

**Fassung  
April 2009**

**Zusatzmodul**

# **RF-BGDK**

**Biegedrillknicknachweis  
nach DIN 18800 Teil 2 für Stäbe**

## **Programm- Beschreibung**

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Ingenieur-Software Dlubal GmbH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

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

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0  
Fax: +49 (0) 9673 1770  
E-Mail: [info@dlubal.com](mailto:info@dlubal.com)  
Web: [www.dlubal.de](http://www.dlubal.de)



# Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>	2.8.2	Nicht kontinuierliche Bettung	38
1.1	<b>Zusatzmodul RF-BGDK</b>	<b>5</b>	2.9	<b>Voutenüberprüfung</b>	<b>39</b>
1.2	<b>RF-BGDK Team</b>	<b>6</b>	2.10	<b>Biegedrillknicknachweis</b>	<b>39</b>
1.3	<b>Gebrauch des Handbuchs</b>	<b>7</b>	2.11	<b>Zentrischer Druck</b>	<b>40</b>
1.4	<b>Aufruf des RF-BGDK-Moduls</b>	<b>7</b>	3.	<b>Eingabedaten</b>	<b>41</b>
2.	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>9</b>	3.1	<b>Basisangaben</b>	<b>41</b>
2.1	<b>Querschnitte</b>	<b>9</b>	3.2	<b>Materialien</b>	<b>43</b>
2.2	<b>Plastische Querschnittswerte</b>	<b>11</b>	3.3	<b>Querschnitte</b>	<b>45</b>
2.3	<b>Biegedrillknicklast <math>N_{Ki}</math></b>	<b>13</b>	3.4	<b>Parameter - Stäbe</b>	<b>48</b>
2.3.1	Stabenden gleich gelagert, freie Drehachse, keine Drehbettung	13	3.4.1	Querschnitt	49
2.3.2	Stabenden unterschiedlich gelagert, freie Drehachse, keine Drehbettung	14	3.4.2	Lagerungsart	49
2.3.3	Stabenden gleich gelagert, freie Drehachse, drehelastische Bettung	15	3.4.3	Schubfeld	53
2.3.4	Stabenden unterschiedlich gelagert, freie Drehachse, drehelastische Bettung	15	3.4.4	Drehbettung	57
2.3.5	Gebundene Drehachse, beidseitige Gabellagerung ohne drehelastische Bettung	15	3.4.5	Lastangriffspunkt	64
2.3.6	Gebundene Drehachse, beidseitige Gabellagerung mit drehelastischer Bettung	16	3.4.6	Ermittlung von $M_{Ki}$	65
2.3.7	Berechnung nach VOGEL/HEIL	16	3.4.7	Trägerart	68
2.4	<b>Biegedrillknickmoment <math>M_{Ki,y}</math></b>	<b>18</b>	3.5	<b>Parameter - Stabsätze</b>	<b>69</b>
2.4.1	Konvention in RF-BGDK	19	4.	<b>Berechnung</b>	<b>70</b>
2.4.2	Gabelgelagerung, freie Drehachse, keine Drehbettung (DIN 18 800)	19	4.1	<b>Berechnungsdetails</b>	<b>70</b>
2.4.3	Gabellagerung, freie Drehachse, keine Drehbettung (EC 3)	22	4.2	<b>Nachweise</b>	<b>72</b>
2.4.4	Kragträger mit Gabellagerung, freie Drehachse, keine Drehbettung	23	4.3	<b>Start der Berechnung</b>	<b>73</b>
2.4.5	Gabellagerung, freie Drehachse, drehelastische Bettung	24	5.	<b>Ergebnisse</b>	<b>75</b>
2.4.6	Gabellagerung, gebundene Drehachse, drehelastische Bettung	24	5.1	<b>Nachweise querschnittsweise</b>	<b>75</b>
2.4.7	Berechnung nach VOGEL/HEIL	26	5.2	<b>Nachweise stabsatzweise</b>	<b>77</b>
2.5	<b>Drehbettung</b>	<b>26</b>	5.3	<b>Nachweise stabweise</b>	<b>78</b>
2.6	<b>Seitliche Verformungsbehinderung</b>	<b>30</b>	5.4	<b>Nachweise x-stellenweise - Stabsätze</b>	<b>78</b>
2.7	<b>Verwölbung an Auflagerpunkten</b>	<b>33</b>	5.5	<b>Nachweise x-stellenweise - Stäbe</b>	<b>79</b>
2.8	<b>Verbindungsmittel</b>	<b>36</b>	5.6	<b>Verbindungsmittel - Stäbe</b>	<b>80</b>
2.8.1	Kontinuierliche Bettung	36	5.7	<b>Verbindungsmittel - Stabsätze</b>	<b>81</b>
			5.8	<b>Stückliste stabbezogen</b>	<b>82</b>
			5.9	<b>Stückliste stabsatzbezogen</b>	<b>83</b>
			6.	<b>Ergebnisauswertung</b>	<b>84</b>
			6.1	<b>Zwischenergebnisse</b>	<b>84</b>
			6.2	<b>Ergebnisse am RFEM-Modell</b>	<b>85</b>
			6.3	<b>Ergebnisverläufe</b>	<b>87</b>
			6.4	<b>Filter für Ergebnisse</b>	<b>87</b>
			7.	<b>Ausdruck</b>	<b>89</b>

# Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
7.1	Ausdruckprotokoll	89	9.1	Träger mit Doppelbiegung	98
7.2	RF-BGDK-Grafiken drucken	90	9.2	Rahmenkeilstütze	105
8.	Allgemeine Funktionen	<b>92</b>	9.3	Nachweis der Drehbettung	110
8.1	RF-BGDK-Bemessungsfälle	92	9.4	Gebundene Drehachse	114
8.2	Profiloptimierung	94	9.5	Rahmenriegel	119
8.3	Einheiten und Dezimalstellen	96	A	Literatur	<b>123</b>
8.4	Export der Ergebnisse	96	B	Index	<b>124</b>
9.	Beispiele	<b>98</b>			

# 1. Einleitung

## 1.1 Zusatzmodul RF-BGDK

RF-BGDK stellt kein eigenständig lauffähiges Programm dar, sondern ist als Zusatzmodul fest in die Benutzeroberfläche des Hauptprogramms RFEM integriert. Damit werden die stabspezifischen Eingabedaten und Schnittgrößen dem Nachlaufmodul automatisch zur Verfügung gestellt. Umgekehrt können die RF-BGDK-Ergebnisse im Arbeitsfenster von RFEM grafisch ausgewertet und auch in das globale Ausdruckprotokoll eingebunden werden.

RF-BGDK führt den Nachweis der Biegedrillknicksicherheit für Stäbe und Stabzüge, die einer Beanspruchung aus Einfach- und Doppelbiegung mit oder ohne Normalkraft unterliegen. Der Nachweis erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren der DIN 18 800 Teil 2. Neben der gewohnt einfachen und benutzerfreundlichen Handhabung bietet RF-BGDK die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Bemessung, da festigkeitserhöhende Einflüsse wie Drehbettung, Schubfeld, Wölbeinspannung, plastische Querschnittsreserven oder spezifische Lagerungsbedingungen normgerecht erfasst und genutzt werden können.

Die Ermittlung des Momentenbeiwerts  $\zeta$  und somit des idealen Biegedrillknickmoments  $M_{Ki}$  kann nach verschiedenen Ansätzen erfolgen. Gegebenenfalls werden die Verbindungsmittel für die Trapezbleche oder Pfetten im Zuge des Tragsicherheitsnachweises untersucht. Im Programm steht auch eine automatische Querschnittsoptimierung mitsamt Exportmöglichkeit der geänderten Profile nach RFEM zur Verfügung.

Separate RF-BGDK-Bemessungsfälle erlauben eine flexible Untersuchung des Biegedrillknickverhaltens. Die Bemessung wird durch eine Stückliste mit Massenermittlung abgerundet.

Folgende Funktionen gewährleisten ein komfortables Arbeiten mit RF-BGDK:

- Intelligente Voreinstellung der Bemessungsparameter
- Automatische Ermittlung der ungünstigsten Bemessungsstellen
- Integrierte Trapezprofilbibliotheken bekannter Hersteller
- Unterschiedliche Stabrandbedingungen mit Berücksichtigung von Wölbfedern aus verschiedenen Anschluss- und Aussteifungssituationen
- Ermittlung des Momentenbeiwerts  $\zeta$  nach diversen Literaturquellen
- Ausweisung der maximalen Profilausnutzung in der Querschnittsmaske als Entscheidungshilfe für die Optimierung der Querschnitte
- Kopplung der RF-BGDK-Masken mit dem RFEM-Arbeitsfenster, wodurch die aktuellen Objekte in der Hintergrundgrafik selektiert werden
- Sichtmodus zur Änderung der RFEM-Ansicht im hinterlegten Arbeitsfenster
- Farb-Relationsbalken in den Ergebnismasken
- Kurzinfo über eingehaltenen oder nicht erfüllten Tragsicherheitsnachweis
- Darstellung der Profilausnutzung als Ergebnisverlauf
- Nachweisanzeige am gerenderten Modell
- Direkter Datenexport zu MS Excel

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-BGDK.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

### 1.2 RF-BGDK Team

An der Entwicklung von RF-BGDK waren beteiligt:

#### Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

#### Programmierung

Ing. Zdeněk Kosáček	Ing. Roman Svoboda
Dipl.-Ing. Georg Dlubal	Dis. Jiří Šmerák
Mgr. Petr Oulehle	Lukáš Tůma
David Schweiner	

#### Querschnitts- und Materialdatenbank

Ing. Ph. D. Jan Rybín	Jan Brnušák
-----------------------	-------------

#### Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal	Ing. Jan Miléř
MgA. Robert Kolouch	

#### Programmkontrolle

Ing. Martin Vasek	Michala Sobotková
Ing. Robert Michalovič	

#### Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl	Ing. Petr Míchal
Ing. Dmitry Bystrov	Ing. Robert Michalovič
Jan Jeřábek	Mgr. Florian Nadge
Ing. Ladislav Kábrt	Mgr. Petra Pokorná

#### Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (FH) Michael Bausch	Dipl.-Ing. David Röseler
Dipl.-Ing. Rafael Ceglarek	Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann	Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. Frank Faulstich	Dipl.-Ing. (FH) Paul Stolbunski
Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier	Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

## 1.3 Gebrauch des Handbuchs

Die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck werden im RFEM-Handbuch ausführlich erläutert, sodass auf eine Beschreibung verzichtet werden kann. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Zusatzmodul ergeben.

Das RF-BGDK-Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. Im Text werden die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Details]. Gleichzeitig sind sie am linken Rand abgebildet. Zudem werden die **Begriffe** der Dialoge, Tabellen und Menüs durch *Kursivschrift* hervorgehoben, um das Nachvollziehen der Erläuterungen zu erleichtern.

Das Handbuch enthält auch ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie trotzdem nicht fündig werden, steht auf unserer Website [www.dlubal.de](http://www.dlubal.de) eine Suchfunktion zur Verfügung, mit der Sie in der Liste aller *Fragen und Antworten* nach bestimmten Kriterien filtern können.

## 1.4 Aufruf des RF-BGDK-Moduls

Es bestehen in RFEM folgende Möglichkeiten, das Zusatzmodul RF-BGDK zu starten.

### Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

**Zusatzmodule → Stahlbau → RF-BGDK.**

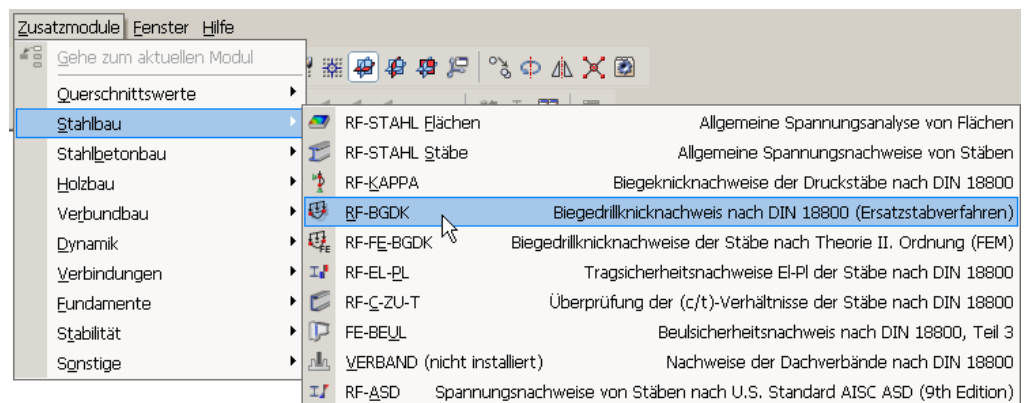


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → RF-BGDK

## Navigator

RF-BGDK kann im *Daten-Navigator* aufgerufen werden über den Eintrag

**Zusatzmodule → RF-BGDK.**

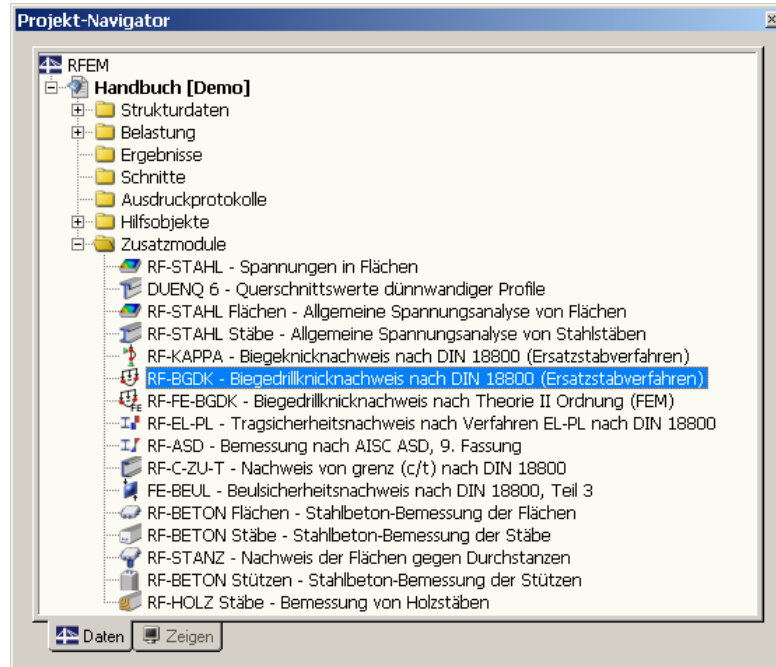
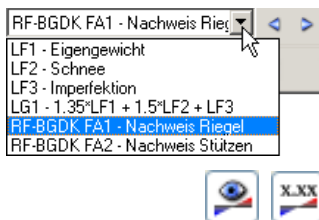


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-BGDK

## Panel

Sollten in der RFEM-Position bereits RF-BGDK-Ergebnisse vorliegen, kann der RF-BGDK-Fall in der Liste der Lastfälle eingestellt werden. Mithilfe der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] wird das Nachweiskriterium an den Stäben grafisch dargestellt.

Im Panel steht nun die Schaltfläche [RF-BGDK] zur Verfügung, die zum Aufruf des RF-BGDK-Moduls benutzt werden kann.



RF-BGDK

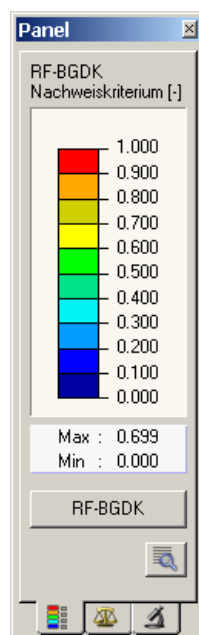


Bild 1.3: Panel: Schaltfläche [RF-BGDK]



## 2. Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zusammengestellt, die in das Programm RF-BGDK Eingang gefunden haben. Im Wesentlichen werden Resultate der Literatur wiedergegeben. Dieses einführende Kapitel kann daher kein Lehrbuch ersetzen.

### 2.1 Querschnitte

Für das in Bild 2.1 auf der folgenden Seite dargestellte einfachsymmetrische I-Profil werden bereits in RFEM die für den Biegedrillknicknachweis relevanten Querschnittswerte berechnet (siehe z. B. [9], [10]) und an das Modul RF-BGDK übergeben:

Symbol	Beschreibung und Standardeinheit
$A$	Querschnittsfläche [cm <sup>2</sup> ]
$z_s$	Schwerpunktskoordinate bezogen auf die Oberkante des Profils [cm]
$z_M$	Schubmittelpunktskoordinate bezogen auf den Schwerpunkt S [cm]
$I_z, I_y$	Flächenmomente 2. Grades (Trägheitsmomente) [cm <sup>4</sup> ]
$I_T$	Torsionsflächenmoment 2. Grades (St. Venantscher Torsionswiderstand) [cm <sup>4</sup> ]
$I_\omega$	Wölblflächenmoment 2. Grades bezogen auf den Schubmittelpunkt M [cm <sup>6</sup> ]
$i_y, i_z$	Trägheitsradien [cm]
$i_p$	Polarer Trägheitsradius bezogen auf den Schwerpunkt S [cm]
$i_M$	Trägheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt M [cm]
$i_{pM}$	Polarer Trägheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt M [cm]
$r_y$	$-\int z (y^2 + z^2) dA / I_y$ ; sog. Querschnittsstrecke (siehe [9], [10]) [cm] Bei doppelsymmetrischen Querschnitten ist die Querschnittsstrecke Null.
$z_f$	Abstand der Flächenhalbierenden bezogen auf den Schwerpunkt S [cm]
$S_y, S_z$	Flächenmomente 1. Grades (Statische Momente) [cm <sup>3</sup> ]
$W_z$	Widerstandsmoment um die z-Achse [cm <sup>3</sup> ]
$W_{y0}$	Widerstandsmoment um die y-Achse [cm <sup>3</sup> ] bezogen auf die Oberkante
$W_{yu}$	Widerstandsmoment um die y-Achse [cm <sup>3</sup> ] bezogen auf die Unterkante

Tabelle 2.1: Querschnittswerte

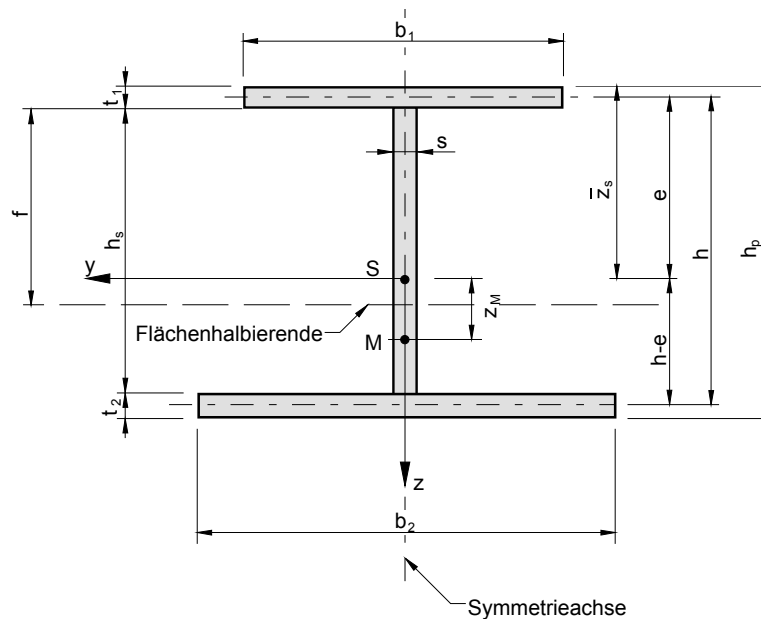


Bild 2.1: Definition der Profilabmessungen

In Bild 2.1 sind  $b_o$  und  $t_o$  immer die Abmessungen bezogen auf den Obergurt. Bei positivem Moment  $M_y$  ist dies der Druckgurt.

Wechselt der Momentenverlauf innerhalb eines Stabes von positiv auf negativ, so erkennt RF-BGDK dies automatisch. Der Anwender braucht das Profil nicht zu drehen.

Der Biegedrillknicknachweis in RF-BGDK ist für folgende Profilreihen möglich:

Querschnittsreihe	Beschreibung
I	Doppelsymmetrische I-förmige Walzprofile
IS	Geschweißte symmetrische I-Profile
IU	Geschweißte unsymmetrische I-Profile
KUO, KCO	Kaltgeformte zusammengesetzte C-Profile
ICM	Geschweißte Profile mit erhöhtem Steg
2UR	U paarweise, Stege zueinander mit $a_2=0$
IFBu, IFBo	Halbierte I-Profile mit Blech unten/oben
ICU, ICO	Coupierte Träger unten/oben
IBU, IBO	Doppelsymmetrische Walzprofile mit Blech unten/oben
SFBo, SFBu	Doppelsymmetrische Walzprofile mit Lasche unten/oben
ICTo, ICTu	Doppelsymmetrische Walzprofile mit T-Profil unten/oben
KB(S), KB(L), KB(2L+FL)	Kranbahnträgerprofile
IV	Geschweißte I-Profile mit Laschen verstärkt
IT	Geschweißte I-Profile mit Winkeln am oberen Rand
IVU, IVO	Geschweißte I-Profile unten/oben coupiert
KB	Geschweißtes Kranbahnträgerprofil

Tabelle 2.2: Querschnittsreihen für den Nachweis in RF-BGDK

Alle anderen Querschnittstypen einschließlich der DUENQ-Profile werden nur auf zentrischen Druck nachgewiesen. Eine Ausnahme bilden dabei geschlossene Profile, für die kein Biegedrillknicknachweis erforderlich ist.

## 2.2 Plastische Querschnittswerte

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (315) muss der Einfluss der Querkraft  $V_z$  und  $V_y$  auf die Tragfähigkeit des Querschnitts berücksichtigt werden. Dies geschieht durch Reduktion der vollplastischen Querschnittsgrößen mittels der in DIN 18 800 Teil 1 angegebenen Interaktionsbeziehungen.

Die Interaktion zwischen der Normalkraft  $N$  und den Biegemomenten  $M_y$  bzw.  $M_z$  geschieht innerhalb der eigentlichen Nachweisgleichung (30) der DIN 18800 Teil 2. Es braucht also nur der festigkeitsmindernde Einfluss der Querkraft berücksichtigt zu werden. Für einfachsymmetrische Querschnitte nach Bild 2.1 werden die plastischen Schnittgrößen (= Grenzschnittgrößen in plastischem Zustand) nach RUBIN [12] berechnet (siehe dazu DIN 18 800 Teil 1, Anmerkung nach Bild 19):

$$V_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot (b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u) \quad \eta_y = \sqrt{1 - \left( \frac{V_y}{V_{pl,y,d}} \right)^2}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot h_m \cdot s \quad \eta_z = \sqrt{1 - \left( \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} \right)^2}$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot [(b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u) \cdot \eta_y + h_s \cdot s \cdot \eta_z]$$

$$M_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot (\eta_y \cdot f_1 + \eta_z \cdot f_2)$$

$$\text{mit} \quad f_1 = b_o \cdot t_o \cdot (z_s + z_f - \frac{t_o}{2}) + b_u \cdot t_u \cdot (h - z_s + z_f - \frac{t_u}{2})$$

$$f_2 = \frac{s}{2} \cdot [(z_s + z_f - t_o)^2 + (h - z_s - z_f + t_o)^2]$$

$$M_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{4} \cdot (b_o^2 \cdot t_o + b_u^2 \cdot t_u) \cdot \eta_y$$

$$\left. \begin{aligned} M_{pl,y,k} &= M_{pl,y,d} \cdot \gamma_M \\ M_{pl,z,k} &= M_{pl,z,d} \cdot \gamma_M \\ N_{pl,k} &= N_{pl,d} \cdot \gamma_M \end{aligned} \right\} \text{ mit } \eta_z = \eta_y = 1.0$$

$$V_{pl,y,k} = V_{pl,y,d} \cdot \gamma_M$$

$$V_{pl,z,k} = V_{pl,z,d} \cdot \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}$$

Gleichung 2.1: Querschnittsgrößen für einfachsymmetrische Querschnitte im plastischen Zustand

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,d} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot b \cdot t & \eta_y &= \sqrt{1 - \left( \frac{V_y}{V_{pl,y,d}} \right)^2} \\
 V_{pl,z,d} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot h_m \cdot s & \eta_z &= \sqrt{1 - \left( \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} \right)^2} \\
 N_{pl,d} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A_r & \text{mit} & \quad A_r = \eta_z \cdot h_m \cdot s + 2 \cdot \eta_y \cdot b \cdot t \\
 \left. \begin{aligned} M_{pl,y,d} &= \frac{1}{4} \cdot (2 - \delta) \cdot h_m \cdot N_{pl,d} \\ M_{pl,z,d} &= \frac{1}{4} \cdot (1 - \delta) \cdot b \cdot N_{pl,d} \end{aligned} \right\} & \text{mit} & \quad \delta = \frac{\eta_z \cdot h_m \cdot s}{A_r} \\
 V_{pl,y,k} &= V_{pl,y,d} \cdot \gamma_M \\
 V_{pl,z,k} &= V_{pl,z,d} \cdot \gamma_M \\
 \alpha_{pl,z} &= \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}
 \end{aligned}$$

Gleichung 2.2: Querschnittsgrößen für Walzprofile im plastischen Zustand (siehe RUBIN [12])

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,d} &= \frac{2 \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot S_y & M_{pl,y,k} &= M_{pl,y,d} \cdot \gamma_M \\
 M_{pl,z,d} &= \frac{2 \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot S_z & M_{pl,z,k} &= M_{pl,z,d} \cdot \gamma_M \\
 N_{pl,d} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A & N_{pl,k} &= N_{pl,d} \cdot \gamma_M
 \end{aligned}$$

Gleichung 2.3: Querschnittsgrößen für Walzprofile im plastischen Zustand, falls keine Interaktion erforderlich ist

Die plastischen Querkkräfte berechnen sich nach Gleichung 2.2.

Nach DIN 18800 Teil 2, Element (323) und (321) ist eine Begrenzung der plastischen Formbeiwerte  $\alpha_{pl,y}$  und  $\alpha_{pl,z}$  nach Element (123) nicht erforderlich, d. h. es darf für I-Profile mit  $\alpha_{pl,z} = W_{pl,z,k} / W_z \approx 1.5$  gerechnet werden.

Nach DIN 18800 Teil 1, Tabelle 16 und 17 ist eine festigkeitsmindernde Interaktion erforderlich, wenn

$$0.33 < \frac{|V_z|}{V_{pl,z,d}} < 0.9 \quad \text{bzw.} \quad 0.25 < \frac{|V_y|}{V_{pl,y,d}} < 0.9$$

Gleichung 2.4: Interaktionskriterien für Querkraft

Bei einer Überschreitung erfolgt ein entsprechender Hinweis und der Nachweis wird nicht geführt.

## 2.3 Biegedrillknicklast $N_{Ki}$

Die Normalkraft  $N_{Ki}$  stellt die kleinste Verzweigungslast eines **zentrisch gedrückten Stabes** für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse – d. h. in Richtung der y-Achse – dar. Die seitliche Ausbiegung kann mit einer Verdrehung (Drillung) gekoppelt sein oder als reines Knicken ohne Verdrehung erfolgen. So kann z. B. ein am Flansch seitlich kontinuierlich gehaltener Träger durch **reines Drillknicken** versagen. Dieses Phänomen wird in den folgenden Gleichungen für die Vergleichsschlankheiten  $\lambda_v$  berücksichtigt.

Für die Biegedrillknicklast eines zentrisch gedrückten Stabes gilt:

$$N_{Ki} = \frac{E \cdot I_z \cdot \pi^2}{\lambda_v^2 \cdot i_z^2}$$

Gleichung 2.5: Biegedrillknicklast  $N_{Ki}$

Die Vergleichsschlankheit  $\lambda_v$  ergibt sich in Abhängigkeit der **Randbedingungen** des Ersatzstabes (aus der Systemebene heraus).

### 2.3.1 Stabenden gleich gelagert, freie Drehachse, keine Drehbettung

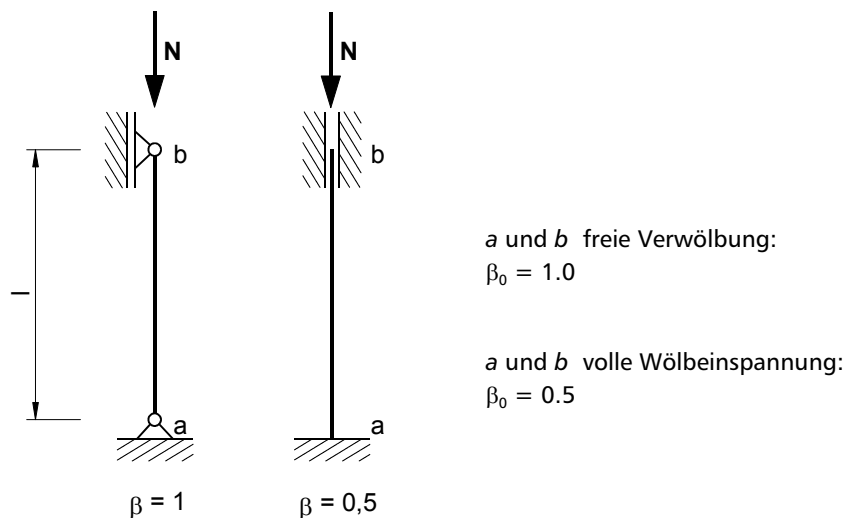


Bild 2.2: Ersatzstab mit gleicher Lagerungsart der Stabenden

Für die Lagerung nach Bild 2.2 folgt die Vergleichsschlankheit  $\lambda_v$  (vgl. [10], [4], [9])

$$\lambda_v^2 = \left( \frac{\beta \cdot l}{i_z} \right)^2 \cdot \frac{c^2 + i_M^2}{2 \cdot c^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot c^2 \cdot \left[ i_p^2 + 0.093 \cdot \left( \frac{\beta^2}{\beta_0^2} - 1 \right) \cdot z_M^2 \right]}{(c^2 + i_M^2)^2}} \right)$$

Gleichung 2.6: Vergleichsschlankheit

c stellt den so genannten Drehradius dar (siehe Gleichung 2.7 auf folgender Seite).

$$c^2 = \left( \frac{\beta \cdot l}{\beta_0 \cdot l_0} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \left( \frac{\beta \cdot l}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{G \cdot I_T}{E \cdot I_z}$$

Gleichung 2.7: Drehradius

mit	G	Schubmodul
	E	Elastizitätsmodul
	l	Netzlänge des Stabes
	$l_0$	für die Verdrehung maßgebender Abstand der Schweißanschlüsse (oder Anschlussnietgruppen) an beiden Stabenden (Länge für Verwölbung)
	$\beta$	Faktor für den Grad der Biegeeinspannung ( <b>quer</b> zur Stegebene) $\beta = 0.5$ starre Einspannung an beiden Stabenden $\beta = 1.0$ gelenkige Lager an beiden Stabenden
	$\beta_0$	Faktor für den Grad der Wölbeinspannung $\beta_0 = 0.5$ starre Wölbeinspannung an beiden Stabenden $\beta_0 = 1.0$ Endstirflächen in Stabachsenrichtung frei verschieblich

Für  $\beta = \beta_0 = 1.0$  liegt eine Gabellagerung beider Stabenden vor.

Bei der Gabellagerung sind die Verdrehungen und Verschiebungen der Endstirflächen in ihrer Ebene ausgeschlossen. Dagegen kann sich jede Endstirfläche sowohl um ihre y-Achse als auch um ihre z-Achse frei verdrehen. Außerdem kann sich jede Endstirfläche in Richtung der Stabachse verwölben. Weichen die Randbedingungen des Stabes von denen einer Gabellagerung dadurch ab, dass die Stabenden gegen eine Biegung **um die z-Achse** elastisch eingespannt sind, so ist  $0.5 < \beta < 1.0$ . Zwischenwerte sind eventuell zu schätzen. Sind die Verwölbungen der Endstirflächen des Stabes elastisch behindert, so ist  $0.5 < \beta_0 < 1.0$ . Besitzt der Stab Stirnplatten, kann  $\beta_0$  vom Programm berechnet werden (siehe Kapitel 2.7). Beide Stabenden müssen hierfür gleich gelagert sein!

### 2.3.2 Stabenden unterschiedlich gelagert, freie Drehachse, keine Drehbettung

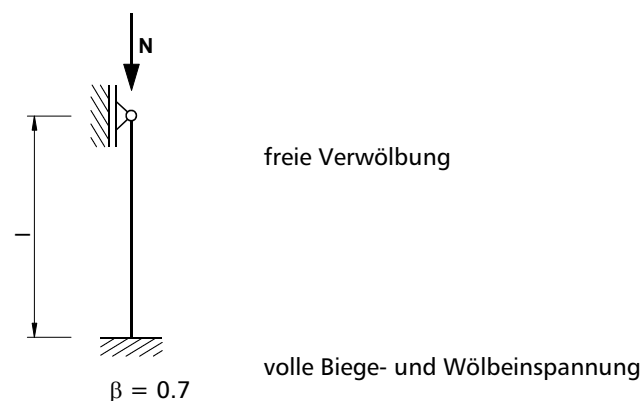


Bild 2.3: Ersatzstab mit unterschiedlicher Lagerungsart der Stabenden

Für diese Lagerung mit  $\beta = 0.7$  ergibt sich folgende Vergleichsschlankheit  $\lambda_v$ :

$$\lambda_v^2 = \left( \frac{\beta \cdot l}{i_z} \right)^2 \cdot \frac{c^2 + i_M^2}{2 \cdot c^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot c^2 \cdot i_p^2}{(c^2 + i_M^2)^2}} \right)$$

Gleichung 2.8: Vergleichsschlankheit

mit  $c$  Drehradius  $c^2 = \frac{I_\omega}{I_z} + \left( \frac{\beta \cdot l}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{G \cdot I_T}{E \cdot I_z}$   
 $G$  Schubmodul  
 $E$  Elastizitätsmodul  
 $l$  Netzlänge des Stabes  
 $\beta$  Faktor für den Grad der Biegeeinspannung (**quer** zur Stegebene)  
 $\beta = 0.7$  starre Einspannung an einem, Gabellagerung am anderen Ende

### 2.3.3 Stabenden gleich gelagert, freie Drehachse, drehelastische Bettung

Die Drehfeder  $c_\theta$  (siehe Kapitel 2.5) wird als kontinuierlich längs der Stabachse angesetzt, die Einheit ist z. B. [kNcm/cm]. Das Torsionsträgheitsmoment  $I_T$  wird erweitert (siehe z. B. ROIK, CARL, LINDNER [9] oder PETERSEN [4]) und als so genanntes ideales Torsionsflächenmoment 2. Grades berücksichtigt.

$$I_{T,id} = I_T + c_\theta \cdot \frac{l^2}{\pi^2 \cdot G}$$

Gleichung 2.9: Ideelles Torsionsflächenmoment 2. Grades

Die Vergleichsschlankheit  $\lambda_v$  berechnet sich gemäß Gleichung 2.6 und Gleichung 2.7.

### 2.3.4 Stabenden unterschiedlich gelagert, freie Drehachse, drehelastische Bettung

Für den im Bild 2.3 dargestellten Fall findet Gleichung 2.8 Anwendung. Bei der Ermittlung des Drehradius  $c$  ist jedoch das ideale Torsionsflächenmoment 2. Grades  $I_{T,id}$  anzusetzen (vgl. Gleichung 2.9).

### 2.3.5 Gebundene Drehachse, beidseitige Gabellagerung ohne drehelastische Bettung

In RF-BGDK kann berücksichtigt werden, ob eine seitliche Unverschieblichkeit längs der Stabachse vorliegt – die so genannte *gebundene Drehachse* (siehe Kapitel 2.6). Die Faktoren  $\beta$  und  $\beta_0$  für den Grad der Biege- und Wölbeinspannung an beiden Stabenden sind somit jeweils 1.0.

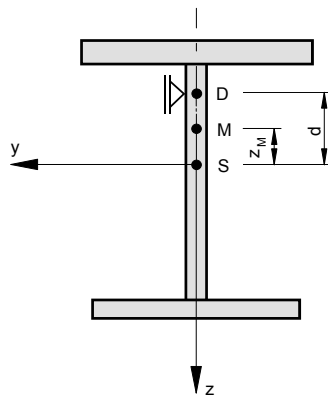


Bild 2.4: Gebundene Drehachse

$D$  ist der seitlich gehaltene Punkt (Drehpunkt), der Abstand  $d$  ist vorzeichenrichtig auf den Schwerpunkt  $S$  zu beziehen. Ist beispielsweise ein doppelsymmetrisches Profil am Obergurt gehalten, so gilt:  $d = -h/2$ .

Für die Vergleichsschlankheit  $\lambda_v$  und den Drehradius  $c$  gilt:

$$\lambda_v^2 = \left( \frac{l}{i_z} \right)^2 \cdot \frac{i_p^2 + d^2}{c^2 + (z_M - d)^2}$$

Gleichung 2.10: Vergleichsschlankheit

$$c^2 = \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{G \cdot I_T \cdot l^2}{E \cdot I_z \cdot \pi^2}$$

Gleichung 2.11: Drehradius

Der Drehradius  $c$  zur Berechnung von  $M_{Kl,y}$  wird in diesem Fall nach Gleichung 2.7 ermittelt.

### 2.3.6 Gebundene Drehachse, beidseitige Gabellagerung mit drehelastischer Bettung

Für die beidseitige Gabellagerung mit drehelastischer Bettung gilt:  $\beta = \beta_0 = 1.0$ .

Die ideale Biegedrillknicklast für einen zentrisch gedrückten Stab mit der Drehbettung  $c_\vartheta$  ergibt sich nach WITTEMANN [20] zu

$$N_{Kl,\vartheta} = \frac{\left( n \cdot \frac{\pi}{l} \right)^2 \cdot (E \cdot I_z \cdot d^2 + E \cdot I_\omega) + G \cdot I_T + c_\vartheta \cdot \frac{l^2}{n^2 \cdot \pi^2}}{d^2 + i_p^2}$$

Gleichung 2.12: Drehradius

Da bei einem elastisch gebetteten Stab mit gebundener Drehachse eingliedrige ( $n = 1$ ) Verdrehungsansätze für  $\vartheta = \alpha \sin(n\pi x/l)$  zu einer Überschätzung der Drillknicklast führen [20], kann der nach Petersen, Kap. 7.8 [4] ermittelte Wert für  $N_{Kl,\vartheta}$  wesentlich größer ausfallen als nach obiger Gleichung. Der Träger verhält sich wie ein elastisch gebetteter Druckstab, bei dem höhere Eigenformen (Halbwellenzahl  $n > 1$ ) zur Bestimmung der niedrigsten Verzweigungslast  $N_{Kl,\vartheta}$  führen. Das Programm berechnet den Wert für  $n$ , bei dem  $N_{Kl,\vartheta}$  minimal wird.

### 2.3.7 Berechnung nach VOGEL/HEIL

Die Biegedrillknicklast kann nach VOGEL/HEIL [13] ermittelt werden, sofern folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Gabellagerung an beiden Stabenden
- Drehelastische Bettung
- Berücksichtigung der Schubfeldsteifigkeit
- Einachsige Biegung mit Normalkraft
- Lastangriff am Obergurt

Dieser Sonderfall tritt beispielsweise bei durchlaufenden Pfetten auf. Das Programm bietet dann die Möglichkeit eines wirtschaftlichen Nachweises unter Berücksichtigung der seitlichen Behinderung des Ausweichens von Schubfeldern, die nicht für eine gebundene Drehachse ausreichen.



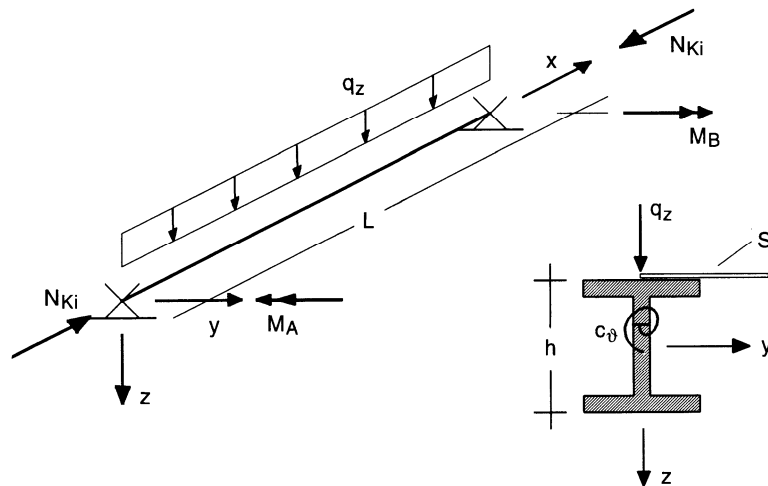


Bild 2.5: Ersatzstab nach VOGEL/HEIL

$$N_{Ki} = \left( E \cdot I_z \cdot \frac{(n \cdot \pi)^2}{l^2} + S \right) \cdot \frac{c^2 + i_p^2}{2 \cdot i_p^2} \cdot \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot i_p^2}{(c^2 + i_p^2)^2} \cdot \left[ c^2 - \left( \bar{s} \cdot \frac{h_p}{2} \right)^2 \right]} \right]$$

Gleichung 2.13: Biegedrillknicklast

mit  $i_p$  polarer Trägheitsradius  $i_p^2 = \frac{I_y + I_z}{A}$   
 $h_p$  Profilhöhe  
 $l$  Stablänge  
 $n$  Anzahl der Sinushalbwellen  
 $\bar{s}$  Schubfeldparameter  $\bar{s} = \frac{S \cdot l^2}{(n \cdot \pi)^2 \cdot E \cdot I_z + S \cdot l^2}$   
 $S$  Schubfeldsteifigkeit

$$c^2 = \frac{E \cdot I_\omega \cdot \frac{(n \cdot \pi)^2}{l^2} + G \cdot I_T + c_\theta \cdot \frac{l^2}{(n \cdot \pi)^2} + S \cdot \left( \frac{h_p}{2} \right)^2}{E \cdot I_z \cdot \frac{(n \cdot \pi)^2}{l^2} + S}$$

Gleichung 2.14: Drehradius

Nach VOGEL/HEIL [13] müssen Gleichung 2.13 und Gleichung 2.14 auch für die Anzahl  $n \geq 2$  der Halbwellen ausgewertet werden. Im Programm wird deshalb intern für  $n$  zwischen 1 und 10 variiert und die daraus resultierende kleinste Verzweigungslast  $N_{Ki}$  ermittelt.

Wird nach VOGEL/HEIL gerechnet, sind die in [13] genannten Voraussetzungen einzuhalten.

## 2.4 Biegedrillknickmoment $M_{Ki,y}$

Hier wird die Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments  $M_{Ki,y}$  (DIN 18 800 Teil 2) bzw.  $M_{cr}$  (EC 3) nach der Elastizitätstheorie betrachtet, wobei nur die Wirkung des Moments  $M_y$  ohne Berücksichtigung der Normalkraft  $N$  untersucht wird.

Bei fehlender Normalkraft wurde früher das seitliche Ausweichen des Trägers unter alleiniger Momenteneinwirkung als „Kippen“ bezeichnet. Für die bei Normalkraft- und Momentenbelastung stets kombinierte und gekoppelte Erscheinung *Kippen*, *Biegeknicken* und *Verdrillen* wurde der Begriff **Biegedrillknicken** eingeführt. Der Nachweis des Biegedrillknickens wird nach DIN 18 800 Teil 2 in Form einer Interaktionsgleichung geführt, in der die oben genannten Einzelanteile gekoppelt sind. Unter „Kippen“ wird die Instabilität einwandiger Träger infolge seitlichen Ausknickens der gedrückten Gurte aus der Biegeebene heraus verstanden. Die Kippsicherheit (also das ideale Biegedrillknickmoment  $M_{Ki,y}$  und  $M_{cr}$ ) steigt

- mit der seitlichen Biegefestigkeit  $I_z$
- mit der Torsions- und Wölbsteifigkeit  $I_T$  bzw.  $I_\omega$  des Trägers
- durch die Berücksichtigung von Drehfederanteilen
- durch die Ausbildung von Schubfeldern am druckbeanspruchten Rand des Trägers.

Weiterhin hat der Angriffsort der äußeren Querbelastung in Bezug zum Schubmittelpunkt des Trägers (vermaßt auf den Schwerpunkt) einen großen Einfluss auf die Kippstabilität. Am Obergurt angreifende Kräfte vermindern das ideale Biegedrillknickmoment, weil sie beim Auskippen ein die Verdrillung vergrößerndes (abtreibendes) Torsionsmoment bewirken:

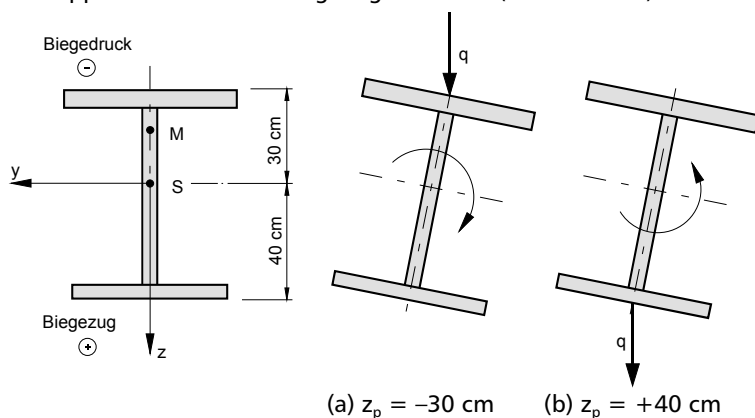


Bild 2.6: Destabilisierende Belastung (a) und stabilisierende Belastung (b)

Der Abstand der Querbelastung bezieht sich auf den Schwerpunkt  $S$  und somit auf das  $yz$ -Koordinatensystem des Querschnitts. Wirkt die Last auf der Biegedruckseite (im obigen Bild Fall (a) mit  $z_p = -30 \text{ cm}$ ), so wirkt sie destabilisierend. Das bedeutet aber nicht, dass eine auf der Momentenzugseite angreifende Querbelastung stets stabilisierend wirkt. Bei einer Rahmenecke mit negativem Eckmoment greift die momentenerzeugende Querlast in der Regel am Obergurt an, der hier die Zugseite darstellt. Die Last wirkt jedoch destabilisierend:

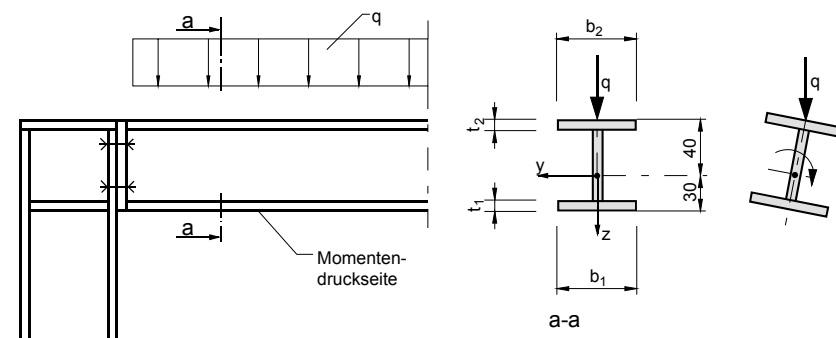


Bild 2.7: Rahmenecke mit destabilisierender Querlast am zugbeanspruchten Rand des Trägers

### 2.4.1 Konvention in RF-BGDK

Der Obergurt erhält bei positiven Biegemomenten Druck, bei negativen Momenten Zug.

Bei einem negativen Moment erkennt RF-BGDK automatisch, dass der Untergurt Druck erhält und berücksichtigt dies bei der Berechnung. Allerdings ist fest im Programm verankert, dass stets der Obergurt zur Ermittlung der Drehbettung und Profilsteifigkeit herangezogen wird. Praktisch gesehen bedeutet dies, dass das Trapezblech auf dem Obergurt liegt und die Breite des Obergurts zur Ermittlung der Profilsteifigkeit verwendet wird (siehe Gleichung 2.39).

Dies stellt eine enorme Erleichterung dar, da z. B. bei einfachsymmetrischen Profilen mit unterschiedlichen Flanschabmessungen nur ein Profil definiert werden muss. Die Abmessungen  $b_o$  und  $t_o$  beziehen sich immer auf den Gurt, auf dem das Trapezblech liegt. Schlägt das Moment von positiv auf negativ um, so erkennt RF-BGDK das und nimmt den gegenüberliegenden Flansch als Druckgurt an.

Resultiert das Moment nicht aus einer direkten Querlast am Stab – wie beispielsweise bei einem Rahmenstiel, der seinen Momentenverlauf aus dem Riegel erhält –, so wird  $z_p = 0$  gesetzt (Lastangriff im Schwerpunkt). Die Annahme  $z_p = 0$  gilt also auch dann, wenn keine Querlasten angreifen oder wenn die Querlast im Schwerpunkt wirkt.

### 2.4.2 Gabelgelagerung, freie Drehachse, keine Drehbettung (DIN 18 800)

Für den Fall eines Einfeldträgers mit einfachsymmetrischem Querschnitt lässt sich eine Näherungsformel für das ideale Kippmoment  $M_{Ki,y}$  angeben, die u. a. auch die Einflüsse einer elastischen Einspannung quer zur Symmetrieebene erfasst (siehe [3], [4], [9] und [10]):

$$M_{Ki,y} = \zeta \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(\beta \cdot l)^2} \cdot \left( \sqrt{\left( -\beta^2 \cdot \frac{z_p}{2} - \frac{r_y}{3} + z_M \right)^2 + c^2} + \beta^2 \cdot \frac{z_p}{2} + \frac{r_y}{3} - z_M \right)$$

Gleichung 2.15: Ideelles Biegedrillknickmoment

mit	$\zeta$	Beiwert „zeta“ zur Erfassung des Biegemoments und damit des Druckkraftverlaufs im Gurt
	$l$	Länge des Ersatzstabes
	$z_p$	Abstand des Angriffspunktes der Querbelastung vom Schwerpunkt S
	$c$	Drehradius nach Gleichung 2.7
	$z_M$	Schubmittelpunktskoordinate bezogen auf den Schwerpunkt S
	$r_y$	Querschnittsstrecke (siehe [10], [9])
	$\beta$	Faktor für den Grad der gleichzeitigen Biege- und Wölbeinspannung quer zur Stegeebene zwischen
	$\beta = \beta_0 = 1.0$	Gabellagerung
	$\beta = \beta_0 = 0.5$	starre Einspannung

Mit  $\beta$  kann der Biegeeinspannungsgrad des an beiden Enden quer zur Stegeebene elastisch eingespannten Trägers berücksichtigt werden. Dabei wird unterstellt, dass der Träger in gleichem Maße auch wölbebehindert ist, was sich sowohl auf die Verschiebungen als auch auf die Verdrehungen in der Querschnittsebene auswirkt. Es gilt:

$$\beta = \beta_0 = 0.5 \dots 1.0$$

Gleichung 2.16: Biege- und Wölbeinspannungsgrad

Für den in Gleichung 2.15 enthaltenen Beiwert  $\zeta$  sind in der DIN 18 800 Teil 2 angegebenen Werte einzusetzen. Es ist zu berücksichtigen, dass diese Näherungsformel (Gleichung 2.15) nur im Falle der Gabellagerung befriedigende Ergebnisse liefert, bei elastischer Einspannung und elastischer Wölbbehinderung jedoch unzureichende Ergebnisse zur Folge haben kann (vgl. [9]). Zudem setzt DIN 18 800 Teil 2, Element (311), Anmerkung 1 den Faktor  $\beta$  a priori zu 1.0 (d. h. Gabellagerung). Im Zweifelsfall sollte also  $\beta = \beta_0 = 1.0$  angesetzt werden!

Die elastische Einspannung lässt sich jedoch trotzdem über den  $\zeta$ -Wert näherungsweise erfassen. Der in DIN 18 800 Teil 2 angegebene Wert bezieht sich auf den gabelgelagerten Träger unter konstanter Momentenbelastung. Von ROIK, CARL, LINDNER ([9], S. 153 ff. und Anmerkungen, S. 160 f.) wurden die kritischen Kippspannungen und damit  $M_{Ki,y}$  von diversen Trägern mit verschiedenen Randbedingungen und Lastfällen ermittelt. Daraus können rückwirkend Korrekturfaktoren ( $\zeta$ -Werte) berechnet werden, die auf den beidseits gabelgelagerten Träger mit konstantem Momentenverlauf ( $z_p = 0$ ,  $\beta = \beta_0 = 1.0$  und  $I = I_0$ ) bezogen sind. Dabei wird eine gegenüber Gleichung 2.15 leicht modifizierte Gleichung für  $M_{Ki,y}$  angegeben (der Drehradius  $c$  wird entsprechend mit  $\beta = \beta_0 = 1.0$  berechnet):

$$M_{Ki,y} = \zeta \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \cdot \left( \sqrt{\left( -\frac{r_y}{3} + z_M \right)^2 + c^2} + \frac{r_y}{3} - z_M \right)$$

$$c^2 = \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{l^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}$$

Gleichung 2.17: Biegedrillknickmoment mit Drehradius

Die  $\zeta$ -Werte sind in [9] in 23 Bildern zusammengestellt. Eingangsparameter ist der dimensionslose Wert

$$\chi = \frac{E \cdot I_\omega}{l^2 \cdot G \cdot I_T}$$

Gleichung 2.18: Beiwert  $\chi$

Wird in der RF-BGDK-Eingabemaske 1.4 bei der Ermittlungsart von  $M_{Ki}$  die manuelle Definition eines  $\zeta$ -Wertes gewählt, so kann der nach [9] ermittelte  $\zeta$ -Wert eingegeben werden. Die anderen manuell anwählbaren  $\zeta$ -Werte der DIN 18 800 gelten für Gabellagerungen. Im Falle einer elastischen Einspannung und/oder Wölbbehinderung sollte trotzdem sicherheitshalber  $\beta = \beta_0 = 1.0$  gesetzt oder über die genauere Erfassung des  $\zeta$ -Wertes nach [9] ein wirtschaftlicher Nachweis geführt werden.

### Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung der $\zeta$ - Beiwerte

In RF-BGDK besteht die Möglichkeit, neben der manuellen Festlegung des Momentenverlaufs eines Ersatzstabes (siehe Kapitel 3.4.6, Seite 66) die  $\zeta$ -Werte und somit  $M_{Ki}$  automatisch bestimmen zu lassen. Dieses Verfahren ist der herkömmlichen manuellen Zuordnung vorzuziehen. Hierbei stehen die vier nachfolgend erläuterten Möglichkeiten zur Verfügung (siehe auch Kapitel 4.1, Seite 70).

### Numerisches Lösen des kleinsten elastischen Potentials

Dieser Ansatz zur numerischen Ermittlung des  $\zeta$ -Beiwertes basiert auf einem Aufsatz von MARTIN [11], der über folgende Internetadresse abrufbar ist:

[http://www.uni-leipzig.de/~massivb/institut/lacer/lacer01/I01\\_04.pdf](http://www.uni-leipzig.de/~massivb/institut/lacer/lacer01/I01_04.pdf)

Nach Einführung der dimensionslosen Koordinate  $\xi = x/l$  erhält man mit dem Ritzansatz

$$\vartheta = \sum_i a_i \cdot \sin(i\pi\xi),$$

der Bedingung für das Minimum des elastischen Potentials

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_i} = 0$$

und unter Beachtung von

$$\int_0^1 \sin^2 i\pi\xi \, d\xi = \int_0^1 \cos^2 i\pi\xi \, d\xi = \frac{1}{2},$$

$$\int_0^1 \sin i\pi\xi \cdot \sin j\pi\xi \, d\xi = \int_0^1 \cos i\pi\xi \cdot \cos j\pi\xi \, d\xi = 0 \quad \text{für } i \neq j,$$

ein homogenes Gleichungssystem, dessen allgemeine Gleichung lautet (für jeden Wert von  $j$  ergibt sich eine Gleichung):

$$\frac{a_j \cdot l}{2} \left( \frac{E \cdot I_\omega \cdot \pi^4}{l^4} j^4 + \frac{G \cdot I_T \cdot \pi^2}{l^2} \right) - \frac{l}{E \cdot Z} \cdot \int_0^1 M_y^2 \cdot \sin j\pi\xi \left( \sum_i a_i \cdot \sin i\pi\xi \right) d\xi = 0$$

Gleichung 2.19: Allgemeines Gleichungssystem

Dabei wird folgende Vereinfachung eingeführt:

$$\frac{1}{E \cdot Z} = \frac{1}{E \cdot I_z} \cdot \left( 1 - \frac{I_z}{I_y} \right)^2$$

Bei gegebenem Verlauf der Funktion  $M_y(x)$  liefert der kleinste Verzweigungsfaktor  $\nu \cdot M_y(x)$ , für den die Koeffizientenmatrix des Gleichungssystems (Gleichung 2.19) zu Null wird, das ideale Biegedrillknickmoment. Demzufolge ist  $M_{ki,y}$  der mit dem Lastverzweigungsfaktor  $\nu$  multiplizierte größte Absolutwert des Biegemomentes  $M_y(x)$ . Die Division durch den für ein Moment ermittelten Wert von  $M_{ki,y}$  ergibt den gesuchten  $\zeta$ -Wert [11].

### Vergleich des Momentenverlaufs am Ersatzstab

Der auftretende Momentenverlauf am Ersatzstab kann mit vorhandenen Erfahrungswerten verglichen und daraufhin ein  $\zeta$ -Wert bestimmt werden. Natürlich setzt dies Kenntnis der verschiedenen Momentenverläufe und zugehörigen  $\zeta$ -Werte voraus. Da DIN 18 800 Teil 2 nur ausgewählte Momentenverläufe anbietet, ist in RF-BGDK eine Datenbank mit 650 verschiedenen  $\zeta$ -Werten integriert. Diese stammen aus verschiedenen Literaturstellen, z. B. nach MARTIN [11]. Skaliert man nun den vorhandenen Momentenverlauf auf den Bezugswert 1, so kann dieser Verlauf mit den in der Datenbank hinterlegten Verläufen verglichen und damit der  $\zeta$ -Wert bestimmt werden.

### Bestimmung der $\zeta$ -Werte nach australischer Norm AS 4100-1990

Alternativ lässt sich der  $\zeta$ -Wert gemäß Australian Standard AS 4100-1990 bestimmen:

$$\zeta = \frac{1.7 \cdot M_y}{\sqrt{M_{1/4}^2 + M_{1/2}^2 + M_{3/4}^2}} \leq 2,5$$

Gleichung 2.20:  $\zeta$  gemäß AS 4100-1990

mit  $M_y$  größtes Bemessungsmoment im Ersatzstab  
 $M_{1/4}, M_{1/2}, M_{3/4}$  Momente in den Viertelpunkten des Ersatzstabes

Diese Gleichung gilt nur für gelenkig gelagerte Träger.



### Bestimmung der $\zeta$ -Werte nach US-Norm AISC LRFD

Auch gemäß der amerikanischen Norm AISC LRFD kann der  $\zeta$ -Wert ermittelt werden:

$$\zeta = \frac{12.5 \cdot M_y}{2.5 \cdot M_y + 3 \cdot M_{1/4} + 4 \cdot M_{1/2} + 3 \cdot M_{3/4}}$$

Gleichung 2.21:  $\zeta$  gemäß AISC LRFD

mit  $M_y$  größtes Bemessungsmoment im Ersatzstab  
 $M_{1/4}, M_{1/2}, M_{3/4}$  Momente in den Viertelpunkten des Ersatzstabes



Diese Gleichung gilt nur für gelenkig gelagerte Träger.

### 2.4.3 Gabellagerung, freie Drehachse, keine Drehbetung (EC 3)

Für einen Einfeldträger mit nicht veränderlichem Querschnitt, das symmetrisch in Bezug auf die schwache Achse ist, ist das ideale Biegedrillknickmoment nach der Elastizitätstheorie durch folgende allgemeine Formel gegeben:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2 - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

Gleichung 2.22:  $M_{cr}$  gemäß EC 3, Annex F

mit  $C_1$  Beiwert nach EC 3 - Tabelle F.1.1 bzw. F.1.2 (entspricht  $\zeta$ -Wert)  
 $C_2$  Beiwert zur Berücksichtigung des Lastangriffspunktes (in DIN 18 800 fest auf 0.5 gesetzt)  
 $C_3$  Beiwert zur Berücksichtigung der Nichtsymmetrie  
 $z_g$  Abstand zwischen Lasteinleitungspunkt und Schubmittelpunkt:  $z_a - z_s$   
 $k, k_w$  Knicklängenbeiwerte  
 $z_j = z_s - \frac{\int z \cdot (y^2 - z^2) dA}{2 \cdot I_y} = z_s - \frac{r_y}{2}$   
 $z_s$  Koordinate des Schubmittelpunkts bezogen auf den Schwerpunkt



Durchgeführte Studien zeigen gewisse Probleme des EC 3 in Bezug auf die Beiwerte (insbesondere Beiwert  $C_3$  zur Berücksichtigung der Nichtsymmetrie) auf. Deshalb sei hier auf einen Aufsatz von I. BALAZ und Y. KOLEKOVA [22] verwiesen, der momentane Schwächen des EC 3 thematisiert.

### 2.4.4 Kragträger mit Gabellagerung, freie Drehachse, keine Drehbettung

Für einen Kragträgerquerschnitt, der symmetrisch in Bezug auf die schwache Achse ist, lässt sich das ideale Biegedrillknickmoment  $M_{Ki}$  nach der Elastizitätstheorie gemäß LOHSE [18] bestimmen.

Der Beiwert  $\zeta$  kann in Abhängigkeit des Völligkeitsgrades  $\alpha_v$  der Momentenfläche nach folgender Gleichung beschrieben werden:

$$\zeta = \frac{1.542}{\alpha_v} - 0.542$$

Gleichung 2.23:  $\zeta$  - Beiwert Kragträger

$$\text{mit } \alpha_v = \frac{\int_0^l M \cdot dx}{M \cdot l} = \frac{\text{Flächeninhalt der Momentenfläche}}{\text{Rechteckfläche}}$$

Weitere Randbedingungen, wie Flanschbiegung und Ort der Lastenleitung, werden folgendermaßen erfasst:

$$\beta_1 = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4 \cdot a^2}}$$

Gleichung 2.24: Faktor  $\beta_1$  zur Berücksichtigung der Flanschbiegung

$$\text{mit } a = \sqrt{\frac{G \cdot I_T \cdot l^2}{E \cdot I_\omega}}$$

$$\beta_4 = \sqrt{1 + \left(\frac{k_4}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{a'^2 \cdot \beta_1^2} + \frac{k_4}{4 \cdot a \cdot \beta_1}}$$

Gleichung 2.25: Faktor  $\beta_4$  zur Berücksichtigung des Ortes der Lastenleitung

$$\text{mit } \alpha' = 2 \cdot a$$

$$k_4 \approx \frac{2 \cdot 1.571 \cdot \zeta \cdot z_p}{\sqrt{\frac{I_\omega}{I_z}}}$$

Das Biegedrillknickmoment ermittelt sich dann gemäß folgender Gleichung:

$$M_{Ki} = \beta_1 \cdot \beta_4 \cdot \beta_6 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \zeta \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}{l^2}}$$

Gleichung 2.26: Biegedrillknickmoment

mit	$\zeta$	Beiwert „zeta“ zur Erfassung des Biegemoments und damit des Druckkraftverlaufs im Obergurt
	$\beta_1$	Faktor zur Berücksichtigung der Flanschbiegung (→ Gleichung 2.24)
	$\beta_4$	Faktor zur Berücksichtigung der Lastenleitung (→ Gleichung 2.25)
	$\beta_6$	Faktor zur Berücksichtigung der elastischen Einspannung (→ Tabelle 2.3)
	$l$	Länge des Ersatzstabes

Der Beiwert  $\beta_6$  zur Berücksichtigung der elastischen Einspannung kann Werte zwischen 0.5 und 1.0 annehmen (siehe Tabelle 2.3 auf der folgenden Seite).


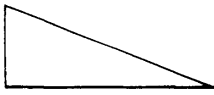

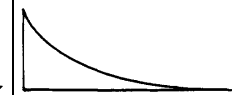
				
$\alpha_v$ $\alpha_e$	1.00	0.50	0.33	0.25
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.25	0.88	0.85	0.77	0.71
0.50	0.77	0.76	0.66	0.60
0.75	0.70	0.70	0.59	0.53
1.00	0.64	0.65	0.54	0.48

Tabelle 2.3: Beiwerte  $\beta_6$  nach [18]

In dieser Tabelle stellt  $\alpha_v$  den Völligkeitsgrad der Momentenfläche dar (vgl. Gleichung 2.23),  $\alpha_e$  den Parameter für die Abschätzung der elastischen Einspannung. Mit  $\alpha_e = 0.00$  liegt eine volle Einspannung für das kritische Moment an der Einspannstelle vor.

### 2.4.5 Gabellagerung, freie Drehachse, drehelastische Bettung

Für gabelgelagerte Einfeldträger mit Drehfederung wird in Gleichung 2.15, Gleichung 2.17 und im Beiwert  $\chi$  nach Gleichung 2.18 das Torsionsträgheitsmoment  $I_T$  durch das ideale Torsionsträgheitsmoment ersetzt.

$$I_{T,id} = I_T + c_\vartheta \cdot \frac{l^2}{\pi^2 \cdot G}$$

Gleichung 2.27: Ideelles Torsionsträgheitsmoment

Dies kann zu einer erheblichen Vergrößerung des ideellen Kippmomentes  $M_{k,y}$  führen (siehe [9], S. 180 und [10], S. 706 f.) Die  $\zeta$ -Werte können dann nach [9] mit  $\chi = \chi(I_{T,id})$  ermittelt werden. Der weitere Ablauf zur Bestimmung von  $M_{k,y}$  ist in den Kapiteln 2.4.2 und 2.4.3 beschrieben.

### 2.4.6 Gabellagerung, gebundene Drehachse, drehelastische Bettung

Der Nachweis für gabelgelagerte Einfeldträger wird bei gebundener Drehachse nicht mehr ausschließlich über den Nachweis der Drehbettung gemäß DIN 18 800 Teil 2 Element (309) bzw. Gleichungen (30) und (27) geführt, da dies zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen kann. Der Einfluss der seitlichen Halterung würde meist unberücksichtigt bleiben.

Deshalb wird im Falle einer gebundenen Drehachse ( $S_{vorh} > S_{eff}$ ) zunächst der Lastverzweigungsfaktor  $v_{Kl}$  näherungsweise über folgende Gleichung [19] bestimmt.



$$v_{Ki} = \frac{(I_{\omega} + I_z \cdot f^2) \cdot \frac{E \cdot \pi^2}{l^2} + G \cdot I_T + \frac{c_{\delta} \cdot l^2}{\pi^2}}{2 \cdot M_1 \cdot f + 1.13 \cdot M_2 \cdot f + M_3 \cdot (1.74 \cdot f - 0.81 \cdot z_p) + M_4 \cdot (1.41 \cdot f - 0.81 \cdot z_p)}$$

Gleichung 2.28: Laststeigerungsfaktor zum Erreichen des idealen Biegedrillknickmoments

mit  $f$  Lage des Schubfeldes  
 $c_{\delta}$  Drehbettungskoeffizient  
 $z_p$  Lage des Lastangriffspunktes  
 $l$  Länge des Ersatzstabes  
 $M_{1-4}$  Momentenbilder gemäß Bild 2.8

Die in der Gleichung angegebenen Momente  $M_1$  bis  $M_4$  sind aus folgendem Bild zu ersehen.

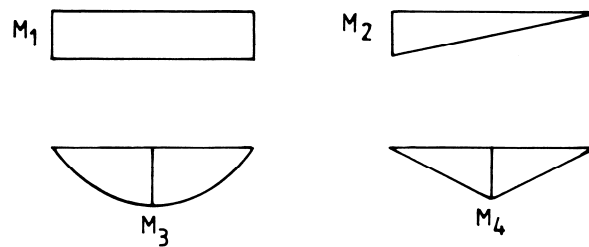


Bild 2.8: Momentenverläufe für Gleichung 2.28

Die Momentenanteile  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  und  $M_4$  werden vom Programm nach der Methode der kleinsten Quadrate aus dem tatsächlichen Momentenverlauf  $M_y$  des betreffenden Stabes bzw. Stabzuges ermittelt.

Ist der Nenner der Gleichung 2.28 **negativ** (kleiner gleich Null), kann der Nachweis des Biegedrillknickens mit gebundener Drehachse als **vorzeitig erfüllt** angesehen werden. In diesem Fall wird als Nachweiskriterium folgender Wert angegeben:

$$\frac{S_{\text{erf}}}{S_{\text{vorh}}} \leq 1.0$$

Gleichung 2.29: Nachweis der Schubfeldsteifigkeit

Ist dies nicht der Fall, wird das kritische Biegedrillknickmoment  $M_{Ki}$  über den Laststeigerungsfaktor  $v_{Ki}$ , multipliziert mit dem betragsmäßig größten Moment, bestimmt:

$$M_{Ki} = v_{Ki} \cdot \left| \max M_y \right|$$

Gleichung 2.30: Biegedrillknickmoment

Somit beinhaltet  $M_{Ki}$  den positiven Einfluss der gebundenen Drehachse, der dann in den Nachweisgleichungen (30) und (27) der DIN 18800 Teil 2 Berücksichtigung findet.

Durch die gebundene Drehachse ( $S_{\text{vorh}} > S_{\text{erf}}$ ) wird gleichzeitig stets die Drehfederung aktiviert, da die seitliche Unverschieblichkeit ja durch aufliegende Pfetten und/oder Trapezbleche erzeugt wird. Die sich dann nach Kapitel 2.3.5 ergebende ideale Biegedrillknicklast wird in den praktischen Fällen so groß sein, dass der Anteil von  $N / (\kappa_z N_{pl,d}) < 0.1$  ist (siehe Gleichung (22) der DIN 18 800 Teil 2) und ein Nachweis über Drehbettung nach Element (309) möglich ist. Bei Trägern mit nur positivem Momentenverlauf (siehe DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 6, Zeile 1 und 3) ist ein Kippen bei gehaltenem Druckgurt nicht möglich, und der erforderliche Drehbettungswert  $\text{erf } c_{\delta,k}$  ergibt sich zu Null. Das Programm zeigt automatisch die Drehbettungsbeiwerte für gebundene Drehachse nach DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 6, Spalte 3 an. Für die übrigen Momentenverläufe sind die erforderlichen Werte so gering, dass ein Nachweis keine Probleme darstellen sollte.

Ist der Nachweis über die Drehbettung nach DIN 18 800 Teil 2, Element (309) nicht möglich, also für  $N / (\kappa_z N_{pl,d}) > 0.1$ , muss der Nachweis gemäß Gleichung (30) bzw. (27) erfolgen. Dabei geht die gebundene Kippung mit drehelastischer Bettung nicht nur in die Berechnung von  $N_{Ki}$  über  $I_{T,id}$  ein, sondern auch in die Ermittlung von  $M_{Ki,y}$  nach Gleichung 2.28.

### 2.4.7 Berechnung nach VOGEL/HEIL

Für den Sonderfall gabelgelagerter Stäbe bzw. Stabzüge mit Berücksichtigung der Schubfeldsteifigkeit und Drehfederung (z. B. durchlaufende Pfetten) kann das Biegedrillknickmoment nach der Methode von VOGEL/HEIL [23] ermittelt werden. Damit besteht die Möglichkeit eines wirtschaftlichen Nachweises unter Berücksichtigung der seitlichen Behinderung des Ausweichens von Schubfeldern, die nicht für eine gebundene Drehachse ausreichen.

Die Berechnung von  $M_{Ki,y}$  erfolgt dann nach folgender Gleichung:

$$M_{Ki} = \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z + S \cdot l^2}{G_1} \cdot \left( G_2 \pm \sqrt{G_2^2 + G_1 \cdot G_3} \right) \right] \cdot M_{Ed}$$

Gleichung 2.31: Biegedrillknickmoment

mit  $l$  Feldlänge  
 $S$  Schubfeldsteifigkeit

$$G_1 = \left( \frac{M_A + M_B}{2} + \frac{\pi^2 + 3}{12 \cdot \pi^2} \cdot q_z \cdot l^2 \right)^2$$

$$G_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_A + M_B}{2} \cdot \frac{h_p}{l^2} \cdot \bar{s} + q_z \cdot \frac{\pi^2 + 3}{24 \cdot \pi^2} \cdot h_p \cdot \left( \bar{s} - \frac{6}{\pi^2 + 3} \right)$$

$$G_3 = \frac{1}{(\pi^2 \cdot E \cdot I_z + S \cdot l^2) \cdot l^2} \cdot \left( G \cdot I_T + \frac{\pi^2}{l^2} \cdot E \cdot I_\omega + \frac{l^2}{\pi^2} \cdot c_\vartheta + \frac{1}{4} \cdot S \cdot h_p^2 \cdot (1 - \bar{s}) \right)$$

$$\bar{s} = \frac{S \cdot l^2}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z + S \cdot l^2}$$

$M_A, M_B$  Randmomente

$h_p$  Profilhöhe

$\bar{s}$  Schubfeldparameter  $\bar{s} = \frac{S \cdot l^2}{(n \cdot \pi)^2 \cdot E \cdot I_z + S \cdot l^2}$

$q_z$  Streckenlast

$c_\vartheta$  Drehbettung

Wird nach VOGEL/HEIL gerechnet, sind die in [13] genannten Voraussetzungen einzuhalten, siehe auch Kapitel 2.3.7, Seite 16.

## 2.5 Drehbettung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (312) darf für Träger, die einer geringen Normalkraftbelastung unterliegen,

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} < 0.1$$

Gleichung 2.32: Stäbe mit geringer Normalkraft

der Nachweis des Biegedrillknickens durch den Nachweis einer ausreichenden Verdrehbehinderung infolge Drehbettung ersetzt werden, siehe DIN 18 800 Teil 2, Element (309).

Der erforderliche Drehbettungskoeffizient ergibt sich gemäß folgender Gleichung:

$$\text{erf } c_{\vartheta,k} = \frac{M_{pl,y,k}^2}{E \cdot I_{z,k}} \cdot k_{\vartheta} \cdot k_v$$

Gleichung 2.33: Erforderlicher Drehbettungskoeffizient

mit  $k_v$  1.0 bei Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch oder Plastisch-Plastisch  
 $k_v$  0.35 bei Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch

$k_{\vartheta}$  ist ein Beiwert nach Tabelle 6 der DIN 18 800 Teil 2, der den Momentenverlauf des auszusteienden Trägers berücksichtigt. Hierbei ist zwischen einem Träger mit freier oder gebundener Drehachse zu unterscheiden. Nach Lindner [6] kann für andere Momentenformen der Beiwert für Träger mit freier Drehachse auch über die Beziehung berechnet werden:

$$k_{\vartheta} = \frac{5}{\zeta^2}$$

Gleichung 2.34: Beiwert  $k_{\vartheta}$

Gemäß Kommentar 3.3.2.3 [19] sind bei Trägern mit einem Trägerbeiwert  $n$  kleiner als 2.5 die Beiwerte  $k_{\vartheta}$  mit dem Faktor 1.85 zu multiplizieren, bei Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Elastisch jedoch nur mit dem Faktor 1.45.

Der Momentenbeiwert  $k_{\vartheta}$  wird in RF-BGDK normalerweise über einen Abgleich der Momentenbilder mit dem tatsächlichen Momentenverlauf ermittelt. Die Bibliothek der Momentenbilder mit der Zuordnung der  $k_{\vartheta}$ -Werte kann vom Anwender ergänzt bzw. geändert werden.

Der Berechnung des vorhandenen Drehbettungskoeffizienten liegt das Modell von mehreren hintereinandergeschalteten Federn zugrunde [2], [6]:

$$\frac{1}{\text{vorh } c_{\vartheta,k}} = \frac{1}{c_{\vartheta M,k}} + \frac{1}{c_{\vartheta A,k}} + \frac{1}{c_{\vartheta P,k}}$$

Gleichung 2.35: Wirksame Drehbettung

Sollte einer der Drehbettungsanteile Null betragen (z. B.  $c_{\vartheta A,k}$ ), so wird der reziproke Anteil (z. B.  $1/c_{\vartheta A,k}$ ) in Gleichung 2.35 nicht berücksichtigt. Aus Vereinfachungsgründen sind Gleichung 2.33 und Gleichung 2.35 in der DIN 18 800 mit den charakteristischen Werten formuliert.

### Drehbettung $c_{\vartheta M,k}$ aus abstützendem Bauteil

In Gleichung 2.35 bedeutet

$$c_{\vartheta M,k} = k \cdot \frac{(E \cdot I_a)_k}{a}$$

Gleichung 2.36: Drehbettung aus abstützendem Bauteil

die theoretische Drehbettung aus der Biegesteifigkeit  $I_a$  des abstützenden Bauteils  $a$  bei Annahme einer starren Verbindung. In Gleichung 2.36 gilt weiterhin

$I_a$  Trägheitsmoment des abstützenden Bauteils in [cm<sup>4</sup>/cm]  
 $a$  Stützweite des abstützenden Bauteils in [cm]  
 $k$  Beiwert:  $k = 2$  für Ein- und Zweifeldträger, Endfeldträger  
 $k = 4$  für Durchlaufträger mit drei oder mehr Feldern

Bei nicht kontinuierlicher Drehbettung (z. B. durch Pfetten) wird das Trägheitsmoment  $I_a$  des abstützenden Bauteils auf eine kontinuierliche Abstützung gemäß  $I_a = I / e$  umgerechnet, wobei  $e$  der Abstand der abstützenden Einzelträger (z. B. Pfetten) ist.

## Drehbettung $c_{9A,k}$ aus Verformung des Anschlusses

### Drehbettingsbeiwert nach DIN 18 800 Teil 2

$c_{9A,k}$  ist die Drehbettung aus der Verformung des Anschlusses. Zur Zeit liegen hierfür nur Werte für Trapezblechanschlüsse vor. Bei Anschlüssen von Einzelträgern durch Schrauben (wechselseitig links und rechts vom Steg des auszusteifenden Profils) kann näherungsweise von einer starren Verbindung ausgegangen werden.

Bei drehelastischer Stützung durch Trapezbleche ergibt sich

$$c_{9A,k} = \bar{c}_{9A,k} \left( \frac{b_o}{10} \right)^2 \quad \text{für } \frac{b_o}{10} \leq 1.25$$

$$c_{9A,k} = 1,25 \bar{c}_{9A,k} \left( \frac{b_o}{10} \right) \quad \text{für } 1.25 < \frac{b_o}{10} \leq 2.0$$

Gleichung 2.37: Drehbettung aus Verformung des Anschlusses

mit  $b_o$  Breite des Obergurtes des gestützten Trägers in [cm]

Der charakteristische Wert für die Anschlusssteifigkeit  $\bar{c}_{9A,k}$  von Stahl-Trapezprofilen wird der Tabelle 7 der DIN 18 800 Teil 2 entnommen. Diese Tabelle ist im Programm enthalten. Ist das Verhältnis  $b_o/10 > 2.0$ , wird in obiger Gleichung das Verhältnis auf der sicheren Seite liegend auf 2.0 begrenzt. Nach Osterrieder [8] (Anmerkung dort im Abschnitt 4) können für  $\bar{c}_{9A,k}$  auch größere Werte als in Tabelle 7 angegeben eingesetzt werden. Auch diese Möglichkeit besteht im Programm.



Weisen die Trapezblechprofile Blechdicken größer als 0.75 mm auf, ergeben sich größere Anschlusssteifigkeiten. Näherungsweise dürfen die entsprechenden Werte mit

$$\frac{t_{\text{vorh}} [\text{mm}]}{0.75^2}$$

multipliziert werden [19].

### Drehbettingsbeiwert nach LINDNER/GROESCHEL

Nach LINDNER/GROESCHEL [24] besteht die Möglichkeit, Drehbettingsbeiwerte für die Profilblechbefestigung mit Setzbolzen zu ermitteln.

$$c_{9Ak} = \bar{c}_{9A,k} \cdot k_b \cdot k_t \cdot k_A$$

Gleichung 2.38: Drehbettung aus Verformung des Anschlusses

$$\text{mit } k_b = \left( \frac{b_{\text{vorh}}}{100} \right)^2 \quad \text{für } \frac{b_{\text{vorh}}}{100} \leq 1.15$$

$$k_b = 1.15 \cdot \left( \frac{b_{\text{vorh}}}{100} \right) \quad \text{für } 1.15 \leq \frac{b_{\text{vorh}}}{100} \leq 1.60$$

$$k_t = \frac{t}{0.75} \quad \text{bei Positivlage}$$

$$k_t = \left( \frac{t}{0.75} \right)^{1.5} \quad \text{bei Negativlage}$$

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.16 \quad \text{bei } t = 0.75 \text{ mm}$$

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.095 \quad \text{bei } t = 1.00 \text{ mm}$$

$t$  Dicke des Trapezprofilblechs in [mm]  
 $b_{\text{vorh}}$  vorhandene Breite des Obergurtes in [mm]  
 $A$  Auflast (mit Bedingung  $A \leq 12 \text{ kN/m}$ )

### Drehbettung $c_{\vartheta p,k}$ aus Profilverformung

$c_{\vartheta p,k}$  stellt die Drehbettung aus der Profilverformung des gestützten Trägers dar. Sie berechnet sich aus der Gleichung

$$c_{\vartheta p,k} = \frac{E}{4 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \frac{1}{\frac{h_m}{s^3} + 0.5 \cdot \frac{b_o}{t_o^3}}$$

Gleichung 2.39: Drehbettung aus Profilverformung

mit	$b_o, t_o$	Breite bzw. Dicke des Obergurtes des gestützten Trägers in [cm]
	$s$	Stegdicke des gestützten Trägers in [cm]
	$h_m$	Abstand der Gurtschwerelinien des gestützten Trägers in [cm]
	$\mu$	Querdehnzahl von Stahl, fest eingestellt mit $\mu = 0.3$

Ist beim Verfahren Elastisch-Plastisch oder Plastisch-Plastisch die tatsächliche Beanspruchung des gestützten Trägers kleiner als  $M_{pl,y,k,r}$ , darf die erforderliche Drehbettung nach [6], S. 168 abgemindert werden. Falls das vorhandene Moment unter den  $\gamma_M$ -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen kleiner ist als  $M_{pl,k,r}$ , kann dieses vorhandene Moment anstelle von  $M_{pl,k}$  in Gleichung 2.33 eingeführt werden. Die Abminderung ergibt sich analog dazu dann wie folgt:

$$\text{vorh } c_{\vartheta,k} \geq \text{erf } c_{\vartheta,k} \cdot \left( \frac{\max M_y}{M_{pl,y,k}} \right)^2$$

Gleichung 2.40: Drehbettungskoeffizient

Ist  $M_y \geq M_{pl,y,k,r}$ , so wird der Anwender vom Programm darauf hingewiesen.

Falls die Beanspruchung unter den  $\gamma_M$ -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen kleiner ist als das Fließmoment  $M_{el} = f_{y,k} \cdot W_y$  und nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch gerechnet wird, darf dies ebenfalls berücksichtigt werden. Die Reduktion erfolgt dann mit dem Faktor

$$\gamma_M \cdot \left( \frac{M_y}{M_{el}} \right)^2$$

Die Abminderung fällt hier geringer aus, da der plastische Anteil der Reserven schon in  $k_y = 0.35$  enthalten ist.

$$\text{vorh } c_{\vartheta,k} \geq \text{erf } c_{\vartheta,k} \cdot \left( \frac{\gamma_M \cdot M_y}{M_{el}} \right)^2$$

Gleichung 2.41: Nachweis der Drehbettung

## 2.6 Seitliche Verformungsbehinderung

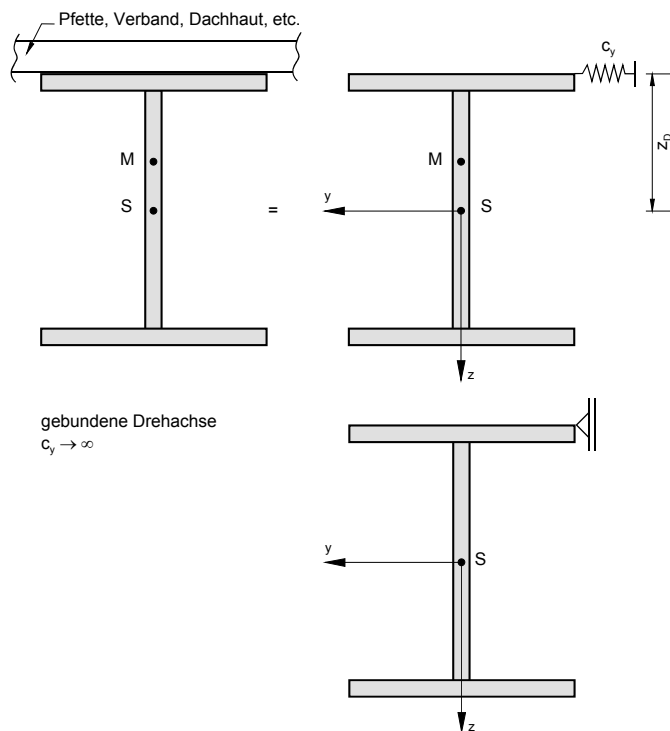


Bild 2.9: Gebundene Drehachse

Die gebundene Drehachse darf beim Nachweis einer ausreichenden seitlichen Verformungsbehinderung nach DIN 18 800 Teil 2 angesetzt werden[8]. Eine ausreichende Behinderung kann z. B. durch ständig am Druckgurt anschließendes Mauerwerk erfolgen. Wenn am Stab Trapezprofile nach DIN 18 807 angeschlossen sind und die Bedingung

vorh  $S \geq \text{erf } S$

$$\text{mit } \text{erf } S = S_a = \left( E \cdot I_{\omega} \cdot \frac{\pi^2}{l^2} + G \cdot I_T + E \cdot I_z \cdot \frac{\pi^2}{4 \cdot l^2} \cdot h^2 \right) \cdot \frac{70}{h^2}$$

Gleichung 2.42: Schubfestigkeit Trapezblech

für eine Befestigung in **jeder** Sicke erfüllt ist, darf die Anschlussstelle als in der Trapezblechebene unverschieblich gehalten angesehen werden. Hierin bedeutet  $S_a$  den auf den untersuchten Träger entfallenden Anteil der Schubfestigkeit der Trapezbleche nach DIN 18 807 bei Befestigung in jeder Profilrippe.  $l$  stellt die Spannweite des auszusteifenden Trägers,  $h$  seine Profilhöhe (I-Profil vorausgesetzt) dar. Erfolgt die Befestigung der Trapezprofile nur in jeder **zweiten** Profilrippe, so gilt:

$$\text{erf } S = S_b = 5 \cdot S_a$$

mit  $S_a$  nach Gleichung 2.42

Gleichung 2.43: Schubfestigkeit Trapezblech

Gleichung 2.42 und Gleichung 2.43 zur Bestimmung der seitlichen Unverschieblichkeit eines Stabes (gebundene Drehachse) können bei entsprechender Ausbildung der Anschlussstellen auch für andere Bekleidungen als Trapezbleche angewendet werden (siehe Anmerkung zu Element (308) der DIN 18 800 Teil 2).

Gemäß [19], Kapitel 3.3.2.2 kann in Gleichung 2.42 für Träger ohne Querlast der Zahlenwert 70 durch 20 ersetzt werden.

Der ideelle Schubmodul eines Trapezbleches ergibt sich zu

$$G_s = \frac{10^4}{K_1 + 100 \cdot \frac{K_2}{l_s}} \quad \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Gleichung 2.44: Ideeller Schubmodul Trapezblech

mit  $K_1$  Schubfeldwert nach Trapezblechzulassung in [m/kN]  
 $K_2$  Schubfeldwert nach Trapezblechzulassung in [m<sup>2</sup>/kN]  
 $l_s$  Schubfeldlänge in [cm], vgl. Bild 2.10

Für die auf den auszusteifenden Träger (z. B. den Riegel in folgendem Bild) entfallende Schubsteifigkeit folgt damit:

$$S_T = \frac{a}{100} \cdot G_s \quad [\text{kN}]$$

Gleichung 2.45: Schubsteifigkeit Träger

mit  $a$  Abstand der auszusteifenden Träger (Riegel) in [cm]

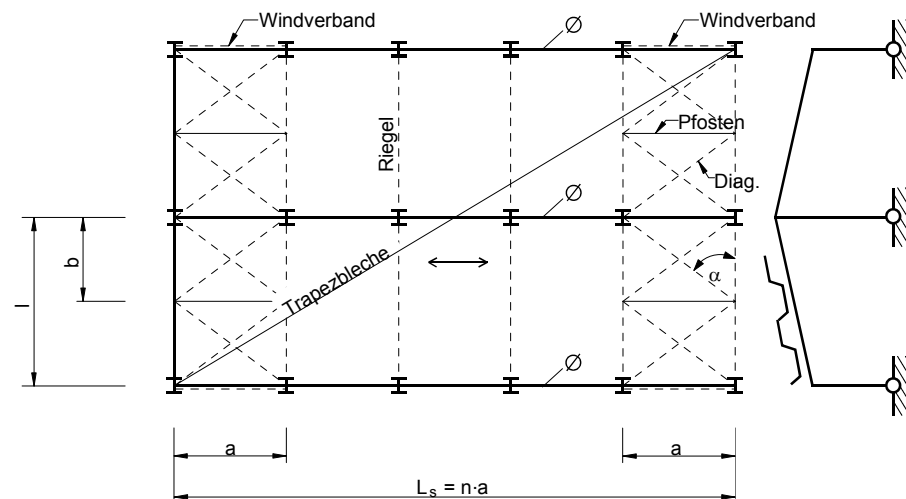


Bild 2.10: Riegel mit Trapezblechen und Verbänden

Ebenso kann die Schubfestigkeit der Wind- und Stabilisierungsverbände mit angesetzt werden. Die ideelle Schubsteifigkeit eines Verbandes mit schlupffreien Anschlüssen wird gemäß DIN 18 800 Teil 2 und [3] nach folgender Gleichung ermittelt:

$$S_V = \frac{1}{\left( \frac{1}{E \cdot A_D \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{E \cdot A_P \cdot \cot \alpha} \right)}$$

Gleichung 2.46: Schubsteifigkeit Verband

mit  $S_V$  Schubsteifigkeit des Verbandes in [kN]  
 $A_D$  Fläche der Diagonalen in [cm<sup>2</sup>]  
 $A_P$  Fläche der Pfosten in [cm<sup>2</sup>]  
 $\alpha$  Winkel zwischen Diagonale und Riegelgurt

In Gleichung 2.46 werden nur die Zugdiagonalen des Kreuzverbandes berücksichtigt. Sind verschiedene Pfosten bzw. Diagonalen vorgesehen, sind die minimalen Querschnittsflächen für  $A_p$  bzw.  $A_D$  einzusetzen. Gleichung 2.46 lässt sich noch umstellen:

$$S_V = \frac{a^2 \cdot b \cdot E}{\frac{(\sqrt{a^2 + b^2})^3}{A_D} + \frac{a^3}{A_p}}$$

Gleichung 2.47: Schubsteifigkeit Verband

Damit lässt sich näherungsweise die auf **einen** Riegel oder Stab entfallende Schubsteifigkeit infolge der Verbände berechnen:

$$S_R = m \cdot \frac{a}{l_s} \cdot S_V$$

Gleichung 2.48: Schubsteifigkeit eines Riegels infolge Verband

mit  $m$  Anzahl der aussteifenden Verbände in Dachebene  
 $l_s$  Schubfeldlänge  
 $a$  Riegelabstand

Werden die Schubsteifigkeiten aus Trapezblecheindeckung und Verband **gleichzeitig** angesetzt, so gilt für

- Befestigung in jeder Sicke

$$\text{vorh } S = S_T + S_R$$

Gleichung 2.49: Schubsteifigkeit eines Riegels infolge Trapezblech und Verband

mit  $S_T$  siehe Gleichung 2.45  
 $S_R$  siehe Gleichung 2.48

- Befestigung in jeder zweiten Sicke

$$\text{vorh } S = \frac{1}{5} \cdot S_T + S_R$$

Gleichung 2.50: Schubsteifigkeit eines Riegels infolge Trapezblech und Verband

Der Nachweis lautet dann:

$$\text{vorh } S \geq \text{erf } S = S_a$$

Gleichung 2.51: Nachweis der Schubsteifigkeit

mit  $S_a$  siehe Gleichung 2.42



Wird ein biegedrillknickgefährdeter Stab beispielsweise nur durch aufliegende Pfetten, die an einem Verband angeschlossen sind, seitlich unverschieblich gehalten, so ist für diesen Stab ein Stabilitätsnachweis zwischen den seitlich unverschieblichen Punkten zu führen (Systemlänge gleich Abstand dieser Punkte).



## Erforderliche Schubfeldsteifigkeit nach VOGEL/HEIL

Wird nach VOGEL/HEIL [13] gerechnet, so findet anstelle von Gleichung 2.42 folgende Gleichung Anwendung:

$$\text{erf } S = 10.18 \cdot \frac{M_{pl,y}}{h} - 4.31 \cdot \frac{E \cdot I_z}{l^2} \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + 1.86 \cdot \frac{c^2}{h^2}} \right]$$

Gleichung 2.52: Erforderliche Schubsteifigkeit

$$\text{mit } c^2 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega + G \cdot I_T \cdot l^2}{E \cdot I_z}$$

Nach [13] kann zu der nach Gleichung 2.52 erforderlichen Schubfeldsteifigkeit in einigen Fällen zusätzlich noch eine Drehbettung erforderlich sein. Im Übrigen sind die in [13] genannten Voraussetzungen einzuhalten.

## 2.7 Verwölbung an Auflagerpunkten

Nach DIN 18800 Teil 2 bzw. Petersen [4] kann die Lagerungsart für die Verwölbung  $\beta_0$  bei der Ermittlung von  $N_{Ki}$  und  $M_{Ki}$  in Gleichung 2.7 und Gleichung 2.16 berücksichtigt werden. Dabei kann die Verwölbung nur Werte zwischen  $\beta_0 = 0.5$  (wölbbehindert) und  $\beta_0 = 1.0$  (wölbfrei) annehmen.

Die Werte zwischen „wölbbehindert“ und „wölbfrei“ lassen sich wie folgt berechnen:

$$\frac{C_\omega \cdot l_0}{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I_\omega} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot (1 - \beta_0)\right)}{2 \cdot \cos(\pi \cdot (1 - \beta_0))}$$

Gleichung 2.53: Grad der Verwölbung

Daraus folgt, dass  $\beta_0$  nur iterativ mit Kenntnis der Wölbfedersteifigkeit bestimmt werden kann. Die Wölbfeder  $C_\omega$  lässt sich nach folgender allgemeingültiger Formel berechnen:

$$C_\omega = G \cdot I_T \cdot h_m$$

Gleichung 2.54: Wölbfeder

mit  $G$  Schubmodul

$I_T$  Torsionsträgheitsmoment für

$$\square \text{ geschlossene Profile: } I_{T,Bredt} = \frac{4 A_m^2}{\sum \frac{l_i}{t_i}}$$

$A_m$  die von der Profilmittellinie eingeschlossene Fläche

$$\square \text{ offene Profile: } I_{T,St.Ven.} = \sum \frac{1}{3} \cdot l_i \cdot t_i^3 \cdot \left[ 1 - 0,63 \frac{t_i}{l_i} + 0,052 \left( \frac{t_i}{l_i} \right)^5 \right]$$

Der Klammerausdruck ist ein Korrekturfaktor, der die Dickwandigkeit der einzelnen Rechteckteile (Länge  $l_i$ , Dicke  $t_i$ ) berücksichtigt. Dieser Faktor kann bei dünnwandigen Profilen zu Eins gesetzt werden.

$h_m$  Abstand der Flanscmittellinien

### Wölbbehinderung durch eine Stirnplatte [4]

Die Wölbfeder ergibt sich in diesem Fall aus Gleichung 2.54 zu:

$$C_{\omega} = \frac{1}{3} \cdot G \cdot b \cdot h \cdot t^3$$

Gleichung 2.55: Wölbfeder Stirnplatte

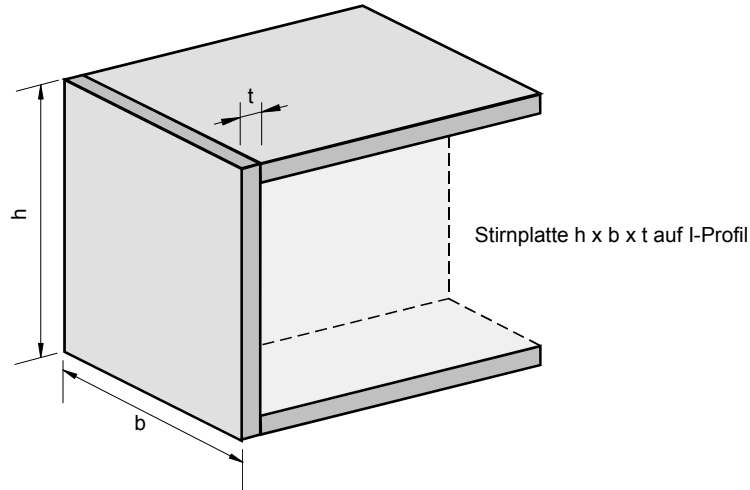


Bild 2.11: Wölbfeder durch Stirnplatte

### Wölbbehinderung durch ein drillsteifes Querschott

Von den Wölbfedern aus Stirnplatten oder Trägerüberständen geht nur eine relativ geringe Stützung aus. Effektiver ist der planmäßige Einbau drillsteifer Querschotte in Form eingeschweißter U- oder Winkel-Profile [4]. Um die z-Achse (Hochachse) entsteht dann ein geschlossener Kastenquerschnitt.

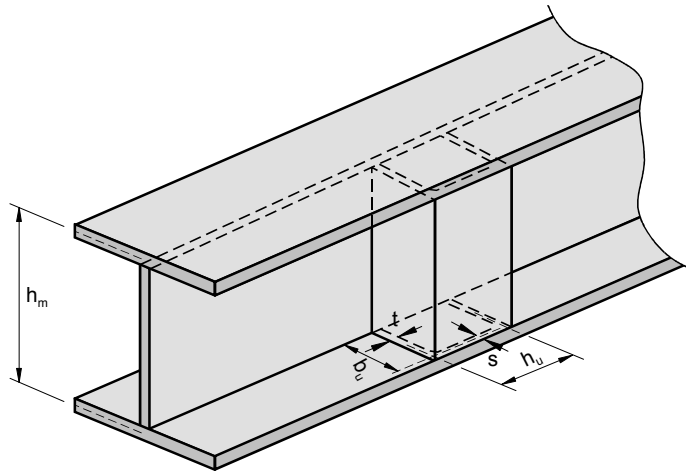


Bild 2.12: Wölbfeder durch Querschott

$$C_{\omega} = G \cdot h_m \cdot \frac{4 \cdot A_m^2}{\sum \frac{l_i}{t_i}} = G \cdot h \cdot \frac{4 \cdot (b_u \cdot t_u)^2}{2 \cdot \left( \frac{b_u}{t} + \frac{h_u}{s} \right)}$$

Gleichung 2.56: Wölbfeder Querschott

mit  $A_m$  von der Mittellinie eingeschlossene Fläche  
 $\sum \frac{l_i}{t_i}$  Summe über die Seitenlängen dividiert durch die jeweilige Blechdicke

### Wölbbehinderung durch einen Stützenanschluss

Die Wölbfeder für den Riegel ergibt sich nach Gleichung 2.54 z. B. mit dem entsprechenden St. Venantschen Torsionsträgheitsmoment für offene Profile zu:

$$C_{\omega} = \frac{1}{3} \cdot G \cdot b \cdot h_m \cdot t^3$$

Gleichung 2.57: Wölbfeder Stützenanschluss

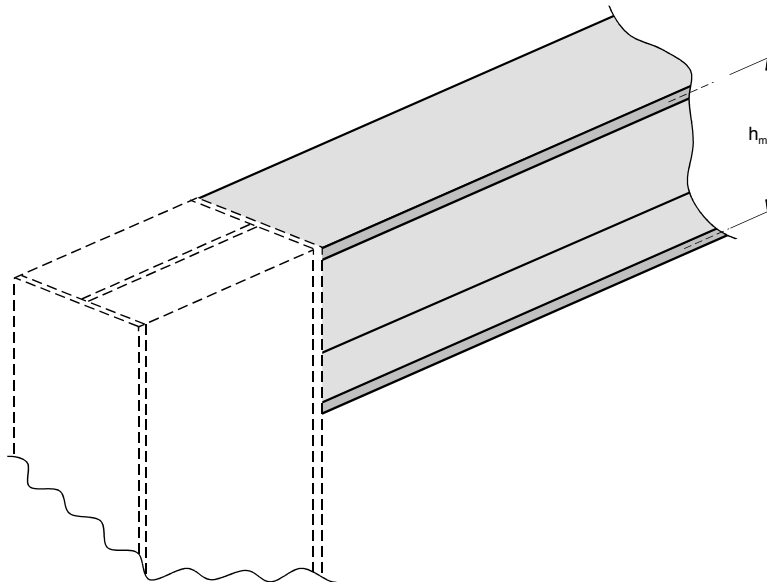


Bild 2.13: Wölbfeder durch Stützenanschluss

### Wölbbehinderung durch einen Trägerüberstand

Die Wölbfeder infolge eines Trägerüberstandes wird gemäß folgender Gleichung ermittelt:

$$C_{\omega} = G \cdot I_T \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \tanh(\lambda \cdot l_k)$$

Gleichung 2.58: Wölbfeder Stützenanschluss

mit  $\lambda = \sqrt{\frac{G \cdot I_T}{E \cdot I_{\omega}}}$

$l_k$  Überstandslänge

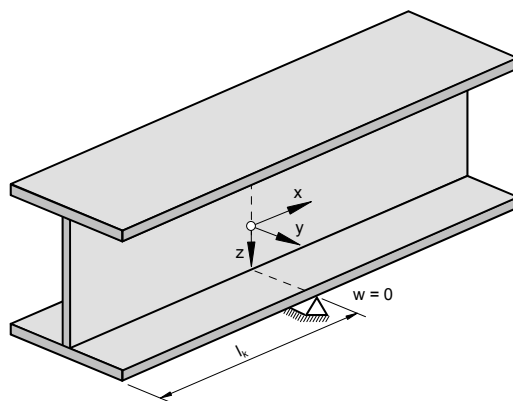


Bild 2.14: Wölbfeder durch Trägerüberstand

## 2.8 Verbindungsmittel

Bei der Ausnutzung von Drehbettungsanteilen beim Biegedrillknicknachweis ist sicherzustellen, dass ein Anschlussmoment vom stützenden Bauteil auf den Träger übertragen werden kann. Dies kann durch Kontakt der Bauteile und/oder durch Verbindungsmittel erfolgen. In diesem Kapitel wird für kontinuierliche und nicht kontinuierliche Bettung die Beanspruchung der Verbindungsmittel zwischen stützendem und gestütztem Bauteil bei Drehbettung ermittelt. Bei kontinuierlicher Bettung kann zusätzlich die seitliche schubsteife Halterung berücksichtigt werden.

### 2.8.1 Kontinuierliche Bettung

Die Größe des Anschlussmoments kann für die freie Drehachse gemäß [19] nach der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$m_{\vartheta, \text{frei}} = \frac{0.075}{\zeta^2} \cdot \frac{M_{\text{pl}, y, k}^2}{E \cdot I_z} \approx \frac{1}{20} \cdot \frac{M_{\text{pl}, y, k}^2}{E \cdot I_z} \quad [\text{kNcm/cm}]$$

Gleichung 2.59: Anschlussmoment bei freier Drehachse

Hierin ist  $\zeta$  der Beiwert zur Erfassung des Biegemomentenverlaufs (siehe Kapitel 2.4.2). Wurde  $M_{\text{ki}}$  nicht nach DIN 18 800, sondern nach EC 3 bestimmt, tritt eine vereinfachte Gleichung in Kraft.

Bei Vorliegen einer gebundenen Drehachse (Ermittlung und Überprüfung durch das Programm, siehe Kapitel 2.6) wird das Anschlussmoment folgendermaßen ermittelt:

$$m_{\vartheta, \text{geb}} = m_{\vartheta, \text{frei}} \cdot \frac{k_{\vartheta, \text{geb}}}{k_{\vartheta, \text{frei}}} = m_{\vartheta, \text{frei}} \cdot \varepsilon$$

Gleichung 2.60: Anschlussmoment bei gebundener Drehachse

mit  $m_{\vartheta, \text{frei}}$  siehe Gleichung 2.59  
 $\varepsilon$  Reduktionsfaktor, der sich aus dem Quotienten der  $k_{\vartheta}$ -Beiwerte aus gebundener und freier Drehachse nach DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 6 ergibt

Eine weitere Reduzierung, die RF-BGDK automatisch durchführt, ist nach [19], Seite 207 möglich, falls das Moment  $M_y$  kleiner als  $M_{y, \text{pl}, d}$  ist. Man erhält dann das reduzierte Moment:

$$\text{red } m_{\vartheta} = m_{\vartheta} \cdot \frac{M_y}{M_{\text{pl}, y, d}}$$

Gleichung 2.61: Reduziertes Anschlussmoment

mit  $m_{\vartheta}$  nach Gleichung 2.59 oder Gleichung 2.60

Da die Beanspruchung der Schrauben vor dem Erreichen des Kontaktmomentes gering ist, darf näherungsweise so vorgegangen werden, dass durch die Verbindungsmittel nur jeweils der Teil des Anschlussmomentes abgedeckt werden muss, der nicht durch das Kontaktmoment übertragbar ist, vgl. [19], [6]. Für das Kontaktmoment folgt:

$$m_k = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot b$$

Gleichung 2.62: Kontaktmoment

mit  $b$  Flanschbreite des ausgesteiften Trägers  
 $q_d$  Bemessungsstreckenlast

Durch die Verbindungsmittel muss das Differenzmoment  $\Delta m$  aufgenommen werden.

$$\Delta m = \text{red } m_g - m_k \geq 0$$

Gleichung 2.63: Differenzmoment

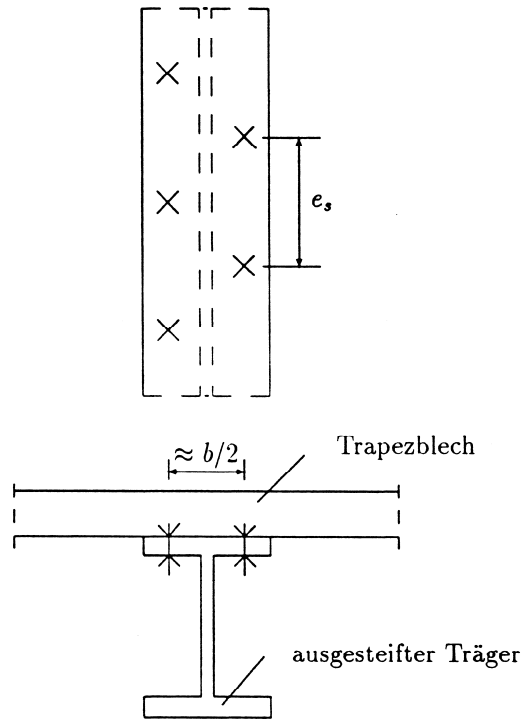


Bild 2.15: Abstände der Verbindungsmittel

Mit dem Abstand  $e_s$  der Verbindungsmittel auf einer Flanschseite (siehe obiges Bild) ergibt sich die Bemessungskraft  $F_{z,d}$  des Verbindungsmittels.

$$F_{z,d} = \frac{\Delta m \cdot e_s}{\frac{b}{2}}$$

Gleichung 2.64: Bemessungskraft

Die Verbindungsmittel sollten wie im obigen Bild dargestellt abwechselnd links und rechts vom Steg angeordnet sein. Bei Vorhandensein einer gebundenen Drehachse wird die Abscherkraft für die Verbindungsmittel folgendermaßen ermittelt:

$$F_{a,d} = \frac{\text{vorh } S}{750} \cdot \frac{e_s}{2 \cdot a}$$

Gleichung 2.65: Abscherkraft

mit  $S$  vorhandene Schubsteifigkeit pro Träger in [kN]  
 $a$  Abstand der auszusteifenden Träger (= Spannweite des Trapezbleches)

In Gleichung 2.65 wurde ein maximaler Gleitwinkel  $\gamma_s = 1/750$  zu Grunde gelegt.

## 2.8.2 Nicht kontinuierliche Bettung

Das kontinuierliche Anschlussmoment nach Gleichung 2.61 wird auf ein Einzelmoment je Anschlussstelle umgerechnet.

$$M_g = \text{red } m_g \cdot e$$

Gleichung 2.66: Anschlussmoment

mit  $e$  Abstand der stützenden Einzelträger gemäß Bild 2.16

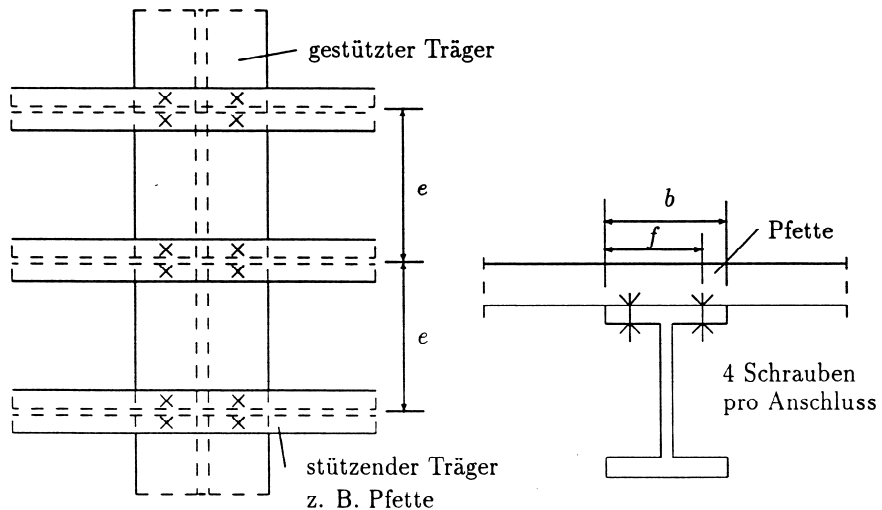


Bild 2.16: Nicht kontinuierliche Bettung

Das Kontaktmoment ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$M_k = F_d \cdot \frac{b}{2}$$

Gleichung 2.67: Kontaktmoment

mit  $F_d$  Einzellast (Auflagerkraft)

Die Zugkraft einer Schraube berechnet sich zu:

$$F_{z,d} = \frac{\Delta M}{2 \cdot f}$$

Gleichung 2.68: Bemessungskraft

mit  $\Delta M = M_g - M_k > 0$

$$f = \frac{b - w_1}{2}$$

$w_1$  Wurzelmaß (Schraubenabstand)

Es wird dabei vorausgesetzt, dass vier Schrauben pro Anschluss verwendet werden. Der Schraubenhebelarm  $f$  zum Kontaktpunkt ist in Bild 2.16 ersichtlich. Liegt eine gebundene Drehachse vor, werden die Scherkräfte pro Schraube nach folgender Gleichung ermittelt:

$$F_{a,d} = \frac{\text{vorh } S}{750} \cdot \frac{e_s}{4 \cdot a}$$

Gleichung 2.69: Abscherkraft

mit  $S$   $S_R$  gemäß Gleichung 2.48

$a$  Abstand der auszusteifenden Träger

## 2.9 Voutenüberprüfung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (305) müssen beim Vorliegen eines biegedrillknickgefährdeten Voutenträgers die nachstehenden Bedingungen eingehalten werden:

- Verhältnis von minimaler zu maximaler Profilhöhe

$$\frac{\min h}{\max h} \geq 0.25$$

Gleichung 2.70: Verhältnis der Profilhöhen

- Verhältnis von minimalem zu maximalem plastischen Moment

$$\frac{\min M_{pl}}{\max M_{pl}} \geq 0.05$$

Gleichung 2.71: Verhältnis der plastischen Momente

- Verzweigungslastfaktor an beiden Enden

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki,d}}{N} \geq 1.2$$

Gleichung 2.72: Verzweigungslastfaktor

Werden die Bedingungen der Voutenüberprüfung nicht eingehalten, gibt das Programm die entsprechenden Fehlermeldungen im Kommentar zur Nachweisart aus.

## 2.10 Biegedrillknicknachweis

Für Stäbe mit konstanter Normalkraft und mit doppel- oder einfachsymmetrischem I-förmigen Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen, ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (30) der DIN 18 800 Teil 2 zu führen:

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1.0$$

Gleichung 2.73: Nachweisbedingung Biegedrillknicken

mit	$N, M_y, M_z$	Bemessungswerte der Einwirkungen
	$k_y$	nach Abschnitt 3.4.3, Element (320)
	$k_z$	nach Abschnitt 3.5.1, Element (321)
	$\kappa_z$	nach Element (304), Gleichung (4)
	$\kappa_M$	nach Element (311)

Die Beiwerte werden vom Programm berechnet, wobei die erforderlichen Informationen vom Benutzer abgefragt werden.



Stäbe mit planmäßiger **Torsion** sowie Stäbe mit **T-förmigem Querschnitt** werden mit diesem Nachweis nicht erfasst.

Ist der Normalkraftanteil nach DIN 18 800 Teil 2, Element (312) vernachlässigbar, d. h.

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} < 0.1,$$

und liegt keine Doppelbiegung vor, so entfällt gemäß Element (311) der Faktor  $k_y$  in der Gleichung 2.73.

Für den Fall der einfachen Biegung geht Bedingung (30) in Bedingung (27) der DIN 18 800 Teil 2 über.

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (303) ist für Stäbe mit  $\bar{\lambda} \leq 0.4$  keine Biegedrillknickuntersuchung erforderlich.

## 2.11 Zentrischer Druck

RF-BGDK kann auch für zentrisch gedrückte Stäbe mit beliebigen Querschnitten – einschließlich DUENQ-Profile – den Stabilitätsnachweis führen. Dieser Tragsicherheitsnachweis erfolgt nach Element (304) und (306) der DIN 18 800 Teil 2. Gemäß Element (306) wird dabei beim Biegedrillknicken des planmäßig mittig gedrückten Stabes genauso vorgegangen wie beim Biegeknicken, d. h. es findet die Bedingung (3) Anwendung. Nach PETERSEN [3] wird die Biegedrillknickgleichung zur Bestimmung der kritischen Knickspannung aus der Knickgleichung berechnet.

$$\left(1 - \frac{\sigma_{Ey}}{\sigma_{Ki}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{Ez}}{\sigma_{Ki}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\tau}}{\sigma_{Ki}}\right) - \left(1 - \frac{\sigma_{Ey}}{\sigma_{Ki}}\right) \cdot \left(\frac{z_M}{i_M}\right)^2 - \left(1 - \frac{\sigma_{Ez}}{\sigma_{Ki}}\right) \cdot \left(\frac{y_M}{i_M}\right)^2 = 0$$

Gleichung 2.74: Knickgleichung

$$\begin{aligned} \text{mit } \sigma_{Ey} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l^2 \cdot A} \\ \sigma_{Ez} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2 \cdot A} \\ \sigma_{\tau} &= \frac{E \cdot I_{\omega} \cdot \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + G \cdot I_T}{i_M^2 \cdot A} \\ i_M^2 &= i_p^2 + z_M^2 + y_M^2 \end{aligned}$$

Durch Lösung dieser Gleichung erhält man eine kubische Gleichung für  $\sigma_{Ki}$ . Der kleinste Wert ist der maßgebende, dabei gilt:

$$N_{Ki} = \sigma_{Ki} \cdot A$$

Gleichung 2.75: Biegedrillknicklast

$$\text{mit } \sigma_{Ki} = \min \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{Ey} \\ \sigma_{Ez} \\ \sigma_{\tau} \end{array} \right\}$$

Mit diesen Werten erfolgt dann der Nachweis auf zentrischen Druck für beliebige Querschnitte nach DIN 18 800 Teil 2, Element (304):

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \leq 1.0$$

Gleichung 2.76: Nachweisbedingung

Hierbei wird der Abminderungsfaktor  $\kappa$  für die maßgebende Knickspannungslinie bestimmt.



## 3. Eingabedaten

Die Eingaben zur Definition der Bemessungsfälle erfolgen in Masken. Für Stäbe und Stabsätze wird unterstützend die [Pick]-Funktion zur grafischen Auswahl angeboten.

Nach dem Aufruf von RF-BGDK wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle aktuell anwählbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen Bemessungsfällen (siehe Kapitel 8.1, Seite 92).

Wird RF-BGDK zum ersten Mal in einer RFEM-Position aufgerufen, so liest das Zusatzmodul folgende bemessungsrelevante Daten automatisch ein:

- Stäbe und Stabsätze
- Lastfälle und Lastfallgruppen
- Materialien
- Querschnitte
- Schnittgrößen (im Hintergrund – sofern berechnet)



Die Ansteuerung der Masken erfolgt entweder durch Anklicken eines bestimmten Eintrages im RF-BGDK-Navigator oder durch Blättern mit den beiden links dargestellten Schaltflächen. Die Funktionstasten [F2] und [F3] blättern ebenfalls eine Maske vorwärts bzw. zurück.

Mit [OK] werden die getroffenen Eingaben gesichert und das RF-BGDK-Modul verlassen, während [Abbruch] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat.

### 3.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* werden die zu bemessenden Stäbe, Stabsätze und Einwirkungen ausgewählt.

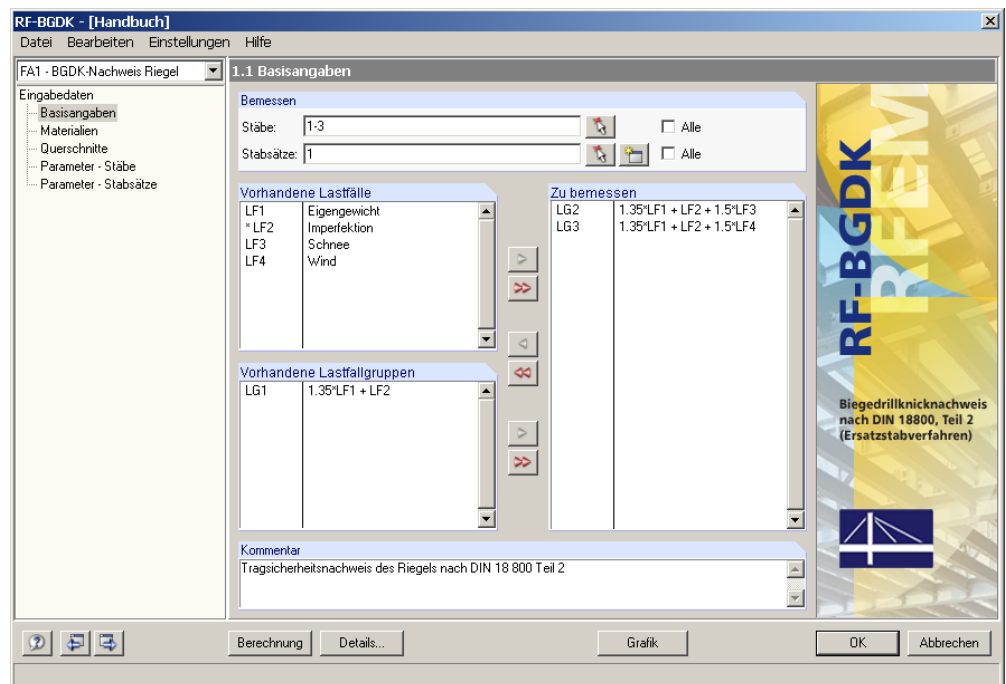


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

## Bemessen



Die Bemessung kann sowohl für *Stäbe* als auch für *Stabsätze* erfolgen. Falls nur bestimmte Objekte bemessen werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alle* zu deaktivieren. Damit werden die beiden Eingabefelder zugänglich, in die die Nummern der relevanten Stäbe oder Stabsätze eingetragen werden können. Über die Schaltfläche [Pick] ist auch die grafische Auswahl im RFEM-Arbeitsfenster möglich. Die Liste der voreingestellten Stabnummern kann schnell per Doppelklick selektiert und dann durch manuelle Eingaben überschrieben werden.



Falls in RFEM noch keine Stabsätze definiert wurden, so können diese über die Schaltfläche [Neu] auch im RF-BGDK-Modul angelegt werden. Es erscheint der bereits aus RFEM bekannte Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes, in dem die weiteren Angaben erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass der Biegedrillknicknachweis nur für den Stabsatztyp **Stabzug** sowie für Stabgruppen mit zusammenhängenden, nicht verzweigenden Stäben geführt werden kann.



Im Zuge einer Stabsatzbemessung werden mehrere Stäbe wie ein Gesamtstab behandelt. Die Randbedingungen eines beispielsweise in mehrere Einzelstäbe unterteilten Riegels können somit als Ganzes erfasst werden. Falls Stabsätze bemessen werden, stehen in RF-BGDK zusätzlich folgende Masken zur Verfügung:

- 1.5 *Parameter Stabsätze*
- 2.2 *Nachweise stabsatzweise*
- 2.4 *Nachweise x-stellenweise - Stabsätze*
- 2.7 *Verbindungsmittel - Stabsätze*
- 3.2 *Stückliste stabsatzbezogen*

## Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen



In diesen beiden Abschnitten werden alle in RFEM definierten Lastfälle und Lastfallgruppen gelistet, die für die Bemessung infrage kommen. Mit der Schaltfläche [►] können selektierte Lastfälle oder Lastfallgruppen in die Liste *Zu Bemessen* rechts übertragen werden. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [►►] übergibt die komplette Liste nach rechts.

Sollten Lastfälle mit einem Sternchen (\*) gekennzeichnet sein wie beispielsweise Lastfall 2 in Bild 3.1, können diese nicht bemessen werden. Dies ist der Fall, wenn keine Lasten definiert sind oder wenn es sich wie im Beispiel um einen Imperfektionslastfall handelt.

Lastfallkombinationen stehen nicht zur Auswahl. Für den Biegedrillknicknachweis müssen eindeutige Schnittgrößen vorliegen, damit die  $\zeta$ -Beiwerte aus den Momentenverläufen ermittelt werden können. Lastfallkombinationen jedoch beinhalten für jede Stelle zwei Werte: Maximum und Minimum.

## Zu bemessen



In der rechten Spalte werden die zur Bemessung ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◄] lassen sich selektierte Lastfälle oder Lastfallgruppen aus der Liste wieder entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Mit der Schaltfläche [◄◄] wird die ganze Liste geleert.



Theorie II. Ordnung

Für die Biegedrillknickuntersuchung sind gemäß DIN 18 800 Teil 2, Element (303) die Stabendmomente nach Theorie II. Ordnung zu bestimmen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen müssen zudem die Stabvorkrümmungen und -vorverdrehungen berücksichtigt werden. Stäbe mit planmäßiger Torsion werden beim Biegedrillknicknachweis nach DIN 18 800 Teil 2 nicht erfasst.

## Kommentar

Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, die z. B. den aktuellen RF-BGDK-Bemessungsfall erläuternd beschreibt.

## 3.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Materialien angeführt. Im Abschnitt *Materialkennwerte* unterhalb werden die Eigenschaften des aktuellen Materials angezeigt, d. h. des Materials, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

Die zur Schnittgrößenermittlung in RFEM benötigten Materialkennwerte sind im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuchs ausführlich beschrieben. Die bemessungsrelevanten Materialeigenschaften werden in der globalen Materialbibliothek mit gespeichert und sind automatisch voreingestellt.

Die Einheiten und Nachkommastellen der Materialkennwerte und Spannungen lassen sich über Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** ändern.

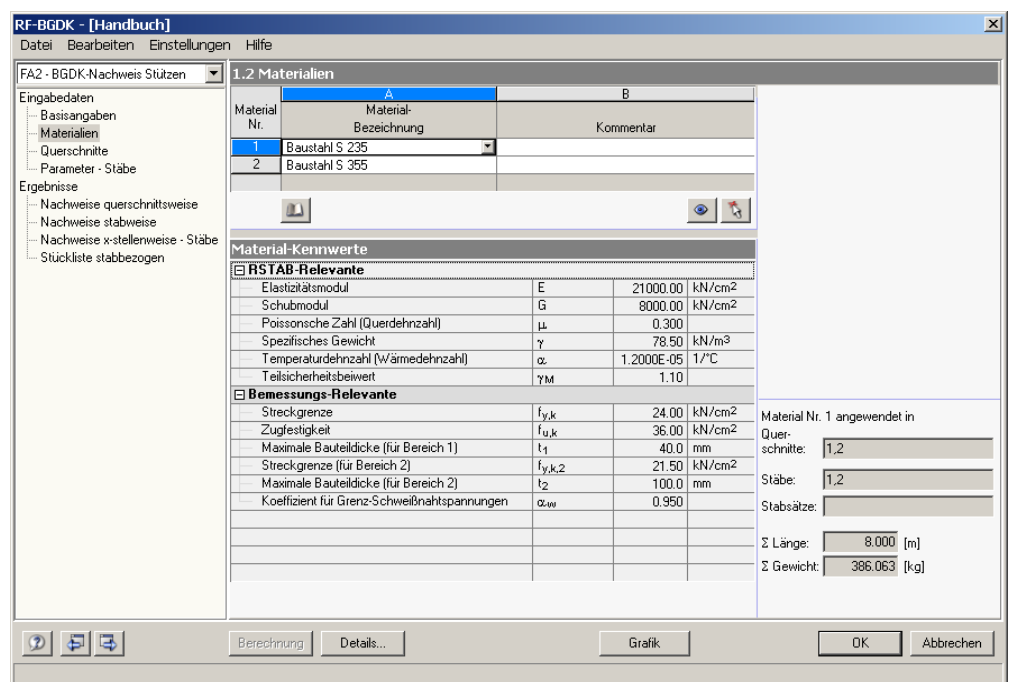


Bild 3.2: Maske 1.2 *Materialien*

### Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt. Wenn die *Materialbezeichnung* mit einem Eintrag der Materialbibliothek übereinstimmt, liest RF-BGDK die Materialkennwerte ein.

Die Auswahl eines Materials ist über die Liste möglich: Platzieren Sie den Cursor in Spalte A und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste. Nach der Übernahme werden die Kennwerte aktualisiert.

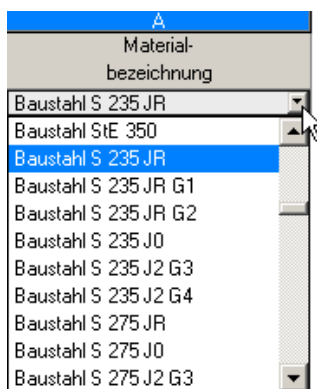
In der Liste werden dem Bemessungskonzept der DIN 18 800 entsprechend nur Materialien der Kategorie **Stahl** angeführt. Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist nachfolgend beschrieben.

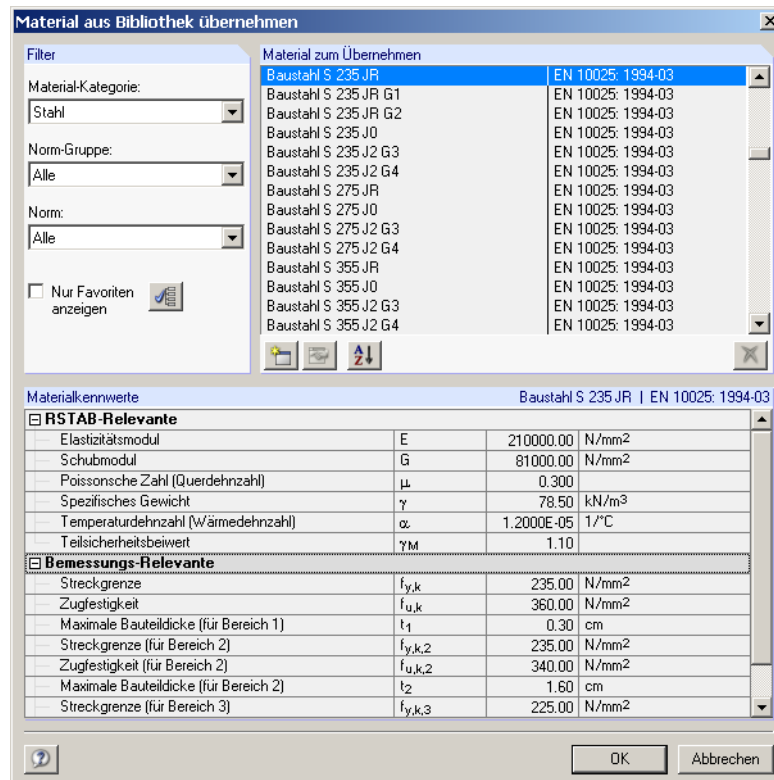
### Materialbibliothek

Eine Vielzahl von Materialien ist in einer Bibliothek hinterlegt. Diese wird aufgerufen über

**Bearbeiten** → **Materialbibliothek**

oder die links dargestellte Schaltfläche.




Bild 3.3: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie *Stahl* voreingestellt. Aus der rechts davon befindlichen Liste *Material zum Übernehmen* können Sie ein Material auswählen und dessen Kennwerte im unteren Bereich des Dialogs kontrollieren. Mit [OK] oder [↵] wird es in die RF-BGDK-Maske 1.2 übernommen.

Im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuches ist ausführlich beschrieben, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden können.

Theoretisch können über die Bibliothek auch Materialien der Kategorien *Gusseisen* und *Nichtrostender Stahl* ausgewählt werden. Es ist dabei allerdings zu beachten, dass diese Materialien nicht vom Bemessungskonzept der DIN 18 800 abgedeckt sind. Dementsprechend sind in RF-BGDK die Materialeigenschaften grundsätzlich nicht editierbar.

## 3.3 Querschnitte

In dieser Maske werden die für die Bemessung infrage kommenden Querschnitte verwaltet. Zusätzlich können hier Optimierungsparameter festgelegt werden.

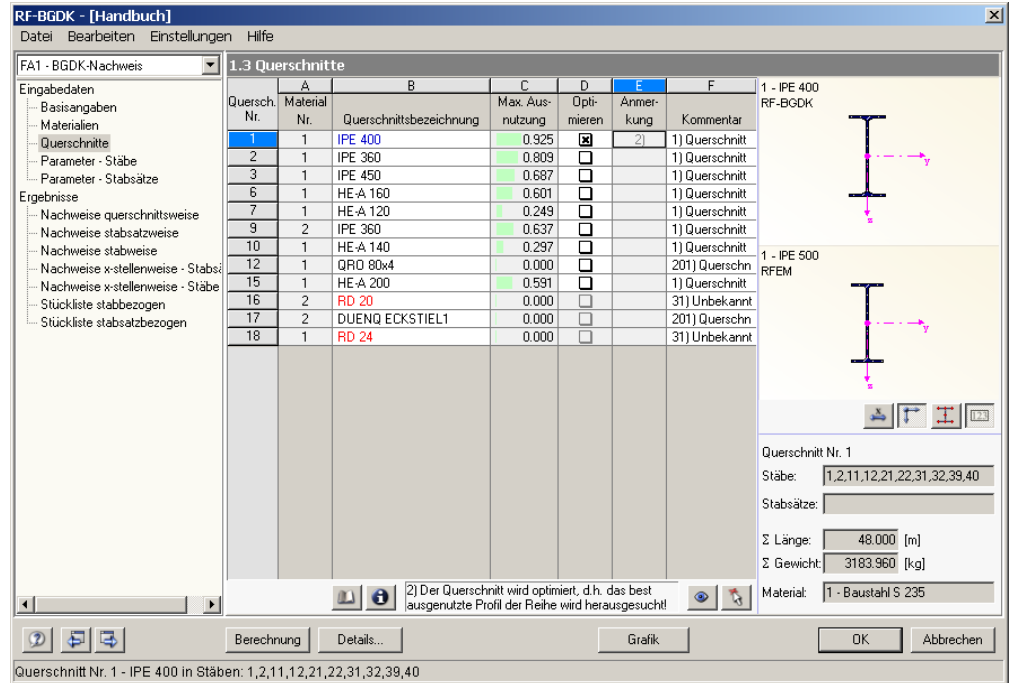


Bild 3.4: Maske 1.3 Querschnitte

### Querschnittsbezeichnung

Die in RFEM verwendeten Querschnitte sind beim Aufruf der Maske voreingestellt, ebenso die zugeordneten Materialnummern.

Die vorgegebenen Querschnitte können für die Bemessung jederzeit abgeändert werden. Die Querschnittsbezeichnung eines modifizierten Profils wird in dieser Spalte mit blauer Schrift hervorgehoben.

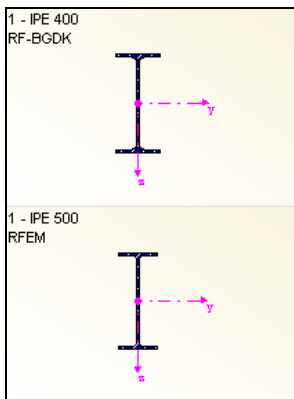


Zum Ändern eines Profils wird die neue Querschnittsbezeichnung in die entsprechende Zeile eingetragen oder das neue Profil aus der Bibliothek ausgewählt. Diese können Sie wie gewohnt mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] aufrufen. Alternativ platzieren Sie den Cursor in der gewünschten Zeile und drücken dann [...] oder die Funktionstaste [F7]. Es erscheint die bereits aus RFEM bekannte Querschnittsbibliothek bzw. Profilreihe.

Die Auswahl von Querschnitten aus der Bibliothek ist im Kapitel 5.13 des RFEM-Handbuchs ausführlich beschrieben.



Bild 3.5: Querschnittsbibliothek



U- und C-Profile

Liegen unterschiedliche Querschnitte in RF-BGDK und in RFEM vor, so zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Der Nachweis wird dann mit den RFEM-Schnittgrößen für das in RF-BGDK gewählte Profil geführt.

Der Biegedrillknicknachweis gemäß DIN 18 800 Teil 2, Element (323) erstreckt sich auf alle einfachsymmetrischen I-förmigen Querschnitte, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen. In der RFEM-Profildatenbank sind dies folgende Profilreihen (vgl. auch Tabelle 2.2, Seite 10):

- Walzprofile: sämtliche Reihen innerhalb der I-Profile, KUO, KCO
- Zusammengesetzte Profile: 2UR, IFBu, IFBo, ICM, ICU, ICO, IBU, IBO, SFBu, SFBu, ICTo, ICTu, KB(S), KB(L), KB(2L+FL)
- Geschweißte Profile: IS, IU, IV, IT, IVU, IVO, KB

Für alle übrigen Querschnitte (z. B. U-Profile) wird nur der Nachweis auf zentrischen Druck geführt, da weder Interaktionsbeziehungen zur Ermittlung der plastischen Querschnittswerte noch Formeln zur Bestimmung von  $M_{ki}$  vorliegen. Zudem sind die in DIN 18 800 Teil 2 genannten Nachweisbedingungen nur für Stäbe ohne planmäßige Torsion gültig. Für diese Anwendungsfälle empfiehlt sich das Zusatzmodul **RF-FE-BGDK**, das den Biegedrillknicknachweis mit Berücksichtigung der Verwölbung nach der FE-Methode führt.

#### Stab mit Voutenquerschnitt

Bei gevouteten Stäben mit unterschiedlichen Profilen am Stabanfang und Stabende werden die beiden Querschnittsnummern gemäß der Definition in RFEM in zwei Zeilen angegeben. RF-BGDK führt auch die Bemessung von Voutenstäben durch, sofern die gleiche Anzahl von Spannungspunkten für den Anfangs- und Endquerschnitt vorliegt. Ist dies nicht der Fall, können die Zwischenwerte nicht interpoliert werden und es erscheint vor der Berechnung eine entsprechende Warnung.

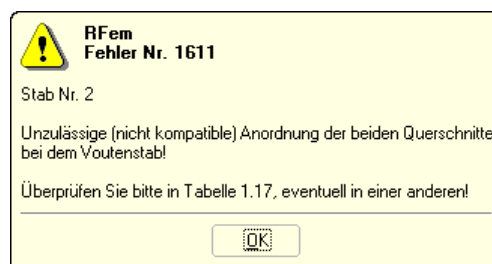


Bild 3.6: Warnung bei inkompatiblen Querschnitten



Zur Kontrolle können Sie die Spannungspunkte eines Querschnitts mitsamt Nummerierung in der Querschnittsgrafik rechts einblenden.

Für eine erfolgreiche Bemessung muss also die gleiche Anzahl an Spannungspunkten geschaffen werden. Dies wird z. B. dadurch erreicht, indem man das Profil am Ende der Voute als Kopie des Anfangsprofils modelliert und hierbei nur die Geometrieparameter modifiziert. Gegebenenfalls müssen die beiden Querschnitte als parametrisierte („Geschweißte“) Profile ausgebildet werden. Speziell für Vouten stehen dort die **IVU - Voutenprofile unten verstärkt** zur Verfügung.

Im Zuge des Biegedrillknicknachweises wird auch überprüft, ob die Voutenbedingungen eingehalten sind (vgl. Kapitel 2.9, Seite 39).

### Max. Ausnutzung

Diese Spalte dient als Entscheidungshilfe für den Optimierungsprozess. Sie wird angezeigt, sobald eine Biegedrillknickuntersuchung durchgeführt wurde. Anhand der Ausnutzung und der Farb-Relationsbalken wird deutlich, welche Profile kaum ausgenutzt und somit überdimensioniert bzw. zu stark beansprucht und damit unterdimensioniert sind.

### Optimieren

Es besteht die Möglichkeit, jedes Profil einem Optimierungsprozess zu unterwerfen. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen das Profil innerhalb der betreffenden Querschnittsreihe ermittelt, das der maximalen Ausnutzung von 1.0 am nächsten kommt.

Soll ein bestimmter Querschnitt optimiert werden, so ist dessen Kontrollfeld in Spalte D zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 8.2 auf Seite 94.

### Anmerkung

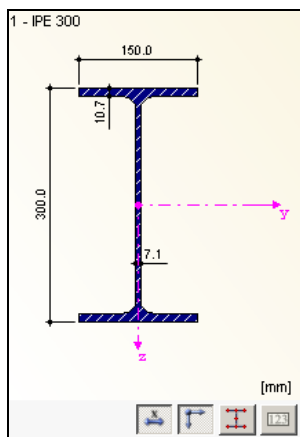
In dieser Spalte werden Hinweise in Form von Fußnoten angezeigt, die am unteren Ende der Querschnittsliste näher erläutert sind.



Erscheint die Anmerkung 31) *Unbekannter Querschnittstyp - Bemessung nicht möglich*, so liegt ein Querschnitt vor, der nicht in der Profildatenbank registriert ist. Es kann sich hierbei um einen eigendefinierten oder nicht berechneten DUENQ-Querschnitt handeln. Über die Schaltfläche [...] in Spalte B *Querschnittsbezeichnung* kann dann ein geeignetes Profil für die Bemessung eingestellt werden (siehe Bild 3.5 mit anschließender Erläuterung).

### Querschnittsgrafik

Im rechten Teil der Maske 1.3 wird der aktuelle Querschnitt grafisch dargestellt. Die Schaltfläche unterhalb sind mit folgenden Funktionen belegt:







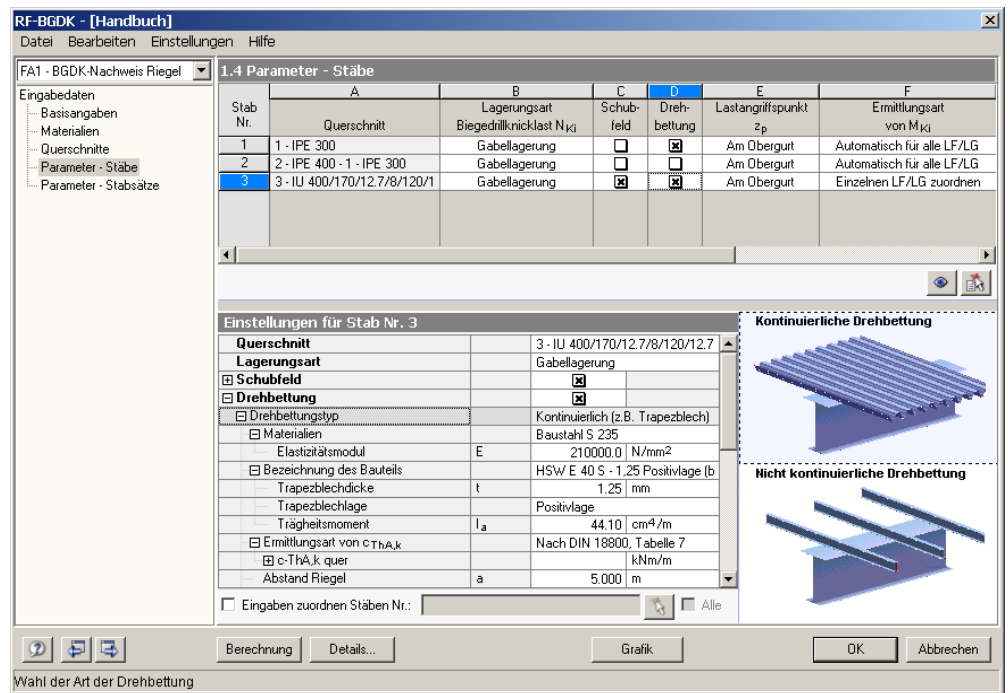
Schaltfläche	Funktion
	Die Bemaßung des Querschnitts wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Hauptachsen des Profils werden ein- oder ausgeschaltet.
	Die Spannungspunkte werden angezeigt oder ausgeblendet.
	Die Nummerierung der Spannungspunkte wird ein- oder ausgeblendet.

Tabelle 3.1: Schaltflächen der Querschnittsgrafik

## 3.4 Parameter - Stäbe

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Stäbe mit den jeweils relevanten Parametern für den Biegedrillknicknachweis aufgelistet. Hierbei handelt es sich um die „Hauptparameter“, die in einem bidirektionalen Verhältnis zu den Angaben im Abschnitt unterhalb *Einstellungen für Stab Nr.* stehen. Es werden dort in einer Baumstruktur die Randbedingungen für den aktuellen Stab im Detail verwaltet, d. h. desjenigen Stabes, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

Im rechten unteren Bereich werden nähere Informationen oder Auswahlmöglichkeiten in Form kleiner Grafiken angeboten, die die Definition der Randbedingungen erleichtern. Die Anzeige dieser Grafiken wird durch den aktuell gewählten Parameter gesteuert.



**RF-BGDK - [Handbuch]**

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - BGDK-Nachweis Riegel

**1.4 Parameter - Stäbe**

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F
	Querschnitt	Lagerungsart Biegedrillknicklast $N_{Kd}$	Schubfeld	Drehbettung	Lastangriffspunkt $z_p$	Ermittlungsart von $M_{Kd}$
1	1 - IPE 300	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
2	2 - IPE 400 - 1 - IPE 300	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
3	3 - IU 400/170/12.7/8/120/1	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Einzeln LF/LG zuordnen

**Einstellungen für Stab Nr. 3**

Querschnitt: 3 - IU 400/170/12.7/8/120/12.7

Lagerungsart: Gabellagerung

☒ Schubfeld

☒ Drehbettung

☐ Drehbettungstyp: Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)

☐ Materialien: Baustahl S 235

☐ Elastizitätsmodul: E 210000.0 N/mm<sup>2</sup>

☐ Bezeichnung des Bauteils: HSW E 40 S - 1.25 Positivlage [b]

☐ Trapezblechdicke: t 1.25 mm

☐ Trapezblechlage: Positivlage

☐ Trägheitsmoment:  $I_a$  44.10 cm<sup>4</sup>/m

☐ Ermittlungsart von  $c_{ThA,k}$ : Nach DIN 18800, Tabelle 7

☐ c- $T_{hA,k}$  quer: kNm/m

Abstand Riegel: a 5.000 m

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:  Alle

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Wahl der Art der Drehbettung

**Kontinuierliche Drehbettung**

**Nicht kontinuierliche Drehbettung**

Bild 3.7: Maske 1.4 *Parameter - Stäbe*

Wird bei den „Hauptparametern“ im oberen Abschnitt eine Auswahl getroffen, verzweigt die Baumstruktur unterhalb. Die dadurch entstandenen Unterkapitel können über einen Mausklick auf [ + ] eingeblendet und auf [ - ] geschlossen werden.



Am unteren Rand der Baumstruktur steht das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Stäben Nr.* zur Verfügung. Ist dieses aktiviert, gelten die anschließend getroffenen Einstellungen für ausgewählte – manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische Auswahl über [Pick] – bzw. *Alle* Stäbe. Diese Option ist hilfreich, um mehreren Stäben die gleichen Randbedingungen zuzuweisen. Bitte beachten Sie, dass die Aktivierung dieser Funktion keine rückwirkende Zuweisung der bereits getroffenen Einstellungen bewirkt.

In der letzten Spalte **Kommentar** können für jeden Stab benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um z. B. die gewählten Biegedrillknickparameter zu erläutern.



### 3.4.1 Querschnitt

Zur Information wird in dieser Spalte die Querschnittsbezeichnung angegeben. Bei einem Voutenstab erscheinen die Bezeichnungen des Anfangs- und Endprofils.

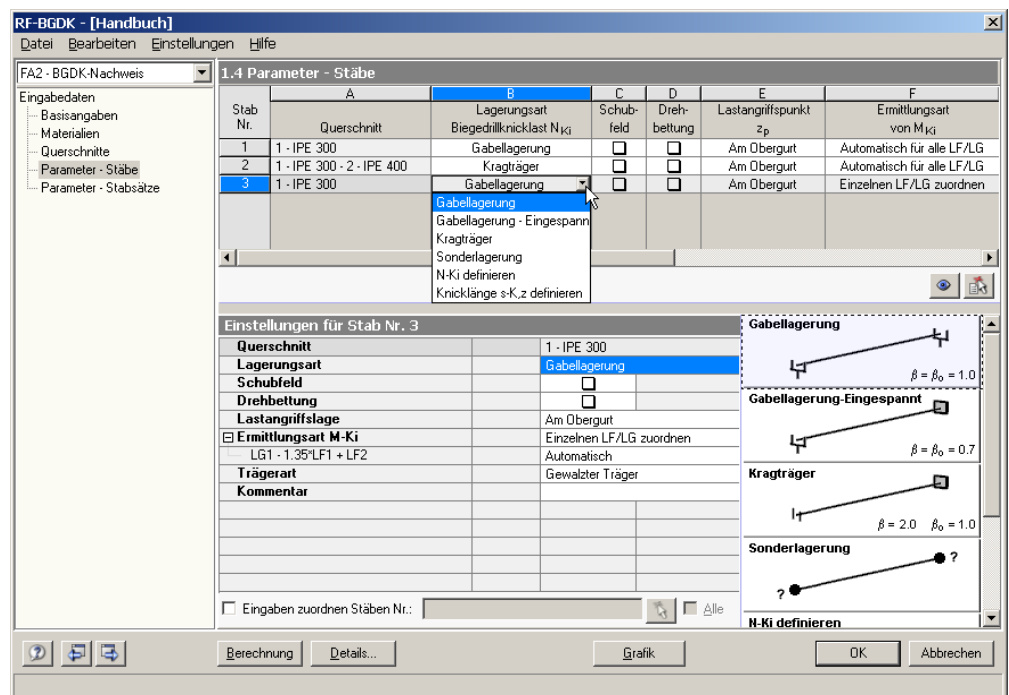


Soll ein Querschnitt geändert werden, können die Anpassungen zum einen in der vorherigen Maske 1.3 *Querschnitte* erfolgen, zum anderen direkt in der Baumstruktur unterhalb: Klicken Sie dort in das Eingabefeld rechts neben *Querschnitt* und aktivieren so den am Ende des Feldes befindlichen Button [...]. Dieser eröffnet den Zugang zur Querschnittsbibliothek.

Einstellungen für Stab Nr. 2	
<b>Querschnitt</b>	
Anfang - Querschnitt	1 - IPE 300
Ende - Querschnitt	2 - IPE 400
Lagerungsart	Gabellagerung
Schubfeld	<input type="checkbox"/>
Drehbettung	<input type="checkbox"/>
Lastangriffslage	Am Obergurt
Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
Trägerart	Voutenträger Flansche verschweißt
Kommentar	

Bild 3.8: Ändern eines Voutenstab-Querschnitts im *Einstellungen*-Baum

### 3.4.2 Lagerungsart

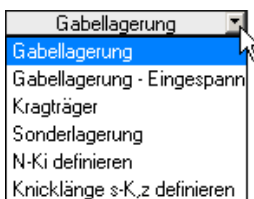


Stab Nr.	Querschnitt	Lagerungsart	Biegedrillnicklast $N_{Kz}$	Schubfeld	Drehbettung	Lastangriffspunkt $z_p$	Ermittlungsart von $M_{Kz}$
1	1 - IPE 300	Gabellagerung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
2	1 - IPE 300 - 2 - IPE 400	Kragträger		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
3	1 - IPE 300	Gabellagerung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Einzelnen LF/LG zuordnen

Einstellungen für Stab Nr. 3	
Querschnitt	1 - IPE 300
Lagerungsart	Gabellagerung
Schubfeld	<input type="checkbox"/>
Drehbettung	<input type="checkbox"/>
Lastangriffslage	Am Obergurt
Ermittlungsart M-Ki	Einzelnen LF/LG zuordnen
Trägerart	Automatisch
Kommentar	Gewalzter Träger

Bild 3.9: Maske 1.4: Lagerungsarten des Ersatzstabes



Die Auswahl der Lagerungsart ist wie in obigem Bild dargestellt über die Liste in Spalte B sowie im *Einstellungen*-Baum möglich: Platzieren Sie den Cursor im Eingabefeld und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste, aus der Sie die geeignete Lagerungsart wählen. Alternativ legen Sie die Lagerungsart anhand der Grafiken (neben den Einstellungen) per Mausklick fest.

Mit der Auswahl der Lagerungsart werden die beiden Parameter  $\beta$  für die Biegung und  $\beta_0$  für die Verwölbung festgelegt und der Berechnung von  $N_{Ki}$  (Gleichung 2.6) bzw.  $M_{Ki}$  (Gleichung 2.15) übergeben. Zusätzlich stehen am Ende der Liste zwei Lagerungsarten zur Auswahl, die auf die Ermittlung des Vergleichsschlankheitsgrades  $\lambda_v$  verzichten.  $N_{Ki}$  und  $s_{K,z}$  können direkt festgelegt werden, wobei  $N_{Ki}$  sich über Gleichung 2.5 bestimmen lässt.

Der theoretische Hintergrund zur Ermittlung der Biegedrillknicklast  $N_{Ki}$  für die einzelnen Lagerungsarten ist im Kapitel 2.3 ausführlich erläutert. Bei der Berechnungsmethode nach VOGEL/HEIL [13] ist nur die beidseitige Gabellagerung zulässig, andere Randbedingungen können nicht angewählt werden.

### Gabellagerung an beiden Enden

Die Parameter  $\beta$  für die Biegung und  $\beta_0$  für die Verwölbung werden beide auf 1.0 gesetzt. Das bedeutet für den betreffenden Stab, dass an beiden Enden ein gelenkiges Auflager ohne Wölbbehinderung – also eine reine Gabellagerung – angenommen wird.

In diesem Fall sind keine weiteren Angaben zur Lagerungsart erforderlich.

### Gabellagerung - Eingespannt

Die Parameter  $\beta$  für die Biegung und  $\beta_0$  für die Verwölbung werden beide auf 0.7 gesetzt. Das bedeutet für den jeweiligen Ersatzstab ein gelenkiges Gabellager ohne Wölbbehinderung auf der einen und eingespanntes Lager mit Wölbbehinderung auf der anderen Seite.

Weitere Angaben zur Lagerungsart müssen nicht mehr vorgenommen werden.

### Kragträger

Für die Biegung beträgt der Knicklängenbeiwert  $\beta = 2.0$ . Die Wölblänge wird der Stablänge gleichgesetzt, somit ist  $\beta_0 = 1.0$  (ungünstigster Fall). Das bedeutet für den jeweiligen Stab: Es gibt nur ein eingespanntes Lager auf der einen Seite, beide Seiten des Ersatzstabes sind wölbfrei. Zusätzlich muss auf der Kragseite die Verdrehung des Stabes behindert werden. Dort wird ein vertikal verschiebliches Gabellager angenommen.

Zusätzlich wird die Angabe des Beiwertes  $\beta_6$  erforderlich, über den nach [18] die elastische Einspannung berücksichtigt wird. Dieser Faktor kann Werte zwischen 0.5 und 1.0 annehmen (vgl. Tabelle 2.3, Seite 24).

### Sonderlagerung

Bei dieser Lagerungsart können benutzerdefinierte Eingaben für  $\beta$  (Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse) und für  $\beta_0$  (Verwölbung) erfolgen.

Je nach gewählter Lagerungsart für Biegung und Verwölbung öffnen sich untergeordnete Kapitel im *Einstellungen*-Baum zur Eingabe der erforderlichen Werte. Im Falle einer elastischen Lagerungsart wie z. B. Verwölbung durch U-Profile, Winkel und Stützenanschlüsse können Materialien und Querschnitte aus den Bibliotheken ausgewählt werden. Die Material- bzw. Profildatenbank ist über die am Zeilenende befindliche Schaltfläche [...] erreichbar.

### Biegung um z

Für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:



Einstellungen für Stab Nr. 1			Gelenkig	Grundriß
Querschnitt		1 - IPE 300		
Lagerungsart		Sonderlagerung		
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Biegung um z		Elastisch		
<input type="checkbox"/> Einspannungsgrad $\beta_z$		0.800		
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Wölbfrei		
Schubfeld		<input type="checkbox"/>		
Drehbettung		<input type="checkbox"/>		
Lastangriffs-lage		Am Obergurt		
Ermittlungsart M-Ki		Automatisch für alle LF/LG		
Trägerart		Gewalzter Träger		
Kommentar				

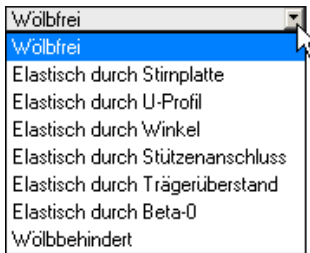
<b>Gelenkig</b>	$\beta = 1.0$
<b>Elastisch</b>	$0.5 < \beta < 1.0$
<b>Eingespannt</b>	$\beta = 0.5$

Bild 3.10: Auswahl der Lagerungsart für Biegung um z

- Gelenkig:  $\beta_z$  wird auf den Wert 1.0 gesetzt.
- Elastisch: Der Einspannungsgrad kann zwischen  $0.5 < \beta_z < 1.0$  frei definiert werden.
- Eingespannt:  $\beta_z$  wird auf den Wert 0.5 gesetzt.

## Verwölbung

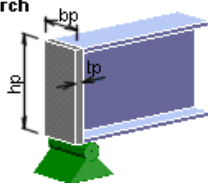
Zur Bestimmung des Wölbeinspanngrades (vgl. Kapitel 2.7, Seite 33) stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl.



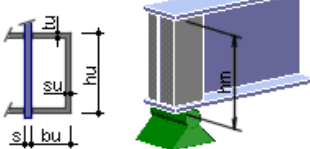
Wölbfrei

$$\beta_0 = 1.0$$

Elastisch durch  
Stirnplatte

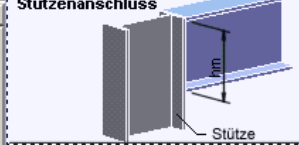


Elastisch durch  
U-Profil



Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Stützenanschluss	
<input type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.000	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.000	N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Profil der Stütze		HE-A 300	
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>T</sub>	85.60	cm <sup>4</sup>
Profilhöhe	hm	289.3	mm
<input type="checkbox"/> Wöblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	
Wöblänge	l <sub>0</sub>	5.350	m
Schubfeld		<input type="checkbox"/>	
Drehbettung		<input type="checkbox"/>	

Elastisch durch  
Stützenanschluss



Elastisch durch  
Trägerüberstand

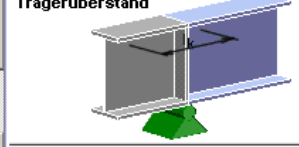


Bild 3.11: Auswahl der Lagerungsart für Verwölbung

- Wölbfrei:  $\beta_0$  wird auf den Wert 1.0 gesetzt.
- Elastisch durch Stirnplatte

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Stirnplatte	
<input type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.0	N/mm <sup>2</sup>
Stirnplatte-Breite	bp	150.0	mm
Stirnplatte-Höhe	hp	300.0	mm
Stirnplatte-Dicke	tp	20.0	mm
<input type="checkbox"/> Wöblänge identisch mit l		<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 3.12: Elastische Lagerung durch Stirnplatte

Im *Einstellungen*-Baum können Material und Geometrie der Stirnplatte definiert werden, die dann in die Ermittlung von  $\beta_0$  einfließen. Falls die *Wöblänge* vor der Stablänge *l* abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Elastisch durch U-Profil

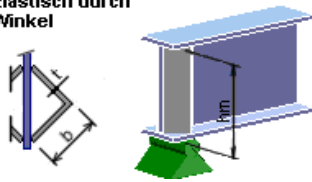
Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch U-Profil	
<input type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> U-Profil		U 260	
U-Profil-Breite	bu	90.0	mm
U-Profil-Höhe	hu	260.0	mm
U-Profil-Flanschdicke	tu	14.0	mm
U-Profil-Stegdicke	su	10.0	mm
Beidseitige Anordnung		<input checked="" type="checkbox"/>	
Profilhöhe	hm	289.3	mm
Profilstegdicke	s	7.1	mm
<input type="checkbox"/> Wöblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	
Wöblänge	l <sub>0</sub>	15.370	m

Bild 3.13: Elastische Lagerung durch U-Profil

Im *Einstellungen*-Baum können Material und Parameter des U-Profils festgelegt werden. Wählt man das Profil aus der Querschnittsbibliothek aus, werden die Profilparameter automatisch eingetragen. Falls die *Wöblänge* vor der Stablänge *l* abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Elastisch durch Winkel

Elastisch durch Winkel



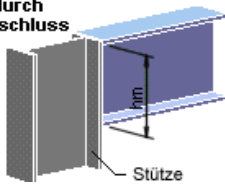
Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Winkel	
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> Winkelprofil		L 100x10	
Winkel-Breite	b	100.0	mm
Winkel-Dicke	t	10.0	mm
Beidseitige Anordnung		<input checked="" type="checkbox"/>	
Profilhöhe	hm	289.3	mm
Profilstegdicke	s	7.1	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Wölblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	

Bild 3.14: Elastische Lagerung durch Winkel

Im *Einstellungen*-Baum können Material und Parameter des Winkelprofils festgelegt werden. Wählt man das Profil aus der Querschnittsbibliothek aus, werden die Profilparameter automatisch eingetragen. Falls die *Wölblänge* vor der Stablänge *l* abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Elastisch durch Stützenanschluss

Elastisch durch Stützenanschluss



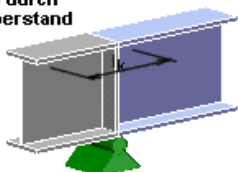
Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Stützenanschluss	
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> Profil der Stütze		HE-A 300	
Torsionsträgheitsmoment	$I_T$	85.60	cm <sup>4</sup>
Profilhöhe	hm	289.3	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Wölblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	
Wölblänge	$l_0$	15.370	m
Schubfeld		<input type="checkbox"/>	
Drehbettung		<input type="checkbox"/>	

Bild 3.15: Elastische Lagerung durch Stützenanschluss

Im *Einstellungen*-Baum werden Material und Querschnitt der angeschlossenen Stütze festgelegt. Wählt man das Profil aus der Bibliothek aus, werden die Parameter automatisch eingetragen. Falls die *Wölblänge* vor der Stablänge *l* abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Elastisch durch Trägerüberstand

Elastisch durch Trägerüberstand



Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart		Sonderlagerung	
<input type="checkbox"/> Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
<input checked="" type="checkbox"/> Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Trägerüberstand	
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	G	80000.0	N/mm <sup>2</sup>
Überstandslänge	$l_k$	1.170	m
<input checked="" type="checkbox"/> Wölblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	
Wölblänge	$l_0$	12.140	m

Bild 3.16: Elastische Lagerung durch Trägerüberstand

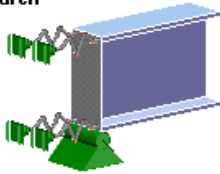
Im *Einstellungen*-Baum werden Material und Länge  $l_k$  des überstehenden Stabes festgelegt. Zur Ermittlung von  $\beta_0$  wird der am Ende des betrachteten Stabes vorliegende Querschnitt angenommen. Falls die *Wölblänge* vor der Stablänge *l* abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Elastisch durch Eingabe von  $\beta_0$

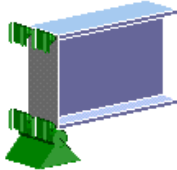
Elastisch durch  
Beta-0

Wölbfrei:  
 $\beta_0 = 1.0$

Wölb-  
behindert:  
 $\beta_0 = 0.5$

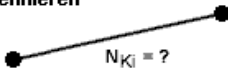


Wölbbehindert



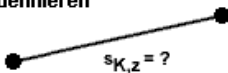
$\beta_0 = 0.5$

N-Ki definieren



$N_{Ki} = ?$

s-K,z definieren



$s_{K,z} = ?$

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
Lagerungsart		Sonderlagerung	
Lagerungsart für Biegung um z		Gelenkig	
Lagerungsart für Verwölbung		Elastisch durch Beta-0	
Wölbeinspanngrad	$\beta_0$	0.800	
Wöblänge identisch mit l		<input type="checkbox"/>	
Wöblänge	$l_0$	12.140	m

Bild 3.17: Elastische Lagerung durch Eingabe von  $\beta_0$

Mit dieser Option kann  $\beta_0$  im *Einstellungen*-Baum direkt festgelegt werden. Falls die *Wöblänge* vor der Stablänge  $l$  abweicht, kann sie nach dem Deaktivieren des Häkchens angegeben oder grafisch bestimmt werden.

- Wölbbehindert:  $\beta_0$  wird auf den Wert 0.5 gesetzt.

## N<sub>Ki</sub> definieren

Wenn diese Lagerungsart gewählt wird, kann die kritische Knicklast  $N_{Ki}$  manuell definiert werden.

## Knicklänge $s_{K,z}$ definieren

Bei dieser Lagerungsart werden die Parameter  $\beta$  für die Biegung und  $\beta_0$  für die Verwölbung beide zu 1.0 gesetzt. Die Biegedrillknicklast  $N_{Ki}$  wird über  $s_{K,z}$  bestimmt. Die Knicklänge kann manuell eingetragen oder grafisch mithilfe der [Pick]-Funktion festgelegt werden.

## 3.4.3 Schubfeld

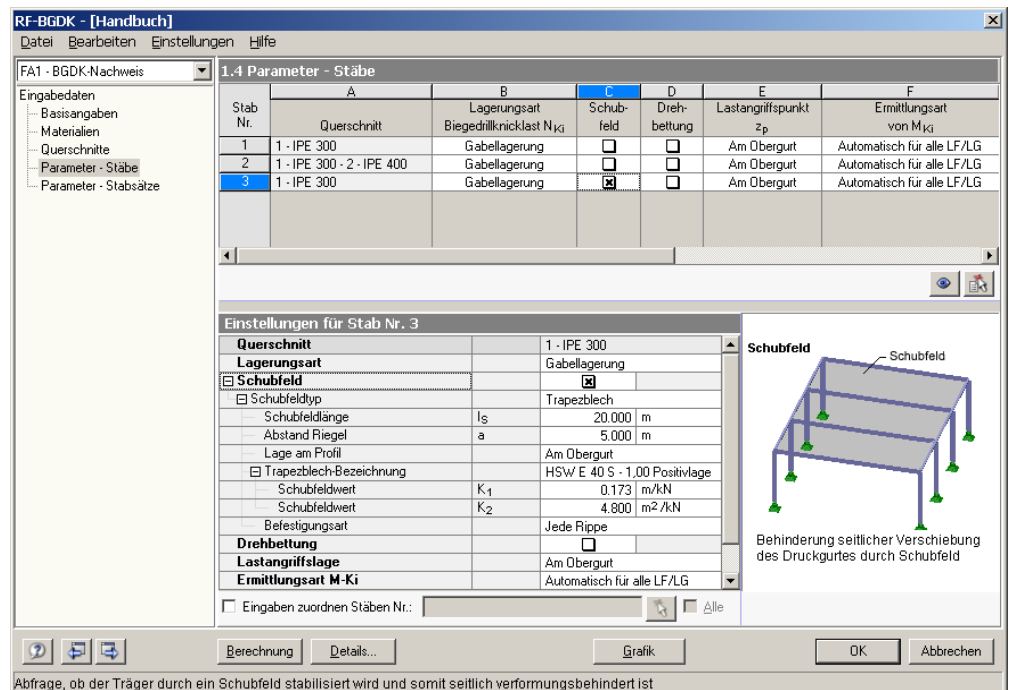


Bild 3.18: Maske 1.4: Berücksichtigung eines Schubfeldes

Die Berücksichtigung eines Schubfeldes ist wie im obigen Bild dargestellt über die Spalte C sowie den *Einstellungen*-Baum möglich. Aktivieren Sie für den betreffenden Stab das Kontrollfeld in Spalte C und legen dann im Abschnitt unterhalb die Parameter fest. Die Auswahl der Schubfeldtypen kann auch über die Grafiken (rechts neben den Einstellungen) erfolgen.

Der theoretische Hintergrund zur Ermittlung der Schubfeldsteifigkeiten ist im Kapitel 2.6 ausführlich erläutert. Auch bei der Methode nach VOGEL/HEIL [13] werden Schubfelder berücksichtigt, die nicht für eine gebundene Drehachse ausreichen.

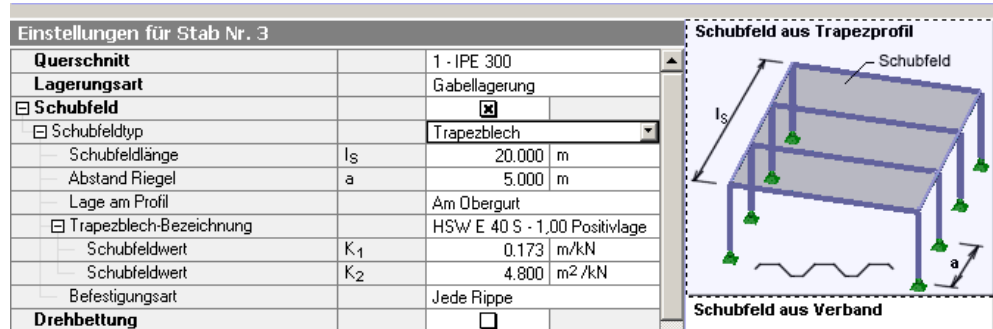
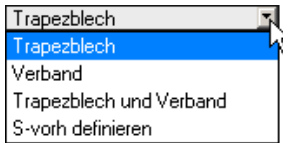
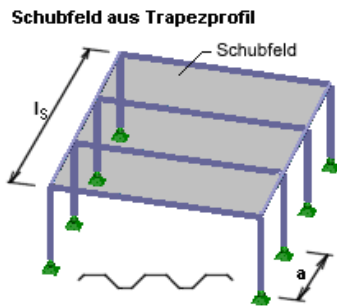


Bild 3.19: Auswahl des Schubfeldtyps



## Trapezblech

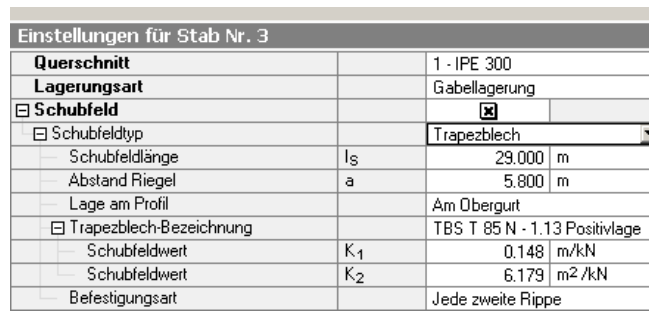


Bild 3.20: Schubfeldtyp Trapezblech

Zur Ermittlung der vorhandenen Schubfeldsteifigkeit sind folgende Angaben erforderlich:

- Schubfeldlänge  $I_s$
- Abstand der Riegel  $a$
- Lage des Trapezblechs am Profil
- Trapezblechbezeichnung
- Befestigungsart



Die *Schubfeldlänge* und der *Abstand der Riegel* können manuell eingetragen oder über [...] grafisch ausgewählt werden. Diese Schaltfläche wird zugänglich, sobald der Cursor in eines dieser beiden Eingabefelder gesetzt wird. Anschließend können in der RFEM-Oberfläche zwei Fangpunkte ausgewählt werden, die das Schubfeld bzw. den Riegelabstand festlegen.



Die *Lage des Trapezblechs am Profil* kann durch links dargestellte Auswahlliste auf verschiedene Weise berücksichtigt werden. Der aktuelle Drillpunkt  $D$  wird jeweils in der Profilgrafik gekennzeichnet – auch bei einer benutzerdefinierten Eingabe. Hierbei ist der Abstand  $d$  auf den Schwerpunkt bezogen, das Vorzeichen ergibt sich aus der  $z$ -Achse des Querschnitts.

Die Bibliothek der Trapezprofile ist über die Schaltfläche [...] am Ende des Eingabefeldes für die *Trapezblech-Bezeichnung* zugänglich. Es öffnet sich die RFEM-Profildatenbank, in der das gewünschte Trapezblech per Doppelklick oder mit [OK] ausgewählt werden kann. Die Schubfeldbeiwerte  $K_1$  und  $K_2$  werden dabei automatisch in die beiden Eingabefelder eingetragen. Die in der Profildatenbank eingestellte Grundbreite  $b$  des Trapezblechs hat keinen Einfluss auf diese Beiwerte.

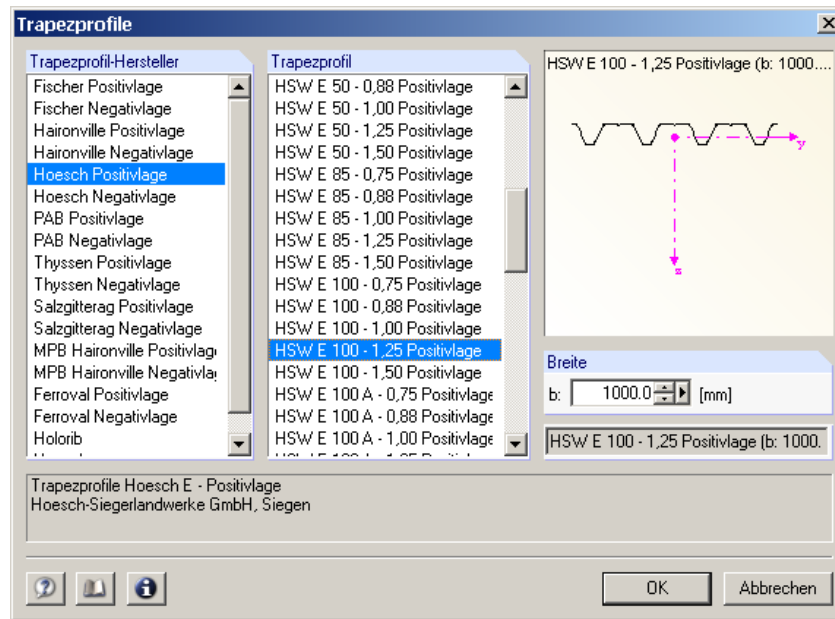
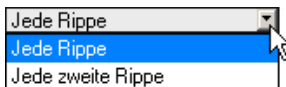


Bild 3.21: Querschnittsdatenbank: Trapezprofile

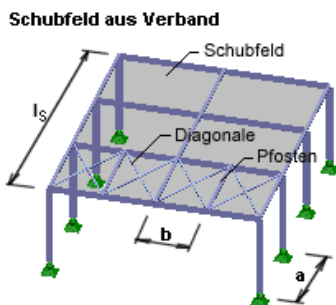


In der Profilbibliothek können über die Schaltfläche [Details] genaue Informationen zum gewählten Trapezblech abgerufen werden. Zudem ist von dort das Ausdrucken der Querschnittsdetails möglich.



Mit der *Befestigungsart* des Trapezbleches in jeder bzw. jeder zweiten Rippe wird die auf den Träger entfallene Schubsteifigkeit des Trapezblechprofils bestimmt. Ist das Trapezblech nur in jeder zweiten Rippe befestigt, reduziert sich die anzusetzende Schubsteifigkeit um den Faktor 5.

## Verband



Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
Lagerungsart		Gabellagerung	
<input checked="" type="checkbox"/> Schubfeld		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Schubfeldtyp		Verband	
Schubfeldlänge	$l_s$	24.000	m
Abstand Riegel	$a$	4.800	m
Lage am Profil		Im Schwerpunkt	
Abstand Pfosten	$b$	4.320	m
Anzahl Verbände		1	
<input type="checkbox"/> Profilname Diagonalen		RD 24	
Q-Fläche A-Diagonale		4.52	cm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Profilname Pfosten		QRD 80x5	
Q-Fläche A-Pfosten		14.80	cm <sup>2</sup>

Bild 3.22: Schubfeldtyp Verband

Zur Ermittlung der vorhandenen Schubfeldsteifigkeit sind folgende Angaben erforderlich:

- Schubfeldlänge  $l_s$
- Abstand der Riegel  $a$
- Lage des Verbandes am Profil
- Abstand der Pfosten  $b$
- Anzahl der Verbände
- Profil der Diagonalen
- Profil der Pfosten



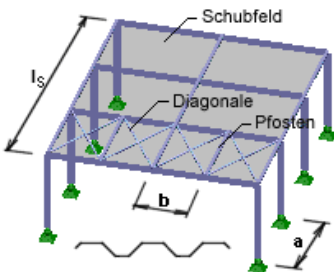
Die *Schubfeldlänge*, der *Abstand der Riegel* und der *Abstand der Pfosten* können manuell eingetragen oder über [...] grafisch ausgewählt werden. Diese Schaltfläche wird zugänglich, wenn der Cursor in eines dieser Eingabefelder gesetzt wird. Anschließend können in der RFEM-Grafik zwei Fangpunkte ausgewählt werden, die das Schubfeld bzw. den Riegel- oder Pfostenabstand festlegen.

Die *Lage des Verbandes am Profil* kann durch links dargestellte Auswahlliste auf verschiedene Weise berücksichtigt werden. Der aktuelle Drillpunkt  $D$  wird jeweils in der Profilgrafik gekennzeichnet – auch bei einer benutzerdefinierten Eingabe. Hierbei ist der Abstand  $d$  auf den Schwerpunkt bezogen, das Vorzeichen ergibt sich aus der z-Achse des Querschnitts.

Die Festlegung der Querschnittsflächen für die Diagonalen und Pfosten kann auf verschiedene Weise erfolgen: Der *Profilname* kann eingetragen oder über die Schaltfläche [...] aus der RFEM-Profilbibliothek ausgewählt werden (vgl. Bild 3.5, Seite 46). Alternativ kann man die *Q-Fläche* auch direkt im Eingabefeld festlegen.

### Trapezblech und Verband

Schubfeld aus Trapezprofil/Verband



Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
Lagerungsart		Gabellagerung	
<input checked="" type="checkbox"/> Schubfeld		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Schubfeldtyp		Trapezblech und Verband	
<input type="checkbox"/> Schubfeldlänge	$I_s$	24.000	m
<input type="checkbox"/> Abstand Riegel	$a$	4.800	m
<input type="checkbox"/> Lage am Profil		Definieren	
<input type="checkbox"/> Lage des Schubfeldes	$d$	-185.0	mm
<input type="checkbox"/> Trapezblech-Bezeichnung		PS 85 - 1.13 Positivlage	
<input type="checkbox"/> Schubfeldwert	$K_1$	0.149	m/kN
<input type="checkbox"/> Schubfeldwert	$K_2$	6.170	m <sup>2</sup> /kN
<input type="checkbox"/> Befestigungsart		Jede Rippe	
<input type="checkbox"/> Abstand Pfosten	$b$	4.320	m
<input type="checkbox"/> Anzahl Verbände		1	
<input type="checkbox"/> Profilname Diagonalen			
<input type="checkbox"/> Q-Fläche A-Diagonale		4.52	cm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Profilname Pfosten		QRD 80x5	
<input type="checkbox"/> Q-Fläche A-Pfosten		14.80	cm <sup>2</sup>

Bild 3.23: Schubfeldtyp Trapezblech und Verband

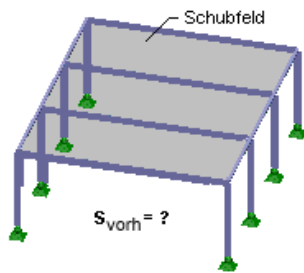
Zur Ermittlung der vorhandenen Schubfeldsteifigkeit infolge Trapezblech und Verband sind folgende Angaben erforderlich:

- Schubfeldlänge  $I_s$
- Abstand der Riegel  $a$
- Lage des Schubfeldes am Profil
- Trapezblechbezeichnung
- Befestigungsart
- Abstand der Pfosten  $b$
- Anzahl der Verbände
- Profil der Diagonalen
- Profil der Pfosten

Diese Möglichkeit der Schubfelddefinition vereinigt die Parameter der beiden vorherigen Optionen *Trapezblech* und *Verband*. In den vorausgehenden Kapitelabschnitten werden die Eingabefelder detailliert beschrieben.



## S-vorh definieren

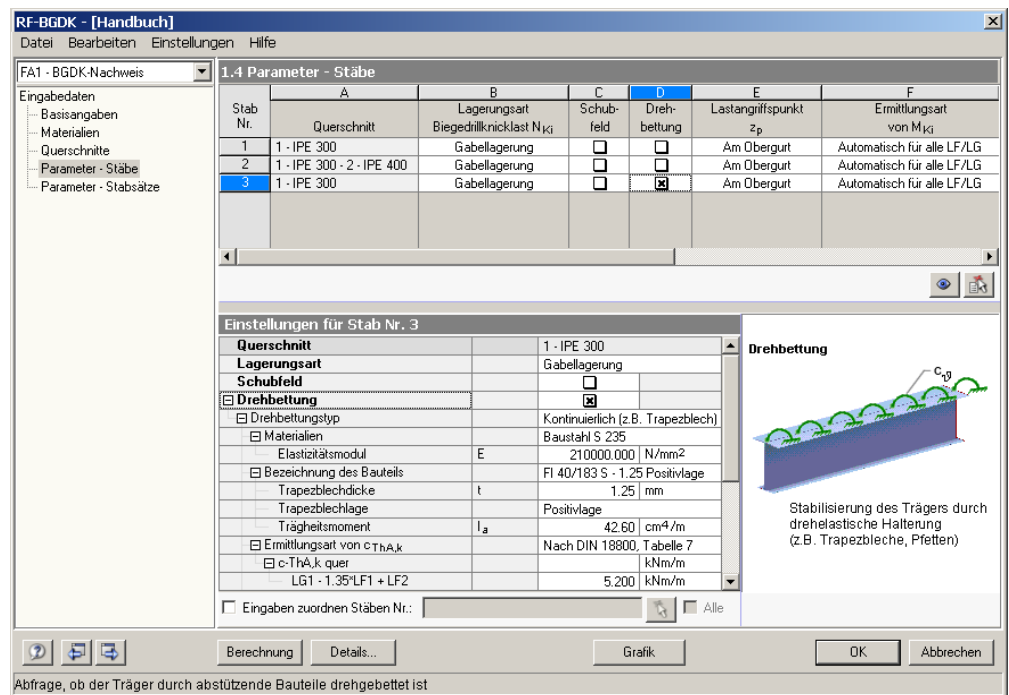
S<sub>vorh</sub> definieren

Einstellungen für Stab Nr. 1	
Querschnitt	1 - IPE 300
Lagerungsart	Gabellagerung
<input checked="" type="checkbox"/> Schubfeld	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Schubfeldtyp	S-vorh definieren
<input type="checkbox"/> Lage am Profil	Am Obergurt
<input type="checkbox"/> Schubfeldsteifigkeit	S <sub>vorh</sub> 45050,00 kN

Bild 3.24: Schubfeldsteifigkeit definieren

Mit dieser Option kann die vorhandene Schubfeldsteifigkeit  $S_{vorh}$  manuell definiert werden. Weitere Einstellungen sind nicht erforderlich.

## 3.4.4 Drehbettung



Stab Nr.	A	B	C	D	E	F
	Querschnitt	Lagerungsart	Schubfeld	Drehbettung	Lastangriffspunkt $z_p$	Ermittlungsart von $M_{Kj}$
1	1 - IPE 300	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
2	1 - IPE 300 - 2 - IPE 400	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG
3	1 - IPE 300	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG

Einstellungen für Stab Nr. 3	
Querschnitt	1 - IPE 300
Lagerungsart	Gabellagerung
<input checked="" type="checkbox"/> Schubfeld	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp	Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)
<input type="checkbox"/> Materialien	Baustahl S 235
<input type="checkbox"/> Elastizitätsmodul	210000,000 N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils	FI 40/183 S - 1.25 Positivlage
<input type="checkbox"/> Trapezblechdicke	t 1,25 mm
<input type="checkbox"/> Trapezblechlage	Positivlage
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	$I_a$ 42,60 cm <sup>4</sup> /m
<input type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c_{ThA,k}$	Nach DIN 18800, Tabelle 7
<input type="checkbox"/> $c_{ThA,k}$ quer	kNm/m
<input type="checkbox"/> LG1 - 1.35*LF1 + LF2	5,200 kNm/m

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:

Abfrage, ob der Träger durch abstützende Bauteile drehgebetet ist

Bild 3.25: Maske 1.4: Berücksichtigung der Drehbettung

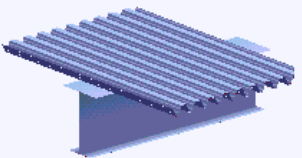
Die Berücksichtigung der Drehbettung ist wie im obigen Bild dargestellt über die Spalte D sowie den *Einstellungen*-Baum möglich. Aktivieren Sie für den betreffenden Stab das Kontrollfeld in Spalte D und legen dann im Abschnitt unterhalb die Detailparameter fest. Die Auswahl des Drehbettungstyps kann auch über die Grafiken (rechts neben den Einstellungen) erfolgen.

Der theoretische Hintergrund zu den Drehbettungen ist im Kapitel 2.5 ab Seite 26 erläutert.

Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)  
 Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)  
 Nicht kontinuierlich (z.B. Pfetten)

Einstellungen für Stab Nr. 3			
Querschnitt	1 - IPE 300		
Lagerungsart	Gabellagerung		
Schubfeld	<input type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung	<input checked="" type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp	Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)		
<input type="checkbox"/> Materialien	Baustahl S 235		
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils	FI 40/183 - 1.00 Positivlage		
Trapezblechdicke	t	1.00	mm
Trapezblechlage	Positivlage		
Trägheitsmoment	I <sub>a</sub>	33.80	cm <sup>4</sup> /m
<input type="checkbox"/> Ermittlungsart von c <sub>ThA,k</sub>	Nach DIN 18800, Tabelle 7		
<input type="checkbox"/> c-ThA,k quer	kNm/m		
LG1 - 1.35*LF1 + LF2		5.20	kNm/m
<input type="checkbox"/> Eingaben zuordnen Stäben Nr.: <input type="text"/> <input type="button" value="Alle"/>			

**Kontinuierliche Drehbettung**



**Nicht kontinuierliche Drehbettung**

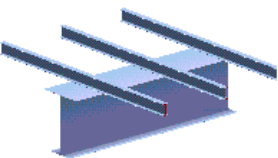
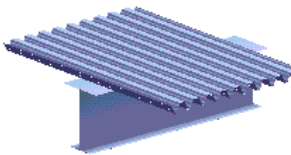


Bild 3.26: Auswahl des Drehbettungstyps

## Kontinuierliche Drehbettung

Kontinuierliche Drehbettung



Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt	1 - IPE 300		
Lagerungsart	Gabellagerung		
Schubfeld	<input type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung	<input checked="" type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp	Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)		
<input type="checkbox"/> Materialien	Baustahl S 235		
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils	HSW E 100 A - 1.25 Positivlage		
Trapezblechdicke	t	1.25	mm
Trapezblechlage	Positivlage		
Trägheitsmoment	I <sub>a</sub>	278.00	cm <sup>4</sup> /m
<input type="checkbox"/> Ermittlungsart von c <sub>ThA,k</sub>	Nach DIN 18800, Tabelle 7		
<input type="checkbox"/> c-ThA,k quer	kNm/m		
LG1 - 1.35*LF1 + LF2		5.200	kNm/m
Abstand Riegel	a	5.250	m
Durchlaufwirkung	Außenfeld		
<input type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung	<input checked="" type="checkbox"/>		
Drehbettingsbeiwert	k <sub>g</sub>	Automatisch für alle LF/LG	
Nachweisverfahren	Elastisch - Elastisch		
<input type="checkbox"/> Beanspruchung Verbindungsmittel	<input checked="" type="checkbox"/>		
Auflast	q <sub>d</sub>	Automatisch für alle LF/LG	
Anreißmaß	w <sub>1</sub>	80.0	mm
Abstand Verbindungsmittel	e <sub>s</sub>	550.0	mm

Bild 3.27: Drehbettungstyp *Kontinuierlich*

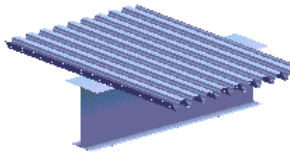
Zur Ermittlung des Steifigkeitsanteils aus dem Trapezprofil und der Anschlussverformung sind folgende Angaben erforderlich:

- Material und Bezeichnung des Trapezprofils
- Ermittlungsart von c<sub>9A,k</sub>
- Abstand der Riegel a
- Durchlaufwirkung

## Steifigkeitsanteil c<sub>9M,k</sub> aus Trapezblech



Die Bibliothek der Trapezprofile ist über die Schaltfläche [...] am Ende des Eingabefeldes für die *Bezeichnung des Bauteils* zugänglich. Es öffnet sich die RFEM-Profildatenbank, in der das gewünschte Trapezblech per Doppelklick oder mit [OK] ausgewählt werden kann (siehe Bild 3.21, Seite 55). Die *Trapezblechdicke t*, *Trapezblechlage* und das *Trägheitsmoment I<sub>a</sub>* werden dabei automatisch übernommen. Die in der Profildatenbank eingestellte Breite *b* des Trapezblechs wirkt sich auf das Trägheitsmoment *I<sub>a</sub>* aus.

Ermittlungsart von  $c\text{-ThA,k}$ 

Drehbettung aus der Verformung  
des Anschlusses nach

- DIN 18800, Teil 2, Tabelle 7
- Lindner/Groeschel (Stahlbau 6/96)

Nach DIN 18800, Tabelle 7  
 Nach DIN 18800, Tabelle 7  
 Nach Lindner/Groeschel

Steifigkeitsanteil  $c_{9A,k}$  aus Anschlussverformung

Bei kontinuierlicher Drehbettung ist die Verformung des Anschlusses zu berücksichtigen. Da bis zum Erreichen des Kontaktmoments (rückwirkendes Moment aus der Trapezauflost) die Verbindung zwischen Dachhaut und Unterstützung wesentlich steifer ist als danach, hängt die vorhandene Drehbettungssteifigkeit wesentlich von der sich einstellenden Verdrehung (Verdrillung) des Profils ab. Erst nach Überschreitung des Kontaktmoments

$$m_k = 0.5 \cdot q_z \cdot b \quad \text{mit} \quad q_z = \text{Pfettenlast aus Trapezblech} \\ b = \text{Gurtbreite}$$

Gleichung 3.1: Kontaktmoment

sind nach [8] die Verformungsanteile der Dachhaut im Befestigungsbereich (Anschlussverformung) von nicht zu vernachlässigendem Einfluss. Ansonsten kann näherungsweise von einer starren Verbindung der beiden Bauteile ausgegangen werden. Zumindest bei einer Bemessung nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch sind die maximalen Torsionsverdrehungen so klein, dass das Kontaktmoment nicht überschritten wird (Ausnahmen: Lastfall Unterwind oder eine elastische Schicht zwischen den Bauteilen).

Es erscheint deshalb sinnvoll, zumindest beim Verfahren Elastisch-Elastisch den Nachweis ohne Berücksichtigung der Anschlussnachgiebigkeiten zu führen, siehe [8]. Dies kann in RF-BGDK realisiert werden, indem man für  $c_{9A,k}$  erheblich größere Werte einsetzt als in Tabelle 7 der DIN 18 800 Teil 2 angegeben. Für  $c_{9A,k} \rightarrow \infty$  liegt eine starre Verbindung vor, der zweite Summand in Gleichung 2.35 entfällt dann.

Aus diesem Grund kann der Anwender im Abschnitt *Ermittlungsart von  $c_{9A,k}$*  entscheiden, ob der charakteristische Wert  $\bar{c}_{9A,k}$  der Tabelle 7 angesetzt oder ein eigener Wert verwendet werden soll. Die Tabelle 7 wird zugänglich, indem man den Cursor in das Eingabefeld für  $c\text{-ThA,k}$  quer setzt und dann die Schaltfläche [...] am Ende des Feldes aktiviert.

Beiwert  $c\text{-ThA,k}$  quer aus Tabelle 7, DIN 18800, Teil 2 übernehmen

**Tabelle 7. Charakteristische Werte für Anschlusssteifigkeiten  $\bar{c}_{9A,k}$  von Trapezprofilen bezogen auf eine Gurtbreite  $b = 100 \text{ mm}$**

Zeile	Trapezprofilage		Schrauben im		Schraubenabstand		Scheibendurchmesser mm	$\bar{c}_{9A,k}$ kNm/m	max $b_t^{(3)}$ mm
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	$b_T^{(1)}$	$2 \cdot b_T^{(1)}$			
<b>Auflast</b>									
1	x		x		x		22	5,2	40
2	x		x		x		22	3,1	40
3		x		x	x		Ka <sup>2)</sup>	10,0	40
4		x		x	x		Ka <sup>2)</sup>	5,2	40
5		x	x		x		22	3,1	120
6		x	x		x		22	2,0	120
<b>Sog</b>									
7	x		x		x		16	2,6	40
8	x		x		x		16	1,7	40

<sup>1)</sup>  $b_T$  Rippenabstand  
<sup>2)</sup> Ka Abdeckkappen aus Stahl mit  $t \geq 0,75 \text{ mm}$   
<sup>3)</sup>  $b_t$  Breite des angeschlossenen Gurtes des Trapezprofils

Hinweis: Selektieren Sie mittels Maus in der Tabelle die gewünschte Zeile und übernehmen Sie mit [OK] den Beiwert.

c-ThA,k quer:  [kNm/m]

OK Abbrechen

Bild 3.28: DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 7: Charakteristische Werte für Anschlusssteifigkeiten von Stahl-Trapezprofilen

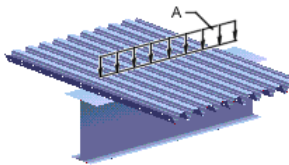
Der Beiwert  $\bar{c}_{9A,k}$  kann nun in dieser Tabelle per Mausklick ausgewählt werden. Nach [OK] wird der Wert pauschal allen Lastfällen und Lastfallgruppen zugeordnet, die zur Bemessung vorgesehen sind.

Wird eine lastfallweise Zuordnung gewünscht, kann die Tabelle auch aus dem Eingabefeld des jeweiligen Lastfalls aufgerufen werden.

<input type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c \cdot ThA, k$	Nach DIN 18800, Tabelle 7
<input type="checkbox"/> $c \cdot ThA, k$ quer	kNm/m
LG1 - $1.35 \cdot LF1 + LF2$	3.100 kNm/m
LG2 - $1.35 \cdot LF1 + 1.5 \cdot LF3$	2.600 kNm/m

Bild 3.29: Lastfallweise Zuordnung von  $c \cdot ThA, k$  quer

Auflagerkraft



Wird die *Ermittlungsart von  $c \cdot ThA, k$*  nach LINDNER/GROESCHEL [24] aktiviert (siehe Seite 28), müssen zusätzliche Einstellungen bezüglich der Auflagerkraft *A* getroffen werden. Diese kann automatisch aus dem Querkraftverlauf bestimmt oder manuell definiert werden.

<input type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c \cdot ThA, k$	Nach Lindner/Groeschel
<input type="checkbox"/> $c \cdot ThA, k$ quer	kNm/m
LG2 - $1.35 \cdot LF1 + LF2 + 1.5 \cdot LF3$	5.20 kNm/m
LG3 - $1.35 \cdot LF1 + LF2 + 1.5 \cdot LF4$	5.20 kNm/m
<input type="checkbox"/> Auflagerkraft	A Definieren
LG2 - $1.35 \cdot LF1 + LF2 + 1.5 \cdot LF3$	5.60 kN/m
LG3 - $1.35 \cdot LF1 + LF2 + 1.5 \cdot LF4$	4.90 kN/m

Bild 3.30: Festlegung der Auflagerkraft nach LINDNER/GROESCHEL

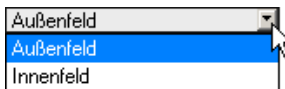
#### Riegelabstand

Der *Abstand der Riegel* kann manuell eingetragen oder über [...] grafisch ausgewählt werden. Diese Schaltfläche wird zugänglich, wenn der Cursor in das Eingabefeld gesetzt wird. Anschließend können in der RFEM-Grafik zwei Fangpunkte ausgewählt werden, um den Riegelabstand festzulegen.



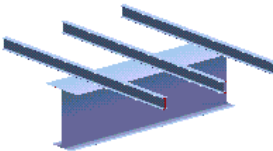
#### Durchlaufwirkung

Über die Durchlaufwirkung wird der Wert *k* festgelegt, der nur über die Liste dieser Zeile ausgewählt werden kann. Beim Außenfeld beträgt der Wert  $k=2$ , beim Innenfeld ist  $k=4$  (siehe Gleichung 2.36).



#### Nicht kontinuierliche Drehbettung

Nicht kontinuierliche Drehbettung



Einstellungen für Stab Nr. 3			
Querschnitt		3 - IU 360/170/12.7/8/150/12.7/0	
Lagerungsart		Gabellagerung	
Schubfeld		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp		Nicht kontinuierlich (z.B. Pfetten)	
<input type="checkbox"/> Materialien		Baustahl S 235	
Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Profilbezeichnung		IPE 180	
Trägheitsmoment	I-y	1320.00	cm <sup>4</sup>
Abstand	e	3.000	m
Abstand Riegel	a	5.000	m
Durchlaufwirkung		Außenfeld	
Nachweis über Drehbettung		<input type="checkbox"/>	
Beanspruchung Verbindungsmittel		<input type="checkbox"/>	

Bild 3.31: Drehbettungstyp *Nicht kontinuierlich*

Zur Ermittlung des Steifigkeitsanteils aus dem abstützenden Bauteil (z. B. Pfetten) sind folgende Angaben erforderlich:

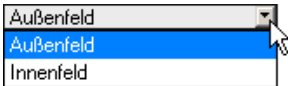
- Material und Bezeichnung des Profils
- Abstand der Pfetten *e*
- Abstand der Riegel *a*
- Durchlaufwirkung

### Steifigkeitsanteil $c_{\Theta M, k}$ aus Pfetten

Das Material und das Pfettenprofil können mithilfe der am Ende der Eingabezeile befindlichen Schaltfläche [...] aus den RFEM-Bibliotheken ausgewählt oder auch manuell festgelegt werden.

Der *Abstand* der Pfetten und der Riegel kann in gleicher Weise manuell eingetragen oder über [...] grafisch ausgewählt werden. Dabei können in der RFEM-Grafik zwei Fangpunkte ausgewählt werden, die den Pfetten- bzw. Riegelabstand festlegen.

Über die Durchlaufwirkung wird der Wert  $k$  festgelegt, der nur über die Liste dieser Zeile ausgewählt werden kann. Beim Außenfeld beträgt der Wert  $k=2$ , beim Innenfeld ist  $k=4$  (siehe Gleichung 2.36).



#### Nachweis über Drehbettung

vorh  $c_{\Theta, k} \geq \text{erf } c_{\Theta, k}$

wird durchgeführt nur dann, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl, d}} < 0.1 \quad M_z = 0$$

Anderenfalls erfolgt der „normale“ Nachweis nach Gl. (27) bzw. (30).

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 300	
Lagerungsart		Gabel Lagerung	
Schubfeld		<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp		Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)	
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl C 235 (Bleche, Bänder)	
<input checked="" type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils		HSW E 40 S - 1,25 Positivlage	
<input checked="" type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c_{\Theta A, k}$		Nach DIN 18800, Tabelle 7	
Abstand Riegel	a	0,000 m	
Durchlaufwirkung		Außenfeld	
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>	
Drehbettiingsbeiwert	$k_{\Theta}$	Automatisch für alle LF/LG	
Nachweisverfahren		Elastisch - Elastisch	
Beanspruchung Verbindungsmittel		<input type="checkbox"/>	

Bild 3.32: Drehbettung → Nachweis über Drehbettung

Ist die Voraussetzung gemäß Gleichung 2.32 (Seite 26) erfüllt, darf der Nachweis der Biegedrillknicksicherheit über die Drehbettung erfolgen. Anderenfalls erfolgt der „normale“ Nachweis nach Gleichung 2.73 (Seite 39).

### Drehbettiingsbeiwert $k_{\Theta}$

Der wohl unkomplizierteste Weg, die momentenbezogenen Beiwerte  $k_{\Theta}$  zu bestimmen, ist die automatische Ermittlung.

<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>	
Drehbettiingsbeiwert	$k_{\Theta}$	Automatisch für alle LF/LG	
Nachweisverfahren		Automatisch für alle LF/LG	
Beanspruchung Verbindungsmittel		Einzelnen LF/LG zuordnen	

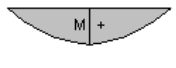
Bild 3.33: Ermittlung von  $k_{\Theta}$

Dabei wird der skalierte vorhandene Momentenverlauf am Ersatzstab mit 13 Momentenbildern einer Bibliothek (Menü *Einstellungen* → *Momentenbeiwerte k-Theta*) verglichen, für die die Beiwerte  $k_{\Theta}$  bekannt sind. Diese Datenbank ist erweiterbar, sodass neue Erkenntnisse bezüglich der Drehbettiingsbeiwerte integriert werden können.

Neben dem automatischen Abgleich ist auch eine manuelle Auswahl der Momentenverläufe nach Tabelle 6 der DIN 18 800 Teil 2 möglich. Je nach Vorgabe, ob eine freie oder eine gebundene Drehachse vorliegt, legt RF-BGDK entsprechend der Auswahl die Beiwerte  $k_{\Theta}$  fest.

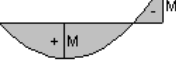
Einstellungen für Stab Nr. 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl C 235 (Bleche, Bänder)
<input checked="" type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils		HSW/ E 40 S - 1,25 Positivlage
<input checked="" type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c_{ThA,k}$		Nach DIN 18800, Tabelle 7
Abstand Riegel	a	0,000 m
Durchlaufwirkung		Außenfeld
<input type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Drehbettsbeiwert	$k_{\theta}$	Einzelnen LF/LG zuordnen
LG1 - 1,35*LF1 + LF2		Momentenverlauf 2b
<input type="checkbox"/> Nachweisverfahren		Automatisch
Beanspruchung Verbindungsmittel		Momentenverlauf 1
<b>Lastangriffs-lage</b>		Momentenverlauf 2a
<b>Ermittlungsart M-Ki</b>		Momentenverlauf 2b
<b>Trägerart</b>		Momentenverlauf 3
<b>Kommentar</b>		Momentenverlauf 4
		Momentenverlauf 5
<input type="checkbox"/> Eingaben zuordnen Stäben Nr.:		k-Theta definieren

**Momentenverlauf 1**



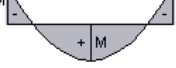
$k_{\theta}$	
frei	geb
4.0	0

**Momentenverlauf 2a**




$k_{\theta}$	
frei	geb
3.5	0.12

**Momentenverlauf 2b**



$k_{\theta}$	
frei	geb
3.5	0.23

**Momentenverlauf 3**



$k_{\theta}$	
frei	geb
3.5	0.23

Bild 3.34: Manuelle Auswahl der Momentenverläufe

In der Liste besteht auch die Möglichkeit, den Beiwert  $k_{\theta}$  manuell zu definieren.

### Nachweisverfahren

Der in Gleichung 2.33 (Seite 27) für den erforderlichen Drehbettskoeffizienten  $c_{\theta,k}$  anzusetzende Faktor  $k_{\theta}$  wird über die Auswahlliste festgelegt.

<input type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Drehbettsbeiwert	$k_{\theta}$	Einzelnen LF/LG zuordnen
LG1 - 1,35*LF1 + LF2		Momentenverlauf 2b
<input type="checkbox"/> Nachweisverfahren		Elastisch - Elastisch
<input type="checkbox"/> Beanspruchung Verbindungsmittel		Elastisch - Elastisch
<b>Lastangriffs-lage</b>		Elastisch - Plastisch
<b>Ermittlungsart M-Ki</b>		Plastisch - Plastisch

Bild 3.35: Auswahl des Nachweisverfahrens

Als Nachweisverfahren stehen zur Auswahl:

- Elastisch - Elastisch ( $k_{\theta} = 0.35$ )
- Elastisch - Plastisch ( $k_{\theta} = 1.0$ )
- Plastisch - Plastisch ( $k_{\theta} = 1.0$ )



Bei Verwendung der Berechnungsmethode nach VOGEL/HEIL ist hier das Verfahren *Elastisch - Plastisch* zu verwenden.

### Beanspruchung der Verbindungsmittel

Einstellungen für Stab Nr. 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Drehbettungstyp		Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)
<input checked="" type="checkbox"/> Materialien		Baustahl C 245 (Bleche, Bänder)
<input checked="" type="checkbox"/> Bezeichnung des Bauteils		PAB 40/183 - 1.13 Positivlage
<input checked="" type="checkbox"/> Ermittlungsart von $c_{ThA,k}$		Nach DIN 18800, Tabelle 7
Abstand Riegel	a	5,000 m
Durchlaufwirkung		Außenfeld
<input type="checkbox"/> Nachweis über Drehbettung		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Beanspruchung Verbindungsmittel		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Auflast	$q_d$	Definieren
LG1 - 1,35*LF1 + LF2		1.50 kN/m
Anreißmaß	$w_1$	80.0 mm
Abstand Verbindungsmittel	$e_s$	366.0 mm

Bild 3.36: Drehbettung → Beanspruchung Verbindungsmittel

Bei der Berücksichtigung der Drehbettung muss vom stützenden Bauteil ein Anschlussmoment auf den Ersatzstab übertragen werden. Dazu ist es wichtig, die Verbindungsmittel zu dimensionieren bzw. die aufzunehmenden Kräfte in den Verbindungsmitteln zu bestimmen (siehe Kapitel 2.8). Hierbei ist zwischen kontinuierlicher Bettung (z. B. Trapezbleche) und nicht kontinuierlicher Bettung (z. B. Pfetten) zu unterscheiden.

### Kontinuierliche Drehbettung

<input type="checkbox"/> Beanspruchung Verbindungsmittel		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Auflast	$q_d$	Automatisch für alle LF/LG
<input type="checkbox"/> Anreißmaß	$w_1$	80.0 mm
<input type="checkbox"/> Abstand Verbindungsmittel	$e_s$	366.0 mm

Bild 3.37: Verbindungsmittel bei kontinuierlicher Drehbettung

Das festzulegende Anreißmaß  $w_1$  und der *Abstand der Verbindungsmittel*  $e_s$  gehen dabei in Gleichung 2.64 zur Bestimmung der Bemessungszugkraft des Verbindungsmittels ein. Insofern es möglich ist, werden beide Werte automatisch ermittelt. Diese Werte können nachträglich manuell angepasst werden.

Die Bestimmung der Auflast  $q_d$  kann automatisch durch die Analyse des Querkraftverlaufs oder aber auch manuell erfolgen. Diese fließt in die Ermittlung des Kontaktmoments  $m_k$  nach Gleichung 2.62 ein.

Über die Schaltfläche [Details] kann festgelegt werden, wie das Eigengewicht bei der Auswertung des Querkraftverlaufs zu behandeln ist (vgl. Kapitel 4.1, Seite 70).

### Nicht kontinuierliche Drehbettung

<input type="checkbox"/> Beanspruchung Verbindungsmittel		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Auflast F-d		Automatisch für alle LF/LG
<input type="checkbox"/> Anreißmaß	$w_1$	110.0 mm

Bild 3.38: Verbindungsmittel bei nicht kontinuierlicher Drehbettung

Das *Anreißmaß*  $w_1$  wird in Gleichung 2.68 bzw. Gleichung 2.69 zur Bestimmung der Bemessungszugkraft  $F_{z,d}$  des Verbindungsmittels benötigt. Insofern es möglich ist, wird der Wert  $w_1$  automatisch ermittelt und kann ggf. nachträglich manuell angepasst werden.

Die *Auflast*  $q_d$  kann wiederum automatisch durch die Analyse des Querkraftverlaufs oder aber auch manuell erfolgen. Diese fließt in die Ermittlung des Kontaktmoments  $M_k$  nach Gleichung 2.67 ein.

Über die Schaltfläche [Details] kann festgelegt werden, wie das Eigengewicht bei der Auswertung des Querkraftverlaufs zu behandeln ist (vgl. Kapitel 4.1, Seite 70).

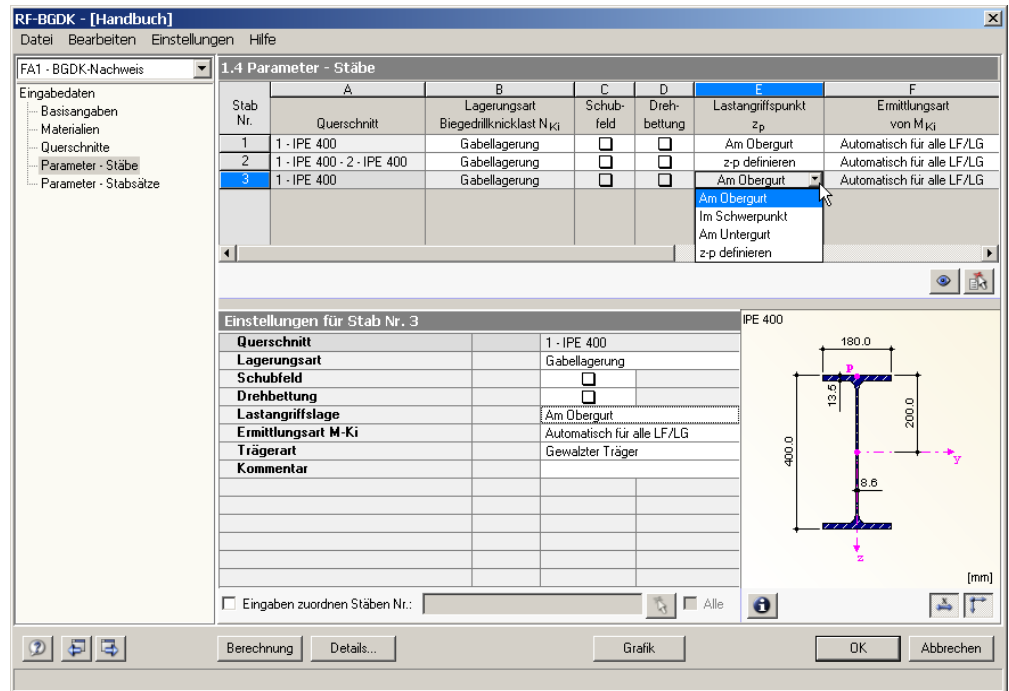
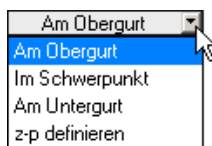
Automatisch für alle LF/LG  
 Automatisch für alle LF/LG  
 Definieren

Details...

Automatisch für alle LF/LG  
 Automatisch für alle LF/LG  
 Definieren

Details...

## 3.4.5 Lastangriffspunkt

Bild 3.39: Maske 1.4: Lastangriffspunkt  $z_p$ 

Die Auswahl des Lastangriffspunktes ist wie im obigen Bild dargestellt über die Liste in Spalte E sowie im *Einstellungen*-Baum möglich: Platzieren Sie den Cursor im Eingabefeld und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste, aus der Sie die geeignete Lastangriffslage wählen.

Da der Angriffspunkt der momentenerzeugenden Querlast einen großen Einfluss auf die Stabilität des Ersatzstabes hat (siehe Bild 2.6, Seite 18), ist auf die korrekte Eingabe von  $z_p$  zu achten. Der Lastangriffspunkt kann wie folgt positioniert werden:

- Am Obergurt
- Im Schwerpunkt ( $z_p = 0$ )
- Am Untergurt
- $z_p$  definieren

Zur benutzerdefinierten Lage des Lastangriffspunktes steht im *Einstellungen*-Baum ein separates Eingabefeld zur Verfügung.

Lastangriffslage		z-p definieren
Lastangriffspunkt	$z_p$	-165.5 mm

Bild 3.40: Lastangriffspunkt  $z_p$  definieren

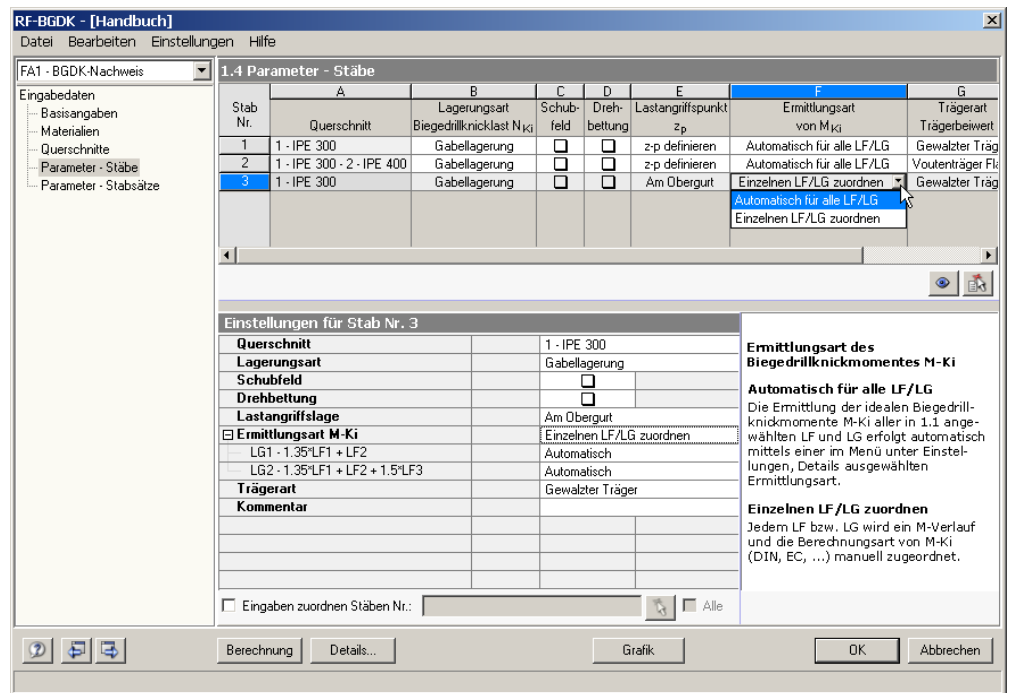
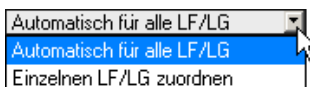
Der Lastangriffspunkt ist den Profilschwerpunkt bezogen, das Vorzeichen ergibt sich aus der z-Achse des Querschnitts. Der Abstand  $z_p$  kann manuell eingetragen oder über [...] grafisch ausgewählt werden. Diese Schaltfläche wird zugänglich, wenn der Cursor in das Eingabefeld gesetzt wird. Anschließend kann in einem neuen Dialog ein Spannungspunkt des Profils angeklickt werden, um dessen Abstand zu übernehmen.



Bild 3.41: Dialog Abstand  $z_p$  definieren

Bei nicht querbelasteten Stäben (z. B. Rahmenstiele, deren Momente aus der Belastung der Rahmenriegel resultieren) ist die Lastangriffslage *im Schwerpunkt* zu wählen (siehe Kapitel 2.4.1, Seite 19). Dies wird jedoch auch von RF-BGDK im Zuge der Berechnung erkannt und trotz anderer Einstellung korrekt berücksichtigt.

### 3.4.6 Ermittlung von $M_{Ki}$

Bild 3.42: Maske 1.4: Ermittlungsart von  $M_{Ki}$ 

Die Ermittlungsart des idealen Biegedrillknickmoments  $M_{Ki}$  kann wie im obigen Bild dargestellt über die Liste in Spalte F oder im *Einstellungen*-Baum festgelegt werden: Platzieren Sie den Cursor im Eingabefeld und klicken dann die Schaltfläche [▼] an bzw. betätigen die Taste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste mit den beiden Auswahlmöglichkeiten:

- Automatisch für alle Lastfälle/Lastfallgruppent
- Einzelnen Lastfällen/Lastfallgruppen zuordnen

Details...

Wird  $M_{Ki}$  *automatisch* zugeordnet, erfolgt die Ermittlung nach dem Lösungsansatz, der im Dialog *Details* vorgegeben ist (siehe Kapitel 4.1, Seite 70). Der Momentenbeiwert  $\zeta$  bezieht sich in RF-BGDK immer auf das betragsmäßig größte Moment, d. h. nicht unbedingt auf die Mitte, wie es in einigen Quellen üblich ist. Die automatische Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments  $M_{Ki}$  ist im Kapitel 2.4.2 auf Seite 20 erläutert.

Es ist auch möglich, jedem Lastfall und jeder Lastfallgruppe einen Momentenverlauf manuell zuzuordnen. Im *Einstellungen*-Baum werden in diesem Fall separate Eingabefelder mitsamt erläuternden Grafiken angeboten.



Einstellungen für Stab Nr. 3		M-Verlauf Nr. 1	M-Ki nach DIN
Querschnitt	1 - IPE 300		$\zeta = 1.00$
Lagerungsart	Gabellagerung		
Schubfeld	<input type="checkbox"/>		
Drehbettung	<input type="checkbox"/>		
Lastangriffs-lage	Am Obergurt		$\zeta = 1.00 + 2.8\alpha^3$
<input type="checkbox"/> Ermittlungsart M-Ki	Einzelnen LF/LG zuordnen		
<input type="checkbox"/> LG1 - 1.35*LF1 + LF2	Automatisch		
<input type="checkbox"/> LG2 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF3	M-Verlauf 2, M-Ki nach DIN		
<input type="checkbox"/> LG3 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF4	M-Verlauf 6, M-Ki nach DIN		

Bild 3.43: Ermittlungsart von  $M_{Ki}$  einzeln zuordnen

Automatisch

Automatisch

- M-Verlauf 1, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 2, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 3, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 4, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 5, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 6, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 7, M-Ki nach DIN
- M-Verlauf 8, M-Ki nach DIN
- Zeta definieren, M-Ki nach DIN
- Zeta definieren, M-Ki nach Roik/Carl/Lindner
- M-Verlauf 1, M-Ki nach EC
- M-Verlauf 2, M-Ki nach EC
- M-Verlauf 3, M-Ki nach EC
- M-Verlauf 4, M-Ki nach EC
- M-Verlauf 5, M-Ki nach EC
- M-Verlauf 6, M-Ki nach EC
- C1,C2,C3 definieren, M-Ki nach EC
- M-Ki definieren

Es stehen neun verschiedene Momentenverläufe nach DIN 18 800 Teil 2 und sieben Momentenverläufe nach EC 3 sowie die manuelle Eingabemöglichkeit von  $M_{Ki}$  zur Verfügung. Der  $\zeta$  - Beiwert bezieht sich im Programm stets auf den betragsmäßig größten Wert des Momentenverlaufes, nicht unbedingt auf die Mitte.

### $M_{Ki}$ nach DIN 18 800 Teil 2

Die Festlegung des  $\zeta$  - Beiwerts, der gemäß DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 10 in die Berechnung von  $M_{Ki}$  eingeht, kann lastfall-/lastfallgruppenweise über die Liste oder die entsprechende Grafik vorgenommen werden. Zusätzlich zu den Momentenbeiwerten der Tabelle 10 werden hier Werte aus der Literatur angeboten, z. B. Petersen [3], [4].

Weiterhin besteht die Möglichkeit, diesem Beiwert dem sehr umfangreichen Tabellenwerk von ROIK, CARL, LINDNER [9] zu entnehmen. Als Eingangsparameter für diese Tabellen wird der dimensionslose Parameter  $\chi$  benötigt (vgl. Gleichung 2.18, Seite 20), der bei dieser Option in RF-BGDK berechnet und in der Statuszeile angezeigt wird. Nach der Eingabe des  $\zeta$  - Beiwerts werden  $M_{Ki}$  und  $c$  nach Gleichung 2.17 ermittelt, d. h. mit  $\beta = \beta_0 = 1.0$  und  $z_p = 0$  (Abstand des Angriffspunktes der Querbewlastung vom Schwerpunkt).

<input type="checkbox"/> Ermittlungsart M-Ki	Einzelnen LF/LG zuordnen
<input type="checkbox"/> LG1 - 1.35*LF1 + LF2	M-Verlauf 8, M-Ki nach DIN
<input type="checkbox"/> LG2 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF3	Zeta definieren, M-Ki nach Roik/Carl/Lindner
<input type="checkbox"/> Momentenbeiwert	$\zeta$ 1.250
<input type="checkbox"/> LG3 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF4	Zeta definieren, M-Ki nach DIN
<input type="checkbox"/> Momentenbeiwert	$\zeta$ 2.000

Bild 3.44: Manuelle Definition des Momentenbeiwertes  $\zeta$

#### $M_{Ki}$ nach EC 3

Die Ermittlung von  $M_{cr}$  kann alternativ gemäß EC 3, Annex F erfolgen (siehe Gleichung 2.22, Seite 22). Die Beiwerte  $C_1$  bis  $C_3$  sind in der Tabelle F.1.1 des EC 3 festgelegt und lassen sich im *Einstellungen*-Baum über die Liste des Lastfalls bzw. der Lastgruppe oder die Grafik auswählen. Diese Momentenverläufe finden sich im Anschluss an die der DIN 18 800.

Die Beiwerte  $C_1$  bis  $C_3$  lassen auch manuell definieren. Hier berücksichtigen die Beiwerte  $C_1$  den Momentenverlauf  $\zeta$ ,  $C_2$  den Lastangriffspunkt und  $C_3$  die Symmetrie des Querschnitts.

<input type="checkbox"/> Ermittlungsart M-Ki		Einzelnen LF/LG zuordnen
<input type="checkbox"/> LG1 - 1.35*LF1 + LF2		Automatisch
<input type="checkbox"/> LG2 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF3		M-Verlauf 3, M-Ki nach EC
<input type="checkbox"/> LG3 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF4		C1,C2,C3 definieren, M-Ki nach EC
<input type="checkbox"/> Beiwert C1 nach EC		1.000
<input type="checkbox"/> Beiwert C2 nach EC		0.500
<input type="checkbox"/> Beiwert C3 nach EC		0.000

Bild 3.45: Manuelle Definition der Beiwerte  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  nach EC 3

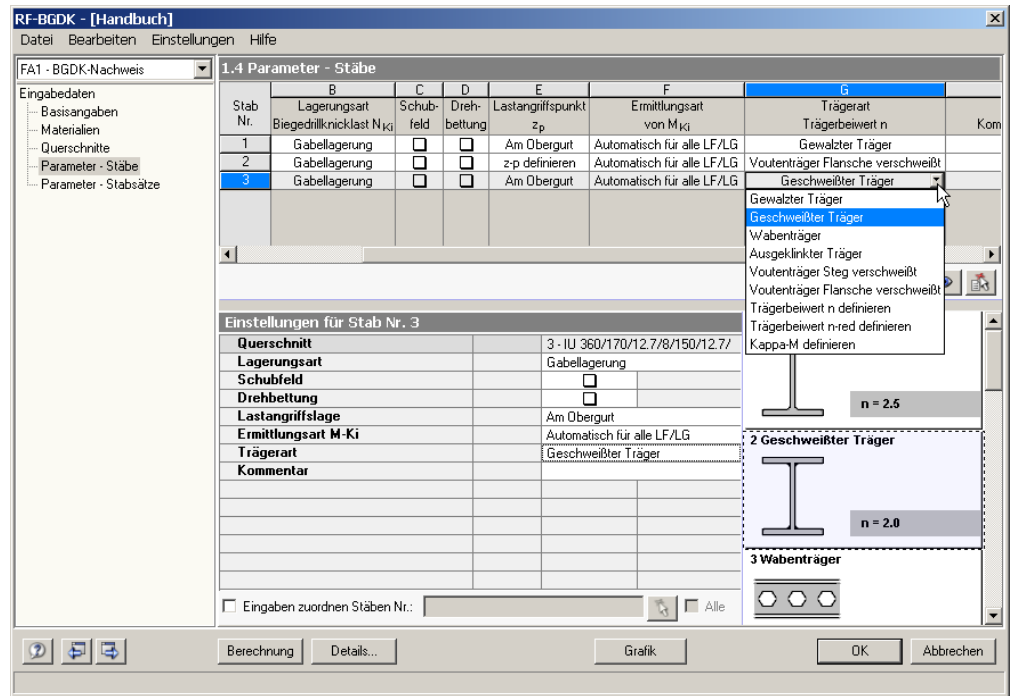
#### Manuelle Eingabe von $M_{Ki}$

Das kritische Biegedrillknickmoment kann auch normunabhängig direkt festgelegt werden. Bei komplizierten Lagerungen oder Randbedingungen kann  $M_{Ki}$  z. B. im Modul RF-FE-BGDK bestimmt (kritischer Lastfaktor multipliziert mit dem betragsmäßig größten Moment) und dann in RF-BGDK direkt eingegeben werden. Diese Option findet sich am Ende der Liste.

<input type="checkbox"/> Ermittlungsart M-Ki		Einzelnen LF/LG zuordnen
<input type="checkbox"/> LG1 - 1.35*LF1 + LF2		Automatisch
<input type="checkbox"/> LG2 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF3		Automatisch
<input type="checkbox"/> LG3 - 1.35*LF1 + LF2 + 1.5*LF4		M-Ki definieren
<input type="checkbox"/> Biegedrillknickmoment M-Ki		275.000 kNm

Bild 3.46: Manuelle Eingabe von  $M_{Ki}$

## 3.4.7 Trägerart



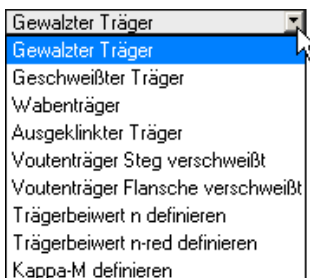
Stab Nr.	B	C	D	E	F	G	Kom.
	Lagerungsart	Stabfeld	Drehbettung	Lastangriffspunkt $z_p$	Ermittlungsart von $M_{Kl}$	Trägerart	
1	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG	Gewalzter Träger	
2	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	z-p definieren	Automatisch für alle LF/LG	Voutenträger Flansche verschweißt	
3	Gabellagerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG	Geschweißter Träger	

**Einstellungen für Stab Nr. 3**

Querschnitt	3 - IU 360/170/12.7/8/150/12.7/
Lagerungsart	Gabellagerung
Schubfeld	<input type="checkbox"/>
Drehbettung	<input type="checkbox"/>
Lastangriffslage	Am Obergurt
Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
Trägerart	Geschweißter Träger
Kommentar	

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:

Bild 3.47: Maske 1.4: Trägerart



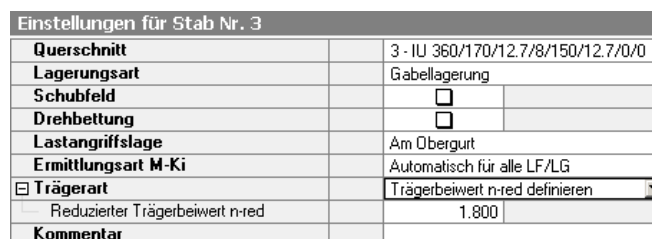
Die Trägerart zur Bestimmung des Trägerbeiwerts  $n$  (vgl. DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 9) kann wie im obigen Bild dargestellt über die Liste in Spalte G oder im *Einstellungen*-Baum festgelegt werden: Platzieren Sie den Cursor im Eingabefeld und klicken dann die Schaltfläche [▼] an bzw. betätigen die Taste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste mit den folgenden Auswahlmöglichkeiten:

- Gewalzter Träger ( $n = 2.5$ )
- Geschweißter Träger ( $n = 2.0$ )
- Wabenträger ( $n = 1.5$ )
- Ausgeklinker Träger ( $n = 2.0$ )
- Voutenträger
- Trägerbeiwert  $n$  bzw.  $n_{red}$  definieren
- Abminderungsfaktor  $\kappa_M$  definieren

Je nach Verhältnis der Stabendmomente wird der Trägerbeiwert  $n$  über einen Faktor abgemindert. Es ergibt sich ein reduzierter Trägerbeiwert  $n_{red}$ , der dann zur Bestimmung von  $\kappa_M$  herangezogen wird.

Bei Voutenträgern muss noch unterschieden werden, ob die Schweißnaht in der Stegmitte (Trägerart Nr. 5) oder am Übergang vom Steg zum Flansch (Trägerart Nr. 6) sitzt. Der Trägerbeiwert  $n$  wird bei Vouten automatisch berechnet. Gleichzeitig wird überprüft, ob das Verhältnis der Profilhöhen gemäß Gleichung 2.70 (Seite 39) eingehalten ist.

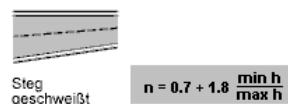
Detaillierte Angaben zur Trägerart sind im *Einstellungen*-Baum möglich. Dort können die Trägerbeiwerte  $n$  bzw.  $n_{red}$  sowie der Abminderungsfaktor  $\kappa_M$  manuell festgelegt werden.



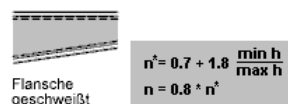
<b>Einstellungen für Stab Nr. 3</b>	
Querschnitt	3 - IU 360/170/12.7/8/150/12.7/0/0
Lagerungsart	Gabellagerung
Schubfeld	<input type="checkbox"/>
Drehbettung	<input type="checkbox"/>
Lastangriffslage	Am Obergurt
Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
<input checked="" type="checkbox"/> Trägerart	Trägerbeiwert n-red definieren
<input type="checkbox"/> Reduzierter Trägerbeiwert n-red	1.800
Kommentar	

Bild 3.48: Manuelle Definition des Trägerbeiwertes  $n_{red}$ 

## 5 Voutenträger

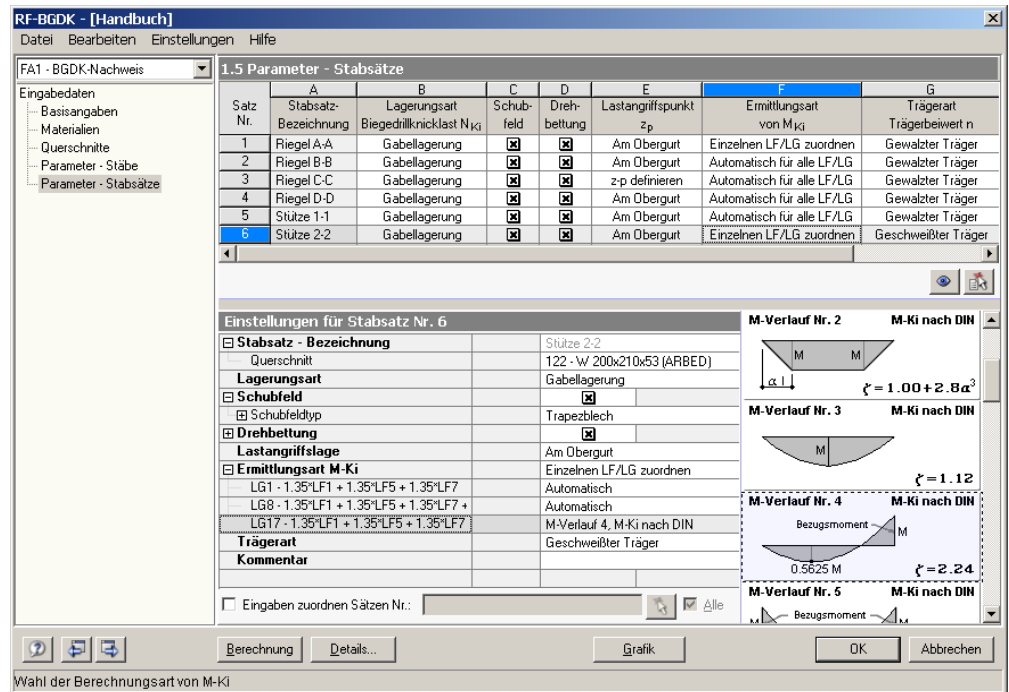


## 6 Voutenträger



## 3.5 Parameter - Stabsätze

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Stabsätze mit den jeweiligen Biegedrillknickparametern aufgelistet. Hierbei handelt es sich um die „Hauptparameter“, die in einem bidirektionalen Verhältnis zu den Angaben im Abschnitt unterhalb *Einstellungen für Stabsatz Nr.* stehen. Dort werden in einer Baumstruktur die Randbedingungen für den aktuellen Stabsatz im Detail verwaltet.

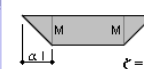


Stabsatz Nr.	Stabsatz-Bezeichnung	Lagerungsart	Schubfeld	Drehbettung	Lastangriffspunkt $z_p$	Ermittlungsart von $M_{Ki}$	Trägerart
1	Riegel A-A	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Einzelnen LF/LG zuordnen	Gewalzter Träger
2	Riegel B-B	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG	Gewalzter Träger
3	Riegel C-C	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	z-p definieren	Automatisch für alle LF/LG	Gewalzter Träger
4	Riegel D-D	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG	Gewalzter Träger
5	Stütze 1-1	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Automatisch für alle LF/LG	Gewalzter Träger
6	Stütze 2-2	Gabellagerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Am Obergurt	Einzelnen LF/LG zuordnen	Geschweißter Träger

Einstellungen für Stabsatz Nr. 6	
<input checked="" type="checkbox"/> Stabsatz - Bezeichnung	Stütze 2-2
Querschnitt	122 - W 200x210x53 (ARBED)
Lagerungsart	Gabellagerung
<input checked="" type="checkbox"/> Schubfeld	<input checked="" type="checkbox"/> Trapezblech
<input checked="" type="checkbox"/> Drehbettung	<input checked="" type="checkbox"/> Am Obergurt
<input checked="" type="checkbox"/> Lastangriffslage	Einzelnen LF/LG zuordnen
<input checked="" type="checkbox"/> Ermittlungsart M-Ki	Automatisch
LG1 - 1.35*LF1 + 1.35*LF5 + 1.35*LF7	Automatisch
LG8 - 1.35*LF1 + 1.35*LF5 + 1.35*LF7 +	Automatisch
LG17 - 1.35*LF1 + 1.35*LF5 + 1.35*LF7	M-Verlauf 4, M-Ki nach DIN
Trägerart	Geschweißter Träger
Kommentar	

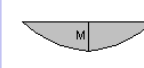
  



M-Verlauf Nr. 2

M-Ki nach DIN

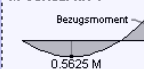
$\zeta = 1.00 + 2.8\alpha^2$



M-Verlauf Nr. 3

M-Ki nach DIN

$\zeta = 1.12$



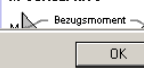
M-Verlauf Nr. 4

M-Ki nach DIN

Bezugsmoment

0.5625 M

$\zeta = 2.24$



M-Verlauf Nr. 5

M-Ki nach DIN

Bezugsmoment

Bild 3.49: Maske 1.5 Parameter - Stabsätze

Wird bei den „Hauptparametern“ im oberen Abschnitt eine Auswahl getroffen, verzweigt die Baumstruktur unterhalb. Die entstandenen Unterkapitel können über einen Mausklick auf [+] eingblendet und auf [-] geschlossen werden.



Unterhalb der Baumstruktur steht das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Sätzen Nr.* zur Verfügung. Wird dieses aktiviert, gelten die anschließend getroffenen Einstellungen für ausgewählte (manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische [Pick]-Auswahl) bzw. *Alle* Stabsätze. Mit dieser Option können mehreren Stabsätzen die gleichen Randbedingungen zugewiesen werden. Bitte beachten Sie, dass die Aktivierung dieser Funktion keine rückwirkende Zuweisung der bereits getroffenen Einstellungen zur Folge hat.

Die verschiedenen Biegedrillknickparameter sind bei der Beschreibung der vorherigen Maske 1.4 *Parameter - Stäbe* ausführlich erläutert. Die Parameter beziehen sich auf die Randbedingungen des aktuellen Stabsatzes, der in seiner Gesamtheit als Ersatzstab behandelt wird. Es sind dies im Einzelnen die folgenden Kapitel:

- Lagerungsart → Kapitel 3.4.2, Seite 49
- Schubfeld → Kapitel 3.4.3, Seite 53
- Drehbettung → Kapitel 3.4.4, Seite 57
- Lastangriffspunkt → Kapitel 3.4.5, Seite 64
- Ermittlung von  $M_{Ki}$  → Kapitel 3.4.6, Seite 65
- Trägerart → Kapitel 3.4.7, Seite 68

In der letzten Spalte **Kommentar** können für jeden Stabsatz benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um z. B. die gewählten Biegedrillknickparameter zu erläutern.

## 4. Berechnung

Berechnung

Der Biegedrillknicknachweis erfolgt mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen. Der Start der [Berechnung] erfolgt über die gleichnamige Schaltfläche.

### 4.1 Berechnungsdetails

Details...

Der Dialog zur Kontrolle diverser Berechnungsparameter kann mit der Schaltfläche [Details] aus jeder RF-BGDK-Maske aufgerufen werden.

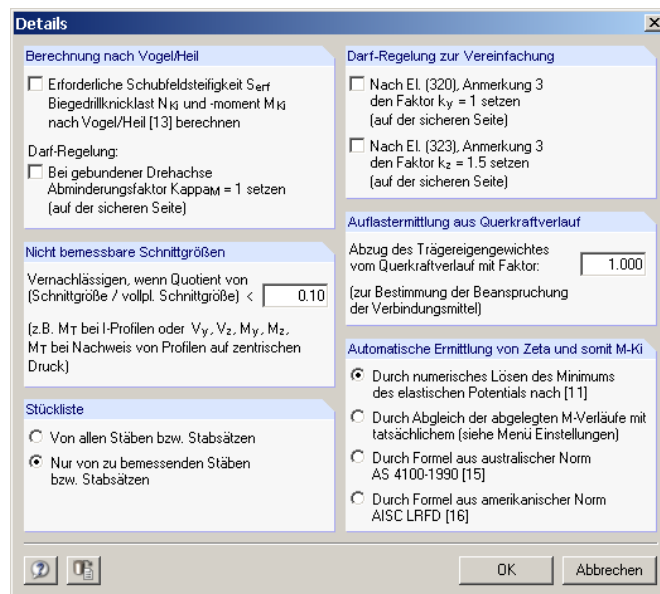


Bild 4.1: Dialog Details

#### Berechnung nach VOGEL/HEIL

Optional kann im Programm das Verfahren nach VOGEL/HEIL [13] angewandt werden, um

- die *erforderliche Schubsteifigkeit*  $S_{ert}$ ,
- die *Biegedrillknicklast*  $N_{Ki}$  und
- das *Biegedrillknickmoment*  $M_{Ki}$



zu ermitteln. Dieses Plastisch-Plastische Berechnungsverfahren ist nur für Gabellagerung mit einfacher Biegung bei gleichzeitiger Lasteinleitung am Obergurt gültig. Weitere Voraussetzungen sind in den Kapiteln 2.3.7 (Seite 16) und 2.4.7 (Seite 26) beschrieben, die unbedingt einzuhalten sind (z. B. doppelsymmetrische I-Profile). Bei nicht zulässigen Bedingungen wie beispielsweise Doppelbiegung gibt RF-BGDK eine entsprechende Fehlermeldung aus.

Zusätzlich kann der Abminderungsfaktor  $\kappa_M$  für die Biegemomente  $M_y$  auf der sicheren Seite liegend zu 1.0 gesetzt werden, falls eine gebundene Drehachse vorliegt.

#### Nicht bemessbare Schnittgrößen

Es lassen sich *Nicht bemessbare Schnittgrößen vernachlässigen* und so vom Nachweis ausklammern, wenn der Quotient von Schnittgröße zu vollplastischer Schnittgröße einen bestimmten Wert unterschreitet. Damit kann beispielsweise ein geringes Moment um die schwache Achse vernachlässigt und so das Verfahren für zweiachsige Biegung umgangen werden. Weitere Anwendungsfälle sind z. B. kleine Biegemomente bei zentrischem Druck, Doppelbiegung beim Verfahren nach VOGEL/HEIL oder planmäßige Torsion.

Dieser Quotient ist global mit 0.10 voreingestellt.

## Stückliste

Dieser Abschnitt steuert die Anzeige der Stücklisten-Ergebnismasken, die in den Kapiteln 5.8 und 5.9 beschrieben sind. Standardmäßig werden in dieser Querschnittsübersicht nur die Profile der im Bemessungsfall behandelten Stäbe und Stabsätze erfasst.

## Darf-Regelung zur Vereinfachung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (320) und Element (323), jeweils Anmerkung 3, dürfen die Beiwerte  $k_y$  und  $k_z$  zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs angenommen werden mit:

- $k_y = 1.0$
- $k_z = 1.5$

## Auflastermittlung aus Querkraftverlauf

Bei der Ermittlung der Auflast aus dem Querkraftverlauf kann das Eigengewicht mit einem Faktor vom Querkraftverlauf abgezogen werden. Diese Auflast ist für die automatische Ermittlung der Auflagerkraft  $A$  bei der Drehbettung nach LINDNER/GROESCHEL (siehe Kapitel 2.5, Seite 28 und Kapitel 3.4.4, Seite 60) sowie für den Nachweis der Verbindungsmittel (siehe Kapitel 2.8.1, Seite 36 und Kapitel 3.4.4, Seite 63) von Bedeutung.

## Automatische Ermittlung von Zeta

Soll die Ermittlung des  $\zeta$  - Beiwerts zur Bestimmung des idealen Biegedrillknickmoments  $M_{ki}$  automatisch erfolgen (siehe Kapitel 3.4.6, Seite 65), kann hier eine der folgenden Arten ausgewählt werden:

- Numerisches Lösen des elastischen Potentials (siehe Gleichung 2.19, Seite 21)
- Abgleich der Momentenverläufe
- Australische Norm AS 4100-1990 (siehe Gleichung 2.20, Seite 21)
- US-Norm AISC LRFD (siehe Gleichung 2.21, Seite 22)

Beim *Abgleich der Momentenverläufe* besteht nach dem Schließen des Dialogs die Möglichkeit, die Bibliothek der registrierten Momentenverläufe zu kontrollieren über Menü

### Einstellungen → Momentenbeiwerte Zeta.

Es öffnet sich ein Dialog, in dem über 600 tabellierte Momentenverläufe mit den zugeordneten  $\zeta$  - Beiwerten aufgelistet sind.



Bild 4.2: Dialog Zuordnung der Zeta-Faktoren zu Momentenverläufen



Diese Bibliothek ist editier- und erweiterbar, sodass die Möglichkeit von benutzerdefinierten Zuordnungen von  $\zeta$  - Beiwerten zu Momentenverläufen besteht.

Bitte beachten Sie, dass der Abgleich der Momentenverläufe während der Bemessung wesentlich zeitaufwändiger ist als die Ermittlung nach den übrigen drei Möglichkeiten.

## 4.2 Nachweise

Im Zuge der Berechnung werden die Nachweise auf der Grundlage der vorliegenden Randbedingungen geführt. Das Ergebnis wird dann in den Masken 2.1 bis 2.5 ausgewiesen. Im unteren Abschnitt dieser Masken sind die Zwischenergebnisse mit allen berechnungsrelevanten Parametern einsehbar. Die einzelnen Kapitel dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden.

Zwischenergebnisse Stab Nr. 2   x : 4000.000 mm   LG2	
<input type="checkbox"/>	Querschnittsmaße
<input type="checkbox"/>	Querschnittswerte
<input type="checkbox"/>	Schnittgrößen
<input type="checkbox"/>	Plastische Schnittgrößen
<input type="checkbox"/>	Gebundene Drehachse
<input type="checkbox"/>	Drehbettung
<input type="checkbox"/>	Biegedrillknicklast N-Ki
<input type="checkbox"/>	Voutenbedingungen
<input type="checkbox"/>	Abminderungsfaktor Kappa-z
<input type="checkbox"/>	Biegedrillknickmoment M-Ki
<input type="checkbox"/>	Abminderungsfaktor
<input type="checkbox"/>	Beiwerte k-y und k-z
<input type="checkbox"/>	Nachweis
<input type="checkbox"/>	Beanspruchung Verbindungsmittel

Bild 4.3: Zwischenergebnisse des Biegedrillknicknachweises

Bei den Zwischenergebnissen sind je nach Nachweisart folgende Hauptkapitel vorhanden:

Querschnittsmaße	Profilabmessungen mit Bauteildicken
Querschnittswerte	Bemessungsrelevante Profilkennwerte
Schnittgrößen	RFEM-Schnittgrößen einschließlich Randmomente
Plastische Schnittgrößen	Plastische Profilkennwerte (→ Kapitel 2.2, Seite 11)
Gebundene Drehachse	Drehbettung, Schubfeldsteifigkeit (→ Kapitel 2.4.6, Seite 24)
Drehbettung	Drehbettungsbeiwert $c_{9A,k}$ (→ Kapitel 2.5, Seite 26)
Biegedrillknicklast $N_{Ki}$	Verzweigungslast (→ Kapitel 2.3, Seite 13)
Voutenbedingungen	Überprüfung von Voutenstäben (→ Kapitel 2.9, Seite 39)
Abminderungsfaktor $\kappa_z$	Beiwert Biegeknicken (→ Kapitel 2.10, Seite 39)
Biegedrillknickmoment $M_{Ki}$	Beiwert $\zeta$ und Biegedrillknickmoment (→ Kapitel 2.4, Seite 18)
Abminderungsfaktor $\kappa_M$	Beiwert Biegedrillknicken (→ Kapitel 2.10, Seite 39)
Beiwerte $k_y$ und $k_z$	Beiwert Momentenverlauf (→ Kapitel 2.10, Seite 39)
Nachweis	Biegedrillknicknachweis und Nachweiskriterium
Beanspruchung Verbindungsmittel	Nachweis Verbindungsmittel (→ Kapitel 2.8, Seite 36)

Tabelle 4.1: Übersicht Zwischenergebnisse



## 4.3 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder der vier bzw. fünf Eingabemasken des RF-BGDK-Moduls kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

RF-BGDK sucht nach den Ergebnissen der zu analysierenden Lastfälle und Lastfallgruppen. Werden diese nicht gefunden, startet zunächst die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen. Dabei wird auf die vorgegebenen Berechnungsparameter von RFEM zurückgegriffen.

Wenn eine Optimierung der Querschnitte (vgl. Kapitel 8.2, Seite 94) erfolgen soll, werden die erforderlichen Profile ermittelt und die entsprechenden Nachweise geführt.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Berechnung der RF-BGDK-Ergebnisse initiiert werden. Die Zusatzmodule werden im Dialog *Zu berechnen* wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe aufgelistet. Dieser Dialog wird in RFEM aufgerufen über Menü

**Berechnung → Zu berechnen.**

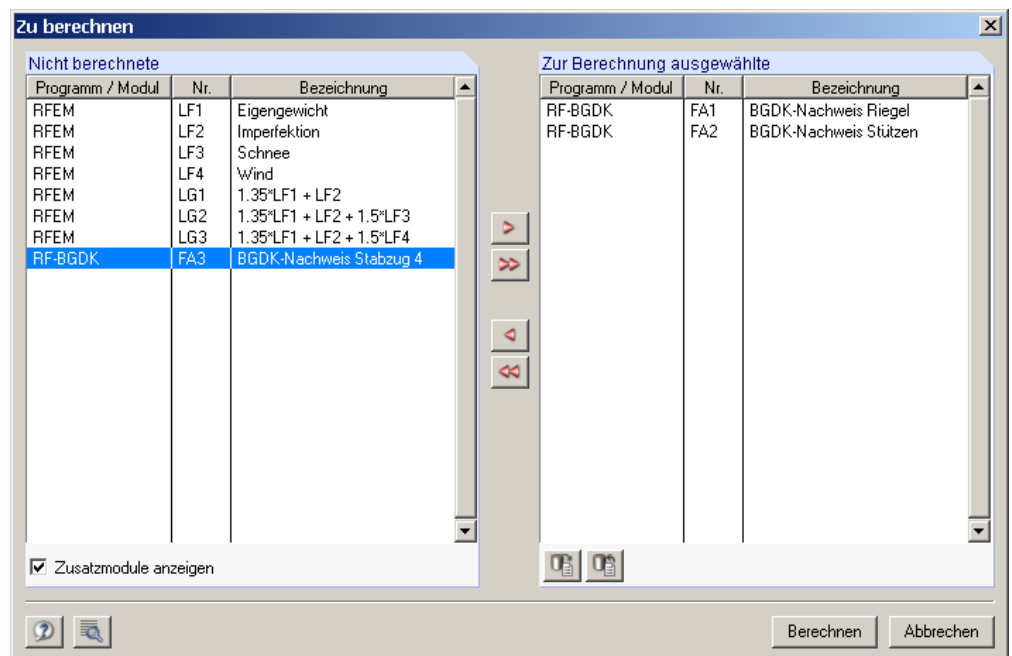


Bild 4.4: Dialog *Zu berechnen*

Falls die RF-BGDK-Bemessungsfälle in der Liste *Nicht berechnet* fehlen, muss das Kontrollfeld *Zusatzmodule anzeigen* aktiviert werden.

Mit der Schaltfläche [►] werden die selektierten RF-BGDK-Fälle in die rechte Liste übergeben. Die Berechnung wird dann mit der entsprechenden Schaltfläche gestartet.

Auch über die Liste der Symbolleiste kann ein bestimmter RF-BGDK-Fall direkt berechnet werden. Stellen Sie den gewünschten Bemessungsfall ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus].

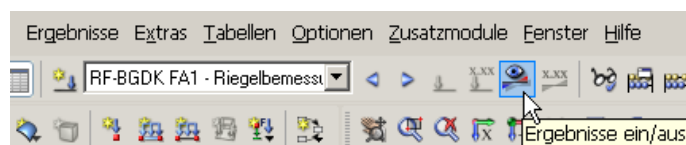


Bild 4.5: Direkte Berechnung eines RF-BGDK-Bemessungsfalls in RFEM

Der Ablauf der Bemessung kann anschließend in einem Dialog verfolgt werden.

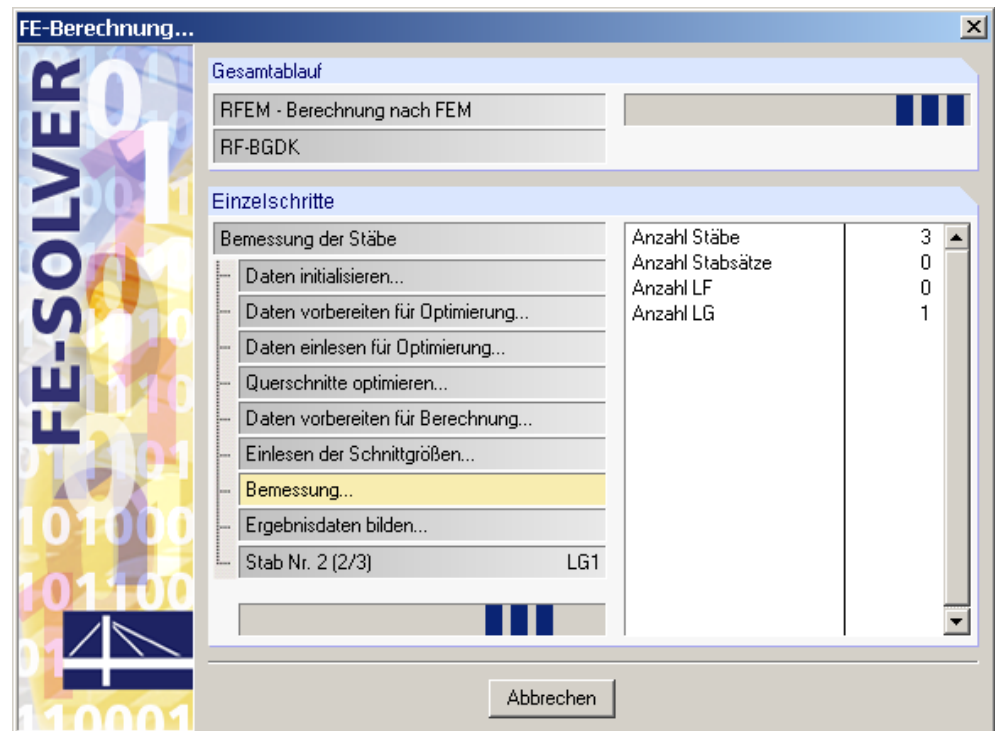
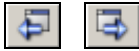


Bild 4.6: RF-BGDK-Berechnung

## 5. Ergebnisse



Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise*. In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 (bzw. 2.7 für die Verbindungsmittel) werden die Nachweise mitsamt Erläuterungen aufgelistet. Die Masken 3.1 und 3.2 sind für die Stückliste der Stäbe bzw. Stabsätze reserviert. Jede Ergebnismaske kann über den RF-BGDK-Navigator angesteuert werden. Alternativ benutzt man die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3], um eine Maske vor- oder zurückzublättern.

Mit [OK] werden die Ergebnisse gesichert und das RF-BGDK-Modul verlassen.

In diesem Handbuchkapitel werden die einzelnen Masken der Reihe nach vorgestellt. Die Auswertung und Kontrolle der Resultate ist im folgenden Kapitel 6 *Ergebnisauswertung* ab Seite 84 beschrieben.

Die Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 sind zweigeteilt. Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, die nach Querschnitten, Stäben oder x-Stellen geordnet ist. Im unteren Abschnitt werden die Zwischenergebnisse des aktuellen (d. h. des oben aktiven) Stabes mit allen berechnungsrelevanten Parametern ausgewiesen. Die einzelnen Kapitel in dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden.

### 5.1 Nachweise querschnittsweise

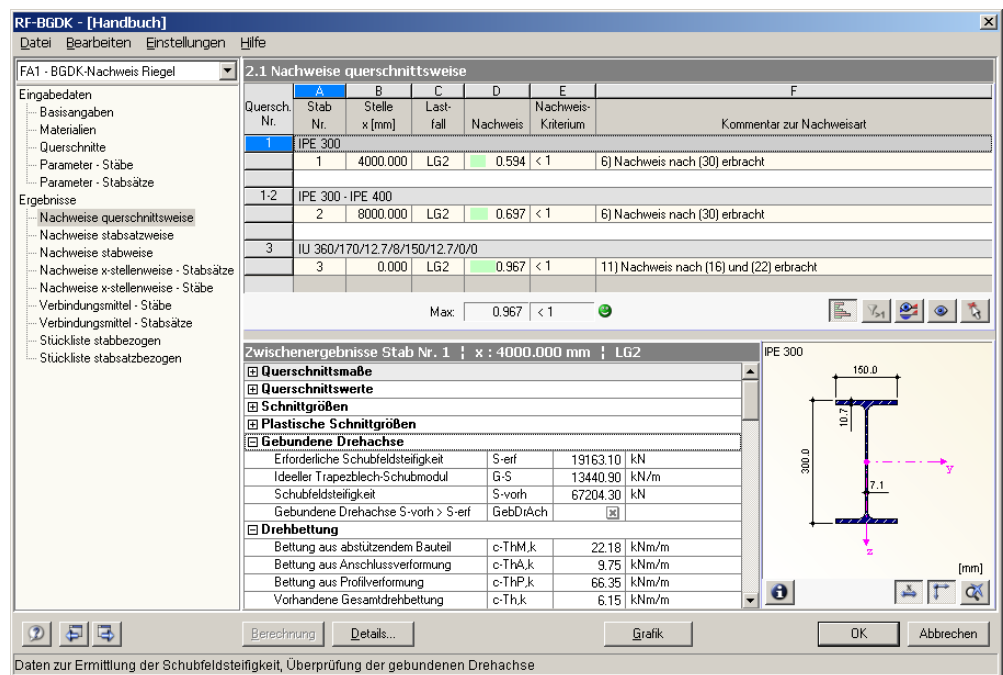


Bild 5.1: Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise*

In dieser Maske werden für alle zur Bemessung gewählten Stäbe die Maximalergebnisse der Nachweise ausgegeben, die sich aus den relevanten Lastfällen und Lastfallgruppen ergeben. Die Auflistung erfolgt nach Querschnitten geordnet. Liegt ein Voutenträger vor, werden beide Querschnittsbezeichnungen in der Zeile neben der Querschnittsnummer angegeben.

#### Stab Nr.

Für jeden Querschnitt wird die Nummer des Stabes angegeben, der jeweils den größten Nachweisquotienten aufweist.

## Stelle x


Es wird jeweils die x-Stelle im Stab angegeben, an der die maximale Ausnutzung ermittelt wurde. Zur tabellarischen Ausgabe werden folgende RFEM-Stabstellen x herangezogen:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung
- Extremwerte der Schnittgrößen

## Lastfall

In Spalte C wird der Lastfall bzw. die Lastfallgruppe ausgewiesen, dessen Schnittgrößen zum jeweiligen Maximum des Tragsicherheitsnachweises führen.

## Nachweis

Max: 0.92 ≤ 1 

Das Ergebnis der Biegedrillknickanalyse wird in Form eines Nachweisquotienten angegeben (vgl. Kapitel 2.10, Seite 39). Die jeweils maßgebende Gleichung ist in der Spalte *Kommentar* ersichtlich. Am Tabellenende erscheint der Maximalwert aller bemessenen Querschnitte. Wird das Nachweiskriterium nicht überschritten, so ist der Ergebniswert kleiner oder gleich 1.00 und der Tragsicherheitsnachweis gilt als erfüllt.



Die Werte dieser Spalte sind mit farbigen Balken hinterlegt, deren Länge die Ausnutzung des Querschnitts widerspiegeln. Ein grüner Balken bedeutet zudem, dass der Nachweis erfüllt ist, ein roter Balken weist auf eine Überschreitung hin. Die Darstellung dieser Balken kann über die links dargestellte Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.

## Nachweiskriterium

In dieser Spalte ist ersichtlich, ob das Nachweiskriterium von 1 eingehalten oder überschritten ist. Es liegen die gemäß DIN 18 800 Teil 2 für den Biegedrillknicknachweis relevanten Bedingungen zu Grunde.

## Kommentar zur Nachweisart

Die letzte Spalte verweist auf die Art des Nachweises oder Gleichung der DIN 18 800 Teil 2, die für den Tragsicherheitsnachweis maßgebend ist.

Die Schaltflächen unterhalb dieser Auflistung sind mit folgenden Funktionen belegt:






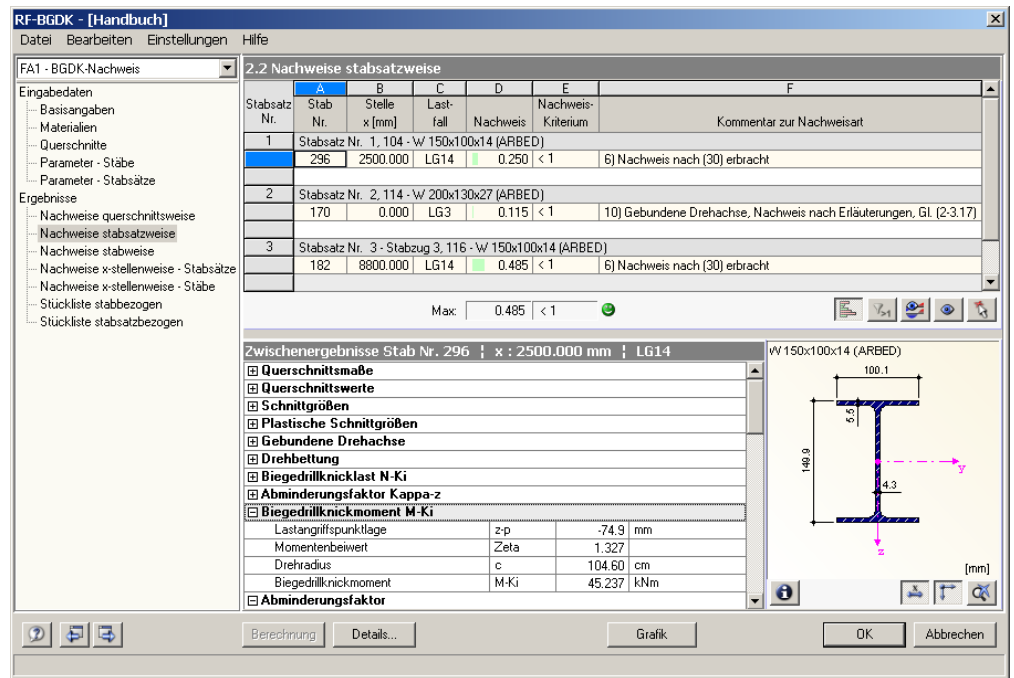
Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Relationsbalken	Blendet in den Ergebnismasken die farbigen Bezugsskalen ein und aus
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen die Ausnutzung größer als 1 und damit der Nachweis nicht erfüllt ist
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel 6.3, Seite 87
	Sichtmodus	Ermöglicht den Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um dort eine andere Ansicht einzustellen
	Stabauswahl	Ein Stab kann im RFEM-Fenster angeklickt werden, dessen Spannungen dann in der Tabelle erscheinen.

Tabelle 5.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

## 5.2 Nachweise stabsatzweise



**RF-BGDK - [Handbuch]**  
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - BGDK-Nachweis

**2.2 Nachweise stabsatzweise**

Stabsatz Nr.	Stab Nr.	Stelle x [mm]	Lastfall	Nachweis	Nachweis-Kriterium	Kommentar zur Nachweisart
1	Stabsatz Nr. 1, 104 - W 150x100x14 (ARBED)					
	296	2500.000	LG14	0.250	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
2	Stabsatz Nr. 2, 114 - W 200x130x27 (ARBED)					
	170	0.000	LG3	0.115	< 1	10) Gebundene Drehachse, Nachweis nach Erläuterungen, Gl. (2-3.17)
3	Stabsatz Nr. 3 - Stabzug 3, 116 - W 150x100x14 (ARBED)					
	182	8800.000	LG14	0.485	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht

Max: 0.485 < 1

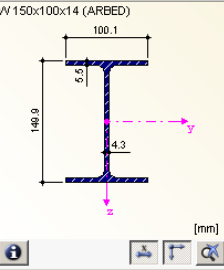
**Zwischenergebnisse Stab Nr. 296 | x : 2500.000 mm | LG14**

- ☒ Querschnittsmaße
- ☒ Querschnittswerte
- ☒ Schnittgrößen
- ☒ Plastische Schnittgrößen
- ☒ Gebundene Drehachse
- ☒ Drehbetting
- ☒ Biegedrillknicklast N-Ki
- ☒ Abminderungsfaktor Kappa-z
- ☒ Biegedrillknickmoment M-Ki

Lastangriffspunktlage	z-p	-74.9 mm
Momentenbeiwert	Zeta	1.327
Drehradius	c	104.60 cm
Biegedrillknickmoment	M-Ki	45.237 kNm

**Abminderungsfaktor**

**vv 150x100x14 (ARBED)**



OK Abbrechen

Bild 5.2: Maske 2.2 Nachweise stabsatzweise

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn ein oder mehrere Stabsätze zur Bemessung ausgewählt wurden. Die Auflistung der maximalen Ergebniswerte erfolgt nach Stabsätzen geordnet.

Die stabsatzweise Bemessung ermöglicht den Biegedrillknicknachweis für Gruppierungen, die aus aneinander anschließenden Stäben bestehen (z. B. Riegel oder Stütze), wodurch die Randbedingungen der Gesamtgruppierung korrekt erfasst werden.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.1 erläutert. In der Zeile mit der Stabsatzbezeichnung wird auch die Nummer und die Bezeichnung des Querschnitts angegeben, der im gesamten Stabsatz die maximale Ausnutzung aufweist.

## 5.3 Nachweise stabweise

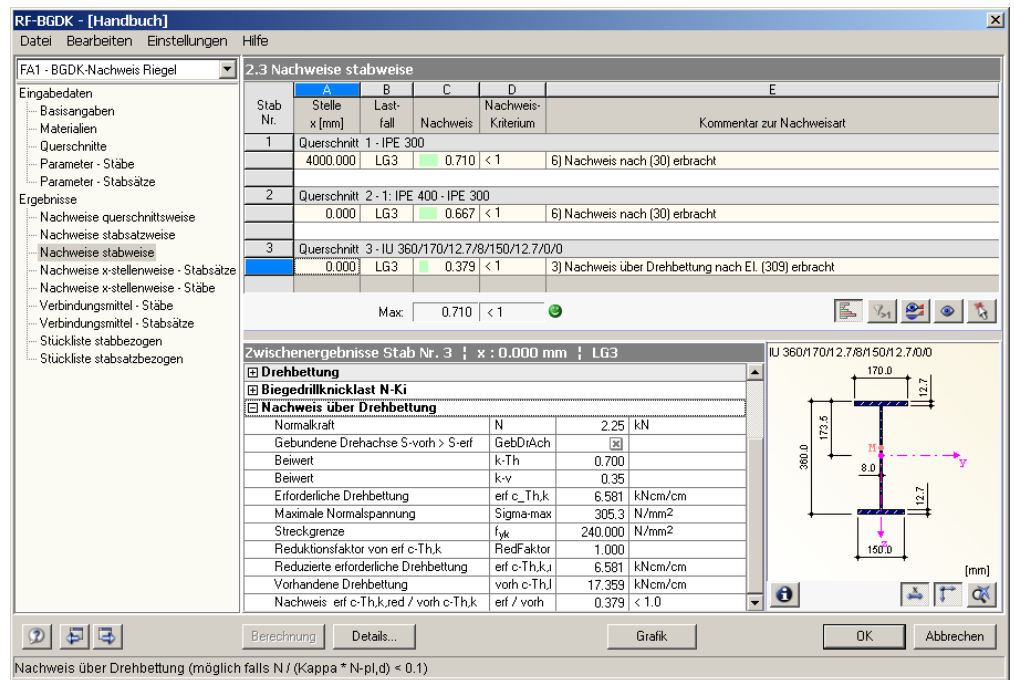


Bild 5.3: Maske 2.3 Nachweise stabweise

Diese Maske präsentiert die maximalen Ergebniswerte nach Stabnummern geordnet. Für jeden Stab wird die *Stelle x* angegeben, an der das Maximum auftritt.

Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.1 auf Seite 75 erläutert.

## 5.4 Nachweise x-stellenweise - Stabsätze

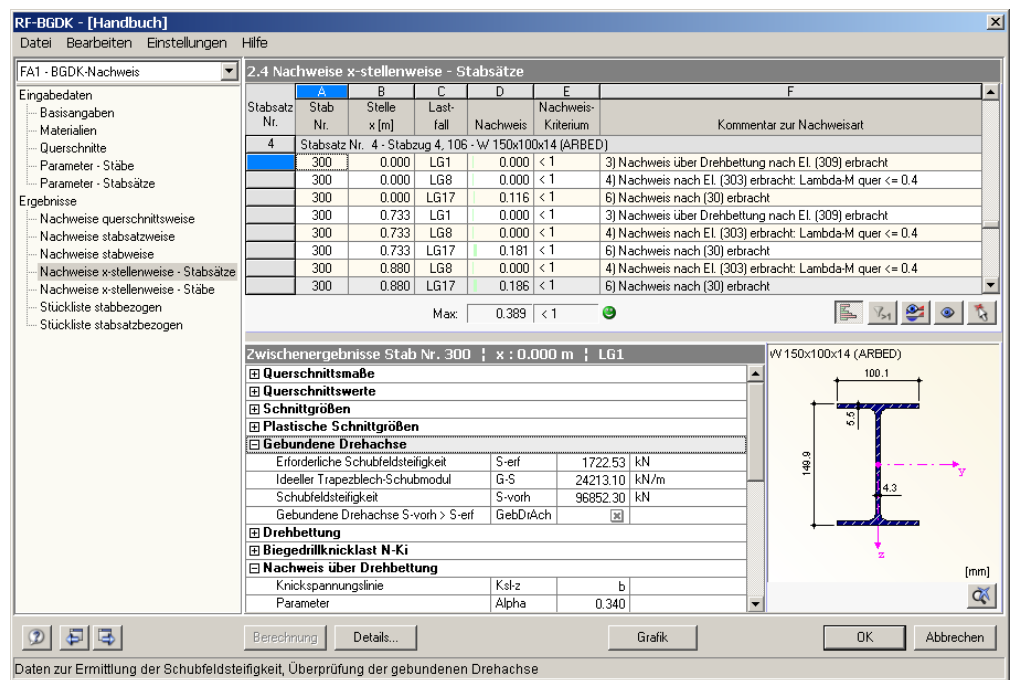


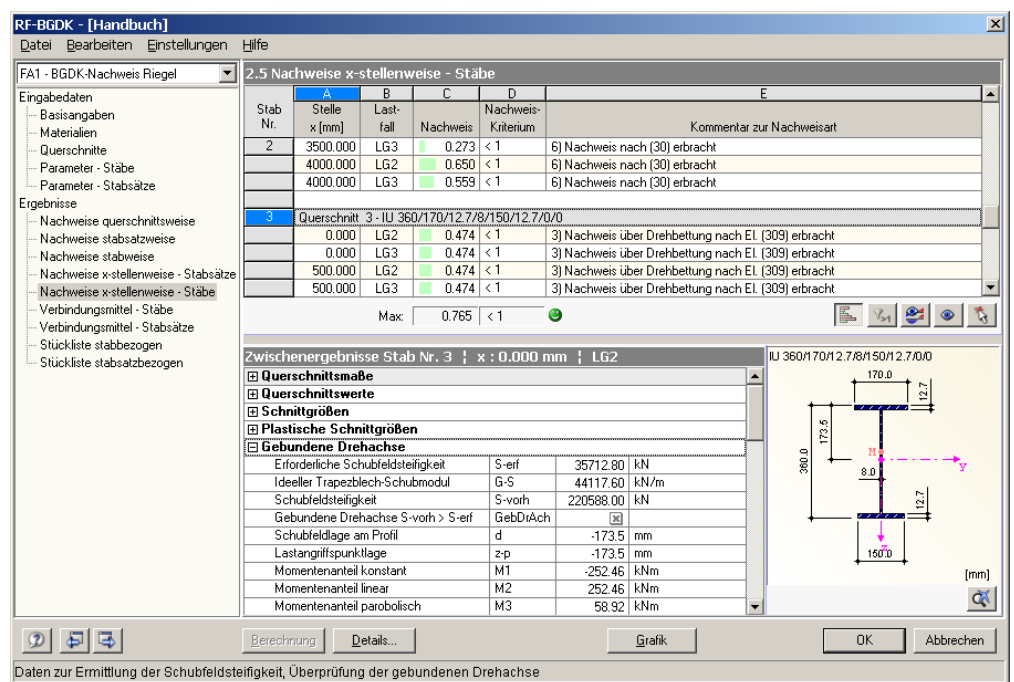
Bild 5.4: Maske 2.4 Nachweise x-stellenweise - Stabsätze

Es werden für jeden Stabsatz die Ergebnisse aufgelistet, die an den Stellen  $x$  der sich aus RFEM ergebenden Stabteilungen ermittelt werden:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung
- Vorgabe der Stabteilung für Stabergebnisse im Register *Optionen* des RFEM-Dialogs *Berechnungsparameter*
- Extremwerte der Schnittgrößen

An jeder Stelle  $x$  erscheinen die Nachweise für die einzelnen Lastfälle und Lastfallgruppen, die in Maske 1.1 *Basisangaben* zur Bemessung ausgewählt wurden.

## 5.5 Nachweise x-stellenweise - Stäbe



**RF-BGDK - [Handbuch]**

FA1 - BGDK-Nachweis Riegel

2.5 Nachweise x-stellenweise - Stäbe

Stab Nr.	Stelle x [mm]	Lastfall	Nachweis	Nachweis-Kriterium	Kommentar zur Nachweisart
2	3500.000	LG3	0.273	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
	4000.000	LG2	0.650	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
	4000.000	LG3	0.559	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
3	Querschnitt	3 - IU 360/170/12.7/8/150/12.7/0/0			
	0.000	LG2	0.474	< 1	3) Nachweis über Drehbettung nach EI (309) erbracht
	0.000	LG3	0.474	< 1	3) Nachweis über Drehbettung nach EI (309) erbracht
	500.000	LG2	0.474	< 1	3) Nachweis über Drehbettung nach EI (309) erbracht
	500.000	LG3	0.474	< 1	3) Nachweis über Drehbettung nach EI (309) erbracht

Max: 0.765 < 1

Zwischenergebnisse Stab Nr. 3 | x : 0.000 mm | LG2

**Querschnittsmaße**

**Querschnittsweite**

**Schnittgrößen**

**Plastische Schnittgrößen**

**Gebundene Drehachse**

Erforderliche Schubfeldsteifigkeit	S-erf	35712.80	kN
Ideeller Trapezblech-Schubmodul	G-S	44117.60	kN/m
Schubfeldsteifigkeit	S-vorh	220588.00	kN
Gebundene Drehachse S-vorh > S-erf	GebDIAch		
Schubfeldlage am Profil	d	-173.5	mm
Lastangriffspunktlage	z-p	-173.5	mm
Momentenanteil konstant	M1	-252.46	kNm
Momentenanteil linear	M2	252.46	kNm
Momentenanteil parabolisch	M3	58.92	kNm

Diagramm: IU 360/170/12.7/8/150/12.7/0/0

Geometrische Abmessungen (mm): 360.0, 173.5, 170.0, 12.7, 8.0, 150.0

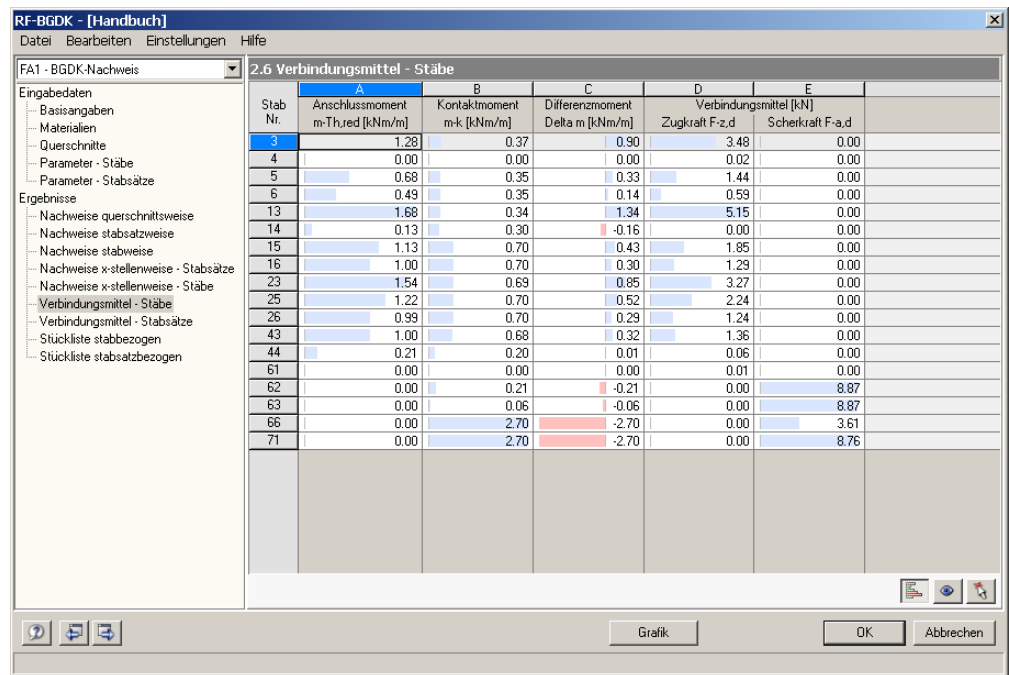
Buttons: Berechnung, Details..., Grafik, OK, Abbrechen

Daten zur Ermittlung der Schubfeldsteifigkeit, Überprüfung der gebundenen Drehachse

Bild 5.5: Maske 2.5 *Nachweise x-stellenweise - Stäbe*

Analog zur im vorherigen Kapitel 5.4 beschriebenen Ergebnismaske werden für jeden Stab die Detailergebnisse aufgelistet, die an den einzelnen Stellen  $x$  vorliegen. Im Kapitel 5.1 auf Seite 75 finden Sie die einzelnen Spalten der Maske erläutert.

## 5.6 Verbindungsmittel - Stäbe



Stab Nr.	A Anschlussmoment $m_{\text{Th,red}}$ [kNm/m]	B Kontaktmoment $m_k$ [kNm/m]	C Differenzmoment $\Delta m$ [kNm/m]	D Verbindungsmittel [kN] Zugkraft $F_{z,d}$	E Scherkraft $F_{s,d}$
3	1.28	0.37	0.90	3.48	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
5	0.68	0.35	0.33	1.44	0.00
6	0.49	0.35	0.14	0.59	0.00
13	1.68	0.34	1.34	5.15	0.00
14	0.13	0.30	-0.16	0.00	0.00
15	1.13	0.70	0.43	1.85	0.00
16	1.00	0.70	0.30	1.29	0.00
23	1.54	0.69	0.85	3.27	0.00
25	1.22	0.70	0.52	2.24	0.00
26	0.99	0.70	0.29	1.24	0.00
43	1.00	0.68	0.32	1.36	0.00
44	0.21	0.20	0.01	0.06	0.00
61	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
62	0.00	0.21	-0.21	0.00	8.87
63	0.00	0.06	-0.06	0.00	8.87
66	0.00	2.70	-2.70	0.00	3.61
71	0.00	2.70	-2.70	0.00	8.76

Bild 5.6: Maske 2.6 Verbindungsmittel - Stäbe

Wenn in Maske 1.4 *Parameter - Stäbe* bei einer Drehbettung die Beanspruchung der Verbindungsmittel zu ermitteln ist (vgl. Kapitel 3.4.4, Seite 62), werden in der vorliegenden Ausgabemaske die Ergebnisse für die entsprechenden Stäbe aufgelistet.

In dieser Zusammenfassung werden die Anschluss- und Kontaktmomente sowie die daraus resultierenden Differenzmomente ausgewiesen, mit denen die Zug- und Scherkräfte der Verbindungsmittel bestimmt werden. Diese Kräfte muss das Verbindungsmittel aufnehmen können, damit wirkliche Drehbettung vorliegt.

### Anschlussmoment $m_{\theta,red}$

Falls das Moment  $M_y$  kleiner als  $M_{y,pl,d}$  ist, kann das reduzierte Anschlussmoment gemäß Gleichung 2.61 auf Seite 36 bestimmt werden. Bei nicht kontinuierlicher Bettung erfolgt die Umrechnung auf ein Einzelmoment je Anschlussstelle (siehe Gleichung 2.66, Seite 38).

### Kontaktmoment $m_k$

Da die Beanspruchung der Schrauben vor dem Erreichen des Kontaktmomentes gering ist, darf näherungsweise so vorgegangen werden, dass durch die Verbindungsmittel nur jeweils der Teil des Anschlussmomentes abgedeckt werden muss, der nicht durch das Kontaktmoment übertragbar ist. Das Kontaktmoment wird gemäß Gleichung 2.62 (kontinuierliche Bettung) bzw. Gleichung 2.67 (nicht kontinuierliche Bettung) ermittelt.

### Differenzmoment $\Delta m$

Durch die Verbindungsmittel muss das Differenzmoment aufgenommen werden, das mit Gleichung 2.63 bestimmt wird.

### Verbindungsmittel Zugkraft $F_{z,d}$

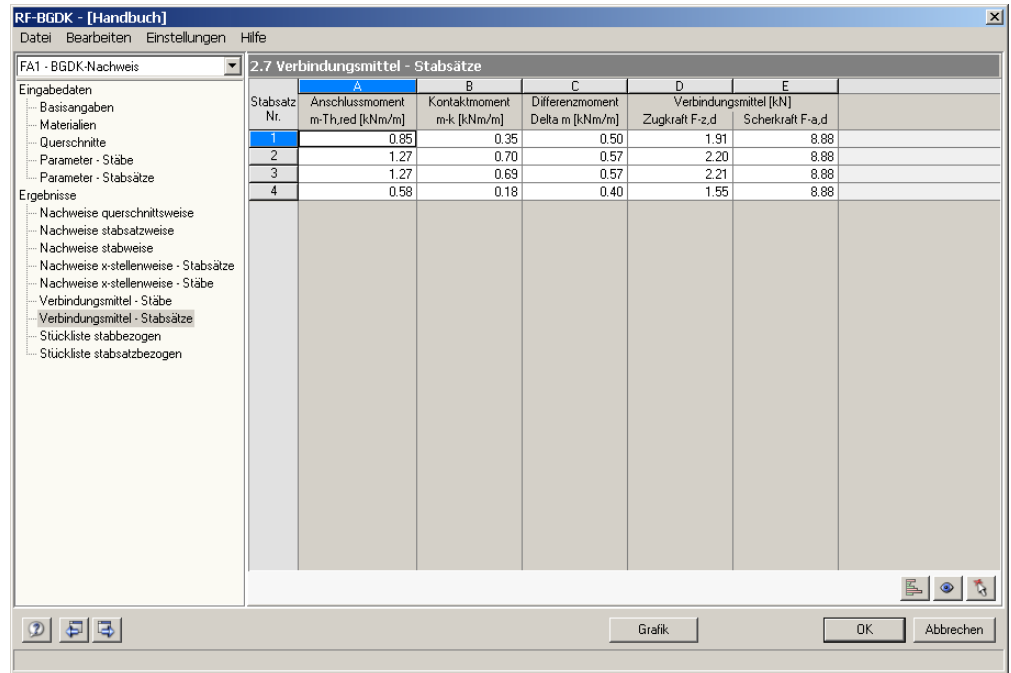
Die Bemessungskraft  $F_{z,d}$  des Verbindungsmittels ergibt sich nach Gleichung 2.64 bei kontinuierlicher Bettung bzw. nach Gleichung 2.68 bei nicht kontinuierlicher Bettung. Dabei wird in letzterem Fall vorausgesetzt, dass vier Schrauben pro Anschluss verwendet werden.



## Verbindungsmittel Scherkraft $F_{a,d}$

Bei kontinuierlicher Bettung wird die Abscherkraft für die Verbindungsmittel gemäß Gleichung 2.65 bestimmt, bei nicht kontinuierlicher Bettung gemäß Gleichung 2.69.

## 5.7 Verbindungsmittel - Stabsätze



2.7 Verbindungsmittel - Stabsätze					
Stabsatz Nr.	A Anschlussmoment m-Th,red [kNm/m]	B Kontaktmoment m-k [kNm/m]	C Differenzmoment Delta m [kNm/m]	D Verbindungsmittel [kN] Zugkraft F-z,d	E Scherkraft F-a,d
1	0.85	0.35	0.50	1.91	8.88
2	1.27	0.70	0.57	2.20	8.88
3	1.27	0.69	0.57	2.21	8.88
4	0.58	0.18	0.40	1.55	8.88

Bild 5.7: Maske 2.7 Verbindungsmittel - Stabsätze

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, falls in Maske 1.5 *Parameter - Stabsätze* die Beanspruchung der Verbindungsmittel für einen oder mehrere Stabsätze mit Drehbettung vorgegeben ist (vgl. Kapitel 3.5). Die Auflistung erfolgt hier für die relevanten Stabsätze.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.6 erläutert, der theoretische Hintergrund ist in Kapitel 2.8 ab Seite 36 ausführlich beschrieben.

## 5.8 Stückliste stabbezogen

RF-BGDK - [Handbuch]

Daten Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - BGDK-Nachweis

3.1 Stückliste stabbezogen

Position Nr.	A Querschnitt	B Anzahl Stäbe	C Länge [m]	D G-Länge [m]	E Oberfläche [m²]	F Volumen [m³]	G E-Gewicht [kg/m]	H Gewicht [kg]	G-Gewicht [kg]
1	1 - IPE 500	6	6.000	36.000	62.784	0.418	91.060	546.360	3278.160
2	2 - IPE 360 / 3 - IS 450/190/9.4	8	3.011	24.091	36.066	0.202	65.836	198.254	1586.030
3	2 - IPE 360	8	3.262	26.100	35.313	0.190	57.069	186.188	1489.500
4	2 - IPE 360	8	6.274	50.192	67.910	0.365	57.069	358.053	2864.420
5	1 - IPE 500	4	3.000	12.000	20.928	0.139	91.060	273.180	1092.720
6	10 - HE-A 140	3	3.000	9.000	7.146	0.028	24.649	73.947	221.841
7	10 - HE-A 140	2	3.546	7.092	5.631	0.022	24.649	87.405	174.811
8	10 - HE-A 140	1	4.094	4.094	3.251	0.013	24.649	100.913	100.913
9	15 - HE-A 200	4	3.000	12.000	13.680	0.065	42.233	126.699	506.796
10	6 - HE-A 160	3	3.000	9.000	8.154	0.035	30.458	91.374	274.122
11	6 - HE-A 160	2	3.546	7.092	6.425	0.028	30.458	108.004	216.008
12	6 - HE-A 160	1	4.094	4.094	3.709	0.016	30.458	124.695	124.695
13	7 - HE-A 120	4	6.274	25.095	16.999	0.063	19.860	124.601	498.404
14	9 - IPE 360	8	6.250	50.000	67.650	0.363	57.070	356.684	2853.480
15	6 - HE-A 160	2	6.546	13.092	11.861	0.051	30.458	199.378	398.756
16	6 - HE-A 160	1	7.094	7.094	6.427	0.028	30.458	216.069	216.069
Summe		65		296.035	373.925	2.025			1.59E+04

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 5.8: Maske 3.1 Stückliste stabbezogen

Details...

Abschließend wird eine Zusammenfassung der im Bemessungsfall behandelten Profile ausgegeben. Als Standard werden nur die bemessenen Stäbe in dieser Liste erfasst. Wird eine Stückliste von allen Stäben der Struktur gewünscht, lässt sich dies im Dialog *Details* einstellen (vgl. Bild 4.1, Seite 70). Der Dialog wird über die gleichnamige Schaltfläche aufgerufen.

### Position Nr.

Es werden automatisch Positionsnummern für gleichartige Stäbe vergeben.

### Querschnitt

In dieser Spalte werden die Querschnittsbezeichnungen aufgelistet.

### Anzahl Stäbe

Es wird für jede Position angegeben, wie viele gleichartige Stäbe zur Verwendung kommen.

### Länge

In dieser Spalte wird die Länge eines einzelnen Stabes ausgewiesen.

### Gesamtlänge

Diese Spalte stellt das Produkt aus den beiden vorherigen Spalten dar.

### Oberfläche

Es wird die auf die Gesamtlänge bezogene Oberfläche der jeweiligen Positionen angegeben, die aus der *Mantelfläche* der Profile ermittelt wird. Diese kann in den Masken 1.3 bis 2.5 bei den Querschnittsinformationen kontrolliert werden.



## Volumen

Das Volumen einer Position ermittelt sich aus der Querschnittsfläche und der Gesamtlänge.

## E-Gewicht

Das *Einheitsgewicht* des Querschnitts stellt die auf den Meter Länge bezogene Masse dar. Bei Voutenquerschnitten erfolgt eine Mittelung der beiden Profilkennwerte.

## Gewicht

Diese Spalte ermittelt sich aus dem Produkt der Spalten C und G.

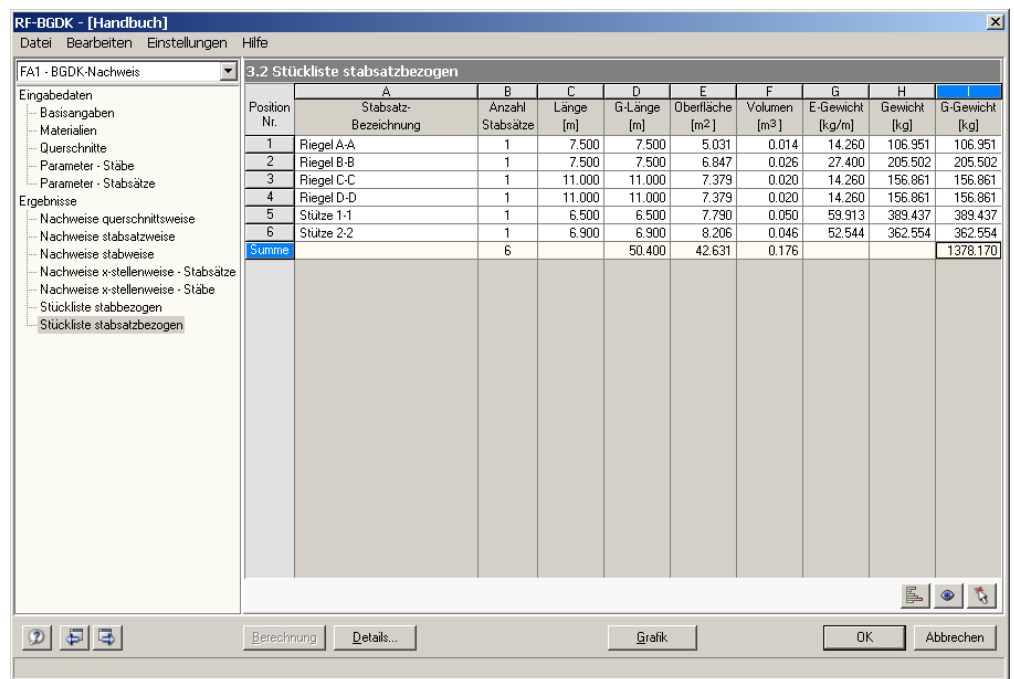
## Gesamtgewicht

In der letzten Spalte wird das Gesamtgewicht der jeweiligen Position angegeben.

## Summe

Den unteren Abschluss der Auflistung bildet die Angabe der jeweiligen Spaltensummen. Im Feld *Gesamtgewicht* kann die benötigte Stahlmenge abgelesen werden.

## 5.9 Stückliste stabsatzbezogen



Position Nr.	A Stabsatz- Bezeichnung	B Anzahl Stabsätze	C Länge [m]	D G-Länge [m]	E Oberfläche [m²]	F Volumen [m³]	G E-Gewicht [kg/m]	H Gewicht [kg]	I G-Gewicht [kg]
1	Riegel A-A	1	7.500	7.500	5.031	0.014	14.260	106.951	106.951
2	Riegel B-B	1	7.500	7.500	6.847	0.026	27.400	205.502	205.502
3	Riegel C-C	1	11.000	11.000	7.379	0.020	14.260	156.861	156.861
4	Riegel D-D	1	11.000	11.000	7.379	0.020	14.260	156.861	156.861
5	Stütze 1-1	1	6.500	6.500	7.790	0.050	59.913	389.437	389.437
6	Stütze 2-2	1	6.900	6.900	8.206	0.046	52.544	362.954	362.954
	<b>Summe</b>	<b>6</b>		<b>50.400</b>	<b>42.631</b>	<b>0.176</b>			<b>1378.170</b>

Bild 5.9: Maske 3.2 Stückliste stabsatzbezogen

Die letzte RF-BGDK-Maske steht nur dann zur Verfügung, wenn ein oder mehrere Stabsätze zur Bemessung ausgewählt wurden. Die stabsatzweise Ausgabe bietet den Vorteil einer zusammenfassenden Stückliste für eine ganze Baugruppe (z. B. einen Rahmen).

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.8 erläutert. Bei unterschiedlichen Profilen im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Einheitsgewicht gemittelt.

## 6. Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse auszuwerten. Hierfür erweisen sich insbesondere die Zwischenergebnisse im unteren Bereich der Ergebnismasken hilfreich. Die grafische Auswertung kann im RFEM-Arbeitsfenster erfolgen.

### 6.1 Zwischenergebnisse

Die Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 sind zweigeteilt. Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, die nach Querschnitten, Stäben oder x-Stellen geordnet ist. Im unteren Abschnitt werden die Zwischenergebnisse des aktuellen (d. h. des oben aktiven) Stabes mit allen berechnungsrelevanten Parametern detailliert ausgewiesen.

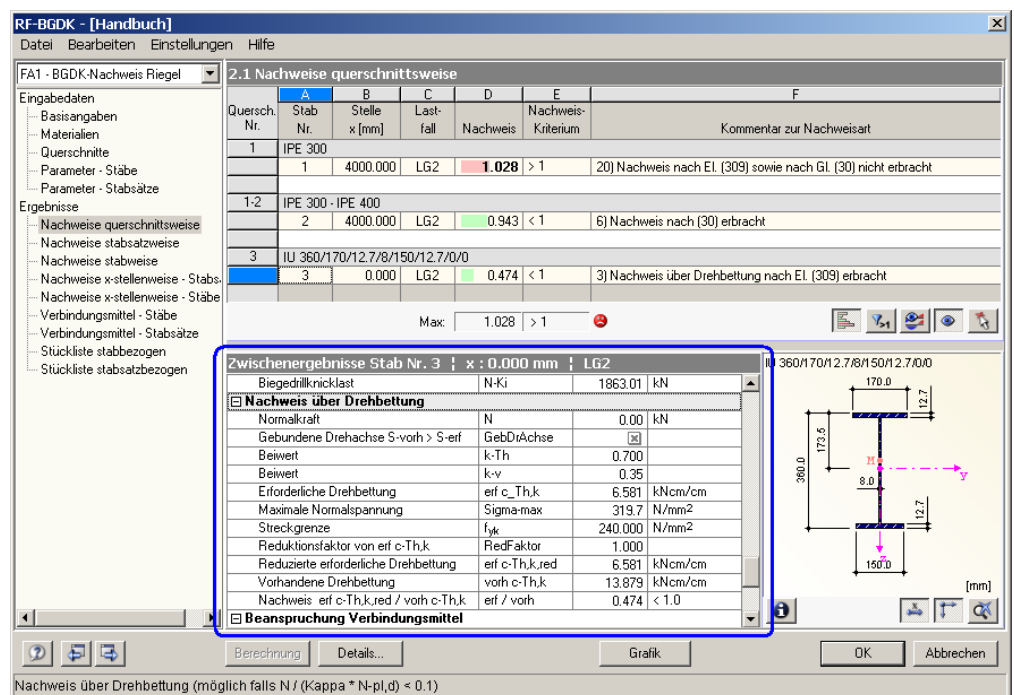


Bild 6.1: Zwischenergebnisse des selektierten Stabes

Die einzelnen Kapitel in dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden. Je nach Nachweis sind dies wie im Bild 4.3 auf Seite 72 dargestellt folgende Hauptkapitel (vgl. auch Tabelle 4.1 *Übersicht Zwischenergebnisse*, Seite 72):

- Querschnittsmaße
- Querschnittswerte
- Schnittgrößen
- Plastische Schnittgrößen
- Gebundene Drehachse
- Drehbettung
- Biegedrillknicklast  $N_{Ki}$
- Abminderungsfaktor  $\kappa_z$
- Biegedrillknickmoment  $M_{Ki}$
- Abminderungsfaktor  $\kappa_M$
- Beiwerte  $k_y$  und  $k_z$
- Nachweis
- Beanspruchung Verbindungsmittel

## 6.2 Ergebnisse am RFEM-Modell

Zur grafischen Auswertung der Bemessungsergebnisse kann das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden. Zum einen ist die RFEM-Grafik im Hintergrund hilfreich, wenn man die Lage eines bestimmten Stabes im Modell kontrollieren möchte: Der in der Ergebnismaske selektierte Stab wird in der Hintergrundgrafik von RFEM in der Selektionsfarbe hervorgehoben. Ein Pfeil kennzeichnet zusätzlich die x-Stelle am Stab, die in der aktuellen Zeile der RF-BGDK-Maske als maßgebend ausgewiesen ist.

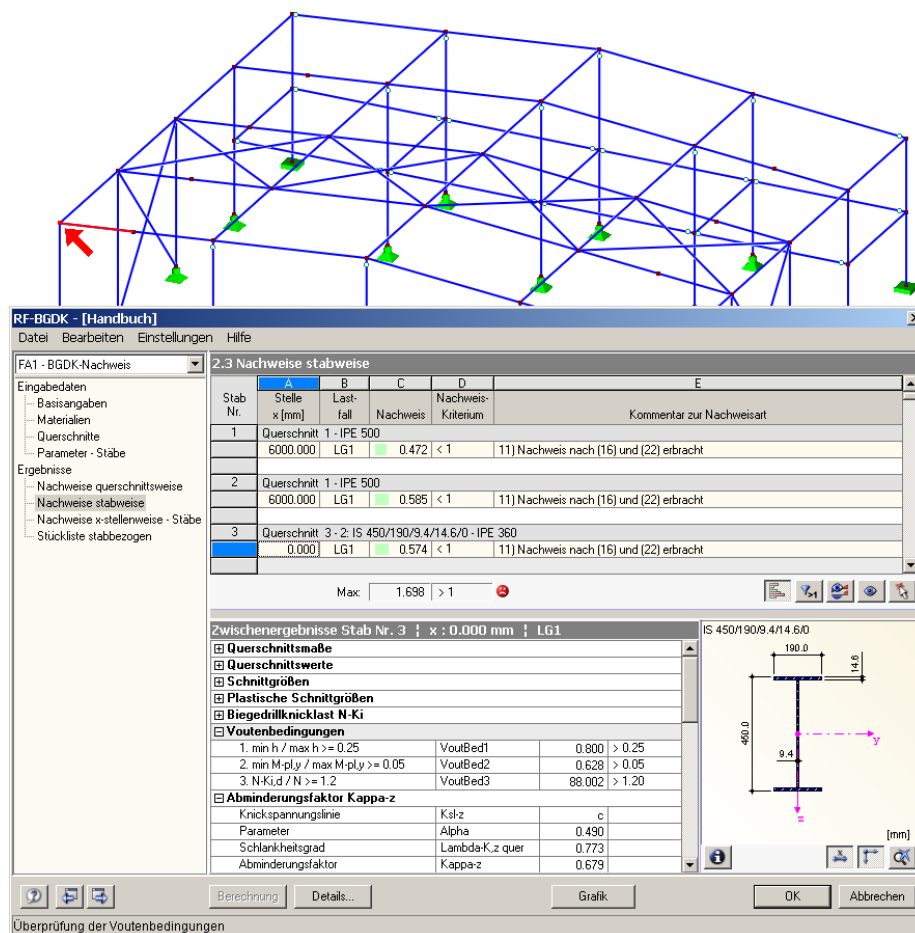


Bild 6.2: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell



Sollte sich eine ungünstige Ansicht auch durch das Verschieben des RF-BGDK-Fensters nicht beheben lassen, kann man über die Schaltfläche [Ansicht ändern] in den so genannten *Sichtmodus* wechseln: Das RF-BGDK-Fenster wird ausgeblendet und in der RFEM-Oberfläche kann nun die Anzeige geändert werden. In diesem Modus stehen nur die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Ansicht.

Grafik

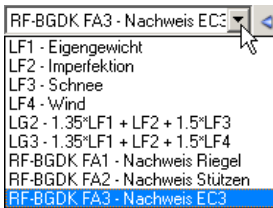
Zum anderen lassen sich sowohl die Spannungen als auch die Ausnutzungsgrade direkt am Strukturmodell visualisieren. Mit der Schaltfläche [Grafik] wird das RF-BGDK-Modul verlassen. Im RFEM-Arbeitsfenster wird das Nachweiskriterium grafisch wie eine Lastfallschnittgröße dargestellt.



Ein *Ergebnisse*-Navigator wird für RF-BGDK nicht angeboten, da keine grafische Auswertung der Zwischenergebnisse möglich ist.



Wie bei den RFEM-Schnittgrößen blendet die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Darstellung der Bemessungsergebnisse ein oder aus, die rechts davon angeordnete Schaltfläche [Ergebnisse mit Werten anzeigen] steuert die Anzeige der Ergebnismerte in der Grafik.



Da die RFEM-Tabellen für die Auswertung der RF-BGDK-Ergebnisse keine Funktion haben, können sie ggf. deaktiviert werden.

Die Auswahl der Bemessungsfälle erfolgt wie gewohnt über die Liste in der RFEM-Menüleiste.

Die Steuerung der Ergebnispräsentation kann über den *Zeigen-Navigator* unter dem Eintrag *Ergebnisse* → *Stäbe* erfolgen. Standardmäßig wird das Nachweiskriterium *zweififarbig* dargestellt (d. h. letztendlich einfarbig, da keine negativen Nachweisquotienten entstehen).

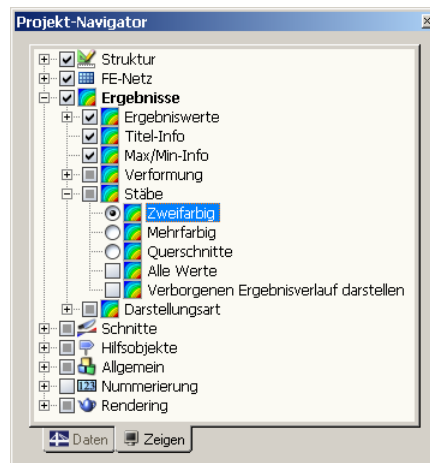


Bild 6.3: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe



Bei einer mehrfarbigen Darstellung steht das farbige Panel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Dessen Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.6 ab Seite 73 ausführlich beschrieben. Wie bei den Stabschnittgrößen kann im Register *Filter* eine Skalierung der Bemessungsergebnisse vorgenommen werden. Gibt man dort im Eingabefeld *Stabverläufe* den Faktor *0* vor, erfolgt die Darstellung der Ausnutzung automatisch in einer stärkeren Liniendicke.

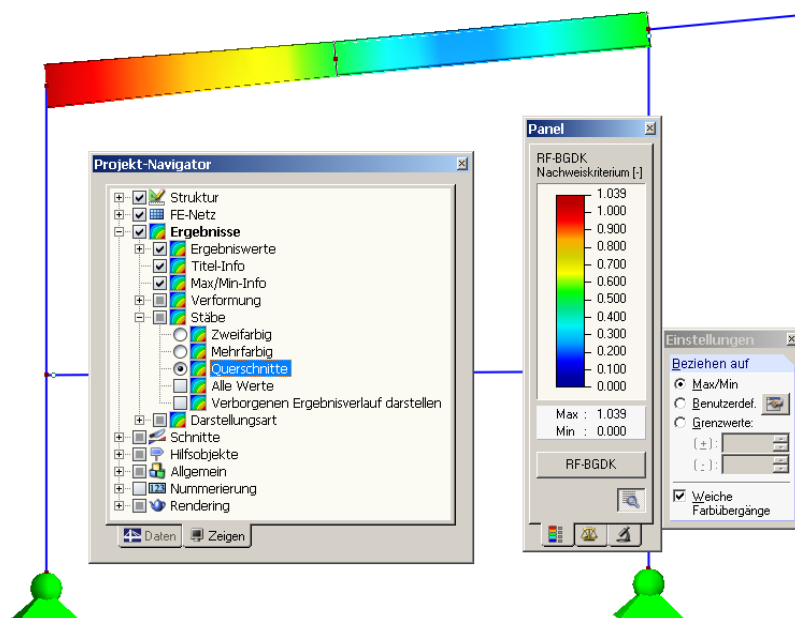
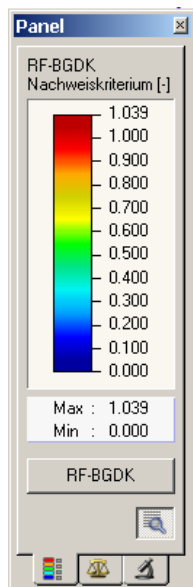


Bild 6.4: RF-BGDK-Nachweiskriterium mit Darstellungsoption *Querschnitte*

Diese Grafiken lassen sich wie RFEM-Grafiken in das Ausdruckprotokoll übertragen (siehe Kapitel 7.2, Seite 90).

Die Rückkehr in das RF-BGDK-Modul ist über die Schaltfläche [RF-BGDK] im Panel möglich.

## 6.3 Ergebnisverläufe



Möchte man für einen bestimmten Stab den Ergebnisverlauf grafisch ablesen, bietet sich das Ergebnisdiagramm an. Selektieren Sie zunächst in der RF-BGDK-Ergebnismaske den Stab bzw. Stabsatz und aktivieren das Ergebnisdiagramm dann über die links dargestellte Schaltfläche. Diese befindet sich oberhalb der Querschnittsgrafik.

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü

**Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben**



oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symboleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf des Nachweiskriteriums am gewählten Stab bzw. Stabsatz anzeigt.

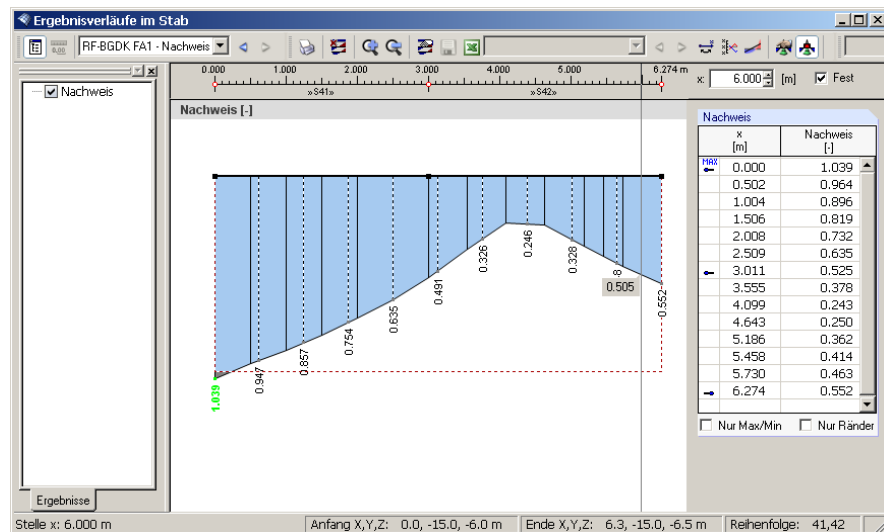


Bild 6.5: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Im Navigator links steht für RF-BGDK nur die Option *Nachweis* zur Auswahl. Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den RF-BGDK-Bemessungsfällen gewechselt werden. Im grafischen Ergebnisverlauf wird der Bereich, in dem der Nachweis erfüllt ist, durch eine horizontale Strichlinie abgegrenzt.

Eine ausführliche Beschreibung des Dialogs *Ergebnisverläufe* finden Sie im Kapitel 10.5 des RFEM-Handbuchs ab Seite 306.

## 6.4 Filter für Ergebnisse



Neben den RF-BGDK-Ergebnismasken, die durch ihre Strukturierung bereits eine Auswahl nach bestimmten Kriterien erlauben, stehen die im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten zur grafischen Auswertung der Bemessungsergebnisse zur Verfügung.



Zum einen kann auf bereits definierte Ausschnitte zurückgegriffen werden (vgl. RFEM-Handbuch, Kapitel 10.9 ab Seite 314), die es gestatten, Objekte in geeigneter Weise zu gruppieren.

Zum anderen ist es möglich, den Nachweis als Filterkriterium in der RFEM-Arbeitsfläche zu benutzen. Hierfür muss das Panel angezeigt werden. Sollte es nicht aktiv sein, kann es einblendet werden über Menü

**Ansicht → Steuerpanel**

oder die entsprechende Schaltfläche in der *Ergebnisse*-Symboleiste.

Das Panel ist im Kapitel 4.4.6 des RFEM-Handbuchs ab Seite 73 beschrieben. Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse werden im Register *Farbskala* vorgenommen. Da dieses bei der zweifarbigen Schnittgrößenanzeige nicht zur Verfügung steht, muss im *Zeigen-Navigator* auf die Darstellungsarten *Mehrfarbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden.

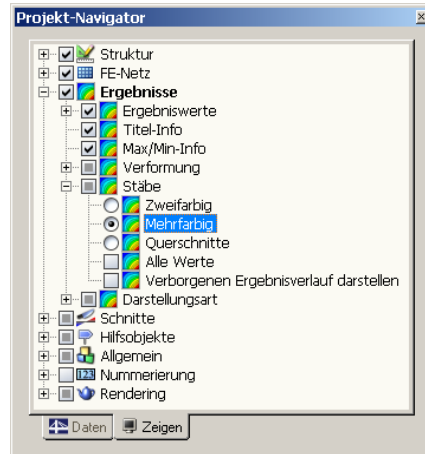


Bild 6.6: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe → Mehrfarbig

Bei einer mehrfarbigen Ergebnisanzeige kann im Panel beispielsweise eingestellt werden, dass nur Nachweisquotienten ab 0.50 angezeigt werden. Die Farbskala ist so bearbeitet, dass ein Farbbereich jeweils 0.05 abdeckt (siehe Bild 6.7 auf der folgenden Seite).

Über die Option *Verborgenen Ergebnisverlauf darstellen* (im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag Ergebnisse → Stäbe) ließen sich die Ergebnisse einblenden, die diese Bedingung nicht erfüllen. Sie würden dann strichlinienhaft dargestellt werden.

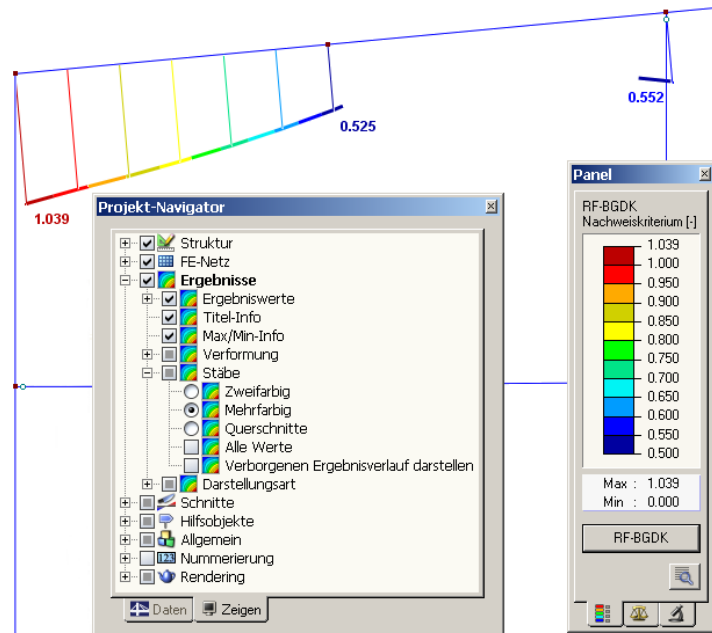


Bild 6.7: Filtern der Nachweise mit angepasster Farbskala

### Filtern von Stäben



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern der Stäbe bestimmt werden, deren Ergebnisse in der Grafik gefiltert zur Anzeige kommen sollen. Die Beschreibung dieser Funktion finden Sie im Kapitel 10.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 316.

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird die Struktur vollständig mit angezeigt.



# 7. Ausdruck

## 7.1 Ausdruckprotokoll

Wie für RFEM wird zunächst ein Ausdruckprotokoll mit den RF-BGDK-Daten generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Zudem kann in dieser Druckvorschau festgelegt werden, welche Ergebnisse der Biegedrillknickuntersuchung schließlich im Ausdruck erscheinen.



Bei sehr großen Strukturen ist es ratsam, anstelle eines einzigen, umfangreichen Protokolls die Daten auf mehrere kleine Protokolle aufzuteilen. Legt man ein separates Protokoll nur für die RF-BGDK-Daten an, kann dieses Ausdruckprotokoll relativ schnell aufgebaut werden.

Das Ausdruckprotokoll ist im RFEM-Handbuch ausführlich beschrieben. Insbesondere das Kapitel 11.1.3.4 *Selektion der Zusatzmodul-Daten* auf Seite 330 behandelt die Auswahl der Ein- und Ausgabedaten in den Zusatzmodulen.



Eine besondere Selektionsmöglichkeit besteht bei der Auswahl der RF-BGDK-Ergebnisdaten. Über die [Details]-Schaltflächen lässt sich ein weiterer Dialog aufrufen, der die Auswahl der Zwischenergebnisse regelt.

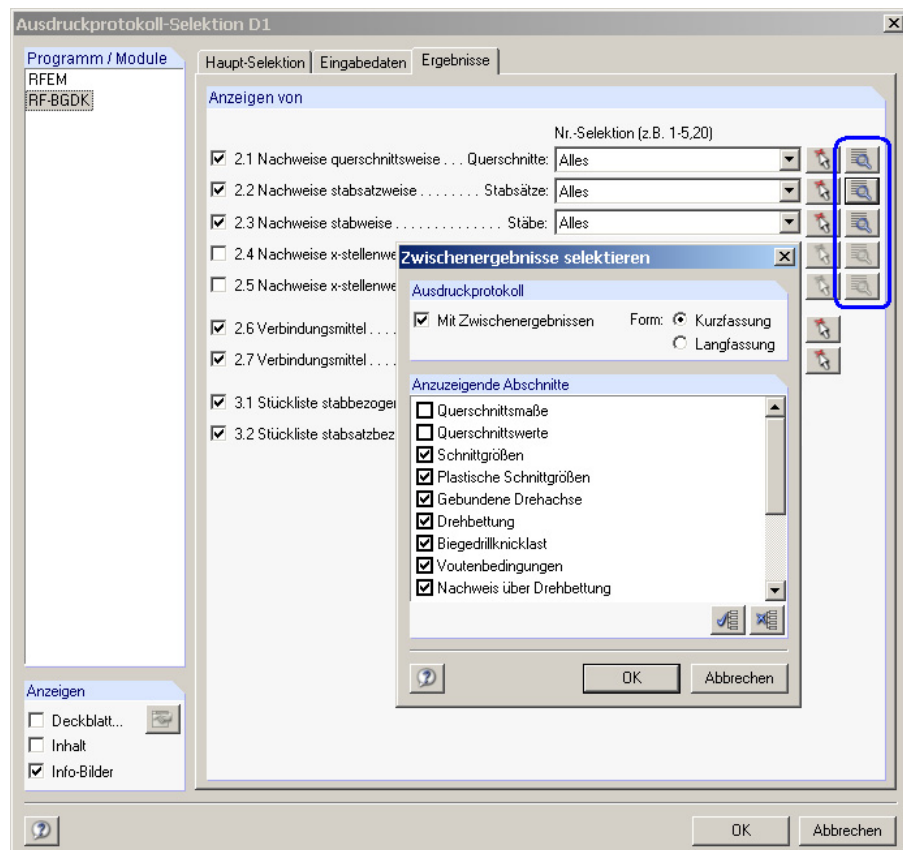


Bild 7.1: Ausdruckprotokoll-Selektion der Ergebnisse: Dialog *Zwischenergebnisse selektieren*

Zudem kann man auswählen, ob die Zwischenergebnisse als Kurzfassung oder Langfassung im Ausdruckprotokoll erscheinen. Mit der Standardeinstellung *Kurzfassung* werden die Zwischenergebnisse in kompakter Form ohne Erläuterung der diversen Parameter aufgelistet:

## 2.2 NACHWEISE STABSATZWEISE mit Selektion

Stab Nr.	Stelle x [mm]	LF/LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart		
<b>Stabsatz Nr. 3 - Riegel C-C, 116 - W 150x100x14 (ARBED)</b>						
182	10010	LG8	0.699	6) Nachweis nach (30) erbracht		
<b>Querschnittsmaße W 150x100x14 (ARBED)</b>						
<b>Schnittgrößen</b>						
N	-119.08 kN		M-y,max	5.72 kNm	M-z,Anf	0.00 kNm
M-T	0.00 kNm		x-My,max	5.500 m	M-z,End	0.00 kNm
V-z	-0.38 kN		M-y,min	-1.26 kNm	M-z,max	1.17 kNm
M-y	4.57 kNm		x-My,min	2.200 m	x-Mz,max	2.200 m
M-y,Anf	0.00 kNm		V-y	0.27 kN	M-z,min	-0.81 kNm
M-y,End	0.00 kNm		M-z	-0.79 kNm	x-Mz,min	10.120 m
<b>Plastische Schnittgrößen</b>						
N-pl,k	435.98 kN		V-pl,z,k	86.40 kN	M-pl,z,k	6.86 kNm
N-pl,d	396.34 kN		V-pl,z,d	78.54 kN	M-pl,z,d	6.24 kNm
V-pl,y,k	151.45 kN		M-pl,y,k	26.36 kNm	Alpha-pl,z	1.56
V-pl,y,d	137.69 kN		M-pl,y,d	23.96 kNm		
<b>Gebundene Drehachse</b>						
S-erf	1722.53 kN		S-vorh	136519.00 kN		
G-S	34129.70 kN/m		GebDrAchse	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Drehbettung</b>						
c-ThM,k	36.96 kNm/m		c-ThP,k	27.46 kNm/m	I-T,Th	92.10 cm <sup>4</sup>
c-ThA,k	9.26 kNm/m		c-Th,k	5.83 kNm/m		
<b>Biegedrillknicklast N-Ki</b>						
Beta-z	1.000		I-0	11.000 m	s-K	1.438 m
Beta-0	1.000		c	7.52 cm	N-Ki	918.61 kN
I	11.000 m		Lambda-V	64.02		
<b>Abminderungsfaktor Kappa-z</b>						
Ksl-z	b		Lambda-K,z	0.689		
Alpha	0.340		Kappa-z	0.790		
<b>Biegedrillknickmoment M-Ki</b>						
z-p	-74.9 mm		G-1	0.012	G-3	0.000
s quer	1.000		G-2	0.000	M-Ki	13552.200 kNm
<b>Abminderungsfaktor</b>						
n	2.500		Lambda-M q	0.044 < 0.4		
Q-Last z	<input checked="" type="checkbox"/>		Kappa-M	1.000		
<b>Beiwerte k-y und k-z</b>						
Psi-y	-0.400		Beta-M,y	1.523	E-Last y	<input checked="" type="checkbox"/>
Beta-M,Psi,y	2.080		Lambda-K,z	0.689	Beta-M,Q,z	1.400
Q-Last z	<input checked="" type="checkbox"/>		a-y	0.0074	M-Q,z	1.17 kNm
E-Last z	<input checked="" type="checkbox"/>		k-y	0.997	Delta-M,z	1.97 kNm
Beta-M,Q,y	1.400		Psi-z	0.000	Beta-M,z	1.563
M-Q,y	5.72 kNm		Beta-M,Psi,z	1.800	a-z	-0.0409
Delta-M,y	6.98 kNm		Q-Last y	<input checked="" type="checkbox"/>	k-z	1.016
<b>Nachweis</b>						
D1	0.380		D3	0.128		
D2	0.190		D	0.699 < 1.0		

Bild 7.2: Ausdruckprotokoll mit Kurzausdruck der Zwischenergebnisse

## 7.2 RF-BGDK-Grafiken drucken

Die Nachweisgrafiken können entweder in das Ausdruckprotokoll eingebunden oder direkt auf den Drucker geleitet werden. Im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs wird das Drucken von Grafiken ausführlich erläutert.



Wie in RFEM kann jedes Bild, das im Grafikfenster des Hauptprogramms angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übernommen werden. In gleicher Weise lassen sich auch die Stab-Ergebnisverläufe mit der [Drucken]-Schaltfläche in das Protokoll aufnehmen.

Die aktuelle RF-BGDK-Grafik im RFEM-Arbeitsfenster kann gedruckt werden über Menü

**Datei → Drucken**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

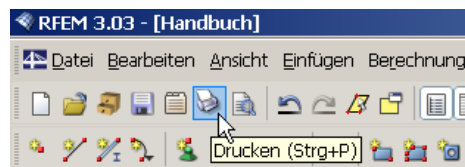
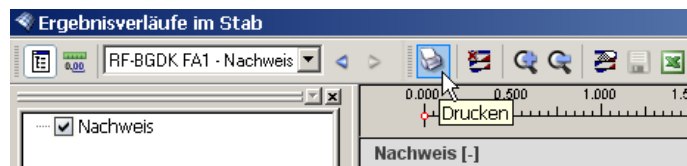
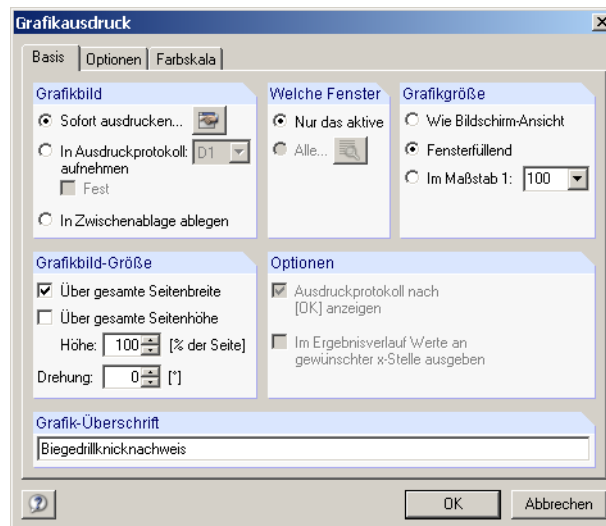


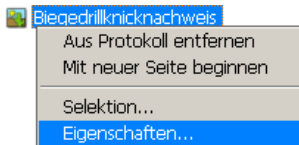
Bild 7.3: Schaltfläche Drucken in der Symbolleiste des Hauptfensters

Bild 7.4: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

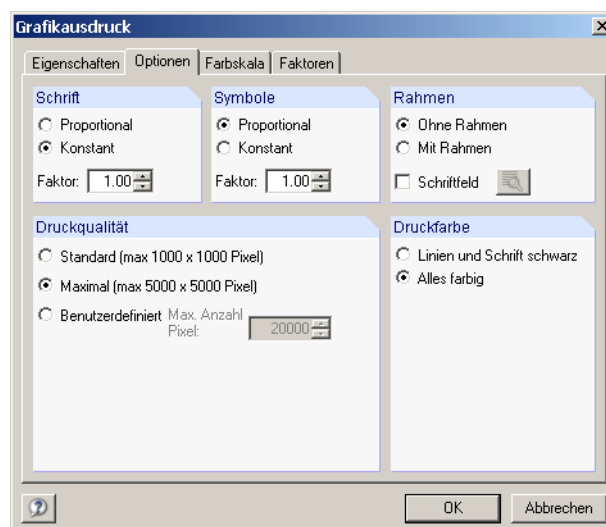
Es wird folgender Dialog angezeigt.

Bild 7.5: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Dieser Dialog ist im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs ab Seite 347 ausführlich beschrieben. Dort werden auch die übrigen Register *Optionen* und *Farbskala* erläutert.



Eine RF-BGDK-Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag & Drop an eine andere Stelle verschoben werden. Zudem besteht die Möglichkeit, eingefügte Grafiken nachträglich anzupassen: Klicken Sie den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü deren *Eigenschaften*. Es erscheint wiederum der Dialog *Grafikausdruck* mit diversen Modifikationsmöglichkeiten.

Bild 7.6: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

## 8. Allgemeine Funktionen

Das letzte Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Bemessungsergebnisse vor.

### 8.1 RF-BGDK-Bemessungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Stäbe in separaten Bemessungsfällen zu gruppieren. Damit können beispielsweise Bauteilgruppen zusammengefasst oder mit spezifischen Bemessungsvorgaben (Grenzspannungen, Teilsicherheitsbeiwerte, Optimierung etc.) beaufschlagt werden.

Es bereitet kein Problem, einen Stab oder Stabsatz in unterschiedlichen Bemessungsfällen zu untersuchen.

Die RF-BGDK-Fälle stehen in der RFEM-Arbeitsfläche wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe in der Liste der Symbolleiste zur Verfügung.



#### Neuen RF-BGDK-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über RF-BGDK-Menü

**Datei → Neuer Fall.**

Es erscheint der folgende Dialog.

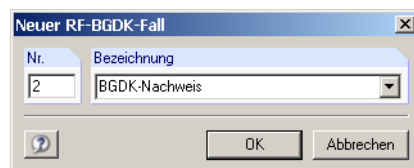


Bild 8.1: Dialog *Neuer RF-BGDK-Fall*

In diesem Dialog sind eine (noch nicht belegte) *Nummer* sowie eine *Bezeichnung* für den neuen Bemessungsfall anzugeben. Nach [OK] erscheint die RF-BGDK-Maske 1.1 *Basisangaben* zur Eingabe der neuen Bemessungsdaten.

#### RF-BGDK-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls kann geändert werden über RF-BGDK-Menü

**Datei → Fall umbenennen.**

Es erscheint der Dialog *RF-BGDK-Fall umbenennen*.

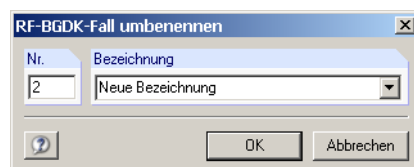


Bild 8.2: Dialog *RF-BGDK-Fall umbenennen*

## RF-BGDK-Fall kopieren

Die Eingabedaten des aktuellen Bemessungsfalls werden kopiert über RF-BGDK-Menü

**Datei → Fall kopieren.**

Es erscheint der Dialog *RF-BGDK-Fall kopieren*, in dem die Nummer und Bezeichnung des neuen Falls festzulegen sind.

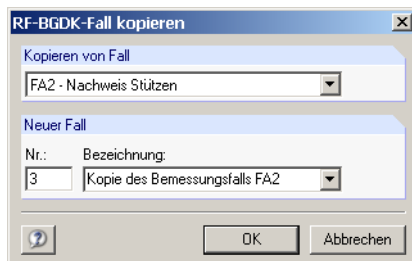


Bild 8.3: Dialog *RF-BGDK-Fall kopieren*

## RF-BGDK-Fall löschen

Es besteht die Möglichkeit, Bemessungsfälle zu löschen über RF-BGDK-Menü

**Datei → Fall löschen.**

Im Dialog *RF-BGDK-Fall löschen* wird in der Liste *Vorhandene Fälle* ein bestimmter RF-BGDK-Fall ausgewählt, der dann mit [OK] gelöscht werden kann.

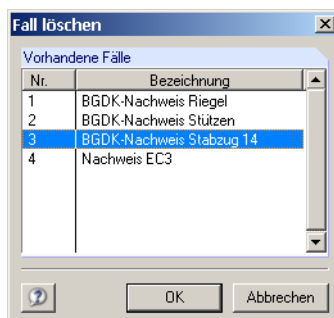


Bild 8.4: Dialog *RF-BGDK-Fall löschen*

## 8.2 Profilloptimierung

RF-BGDK bietet die Möglichkeit einer querschnittswisen Optimierung an. Hierzu ist in der Spalte C der Maske 1.3 *Querschnitte* das betreffende Profil durch Ankreuzen auszuwählen, was am einfachsten über einen Klick in das Kästchen erfolgt (vgl. Bild 3.4, Seite 45).

Auch in den Ergebnismasken kann die Querschnittsoptimierung über das Kontextmenü eingeleitet werden.

Im Zuge der Optimierung untersucht RF-BGDK, welches Profil aus der vorgegebenen Querschnittsreihe den Nachweis „optimal“ erfüllt, d. h. dem Nachweiskriterium von 1.0 am nächsten kommt. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen eine Biegedrillknickanalyse durchgeführt und das Profil innerhalb der gleichen Profilreihe gesucht, das den Nachweis mit einer möglichst hohen Ausnutzung erfüllt. In der Maske 1.3 werden dann wie im Bild 3.4 auf Seite 45 dargestellt rechts zwei Profile angezeigt – das ursprüngliche Profil aus RFEM und der optimierte Querschnitt.

Bei den parametrisierten Profilen der Querschnittsbibliothek erscheint beim Ankreuzen des Optimierungskästchens ein Dialog, in dem detaillierte Vorgaben getroffen werden können.

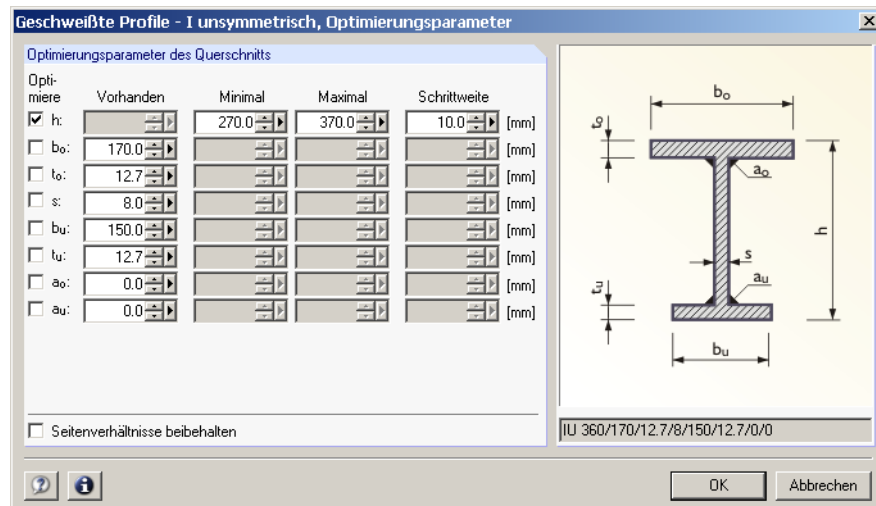
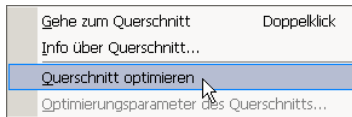


Bild 8.5: Dialog *Geschweißte Profile - I unsymmetrisch, Optimierungsparameter*

In der Spalte *Optimiere* wird zunächst durch Anhaken festgelegt, welcher (oder auch welche) Parameter modifiziert werden soll. Damit werden die Spalten *Minimal* und *Maximal* zugänglich, die die Unter- und Obergrenze des Parameters für die Optimierung vorgeben. Die Spalte *Schrittweite* steuert, in welchem Intervall die Abmessungen dieses Parameters beim Optimierungsprozess variieren.

Sollen die *Seitenverhältnisse beibehalten* werden, ist das entsprechende Kontrollfeld zu aktivieren. Zusätzlich müssen sämtliche Parameter für die Optimierung angehakt werden.

Für aus Walzprofilen zusammengesetzte Querschnitte ist keine Optimierungsmöglichkeit vorgesehen.



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Querschnitten berechnet werden. Es bleibt dem Anwender überlassen, wann er welche Profile für einen neuen Rechenlauf in RFEM übernehmen möchte. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den optimierten Querschnitten ergeben, erheblich differieren. Es empfiehlt sich deshalb, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen neu zu berechnen und anschließend die Profile nochmals zu optimieren.

Die Übergabe der geänderten Profile nach RFEM braucht nicht manuell erfolgen. Bringen Sie die Maske 1.3 *Querschnitte* zur Anzeige und wählen Menü

**Bearbeiten → Alle Querschnitte in RFEM übernehmen.**

Auch das Kontextmenü der Maske 1.3 bietet Möglichkeiten zum Export modifizierter Profile nach RFEM an.

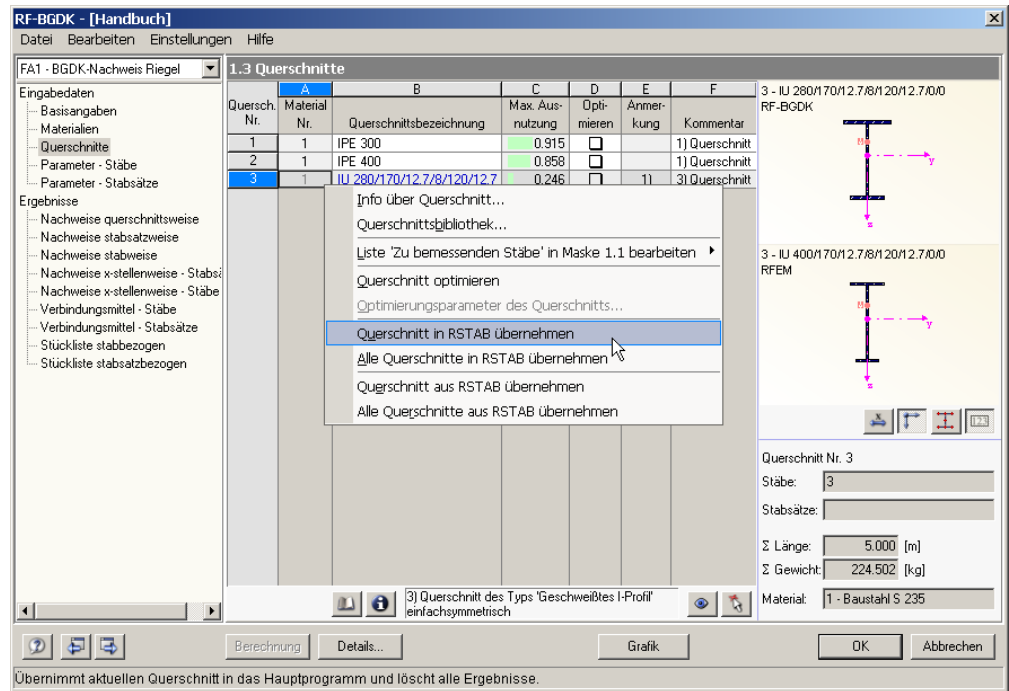


Bild 8.6: Kontextmenü der Maske 1.3 *Querschnitte*

Vor der Übergabe erfolgt eine Sicherheitsabfrage, da diese Maßnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist. Wird in RF-BGDK dann die [Berechnung] gestartet, vollzieht sich die Ermittlung der RFEM-Schnittgrößen und der RF-BGDK-Nachweise in einem Berechnungsablauf.

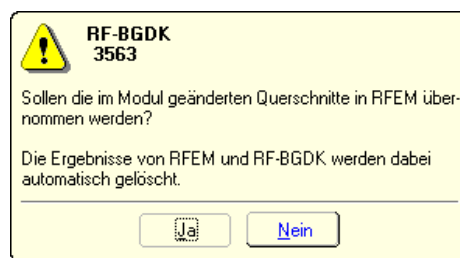


Bild 8.7: Abfrage vor der Übergabe der geänderten Querschnitte nach RFEM



Umgekehrt können über Menü *Bearbeiten* oder die im Bild 8.6 dargestellten Kontextmenüfunktionen wieder die RFEM-Originalprofile in RF-BGDK eingelesen werden. Bitte beachten Sie auch hier, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.3 *Querschnitte* zur Verfügung steht.

Liegt ein Voutenstab zur Optimierung vor, werden die Anfangs- und Endstellen optimiert. Danach werden die Querschnittswerte an den Zwischenstellen linear interpoliert. Da z. B. die Flächenträgheitsmomente mit der vierten Potenz eingehen, kann der Nachweis bei großen Unterschieden der Anfangs- und Endprofilhöhen ungenau werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, den Voutenstab in einzelne Stäbe aufzuteilen, deren Anfangs- und Endquerschnitte geringere Profilunterschiede aufweisen, und dann diesen Stabzug zu bemessen.

## 8.3 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM sowie für sämtliche Zusatzmodule zentral verwaltet. In RF-BGDK ist der Dialog zum Einstellen der Einheiten zugänglich über das Menü

**Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.**

Es wird der aus RFEM bekannte Dialog aufgerufen, das Modul RF-BGDK ist voreingestellt.

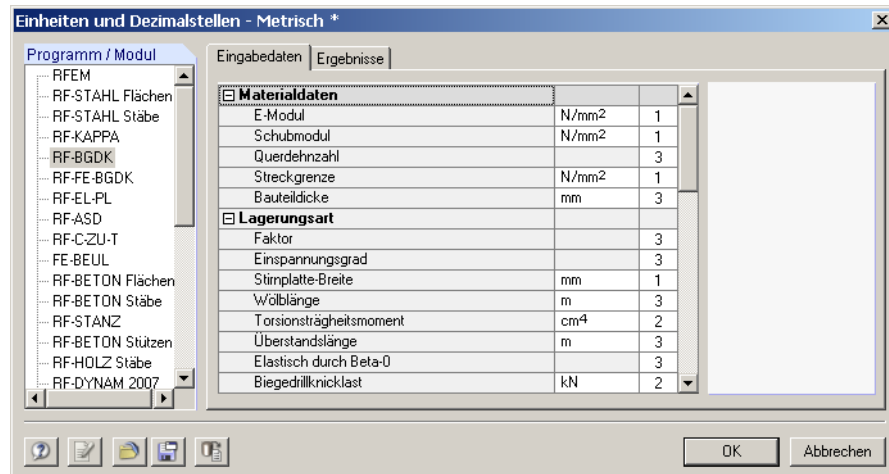


Bild 8.8: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Positionen wieder verwendet werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 12.6.2 des RFEM-Handbuchs auf Seite 433.

## 8.4 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Spannungsanalyse können auf verschiedene Weise für andere Programme zur Verfügung gestellt werden.

### Zwischenablage

Markierte Zellen der RF-BGDK-Ergebnismasken können über [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert und mit [Strg]+[V] z. B. in ein Textverarbeitungsprogramm eingefügt werden. Die Überschriften der Tabellenspalten bleiben dabei unberücksichtigt.

### Ausdruckprotokoll

Die RF-BGDK-Daten lassen sich in das Ausdruckprotokoll drucken (vgl. Kapitel 7.1, Seite 89) und können dort dann exportiert werden über Menü

**Datei → Export in RTF-Datei bzw. BauText.**

Diese Funktion ist im Kapitel 11.1.11 des RFEM-Handbuchs auf Seite 342 beschrieben.



## Excel

RF-BGDK ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

**Datei → Exportieren in MS Excel.**

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

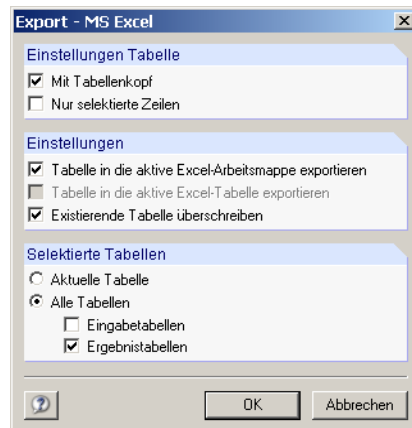


Bild 8.9: Dialog *Export - MS Excel*

Sind die gewünschten Parameter ausgewählt, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel wird automatisch aufgerufen, es braucht nicht im Hintergrund geöffnet sein.

B3		=	Stabsatz Nr. 1 - Riegel A-A, 104 - W 150x100x14 (ARBED)				
	A	B	C	D	E	F	G
1	Stabsatz	Stab	Stelle	Last-	Nachweis	Nachweis-	
2	Nr.	Nr.	x [mm]	fall	Kriterium		Kommentar zur Nachweisart
3	1	Stabsatz Nr. 1 - Riegel A-A, 104 - W 150x100x14 (ARBED)					
4		296	2500,000	LG17	0,243	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
5							
6	2	Stabsatz Nr. 2 - Riegel B-B, 114 - W 200x130x27 (ARBED)					
7		170	2500,000	LG17	0,087	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
8							
9	3	Stabsatz Nr. 3 - Riegel C-C, 116 - W 150x100x14 (ARBED)					
10		182	10010,000	LG8	0,699	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
11							
12	4	Stabsatz Nr. 4 - Riegel D-D, 106 - W 150x100x14 (ARBED)					
13		301	4400,000	LG17	0,358	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
14							
15	5	Stabsatz Nr. 5 - Stütze 1-1, 118 - W 200x210x60 (ARBED)					
16		7	2800,000	LG8	0,318	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
17							
18	6	Stabsatz Nr. 6 - Stütze 2-2, 122 - W 200x210x53 (ARBED)					
19		75	5800,000	LG8	0,171	< 1	6) Nachweis nach (30) erbracht
20							
<div> <div>2.1 Nachweise querschnittsweise</div> <div>2.2 Nachweise stabsatzweise</div> <div>2.3 Nachweise stabweise</div> <div>2.5 Nachweise x-stellenweise</div> </div>							

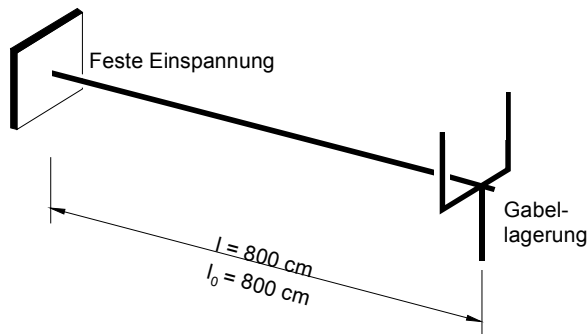
Bild 8.10: Ergebnis in Excel

## 9. Beispiele

### 9.1 Träger mit Doppelbiegung

#### Bemessungswerte

##### System



$l$ : Systemlänge

$l_0$ : maßgebender Abstand für Verwölbung  
(z. B. Stirnplattenabstand)

Bild 9.1: System

##### Belastung ( $\gamma$ -fach)

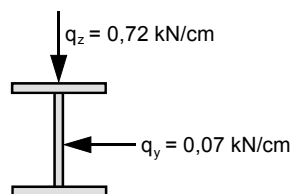


Bild 9.2: Belastung

##### Schnittgrößen ( $\gamma$ -fach nach Theorie II. Ordnung)

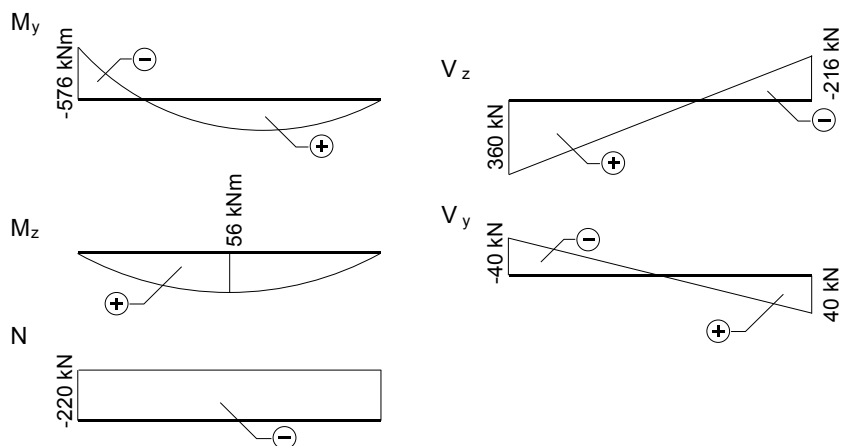


Bild 9.3: Schnittgrößen

##### Nachweisstelle (maßgebende x-Stelle)

Der Nachweis in RF-BGDK erfolgt x-stellenweise, d. h. an den definierten x-Stellen des Ersatzstabes. Die maßgebende Stelle ist bei  $x = 4.80$  m mit folgenden RFEM-Schnittgrößen:

$$M_y = 32256 \text{ kNcm}$$

$$V_z = 14.40 \text{ kN}$$

$$N = -220 \text{ kN (d. h. Druck)}$$

$$M_z = 5376 \text{ kNcm}$$

$$V_y = 5.60 \text{ kN}$$

**Angesetzte Randbedingungen**

$$\beta = \beta_0 = 0.7$$

Der Träger ist an der Oberseite nicht gehalten und es liegt keine Drehbettung vor.

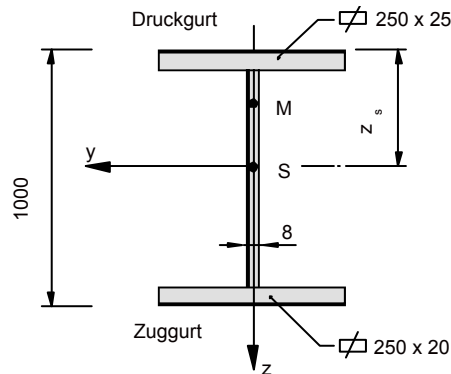
**Ermittlung der Querschnittsgrößen**

Bild 9.4: Querschnitt

$$h_m = 100 - \frac{1}{2} \cdot (2.5 + 2.0) = 97.75 \text{ cm} \quad h_s = 100 - 2.5 - 2.0 = 95.5 \text{ cm}$$

$$A = 25 \cdot (2.5 + 2.0) + 95.5 \cdot 0.8 = 188.90 \text{ cm}^2$$

$$z_s = \frac{25 \cdot 2.0 \cdot 2.0 \cdot \frac{1}{2} + 95.5 \cdot 0.8 \cdot \left(2.0 + \frac{1}{2} \cdot 95.5\right) + 25 \cdot 2.5 \cdot \left(2.0 + 95.5 + \frac{1}{2} \cdot 2.5\right)}{188.9} = 53.06 \text{ cm}$$

$$I_{z,f} = \frac{1}{12} \cdot (2.5 \cdot 25^3 + 2.0 \cdot 25^3) = 5859.38 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot (2.5 \cdot 25^3 + 2.0 \cdot 25^3) + \frac{1}{12} \cdot 95.5 \cdot 0.8^3 = 5863.45 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot (25 \cdot 2.5^3 + 25 \cdot 2.0^3 + 0.8 \cdot 95.5^3) + 25 \cdot 2.5 \cdot \left(46.94 - \frac{1}{2} \cdot 2.5\right)^2 + 0.8 \cdot 95.5 \cdot \left(53.06 - \frac{1}{2} \cdot 95.5 - 2.0\right)^2 + 25 \cdot 2.0 \cdot \left(53.06 - \frac{1}{2} \cdot 2.0\right)^2 = 324938 \text{ cm}^4$$

(Formeln zur Bestimmung von  $z_m$ ,  $r_y$ ,  $I_\omega$  etc. siehe Literatur)

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot 2.5 \cdot 25^3 = 3255.2 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot 2.0 \cdot 25^3 = 2604.2 \text{ cm}^4$$

$$z_m = \left(46.94 - \frac{1}{2} \cdot 2.5\right) - \frac{2604.2}{5859.38} \cdot 97.75 = 2.25 \text{ cm}^4$$

$$I_\omega = \frac{3255.2 \cdot 2604.2}{5859.38} \cdot 97.75^2 = 13824017 \text{ cm}^6$$

$$I_T = \frac{1}{3} \cdot (25 \cdot 2.5^3 + 25 \cdot 2.0^3 + 95.5 \cdot 0.8^3) = 213.17 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{324816}{188.90}} = 41.47 \text{ cm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{5863.45}{188.90}} = 5.57 \text{ cm}$$

$$i_p = \sqrt{41.47^2 + 5.57^2} = 41.84 \text{ cm}$$

$$i_m = \sqrt{41.84^2 + (-2.24)^2} = 41.90 \text{ cm}$$

$$r_y = - \left\{ \begin{array}{l} -(-2.25) \cdot 5859.38 + 25 \cdot 2.5 \cdot \left(46.94 - \frac{1}{2} \cdot 2.5\right)^3 + \frac{1}{4} \cdot 0.8 \cdot \left[\left(46.94 - \frac{1}{2} \cdot 2.5\right)^4\right] \\ - \left(97.75 - 46.94 + \frac{2.5}{2}\right)^4 \end{array} \right\} - 25 \cdot 2.0 \cdot \left(97.75 - 46.94 + \frac{1}{2} \cdot 2.5\right)^3 \Bigg/ 324938$$

$$= -5.16 \text{ cm}$$

$$N_{pl,k} = 24 \cdot 188.90 = 4533.6 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,k} = \frac{97.75 \cdot 0.8 \cdot 24}{\sqrt{3}} = 1083.6 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,k} = \frac{(2.5 \cdot 25 + 2.5 \cdot 25) \cdot 24}{\sqrt{3}} = 1558.9 \text{ kN}$$

$$z_f = 100 - 53.06 - 2.5 - \frac{1}{0.8} \cdot \left(\frac{188.90}{2} - 25 \cdot 2.5\right) = 4.50 \text{ cm} \quad (\text{bezogen auf Schwerpunkt } S)$$

$$M_{pl,y,k} = 24 \cdot \left( 25 \cdot 2.5 \cdot (39.94 + 0.5 \cdot 2.5) + 0.5 \cdot 39.94^2 \cdot 0.8 + 0.5 \cdot 0.8 \cdot (95.5 - 39.64)^2 + 25 \cdot 2.0 \cdot \left(95.5 - 39.94 + \frac{2.0}{2}\right) \right) = 174605 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,z,k} = 24 \cdot \frac{1}{4} \cdot (25^2 \cdot 2.5 + 25^2 \cdot 2.0) = 17242 \text{ kNcm}$$

$$W_z = \frac{5859.4}{12.5} = 469 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = \frac{17242}{24} = 718.4 \text{ kN} \quad \alpha_{pl,z} = \frac{718.4}{469} = 1.53$$

$$W_{yu} = \frac{324816}{46.94} = 6920 \text{ cm}^3 \quad W_{yo} = \frac{324816}{(100 - 46.94)} = 6122 \text{ cm}^3$$

### Querschnittswerte aus RFEM im Vergleich

Querschnittsgrößen IU 1000/250/20/8/250/25/0/0		RFEM	manuelle Berechnung	
Querschnittsfläche	A	188.90	188.90	cm <sup>2</sup>
Lage des Schwerpunktes	z <sub>S</sub>	53.06	53.06	cm
Trägheitsmoment	I <sub>y</sub>	324938.00	324938.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment	I <sub>z</sub>	5863.45	5863.45	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i <sub>y</sub>	41.47	41.47	cm
Trägheitsradius	i <sub>z</sub>	5.57	5.57	cm
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	41.85	41.84	cm
Polarer Trägheitsradius	i <sub>p,M</sub>	41.91	41.90	cm
Querschnittsgewicht	G	148.29		kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I <sub>T</sub>	202.00	213.17	cm <sup>4</sup>
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z <sub>M</sub>	2.25	2.24	cm
Wölbwiderstand	I <sub>ω</sub>	13823900.00	13824017.00	cm <sup>6</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub> max	6922.20	6922.00	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>y</sub> min	-6124.12	-6122.00	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W <sub>z</sub> max	469.08	469.00	cm <sup>3</sup>
Wölb-Widerstandsmoment	W <sub>ω</sub> max	20365.20		cm <sup>4</sup>
Querschnittsstrecke	r <sub>y</sub>	-5.10	-5.16	cm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	z <sub>f</sub>	4.50	4.50	cm
Knickspannungslinie	Ksl <sub>z</sub>	c		

Die Querschnittswerte zwischen RFEM und der manuellen Berechnung können aufgrund von Rechenungenauigkeiten gering differieren. Bei der Ermittlung des Torsionsträgheitsmoments werden in RFEM Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Um einen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen, wird nachfolgend mit den in RFEM ermittelten genaueren Werten gerechnet.

### Systemgrößen $N_{Ki}$ und $M_{Ki}$

#### Berechnung von $N_{Ki}$

$$c^2 = \left( \frac{0.7 \cdot 800}{0.7 \cdot 800} \right)^2 \cdot \frac{13823900}{5863.45} + \left( \frac{0.7 \cdot 800}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{8100 \cdot 213.17}{21000 \cdot 5863.45} = 2803.2 \text{ cm}^2$$

$$c = 52.95 \text{ cm}$$

$$\lambda_v^2 = \left( \frac{0.7 \cdot 800}{5.57} \right)^2 \cdot \frac{2803.2 + 41.91^2}{2 \cdot 2803.2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 2803.2 \cdot 41.85^2}{[2803.2 + 41.91^2]^2}} \right) = 10155.9$$

$$\lambda_v = 100.78$$

$$s_k = 100.78 \cdot 5.57 = 561.34 \text{ cm}$$

$$N_{Ki,z} = \frac{21000 \cdot 5863.45 \cdot \pi^2}{561.34^2} = 3856.7 \text{ kN}$$

#### Berechnung von $M_{Ki}$

$$c = 52.95 \text{ cm}$$

$$z_p = -53.06 \text{ cm}$$

$$M_{Ki,y} = \frac{2.284 \cdot \pi^2 \cdot 21000 \cdot 5863.45}{(0.7 \cdot 800)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( -\left( 0.7^2 \cdot \frac{-53.06}{2} \right) - \frac{-5.10}{3} + 2.25 \right)^2 + 52.95^2} + \left( 0.7^2 \cdot \frac{-53.06}{2} + \frac{-5.10}{3} - 2.25 \right) \right]$$

$$= 3419.8 \text{ kNm}$$

### Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2, Element (323)

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1.0$$

$N_{pl,d}$ ,  $M_{pl,y,d}$  und  $M_{pl,z,d}$  sind die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand unter Berücksichtigung der Interaktionsbedingungen. Gemäß Element (315) ist auch der Einfluss der Querkraft zu bewerten. Da der maximale Nachweis an der Stelle  $x = 4.80 \text{ m}$  geführt wird, wird die anzusetzende Querkraft ( $V_y = 5.6 \text{ kN}$ ) an dieser Stelle untersucht:

$$V_{pl,y,d} = \frac{(2.5 \cdot 25 + 2.5 \cdot 25) \cdot 24}{1.1 \cdot \sqrt{3}} = 1417.1 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{97.75 \cdot 0.8 \cdot 24}{1.1 \cdot \sqrt{3}} = 985.06 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{ll} V_z = 5.6 \text{ kN} < 0.33 \cdot 985.06 = 325.1 \text{ kN} \\ V_y = 14.4 \text{ kN} < 0.25 \cdot 1417.1 = 354.3 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{keine Interaktion erforderlich}$$

$$\Rightarrow \eta_z = \eta_y = 1.0$$

**Berechnung von  $\kappa_z$  nach Element (304)**

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{4533.6}{3854.6}} = 1.0845$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 4, Spalte 3,  $t_f < 40$  mm: Knickspannungslinie c

$$\Rightarrow \alpha = 0.49 \text{ (Tabelle 4)}$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (1.0845 - 0.2) + 1.0845^2] = 1.30477$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.30477 + \sqrt{1.30477^2 - 1.0845^2}} = 0.4926$$

**Berechnung von  $\kappa_M$  nach Element (311)**

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 9, Zeile 2:  $\Rightarrow$  Trägerbeiwert  $n = 2.0$

Es erfolgt keine Abminderung nach Bild 14, denn es liegt kein linearer Momentenverlauf ohne Vorzeichenwechsel vor!

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,k}}{M_{Ki,y}}} = \sqrt{\frac{174605}{342430}} = 0.714$$

$$\kappa_M = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.714^{2 \cdot 2}}} = 0.8909$$

**Berechnung von  $k_y$  und  $\beta_{M,y}$  nach Element (320)**

$$M_{yL} = -57600 \text{ kNcm} \quad M_{yR} = 0 \text{ kNcm}$$

$$q_z = 0.72 \text{ kN/cm}$$

$$\psi = \frac{0}{-57600} = 0$$

$$\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7 \cdot 0 = 1.8 \quad \beta_{M,Q} = 1.3$$

$$V_{zL} = \frac{0 - (-57600)}{800} + \frac{0.72 \cdot 800}{2} = 360 \text{ kN}$$

$$\max M = -57600 + \frac{360^2}{2 \cdot 0.72} = 32400 \text{ kNcm}$$

$\Rightarrow$  Momentenverlauf durchschlagend

$$M_Q = \frac{0.72 \cdot 800^2}{8} = 57600 \text{ kNcm}$$

$$M = |-57600| + |32400| = 90000 \text{ kNcm}$$

$$\Rightarrow \beta_{M,y} = 1.8 + \frac{57600}{90000} \cdot (1.3 - 1.8) = 1.48$$

$$a_y = 0.15 \cdot 1.0845 \cdot 1.48 - 0.15 = 0.0908$$

$$k_y = 1 - \frac{220}{0.4926 \cdot 4121.45} \cdot 0.0908 = 0.99$$

**Berechnung von  $k_z$  nach Element (321)**

$$M_{zL} = 0 \quad M_{zR} = 0 \text{ kNcm}$$

$$q_z = 0.07 \text{ kN/cm}$$

$$\beta_{Mz} = 1.3 \quad \alpha_{pl,z} = 1.53$$

$$a_z = 1.0845 \cdot (2 \cdot 1.3 - 4) + (1.53 - 1) = -0.9883$$

$$k_z = 1 - \frac{220}{0.4926 \cdot 4121.45} \cdot (-0.9883) = 1.107$$

**Nachweis nach Element 323, Gleichung (30)**

$$\frac{220}{0.4926 \cdot 4121.45} + \frac{32256}{0.8909 \cdot 158731.8} \cdot 0.990 + \frac{5376}{15674.5} \cdot 1.107 =$$

$$0.108 + 0.226 + 0.380 = 0.714 \leq 1.0$$

⇒ **Nachweis erbracht!**

**Ergebnisse der RF-BGDK-Berechnung**

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle  $x = 4.80$  m

<b>Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N	-220.00	kN
<i>Starke Achse y-y</i>			
Querkraft	V-z	14.40	kN
Biegemoment	M-y	322.56	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	-576.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	0.00	kNm
Maximales Moment	M-y, max	322.56	kNm
Stelle des Maximalmoments	x-My, max	4.80	m
<i>Schwache Achse z-z</i>			
Querkraft	V-y	5.60	kN
Biegemoment	M-z	53.76	kNm
Randmoment am Anfang	M-z, Anf	0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-z, End	0.00	kNm
Maximales Moment (absolut)	M-z, min	56.00	kNm
Stelle des maximalen Moments	x-Mz, min	4.00	m
<b>Plastische Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N-pl, k	4533.60	kN
Normalkraft	N-pl, d	4121.45	kN
Querkraft	V-pl, y, k	1558.85	kN
Querkraft	V-pl, y, d	1417.13	kN
Querkraft	V-pl, z, k	1083.57	kN
Querkraft	V-pl, z, d	985.07	kN
Biegemoment	M-pl, y, k	1746.05	kNm
Biegemoment	M-pl, y, d	1587.32	kNm
Biegemoment	M-pl, z, k	172.42	kNm
Biegemoment	M-pl, z, d	156.74	kNm
Formbeiwert	Alpha-pl, z	1.53	
<b>Biegedrillknicklast N-Ki</b>			
Biegeeinspannungsgrad um z-Achse	Beta-z	0.70	
Wölbeinspannungsgrad	Beta-0	0.70	
Systemlänge	l	8.00	m
Wölblänge	l-0	8.00	m
Drehradius	c	52.72	cm
Vergleichsschlankheit	Lambda-V	100.76	
Knicklänge	s-k	5.61	m
Biegedrillknicklast	N-Ki	3856.47	kN

<b>Abminderungsfaktor Kappa-z</b>			
Knickspannungslinie	Ksl-z	c	
Parameter	Alpha	0.490	
Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	1.084	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.493	
<b>Biegedrillknickmoment M-Ki</b>			
Lastangriffspunktlage	z-p	-53.06	cm
Momentenbeiwert	Zeta	2.277	
Biegedrillknickmoment	M-Ki	3390.66	kNm
<b>Abminderungsfaktor Kappa-M</b>			
Trägerbeiwert	n	2.00	
Querlast in z		ja	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-M quer	0.718	> 0,4
Abminderungsfaktor	Kappa-M	0.889	
<b>Beiwerte k-y und k-z</b>			
Momentenverhältnis	Psi-y	0	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,y	1.80	
Querlast in z	Q-Last y	ja	
Querlastart Einzellast in z	E-Last y	nein	
Momentenbeiwert	Beta-M,Q,y	1.30	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q,y	576.00	kNm
Max. Differenz der Momente	Delta-M,y	898.56	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M,y	1.479	
Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	1.084	
Hilfswert	a-y	0.091	
Beiwert	k-y	0.990	
Momentenverhältnis	Psi-z	0.000	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,z	1.80	
Querlast in y	Q-Last z	ja	
Querlastart Einzellast in y	E-Last z	nein	
Momentenbeiwert	Beta-M,Q,z	1.30	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q,z	56.00	kNm
Max. Differenz der Momente	Delta-M,z	56.00	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M,z	1.30	
Hilfswert	a-z	-0.986	
Beiwert	k-z	1.107	
<b>Nachweis</b>			
$N / (Kappa-z * N-pl,d)$	D1	0.108	
$M-y / (Kappa-M * M-pl,y,d) * k-y$	D2	0.226	
$M-z / M-pl,z,d * k-z$	D3	0.380	
<b>Nachweiskriterium</b>	<b>D</b>	<b>0.714</b>	<b>&lt; 1.0</b>



## 9.2 Rahmenkeilstütze

### Bemessungswerte

#### Geometrie

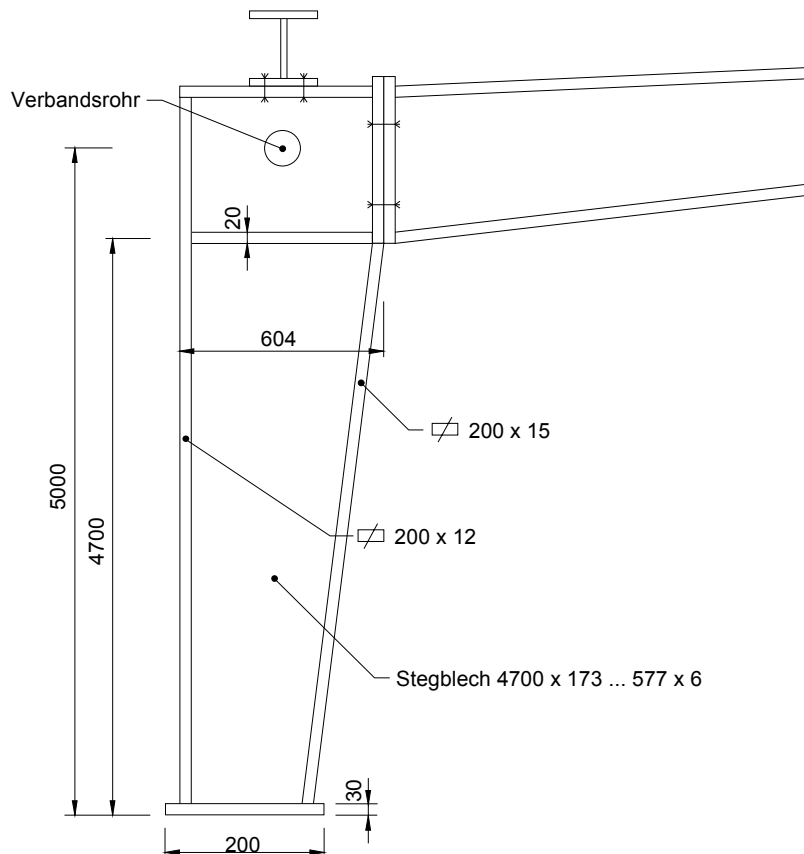


Bild 9.5: Geometrie der gevouteten Stütze

#### Schnittgrößen

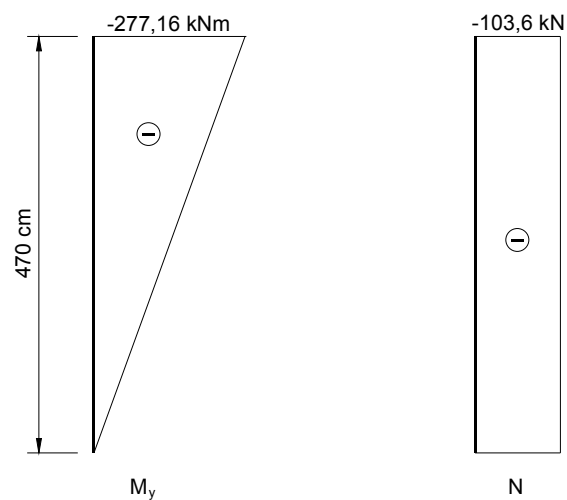


Bild 9.6: Bemessungsschnittgrößen

Die Knicklänge richtet sich nach den seitlichen Haltepunkten. Hier gilt:  $l=500$  cm.

Als Lagerung quer zur Stegebene wird angenommen:

- Knicken:  $\beta = 1.0$  (Gabellagerung) mit  $l = 500$  cm
- Verwölbung:  $\beta_0 = 0.976$  (elastisch - elastisch) mit  $l_0 = 470$  cm

## Querschnittswerte aus RFEM

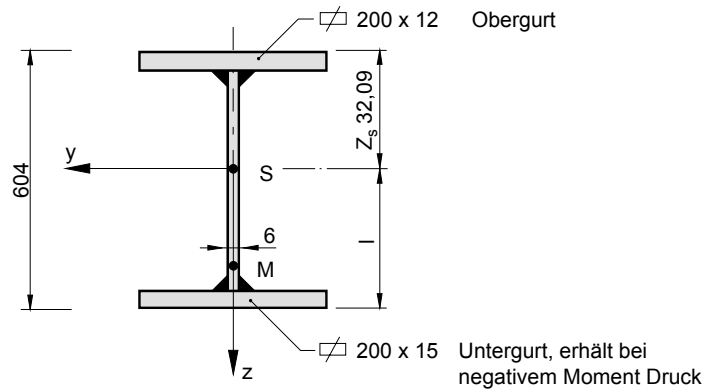


Bild 9.7: Querschnitt

Auf die manuelle Berechnung der Querschnittswerte wird von diesem Beispiel an verzichtet. RF-BGDK nutzt die bereits in RFEM berechneten Querschnittswerte (Formeln siehe Beispiel 9.1) und interpoliert im Falle eines Voutenstabes für jede x-Stelle die Querschnittsabmessungen, mit denen die maßgebenden Querschnittswerte ermittelt werden.

Querschnittsgrößen für $x = 0.00$ m (stärkere Voutenseite)		Querschnittswerte	
Querschnittsfläche	A	88.62	cm <sup>2</sup>
Lage des Schwerpunktes	z-S	32.09	cm
Trägheitsmoment	I-y	56343.10	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment	I-z	1801.04	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i-y	25.21	cm
Trägheitsradius	i-z	4.51	cm
Polarer Trägheitsradius	i-p	25.61	cm
Polarer Trägheitsradius	i-p,M	25.65	cm
Querschnittsgewicht	G	69.57	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I-T	36.77	cm <sup>4</sup>
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z-M	1.31	cm
Wölbwiderstand	I- $\omega$	1549730.00	cm <sup>6</sup>
Widerstandsmoment	W-y max	1990.55	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W-y min	-1755.53	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W-z max	180.10	cm <sup>3</sup>
Wölbwiderstandsmoment	W-Om max	4724.11	cm <sup>4</sup>
Querschnittsstrecke	r-y	-3.21	cm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	z-f	2.94	cm
Knickspannungslinie	Ksl-z	c	

Zudem werden die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand benötigt:

$$V_{pl,z,k} = \frac{59.05 \cdot 0.6 \cdot 24}{\sqrt{3}} = 490.9 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{490.9}{1.1} = 446.3 \text{ kN}$$

$$V_z = 55.43 \text{ kN} < 0.33 \cdot 446.3 = 147.3 \text{ kN} \Rightarrow \text{keine Interaktion erforderlich}$$

$$h_m = 60.4 - \frac{1}{2} \cdot (1.5 + 1.2) = 59.05 \text{ cm}$$

$$h_s = 60.4 - 1.5 - 1.2 = 57.7 \text{ cm}$$

$$N_{pl,k} = 24 \cdot 88.62 = 2126.9 \text{ kN} \quad N_{pl,d} = \frac{2126.9}{1.1} = 1933.54 \text{ kN}$$

$$z_f = 60.40 - 32.09 - 1.5 - \frac{1}{0.6} \cdot \left( \frac{88.62}{2} - 20 \cdot 1.5 \right) = 2.96 \text{ cm}$$

$$M_{pl,y,k} = 24 \cdot \left( 20 \cdot 1.5 \cdot (23.85 + 0.5 \cdot 1.5) + 0.6 \cdot 0.5 \cdot 23.85^2 + 0.5 \cdot 0.6 \cdot (57.7 - 23.85)^2 + 20 \cdot 1.2 \cdot \left( 57.7 - 23.85 + \frac{1.2}{2} \right) \right) = 49901 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,y,d} = \frac{499.01}{1.1} = 453.65 \text{ kNm}$$

### Systemgrößen $N_{Ki}$ und $M_{Ki}$

Zur Ermittlung der **Wölbfeder** infolge der Stirnplatte wird in RF-BGDK eingegeben:

$$t = 2 \text{ cm} (< 3 \text{ cm} = \text{Plattenstärke am Fuß})$$

$$h = \min h = 20 - \frac{1.5}{2} - \frac{1.2}{2} = 18.65 \text{ cm}$$

$$b = \min b = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Wölbfeder: } C_w = \frac{G}{3} \cdot b \cdot h \cdot t^3 = \frac{8100}{3} \cdot 20 \cdot 18.65 \cdot 2^3 = 8.0568 \cdot 10^6 \text{ kNcm}^3$$

$$k_g = \frac{8.0568 \cdot 10^6 \cdot 470}{2 \cdot \pi \cdot 21000 \cdot 1.549734 \cdot 10^6} = 0.018518$$

$$\text{aus } k_g = \frac{\sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot (1 - \beta_0)\right]}{2 \cdot \cos \pi \cdot (1 - \beta_0)} \text{ folgt: } \beta_0 = 0.976$$

### Berechnung von $N_{Ki}$

$$c^2 = \left( \frac{1.500}{0.976 \cdot 470} \right)^2 \cdot \frac{1550000}{1801.04} + \left( \frac{1.500}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{8100 \cdot 38.17}{21000 \cdot 1801.04} = 1229.54 \text{ cm}^2$$

$$c = 35.06 \text{ cm}$$

$$\lambda_v^2 = \left( \frac{1.500}{4.51} \right)^2 \cdot \frac{35.06^2 + 25.65^2}{2 \cdot 35.06^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 35.06^2 \cdot \left[ 25.61^2 + 0.093 \cdot \left( \frac{1^2}{0.976^2} - 1 \right) \cdot (-1.31)^2 \right]}{(2803.2 + 41.91^2)^2}} \right)$$

$$= 12334.3$$

$$\lambda_v = 111.06$$

$$s_k = 111.06 \cdot 4.51 = 500.87 \text{ cm}$$

$$N_{Ki,z} = \frac{21000 \cdot 1801.04 \cdot \pi^2}{500.87^2} = 1487.96 \text{ kN}$$

**Berechnung von  $M_{Ki}$** 

$$\zeta = 1.852 \quad z_p = 0 \text{ cm (keine Querlast)}$$

$$c = 35.06 \text{ cm}$$

$$M_{Ki,y} = \frac{1.852 \cdot \pi^2 \cdot 21000 \cdot 1801.04}{(1 \cdot 500)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{-3.18}{3} + (-1.31) \right)^2 + 35.06^2} + \frac{3.18}{3} - (-1.31) \right] = 1036.8 \text{ kNm}$$

**Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2, Element (323)****Berechnung von  $\kappa_z$  nach Element (304)**

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{2126.9}{1487.96}} = 1.195$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 4, Spalte 3,  $t_f < 40 \text{ mm}$ : Knickspannungslinie c

$$\Rightarrow \alpha = 0.49 \text{ (Tabelle 4)}$$

$$k = 0.5 \cdot \left[ 1 + 0.49 \cdot (1.195 - 0.2) + 1.195^2 \right] = 1.458$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.458 + \sqrt{1.458^2 - 1.195^2}} = 0.436$$

**Berechnung von  $\kappa_M$  nach Element (311)**

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 9, Zeile 5:

$$n = 0.7 + 1.8 \cdot \frac{20}{60.4} = 1.296$$

Da die Flansche an den Steg geschweißt werden, muss noch mit dem Faktor 0.8 multipliziert werden.

$$n = 0.8 \cdot 1.296 = 1.03682$$

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,k}}{M_{Ki,y}}} = \sqrt{\frac{49901}{103680}} = 0.694$$

$$\kappa_M = \left( \frac{1}{1 + 0.694^2 \cdot 1.03682} \right)^{\frac{1}{1.03682}} = 0.690$$

**Berechnung von  $k_y$  und  $\beta_{M,y}$  nach Element (320)**

$$M_{yL} = -27716 \text{ kNcm} \quad M_{yR} = 0 \text{ kNcm} \quad \text{keine Querlast} \quad \Rightarrow \psi = 0$$

$$\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7 \cdot 0 = 1.8 \quad \beta_{M,y} = \beta_{M,\psi} = 1.8$$

$$a_y = 1.15 \cdot 1.195 \cdot 1.8 - 0.15 = 0.173$$

$$k_y = 1 - \frac{103.6}{0.436 \cdot 1933.5} \cdot 0.173 = 0.979$$

**Nachweis nach Element 323, Gleichung (30)**

$$\frac{103.6}{0.436 \cdot 1933.5} + \frac{27716}{0.690 \cdot 45365} \cdot 0.979 = 0.123 + 0.866 = 0.989 \leq 1.0$$

$\Rightarrow$  Nachweis erbracht!

## Ergebnisse der RF-BGDK-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle  $x = 5.00 \text{ m}$

<b>Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N	-103.60	kN
<b>Starke Achse y-y</b>			
Querkraft	V-z	-55.43	kN
Biegemoment	M-y	-277.16	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	-0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	-277.16	kNm
<b>Plastische Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N-pl,k	2126.88	kN
Normalkraft	N-pl,d	1933.53	kN
Querkraft	V-pl,z,k	490.93	kN
Querkraft	V-pl,z,d	446.30	kN
Biegemoment	M-pl,y,k	499.01	kNm
Biegemoment	M-pl,y,d	453.64	kNm
<b>Biegedrillknicklast N-Ki</b>			
Biegeeinspannungsgrad um z-Achse	Beta-z	1.00	
Wölbeinspannungsgrad	Beta-0	0.976	
Systemlänge	l	5.00	m
Wölblänge	l-0	4.70	m
Drehradius	c	34.92	cm
Vergleichsschlankheit	Lambda-V	111.08	
Knicklänge	s-k	5.01	m
Biegedrillknicklast	N-Ki	1488.65	kN
<b>Voutenbedingungen</b>			
1. $\min h / \max h \geq 0.25$		0.33	> 0.25
2. $\min M\text{-pl,y} / \max M\text{-pl,y} \geq 0.05$		0.26	> 0.05
3. $N\text{-Ki,d} / N \geq 1.2$		13.06	> 1.20
<b>Abminderungsfaktor Kappa-z</b>			
Knickspannungslinie	Ksl-z	c	
Parameter	Alpha	0.49	
Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	1.20	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.44	
<b>Biegedrillknickmoment M-Ki</b>			
Lastangriffspunktlage	z-p	0.00	cm
Momentenbeiwert	Zeta	1.83	
Drehradius	c	34.92	cm
Biegedrillknickmoment	M-Ki	1020.68	kNm
<b>Abminderungsfaktor Kappa-M</b>			
Min. Profilhöhe des Voutenstabes	h-min	20.00	cm
Max. Profilhöhe des Voutenstabes	h-max	60.40	cm
Trägerbeiwert	n	1.037	
Querlast in z		nein	
Momentenverhältnis	Psi-y	0.00	< 0.5
Abminderungsfaktor von n	k-n	1.000	
Abgeminderter Trägerbeiwert n	n-red	1.037	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-M quer	0.699	> 0.4
Abminderungsfaktor	Kappa-M	0.687	

Beiwerte k-y und k-z			
Momentenverhältnis	Psi-y	0.00	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,y	1.80	
Querlast in z	Q-Last z	nein	
Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	1.195	
Hilfswert	a-y	0.173	
Beiwert	k-y	0.979	
Nachweis			
$N / (\text{Kappa-z} * N_{pl,d})$	D1	0.123	
$M_y / (\text{Kappa-M} * M_{pl,y,d}) * k-y$	D2	0.871	
Nachweiskriterium	D	0.994	< 1.0

## 9.3 Nachweis der Drehbettung

### Bemessungswerte

#### System und Belastung

Aus der Rahmenberechnung liegt der Momentenverlauf nach Theorie II. Ordnung für einen Riegel vor.

Querschnitt: IPE 240

Material: Stahl S 235

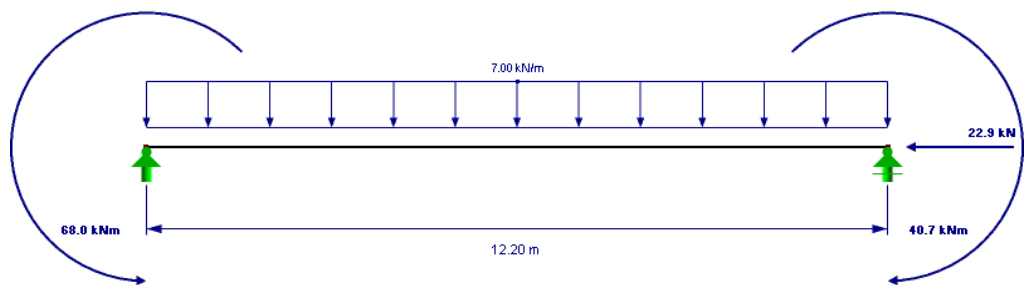


Bild 9.8: System und Belastung ( $\gamma$ -fach)

#### Schnittgrößen ( $\gamma$ -fach)

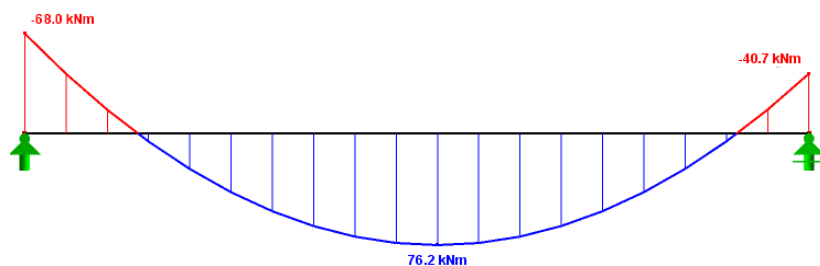


Bild 9.9: Momentenverlauf  $M_y$

Stabendschnittgrößen:  $M_{Anf} = 68.0 \text{ kNm}$   $M_{End} = 40.7 \text{ kNm}$

$N = 22.9 \text{ kN}$

Querlast:  $q = 7.0 \text{ kN/m}$

**Schubfeld und Drehbettingsbeiwerte**Abstand der Rahmenriegel:  $a = 6.00 \text{ m}$ 

Aufliegendes Trapezblech: HSW E 100 - 0.75 Positivlage

 mit  $K_1 = 0.257 \text{ m/kN}$   $K_2 = 36.099 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $I_a = 1.67 \text{ cm}^4/\text{cm}$ 

Da sechs Rahmen nebeneinander stehen, beträgt die gesamte Schubfeldlänge:

$$l_s = 5 \cdot 6.00 \text{ m} = 30.00 \text{ m}$$

Die Riegel werden durch zwei Dachverbände ausgesteift. Der Abstand der Pfosten beträgt:

$$b \cong \frac{12.20 \text{ m}}{3} = 4.067 \text{ m}$$

Diagonale:  $A_D = 3.08 \text{ cm}^2$  (L 40x4, Stahl S 235)Pfosten:  $A_P = 7.84 \text{ cm}^2$  (Rohr 88.9x2.9, Stahl S 235)

Das Trapezblech wird in jeder zweiten Sicke befestigt.

**Angesetzte Randbedingungen**

Für den Riegel wird beidseitige Gabellagerung angesetzt:

$$\beta = \beta_0 = 1.0$$

$$l = l_0 = 12.20 \text{ m}$$

**Querschnittswerte aus RFEM**

Querschnittsgrößen		Querschnittswerte	
Querschnittsfläche	A	39.10	cm <sup>2</sup>
Lage des Schwerpunktes	z-S	12.00	cm
Trägheitsmoment	I-y	3890.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment	I-z	284.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i-y	9.97	cm
Trägheitsradius	i-z	2.69	cm
Polarer Trägheitsradius	i-p	10.33	cm
Querschnittsgewicht	G	30.69	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I-T	12.90	cm <sup>4</sup>
Wölbwiderstand	I- $\omega$	37390.00	cm <sup>6</sup>
Widerstandsmoment	W-y	324.00	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W-z	47.30	cm <sup>3</sup>
Wölb-Widerstandsmoment	W- $\omega$ max	541.41	cm <sup>4</sup>
Knickspannungslinie	Ksl-z	b	
Flanschlochabstand	w-1	68.0	mm
Vollplastische Normalkraft	N-pl,d	853.09	kN
Vollplastische Querkraft	V-pl,z,d	179.79	kN
Vollplastisches Biegemoment	M-pl,y,d	7985.5	kNcm

$$V_z = 44.94 \text{ kN} < 0.33 \cdot 179.79 = 59.93 \text{ kN} \Rightarrow \text{keine Interaktion erforderlich}$$

### Nachweis der gebundenen Drehachse

Erforderliche Schubfeldsteifigkeit nach DIN 18 800 Teil 2, Element (308), Gleichung 7:

$$\text{erf } S = \left( 21000 \cdot 37390 \cdot \frac{\pi^2}{1220^2} + 8100 \cdot 12.9 + 21000 \cdot 284 \cdot \frac{\pi^2}{1220^2} \cdot 0.25 \cdot 24^2 \right) \frac{70}{24^2} = 14023.3 \text{ kN}$$

Vorhandene Schubfeldsteifigkeit:

$$\text{Ideeller Schubmodul: } G_s = \frac{10^4}{0.257 + 100 \cdot \frac{36.099}{3000}} = 6847.91 \text{ kN}$$

$$S_T = \frac{600}{100} \cdot 6847.91 = 41087.46 \text{ kN}$$

Ideelle Schubsteifigkeit des Verbandes:

$$S_V = \frac{600^2 \cdot 406.67 \cdot 21000}{\left( \frac{\sqrt{600^2 + 406.67^2}}{3.08} + \frac{600^3}{7.84} \right)^3} = 20332.7 \text{ kN}$$

$$S_R = 2 \cdot \frac{600}{3000} \cdot 20332.7 = 8133.08 \text{ kN}$$

Befestigung in jeder 2. Sicke:

$$\text{vorh } S = \frac{1}{5} \cdot 41087.46 + 8133.08 = 16350.6 \text{ kN} > \text{erf } S = 14023.3 \text{ kN}$$

⇒ Es liegt eine gebundene Drehachse vor.

Bestimmung von  $v_{Ki}$  mit den angegebenen Momentenbildern nach Bild 2.8, Seite 25:

$$M_1 = \min M = -68 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -40.70 + 68 = 27.30 \text{ kNm}$$

$$M_3 \approx \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{7 \cdot 12 \cdot 20^2}{8} = 130.24 \text{ kNm}$$

$$M_4 \approx 0 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} v_{Ki(\text{Nenner})} &= 2 \cdot M_1 \cdot f + 1.13 \cdot M_2 \cdot f + M_3 \cdot (1.74 \cdot f - 0.81 \cdot z_p) + M_4 \cdot (1.41 \cdot f - 0.81 \cdot z_p) \\ &= 2 \cdot (-6800) \cdot (-12) + 1.13 \cdot 2730 \cdot (-12) + 13024 \cdot [1.74 \cdot (-12) - 0.81 \cdot (-12)] \\ &= -1.92 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Nachweis: } v_{Ki(\text{Nenner})} = -1.92 \leq 0$$

⇒ Nachweis vorzeitig erbracht, da der Lastverzweigungsfaktor negativ ist.



## Ergebnisse der RF-BGDK-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle  $x = 0.00 \text{ m}$

Schnittgrößen			
Normalkraft	N	-22.90	kN
Starke Achse y-y			
Querkraft	V-z	44.94	kN
Biegemoment	M-y	-68.00	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	-68.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	-40.70	kNm
Maximales Moment	M-y, max	76.24	kNm
Stelle des maximalen Moments	x-My, max	6.42	m
Plastische Schnittgrößen			
Normalkraft	N-pl, k	938.40	kN
Normalkraft	N-pl, d	853.09	kN
Querkraft	V-pl, y, k	197.76	kN
Querkraft	V-pl, y, d	179.79	kN
Biegemoment	M-pl, y, k	87.84	kNm
Biegemoment	M-pl, y, d	79.85	kNm
Gebundene Drehachse			
Erforderliche Schubfeldsteifigkeit	S-erf	13866.50	kN
Ideeller Trapezblech-Schubmodul	G-S	6847.91	kN/m
Schubfeldsteifigkeit aus Trapezblech	S-vorh, T	8217.49	kN
Ideelle Verband-Schubfestigkeit	S-V	20332.70	kN
Schubfeldsteifigkeit aus Verband	S-vorh, V	8133.08	kN
Schubfeldsteifigkeit	S-vorh	16350.60	kN
Gebundene Drehachse S-vorh > S-erf	GebDrAchse	ja	
Drehbettung			
Bettung aus abstützendem Bauteil	c-ThM, k	2.34	kNm/m
Bettung aus Anschlussverformung	c-ThA, k	4.46	kNm/m
Bettung aus Profilverformung	c-ThP, k	56.03	kNm/m
Vorhandene Gesamtdrehbettung	c-Th, k	1.49	kNm/m
Ideeles Torsionsträgheitsmoment	I-T, Th	41.05	cm <sup>4</sup>
Nachweis über Drehbettung			
Knickspannungslinie	Ksl-z	b	
Parameter	Alpha	0.340	
Schlankheitsgrad	Lambda-K, z quer	1.078	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.548	
Bedingung $N / (Kappa-z * N-pl, d)$	D1	0.049	< 0.1
Gebundene Drehachse S-vorh > S-erf	GebDrAchse	ja	
Beiwert	k-Th	0.230	
Beiwert	k-v	0.35	
Erforderliche Drehbettung	erf c-Th, k	1.041	kNm/m
Maximale Normalspannung	Sigma-max	209.9	N/mm <sup>2</sup>
Streckgrenze	f-yk	240.0	N/mm <sup>2</sup>
Reduktionsfaktor von erf c-Th, k	RedFaktor	0.925	
Reduzierte erforderliche Drehbettung	erf c-Th, k, red	0.964	kNm/m
Vorhandene Drehbettung	vorh c-Th, k	1.493	kNm/m
Nachweis erf c-Th, k, red / vorh C-Th, k	erf / vorh	0.645	< 1.0

## 9.4 Gebundene Drehachse

### Bemessungswerte

#### System und Belastung

Es liegt das gleiche System und der gleiche Momentenverlauf wie im vorherigen Beispiel vor. Die Streckenlast jedoch beträgt in diesem Fall nur 2.5 kN/m.

Querschnitt: IPE 240

Material: Stahl S 235

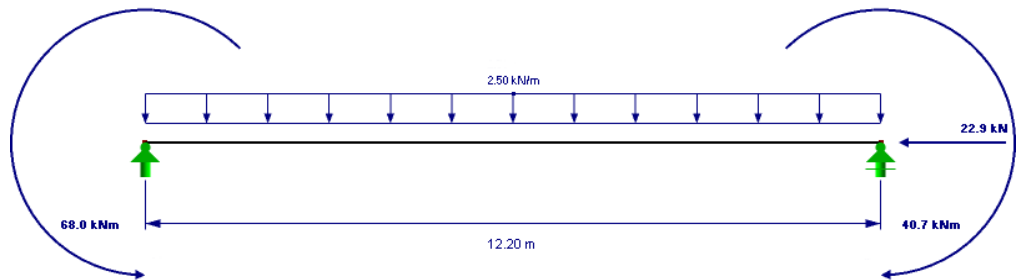


Bild 9.10: System und Belastung ( $\gamma$ -fach)

#### Schnittgrößen ( $\gamma$ -fach)

Stabendschnittgrößen:  $M_{\text{Anf}} = 68.0 \text{ kNm}$   $M_{\text{End}} = 40.7 \text{ kNm}$

$N = 22.9 \text{ kN}$

Querlast:  $q = 2.5 \text{ kN/m}$

#### Schubfeld, Drehbettingsbeiwerte, Querschnittswerte

Es liegen die gleichen Voraussetzungen vor wie im vorherigen Beispiel (siehe Kapitel 0).

#### Nachweis der gebundenen Drehachse

Vorhandene Schubfeldsteifigkeit (vgl. Kapitel 0):

$$\text{vorh } S = \frac{1}{5} \cdot 41087.46 + 8133.08 = 16350.6 \text{ kN} > \text{erf } S = 14023.3 \text{ kN}$$

⇒ Es liegt eine gebundene Drehachse vor.

Bestimmung von  $v_{\text{Ki}}$  mit den angegebenen Momentenbildern nach Bild 2.8, Seite 25:

$$M_1 = \min M = -68 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -40.70 - (-68) = 27.30 \text{ kNm}$$

$$M_3 \approx \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2.5 \cdot 12.20^2}{8} = 46.51 \text{ kNm}$$

$$M_4 \approx 0 \text{ kNm}$$

$$v_{\text{Ki(Nenner)}} = 2 \cdot (-6800) \cdot (-12) + 1.13 \cdot 2730 \cdot (-12) + 4651 \cdot [1.74 \cdot (-12) - 0.81 \cdot (-12)] = 7.43 \text{ kNm}^2 > 0$$

⇒ Ein weiterer Nachweis ist erforderlich.

#### Berücksichtigung der Drehbettung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (309):

$$c_{9M,k} = \frac{21000 \cdot 1.67}{600} \cdot 2 = 116.9 \text{ kNcm/cm}$$

mit  $k=2$ , da das Endfeld maßgebend ist

$$c_{9A,k} = 3.1 \cdot \left(\frac{12}{10}\right)^2 = 4.464 \text{ kNcm / cm}$$

$$\text{mit } \bar{c}_{9A,k} = 3.1 \text{ nach DIN 18 800, Tabelle 7 und } \frac{b_0}{10} = 1.2 \leq 1.25$$

$c_{9P,k}$  nach Gleichung 2.39 (Seite 29):

$$c_{9P,k} = \frac{2100}{4 \cdot (1 - 0.3^2)} \cdot \frac{1}{\frac{23.02}{0.62^3} + 0.5 \cdot \frac{12}{0.98^3}} = 56.03 \text{ kNcm / cm}$$

$$\text{mit } h_m = 24 - 0.98 = 23.02 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{\text{vorh } c_{9,k}} = \frac{1}{116.9} + \frac{1}{4.464} + \frac{1}{56.03}$$

$$\text{vorh } c_{9,k} = 3.99 \text{ kNcm / cm}$$

### Bestimmung von $N_{Ki}$

$$I_{T,id} = 12.9 + 3.99 \cdot \frac{1220^2}{\pi^2 \cdot 8100} = 87.19 \text{ cm}^4$$

$$c^2 = \frac{37390 + \left(\frac{1200}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{8100 \cdot 87.19}{21000}}{284}$$

$$\Rightarrow c = 134.94 \text{ cm}$$

Halbwellenzahl für min  $N_{Ki}$ : 2.726

$$N_{Ki,9} = \frac{\left(2.726 \cdot \frac{\pi}{1220}\right)^2 \cdot [21000 \cdot 284 \cdot (-12)^2 + 21000 \cdot 37390] + 8100 \cdot 12.9 + 3.99 \cdot \frac{1220^2}{2.726^2 \cdot \pi^2}}{(-12)^2 + 10.33^2}$$

$$= 1062.9 \text{ kN}$$

### Nachweis über Drehbettung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (309):

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{938.4}{1062.9}} = 0.94$$

$$\text{Tabelle 5, Zeile 3: } \frac{h}{b} = \frac{24}{12} = 2.0 > 1.2$$

$$t_i < 40 \text{ mm}$$

Achse z-z

$\Rightarrow$  Knickspannungslinie **b**

$$\Rightarrow \alpha = 0.34 \quad (\text{Tabelle 4})$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.94 - 0.2) + 0.94^2] = 1.068$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.068 + \sqrt{1.068^2 - 0.94^2}} = 0.63$$

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} = \frac{22.9}{0.63 \cdot 853.09} = 0.04 < 0.1$$

$\Rightarrow$  Nachweis nach Element (309), einachsige Biegung ohne Normalkraft, ist möglich:

$$\text{erf } c_{9,k} = \frac{M_{pl,y,d}^2}{E \cdot I_{z,k}} \cdot k_9 \cdot k_v$$

$$\text{mit } k_v = 1.0$$

Schnittgrößen nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch

$$k_9 = 1.0$$

Gebundene Drehachse liegt vor (Tabelle 6, Spalte 3)

$$\text{erf } c_{9,k} = \frac{8784^2}{21000 \cdot 284} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 12.94 \text{ kNcm / cm}$$

Nach Lindner [6] darf die erforderliche Drehbettung abgemindert werden:

$$\text{red erf } c_{9,k} = 12.94 \cdot \left( \frac{1.1 \cdot 6800}{8784} \right)^2 = 9.38 \text{ kNcm / cm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{9.38}{3.99} = 2.35 > 1.0$$

Der Nachweis über Drehbettung ist nicht erbracht, ein weiterer Nachweis ist erforderlich.

### Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2, Element (323)

Berechnung von  $\kappa_z$  gemäß Element (304) – siehe oben:

$$\kappa_z = 0.63$$

Berechnung von  $\kappa_M$  gemäß Element (311):

Tabelle 9  $\Rightarrow$  Trägerbeiwert  $n = 2.5$

Keine Abminderung nach DIN 18 800 Teil 2, Bild 14 möglich, da kein linearer Momentenverlauf ohne Vorzeichenwechsel vorliegt.

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,k}}{M_{Ki,y}}} = \sqrt{\frac{8784}{167755}} = 0.23$$

$$\kappa_M = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.23^{2 \cdot 2.5}}} = 1.0$$

Berechnung von  $k_y$  und  $\beta_{My}$  nach Element (320):

$$M_{yL} = -6800 \text{ kNcm} \quad M_{yR} = -4070 \text{ kNcm}$$

$$q_z = 0.025 \text{ kN / cm}$$

$$\psi = \frac{-4070}{-6800} = 0.6$$

$$\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7 \cdot 0.6 = 1.38$$

$$\beta_{M,Q} = 1.3$$

$$V_{zL} = \frac{-4070 - (-6800)}{1220} + \frac{0.025 \cdot 1220}{2} = 17.49 \text{ kN}$$

$\Rightarrow$  Momentenverlauf ist nicht durchschlagend

$$\Delta M = |\min M| = 6800 \text{ kNcm}$$

$$M_Q = \frac{0.025 \cdot 1220^2}{8} = 4651.25 \text{ kNcm}$$

$$\Rightarrow \beta_{M,y} = 1.38 + \frac{4651.25}{6800} \cdot (1.3 - 1.38) = 1.32$$

$$a_y = 0.15 \cdot 0.94 \cdot 1.32 - 0.15 = 0.036$$

$$k_y = 1 - \frac{22.9}{0.63 \cdot 853.09} \cdot 0.036 = 1.0$$

$$\text{Nachweis: } \frac{22.9}{0.63 \cdot 853.09} + \frac{6800}{1.0 \cdot 7985.5} \cdot 1.0 = 0.89 \leq 1.0$$

$\Rightarrow$  Nachweis erbracht

## Ergebnisse der RF-BGDK-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle  $x = 0.00 \text{ m}$

<b>Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N	-22.90	kN
<b>Starke Achse y-y</b>			
Querkraft	V-z	17.49	kN
Biegemoment	M-y	-68.00	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	-68.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	-40.70	kNm
Maximales Moment	M-y, max	-6.84	kNm
Stelle des maximalen Moments	x-My, max	7.06	m
<b>Gebundene Drehachse</b>			
Erforderliche Schubfeldsteifigkeit	S-erf	13866.50	kN
Ideeller Trapezblech-Schubmodul	G-S	6847.91	kN/m
Schubfeldsteifigkeit aus Trapezblech	S-vorh, T	8217.49	kN
Ideelle Verband-Schubfestigkeit	S-V	20332.70	kN
Schubfeldsteifigkeit aus Verband	S-vorh, V	8133.08	kN
Schubfeldsteifigkeit	S-vorh	16350.60	kN
Gebundene Drehachse S-vorh > S-erf	GebDrAchse	ja	
<b>Drehbettung</b>			
Bettung aus abstützendem Bauteil	c-ThM, k	233.80	kNm/m
Bettung aus Anschlussverformung	c-ThA, k	4.46	kNm/m
Bettung aus Profilverformung	c-ThP, k	56.03	kNm/m
Vorhandene Gesamtdrehbettung	c-Th, k	4.06	kNm/m
Ideelles Torsionsträgheitsmoment	I-T, Th	89.49	cm <sup>4</sup>
<b>Nachweis über Drehbettung</b>			
Knickspannungslinie	Ksl-z	b	
Parameter	Alpha	0.34	
Schlankheitsgrad	Lambda-K, z quer	0.94	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.64	
Normalkraft	N	-22.90	kN
Plastische Normalkraft	N-pl, d	853.09	kN
Bedingung $N / (Kappa-z * N-pl, d) < 0.1$	D1	0.04	< 0.1
Gebundene Drehachse S-vorh > S-erf	GebDrAch	ja	
Beiwert	k-Th	1.00	
Beiwert	k-v	1.00	
Erforderliche Drehbettung	erf c-Th, k	12.937	kNm/m
Bemessungsmoment	M-y	-68.00	kNm
Plastisches Moment	M-pl, y, k	87.84	kNm
Reduktionsfaktor von erf c-Th, k	Red.-Faktor	0.73	
Reduzierte erforderliche Drehbettung	erf c-Th, k, red	9.38	kNm/m
Vorhandene Drehbettung	vorh c-Th, k	4.06	kNcm/cm
<b>Nachweis erf c-Th, k / vorh c-Th, k, red</b>		<b>2.31</b>	<b>&gt; 1.0</b>
<b>Biegedrillknicklast N-Ki</b>			
Biegeeinspannungsgrad um z-Achse	Beta-z	1.00	
Wölbeinspannungsgrad	Beta-0	1.00	
Systemlänge	l	12.20	m
Wölblänge	l-0	12.20	m
Drehradius	c	135.03	cm
Halbwellenzahl für min N-Ki	n-0	2.74	
Biegedrillknicklast	N-Ki	1063.90	kN

<b>Biegedrillknickmoment M-Ki</b>			
Lastangriffspunktlage	z-p	-12.00	cm
Momentenbeiwert	Zeta	3.59	
Drehradius	c	135.03	cm
Biegedrillknickmoment	M-Ki	183.46	kNm
<b>Abminderungsfaktor Kappa-M</b>			
Trägerbeiwert	n	2.50	
Querlast in z	Q-Last z	ja	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-M quer	0.69	
Abminderungsfaktor	Kappa-M	0.94	
<b>Beiwert k-y</b>			
Momentenverhältnis	Psi-y	0.60	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,y	1.38	
Querlast in z	Q-Last z	ja	
Querlastart Einzellast in z	E-Last z	nein	
Momentenbeiwert	Beta-M,Q,y	1.30	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q,y	46.38	kNm
Maximale Differenz der Momente	Delta-M,y	68.00	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M,y	1.33	
Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	0.94	
Hilfswert	a-y	0.037	
Beiwert	k-y	1.00	
<b>Nachweis</b>			
$N / (Kappa-z * N-pl,d)$	D1	0.042	
$M-y / (Kappa-M * M-pl,y,d) * k-y$	D2	0.902	
<b>Nachweiskriterium</b>	<b>D</b>	<b>0.902</b>	<b>&lt; 1.0</b>

## 9.5 Rahmenriegel

### Bemessungswerte

#### System und Belastung

Es soll ein Rahmenriegel untersucht werden, der zwischen zwei Verbandspfetten seitlich unverschieblich gehalten ist. Die Schnittgrößen sind  $\gamma$ -fach nach Theorie II. Ordnung ermittelt.

Querschnitt: IPE 330

Material: Stahl S 355

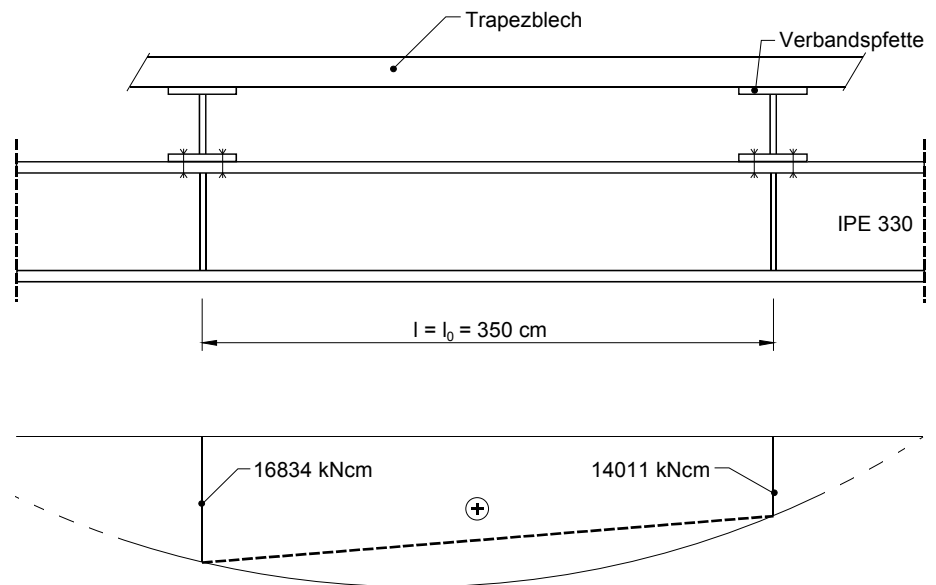


Bild 9.11: System und Schnittgrößenverlauf (schematisch)

#### Schnittgrößen

Es liegen folgende Schnittgrößen an der maßgebenden Bemessungsstelle  $x = 0.35 \text{ m}$  vor:

$$M_y = 16882 \text{ kNcm}$$

$$Q_z = 0.33 \text{ kN}$$

$$N = -94.6 \text{ kN (Druck)}$$

#### Weitere Randbedingungen

$$z_p = 0 \quad \text{Lasteinleitung über die Pfetten}$$

$$\beta = \beta_0 = 1.0 \quad \text{Gabellagerung}$$

### Querschnittswerte aus RFEM

Querschnittsgrößen		Querschnittswerte	
Querschnittsfläche	A	62.60	cm <sup>2</sup>
Lage des Schwerpunktes	z-S	16.50	cm
Trägheitsmoment	I-y	11770.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment	I-z	788.00	cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius	i-y	13.70	cm
Trägheitsradius	i-z	3.55	cm
Polarer Trägheitsradius	i-p	14.15	cm
Querschnittsgewicht	G	49.10	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I-T	28.30	cm <sup>4</sup>
Wölbwiderstand	I-ω	199100.00	cm <sup>6</sup>
Widerstandsmoment	W-y	713.00	cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment	W-z	98.50	cm <sup>3</sup>
Wölb-Widerstandsmoment	W-ω max	1562.79	cm <sup>4</sup>
Knickspannungslinie	Ksl-z	b	
Flanschlochabstand	w-1	86.00	mm
Vollplastische Normalkraft	N-pl,d	2048.73	kN
Vollplastische Querkraft	V-pl,z,d	451.36	kN
Vollplastisches Biegemoment	M-pl,y,d	26313	kNcm

### Systemgrößen $N_{Ki}$ und $M_{Ki}$

#### Berechnung von $N_{Ki}$

$$c^2 = \frac{199100 + \left(\frac{350}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{8100 \cdot 28.3}{21000}}{788} = 424.60 \text{ cm}^2$$

$$c = 20.606 \text{ cm}$$

$$\lambda_v^2 = \left(\frac{350}{3.55}\right)^2 \cdot \frac{20.606^2 + 14.15^2}{2 \cdot 20.606^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 20.606^2 \cdot 14.15^2}{(20.606^2 + 14.15^2)^2}}\right) = 9720.3$$

$$\lambda_v = 98.59$$

$$s_k = 98.59 \cdot 3.55 = 350 \text{ cm}$$

$$N_{Ki,z} = \frac{21000 \cdot 788 \cdot \pi^2}{350^2} = 1333.2 \text{ kN}$$

#### Berechnung von $M_{Ki}$

$$\text{Momentenverhältnis: } \psi = \frac{M_{\text{End}}}{M_{\text{Anf}}} = \frac{14011}{16834} = 0.8323$$

$\zeta$  nach DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 10:

$$\zeta = 1.88 - 1.4 \cdot 0.8323 + 0.52 \cdot 0.8323^2 = 1.075$$

$$M_{Ki,y} = 1.075 \cdot 1333.2 \cdot 20.606 = 295.32 \text{ kNm}$$



**Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2, Element (320)****Berechnung von  $\kappa_z$  nach Element (304)**

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{2253.6}{1333.2}} = 1.30 > 0.2$$

Tabelle 5, Knickspannungslinie **b**

$$\frac{h}{b} = \frac{33}{16} = 2.06 > 1.2 ; \quad t \leq 40 \text{ mm} \quad \text{Achse z-z}$$

$$\Rightarrow \alpha = 0.34$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (1.30 - 0.2) + 1.30^2] = 1.532$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.532 + \sqrt{1.532^2 - 1.30^2}} = 0.4268$$

**Berechnung von  $\kappa_M$  nach Element (311)**

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{28944}{29532}} = 0.99$$

$$\text{Momentenverhältnis: } \psi = \frac{14011}{16834} = 0.8323 > 0.75$$

 $k_n = 1.0$  nach Bild 14, da Querlast vorhanden (siehe Momentenverlauf)

$$\Rightarrow n = 1.0 \cdot 2.5 = 2.5$$

$$\kappa_M = \left( \frac{1}{1 + 0.99^{2 \cdot 2.5}} \right)^{\frac{1}{2.5}} = 0.765$$

**Berechnung von  $k_y$  nach Element (320)**

$$\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7 \cdot 0.8323 = 1.21739 = \beta_{M,y}$$

$$a_y = 0.15 \cdot 1.3 \cdot 1.2174 - 0.15 = 0.0874$$

$$k_y = 1 - \frac{94.6}{0.4268 \cdot 2048.7} \cdot 0.0874 = 0.991$$

$$V_z = 0.33 \text{ kN} < \frac{1}{3} \cdot V_{pl,z,d} = 150.45 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{keine Interaktion !}$$

**Nachweis nach Element 320, Gleichung (27)**

$$\frac{94.6}{0.4268 \cdot 2048.7} + \frac{16882}{0.765 \cdot 26313} \cdot 0.991 = 0.108 + 0.831 = 0.939 < 1.0$$

 $\Rightarrow$  Nachweis erbracht

## Ergebnisse der RF-BGDK-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle  $x = 0.35 \text{ m}$

<b>Schnittgrößen</b>			
Normalkraft	N	-94.60	kN
<b>Starke Achse y-y</b>			
Querkraft	V-z	0.33	kN
Biegemoment	M-y	168.82	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	168.34	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	140.11	kNm
Maximales Moment	M-y, max	168.82	kNm
Stelle des maximalen Moments	x-My, max	0.35	m
<b>Biegedrillknicklast N-Ki</b>			
Biegeeinspannungsgrad um z-Achse	Beta-z	1.00	
Wölbeinspannungsgrad	Beta-0	1.00	
Systemlänge	l	3.50	m
Wölblänge	l-0	3.50	m
Drehradius	c	20.55	cm
Vergleichsschlankheit	Lambda-V	98.59	
Knicklänge	s-k	3.50	m
Biegedrillknicklast	N-Ki	1333.24	kN
<b>Abminderungsfaktor Kappa-z</b>			
Knickspannungslinie	Ksl-z	b	
Parameter	Alpha	0.34	
Schlankheitsgrad	Lambda-K, z quer	1.30	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.43	
<b>Biegedrillknickmoment M-Ki</b>			
Lastangriffspunktlage	z-p	0.00	cm
Momentenbeiwert	Zeta	1.08	
Drehradius	c	20.55	cm
Biegedrillknickmoment	M-Ki	294.59	kNm
<b>Abminderungsfaktor Kappa-M</b>			
Trägerbeiwert	n	2.50	
Querlast in z	Q-Last z	ja	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-M quer	0.99	> 0.4
Abminderungsfaktor	Kappa-M	0.76	
<b>Beiwert k-y</b>			
Momentenverhältnis	Psi-y	0.83	
Momentenbeiwert	Beta-M, Psi, y	1.22	
Querlast in z	Q-Last z	ja	
Querlastart Einzellast in z	E-Last z	nein	
Momentenbeiwert	Beta-M, Q, y	1.30	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q, y	9.19	kNm
Max. Differenz der Momente	Delta-M, y	168.82	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M, y	1.22	
Schlankheitsgrad	Lambda-K, z quer	1.30	
Hilfswert	a-y	0.0883	
Beiwert	k-y	0.99	
<b>Nachweis</b>			
$N / (Kappa-z * N-pl, d)$	D1	0.108	
$M-y / (Kappa-M * M-pl, y, d) * k-y$	D2	0.831	
<b>Nachweiskriterium</b>	<b>D</b>	<b>0.939</b>	<b>&lt; 1.0</b>

# A Literatur

- [1] DIN 18 800 Teil 1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion, 1990
- [2] DIN 18 800 Teil 2: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, 1990
- [3] PETERSEN, C.: Stahlbau, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 3. Auflage 1993
- [4] PETERSEN, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2. Auflage 1982
- [5] LINDNER, J.: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche. Stahlbau 56 (1987), 9-14
- [6] LINDNER, J.: Stabilisierung von Biegeträgern durch Drehbettung - eine Klarstellung. Stahlbau 56 (1987), 365-373
- [7] MEISTER, J.: Rahmennachweise nach DIN 18 800. Stahlbau 60 (1991), 15-25
- [8] OSTERRIEDER, P./ VOIGT, M./ SAAL, H.: Zur Neuregelung des Biegedrillknicknachweises nach EDIN 1880 Teil 2 (Ausgabe März 1988). Stahlbau 58 (1989), 341-347
- [9] ROIK, K./ CARL, J./ LINDNER, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe, Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, 1971
- [10] DIN 4114 Blatt 1 und 2: Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), 1952
- [11] MARTIN, W.:  $\zeta$ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen, Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen i.G. / Prof. Dr.-Ing. R. THIELE
- [12] RUBIN, H.: Interaktionsbeziehungen... Stahlbau 47 (1978), 76-85, 145-151, 174-181
- [13] VOGEL, U./ HEIL, W.: Traglast-Tabellen – Tabellen für die Bemessung durchlaufender I-Träger mit und ohne Normalkraft nach dem Traglastverfahren (DIN 18 800 Teil 2), Stahleisen, Düsseldorf, 1993
- [14] DIN 18 807: Stahltrapezprofile, 1987
- [15] AS 4100-1990 (Australische Norm)
- [16] AISC LRFD (US-Norm)
- [17] DIN V ENV 1993 Teil 1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessung für den Hochbau, Beuth, Berlin, 1993
- [18] LOHSE, G.: Kippen, Werner, Düsseldorf, 3. Auflage 1997
- [19] LINDNER, J./ SCHEER, J./ SCHMIDT, H.: Stahlbauten - Erläuterungen zu DIN 18 800 Teil 1 bis 4, Beuth, 2. Auflage 1994
- [20] WITTEMANN, K.: Ideale Biegedrillknicklast für einen drehgebetteten Druckstab mit gebundener Achse. Stahlbau 61 (1992), 125-126
- [21] DUY, W.: Verzweigungslasten mittig gedrückter Stäbe mit unsymmetrischem Querschnitt. Stahlbau 56 (1987), 359-364
- [22] BALAZ, I./ KOLEKOVA, Y.: Proposals for improvements of lateral torsional buckling Eurocodes rules, Department of Metal and Timber Structures, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava
- [23] HEIL, W.: Stabilisierung von biegedrillknickgefährdeten Trägern durch Trapezblech-scheiben. Stahlbau 63 (1994), 169-178
- [24] LINDNER, J./ GROESCHEL, F.: Drehbettungswerte für die Profilblechbefestigung mit Setz-bolzen. Stahlbau 65 (1996), 218-224

# B Index

## A

Abgleich Momentenverläufe .....	72
Abminderungsfaktor $\kappa_M$ .....	69, 71
Abstützendes Bauteil .....	27
Anmerkung .....	48
Anreißmaß .....	64
Anschlussmoment .....	81
Anschlussverformung .....	28, 60
Auflagerkraft .....	61
Auflast .....	64
Auflastermittlung .....	72
Ausdruckprotokoll .....	90
Ausgeklinkter Träger .....	69
Ausnutzung .....	48
Ausschnitt .....	88
Außenfeld .....	61, 62
Australische Norm .....	21, 72

## B

Basisangaben .....	42
Beenden von RF-BGDK .....	42
Befestigungsart .....	56
Beiwert $\zeta$ .....	19, 20, 23, 67
Bemessen .....	43
Bemessungsfall .....	87, 93, 94
Benutzerprofil .....	97
Berechnung .....	71
Berechnung starten .....	74
Berechnungsdetails .....	71
Biegedrillknicklast $N_{Kl}$ .....	13, 16, 41
Biegedrillknickmoment $M_{Kl}$ ..	18, 19, 23, 26, 66
Biegedrillknicknachweis .....	18, 43
Biegeeinspannung .....	14, 19, 50
Blättern in Masken .....	42

## C

C-Profil .....	47
c-ThA,k quer .....	60

## D

Darf-Regelung .....	72
Dezimalstellen .....	44, 97
Diagonale .....	33, 57

Differenzmoment .....	81
Drehbettung .....	26, 58
Drehbettungsbeiwert $k_\theta$ .....	62
Drehbettungskoeffizient $c_{\theta,k}$ ..	15, 27, 59
Drehradius .....	13, 17
Drucken .....	91
Druckgurt .....	10, 19
Durchlaufwirkung .....	61, 62

## E

EC 3 .....	22, 68
E-Gewicht .....	84
Einheiten .....	44, 97
Einspannung .....	51
Elastisch-Elastisch .....	60, 63
Elastisches Potential .....	20, 72
Elastisch-Plastisch .....	27, 63
Ergebnisauswertung .....	85
Ergebnisdiagramm .....	88
Ergebnismasken .....	76
Ergebnisse mehrfarbig .....	89
Ergebnisse Rendering .....	89
<i>Ergebnisse</i> -Navigator .....	86
Ergebnisverläufe .....	77, 88, 91
Ergebniswerte .....	86
Ermittlung von $\zeta$ .....	72
Excel .....	98
Export Ergebnisse .....	97
Export Profile .....	96

## F

Farb-Relationsbalken .....	77
Farbskala .....	89
Filter .....	88
Filtern von Stäben .....	89

## G

Gabellagerung .....	14, 16, 51
Gebundene Drehachse .....	15, 24, 31
Geschweißter Träger .....	69
Gewalzter Träger .....	69
Gewicht .....	84
Grafik .....	86

Grafik drucken ..... 91

## H

Hintergrundgrafik ..... 86

## I

Ideelles Torsionsträgheitsmoment ..... 15, 24

Innenfeld ..... 61, 62

Installation ..... 7

Interaktion ..... 12, 18

## K

Kippen ..... 18

Knicklänge  $s_{K,z}$  ..... 54

Knickspannungslinie ..... 41

Kommentar ..... 43, 77

Kontaktmoment ..... 81

Kontinuierliche Drehbettung ..... 59, 64

Kragträger ..... 23, 51

Kurzfassung ..... 90

## L

Lagerungsart ..... 50

Länge ..... 83

Langfassung ..... 90

Lastangriffpunkt ..... 65

Lastfall ..... 43, 77

Lastfallgruppe ..... 43

Lastfallkombination ..... 43

Lindner/Groeschel ..... 28, 61

## M

Masken ..... 42

Material ..... 44

Materialbezeichnung ..... 44

Materialbibliothek ..... 44

Materialkennwerte ..... 44

Momentenverlauf ..... 21, 62, 67

## N

Nachweis ..... 73, 76, 77, 79, 88

Nachweis über Drehbettung ..... 62

Nachweiskriterium ..... 77

Nachweisverfahren ..... 63

Navigator ..... 42

Nicht kontinuierliche Drehbettung .. 27, 61, 64

Normalkraft ..... 40

## O

Oberfläche ..... 83

Optimierung ..... 48, 95

## P

Panel ..... 8, 87, 89

Parameter ..... 49

Parametrisierte Profile ..... 95

Pfette ..... 61

Pfosten ..... 33, 57

Plastische Formbeiwerte ..... 12

Plastische Querschnittswerte ..... 11

Plastisch-Plastisch ..... 27, 63

Position ..... 83

Profiloptimierung ..... 95

Profilreihen ..... 10, 47

Profilverformung ..... 30

Programmaufruf ..... 7

## Q

Querlast ..... 18, 19, 65

Querschnitt ..... 46, 50

Querschnittsbezeichnung ..... 46

Querschnittsbibliothek ..... 46, 47

Querschnittsgrafik ..... 48

Querschnittswerte ..... 9

Querschott ..... 35

## R

Randbedingungen ..... 49

RF-BGDK-Fall ..... 93

RFEM-Arbeitsfenster ..... 86

RF-FE-BGDK ..... 47, 68

Riegelabstand ..... 55, 56

Rippe ..... 56

## S

Scherkraft ..... 82

Schnittgrößen ..... 95

Schnittgrößen vernachlässigen ..... 71

Schrauben ..... 37, 39, 81

Schubfeld ..... 16, 32, 54

Schubfeldlänge ..... 55, 56

Schubfeldsteifigkeit ..... 31, 34, 55, 58

Seitliche Verformungsbehinderung ..... 31

Selektion Ausdruck ..... 90

Sichtmodus ..... 77, 86

Skalierung .....	87
Sonderlagerung .....	51
Spannungspunkt .....	48, 65
Stäbe .....	43
Stabsätze .....	43, 70, 78, 80, 84
Stabverläufe .....	87
Starten von RF-BGDK .....	7
Stelle x .....	77, 80
Steuerpanel .....	88
Stirnplatte .....	14, 35, 52
Stückliste .....	72, 83
Stützenanschluss .....	36, 53
Summe .....	84

**T**

Theorie II. Ordnung .....	43
Torsion .....	40, 43, 71
Trägerart .....	69
Trägerbeiwert .....	69
Trägerüberstand .....	36, 53
Tragsicherheitsnachweis .....	40, 77
Trapezblech .....	19, 32, 55, 59

**U**

U-Profil .....	47, 52
US-Norm .....	22, 72

**V**

Verband .....	32, 56
Verbindungsmittel .....	37, 63, 81
Vergleichsschlankheit $\lambda_v$ .....	13, 16
Verwölbung .....	34
Visualisierung .....	86
Vogel/Heil .....	16, 26, 34, 51, 55, 71
Volumen .....	84
Voutenträger .....	40, 47, 69, 76, 96
Voutenüberprüfung .....	40

**W**

Wabenträger .....	69
Winkelprofil .....	53
Wölbeinspannung .....	14, 19, 50, 52
Wölbfeder $C_{\omega}$ .....	34

**X**

x-Stelle .....	77, 79
----------------	--------

**Z**

Zeigen-Navigator .....	87, 89
Zentrischer Druck .....	41
Zeta-Beiwert .....	20, 21, 67, 72
Zugkraft .....	81
Zwischenergebnisse .....	73, 76, 85, 90