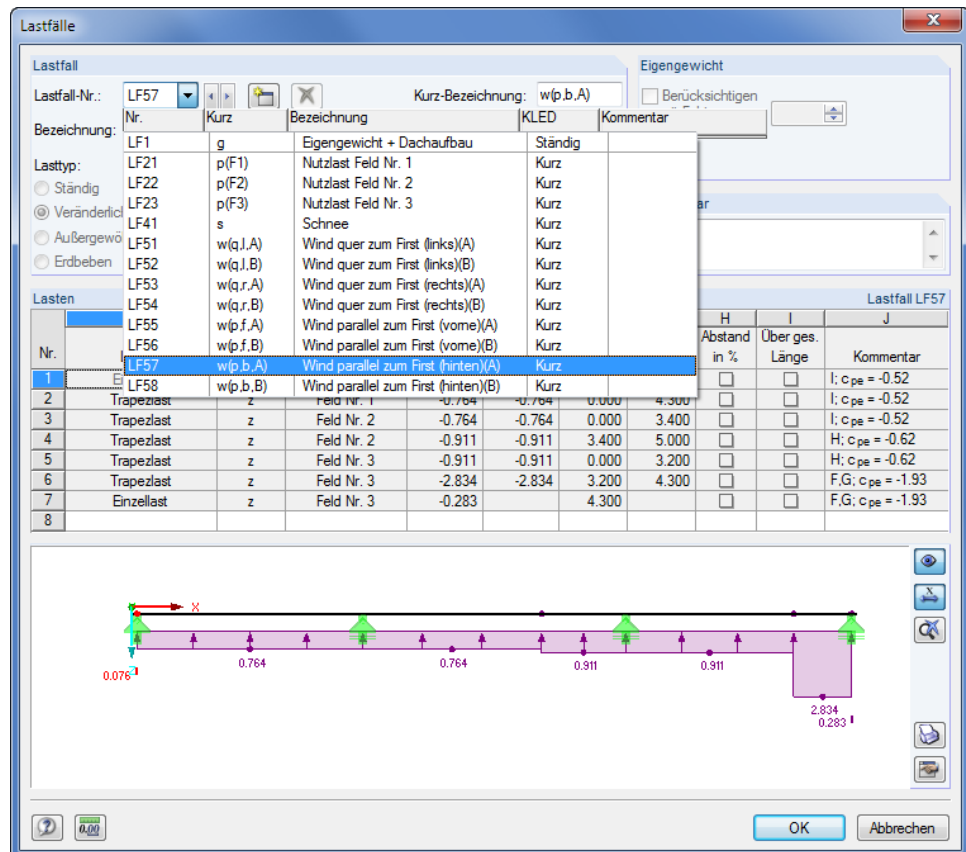


Bild 6.9: Dialog Lastfälle

6.2.5 Steuerungsparameter

In Maske 1.5 *Steuerungsparameter* legen wir fest, dass nur die **Tragfähigkeit** untersucht werden soll (der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist im Kapitel 3.4.4 auf Seite 36 beschrieben).

Im Abschnitt *Berechnungsparameter* ist die **Umlagerung der Momente** nach ÖNORM EN 1990 zu aktivieren. Wir belassen die Voreinstellung von 10%.

Wir setzen die Anzahl der *Stabteilungen* auf **20**.

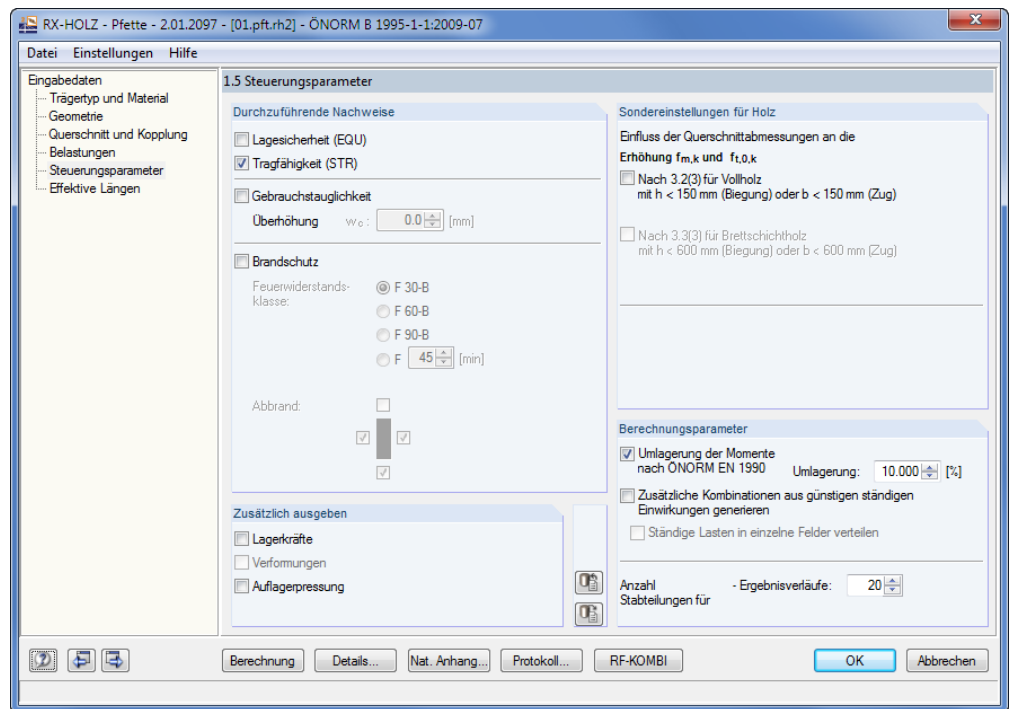


Bild 6.10: Maske 1.5 *Steuerungsparameter*

Die Schaltfläche [Nat. Anhang] ruft den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* auf. Dort können die für ÖNORM B 1995-1-1 voreingestellten Teilsicherheits- und Modifikationsbeiwerte eingesehen werden. Diese belassen wir unverändert.

6.2.6 Effektive Längen

Für das Beispiel nehmen wir den Faktor β auf der sicheren Seite liegend mit **1,0** an. Die Werte werden vom Programm automatisch voreingestellt, sodass in dieser Maske keine Änderungen erforderlich sind.

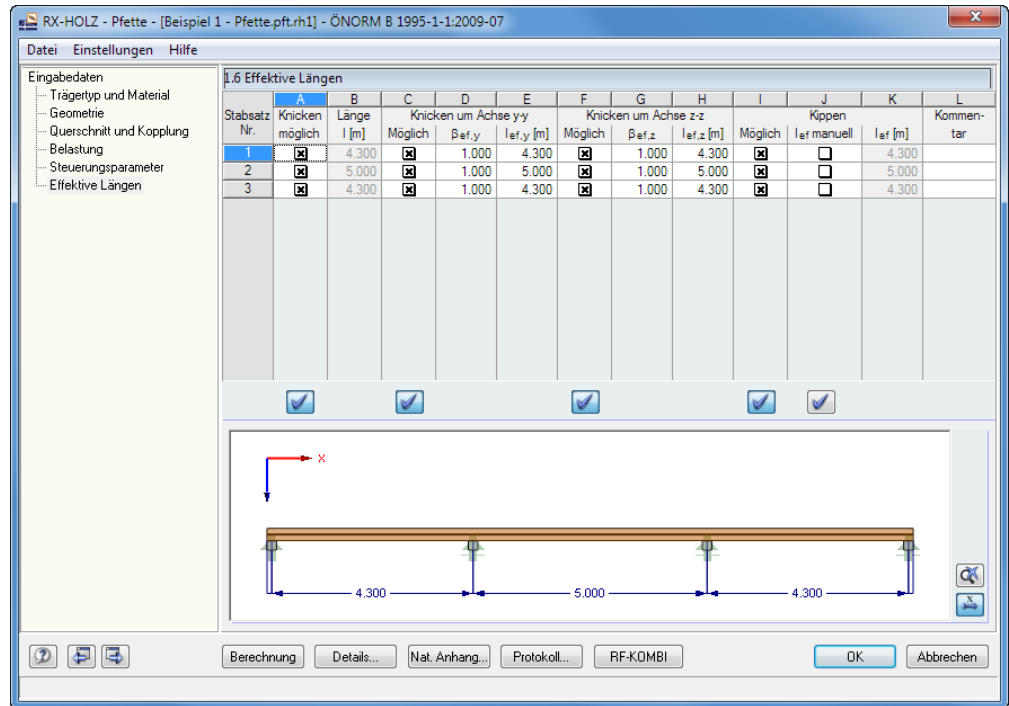


Bild 6.11: Maske 1.6 Effektive Längen

6.2.7 Details

Details...

Der Dialog [Details], der über die gleichnamige Schaltfläche zugänglich ist, steuert spezifische Bemessungsvorgaben.

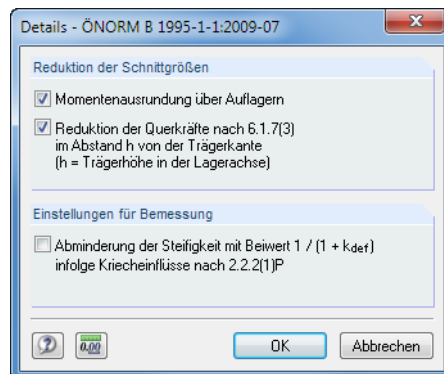


Bild 6.12: Dialog Details

In diesem Dialog aktivieren wir die beiden Optionen *Momentenausrundung über Auflagern* und *die Reduktion der Querkräfte*.

RF-KOMBI

6.2.8 RF-KOMBI

Über die Schaltfläche [RF-KOMBI] ist das in RX-HOLZ integrierte Modul RF-KOMBI zugänglich. Dort können die Kombinationen eingesehen werden, die im Hintergrund nach EN 1990 und EN 1995 generiert werden. Die Lastfälle werden automatisch kombiniert, sodass dieses Modul nicht extra aufgerufen werden braucht.

Wir betrachten die Maske 1.2 *Zuordnung der Lastfälle zu Einwirkungen*. Für das relativ einfache Beispiel werden die Einwirkungen und zugehörigen Klassen der Lasteinwirkungsdauer automatisch korrekt gebildet.

In der Einwirkung EW4 *Windlasten* sind die Lastfälle 51 bis 58 als alternativ wirkend zusammengefasst. Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist als *Kurz* voreingestellt.

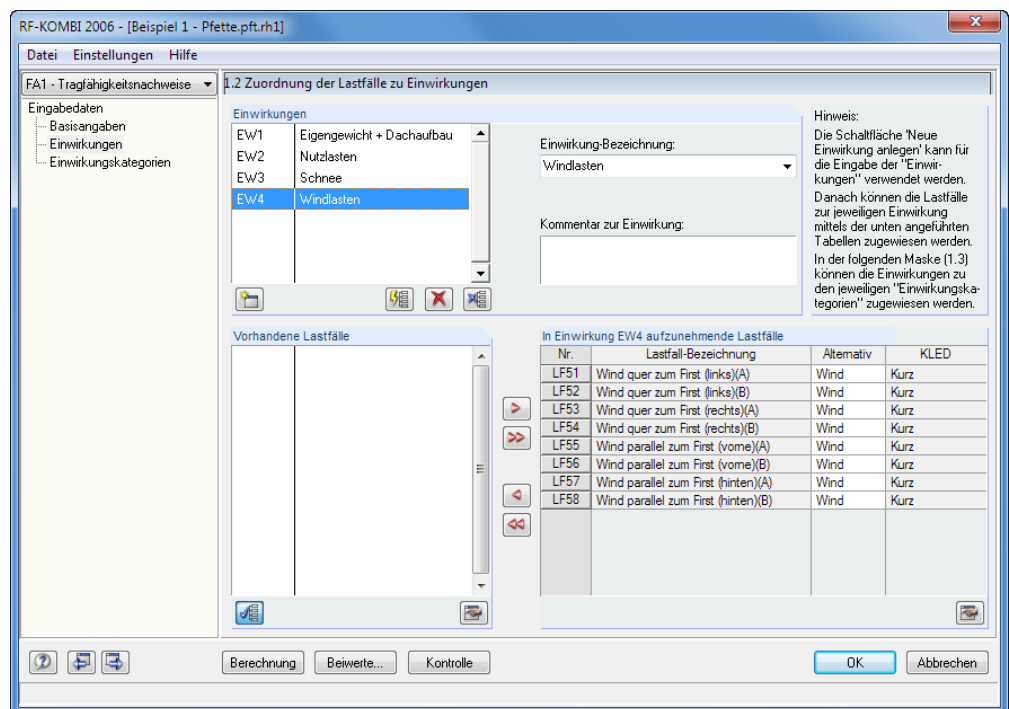


Bild 6.13: RF-KOMBI Maske 1.2: Zuordnung der Lastfälle zu Einwirkungen

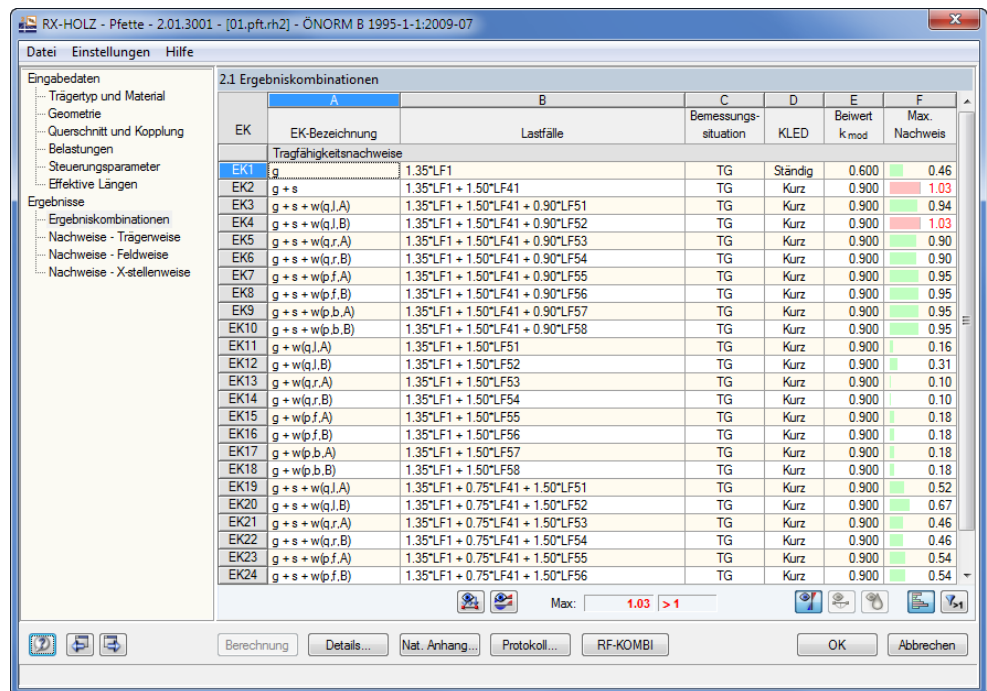
Die Möglichkeiten von RF-KOMBI sind im Handbuch zu diesem Modul ausführlich beschrieben, das auf www.dlubal.de zum Download bereitliegt. Mit [OK] erfolgt die Rückkehr zum Programm Pfette.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Ergebniskombinationen

Berechnung

Nach der [Berechnung] können in Maske 2.1 die Tragfähigkeitsnachweise für sämtliche Kombinationen mit den zugehörigen Auslastungen betrachtet werden.

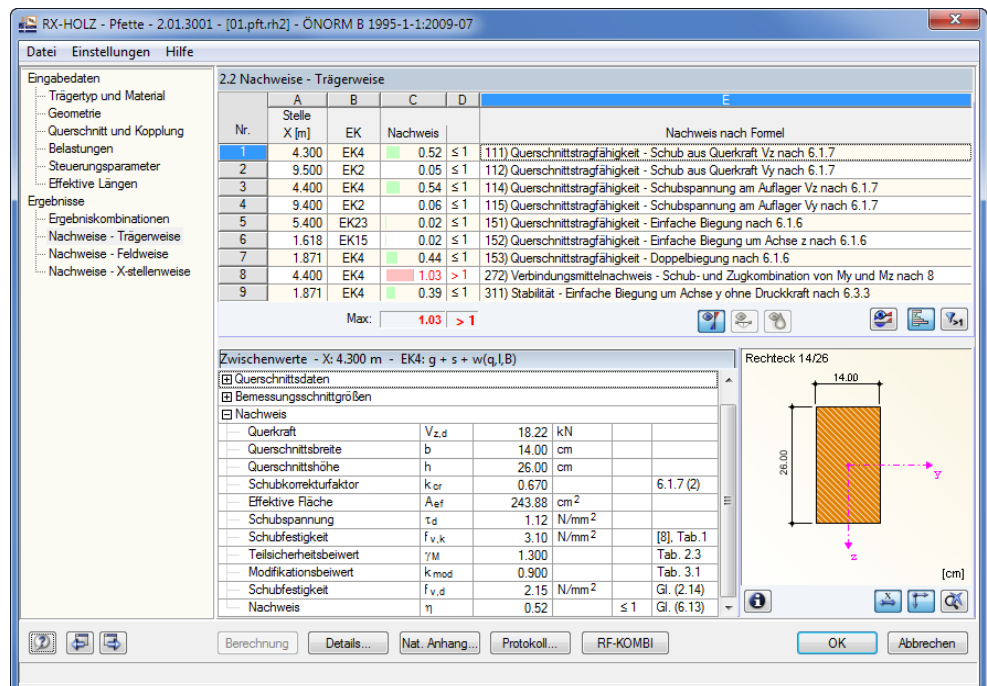


EK	EK-Bezeichnung	Lastfälle	Bemessungssituation	KLED	Beiwert k_{mod}	Max. Nachweis
EK1	g	1.35*LF1	TG	Ständig	0.600	0.46
EK2	g + s	1.35*LF1 + 1.50*LF41	TG	Kurz	0.900	1.03
EK3	g + s + w(q,l,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF51	TG	Kurz	0.900	0.94
EK4	g + s + w(q,l,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF52	TG	Kurz	0.900	1.03
EK5	g + s + w(q,r,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF53	TG	Kurz	0.900	0.90
EK6	g + s + w(q,r,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF54	TG	Kurz	0.900	0.90
EK7	g + s + w(p,f,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF55	TG	Kurz	0.900	0.95
EK8	g + s + w(p,f,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF56	TG	Kurz	0.900	0.95
EK9	g + s + w(p,b,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF57	TG	Kurz	0.900	0.95
EK10	g + s + w(p,b,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF41 + 0.90*LF58	TG	Kurz	0.900	0.95
EK11	g + w(q,l,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF51	TG	Kurz	0.900	0.16
EK12	g + w(q,l,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF52	TG	Kurz	0.900	0.31
EK13	g + w(q,r,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF53	TG	Kurz	0.900	0.10
EK14	g + w(q,r,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF54	TG	Kurz	0.900	0.10
EK15	g + w(p,f,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF55	TG	Kurz	0.900	0.18
EK16	g + w(p,f,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF56	TG	Kurz	0.900	0.18
EK17	g + w(p,b,A)	1.35*LF1 + 1.50*LF57	TG	Kurz	0.900	0.18
EK18	g + w(p,b,B)	1.35*LF1 + 1.50*LF58	TG	Kurz	0.900	0.18
EK19	g + s + w(q,l,A)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF51	TG	Kurz	0.900	0.52
EK20	g + s + w(q,l,B)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF52	TG	Kurz	0.900	0.67
EK21	g + s + w(q,r,A)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF53	TG	Kurz	0.900	0.46
EK22	g + s + w(q,r,B)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF54	TG	Kurz	0.900	0.46
EK23	g + s + w(p,f,A)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF55	TG	Kurz	0.900	0.54
EK24	g + s + w(p,f,B)	1.35*LF1 + 0.75*LF41 + 1.50*LF56	TG	Kurz	0.900	0.54

Bild 6.14: Maske 2.1 Ergebniskombinationen

6.3.2 Nachweise der Tragsicherheit

Maske 2.2 Nachweise - Trägerweise listet die maßgebenden Nachweise der Pfette auf.



Nr.	Stelle X [m]	EK	Nachweis	Nachweis nach Formel
1	4.300	EK4	0.52 ≤ 1	111) Querschnitttragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vz nach 6.1.7
2	9.500	EK2	0.05 ≤ 1	112) Querschnitttragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vy nach 6.1.7
3	4.400	EK4	0.54 ≤ 1	114) Querschnitttragfähigkeit - Schubspannung am Auflager Vz nach 6.1.7
4	9.400	EK2	0.06 ≤ 1	115) Querschnitttragfähigkeit - Schubspannung am Auflager Vy nach 6.1.7
5	5.400	EK23	0.02 ≤ 1	151) Querschnitttragfähigkeit - Einfache Biegung nach 6.1.6
6	1.618	EK15	0.02 ≤ 1	152) Querschnitttragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse z nach 6.1.6
7	1.871	EK4	0.44 ≤ 1	153) Querschnitttragfähigkeit - Doppelbiegung nach 6.1.6
8	4.400	EK4	1.03 > 1	272) Verbindungsmittelnachweis - Schub- und Zugkombination von My und Mz nach 8
9	1.871	EK4	0.39 ≤ 1	311) Stabilität - Einfache Biegung um Achse y ohne Druckkraft nach 6.3.3

Max.: 1.03 > 1

Zwischenwerte - X: 4.300 m - EK4: g + s + w(q,l,B)

Querschnittsdaten

Bemessungsgrößen

Nachweis

Größe	Wert	Einheit	Formel
Querkraft	18.22	kN	
Querschnittsbreite	14.00	cm	
Querschnittshöhe	26.00	cm	
Schubkorrekturfaktor	0.670		6.1.7 (2)
Effektive Fläche	243.88	cm ²	
Schubspannung	1.12	N/mm ²	
Schubfestigkeit	3.10	N/mm ²	[8], Tab.1
Teilsicherheitsbeiwert	1.300		Tab. 2.3
Modifikationsbeiwert	0.900		Tab. 3.1
Schubfestigkeit	2.15	N/mm ²	Gl. (2.14)
Nachweis	0.52		≤ 1 Gl. (6.13)

Rechteck 14/26

14.00

26.00

cm

Bild 6.15: Maske 2.2 Nachweise - Trägerweise

Alle Beiwerte und Bemessungsschnittgrößen lassen sich interaktiv einsehen: Mit einem Klick auf einen Nachweis in der oberen Tabelle können die entsprechenden *Zwischenwerte* des Nachweises im Abschnitt unten betrachtet werden.

Die Ergebnisse von RX-HOLZ werden durch eine Handrechnung überprüft.

Schub aus Querkraft V_z nach 6.1.7

Die maximale Querkraft von 19,00 kN tritt an den Innenauflägern in der EK4 auf.

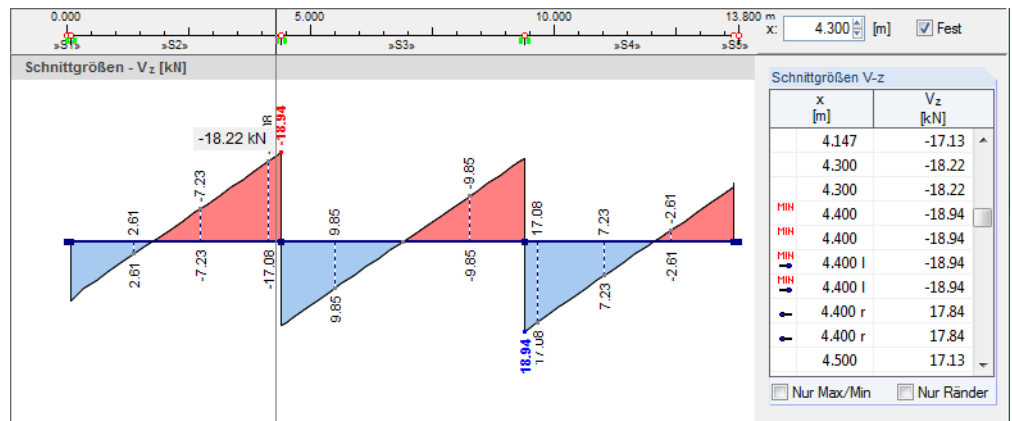


Bild 6.16: Verlauf der Querkraft V_z in EK4

Die Lagerbreite von 20 cm führt zu einer reduzierten Bemessungsquerkraft von 18,22 kN am Auflagerand.

$$\text{Schubspannung} \quad \tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{18,22 \text{ kN}}{9,6 \text{ cm} \cdot 26 \text{ cm}} = 0,11 \text{ kN/cm}^2 = 1,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 14 \text{ cm} = 9,6 \text{ cm}$$

$$\text{Schubfestigkeit} \quad f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 3,10 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 2,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,10}{2,15} = 0,51 < 1$$

Doppelbiegung nach 6.1.6

Die maximale Beanspruchung liegt in der Mitte des ersten Feldes vor – ebenfalls in der EK4. In der folgenden Grafik der Ergebnisverläufe werden sowohl die rechnerischen Verläufe als auch die für die Bemessung reduzierten bzw. umgelagerten Momentenverläufe dargestellt.

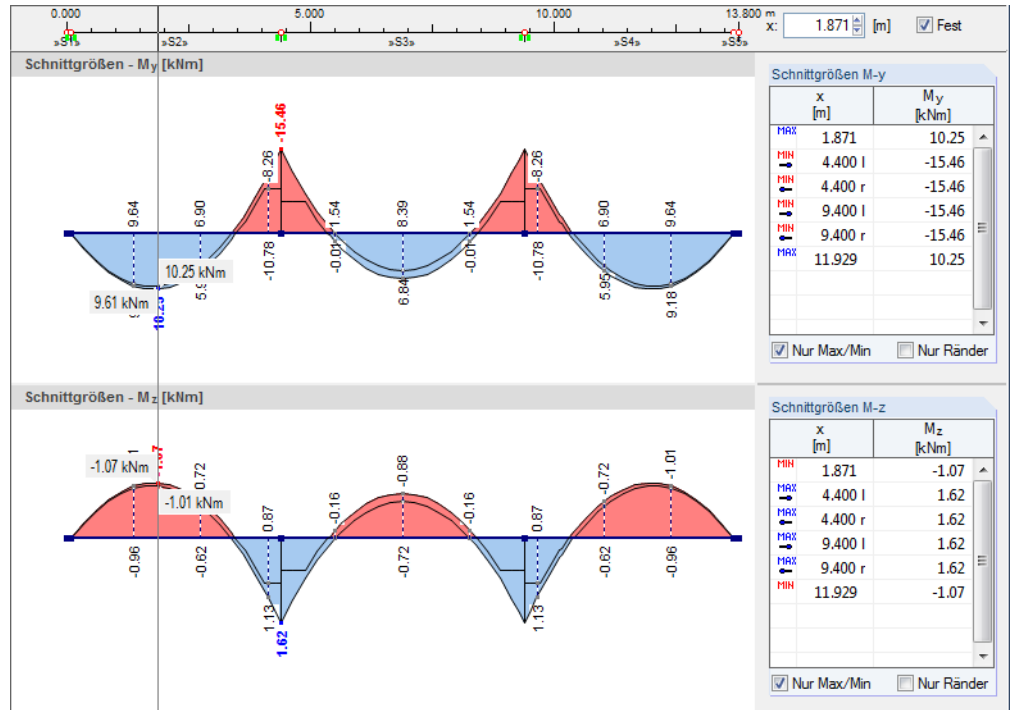


Bild 6.17: Verlauf der Momente M_y und M_z in EK4 mit Darstellung der ursprünglichen und der modifizierten Werte

Biegespannungen $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{10,25 \text{ kNm} \cdot 10^6}{1577 \text{ cm}^3 \cdot 10^3} = 6,50 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,07 \text{ kNm} \cdot 10^6}{849,3 \text{ cm}^3 \cdot 10^3} = 1,26 \text{ N/mm}^2$

Biegefestigkeit $f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$

Nachweis $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{6,50}{16,6} + 0,7 \cdot \frac{1,26}{16,6} = 0,44$

$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{6,50}{16,6} + \frac{1,26}{16,6} = 0,35$

maßgebend: $0,44 < 1$

2.2 Nachweise - Trägerweise					
Nr.	Stelle X [m]	B EK	C Nachweis	D	E Nachweis nach Formel
1	4.300	EK4	0.52	≤ 1	111) Querschnittstragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vz nach 6.1.7
2	9.500	EK2	0.05	≤ 1	112) Querschnittstragfähigkeit - Schub aus Querkraft Vy nach 6.1.7
3	4.400	EK4	0.54	≤ 1	114) Querschnittstragfähigkeit - Schubspannung am Auflager Vz nach 6.1.7
4	9.400	EK2	0.06	≤ 1	115) Querschnittstragfähigkeit - Schubspannung am Auflager Vy nach 6.1.7
5	5.400	EK23	0.02	≤ 1	151) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung nach 6.1.6
6	1.618	EK15	0.02	≤ 1	152) Querschnittstragfähigkeit - Einfache Biegung um Achse z nach 6.1.6
7	1.871	EK4	0.44	≤ 1	153) Querschnittstragfähigkeit - Doppelbiegung nach 6.1.6
8	4.400	EK4	1.03	> 1	272) Verbindungsmittelnachweis - Schub- und Zugkombination von My und Mz nach 8
9	1.871	EK4	0.39	≤ 1	311) Stabilität - Einfache Biegung um Achse y ohne Druckkraft nach 6.3.3
Max: 1.03 > 1					

Zwischenwerte - X: 1.871 m - EK4: g + s + w(q,l,B)					
Moment	My,d	10.251	kNm		
Moment	Mz,d	1.073	kNm		
Widerstandsmoment	Wy	1577.33	cm ³		
Widerstandsmoment	Wz	849.33	cm ³		
Biegespannung	$\sigma_{m,y,d}$	6.50	N/mm ²		
Biegespannung	$\sigma_{m,z,d}$	1.26	N/mm ²		
Biegefestigkeit	$f_{m,y,k}$	24.00	N/mm ²	[8], Tab. 1	
Biegefestigkeit	$f_{m,z,k}$	24.00	N/mm ²	[8], Tab. 1	
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.300		Tab. 2.3	
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	0.900		Tab. 3.1	
Biegefestigkeit	$f_{m,y,d}$	16.62	N/mm ²	Gl. (2.14)	
Biegefestigkeit	$f_{m,z,d}$	16.62	N/mm ²	Gl. (2.14)	
Reduktionsbeiwert	k_m	0.700		6.1.6	
Nachweis 1	η_1	0.44		≤ 1	Gl. (6.11)

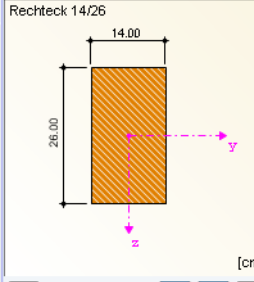


Bild 6.18: Nachweise für Doppelbiegung

Verbindungsmittel für Schub und Zug infolge Doppelbiegung nach 8.

Die Verbindungsmittel sind für beide Seiten der Überkopplung nachzuweisen. RX-HOLZ ermittelt das maximale Nachweiskriterium für die rechte Seite des ersten Zwischenauflagers. Maßgebend sind wiederum die Schnittgrößen der EK4.

□ Nachweis					
□ Linke Seite					
Bemessungsmoment	$M_{y,l}$	-5.88	kNm		
Bemessungsmoment	$M_{z,l}$	0.62	kNm		
Überkopplungslänge	u_l	0.731	m		
Bemessungskraft in Kopplung	$K_{z,l}$	8.05	kN		
Bemessungskraft in Kopplung	$K_{y,l}$	0.84	kN		
□ Kopplung					
Typ	Nägel				
Durchmesser	D	8.0	mm		
Länge	L	280.0	mm		
Öffnungstyp	Vorgebohrt				
Anzahl	n	6			
Charakteristische Beanspruchbarkeit	$F_{v,z,Rk}$	28.41	kN		
Charakteristische Beanspruchbarkeit	$F_{v,y,Rk}$	13.17	kN		
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	0.90			Tab. 3.1
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.30			Tab. 2.3
Bemessungsbeanspruchbarkeit	$F_{v,z,Rd}$	19.67	kN		
Bemessungsbeanspruchbarkeit	$F_{v,y,Rd}$	9.12	kN		
Nachweis Links		0.50		≤ 1	
□ Rechte Seite					
Bemessungsmoment	$M_{y,r}$	-8.26	kNm		
Bemessungsmoment	$M_{z,r}$	0.87	kNm		
Überkopplungslänge	u_r	0.500	m		
Bemessungskraft in Kopplung	$K_{z,r}$	16.52	kN		
Bemessungskraft in Kopplung	$K_{y,r}$	1.73	kN		
□ Kopplung					
Typ	Nägel				
Durchmesser	D	8.0	mm		
Länge	L	280.0	mm		
Öffnungstyp	Vorgebohrt				
Anzahl	n	6			
Charakteristische Beanspruchbarkeit	$F_{v,z,Rk}$	28.41	kN		
Charakteristische Beanspruchbarkeit	$F_{v,y,Rk}$	13.17	kN		
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	0.90			Tab. 3.1
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.30			Tab. 2.3
Bemessungsbeanspruchbarkeit	$F_{v,z,Rd}$	19.67	kN		
Bemessungsbeanspruchbarkeit	$F_{v,y,Rd}$	9.12	kN		
Nachweis Rechts		1.03		> 1	
Nachweis	η	1.03		> 1	

Bild 6.19: Nachweis der Verbindungsmittel

Rechte Seite

Bemessungskraft in Kopplungen $K_{z,d} = \frac{M_{y,d}}{u} = \frac{8,26 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m}} = 16,52 \text{ kN}$

$$K_{y,d} = \frac{M_{z,d}}{u} = \frac{0,87 \text{ kNm}}{0,5 \text{ m}} = 1,73 \text{ kN}$$

Schnitttragfähigkeit $F_{v,z,Rd} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 6 \cdot 4,734 \text{ kN} = 28,41 \text{ kN}$

$$F_{v,y,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,Rk} = 6 \cdot 2,195 \text{ kN} = 13,17 \text{ kN}$$

mit Tragfähigkeit Nagel je Scherfuge nach Gl. (8.6) mit maßgebender Bedingung (f)
(Anteil aus Seilwirkung wird in RX-HOLZ nicht angesetzt)

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} =$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 40115 \cdot 26,40 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 4,734 \text{ kN}$$

Ausziehwiderstand Nagel nach Gl. (8.23) mit maßgebender Bedingung (b)

$$F_{ax,Rk} = f_{head,k} \cdot d_h^2 = 8,58 \cdot 16^2 \cdot 10^{-3} = 2,195 \text{ kN}$$

Bemessungsschnitttragfähigkeit für Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse

$$F_{v,z,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,z,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{28,41 \text{ kN}}{1,3} = 19,67 \text{ kN}$$

$$F_{v,y,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,y,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{13,17 \text{ kN}}{1,3} = 9,12 \text{ kN}$$

Nachweis $\frac{K_{z,d}}{F_{v,z,d}} + \frac{K_{y,d}}{F_{v,y,d}} = \frac{16,52}{19,67} + \frac{1,73}{9,12} = 1,03 > 1$

Stabilitätsnachweis für einfache Biegung ohne Druckkraft nach 6.3.3

Der Kippnachweis erfolgt für einfache Biegung um die Stabachse y.

Als maßgebende Stelle erweist sich die Mitte des dritten Feldes. Die Biegespannung an der Stelle X = 11,929 m beträgt 6,5 N/mm² (siehe Seite 73).

Schlankheitsgrad $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot I_{ef}}} \cdot E_{0,05} = \sqrt{\frac{0,78 \cdot 140^2}{260 \cdot 4300}} \cdot 7400 = 0,487$

Kippbeiwert $k_{crit} = 1,0$

Nachweis $\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = \frac{6,5}{1,0 \cdot 16,62} = 0,39 > 1$

7. Verband

Dieses Beispiel beschreibt einen Aussteifungsverband, der den im Kapitel 2.2 vorgestellten Fischbauchträger stabilisieren soll.

Die Modelldaten sind im Modell *01.vrb* des Projekts *Beispiele RX-HOLZ* abgelegt. Sie ist unter den Beispieldateien des Programms **Verband** zu finden.

Der kurze Kragarm des Fischbauchträgers wird über eine Traufbohle konstruktiv ausgesteift; die hieraus resultierende Last wird direkt in das Auflager geleitet.

7.1 System und Belastung

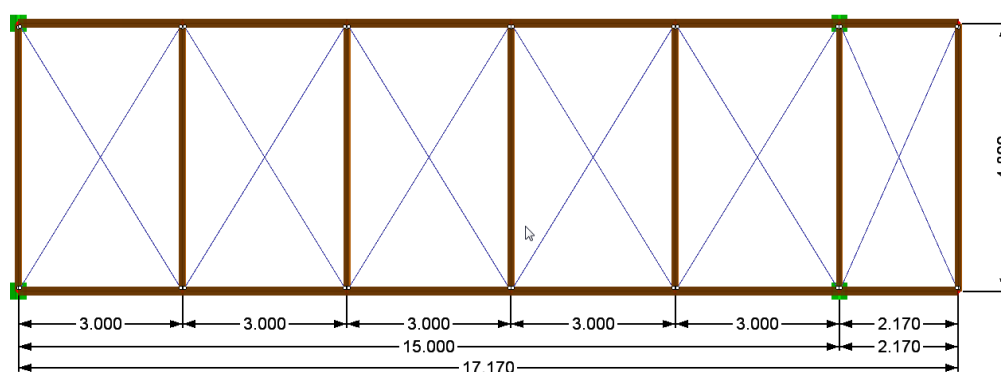


Bild 7.1: System

Modell

	Querschnitte	Material
Ober- / Untergurt	20/39 cm	GL 24c
Vertikalen	12/12 cm	C 24
Diagonalen	Rundstahl 20 mm	S 235

(Hinweis: Für den Gurt wird die Hälfte der Querschnittshöhe am Auflager verwendet.)

Dachform: Pultdach mit Kragarmen

Gebäudeabmessungen

Höhe: 6,0 m
Tiefe: 40,0 m

Geometrie

Verbandsbreite: 4,8 m
Länge: 15,0 m
Dachneigung: 5,0°
Kragarmlänge links: 0 m
Kragarmlänge rechts: 2,17 m
Innenfeldlänge: 3,0 m (im Grundriss)
Felderanzahl: 5

Belastung

Die zugehörige **Ersatzlast** wird direkt aus dem Fischbauchträger-Modell 08.gl übernommen, das sich unter den Beispieldateien für das Modul RX-HOLZ BSH befindet.

Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau	$q_g = 0,08 \text{ kN/m}$	KLED = ständig
Lastfall 41: Schneelast	$q_s = 0,04 \text{ kN/m}$	KLED = kurz
Lastfall 56: Wind parallel zum First (A)	$q_{w(p,A)} = 0,04 \text{ kN/m}$	KLED = kurz
Lastfall 56: Wind parallel zum First (B)	$q_{w(p,B)} = 0,03 \text{ kN/m}$	KLED = kurz

Die Windlasten werden durch den integrierten Lastgenerierer ermittelt. Sie werden – auf der sicheren Seite liegend – nur auf dem Innenfeld des Verbands angesetzt.

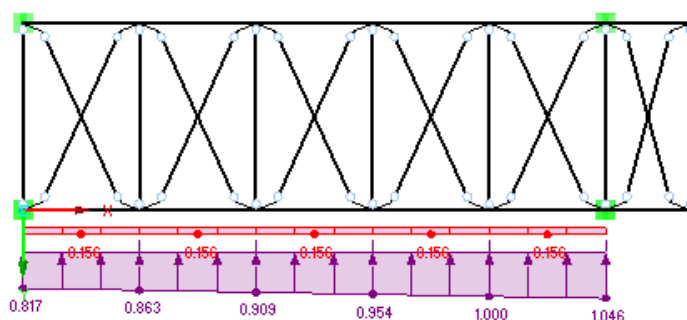


Bild 7.2: Windlast nur im Feld



Mit der Option *Verbandanzahl mehr als ein* (in Maske 1.7 Belastungen) werden die Windlasten „Druck auf Giebel“ (LF55) und „Sog auf Giebel“ (LF56) separat auf den vorderen bzw. hinteren Binder aufgebracht. Dabei werden automatisch zwei neue Lastfälle LF155 und LF156 angelegt.

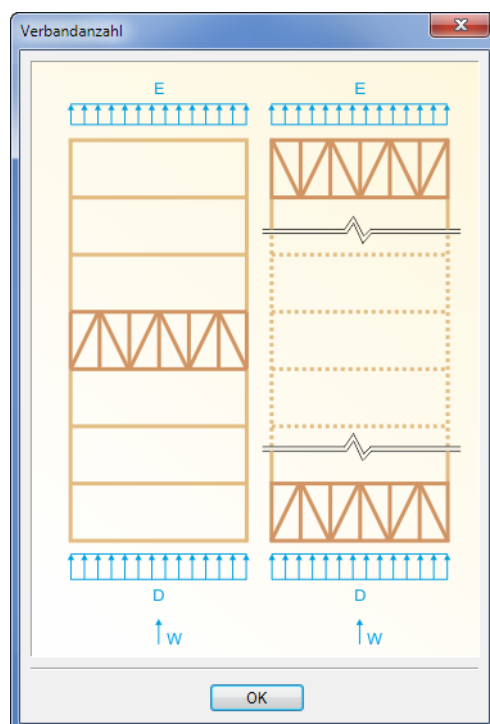


Bild 7.3: Verbandanzahl

Auch für andere Lastfälle werden automatisch gleiche Lastfälle mit umgekehrten Wirkrichtungen angelegt. Gerade bei ausfallenden Stahldiagonalen kann sich eine geänderte Lastrichtung u. U. auch positiv auswirken.

7.2 Eingabe der Modelldaten

7.2.1 Basisangaben

Starten Sie das Programm über das Icon **Dlubal RX-HOLZ 2.xx** und legen im Projektmanager ein neues Modell für das Modul **Verband** an.

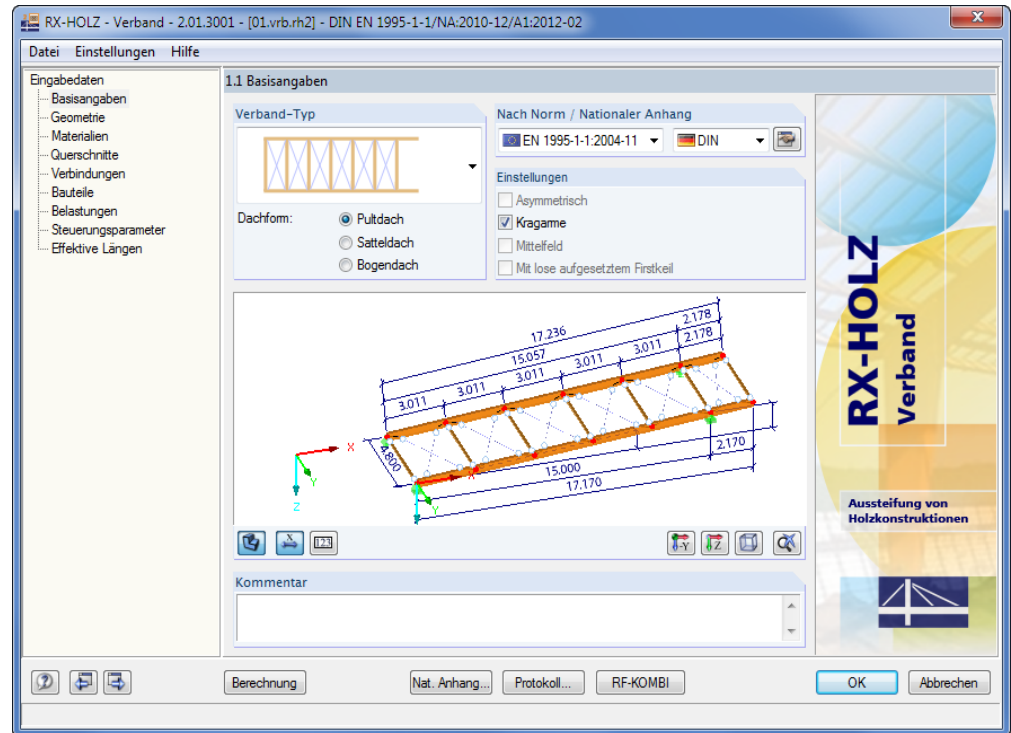
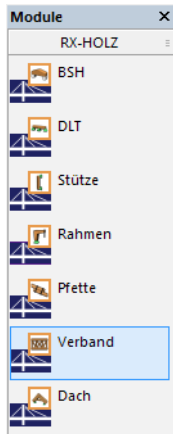


Bild 7.4: Maske 1.1 Basisangaben

Als *Dachform* wählen wir ein **Pultdach** mit **Kragarmen**.

Der Träger soll nach **DIN EN 1995-1-1** nachgewiesen werden.

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] rufen wir den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* auf, um die Normeinstellungen zu überprüfen (siehe folgendes Bild).



Parameter des Nationalen Anhangs - DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12/A1:2012-02

Allgemein | Andere | Verwendete Normen

Teilsicherheitsbeiwerte nach 2.4.1

SV: Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

- Vollholz γ_M : 1.300

- Brettschichtholz γ_M : 1.300

AG: Außergewöhnliche Bemessungssituation

γ_M : 1.000

Teilsicherheitsbeiwert nach EN 1995-1-2, 2.3

Für Holz im Brandfall $\gamma_{M,fi}$: 1.000

Modifikationsbeiwerte k-mod nach Tabelle 3.1

KLED	Nutzungsklasse		
	1	2	3
- Ständig:	0.600	0.600	0.500
- Lang:	0.700	0.700	0.550
- Mittel:	0.800	0.800	0.650
- Kurz:	0.900	0.900	0.700
- Sehr kurz:	1.100	1.100	0.900

Angaben zum Brandschutz nach EN 1995-1-2, 2.3, Tabelle 3.1 und 4.2.2

	Nadelholz	Brettschichtholz	Laubholz
Abbrandrate β_n :	0.80	0.70	0.55 [mm/min]
Erhöhter Abbrand d_0 :	7.00	7.00	7.00 [mm]
Faktor k_{fi} :	1.250	1.150	1.250

Grenzverformungen

- Charakteristische (seltene) Bemessungssituation nach 7.2

Beidseitig aufgelagert Auskragend

GS: Winst $\leq l / 1000$ $\leq l_k / 500$

- STR: Verformungen für Bemessungswerte nach 9.2.5

TA: Winst, d $\leq l / 500$ $\leq l_k / 250$

OK Abbrechen

Bild 7.5: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs - DIN EN 1995-1-1*

Gemäß Absatz 9.2.5 der DIN EN 1995-1-1 ist eine Verformungsberechnung bei Aussteifungsverbänden auch für den Nachweis der Tragfähigkeit zu führen, wenn kein genauere Nachweis erfolgt. Im Abschnitt *Grenzverformungen* begrenzen wir die Verformungen auf **l/500**.

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist eine Begrenzung von $l/1000$ voreingestellt. Gemäß Absatz 7.2 der Norm könnte hier auch mit $l/200$ oder ähnlichen Werten gerechnet werden. In diesem Fall ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit natürlich nicht mehr maßgebend, da hier die Mittelwerte der Steifigkeiten zur Berechnung der Verformungen verwendet werden. Bei der gebräuchlichen Einstellung von $l/1000$ als Grenzverformung sind aber dennoch Fälle denkbar, bei denen die Gebrauchstauglichkeitsbemessung maßgebend wird.

Um uns eine Vielzahl an Kombinationen zu ersparen, soll die Kombination der Lastfälle für die charakteristische seltene Situation mit sämtlichen Belastungen durchgeführt werden, sodass stets alle definierten Lastfälle kombiniert werden. Eine Aufteilung in die weiteren Nachweisformate der Norm ist dann nicht notwendig.

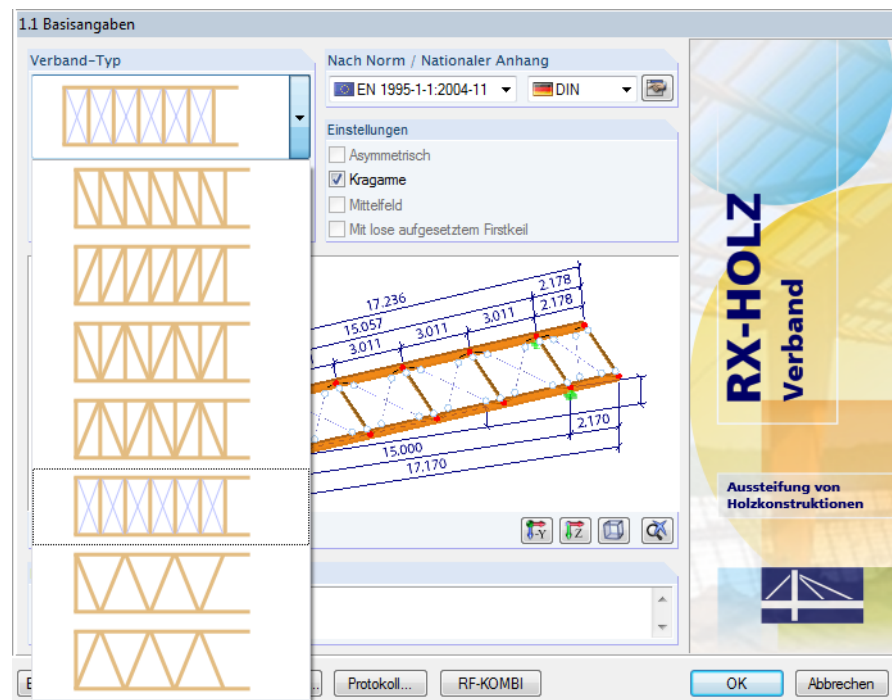


Bild 7.6: Maske 1.1 Basisangaben, Liste Verband-Typ

Wir legen den *Verband-Typ* über die Liste fest.

Die Variante mit Stahlzugbändern erfordert eine nichtlineare Berechnung. Daher werden bei diesem Verbandstyp automatisch Lastkombinationen gebildet. Die Berechnung erfolgt aber weiterhin nach Theorie I. Ordnung.

Die nichtlineare Berechnung berücksichtigt, dass ein Zugstab nicht mehr im System wirksam ist, wenn im Stab eine Druckkraft auftritt. In den folgenden Iterationsschritten wird das Modell dann ohne diesen Zugstab berechnet.

Da die Stahlzugbänder auch Biegemomente außerhalb der Ebene abtragen können, handelt es sich dabei genaugenommen um Balkenstäbe mit der Stabnichtlinearität „Ausfall bei Druck“.

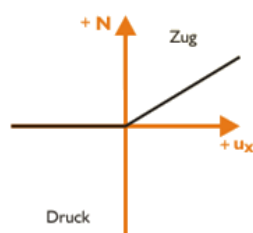


Bild 7.7: Ausfall auf Druck

7.2.2 Geometrie

In der zweiten Maske wird die Geometrie des Verbandes definiert.

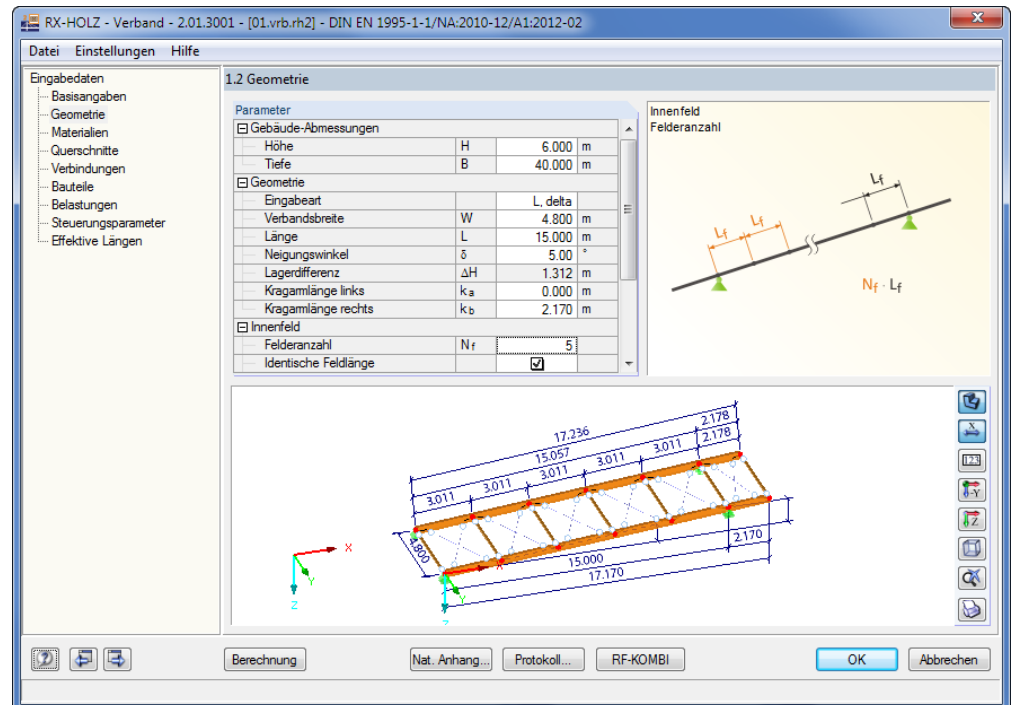


Bild 7.8: Maske 1.2 Geometrie

Die Geometrie-Parameter sind gemäß der Systembeschreibung auf Seite 76 einzugeben.

Um den Eingabeaufwand gering zu halten, haken wir die Kontrollfelder **Identische Feldlänge** und **Regelmäßige Diagonalen** an.

Wenn die Kontrollfelder nicht angehakt sind, können kreuzende, fallende und steigende Diagonalen in frei definierbaren Feldern beliebig kombiniert werden:

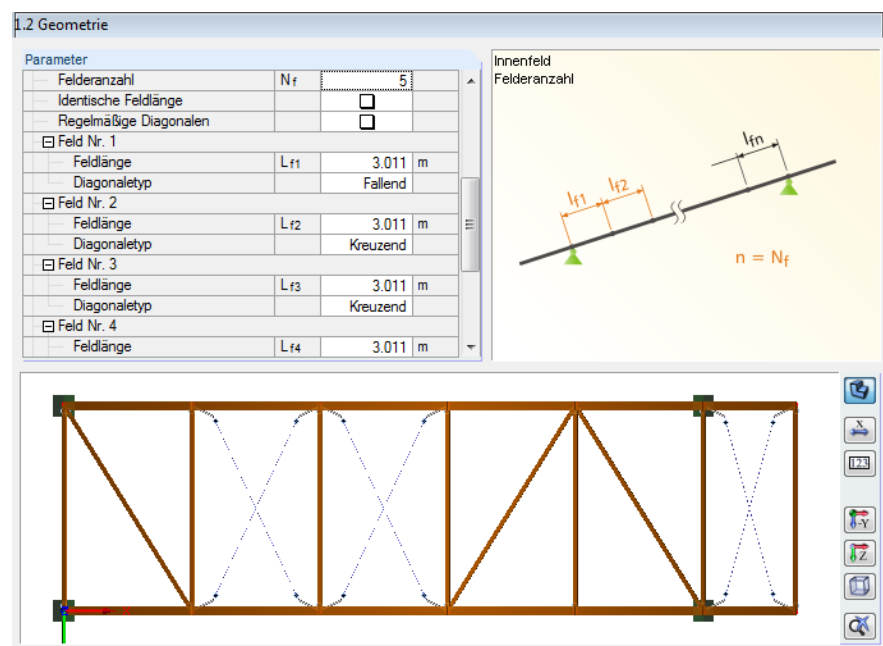


Bild 7.9: Abschnitt Parameter mit unterschiedlichen Diagonaltypen

7.2.3 Materialien

In Maske 1.3 sind die Materialien der Querschnitte zu definieren. Da bei Verbänden oft Stahl und Holz zum Einsatz kommen, ist in *Verband* die gesamte Palette der Stahlsorten verfügbar.

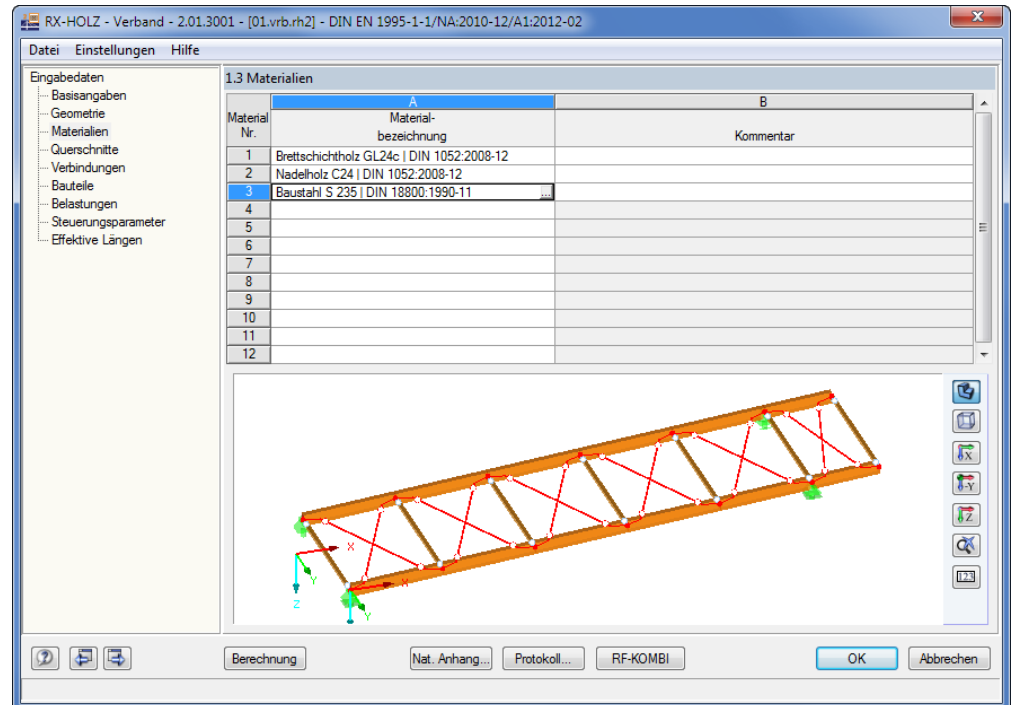


Bild 7.10: Maske 1.3 *Materialien*

Die Materialbibliothek ist über die Schaltfläche [...] am Ende der Eingabezeile zugänglich.

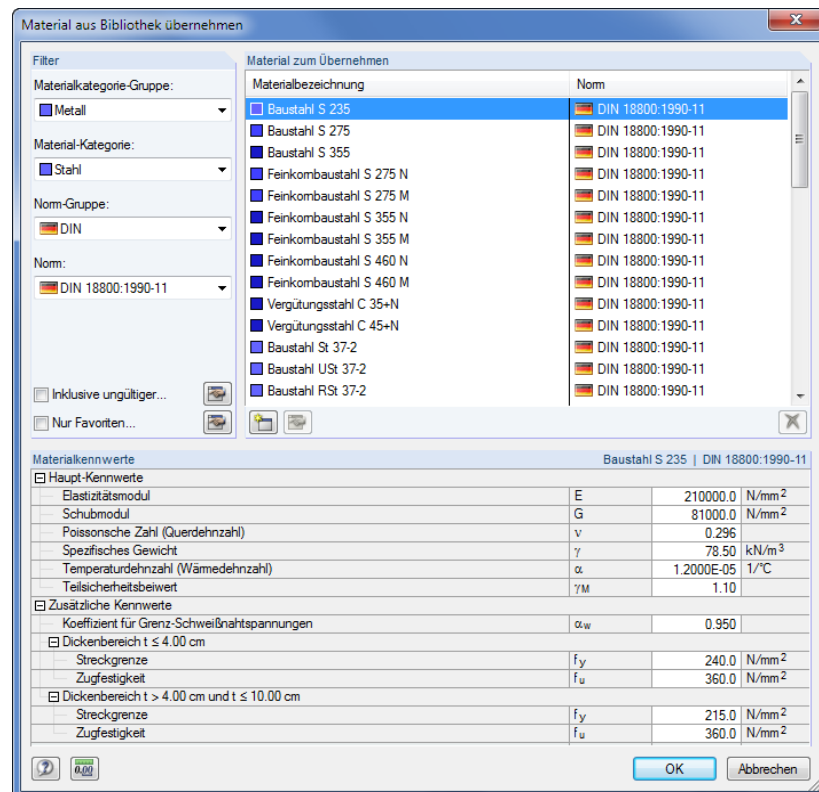


Bild 7.11: Materialbibliothek

7.2.4 Querschnitte

In Maske 1.4 *Querschnitte* können analog zur vorherigen Maske 1.3 die Querschnittstypen und Profilsorten in einer Bibliothek ausgewählt werden. Es ist auch möglich, die Querschnitte direkt in Spalte A einzutragen.

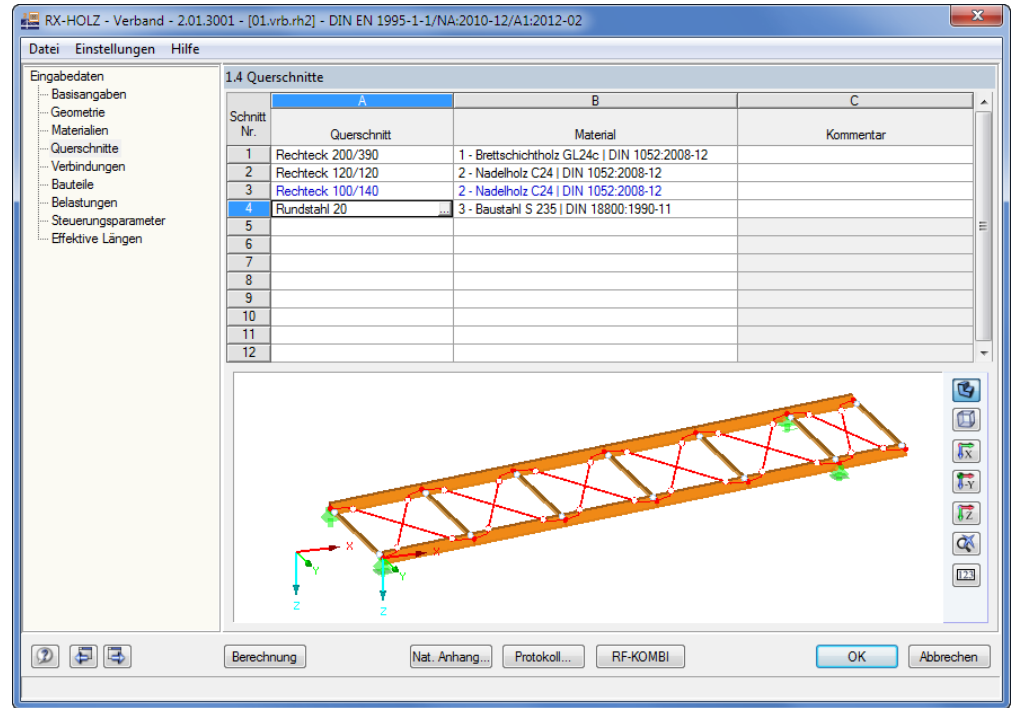


Bild 7.12: Maske 1.4 Querschnitte

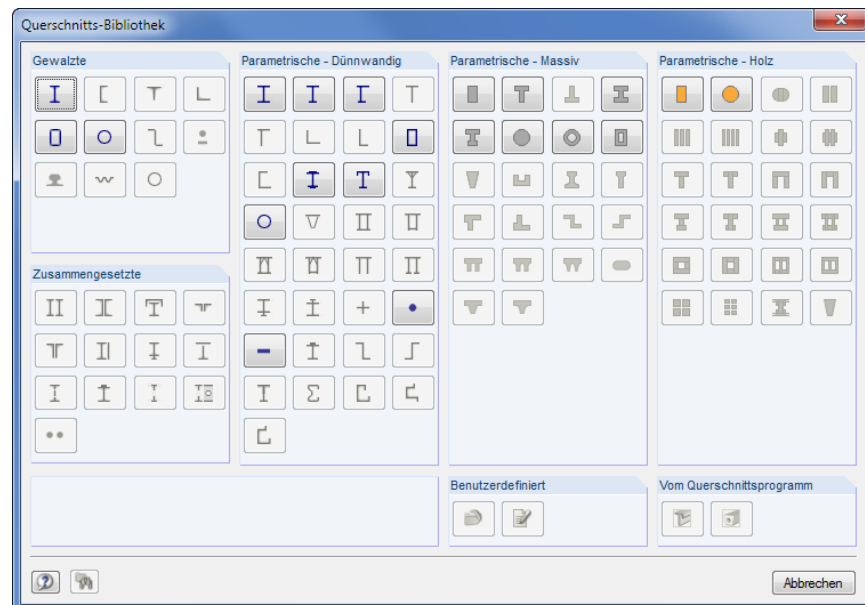


Bild 7.13: Querschnittsbibliothek

Unzulässige oder unlogische Querschnitte werden in Maske 1.4 rot gekennzeichnet.

Schnitt Nr.	A	B
Nr.	Querschnitt	Material
1	Rechteck 200/390	1 - Brettschichtholz GL24c DIN 1052:2008-12
2	Rechteck 200/200	3 - Baustahl S 235 DIN 18800:1990-11

Bild 7.14: Kennzeichnung unzulässiger Querschnitte

7.2.5 Verbindungen

In Maske 1.5 können die Verbindungen getrennt für die Vertikalen, Diagonalen und die kreuzenden Diagonalen definiert werden.

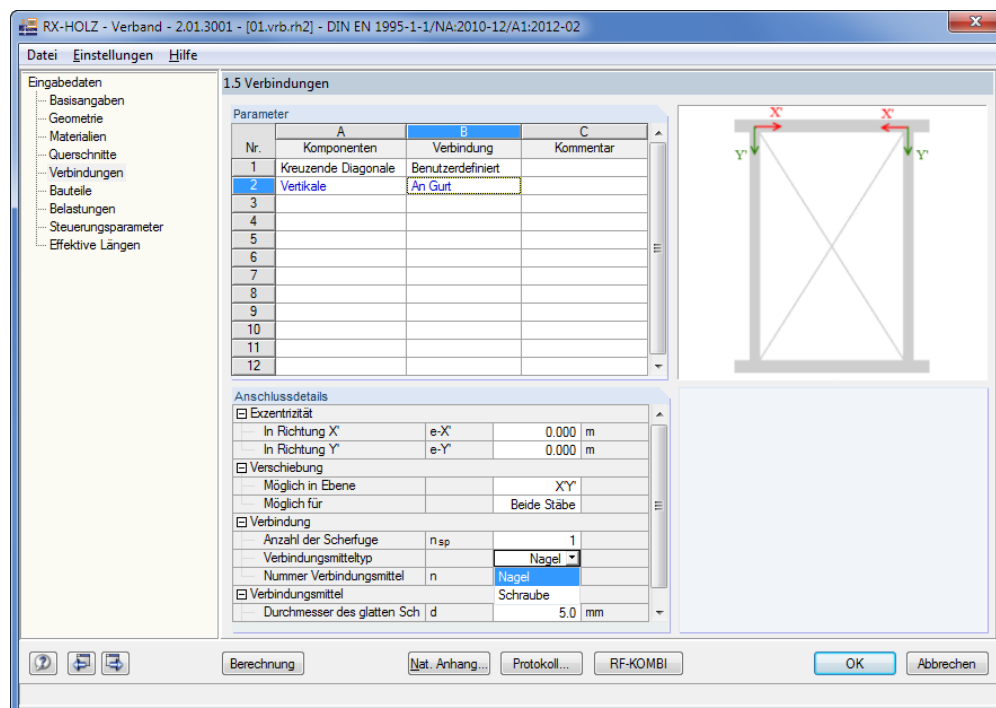


Bild 7.15: Maske 1.5 Verbindungen

In Spalte A *Komponenten* ist der Typ der Verbindung festzulegen.

In Spalte B kann ausgewählt werden, ob die Steifigkeiten *Benutzerdefiniert* angegeben oder vom Programm ermittelt werden sollen. Falls die Steifigkeiten berechnet werden sollen, steht eine Datenbank mit Verbindungsmitteln zur Verfügung. Dabei sind die Exzentrizitäten und die Anschlussgrößen manuell vorzugeben. Die Exzentrizitäten beziehen sich stets auf die Anfangsknoten des Feldes.

Für die **Kreuzende Diagonale** geben wir eine Exzentrizität von **0.500 m** in globale X'- und von **0.250 m** in globale Y'-Richtung vor. Die Weg- bzw. Drehfedersteifigkeiten belassen wir unverändert.

Anschlussdetails			
<input checked="" type="checkbox"/> Exzentrizität			
In X'-Richtung	e-X'	0.500	m
In Y'-Richtung	e-Y'	0.250	m
<input checked="" type="checkbox"/> Steifigkeit			
Entlang x		<input type="checkbox"/>	
Entlang y		<input type="checkbox"/>	
Um z		<input checked="" type="checkbox"/>	
Steifigkeit	c _q	0.000	kNm/rad

Bild 7.16: Benutzerdefinierte Eingabe der Anschlussdetails

Exkurs:

Ein Anschluss mit Durchsteckanker lässt sich auf verschiedene Weise modellieren.

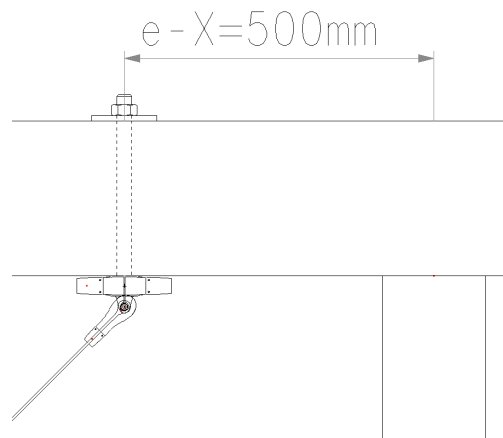


Bild 7.17: Detail Durchsteckanker

Dieser Anschluss kann prinzipiell über drei Varianten erfasst werden:

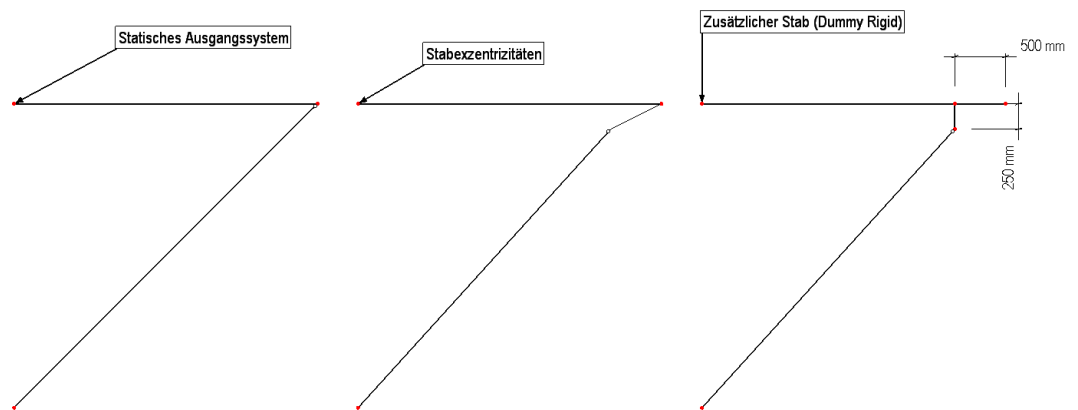


Bild 7.18: Modellierung der Exzentrizitäten

1. Es wird das statische Ausgangssystem von *RX-HOLZ Verband* ohne Berücksichtigung von Exzentrizitäten benutzt (einfachste Möglichkeit).
2. Es wird eine Stabexzentrizität für den Zugstab definiert.
3. Zur Modellierung der Exzentrizität wird ein neuer Stab mit sehr hoher Steifigkeit eingefügt.

Variante 3 liefert sehr realistische Ergebnisse (siehe folgendes Bild), ist jedoch mit einem hohen Aufwand verbunden. Diese Art der Modellierung ließe sich in *RX-HOLZ* nur sehr schwer umsetzen. Für eine praktikable und zügige Modellierung steht daher im Programm die Variante 2 zur Verfügung.

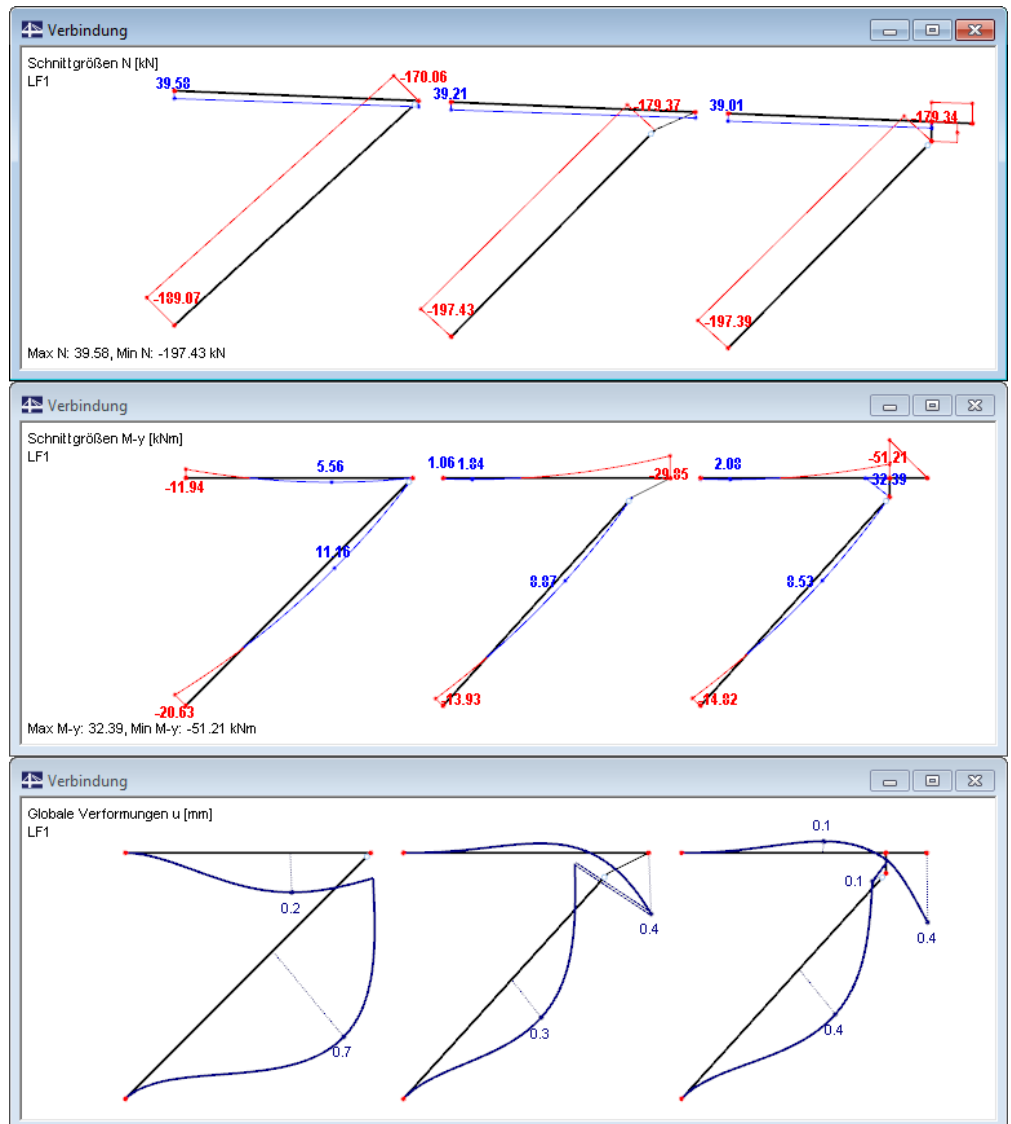


Bild 7.19: Schnittgrößen und Verformungen bei Varianten 1 bis 3 (von links nach rechts)

Wie das Bild zeigt, werden mit Variante 3 sehr realistische Ergebnisse erzielt. Variante 2 liefert ähnliche Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich der für den Verband relevanten Verformungen. Bei Variante 1 weichen die Ergebnisse deutlich ab.

7.2.6 Bauteile

In Maske 1.6 *Bauteile* weisen wir die zuvor definierte Verbindung den Bauteilen zu.

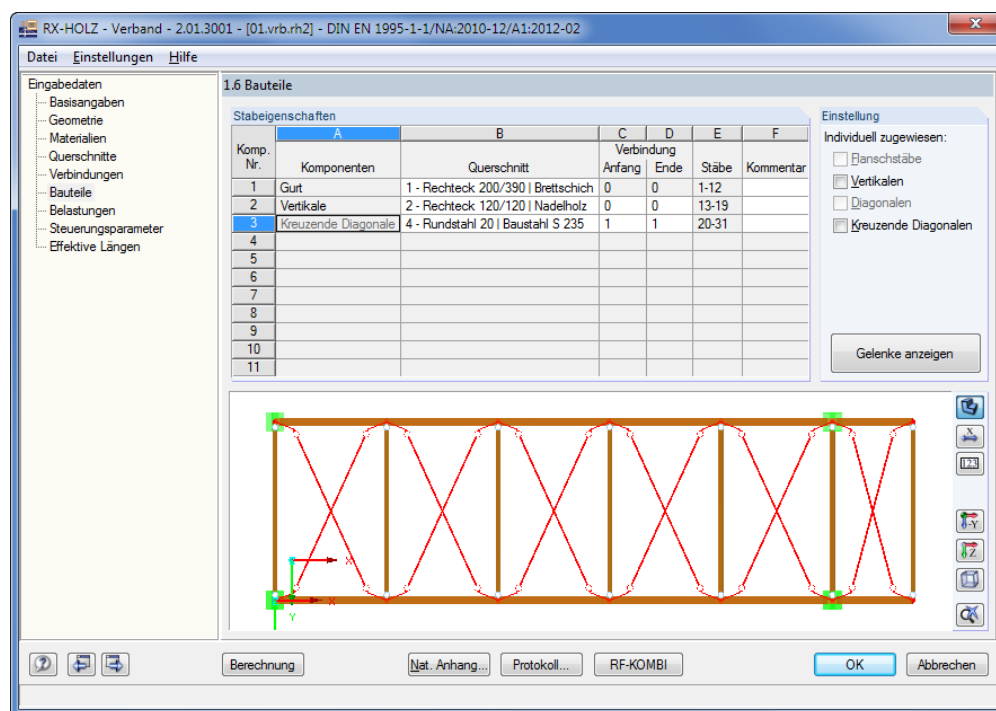


Bild 7.20: Maske 1.6 Bauteile

Für die kreuzenden Diagonalen wählen wir für den *Anfang* und das *Ende* der Stäbe die Verbindung **1** aus.

Soll die Exzentrizität eines Stabes individuell definiert werden, so kann im Abschnitt *Einstellung* jedem Stab eine eigene Verbindung zugewiesen werden. Wenn diese Kontrollfelder angehakt sind, könnte man auch jeden Querschnitt beliebig zuweisen (siehe folgendes Bild). Die Querschnitte sind vorher in Maske 1.4 *Querschnitte* zu definieren.

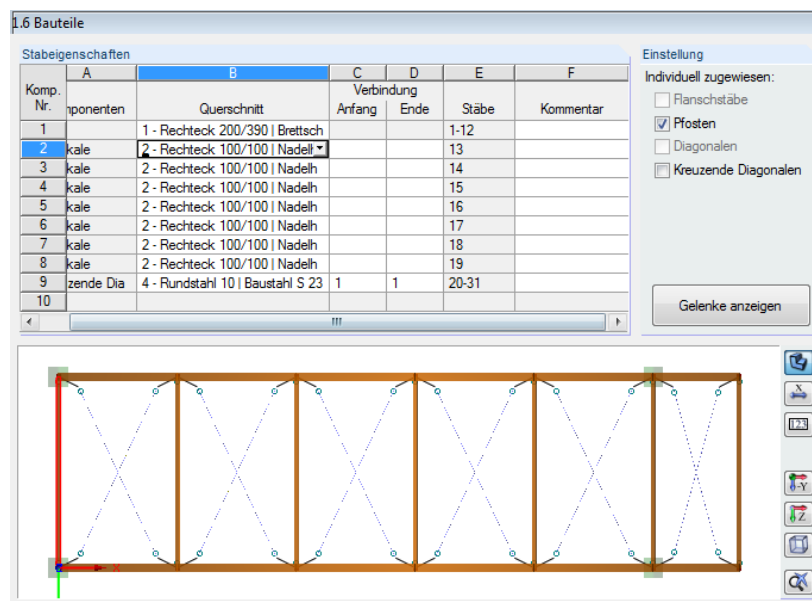
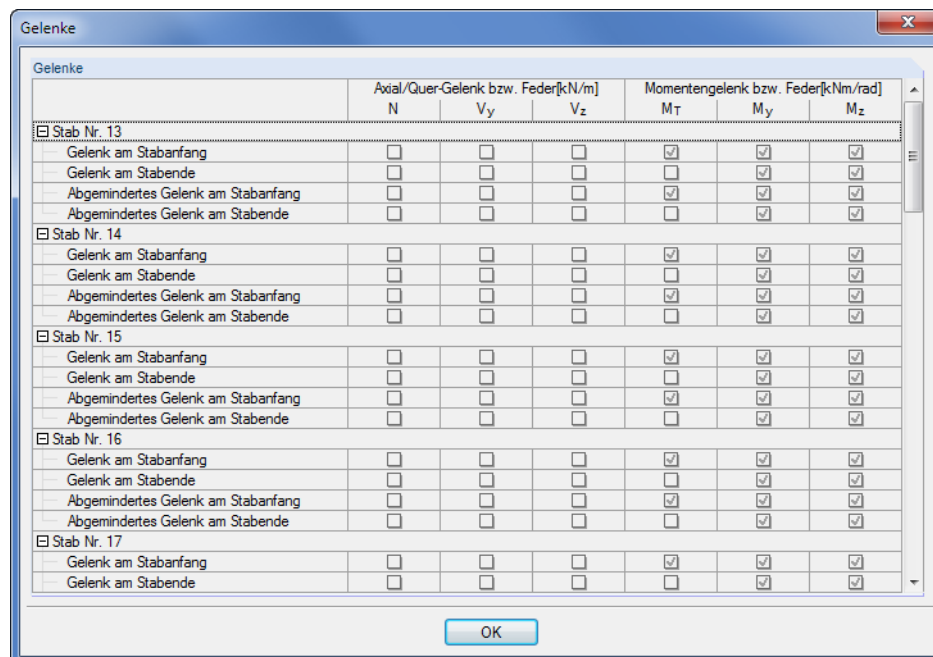


Bild 7.21: Bauteile individuell zuweisen

Die individuelle Modellierung ist jedoch mit einem hohen Modellierungsaufwand verbunden.

Gelenke anzeigen

Über die Schaltfläche [Gelenke anzeigen] lassen sich die Stäbe mit den definierten Exzentrizitäten und Steifigkeiten in Tabellenform anzeigen.



Gelenke	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder[kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder[kNm/rad]		
	N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z
Stab Nr. 13						
Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stab Nr. 14						
Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stab Nr. 15						
Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stab Nr. 16						
Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abgemindertes Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stab Nr. 17						
Gelenk am Stabanfang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gelenk am Stabende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Bild 7.22: Dialog Gelenke

Schaltflächen für Grafik

In Maske 1.6 *Bauteile* sind – wie in allen Masken, die eine grafische Darstellung des Verbands bieten – am rechten Rand der Grafik mehrere Schaltflächen verfügbar (siehe Bild 7.21).

Im Rendering ist es schwer zu erkennen, ob das Gelenk dem richtigen Stabende zugewiesen wurde. Deshalb ist neben der fotorealistischen Ansicht eine auf die Schwerelinien reduzierte Modelldarstellung möglich. Im Drahtmodell werden die Stäbe als Linien angezeigt, sodass die Gelenke gut zu erkennen sind. Zwischen beiden Varianten kann über die [Darstellungsart]-Schaltfläche gewechselt werden.

Über die Schaltfläche [Bemaßungen] können die Maßlinien am Verband angezeigt werden.

Die Nummerierung der Knoten und Stäbe lässt sich über einen Klick auf die Schaltfläche [Nummerierung] ein- und ausblenden.

Die Ansicht des Trägers kann über die Schaltflächen [-Y] bzw. [Z] verändert werden. Die Grafik zeigt dann den Verband in die gewählte Ansichtsrichtung an.

Mit der links dargestellten Schaltfläche wird die isometrische Ansicht eingestellt.

Über die letzte Schaltfläche kann wieder das gesamte Modell angezeigt werden. Dies ist hilfreich, wenn eine stark vergrößerte Ausschnittdarstellung vorliegt, die über das Scrollrad der Maus möglich ist.



7.2.7 Belastungen

In Maske 1.7 *Belastungen* sind einige Einträge vorzunehmen.

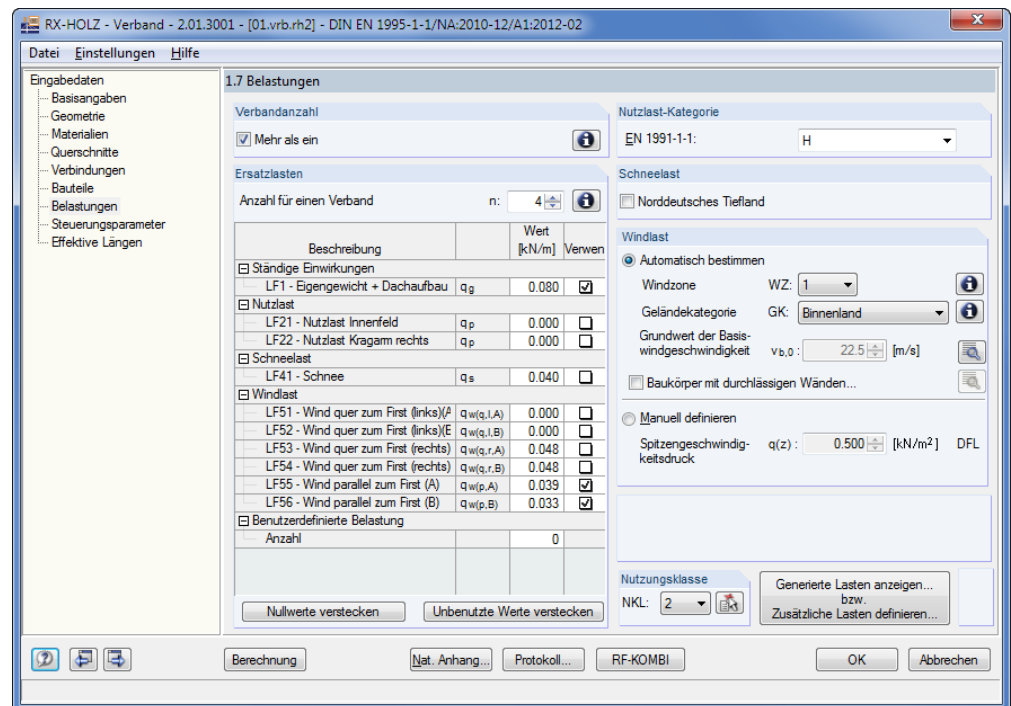


Bild 7.23: Maske 1.7 *Belastungen*

Im Abschnitt *Verbandanzahl* ist festzulegen, wie viele Verbände für die Aussteifung des Tragwerks sorgen. Für den Regelfall einer viereckigen Halle sollten die anströmenden Windlasten sinnvollerweise zwischen den Verbänden aufgeteilt werden. Daher haken wir das Kontrollfeld **Mehr als ein** an.

Bei der in Maske 1.2 definierten Hallengröße von 40 m müssen bei zwei Verbänden je vier Binder durch den Verband ausgesteift werden. Wir tragen daher im Abschnitt *Ersatzlasten* die Anzahl **4** ein.

Die Art der Lastaufbringung lässt sich über die [Info]-Schaltfläche verdeutlichen.

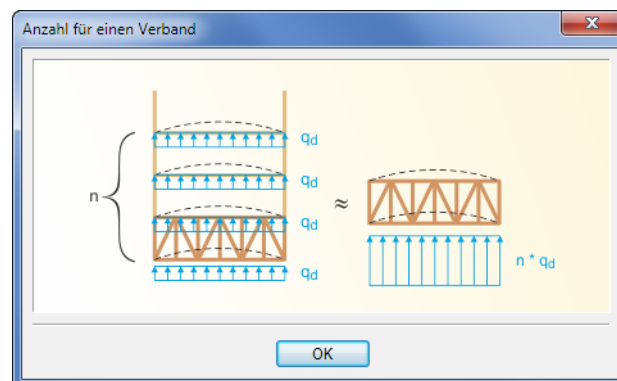
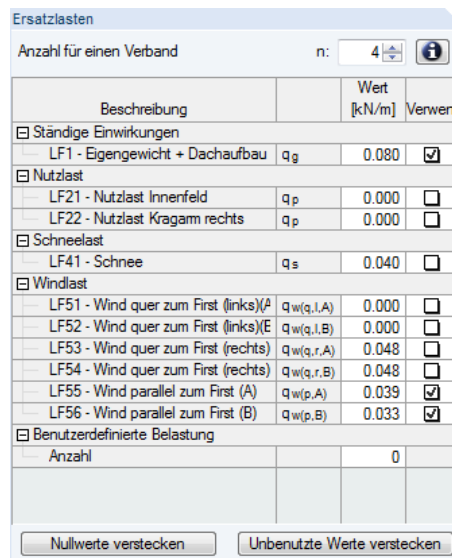


Bild 7.24: Dialog *Anzahl für einen Verband*

Im Abschnitt *Ersatzlasten* kann anhand eines Kontrollfeldes festgelegt werden, ob ein Lastfall für die automatischen Kombinationen verwendet werden soll. Diese Option ist besonders für benutzerdefinierte Lasten hilfreich, da diese Vorgabe nicht von RF-KOMBI überschrieben wird. Damit steuert der Anwender, welche Lastfälle verwendet werden sollen und welche nicht.



Beschreibung	Wert [kN/m]	Verwenden
Ständige Einwirkungen		
LF1 - Eigengewicht + Dachaufbau q_g	0.080	<input checked="" type="checkbox"/>
Nutzlast		
LF21 - Nutzlast Innenfeld q_p	0.000	<input type="checkbox"/>
LF22 - Nutzlast Kragarm rechts q_p	0.000	<input type="checkbox"/>
Schneelast		
LF41 - Schnee q_s	0.040	<input type="checkbox"/>
Windlast		
LF51 - Wind quer zum First (links) $q_{w(q,l,A)}$	0.000	<input type="checkbox"/>
LF52 - Wind quer zum First (links) $q_{w(q,l,B)}$	0.000	<input type="checkbox"/>
LF53 - Wind quer zum First (rechts) $q_{w(q,r,A)}$	0.048	<input type="checkbox"/>
LF54 - Wind quer zum First (rechts) $q_{w(q,r,B)}$	0.048	<input type="checkbox"/>
LF55 - Wind parallel zum First (A) $q_{w(p,A)}$	0.039	<input checked="" type="checkbox"/>
LF56 - Wind parallel zum First (B) $q_{w(p,B)}$	0.033	<input checked="" type="checkbox"/>
Benutzerdefinierte Belastung		
Anzahl	0	

Bild 7.25: Abschnitt *Ersatzlasten*

Im Allgemeinen empfiehlt es sich, hier den Lastfall 1 und die anströmenden Windlasten auf den Giebel zu *Verwenden*. Diese führen in den meisten Fällen zu den maßgebenden Verformungen des Verbandes.

Über die Schaltflächen [Nullwerte verstecken] und [Unbenutzte Werte verstecken] können die nicht verwendeten Lasten ausgeblendet werden.

Des Weiteren ist in Maske 1.7 die Vorgabe der *Nutzlast-Kategorie* möglich, die die automatische Überlagerung beeinflusst. Beim Anhaken der Option *Norddeutsches Tiefland* für die Schneelast wird automatisch in RF-KOMBI eine außergewöhnliche Kombination angelegt. Es werden dann auch die Steifigkeiten der Gelenke und der Materialien mit den charakteristischen Steifigkeiten erneut berechnet.

Die Generierung der *Windlast* erfolgt wie in den anderen Programmen der RX-HOLZ-Familie automatisch; sie kann aber auch manuell definiert werden.



Über die [Info]-Schaltfläche wird die Windzonenkarte von Deutschland aufgerufen. Die gewünschte Zone lässt sich dann per Doppelklick übernehmen.

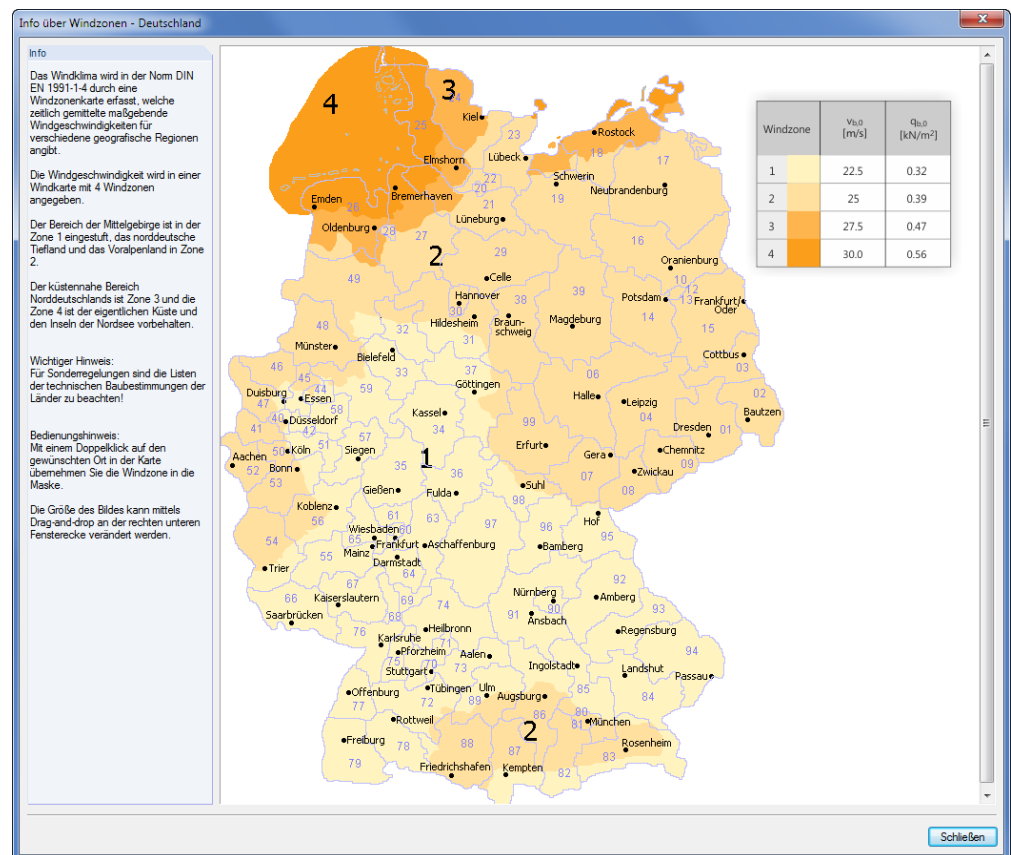


Bild 7.26: Windzonenkarte für Deutschland

Die Windbelastung wird automatisch für die gewählte Dachneigung von 5° interpoliert. Gemäß DIN EN 1991-1-4 ergeben sich somit für den Druck- bzw. Sogbereich folgende Werte:

Böengeschwindigkeitsdruck Windzone 1 $q(z)$	=	0,5 kN/m ²
Außendruckbeiwert Bereich D $c_{pe,10}$	=	0,69 (interpoliert für 5° Dachneigung)
Außendruckbeiwert Bereich E $c_{pe,10}$	=	0,27 (interpoliert für 5° Dachneigung)
Winddruck $c_{pe} \cdot q(z) = w_{e,D}$	=	0,34 kN/m ²
Windsog $c_{pe} \cdot q(z) = w_{e,E}$	=	0,14 kN/m ²

Aus diesen Beiwerten wird in Abhängigkeit von der in Maske 1.2 *Geometrie* definierten Gebäudehöhe die Windbelastung auf den Verband berechnet. Das Programm nimmt vereinfachend die Hälfte der Höhe an der Traufe sowie die Hälfte der Höhe am First zur Lasteinzugsfläche an.

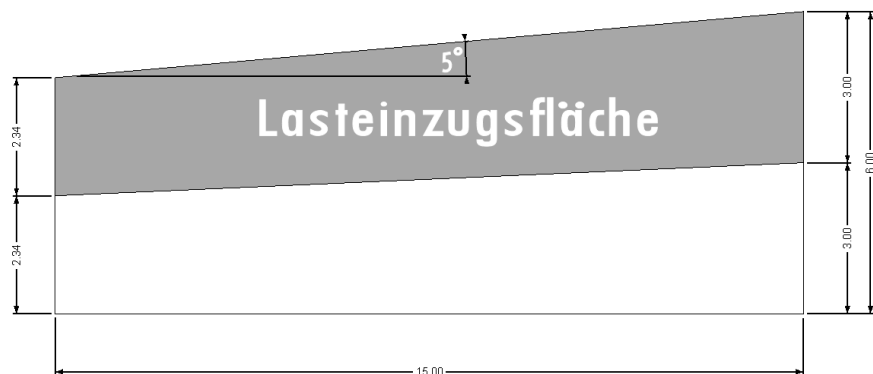


Bild 7.27: Schema Lasteinzugsfläche

Für genauere Lastannahmen wie etwa bei einem Stahlbetonringanker, bei dem nur die halbe Lasteinzugsfläche zu berücksichtigen wäre, ist auch eine manuelle Eingabe möglich.

Die Lastordinaten für den Winddruckbereich (LF 155) ergeben sich damit zu:

$$p_1 = w_{e,D} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos \alpha = 0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot (3 \cdot \cos 5^\circ) = 1,02 \text{ kN/m}$$

Die Abweichung von 0,03 kN/m ergibt sich durch die Rundungen für die Handrechnung.

Die Lastordinate der Traufe ergibt sich bei einer Traufhöhe von 5,33 m analog zu:

$$p_2 = w_{e,E} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos \alpha = 0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,65 \cdot \cos 5^\circ) = 0,89 \text{ kN/m}$$

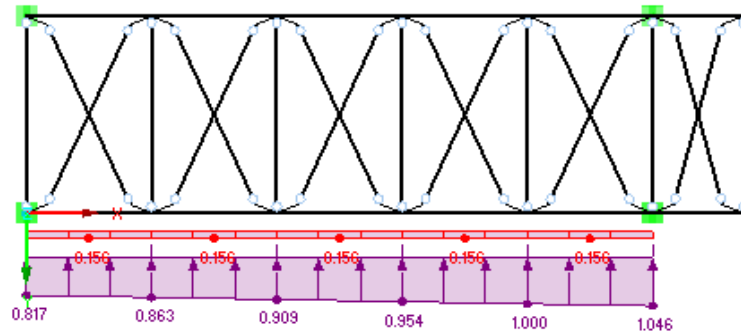


Bild 7.28: Last Winddruck Verband 1

Die Lastordinaten für den Windsogbereich (LF 56) ergeben sich zu:

$$p_1 = w_{e,D} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos \alpha = 0,14 \text{ kN/m}^2 \cdot (3 \cdot \cos 5^\circ) = 0,42 \text{ kN/m}$$

Die Lastordinate der Traufe ergibt sich mit der Höhe der Traufe von 5,33 m analog zu:

$$p_2 = w_{e,E} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos \alpha = 0,14 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,65 \cdot \cos 5^\circ) = 0,37 \text{ kN/m}$$

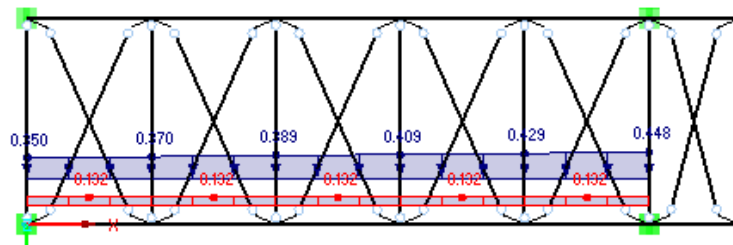


Bild 7.29: Last Windsog Verband 2

Die erforderliche Ersatzlast kann nach Gl. (9.37) der DIN EN 1995-1-1 berechnet werden:

$$q_d = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l}$$

Die Werte können alternativ aus Maske 2.4 *Lagerkräfte* des Programms *RX-HOLZ BSH* über die Zwischenablage (Strg + c und Strg + v) in Maske 1.7 eingefügt werden.

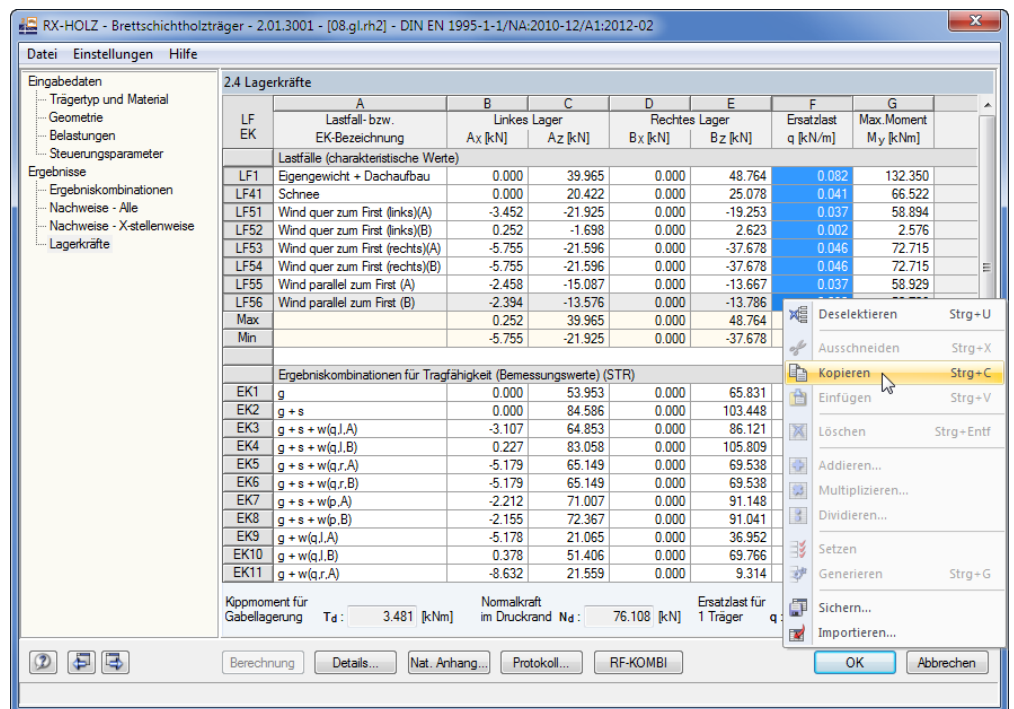


Bild 7.30: Maske 2.4 Lagerkräfte im Programm RX-HOLZ BSH kopieren

Generierte Lasten anzeigen...
bzw.
Zusätzliche Lasten definieren...

Mit der Schaltfläche [Generierte Lasten anzeigen] wechseln wir in den Dialog *Lastfälle*, um die generierten Lasten zu betrachten.

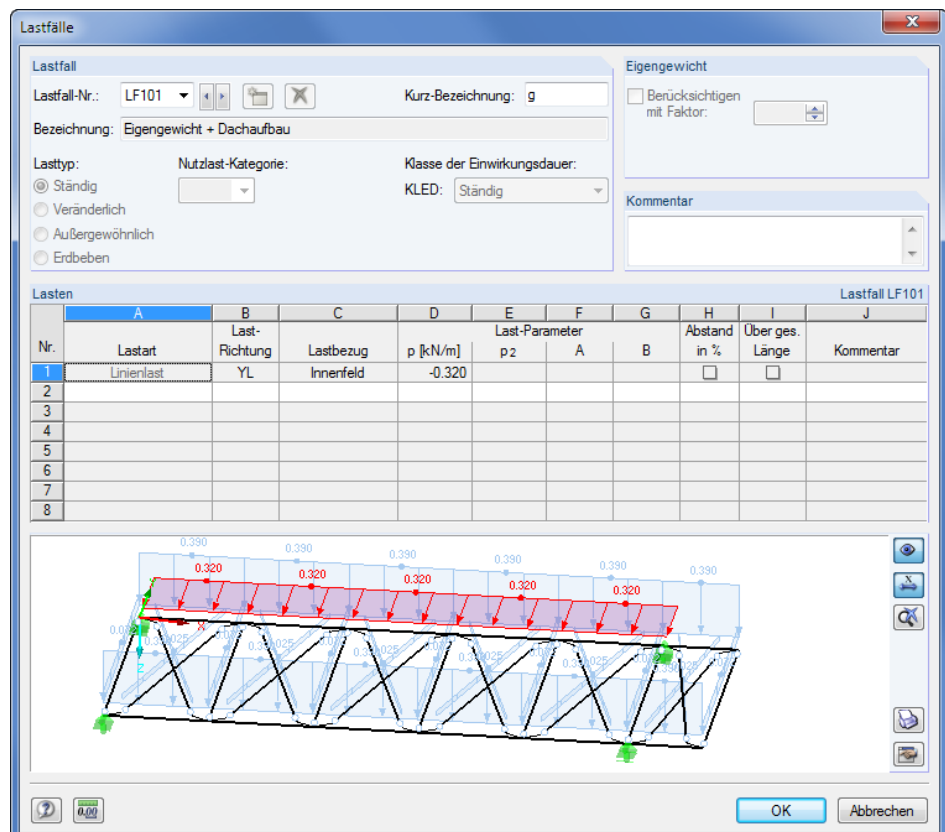


Bild 7.31: Dialog Lastfälle

Wie bei allen Programmen der RX-HOLZ-Familie lassen sich die Lasten hier frei definieren.

7.2.8 Steuerungsparameter

In Maske 1.8 *Steuerungsparameter* legen wir fest, dass nur die **Tragfähigkeit** untersucht werden soll. Dieser Nachweis ist meist ausreichend, da das Programm auch die Begrenzung der Durchbiegung auf $u < l/500$ nach Absatz 9.2.5 der DIN EN 1995 untersucht.

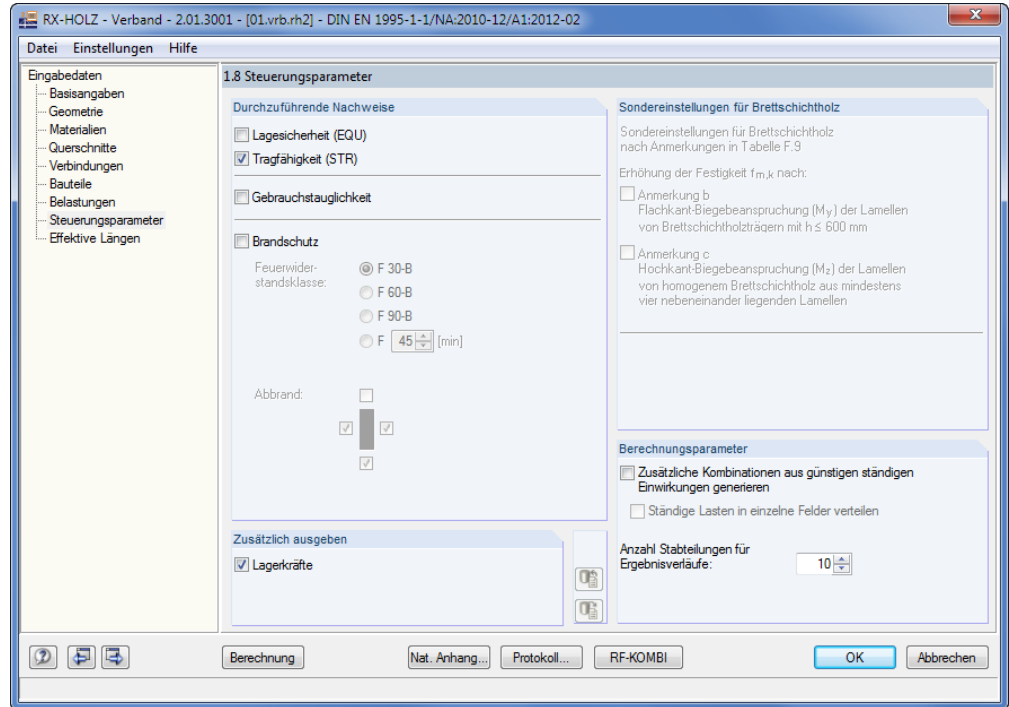


Bild 7.32: Maske 1.8 *Steuerungsparameter*

Nat. Anhang...



Die Schaltfläche [Nat. Anhang] ruft den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* auf (siehe Bild 7.5, Seite 79). Dort können die Teilsicherheits- und Modifikationsbeiwerte sowie die Grenzverformungen festgelegt werden.

Bei der Ermittlung der Steifigkeiten führt RX-HOLZ eine doppelte Berechnung der Schnittgrößen und Verformungen durch:

Gemäß Absatz 2.2 der EN 1995-1-1 bzw. Absatz 8.2 der DIN 1052 muss in der Bemessung der Tragfähigkeit mit der mittleren Steifigkeit gerechnet werden, die durch den Teilsicherheitsbeiwert zu dividieren ist. Im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit jedoch sind die charakteristischen mittleren Steifigkeiten anzusetzen.

Die Kombinatorik zum Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist im Programm *Verband* relativ pauschal mit der seltenen charakteristischen Kombination nach EN 1991 bzw. DIN 1055 gelöst. Gleichung (22) gemäß DIN 1055-100 lautet:

$$E_{d, \text{rare}} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k, j} \oplus P_k \oplus Q_{k, 1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{0, i} \cdot Q_{k, i} \right\}$$

Gleichung 7.1: Kombinationsregel nach DIN 1055-100 für seltene (charakteristische) Kombination

Eine Besonderheit liegt noch bei den Verschiebungsmoduln K_{ser} der Gelenksteifigkeiten vor: Diese müssen im Nachweis der Tragfähigkeit ebenfalls durch den Teilsicherheitsbeiwert von 1,3 geteilt werden. Beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird mit der charakteristischen Verschiebung von K_{ser} gerechnet.

RX-HOLZ führt die Berechnung in einer doppelten Berechnungsschleife: Im ersten Rechenlauf werden die Schnittgrößen und Verformungen auf Designebene im Nachweis der Tragfähigkeit ermittelt; im zweiten Rechenlauf überschreibt das Programm diese Steifigkeit der Materialien und Endgelenke und errechnet die Verformungen mit den charakteristischen Steifigkeiten.

7.2.9 Effektive Längen

Für das Beispiel nehmen wir den Faktor β auf der sicheren Seite liegend mit **1,0** an. Die Werte werden vom Programm automatisch voreingestellt, sodass in dieser Maske keine Änderungen erforderlich sind.

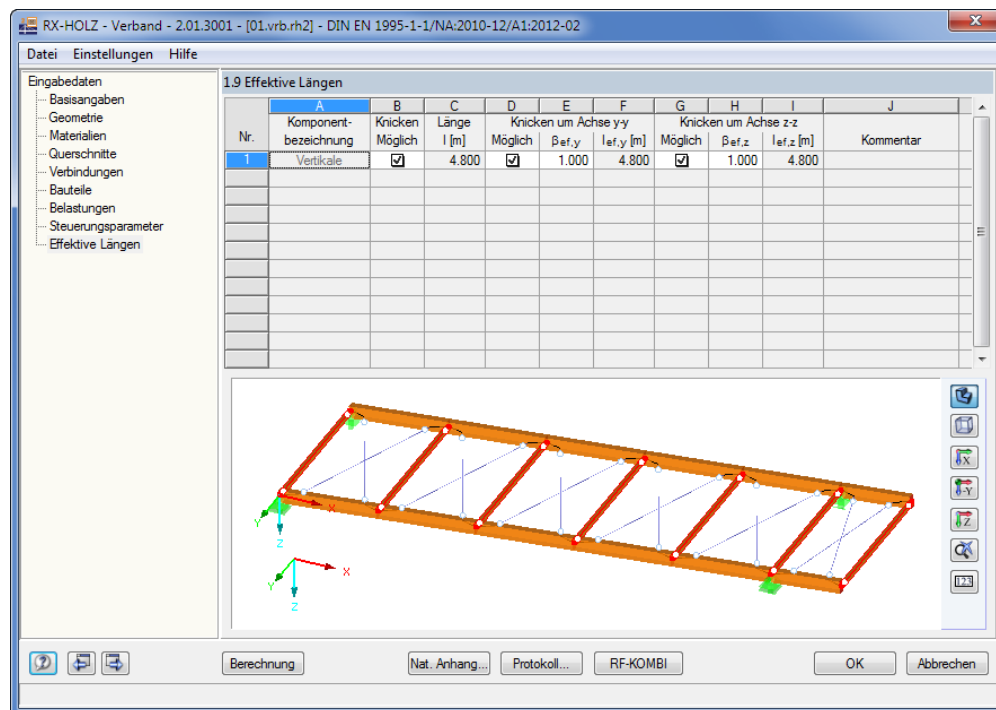


Bild 7.33: Maske 1.9 Effektive Längen

7.2.10 RF-KOMBI

RF-KOMBI

Über die Schaltfläche [RF-KOMBI] ist das in RX-HOLZ integrierte Modul RF-KOMBI zugänglich. Dort können die Kombinationen eingesehen werden, die im Hintergrund generiert werden.

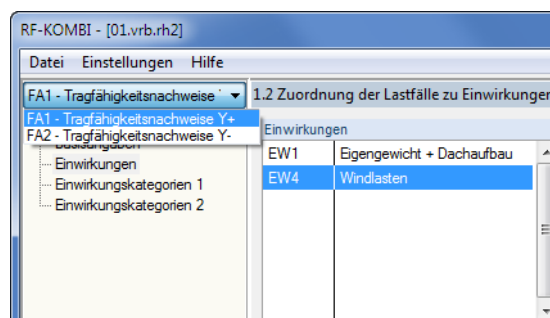


Bild 7.34: RF-KOMBI Maske 1.2: Zuordnung der Lastfälle zu Einwirkungen

In der Liste der angelegten Fälle (links oben) sind zwei Fälle für den Nachweis der Tragfähigkeit vorhanden: Wie bereits im Kapitel 7.1 erwähnt, können Stäbe bei einer bestimmten Lastkonstellation ausfallen. Um alle Eventualitäten zu berücksichtigen, werden alle Lasten noch einmal in umgekehrter Richtung angesetzt und automatisch kombiniert.

Die Möglichkeiten von RF-KOMBI sind im Handbuch zu diesem Modul ausführlich beschrieben, das auf www.dlubal.de zum Download bereitliegt. Mit [OK] erfolgt die Rückkehr in das Programm *Verband*.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Ergebniskombinationen / Lastkombinationen

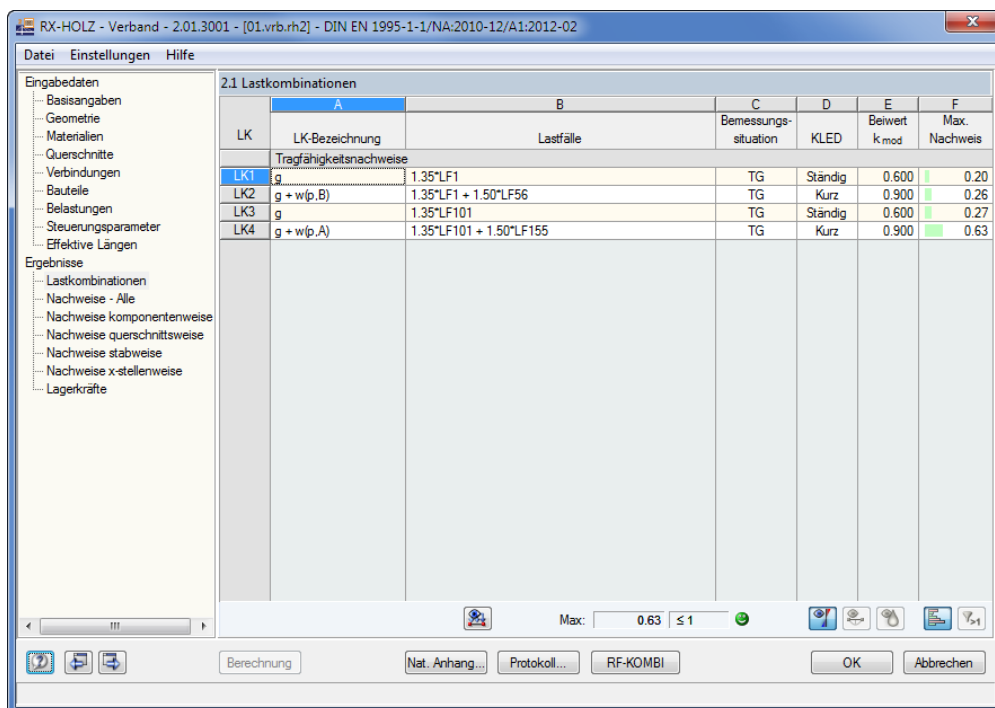
Berechnung

Nach der [Berechnung] können in Maske 2.1 die Tragfähigkeitsnachweise für sämtliche Kombinationen mit den zugehörigen Auslastungen betrachtet werden. Wie bereits erwähnt, erzeugt RX-HOLZ bei einer materiellen Nichtlinearität (d. h. ausfallende Zugstäbe) automatisch Lastkombinationen. In diesem Fall wird die Maske 2.1 in *Lastkombinationen* umbenannt.

Lastkombination <i>LK</i>	Eine Lastkombination überlagert Lastfälle, indem die Belastungen der enthaltenen Lastfälle zusammengefasst werden.
Ergebniskombination <i>EK</i>	In einer Ergebniskombination werden die Ergebnisse der enthaltenen Lastfälle überlagert. Daher liegen immer zwei Ergebniswerte pro Stelle vor: Maximum und Minimum. Es ist möglich, mit einer <i>Oder</i> -Kombination die extremen Schnittgrößen und Verformungen aus verschiedenen Lastfällen, Last- oder Ergebniskombinationen zu ermitteln.

Tabelle 7.1: Unterschied zwischen Last- und Ergebniskombination

Bei einer linearen Berechnung spielt es keine Rolle, welche Überlagerungsart gewählt wird. Für eine nichtlineare Berechnung liefert aber nur die Lastkombination sinnvolle Ergebnisse!



A		B	C	D	E	F
LK	LK-Bezeichnung	Lastfälle	Bemessungssituation	KLED	Beiwert k_{mod}	Max. Nachweis
Tragfähigkeitsnachweise						
LK1	g	1.35*LF1	TG	Ständig	0.600	0.20
LK2	g + w(p.B)	1.35*LF1 + 1.50*LF56	TG	Kurz	0.900	0.26
LK3	g	1.35*LF101	TG	Ständig	0.600	0.27
LK4	g + w(p.A)	1.35*LF101 + 1.50*LF155	TG	Kurz	0.900	0.63

Bild 7.35: Maske 2.1 Lastkombinationen

7.3.2 Nachweise - Alle

Maske 2.2 *Nachweise - Alle* gibt einen Überblick über die maßgebenden Nachweise für jede Nachweissituation. So sind überlastete Bereiche sofort erkennbar.

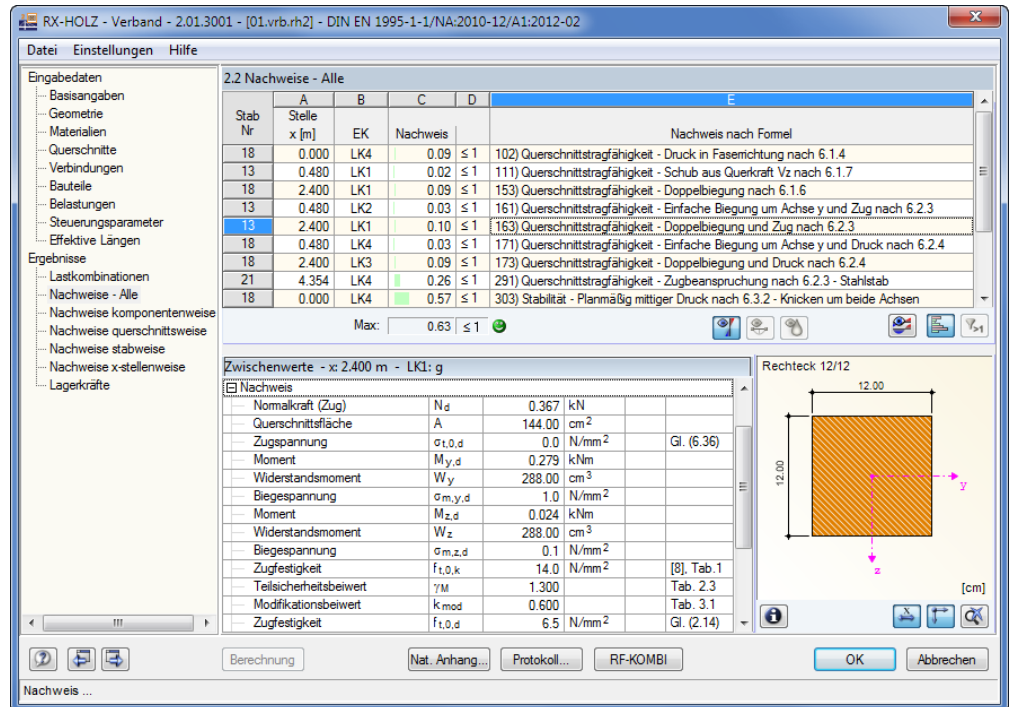


Bild 7.36: Maske 2.2 *Nachweise - Alle*



Bei der Auswertung der Ergebnisse im *Ergebnisverläufe*-Diagramm besteht eine Besonderheit: Da *RX-HOLZ Verband* sehr viele Stäben benutzt, ist es nicht möglich, sie alle im Ergebnisverlauf darzustellen. Die Ergebnisverläufe zeigen daher nur die Ergebnisse des Stabes an, der in der aktuellen Maske selektiert ist.

Wenn sich also wie im obigen Bild gezeigt der Cursor in der Zeile des Stabes 13 befindet und dann die Ergebnisverläufe aufgerufen werden, werden nur die Schnittgrößen und Nachweise für Stab 13 angezeigt.

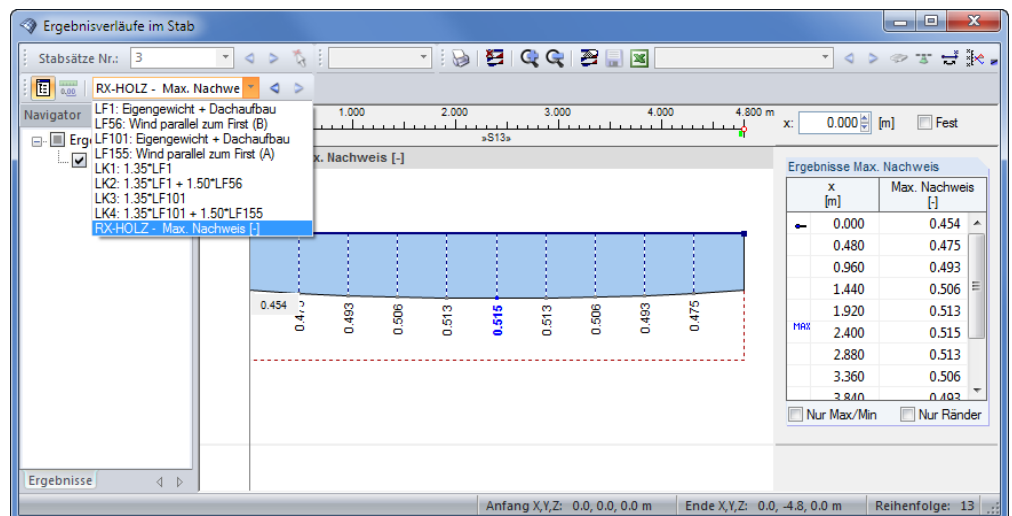


Bild 7.37: Ergebnisverläufe am Stab 13

7.3.3 Nachweise komponentenweise

Maske 2.3 *Nachweise komponentenweise* gibt die maßgebenden Nachweise der Komponenten *Vorderer Gurt*, *Hinterer Gurt*, *Vertikalen* und *Diagonalen* eines jeden Feldes aus.

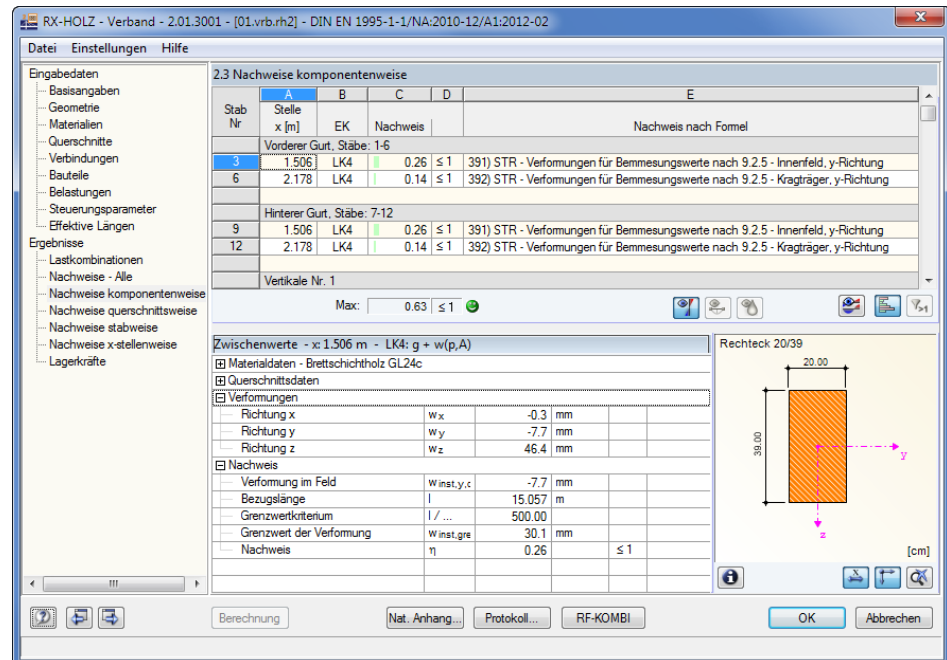


Bild 7.38: Maske 2.3 *Nachweise komponentenweise*

7.3.4 Nachweise querschnittsweise

In Maske 2.4 *Nachweise querschnittsweise* werden die Nachweise nach Querschnitten geordnet ausgegeben.

Wenn in Maske 1.6 *Bauteile* keine individuellen Einstellungen vorgenommen wurden, stellt diese Maske die übersichtlichste und hilfreichste Tabelle dar. Hier werden die Ergebnisse in unserem Beispiel getrennt für Gurt, Vertikale und Diagonale aufgelistet.

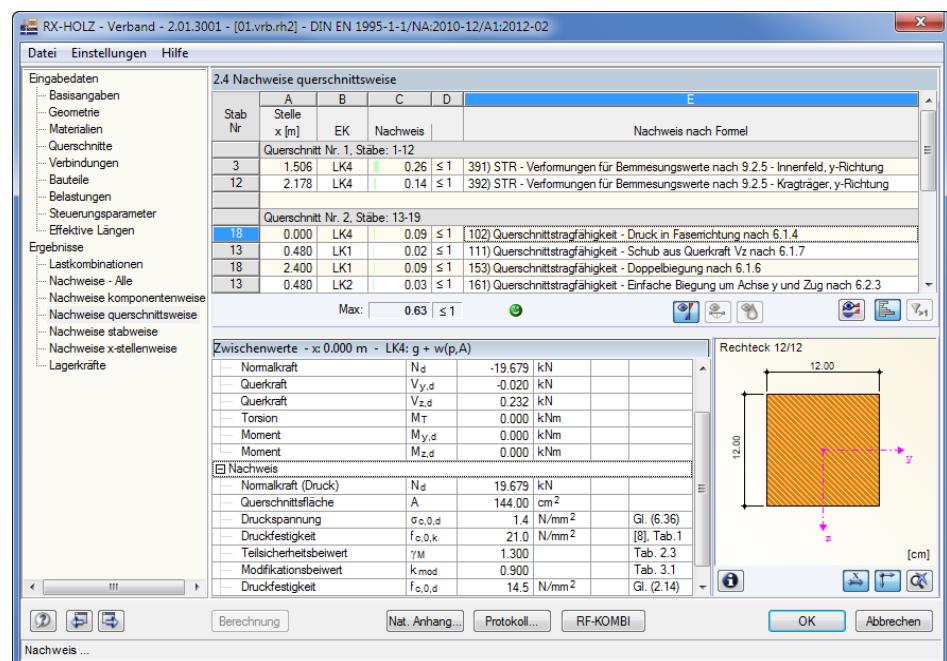


Bild 7.39: Maske 2.4 *Nachweise querschnittsweise*

7.3.5 Nachweise x-stellenweise

Die Anzahl der x-Stellen, die in Maske 1.8 *Steuerungsparameter* vorgegeben wurde, wirkt sich auch auf den Umfang der Maske 2.6 *Nachweise x-stellenweise* aus.

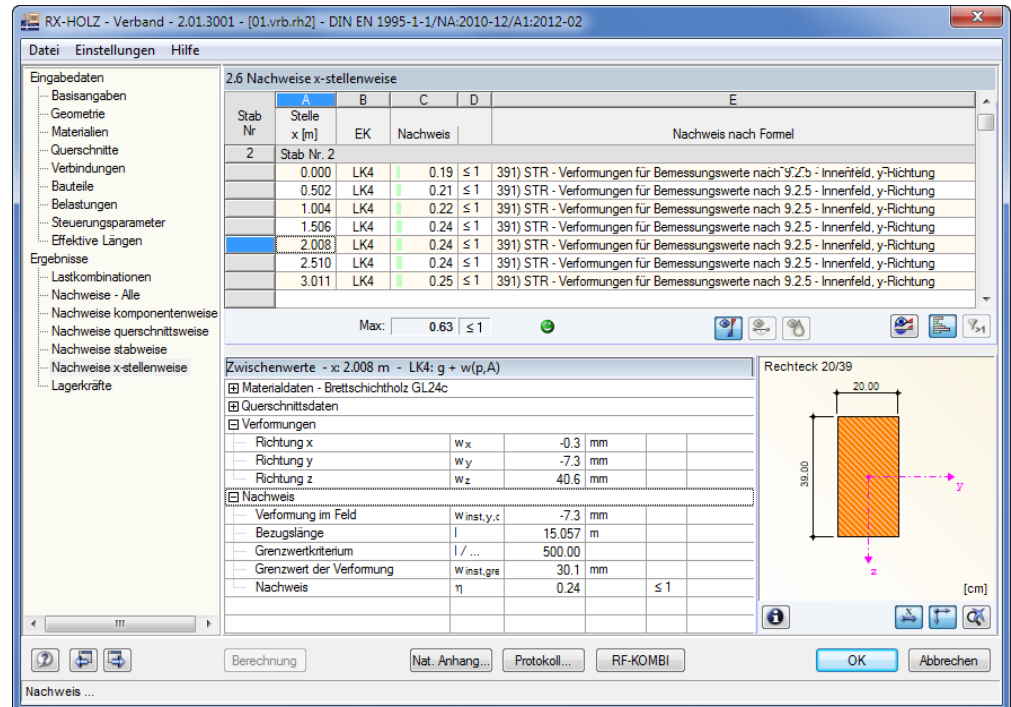


Bild 7.40: Maske 2.6 *Nachweise x-stellenweise*

Die Spannungs- und Stabilitätsnachweise sind bereits in den anderen Beispielen vorgestellt. Wir betrachten daher die interessantesten Nachweise des Verbandes genauer wie z. B. den Nachweis der Durchbiegung beim Tragfähigkeitsnachweis.

Nachweis der Verformung nach DIN 1052 Absatz 8.4.3(9)

„Falls kein genauere Nachweis erfolgt, darf die rechnerische Ausbiegung aus q_d und anderen äußeren Einwirkungen $l/500$ nicht überschreiten.“

Die **Steifigkeiten** werden hier programmseits auf Sicherheitsniveau angesetzt.

Steifigkeitskennwerte	Kennwerte für Tragfähigkeit	Mittelwerte
E-Modul	$E = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$	E_{mean}
Schubmodul	$G = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$	G_{mean}
Verschiebungsmodul	$K_{u,\text{mean}} = \frac{K_{u,\text{mean}}}{\gamma_M}$	$K_{u,\text{mean}} = \frac{2}{3} \cdot K_{\text{ser}}$

Die Mittelwerte der Steifigkeit sind dem Anhang F der DIN 1052 bzw. der EN 388 oder EN 1194 zu entnehmen.

Für unser Beispiel ergeben sich die Steifigkeitskennwerte für Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Brandschutz der jeweiligen Komponenten wie in folgender Tabelle dargestellt. Die Steifigkeitskennwerte des Brandschutzes sind dabei mit denen für eine außergewöhnliche Kombination gleichzusetzen.

Bauteil	Material	Tragfähigkeit	Gebrauchstauglichkeit	Brandschutz
Gurt	GL24c	$E = \frac{1160}{1,3} = 892 \text{ kN/cm}^2$	$E_{\text{mean}} = 1160 \text{ kN/cm}^2$	E_{mean}
		$G = \frac{590}{1,3} = 454 \text{ kN/cm}^2$	$G_{\text{mean}} = 590 \text{ kN/cm}^2$	G_{mean}
Vertikalen	C24	$E = \frac{1100}{1,3} = 846 \text{ kN/cm}^2$	$E_{\text{mean}} = 1100 \text{ kN/cm}^2$	E_{mean}
		$G = \frac{690}{1,3} = 531 \text{ kN/cm}^2$	$G_{\text{mean}} = 690 \text{ kN/cm}^2$	G_{mean}
Diagonalen	S235	$E = \frac{21000}{1,1} = 19091 \text{ kN/cm}^2$	$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$	-
		$G = \frac{8100}{1,1} = 7364 \text{ kN/cm}^2$	$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$	-
Verbindung	-	$K_{u,\text{mean}} = \frac{K_{u,\text{mean}}}{\gamma_M}$	K_{ser}	$K_{u,\text{mean}}$

In der maßgebenden Lastkombination LK4 mit den Einwirkungen $1,35 \cdot \text{LF101} + 1,5 \cdot \text{LF155}$ liegen folgende Belastungen, Schnittgrößen und Verformungen vor.

Belastung

LK4 : $1,35 \cdot \text{LF101} + 1,50 \cdot \text{LF155}$
 Belastung [kN/m]

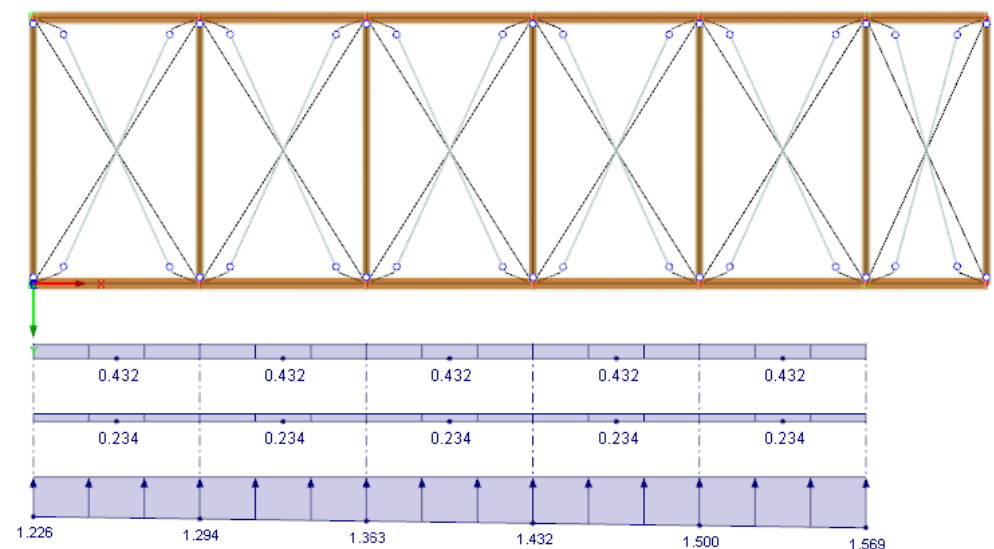


Bild 7.41: Belastung

Verformung

Globale Verformungen u-Y [mm]
LK4 : 1.35*LF101 + 1.50*LF155

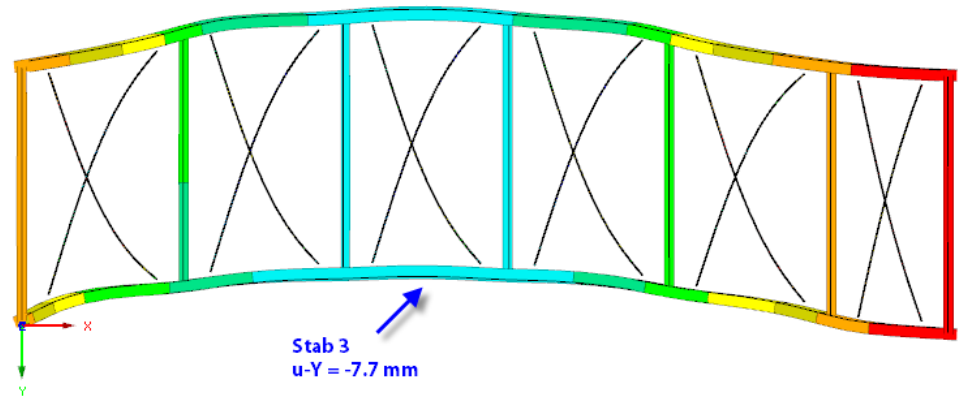


Bild 7.42: Verformungen u_y

Schnittgrößen

Schnittgrößen N [kN]
LK4 : 1.35*LF101 + 1.50*LF155

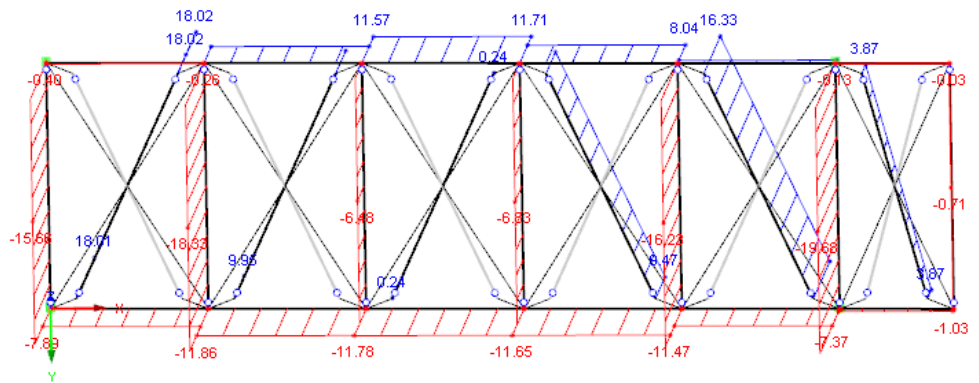


Bild 7.43: Normalkräfte N

Schnittgrößen M-z [kNm]
LK4 : 1.35*LF101 + 1.50*LF155

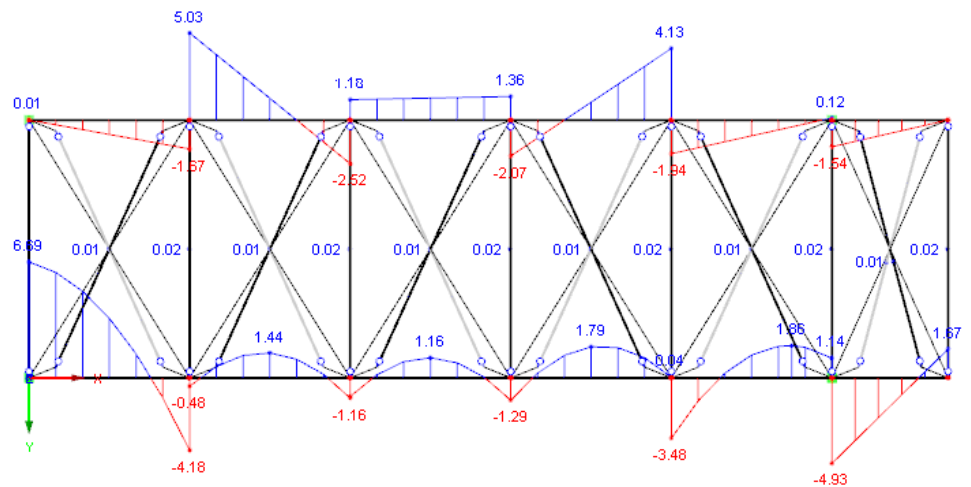


Bild 7.44: Momente M_z

Verformungsberechnung

Die Verformung im Untergurt-Stab 3 in Y-Richtung wird vom Programm zu 7,7 mm berechnet. Die Verformung der Zugdiagonalen ist natürlich größer, aber für die Gesamtverformung irrelevant. Damit ergibt sich folgender Nachweisquotient:

$$\text{Verformung} = w_{\text{inst}} = -7,7 \text{ mm}$$

$$\text{Grenzwert} = w_{\text{inst,grenz}} = l/500 = 15,06 \text{ m} / 500 = 30,1 \text{ mm}$$

Nachweis

$$w_{\text{inst}} / w_{\text{inst,grenz}} = 7,7 \text{ mm} / 30,1 \text{ mm} = 0,26 \Rightarrow 26 \% \text{ Ausnutzung}$$

Der Träger ist damit für die Verformungsberechnung ausreichend steif.

Bemessung der Zugstäbe

Wie im Bild 7.43 zu erkennen ist, fallen bei dieser Belastung mehrere Diagonalen aus und liefern somit keine Schnittgrößen.

Die maximale Zugkraft tritt am Diagonalenstab 21 (linkes Feld) mit der Kraft von 18,02 kN auf.

$$\text{Zugspannung } N / A = 18,02 \text{ kN} / 3,14 \text{ cm}^2 = 5,74 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis

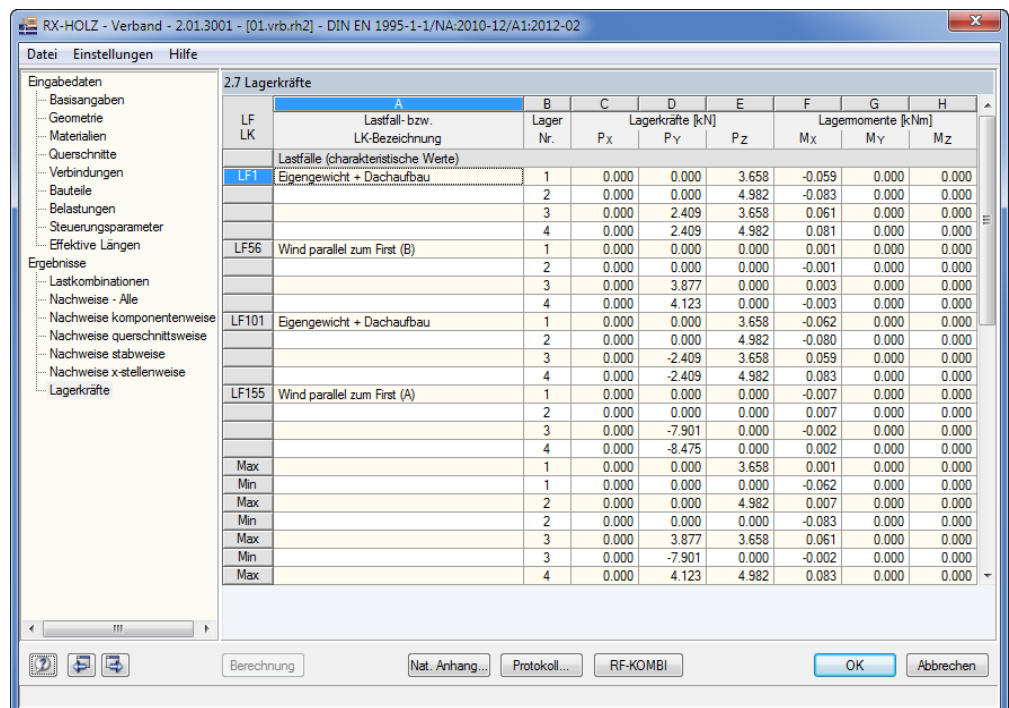
$$\frac{\sigma_{N,t}}{f_{y,d}} = \frac{5,74 \text{ kN/cm}^2}{\frac{24 \text{ kN/cm}^2}{\gamma_M}} = \frac{5,74 \text{ kN/cm}^2}{\frac{24 \text{ kN/cm}^2}{1,1}} = 0,26 < 1$$

Der Stab ist somit zu 26 % ausgelastet.

Eine Bemessung des Gurtes findet nicht statt, da dieser bereits im Programm *BSH* nachgewiesen wurde. Es ist jedoch erforderlich, die Normalkräfte des Verbandes in einer erneuten Berechnung in *BSH* zu berücksichtigen.

7.3.6 Lagerkräfte

In Maske 2.7 *Lagerkräfte* werden die Lagerkräfte für alle vier Lager des Verbandes ausgegeben. Zusätzlich liegt eine Max/Min-Auswertung für die Ermittlung der weiterzuleitenden Kräfte vor.



LF	LK	A	B	C	D	E	F	G	H
		Lastfall- bzw. LK-Bezeichnung	Lager Nr.	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
		Lastfälle (charakteristische Werte)							
LF1		Eigengewicht + Dachaufbau	1	0.000	0.000	3.658	-0.059	0.000	0.000
			2	0.000	0.000	4.982	-0.083	0.000	0.000
			3	0.000	2.409	3.658	0.061	0.000	0.000
			4	0.000	2.409	4.982	0.081	0.000	0.000
LF56		Wind parallel zum First (B)	1	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
			2	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000
			3	0.000	3.877	0.000	0.003	0.000	0.000
			4	0.000	4.123	0.000	-0.003	0.000	0.000
LF101		Eigengewicht + Dachaufbau	1	0.000	0.000	3.658	-0.062	0.000	0.000
			2	0.000	0.000	4.982	-0.080	0.000	0.000
			3	0.000	-2.409	3.658	0.059	0.000	0.000
			4	0.000	-2.409	4.982	0.083	0.000	0.000
LF155		Wind parallel zum First (A)	1	0.000	0.000	0.000	-0.007	0.000	0.000
			2	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000
			3	0.000	-7.901	0.000	-0.002	0.000	0.000
			4	0.000	-8.475	0.000	0.002	0.000	0.000
		Max	1	0.000	0.000	3.658	0.001	0.000	0.000
		Min	1	0.000	0.000	0.000	-0.062	0.000	0.000
		Max	2	0.000	0.000	4.982	0.007	0.000	0.000
		Min	2	0.000	0.000	0.000	-0.083	0.000	0.000
		Max	3	0.000	3.877	3.658	0.061	0.000	0.000
		Min	3	0.000	-7.901	0.000	-0.002	0.000	0.000
		Max	4	0.000	4.123	4.982	0.083	0.000	0.000

Bild 7.45: Maske 2.7 Lagerkräfte

A: Index

A

Auflagerpressung.....	35
Ausziehwiderstand	75

B

Biegebeanspruchung	34, 57, 73
Biegespannung.....	14
Brettschichtholzträger.....	6

D

Deformationsbeiwert	27
Durchbiegung.....	37
Durchlaufträger	21

E

Effektive Längen.....	27
-----------------------	----

F

Fischbauchträger	18
------------------------	----

G

Gebrauchstauglichkeit	46
-----------------------------	----

K

Keilzinkenverbindung	60
Kippnachweis	15, 19, 35, 59, 75
Kombinationsbeiwerte.....	29
Koppelfette.....	62

Kopplung.....	65, 75
---------------	--------

M

Modifikationsbeiwert	31
Momentenumlagerung.....	73

P

Pfette.....	62
-------------	----

R

Rahmen	47
RF-KOMBI.....	27

S

Satteldachträger	6
Schubkraftbeanspruchung	34, 44, 72
Schubspannung.....	13
Stütze	38

T

Torsionsnachweis	16
------------------------	----

V

Verband.....	76
Verbindungsmittel	65, 74

W

Winddruck.....	52
Windsog.....	52