

**Fassung
Mai 2015**

Programm

KRANBAHN

**Bemessung von Kranbahnträgern
nach EN 1993-6 oder DIN 4132
mit Anpassungsrichtlinie**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

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

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

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

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	4	4.6	Ermüdungsnachweis	53
1.1	Über KRANBAHN	4	4.6.1	Theoretische Grundlagen zum Ermüdungs- bzw. Betriebsfestigkeitsnachweis	54
1.2	KRANBAHN-Team	5	4.7	Beulnachweis	58
1.3	Gebrauch des Handbuchs	5	4.8	Schweißnähte - Spannungen	59
1.4	Installationsvorgang	6	4.9	Schweißnähte - Ermüdungsnachweis	60
1.5	Aufruf von KRANBAHN	7	4.10	Kritische Lastfaktoren	61
2.	Eingabedaten	8	5.	Ausdruckprotokoll	62
2.1	Basisangaben	8	5.1	Ausdruckprotokoll anlegen	62
2.2	Geometrie	11	5.2	Selektion im Ausdruckprotokoll	63
2.3	Querschnitt	15	5.3	Ausdruckprotokoll-Navigator	66
2.4	Belastung	26	6.	Allgemeine Funktionen	67
2.5	Lastfälle	30	6.1	Menü <i>Datei</i>	67
2.6	Imperfektionen	32	6.2	Menü <i>Einstellungen</i>	69
3.	Berechnung	34	6.3	Grafik	70
3.1	Detaileinstellungen	34	6.3.1	Eingabedaten	70
3.1.1	EN 1993-6	34	6.3.2	Ergebnisse	71
3.1.2	DIN 4132	35	7.	Beispiel	73
3.1.3	FE-BGDK	37	7.1	Zweifeldrige Kranbahn nach DIN EN 1993-6	73
3.2	Start der Berechnung	38	7.2	Schnittgrößen - Tragfähigkeit	74
4.	Ergebnisse	39	7.3	BDK-Nachweis als Spannungsnachweis	74
4.1	Zusammenfassung der Nachweise	40	7.4	Lasteinleitungsspannungen	75
4.2	Schnittgrößen	41	7.5	Beulnachweise des Stegblechs unter Radlast	75
4.2.1	Schnittgrößen - Tragfähigkeit	41	7.6	Ermüdungsnachweise	76
4.2.2	Schnittgrößen - Ermüdung	42	7.7	Durchbiegungen	77
4.3	Lagerkräfte	43	A	Literatur	78
4.4	Spannungsnachweis	45	B	Index	79
4.4.1	Theoretische Grundlagen zur Spannungsberechnung	47			
4.5	Verformungsnachweis	51			
4.5.1	Theoretische Grundlagen zum Verformungsnachweis	52			

1. Einleitung

1.1 Über KRANBAHN

Sehr verehrte Anwender von KRANBAHN,

das Programm KRANBAHN bereichert die DLUBAL-Produktpalette um den Bereich der Kranbahnträgerbemessung. Dank der gewohnten Anwenderfreundlichkeit lassen sich die mitunter aufwendigen Nachweise nach DIN 4132, DIN 18800 und EN 1993-6 einfach und nachvollziehbar führen.

Der Kranbahnträger ist in KRANBAHN einzugeben. Aus den Belastungen werden Lastfälle erzeugt, die in Laststellungen zusammengefasst werden. Für jede Laststellung ergeben sich drei Lastkombinationen. Jede Lastkombination wird mit drei Belastungsniveaus berechnet, um die Schnittgrößen für den allgemeinen Spannungsnachweis, den Verformungsnachweis und den Betriebsfestigkeitsnachweis bzw. Ermüdungsnachweis zu bestimmen. Mit diesen nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung ermittelten Schnittgrößen führt KRANBAHN anschließend die Nachweise nach DIN 4132, DIN 18800 oder EN 1993-6.

Der Leistungsumfang von KRANBAHN umfasst:

- **Eingabe**

Übersichtlich gegliederte Eingabe

Grafische Darstellung und 3D Visualisierung nahezu aller Eingabedaten

Übernahme von Profilen aus der umfangreichen Querschnittsbibliothek von RSTAB/RFEM

Übernahme von Kranen aus der Kranbibliothek oder einer eigendefinierten Krاندatenbank

Berechnung der Eigenwerte unter Berücksichtigung der Belastung mit automatischer Zuordnung der Eigenwerte als Imperfektionen

Automatische Festlegung der Spannungspunkte und der Zuordnung der Kerbfälle

Zahlreiche Parameter für Steuerung der Berechnung

- **Ergebnisse**

Übersichtliche Zusammenfassung aller Ergebnisse

Übersichtliche Unterteilung in separate Ergebnismasken für jeden Nachweis

Darstellung in den Ergebnismasken: gesamtweise, x-stellenweise, spannungspunktweise

Einfache Prüfbarkeit der Ergebnisse anhand detaillierter Zwischenwerte

Ergebnisauswertung in den Tabellen als auch in der Grafik

Ausdruckprotokoll mit individuellen Gestaltungsmöglichkeiten

Übergabe der Grafiken in das Ausdruckprotokoll

Wir hoffen, dass Ihnen das Programm die Arbeit erleichtert. Ihre Verbesserungsvorschläge und Wünsche aus der praktischen Anwendung sind uns für die Weiterentwicklung von KRANBAHN immer willkommen.

Viel Freude bei der Arbeit mit KRANBAHN wünscht

Ihr DLUBAL-Team

1.2 KRANBAHN-Team

An der Entwicklung von KRANBAHN waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Ing. Marek Posch

Programmierung

Ing. Marek Posch

Ing. Martin Deyl

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

MgA. Robert Kolouch

Programmkontrolle

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß

Ing. Jakub Harazín

Dipl.-Ing. (FH) René Flori

Ing. Marek Posch

Handbuch und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß

Mgr. Petra Pokorná

MA SKT Anton Mitleider

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

Technische Unterstützung und Endkontrolle

M.Eng. Cosme Asseya

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Lex

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel

Dipl.-Ing. (BA) Sandy Matula

Dipl.-Ing. Moritz Bertram

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß

M.Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier

Dipl.-Ing. Frank Faulstich

M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Dipl.-Ing. (FH) René Flori

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel

Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner

Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich

Dipl.-Ing. (FH) Lukas Sühnel

Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

1.3 Gebrauch des Handbuchs

Da die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck im RSTAB-/RFEM-Handbuch ausführlich erläutert sind, wird hier auf eine Beschreibung verzichtet. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Programm KRANBAHN ergeben.



Dieses Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. Im Text sind die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Sichtmodus]. Gleichzeitig sind sie am linken Rand abgebildet. Die **Begriffe**, die in Dialogen, Tabellen und Menüs erscheinen, sind in *Kursivschrift* hervorgehoben, sodass die Erläuterungen gut nachvollzogen werden können.

Am Ende des Handbuchs befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie dennoch nicht fündig werden, so können Sie die Suchfunktion auf unserer Website www.dlubal.de nutzen, um in der umfangreichen Liste aller *Fragen und Antworten* das Problem nach bestimmten Kriterien einzugrenzen.

1.4 Installationsvorgang

Das Programm **KRANBAHN** wird auf einer DVD namens *Stand-Alone Applications* geliefert. Diese DVD enthält die eigenständig lauffähigen Programme RX-HOLZ, KRANBAHN, VERBUND-TR und FE-BEUL.

Ehe Sie KRANBAHN installieren, schließen Sie bitte die im Hintergrund geöffneten Anwendungen.



Beachten Sie bitte, dass Sie für die Installation als Administrator angemeldet sein müssen bzw. Administratorrechte besitzen. Für die spätere Arbeit mit RSTAB sind dann Benutzerrechte ausreichend. Eine genaue Anleitung finden Sie im [Benutzerrechte-Video](#) auf unserer Website.

Auf der Rückseite der DVD-Hülle finden Sie eine Installationsanleitung.

- Legen Sie die DVD in Ihr DVD-ROM-Laufwerk.
- Die Installationsroutine startet automatisch. Sollte dies unterbleiben, ist vermutlich die *autorun*-Funktion deaktiviert. Starten Sie in diesem Fall die Datei *setup.exe* auf der DVD über den Explorer oder geben Sie im Startmenü-Eingabefeld den Befehl *D:\setup.exe* ein (*D* bezeichnet den Laufwerksbuchstaben Ihres DVD-Laufwerks).
- Wählen Sie im Startdialog die Sprache aus.



Bild 1.1: Sprache auswählen

- Legen Sie im nächsten Dialog die KRANBAHN-Programmversion fest (64Bit oder 32Bit).
- Folgen Sie den Anweisungen des *Installation Wizard*.

Schließen Sie den Dongle erst nach Abschluss der Installation an einer USB-Schnittstelle des Computers an. Der Dongletreiber wird dann automatisch installiert.

Die DVD enthält auch Installationshinweise und das KRANBAHN-Handbuch im PDF-Format. Zum Betrachten benötigen Sie den Acrobat Reader, den Sie von der DVD installieren können.



Installation auswählen

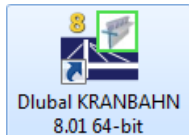
KRANBAHN als Voll- oder Testversion

Wenn Sie nach der erfolgreichen Installation das Programm zum ersten Mal starten, müssen Sie festlegen, ob Sie KRANBAHN als Vollversion oder als 30-tägige Testversion nutzen möchten.

Für die Lauffähigkeit als Vollversion benötigen Sie einen Dongle (Hardlock) und eine Autorisierungsdatei *Author.ini*. Der Dongle ist ein Stecker, der an einem USB-Anschluss des Computers anzubringen ist; die Autorisierungsdatei enthält codierte Informationen für Ihre Lizenz(en). In der Regel senden wir Ihnen die Datei *Author.ini* in einer E-Mail zu. Auch über das Extranet auf www.dlubal.de haben Sie Zugang zu Ihrer Autorisierungsdatei. Speichern Sie diese *Author.ini* auf Ihrem Rechner, einem USB-Stick oder im Netzwerk.

Die Autorisierungsdatei wird für jeden Arbeitsplatz benötigt. Sie können die Datei beliebig oft kopieren. Sollte jedoch der Inhalt geändert werden, wird sie zur Autorisierung unbrauchbar.

Die KRANBAHN-Vollversion kann als *Softlock*-Lizenz auch ohne Dongle betrieben werden.



1.5 Aufruf von KRANBAHN

KRANBAHN-Direktstart

Das Programm lässt sich über das Windows-Startmenü oder das Dlubal-Icon auf dem Desktop starten.

RSTAB- bzw. RFEM-Navigator

KRANBAHN kann auch in RSTAB oder RFEM über den Projekt-Navigator gestartet werden: Doppelklicken Sie im *Daten*-Navigator den Eintrag

Einzelprogramme → KRANBAHN 8 - Bemessung von Kranbahnträgern.

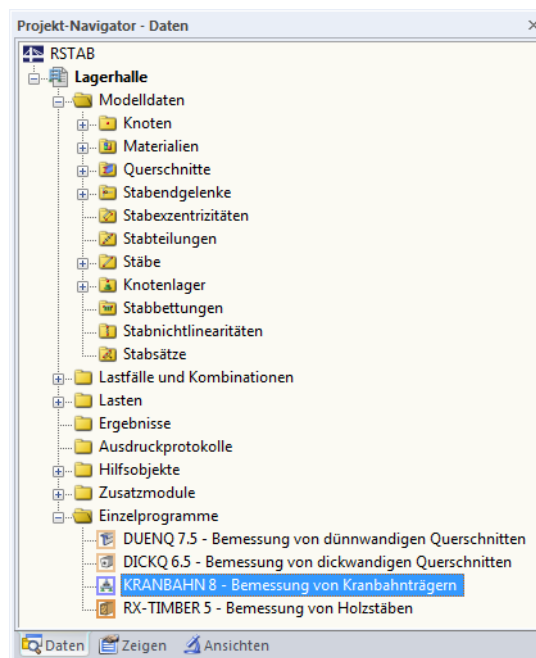


Bild 1.2: Daten-Navigator von RSTAB: *Zusatzmodule* → KRANBAHN 8 - Bemessung von Kranbahnträgern

2. Eingabedaten

Nach dem Aufruf des Programms erscheint das KRANBAHN-Fenster. Links wird ein Navigator angezeigt, der die verfügbaren Masken verwaltet. Die für den Nachweis notwendigen Angaben sind in den sechs Eingabemasken des Programms vorzunehmen.

Eine Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator aufrufen. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] (vorwärts) und [F3] (rückwärts) möglich.

Die Schaltfläche [Details] öffnet den Dialog *Details*, in dem spezifische Vorgaben für die Berechnung getroffen werden können (siehe Kapitel 3.1).

Mit der Schaltfläche [3D-Rendering] lassen sich die Eingabedaten als 3D-Grafik visualisieren (siehe Kapitel 6.3).

[OK] sichert vor dem Verlassen von KRANBAHN die Eingaben und Ergebnisse. [Abbrechen] beendet das Programm, ohne die Daten zu speichern.

In den Ergebnismasken kann die Schaltfläche [Grafik] benutzt werden, die Schnittgrößen, Verformungen, Spannungen etc. im Arbeitsfenster von RSTAB bzw. RFEM zu überprüfen (siehe Kapitel 6.3.2).

2.1 Basisangaben

Die Maske 1.1 *Basisangaben* verwaltet die allgemeinen Vorgaben zu Material, Bemessungsnorm und Krantyp.

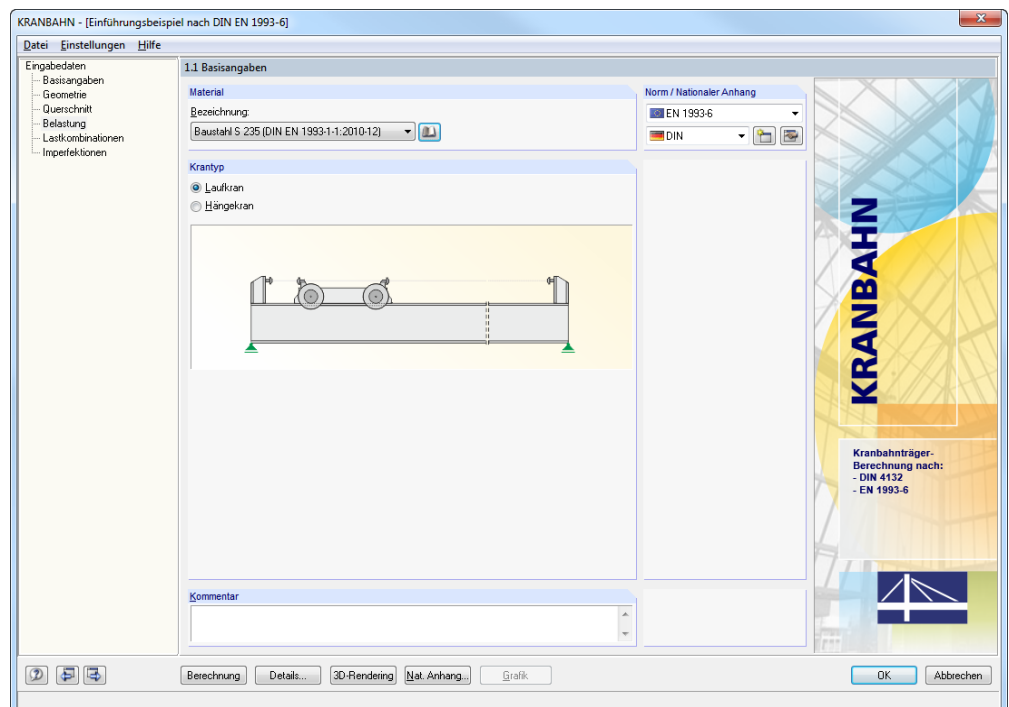


Bild 2.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Material

In der *Bezeichnung*-Liste lässt sich eines der im Programm hinterlegten Materialien auswählen. Dort stehen die Stahlsorten zur Verfügung, die von der gewählten Norm abhängen.

Baustahl S 235 (EN 10025-2:2004-11)



Die Kennwerte der Stahlsorten sind in einer [Bibliothek] hinterlegt, die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist.

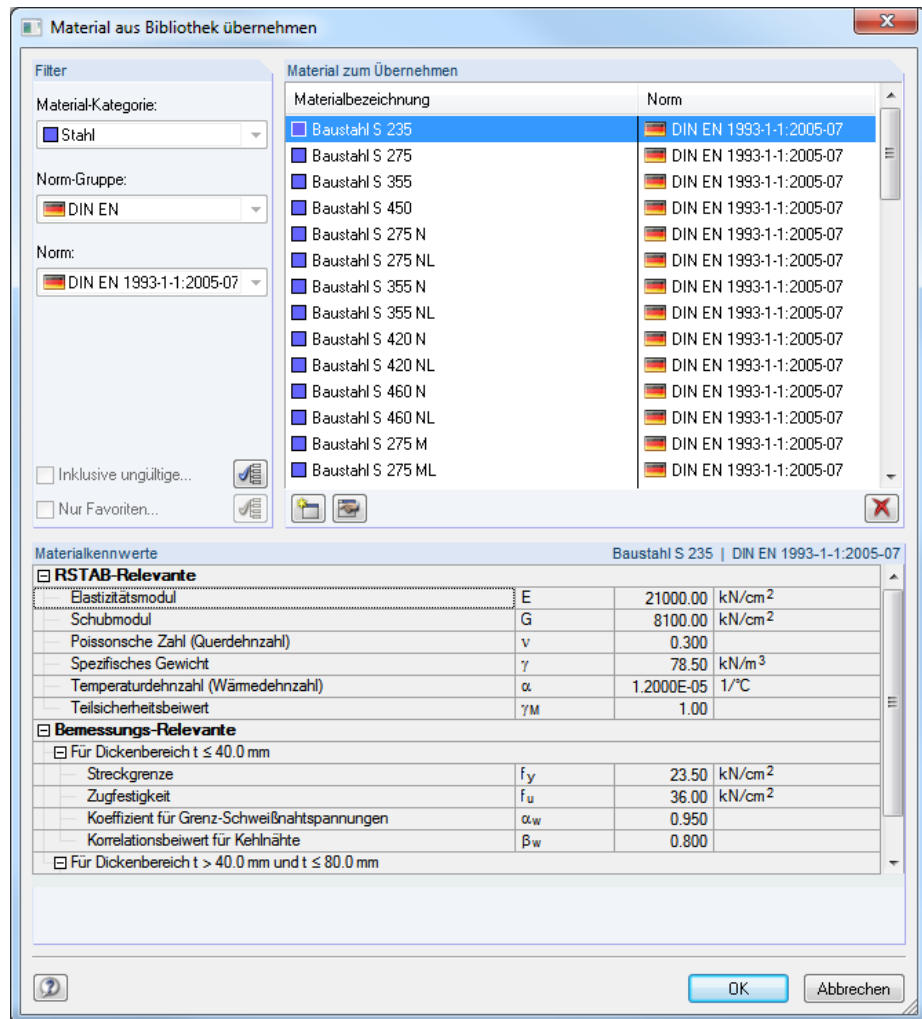


Bild 2.2: Materialbibliothek

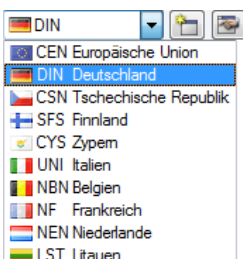
In der Bibliothek werden auch die Materialkennwerte angegeben. Dort kann auch ein Material ausgewählt werden, das mit [OK] in die Maske 1.1 übernommen wird.

Bei der Berechnung nach DIN 4132 ist es nicht zulässig, eine neue Stahlsorte in der Bibliothek zu definieren: Nach dieser Norm dürfen nur Materialien mit definierten zulässigen Spannungen für den Betriebsfestigkeitsnachweis gewählt werden. Bei einer Berechnung nach EN 1993-6 hingegen ist es möglich, eigene Materialien zu definieren. Dabei ist zu beachten, dass alle für die Bemessung notwendigen Kennwerte hinterlegt bzw. definiert werden.

Norm / Nationaler Anhang

In den Auswahlfeldern dieses Abschnitts sind die Norm, die zur Bemessung verwendet wird, und ggf. der zugehörige Nationale Anhang (NA) auszuwählen. Es stehen die Normen DIN 4132 und EN 1993-6 zur Verfügung.

Bei der Bemessung nach EN 1993-6 kann der Nationale Anhang ausgewählt werden, dessen Parameter für die Bemessung anzusetzen sind. Die Liste der Bemessungsnormen wird im Zuge der Weiterentwicklung von KRANBAHN erweitert.





Über die Schaltfläche [Bearbeiten] lassen sich die voreingestellten Parameter des aktuellen Nationalen Anhangs bzw. der Norm überprüfen und bei Bedarf anpassen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Kombinatorik.



Mit [Neu] kann ein eigendefinierter Nationaler Anhang erstellt werden.

Krantyp

Mit KRANBAHN können sowohl Laufkrane als auch Hängekrane bemessen werden. Die Vorgabe erfolgt über die Auswahlfelder dieses Abschnitts. Die Grafik wird automatisch an den Krantyp angepasst.



Für die Bemessung nach DIN 4132 stehen nur Laufkrane zur Auswahl.

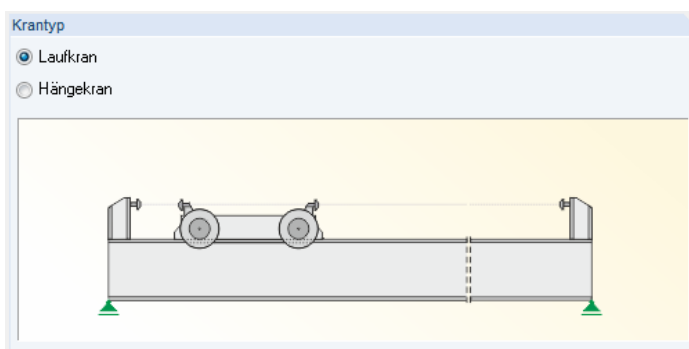


Bild 2.3: Krantyp *Laufkran*

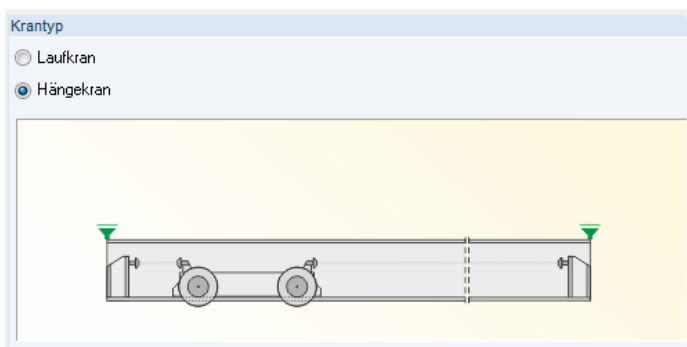


Bild 2.4: Krantyp *Hängekran*

Kommentar

Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung.



Bild 2.5: *Kommentar*

2.2 Geometrie

1.2 Geometrie

Gesamtlänge des Trägers:
L: 10.000 [m]

Lagerung | Feder-Konstanten | Gelenke | Steifen

Lager Nr.	A Stelle x [m]	B Lagertyp	C Verschiebung in			D Verdrehung um			I Wölbung	J Gelenk	K Steife	L Lager Breite a [mm]
			X	Y	Z	X	Y	Z				
1	0.000	Gelenkig	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	Starre	
2	2.000	Frei	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Verformbare	
3	4.000	Nur seitlich OK	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Keine	200.0
4	6.000	Nur seitlich UK	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	Verformbare	
5	8.000	Benutzerdefiniert	☐	Feder...	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Keine	200.0
6	10.000	Gelenkig verschiebl.	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	Starre	
7												

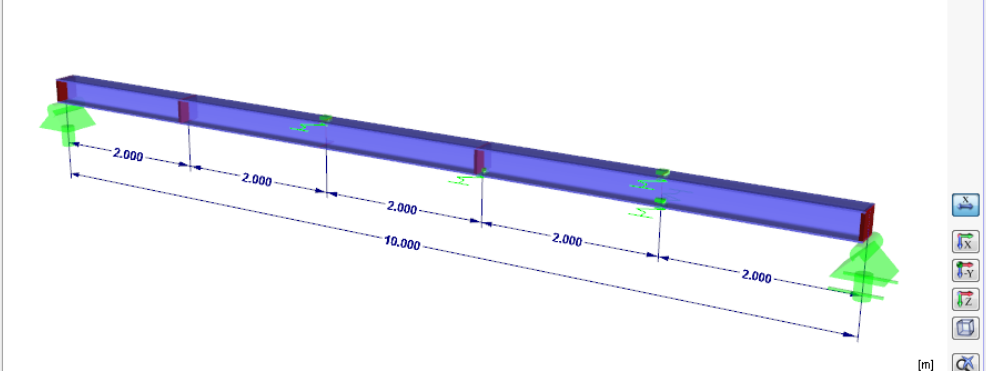


Bild 2.6: Maske 1.2 Geometrie

Gesamtlänge des Trägers

Als Erstes muss die *Gesamtlänge* des Einfeld- bzw. Durchlaufträgers festgelegt werden. Sollten im Register *Lagerung* bereits Einträge für die Stellen x der Auflager vorliegen, darf die Gesamtlänge nicht kleiner als der maximale Abstand der x-Stelle vom Trägeranfang sein. Ansonsten wird der maximale Abstand x auf die Gesamtlänge automatisch verkürzt.

Lagerung

In diesem Register sind die Auflagerstellen und die Freiheitsgrade der Auflager anzugeben. Durch die Platzierung des Cursors in einer bestimmten Zeile kann die *Stelle x* des Lagers manuell festgelegt werden.

Lagerung | Feder-Konstanten | Gelenke | Steifen

Lager Nr.	A Stelle x [m]	B Lagertyp	C Verschiebung in			D Verdrehung um			I Wölbung	J Gelenk	K Steife	L Lager Breite a [mm]
			X	Y	Z	X	Y	Z				
1	0.000	Gelenkig	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	Starre	
2	2.000	Frei	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Verformbare	
3	4.000	Nur seitlich OK	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Keine	200.0
4	6.000	Nur seitlich UK	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	Verformbare	
5	8.000	Benutzerdefiniert	☐	Feder...	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Keine	200.0
6	10.000	Gelenkig verschiebl.	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	Starre	
7												

Bild 2.7 Maske 1.2 Geometrie, Register Lagerung

- Gelenkig
- Gelenkig verschiebl.
- Frei
- Nur seitlich OK
- Nur seitlich UK
- Benutzerdefiniert

Der *Lagertyp* ist in Spalte B für das jeweilige Lager über eine Liste zuzuweisen. Es stehen folgende Typen zur Auswahl:

- Gelenkig
- Gelenkig verschieblich
- Frei
- Nur seitlich OK
- Nur seitlich UK
- Benutzerdefiniert

Die Lagertypen „Gelenkig“ und „Gelenkig verschieblich“ lassen keine Änderung in Bezug auf die zugehörigen Stützungen bzw. Einspannungen (Spalten C bis H) zu.

Eine seitliche Federstützung am Ober- bzw. Untergurt des Trägerquerschnitts kann über die Optionen „Nur seitlich OK“ und „Nur seitlich UK“ zugewiesen werden. Die zugehörige Federkonstante ist dann im folgenden Register anzugeben.

Beim Lagertyp *Benutzerdefiniert* kann die Stützung, Einspannung bzw. Wölbungsbehinderung manuell festgelegt werden. Dem Lager kann in den Spalten C bis I über die Liste eine feste Stützung bzw. Einspannung oder auch eine Feder zugeordnet werden. Diese Möglichkeit besteht für eine elastische Stützung, elastische Einspannungen und eine Verwölbung.

Weiterhin ist es möglich, an bestimmten Lagern *Gelenke* anzusetzen. Die Zuweisung erfolgt in Spalte J dieses Registers. Die Gelenkeigenschaften sind dann im Register *Gelenke* zu definieren. Damit ließe sich beispielsweise eine Kette von Einfeldträgern erzeugen.

- Keine
- Starre
- Verformbare

Für jedes Lager kann manuell festgelegt werden, ob eine Auflagersteife vorhanden ist. Es stehen die Optionen „Keine“, „Starre Auflagersteife“ und „Verformbare Auflagersteife“ zu Auswahl. Die Art der Steife hat Einfluss auf den Beulnachweis des Trägers, da dadurch die Schubbeanspruchbarkeit des Steges beeinflusst wird.

Wenn keine Auflagersteife definiert wird, muss die *Breite a* des Lagers angegeben werden, damit die Spannungs-, Ermüdungs- und Beulnachweise geführt werden können.

Feder-Konstanten

Das zweite Register ist zugänglich, wenn im Register *Lagerung* eine Feder definiert wurde.

Lagerung	Feder-Konstanten		Gelenke	Steifen									
Lager Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H		J			
	Stelle x [m]		Wegfeder [kN/m] $C_{u,Y}$			Drehfeder [kNm/rad] $C_{\varphi,Y}$		Wölbfeder C_{ω} [kNm ³]	Flanschfeder [kN/m] $C_{u,Y}$ oben $C_{u,Y}$ unten				
3	4.000									50.000			
4	6.000							9.720		25.000			
5	8.000		7.500							15.000 15.000			

Bild 2.8: Maske 1.2 Geometrie, Register *Feder-Konstanten*

Nach dem Platzieren des Cursors in der gewünschten Zeile können die Konstanten der Weg-, Dreh- und Wölbefedern eingegeben werden.



Die Steifigkeit der *Wölbfeder* ist von der Art der Wölbungseinspannung abhängig. Diese Berechnung kann in KRANBAHN automatisch erfolgen. Nach einem Klick in das Feld in Spalte H wird dort die Schaltfläche [...] angezeigt.

Der Klick auf diese Schaltfläche öffnet einen Dialog, in dem nach der Eingabe der Parameter die resultierende Steifigkeit angezeigt wird (siehe folgendes Bild).

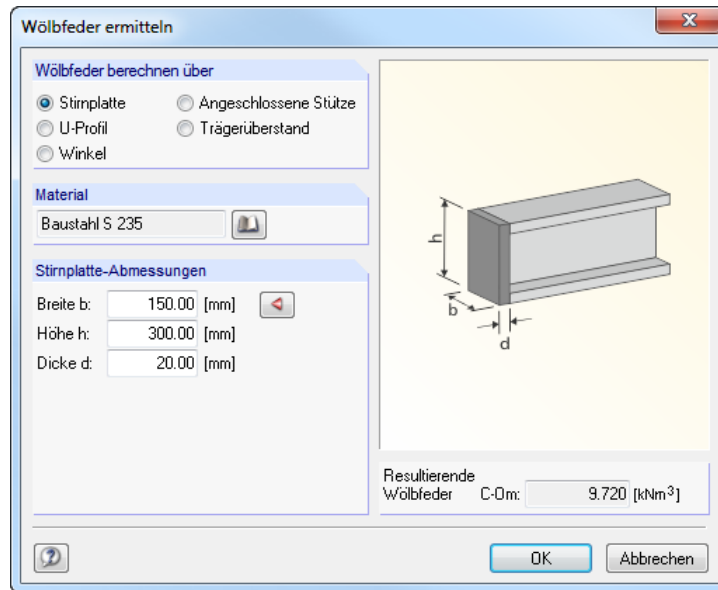


Bild 2.9: Dialog Wölbfeder ermitteln

Je nach Art der Wölbfeder ändern sich die Eingabemöglichkeiten. Zunächst ist im Abschnitt *Wölbfeder berechnen über* der Federtyp festzulegen. Anschließend kann die Geometrie definiert werden.

Gelenke

Das dritte Register ist zugänglich, wenn im Register *Lagerung* ein Gelenk definiert wurde.

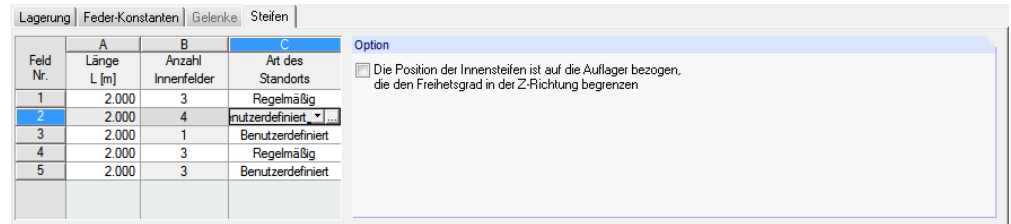
Lagerung Feder-Konstanten Gelenke Steifen									
Lager Nr.	A Stelle x [m]	B N	C N-/V-Gelenk V _y	D V _z	E M _T	F T-/M-Gelenk M _y	G M _z	H Wölbung M _Ω	
3	4.000	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	
5	8.000	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	

Bild 2.10: Maske 1.2 Geometrie, Register Gelenke

In diesem Register sind die Freiheitsgrade bzw. die Gelenkeigenschaften zu definieren, die an den relevanten x-Stellen vorliegen. Das gewünschte Gelenk kann anhand der Kontrollfelder erzeugt werden.

Steifen

Im letzten Register kann die Anzahl und die Aufteilung der Steifen in den Feldern festgelegt werden.



Feld Nr.	A Länge L [m]	B Anzahl Innenfelder	C Art des Standorts
1	2.000	3	Regelmäßig
2	2.000	4	Benutzerdefiniert
3	2.000	1	Benutzerdefiniert
4	2.000	3	Regelmäßig
5	2.000	3	Benutzerdefiniert

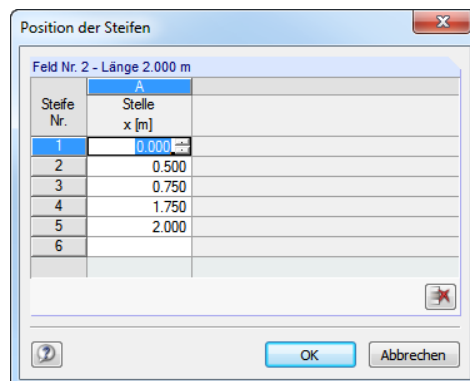
Option
☒ Die Position der Innensteifen ist auf die Auflager bezogen, die den Freiheitsgrad in der Z-Richtung begrenzen

Bild 2.11: Maske 1.2 Geometrie, Register Steifen

Durch die definierten Auflager wird der Träger in einzelne Felder eingeteilt. Die Anordnung der Steifen in diesen Feldern kann nun manuell weiter verfeinert oder geändert werden. In Spalte C finden Sie zwei Optionen, wie die Steifen angeordnet werden können.

Mit der Option „Regelmäßig“ wird eine gleichmäßige Aufteilung über die Anzahl der Innenfelder generiert. Bei einer minimalen Teilung von 1 werden die Steifen immer am Auflager angeordnet. Bei einer Teilung von 2 wird eine zusätzliche Steife in Feldmitte berücksichtigt, analog dazu wird bei einer Teilung von 3 je eine Steife in den Drittelpunkten des Feldes angeordnet. Die Steifen wirken sich auf den Beulnachweis aus.

Um unterschiedliche Steifenabstände im Feld festzulegen, kann die Option „Benutzerdefiniert“ ausgewählt werden. Nach einem Klick in das Feld in Spalte C wird dort die Schaltfläche [...] angezeigt. Ein Klick auf diese Schaltfläche öffnet folgenden Dialog, in dem für das gewählte Feld die Steifenpositionen festgelegt werden können.



Position der Steifen

Feld Nr. 2 - Länge 2.000 m

Steife Nr.	Stelle x [m]
1	0.000
2	0.500
3	0.750
4	1.750
5	2.000
6	

OK Abbrechen

Bild 2.12: Maske 1.2 Geometrie, Register Steifen, Dialog Position der Steifen

Der Abschnitt *Option* bietet eine zusätzliche Möglichkeit, die Steifen zu positionieren: Das Anhängen des Kontrollfeldes bewirkt, dass die Steifen gleichmäßig nur zwischen den Auflagern aufgeteilt werden, die in Z-Richtung gehalten sind. Die Teilung erfolgt auf Basis der gewählten Anzahl der Innenfelder. Das folgende Bild stellt diese Option beispielhaft dar:

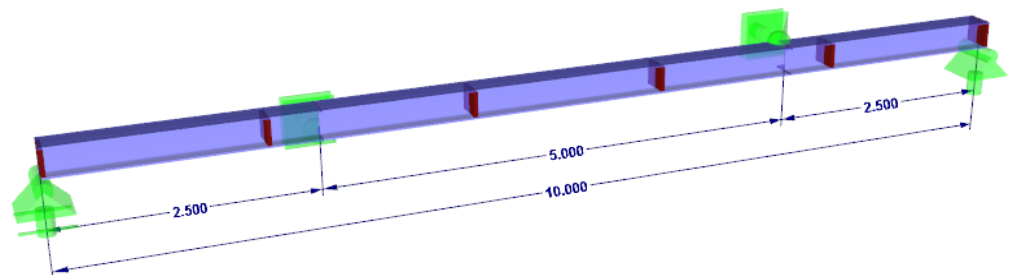


Bild 2.13: Regelmäßige Positionierung von Steifen nur zwischen Auflagern in Z-Richtung

2.3 Querschnitt

In dieser Maske sind die Querschnittsparameter auszuwählen, die Schienen zu definieren und die Vorgaben für den Ermüdungsnachweis bzw. Betriebsfestigkeitsnachweis und die Nachweise der Schweißnähte zu treffen.

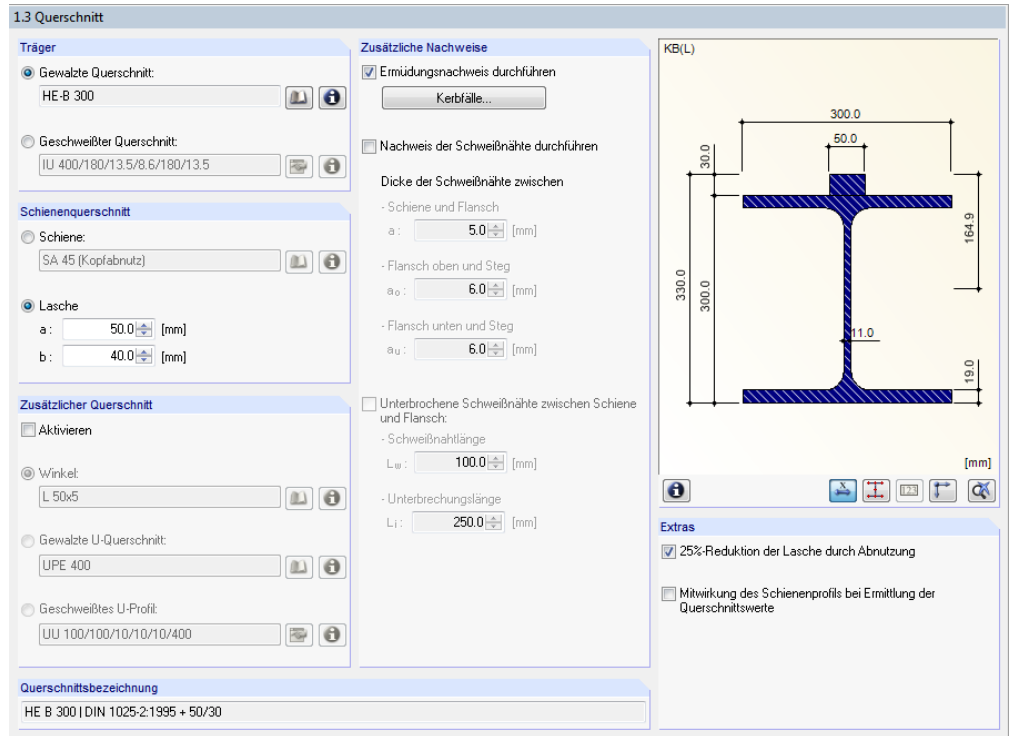


Bild 2.14: Maske 1.3 Querschnitt

Träger

In diesem Abschnitt ist der Querschnitt des Kranbahnträgers zu definieren.

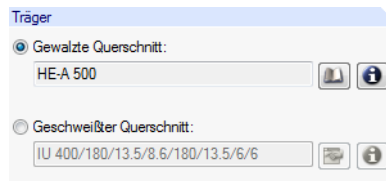


Bild 2.15: Abschnitt Träger

Es stehen folgende Profiltypen zur Auswahl:

- Gewalzter Querschnitt
- Geschweißter Querschnitt



Bei Walzprofilen besteht Zugriff auf die umfangreiche [Bibliothek] der I-förmigen Walzprofile, die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist. In einem neuen Dialog ist zunächst die I-Profilreihe I, IPE, IPEa, IPEo, IPEv, HE-B, HE-A, HE-M, HE-AA usw. anzugeben. Danach kann das gewünschte Walzprofil in der Profilverei ausgewählt werden. Mit Hilfe der Schaltfläche [Info] werden detaillierte Informationen über den Querschnitt angezeigt.

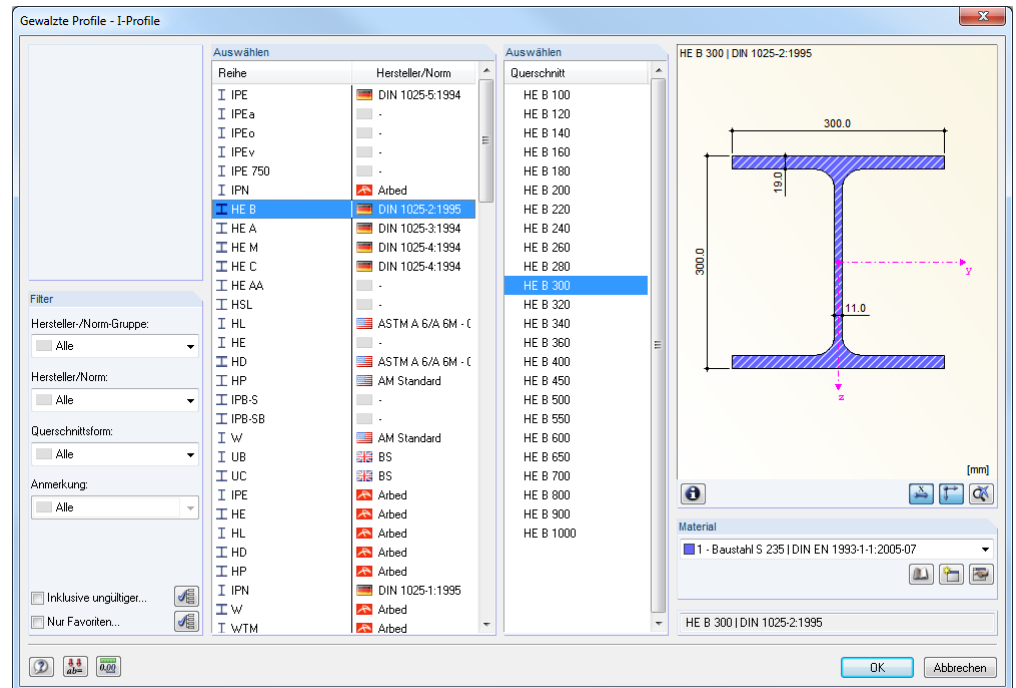


Bild 2.16: Querschnittbibliothek für *Gewaltzte Profile*



Liegt ein *Geschweißter Querschnitt* vor, können über die Schaltfläche [Bearbeiten] I-förmige, einachsig symmetrische Profile definiert werden.

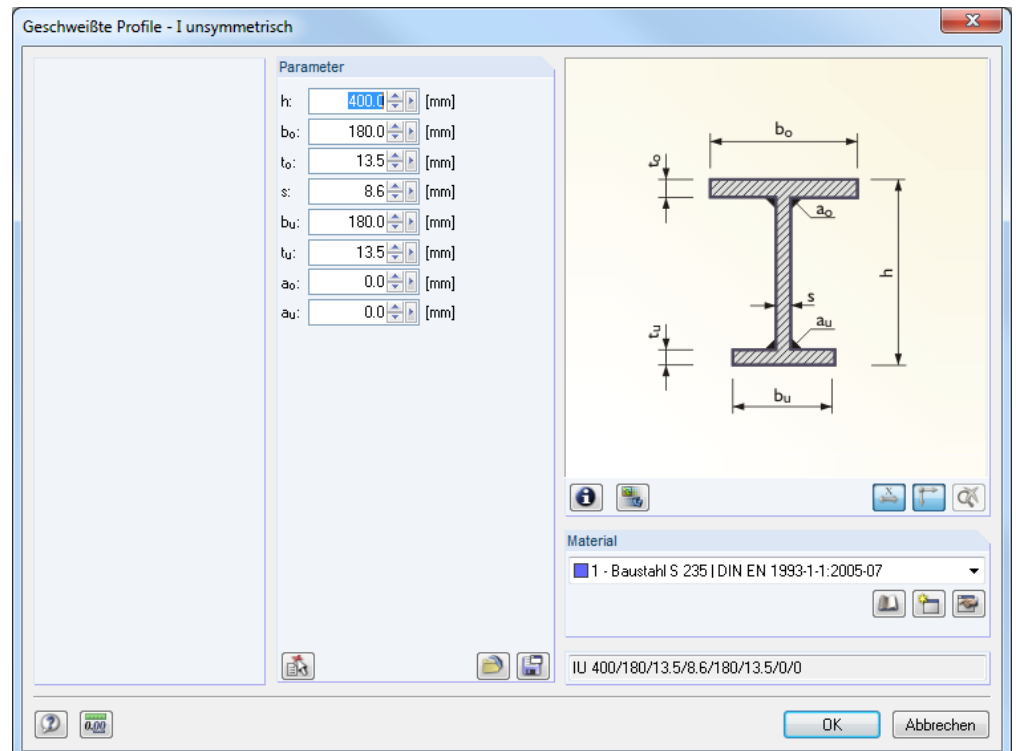


Bild 2.17: Parametrische Eingabe für *Geschweißte Profile*



Die Abmessungen sind manuell einzugeben, können aber über die Schaltfläche [↵] auch von I-Walzprofilen übernommen werden. Um die Eingabe zu speichern, kann das Profil mit der Schaltfläche [Sichern] in der Anwenderprofilbibliothek abgelegt werden. Die gespeicherten Profile lassen sich mit der Schaltfläche [Lesen] wieder aus der Bibliothek aufrufen.

Schienenquerschnitt

Bei einem Laufkran kann in diesem Abschnitt die Kranschiene festgelegt werden.



Bild 2.18: Abschnitt *Schienenquerschnitt*



Gewalzte Schienen lassen sich ebenfalls in der [Bibliothek] auswählen.

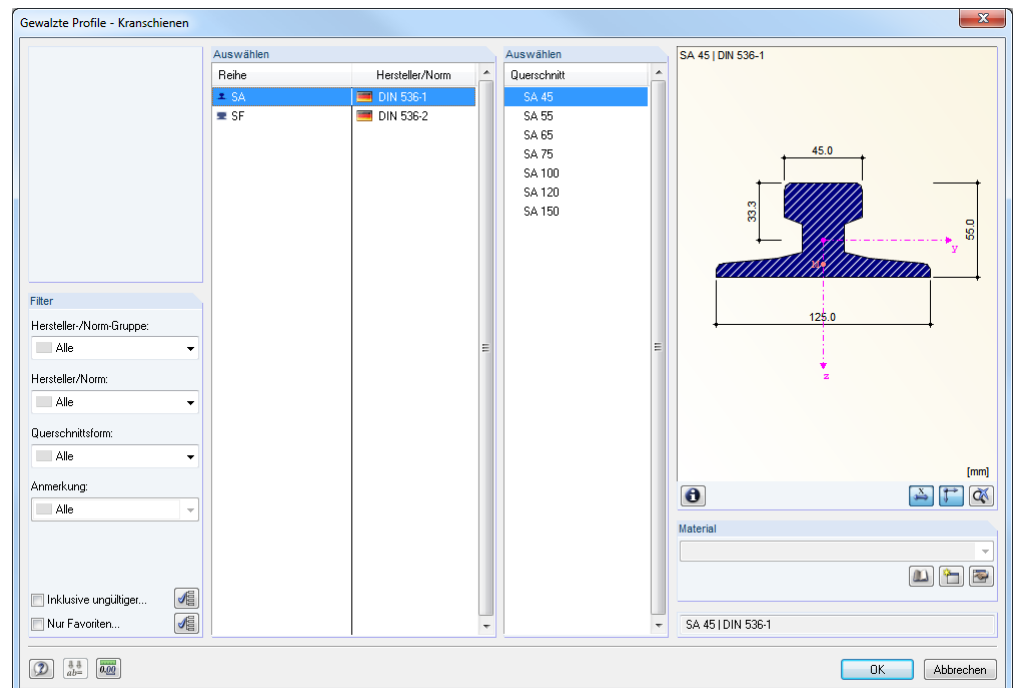


Bild 2.19: Querschnittbibliothek für *Gewalzte Profile - Kranschinen*

Bei *Laschen* müssen die Abmessungen manuell eingegeben werden.

Der Trägerquerschnitt aus einem Walz- oder Schweißprofile kann beliebig mit einer Schiene oder Lasche kombiniert werden.

Falls das Schienenprofil zu groß bzw. das Trägerprofil zu klein gewählt wird, kann die Eingabe erst mit einem plausiblen Kranbahnträgerprofil fortgesetzt werden.

Zusätzlicher Querschnitt

Bei einem Laufkran können Zusatzprofile am Kranbahnträger angeordnet werden.

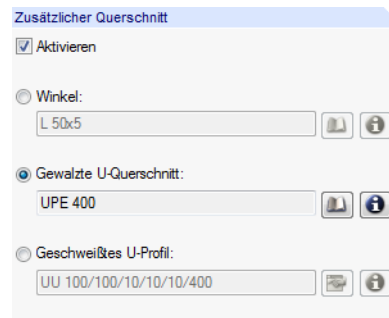


Bild 2.20: Abschnitt *Zusätzlicher Querschnitt*

Es stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

- Winkel
- Gewalztes U-Profil
- Geschweißtes U-Profil

Die Zusatzprofile lassen sich – wie die Querschnitte der Träger – in der [Bibliothek] auswählen.

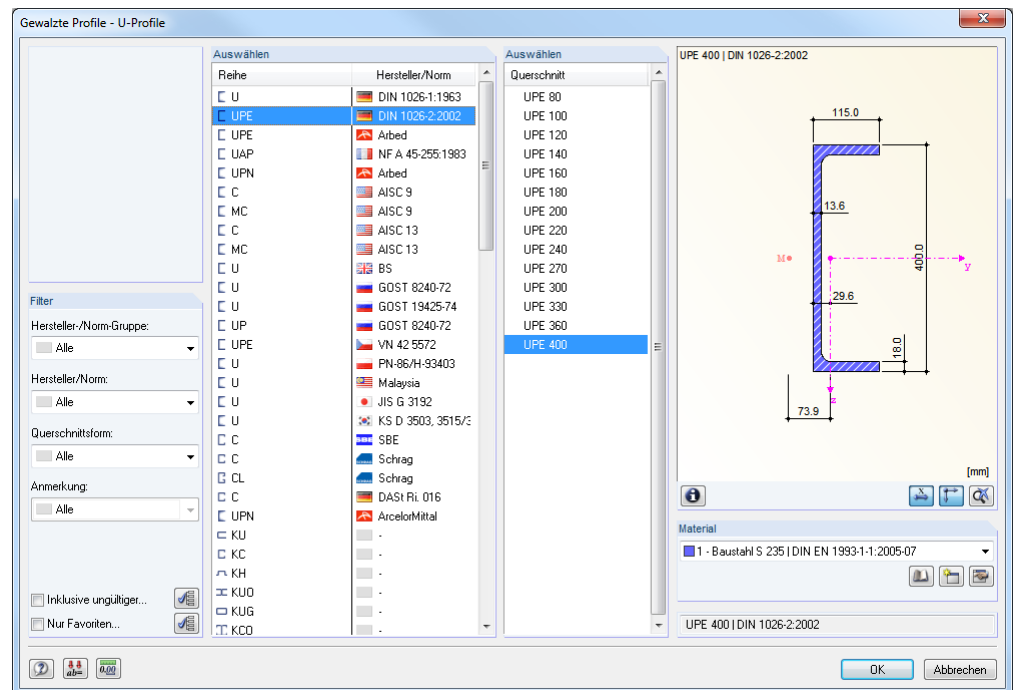


Bild 2.21: Querschnittbibliothek für *Gewaltzte Profile - U-Profile*

Die Auswahl und Eingabe in diesen Dialogen erfolgt wie für die Trägerquerschnitte.



Am Ende der Eingabefelder der einzelnen Profile sowie beim Gesamtquerschnitt steht die Schaltfläche [Info] zur Verfügung. Sie ruft den Dialog *Info über Querschnitt* mit den Kennwerten des jeweiligen Querschnitts auf.

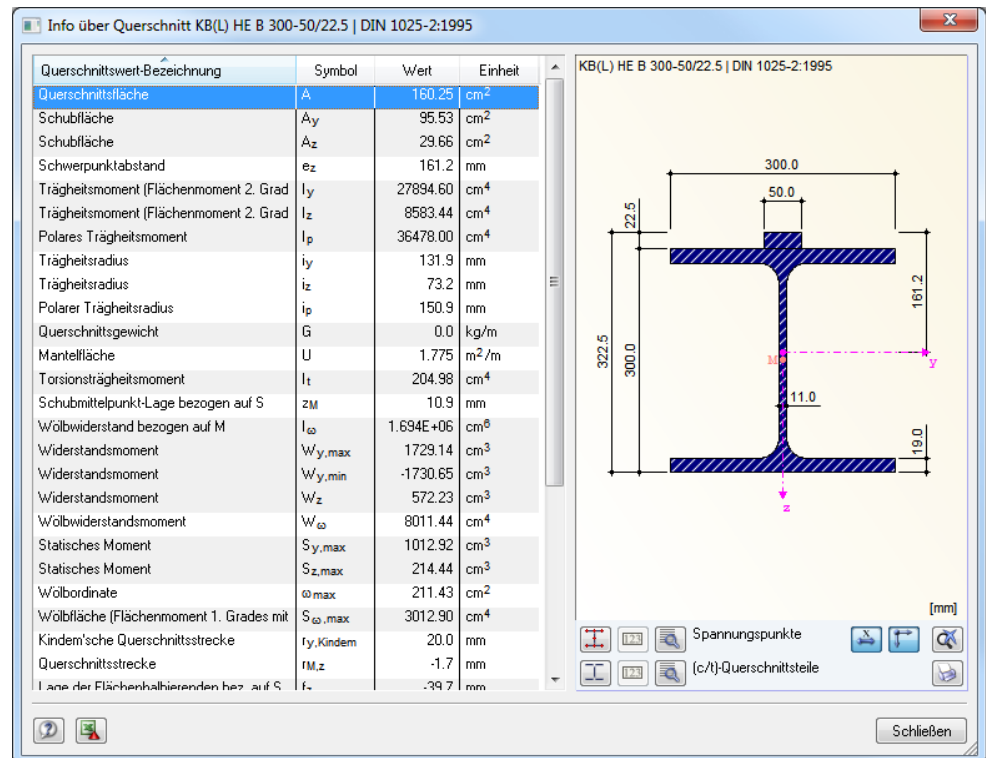


Bild 2.22: Dialog *Info über Querschnitt*

Dieser Dialog gibt auch Aufschluss über Spannungspunkte und c/t-Querschnittsteile.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Funktion
	Blendet die Spannungspunkte ein oder aus
	Blendet die c/t-Querschnittsteile ein oder aus
	Blendet die Nummern der Spannungspunkte bzw. c/t-Teile ein oder aus
	Zeigt die Details der Spannungspunkte bzw. c/t-Teile an
	Schaltet die Bemaßung des Querschnitts ein oder aus
	Schaltet die Hauptachsen des Querschnitts ein oder aus
	Stellt die Gesamtansicht des Querschnitts wieder her

Tabelle 2.1: Schaltflächen im Dialog *Info über Querschnitt*

Nach Aktivieren der Schaltflächen [Spannungspunkte] und [Nummerieren] werden die automatisch angelegten Spannungspunkte in der Profilgrafik angezeigt.

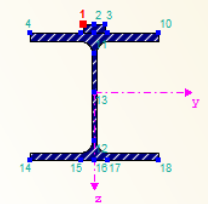


Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Details] werden die Koordinaten und statischen Momente, Dicken und Wölbordinaten der Spannungspunkte in einem neuen Dialog angezeigt.

Spannungspunkte von KB(L) HE B 300-50/22.5 | DIN 1025-2:1995

Spann- Nr.	A Koordinaten		B Statische Momente		D Dicke t [mm]	F Wölbung		G A _ω [cm ⁴]
	y [mm]	z [mm]	S _y [cm ³]	S _z [cm ³]		ω [cm ²]	A _ω [cm ⁴]	
1	-25.0	-161.2	0.00	0.00	22.5	40.20	0.00	
2	0.0	-161.2	-84.30	-7.03	22.5	0.00	-113.06	
3	25.0	-161.2	0.00	0.00	22.5	-40.20	0.00	
4	-150.0	-138.7	0.00	0.00	19.0	210.07	0.00	
5	-32.5	-138.7	-287.97	-203.68	19.0	45.51	-2852.95	
6	-32.5	-138.7	-287.97	-203.68	19.0	45.51	-2852.95	
7	0.0	-138.7	-370.47	-214.44	19.0	0.00	-2993.48	
8	32.5	-138.7	-287.97	203.68	19.0	-45.51	2852.95	
9	32.5	-138.7	-287.97	203.68	19.0	-45.51	2852.95	
10	150.0	-138.7	0.00	0.00	19.0	-210.07	0.00	
11	0.0	-92.7	-961.62	0.00	11.0	0.00	0.00	
12	0.0	115.3	-917.30	0.00	11.0	0.00	0.00	
13	0.0	0.0	-1012.86	0.00	11.0	0.00	0.00	
14	-150.0	161.3	0.00	0.00	19.0	-211.43	0.00	
15	-32.5	161.3	-339.09	203.68	19.0	-45.81	-2871.46	
16	0.0	161.3	-435.90	214.44	19.0	0.00	-3012.90	
17	32.5	161.3	-339.09	-203.68	19.0	45.81	2871.46	
18	150.0	161.3	0.00	0.00	19.0	211.43	0.00	

KB(L)



Schließen

Bild 2.23: Dialog Spannungspunkte

Nach Aktivieren der Schaltflächen [c/t-Querschnittsteile] und [Nummerieren] werden die c/t-Teile des Querschnitts in der Profilgrafik dargestellt.

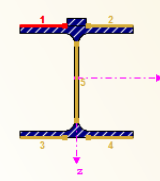


Die c/t-Verhältnisse aller Querschnittsteile kann mit einem Klick auf die Schaltfläche [Details] in tabellarischer Form angezeigt werden. Diese Werte können z.B. mit [1] Teil 1, Tabelle 12 verglichen werden.

(c/t)-Querschnittsteile von KB(L) HE B 300-50/22.5 | DIN 1025-2:1995

(c/t)- Nr.	A Gelagert Form	B c [mm]	C t [mm]	D c/t [-]	E Koordinaten Anfang		F Koordinaten Ende		G Mittlere statische Momente S _y [cm ³]	H S _z [cm ³]
					y [mm]	z [mm]	y [mm]	z [mm]		
1	Einseitig	117.5	19.0	6.18	-32.5	-138.7	-150.0	-138.7	143.99	123.71
2	Einseitig	117.5	19.0	6.18	32.5	-138.7	150.0	-138.7	143.99	123.71
3	Einseitig	117.5	19.0	6.18	-32.5	161.3	-150.0	161.3	169.55	123.71
4	Einseitig	117.5	19.0	6.18	32.5	161.3	150.0	161.3	169.55	123.71
5	Beidseitig	208.0	11.0	18.91	0.0	-92.7	0.0	115.3	987.98	0.00

KB(L)



Schließen

Bild 2.24: Dialog (c/t)-Querschnittsteile

Zusätzliche Nachweise

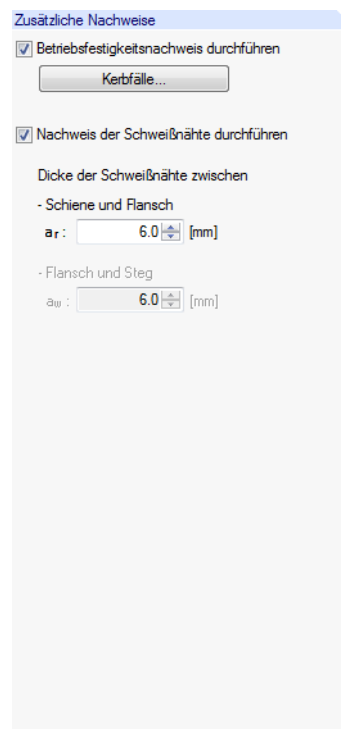
Ermüdungsnachweis / Betriebsfestigkeitsnachweis durchführen

Zusätzlich kann ein Ermüdungs- bzw. Betriebsfestigkeitsnachweis geführt werden.



The screenshot shows the 'Zusätzliche Nachweise' (Additional Proofs) dialog box. It has a title bar 'Zusätzliche Nachweise'. Inside, there are two checked checkboxes: 'Ermüdungsnachweis durchführen' and 'Nachweis der Schweißnähte durchführen'. Below the first checkbox is a button labeled 'Kerbfälle...'. Below the second checkbox is a section titled 'Dicke der Schweißnähte zwischen' (Thickness of welds between). This section contains three sub-items: '- Schiene und Flansch' with a value 'a : 6.0 [mm]', '- Flansch oben und Steg' with a value 'a_o : 6.0 [mm]', and '- Flansch unten und Steg' with a value 'a_u : 6.0 [mm]'. Below this is another unchecked checkbox: 'Unterbrochene Schweißnähte zwischen Schiene und Flansch:'. This section contains two sub-items: '- Schweißnahtlänge' with a value 'L_w : 100.0 [mm]' and '- Unterbrechungslänge' with a value 'L_i : 250.0 [mm]'. All input fields are numeric with up/down arrows and unit indicators.

Bild 2.25: Abschnitt *Ermüdungsnachweise* (für EN 1993-6)



The screenshot shows the 'Zusätzliche Nachweise' (Additional Proofs) dialog box. It has a title bar 'Zusätzliche Nachweise'. Inside, there are two checked checkboxes: 'Betriebsfestigkeitsnachweis durchführen' and 'Nachweis der Schweißnähte durchführen'. Below the first checkbox is a button labeled 'Kerbfälle...'. Below the second checkbox is a section titled 'Dicke der Schweißnähte zwischen' (Thickness of welds between). This section contains two sub-items: '- Schiene und Flansch' with a value 'a_r : 6.0 [mm]' and '- Flansch und Steg' with a value 'a_u : 6.0 [mm]'. All input fields are numeric with up/down arrows and unit indicators.

Bild 2.26: Abschnitt *Betriebsfestigkeitsnachweis* (für DIN 4132)

Kerbfälle...

Beim Anhängen des Kontrollfeldes wird die Schaltfläche [Kerbfälle] zugänglich. Sie ermöglicht den Zugang zum Dialog *Kerbfälle bearbeiten*, in dem die Vorgaben für die relevanten Spannungspunkte zu treffen sind.

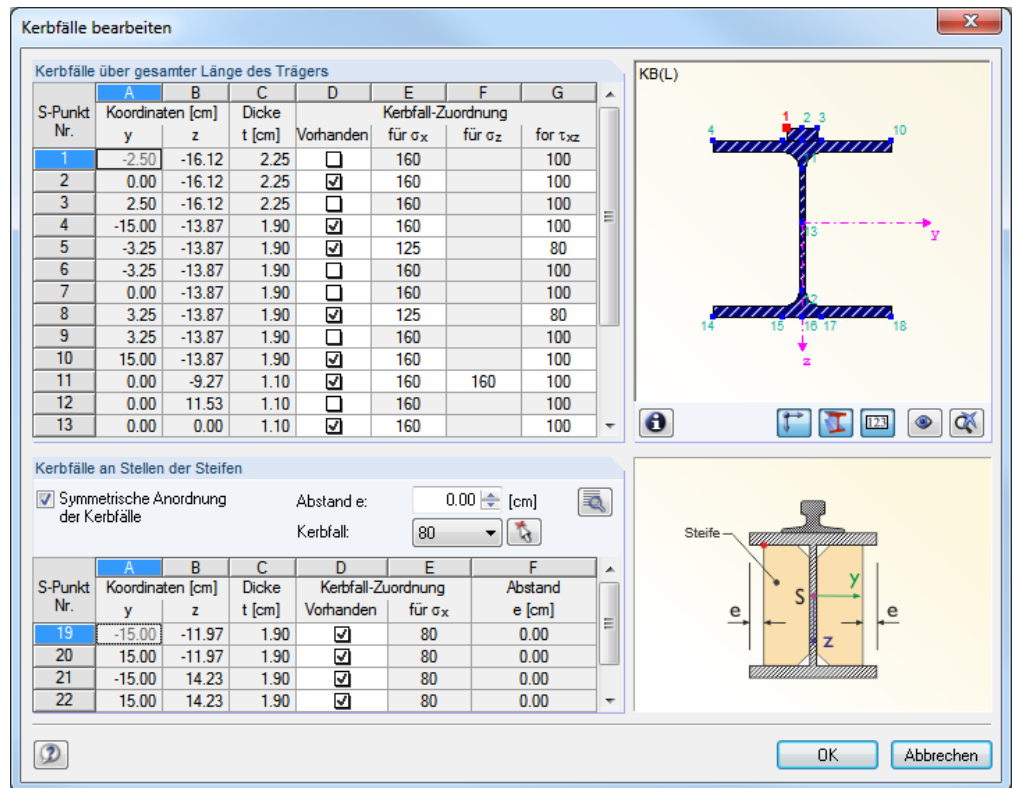


Bild 2.27: Dialog *Kerbfälle bearbeiten*

In der oberen Tabelle sind die automatisch erzeugten Spannungspunkte einschließlich der automatischen Zuordnung zu den Kerbfällen aufgelistet, für die ein Betriebsfestigkeits- bzw. Ermüdungsnachweis erfolgt. Nach dem Anhängen eines Spannungspunkts in Spalte D *Vorhanden* kann der zugehörige Kerbfall zugeordnet werden.

Im Stegansatz zum oberen Flansch muss aufgrund der großen Zusatz-Normalspannungen σ_z auch ein Kerbfall für Beanspruchung in z-Richtung eingegeben werden.



Wenn in Spalte E und F zur Eingabe des Kerbfalls auf eine Zelle geklickt wird, erscheinen in der Zelle die Schaltflächen [▼] und [...]. Die Schaltfläche [▼] öffnet eine Liste, in der der gewünschte Kerbfall ausgewählt werden kann; die Schaltfläche [...] öffnet einen Dialog mit einem Auszug aus [2] bzw. [8]. Auch in diesem Dialog kann der geeignete Kerbfall ausgewählt werden.

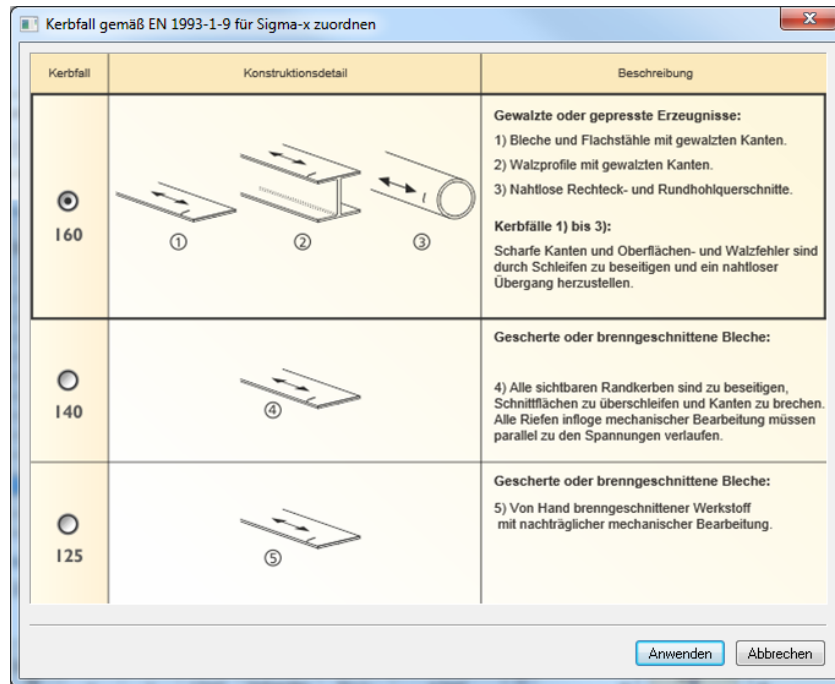


Bild 2.28: Dialog *Kerbfall gemäß EN 1993-1-9*

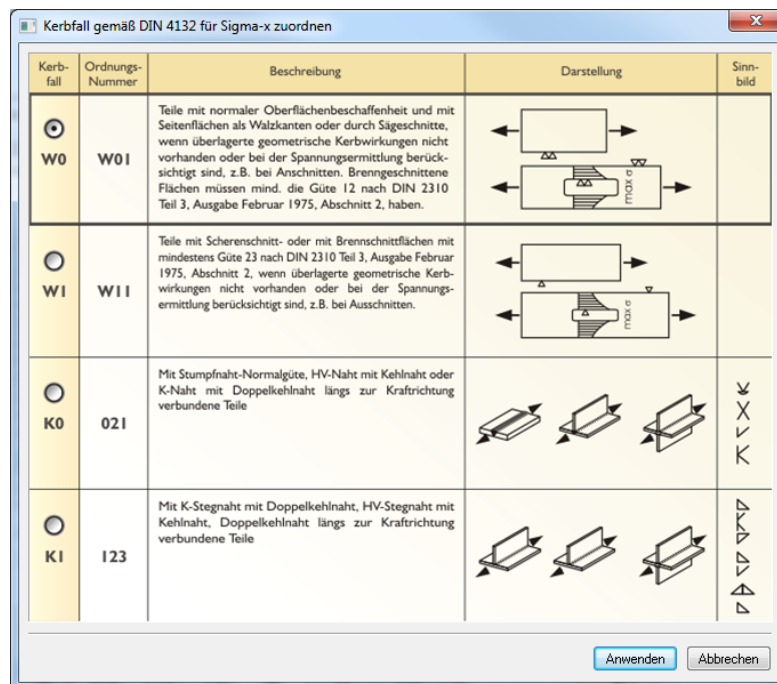


Bild 2.29: Dialog *Kerbfall gemäß DIN 4132*



In der unteren Tabelle des Dialogs *Kerbfälle bearbeiten* (siehe Bild 2.27) können die Spannungspunkte für die Berechnung der Betriebsfestigkeit bzw. Ermüdung für Quersteifen mit den zugehörigen Kerbfällen definiert werden. Diese Spannungspunkte werden nur an den x-Stellen berücksichtigt, an denen sich Quersteifen befinden. Auch diesen Spannungspunkten muss der entsprechende Kerbfall zugeordnet werden. Über die Schaltfläche [...] ist wieder der Dialog mit einem Auszug aus [2] bzw. [8] zugänglich, der die Auswahl des Kerbfalls erleichtert.

Die Spannungspunkte und die Kerbfälle sind für die Steifen voreingestellt, jedoch können die Koordinaten und die zugeordneten Kerbfälle angepasst werden. Ist die Option *Symmetrische Anordnung der Kerbfälle* aktiviert, so werden die Angaben für den Abstand e und den Kerbfall für alle Spannungspunkte der Steifen geändert. Hierzu sind das Eingabefeld *Abstand e* und die *Kerbfall*-Liste unterhalb der Tabelle zu benutzen.

Kerbfälle an Stellen der Steifen

S-Punkt Nr.	A Koordinate y [cm]	B Koordinate z [cm]	C Dicke t [cm]	D Kerbfall-Zuordnung Vorhanden	E für σ_x	F Abstand e [cm]
20	-15.00	-14.95	2.30	☒	80	0.00
21	15.00	-14.95	2.30	☒	80	0.00
22	-15.00	29.45	2.30	☒	80	0.00
23	15.00	29.45	2.30	☒	80	0.00

☒ Symmetrische Anordnung der Kerbfälle

Kerbfall: 80

Abstand e: 0.00 [cm]

Bild 2.30: Abschnitt *Kerbfälle an Stellen der Steifen* für *Symmetrische Anordnung der Kerbfälle*

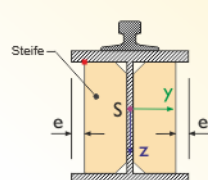
Nach dem Deaktivieren der Option *Symmetrische Anordnung der Kerbfälle* sind die Spalten E und F für jeden Spannungspunkt der Steifen zugänglich. Damit können für jeden Spannungspunkt der Kerbfall und der Abstand e individuell definiert werden.



Die Schaltfläche [Details] in diesem Abschnitt ruft einen Dialog mit den tabellarisch geordneten Koordinaten und den statischen Kennwerten dieser Spannungspunkte auf.

Spannungspunkte an Stellen der Steifen

S-Punkt Nr.	A Koordinate y [cm]	B Koordinate z [cm]	C Statische Momente S_y [cm ³]	D Statische Momente S_z [cm ³]	E Dicke t [cm]	F Wölbordinate ω [cm ²]	G Wölbfläche A_ω [cm ⁴]
20	-15.00	-14.95	0.00	0.00	2.30	64.85	0.00
21	15.00	-14.95	0.00	0.00	2.30	-64.85	0.00
22	-15.00	29.45	0.00	0.00	2.30	-635.65	0.00
23	15.00	29.45	0.00	0.00	2.30	635.65	0.00



OK Abbrechen

Bild 2.31: Dialog *Spannungspunkte an Stellen der Steifen*

Nachweis der Schweißnähte durchführen

Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes *Nachweis der Schweißnähte durchführen* kann die Dicke der Schweißnaht zwischen Schiene und Flansch festgelegt werden. Bei einem geschweißten Querschnitt lassen sich auch die Schweißnahtdicken zwischen Flansch und Steg vorgeben.



Zusätzliche Nachweise

☒ Ermüdungsnachweis durchführen
Kerbfälle...

☒ Nachweis der Schweißnähte durchführen

Dicke der Schweißnähte zwischen

- Schiene und Flansch
a : 6.0 [mm]
- Flansch oben und Steg
a_o : 6.0 [mm]
- Flansch unten und Steg
a_u : 6.0 [mm]

☒ Unterbrochene Schweißnähte zwischen Schiene und Flansch:

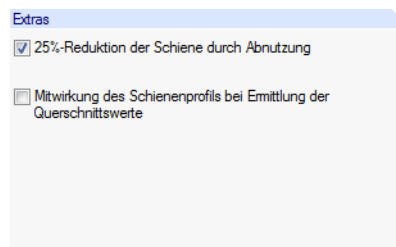
- Schweißnahtlänge
L_w : 100.0 [mm]
- Unterbrechungslänge
L_i : 250.0 [mm]

Bild 2.32: Abschnitt *Zusätzliche Nachweise*

Die Option *Unterbrochene Schweißnähte* eignet sich für Fälle, bei denen Schweißnaht zwischen Kranschiene und Flansch keinen kontinuierlichen Verlauf aufweist. Dabei wird eine gegenüberliegende Anordnung angenommen. Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes können die Längen der Schweißnaht und der Unterbrechung eingegeben werden. Diese Vorgaben werden dann bei der Bemessung berücksichtigt.

Extras

In diesem Abschnitt stehen zwei Kontrollfelder zur Verfügung, die für die Schienenquerschnitte relevant sind.



Extras

☒ 25%-Reduktion der Schiene durch Abnutzung

☐ Mitwirkung des Schienenprofils bei Ermittlung der Querschnittswerte

Bild 2.33: Abschnitt *Extras*

Bei der *25%-Reduktion der Schiene durch Abnutzung* wird für die Schiene oder Lasche ein abgemindertes Profil berücksichtigt. Damit wird z. B. bei einer Schiene SA 45 nur noch das Profil SA 45 (Kopfabnutzung) oder bei einer Lasche 50/40 nur eine Lasche 50/30 angesetzt.

Im Falle einer *Mitwirkung des Schienenprofils bei der Ermittlung der Querschnittswerte* werden nicht nur die erhöhten Querschnittswerte berücksichtigt, sondern auch die Kranlasten auf die Schienenoberkante bezogen.

2.4 Belastung

In Maske 1.4 sind die Belastungen des Kranbahnträgers einzugeben.

1.4 Belastung

Anzahl Krane: Trägpuffer: ☐ Links: [m] ☐ Rechts: [m] Zusatzlasten: Ständig: [kN/m] Seitlich: [kN/m] Kranlasten an: ☐ Beiden Trägern (R-max und R-min) ☒ Nur Träger mit R-max

Kran Nr. 1

Kranparameter

Kranbezeichnung:

S-Klasse: Anzahl Kranachsen: Achsenabstände:

i	a _i [m]
1	3.600
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Dynamische Beiwerte  Kranpuffer: Links: [m] Rechts: [m] Radabstand: [mm]

Kranlasten

Träger i = 1 (W-max)

Achse j	Vertikale Radlasten		Horizontale Radlasten		
	Q _{C,i,j} [kN]	Q _{H,i,j} [kN]	H _{T,i,j} [kN]	H _{S,i,j} [kN]	H _{T3,i,j} [kN]
1	18.00	57.00	-8.60	0.00	0.00
2	18.00	57.00	8.60	0.00	0.00
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Abstand: [m] Schräglaufkraft: [kN] Abstand von Achse i:

Schrittweite

Schrittweite der Laststellungen: [m]

Anzahl der zu erzeugenden:

- Kran-Laststellungen:
- Lastkombinationen:

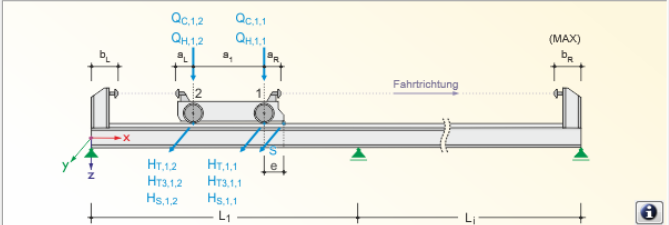


Bild 2.34: Maske 1.4 Belastung

In der Liste *Krananzahl* ist die Anzahl der Krane festzulegen, die zusammen über den Kranbahnträger fahren können (maximal drei Krane). Sind *Trägpuffer* vorhanden, die das Herausfahren des Krans am linken und/oder rechten Ende verhindern, so verringert sich die Anzahl der Lastkombinationen.

Zu den Belastungen aus dem Kranbetrieb können noch *Zusatzlasten* eingegeben werden – die ständige Last *g* und die seitliche Last *w* (Wind). Das Eigengewicht braucht nicht als ständige Last eingegeben werden, da es automatisch berücksichtigt wird. Die seitliche Last wird als veränderliche Linienlast im Schwerpunkt angesetzt.

Die beiden Auswahlfelder rechts oben ermöglichen es, die Lasten auf den Kranbahnträger zu unterscheiden: Wenn der Nachweis des Kranbahnträgers mit den maximalen Radlasten ausreicht, kann die Option *Nur am Träger mit R_{max}* gewählt werden. Steht jedoch nicht eindeutig fest, welche Lasten auf welchem Träger maßgebend sind, sollte sicherheitshalber die Option *Kranlasten an beiden Trägern (R_{max} und R_{min})* aktiviert werden. Damit erhöht sich natürlich auch die Anzahl der Lastkombinationen.

Der mittlere Bereich der Maske besteht aus zwei Abschnitten, in denen die Kranparameter und die Kranlasten definiert werden können.

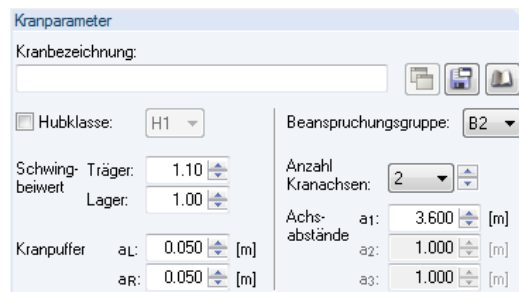
Mit der Schaltfläche [Kopieren] können die Eingabeparameter des Kran Nr. 1 auf den zweiten und dritten Kran übertragen werden. Es kann jederzeit zwischen den Kranen über die zugehörigen Register gewechselt werden.

Die Auswahl eines Krans ist auch über die [Bibliothek] möglich, die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist. Für DIN 4132 steht dort eine *Datenbank* mit Kranen der Hersteller DEMAG und KÜHNZUG zur Verfügung. Die Parameter lassen sich auch *Benutzerdefiniert* eingeben und für spätere Anwendungszwecke [Sichern].

Kranparameter

Die Eingabefelder dieses Abschnitts hängen von der gewählten Norm ab.

DIN 4132



The screenshot shows the 'Kranparameter' dialog for DIN 4132. It includes fields for 'Kranbezeichnung', 'Hubklasse' (H1), 'Beanspruchungsgruppe' (B2), 'Schwing-Träger' (1.10), 'Lager' (1.00), 'Anzahl Kranachsen' (2), 'Achs-abstände' (a1: 3.600, a2: 1.000, a3: 1.000), and 'Kranpuffer' (aL: 0.050, aR: 0.050).

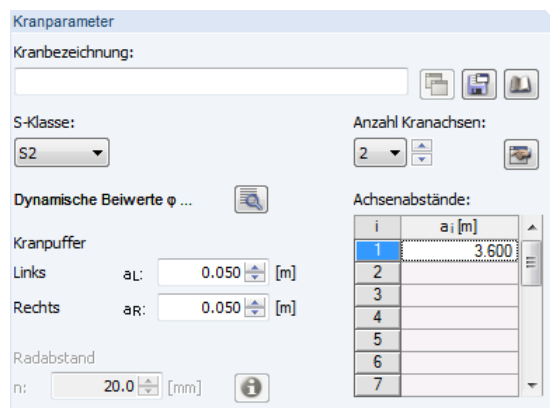
Bild 2.35: Abschnitt *Kranparameter* nach DIN 4132

Durch die *Hubklasse* H1 bis H4 wird die Größe des Schwingbeiwerts bestimmt. Die Auswahl ist nach dem Anhängen des Kontrollfeldes möglich. Anderenfalls ist der *Schwingbeiwert* manuell für den Träger und die Auflager anzugeben.

Die *Beanspruchungsgruppe* B1 bis B6 beeinflusst die Größe der zulässigen Spannungen für den Betriebsfestigkeitsnachweis. Bei den Beanspruchungsgruppen B4 bis B6 berücksichtigt das Programm den exzentrischen Lastangriff von $\frac{1}{4}$ der Schienenkopfbreite gemäß [2].

Die *Anzahl der Kranachsen* eines Krans darf den Höchstwert von vier Achsen nicht überschreiten. Des Weiteren sind die *Achsabstände* und die Abstände der *Kranpuffer* anzugeben.

EN 1993-6



The screenshot shows the 'Kranparameter' dialog for EN 1993-6. It includes fields for 'Kranbezeichnung', 'S-Klasse' (S2), 'Anzahl Kranachsen' (2), 'Dynamische Beiwerte', 'Kranpuffer' (Links: aL: 0.050, Rechts: aR: 0.050), 'Radabstand' (n: 20.0), and a table for 'Achsabstände'.

i	a _i [m]
1	3.600
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Bild 2.36: Abschnitt *Kranparameter* nach EN 1993-6

In der Liste der *S-Klasse* kann die relevante Beanspruchungsklasse ausgewählt werden. Bei den Beanspruchungsklassen S4 (S3 nach DIN) bis S9 berücksichtigt KRBahn den exzentrischen Lastangriff von $\frac{1}{4}$ der Schienenkopfbreite gemäß [5] und [8].

Es können pro Kran 20 *Kranachsen* angegeben werden. Die zugehörigen *Achsabstände* und die Abstände der *Kranpuffer* können in der Tabelle bzw. den Eingabefeldern unterhalb eingetragen werden.

Mit der Schaltfläche [Gruppierung von Rädern] ist es möglich, sogenannte Gruppen zu bilden. Es erscheint der auf folgender Seite vorgestellte Dialog.



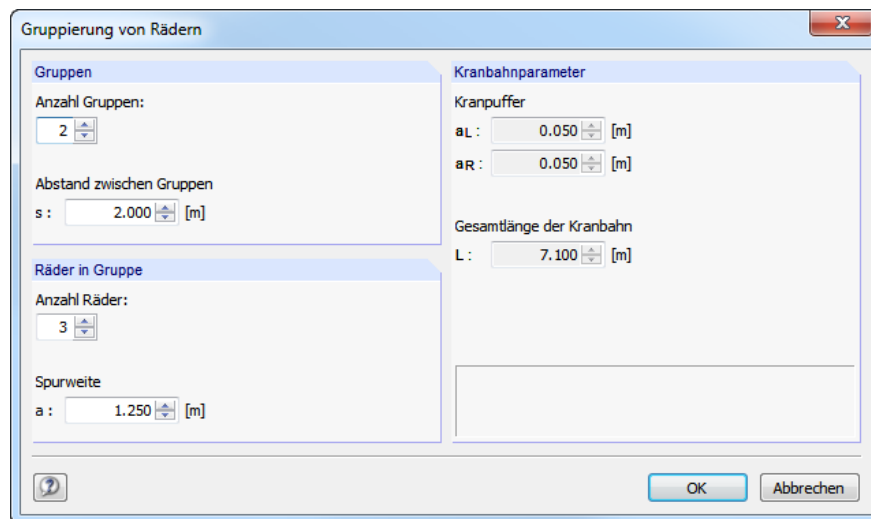


Bild 2.37: Dialog *Gruppierung von Rädern*

Im Abschnitt *Gruppen* ist die Anzahl der Gruppen und der Abstand zwischen den Gruppen anzugeben. Die *Räder in Gruppe* und deren Achsabstände (Spurweite) können im Abschnitt unterhalb festgelegt werden. Im Abschnitt *Kranbahnparameter* wird die resultierende Kranlänge mit den verwendeten Kranpuffermaßen angezeigt.



Die Schaltfläche [Dynamische Beiwerte bearbeiten] im Abschnitt *Kranparameter* (Bild 2.36) ruft einen Dialog auf, in dem die Schwingbeiwerte ϕ des Kranbahnträgers nach [5] festgelegt werden können.



Bild 2.38: Dialog *Dynamische Beiwerte* nach EN 1993-6

Kranlasten

Die Eingabe der *Kranlasten* unterscheidet sich je nach gewählter Norm:

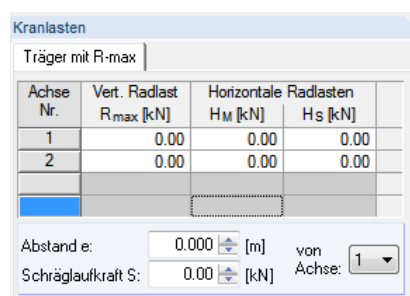


Bild 2.39: Abschnitt *Kranlasten* nach DIN 4132

Kranlasten

Träger i = 1 (W-max)

Achse Nr. j	Vert. Radlasten		Horizontale Radlasten		
	$Q_{C,i,j}$ [kN]	$Q_{H,i,j}$ [kN]	$H_{T,i,j}$ [kN]	$H_{S,i,j}$ [kN]	$H_{T3,i,j}$ [kN]
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abstand e: 0.000 [m]

Schräglaufrast S: 0.00 [kN] Abstand von Achse j: 1

Bild 2.40: Abschnitt *Kranlasten* nach EN 1993-6

Für jedes Rad müssen alle wirkenden Lasten eingegeben werden. Dabei handelt es sich bei der Berechnung nach **DIN 4132** um die maximalen *Vertikalen Radlasten* R und um die *Horizontalen Radlasten* der Massenkräfte aus Antrieben H_M und der *Schräglaufräfte* H_S und S .

Für **EN 1993-6** sind die maximalen *Vertikalen Radlasten* Q_C (infolge Eigengewicht des Krans) sowie Q_H (infolge Hublast) und die *Horizontalen Radlasten* H_T (infolge Anfahren/Bremsen der Kranbrücke), H_{T3} (infolge Anfahren/Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk) sowie die *Schräglaufräfte* H_S und S einzugeben.

Alle Lasten wirken an der Schienenoberkante. Die Schräglaufrast kann unabhängig von den anderen Lasten (z. B. bei Führungsrollen) mit einem anderen Abstand von der Achse angesetzt werden. In diesem Fall ist der *Abstand e* des Lastangriffspunkts von S zur gewählten *Achse* anzugeben.

Falls **Hängekrane** bemessen werden, sind die vertikalen Radlasten vielmehr als vertikale Achslasten anzusehen. Aus den Eingaben ergibt sich folgende Aufteilung:

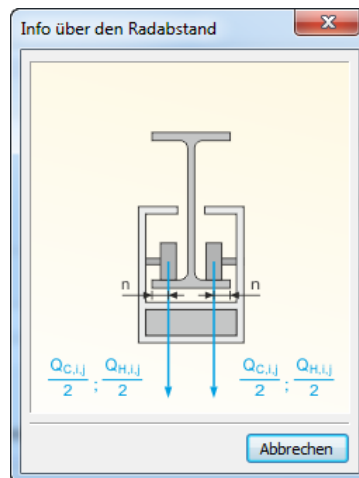


Bild 2.41: Aufteilung der Radlasten bei Hängekränen

Kranlasten an:

☒ Beiden Trägern (R-max und R-min)

☐ Nur Träger mit R-max

Beim Aktivieren des Auswahlfeldes **Kranlasten an beiden Trägern (R_{max} und R_{min})** oberhalb steht ein zweites Register zur Verfügung. Dort können die minimalen *Vertikalen* und die zugehörigen *Horizontalen Radlasten* angegeben werden.

Kranlasten

Träger i = 1 (W-max) Träger i = 2 (W-min)

Achse Nr. j	Vert. Radlasten		Horizontale Radlasten		
	$Q_{C,i,j}$ [kN]	$Q_{H,i,j}$ [kN]	$H_{T,i,j}$ [kN]	$H_{S,i,j}$ [kN]	$H_{T3,i,j}$ [kN]
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abstand e: 0.000 [m]

Schräglaufrast S: 0.00 [kN] Abstand von Achse j: 1

Bild 2.42: Abschnitt *Kranlasten* bei Option *Kranlasten an beiden Trägern*

Schrittweite

Dieser Abschnitt steuert das Intervall der zu untersuchenden Kranlaststellungen.

Schrittweite

Schrittweite der Laststellungen: [m]

Anzahl der zu erzeugenden

- Kran-Laststellungen:
- Lastkombinationen:

Bild 2.43: Abschnitt *Schrittweite*

Es ist ein Abstand von 50 cm voreingestellt. Bei der Wahl der Schrittweite ist zu bedenken, dass alle erzeugten Lastkombinationen berechnet werden müssen. Die *Anzahl der zu erzeugenden Kranlaststellungen* und *Lastkombinationen* ist von der Geometrie des Kranbahnträgers, den zu berücksichtigenden Lasten und der Schrittweite abhängig.

2.5 Lastfälle

Die dynamische Maske 1.5 *Lastfälle* bietet eine Übersicht über die Einwirkungssituationen mit allen Lasten und Lastkombinationen.

1.5 Lastkombinationen

A		B	C			D	E	F
LK	Nr.	Träger	Ort des ersten Kranrads [m]					Belastung
			Kran 1	Kran 2	Kran 3			Bezeichnung
LK58	Max		5.100					$\gamma_G (LF1 + LF91) + \gamma_Q LF96 + \gamma_{Q0} LF2$
LK59	Max		5.100					$\gamma_G (LF1 + LF93) + \gamma_Q (LF95 + LF96) + \gamma_{Q0} LF2$
LK60	Max		5.100					$\gamma_G (LF1 + LF93) + \gamma_Q (LF95 + LF97) + \gamma_{Q0} LF2$
LK61	Max		5.100					$\gamma_G (LF1 + LF93) + \gamma_Q (LF95 + LF98)$
LK62	Max		5.600					$\gamma_G (LF1 + LF100) + \gamma_Q (LF102 + LF104) + \gamma_{Q0} LF2$
LK63	Max		5.600					$\gamma_G (LF1 + LF99) + \gamma_Q LF104 + \gamma_{Q0} LF2$
LK64	Max		5.600					$\gamma_G (LF1 + LF101) + \gamma_Q (LF103 + LF104) + \gamma_{Q0} LF2$
LK65	Max		5.600					$\gamma_G (LF1 + LF101) + \gamma_Q (LF103 + LF105) + \gamma_{Q0} LF2$
LK66	Max		5.600					$\gamma_G (LF1 + LF101) + \gamma_Q (LF103 + LF105)$
LK67	Max		6.100					$\gamma_G (LF1 + LF108) + \gamma_Q (LF110 + LF112) + \gamma_{Q0} LF2$
LK68	Max		6.100					$\gamma_G (LF1 + LF107) + \gamma_Q LF112 + \gamma_{Q0} LF2$

Für:

Details

Teilsicherheitsbeiwerte

Ständige Einwirkungen	γ_G	1.350
Veränderliche Einwirkungen - Kran	γ_Q	1.350
Veränderliche Einwirkungen - Son	γ_{Q0}	1.500
Kombinationsfaktor	ψ	1.000
Zusatzlasten Ständig	g	0.00 kN/m
Zusatzlasten Seitlich	w	0.00 kN/m

Kran Nr. 1

Schwingbeiwert ϕ_4 1.000

Rad Nr. 1

Lage	x_1	5.600 m
$Q_c \phi_4$	LF101	18.00 kN
$Q_h \phi_4$	LF103	57.00 kN
HT3	LF106	0.00 kN

Rad Nr. 2

Lage	x_2	2.000 m
$Q_c \phi_4$	LF101	18.00 kN
$Q_h \phi_4$	LF103	57.00 kN
HT3	LF106	0.00 kN

Lastfälle

LF	Bezeichnung
LF1	Eigenlast + ständige Last
LF2	Zusatzlasten Seitlich
LF99	$Q_c \phi_4$
LF100	$Q_c \phi_1$
LF101	$Q_c \phi_4$
LF102	$Q_h \max(\phi_2, \phi_3)$
LF103	$Q_h \phi_4$
LF104	HT ϕ_5
LF105	(HT + S)
LF106	HT3

LK66

Belastung [kNm], [kN]

LK66 : $1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF101 + 1.35 \cdot LF103$

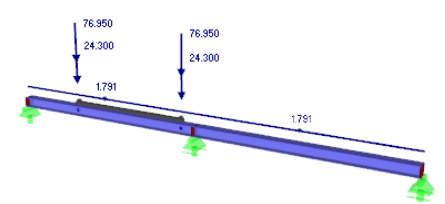


Bild 2.44: Maske 1.5 *Lastfälle*

Lastkombinationen

Die Zeile, die hier markiert ist, steuert die übrigen Abschnitte. Es wird die entsprechende Kombinatorik mit den Lastfällen, Details und Lastbildern dynamisch angezeigt.

Lastkombinationen für Nachweise

In der Liste kann die Bemessungssituation ausgewählt werden, deren Lastkombinationen angezeigt werden sollen: *Tragfähigkeit*, *Ermüdung* (EN 1993-6) bzw. *Betriebsfestigkeit* (DIN 4132), *Verformung* und *Lagerkräfte*.

Lastfälle

Hier sind alle Lastfälle aufgelistet, die in der aktuellen Lastkombination (d. h. markierte Zeile in Tabelle links) verwendet werden.

Details

Es werden die Teilsicherheits- und Schwingbeiwerte sowie die Lasten der aktuellen Lastkombination angegeben. Wird eine andere Lastkombination oder Bemessungssituation eingestellt, aktualisiert sich die Anzeige.

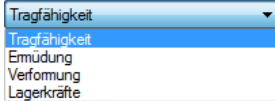
Vorschaufenster

In der Grafik wird die aktuelle Bemessungssituation im 3D-Rendering dargestellt.

Die Lastbilder und Lastwerte lassen sich mit den Schaltflächen [Lasten] und [Werte] ein- und ausblenden.

Durch Drehen des **Scrollrades** lässt sich die aktuelle Darstellung vergrößern bzw. verkleinern. Als Zentrum des Zoombereichs wird stets die Position des Mauszeigers angenommen.

Mit gedrücktem Scrollrad kann das Modell direkt verschoben werden, d. h. ohne vorher die Schaltfläche [Ansicht verschieben] zu aktivieren. Wird dabei zusätzlich die [Strg]-Taste gedrückt, kann das Modell gedreht werden. Das Rotieren des Modells ist auch mit dem Scrollrad und gedrückter rechter Maustaste möglich. Die am Mauszeiger angezeigten Symbole verdeutlichen stets die gewählte Funktion.



2.6 Imperfektionen

In dieser Maske können Vorverformungen des Trägers gemäß EN 1993-1-1 [7] oder DIN 18800 Teil 2 [1] definiert werden, um die Nachweise nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung zu führen. Die Imperfektionen werden aus Vorkrümmungen gebildet.

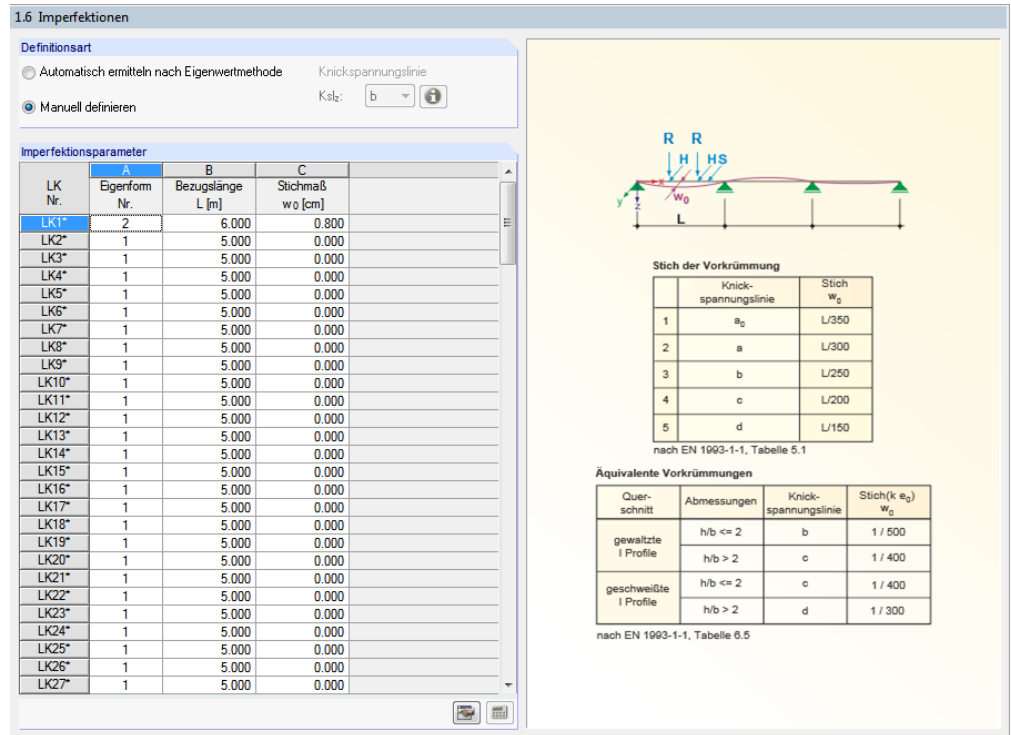


Bild 2.45: Maske 1.6 Imperfektionen

Definitionsart

Bei der Option *Automatisch ermitteln nach Eigenwertmethode* bestimmt KRBahn für jede Lastkombination die zugehörige Imperfektion (Form, Stichmaß und Richtung). Sie wird dann bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung berücksichtigt, wobei stets die erste Eigenform angesetzt wird.

Nach dem Aktivieren des Auswahlfeldes *Manuell definieren* ist zunächst zu entscheiden, ob die Imperfektionen zuvor automatisch bestimmt werden sollen.

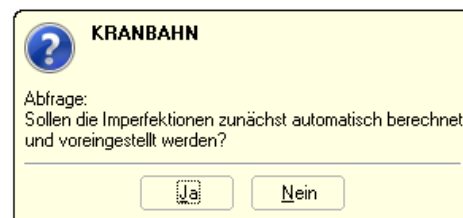


Bild 2.46: Abfrage bei Option Manuell definieren

Danach können die Parameter der Imperfektionen selbst definiert bzw. angepasst werden.



Die *Knickspannungslinie* Ksl_z wird immer automatisch voreingestellt. Sie ist abhängig vom gewählten Querschnitt unter Berücksichtigung des Schienenprofils. Die [Info]-Schaltfläche öffnet den Dialog *Info über Querschnitt*, in dem auch die Knickspannungslinie des Profils angegeben ist (siehe Bild 2.22, Seite 19).

Imperfektionsparameter

In diesem Abschnitt sind die Imperfektionen für alle Lastkombinationen anzugeben. Bei der Definitionsart *Automatisch ermitteln nach Eigenwertmethode* ist die Tabelle ausgegraut und vor der Berechnung mit Fragezeichen gefüllt.

Berechnung

Nach der Berechnung oder mit einem Klick auf [Berechnung] werden die Fragezeichen durch die ermittelten Imperfektionsparameter ersetzt.

Bei der Definitionsart *Manuell definieren* sind die Imperfektionsparameter zugänglich, sodass höhere Eigenformen verwendet werden können. Zur Auswahl der Eigenform kann eine Liste genutzt werden, die sich über [▼] aufrufen lässt.

Imperfektionsparameter			
LK Nr.	A Eigenform Nr.	B Bezugslänge L [m]	C Stichmaß w ₀ [cm]
LK1*	1	6.000	0.800
LK2*	1	5.000	0.000
LK3*	2	5.000	0.000
LK4*	3	5.000	0.000
LK5*	4	5.000	0.000
LK6*	5	5.000	0.000
LK7*	6	5.000	0.000
LK8*	7	5.000	0.000
LK9*	8	5.000	0.000
LK10*	9	5.000	0.000
LK11*	10	5.000	0.000
LK12*	1	5.000	0.000
LK13*	1	5.000	0.000
LK14*	1	5.000	0.000
LK15*	1	5.000	0.000
LK16*	1	5.000	0.000
LK17*	1	5.000	0.000
LK18*	1	5.000	0.000

Bild 2.47: Auswahl der *Eigenform*

Auch bei der manuellen Eingabe kann das Stichmaß gemäß [7] oder [1] ermittelt werden: Der Klick auf die Schaltfläche [...] in der Zelle des Stichmaßes oder die Schaltfläche [Bearbeiten] am Ende der Tabelle ruft folgenden Dialog auf.

Vorkrümmungstich der Imperfektion ermitteln

Imperfektionsparameter

Stich der Vorkrümmung:

☐ Definieren

w₀: 0.800 [cm]

☒ Ermitteln gemäß EN 1993-1-1

Bezugslänge bzw. Feldlänge L:

6.000 [m]

Knickspannungslinie des Querschnitts

K_{slz}: b

Stich der Vorkrümmung nach EN 1993-1-1 Tabelle 5.1:

L/250

Resultierendes Stich der Vorkrümmung

w₀: 0.800 [cm]

OK

Abbrechen

Bild 2.48: Dialog *Vorkrümmungstich der Imperfektion ermitteln*

Wird der Dialog aus der *Stichmaß*-Zelle aufgerufen, so wird der ermittelte Wert nur für die aktuelle Lastkombination übernommen. Wenn dieser Dialog mit der Schaltfläche [Bearbeiten] am Tabellenende aufgerufen wird, wird der Wert jeder Lastkombination zugewiesen.

3. Berechnung

3.1 Detailsinstellungen

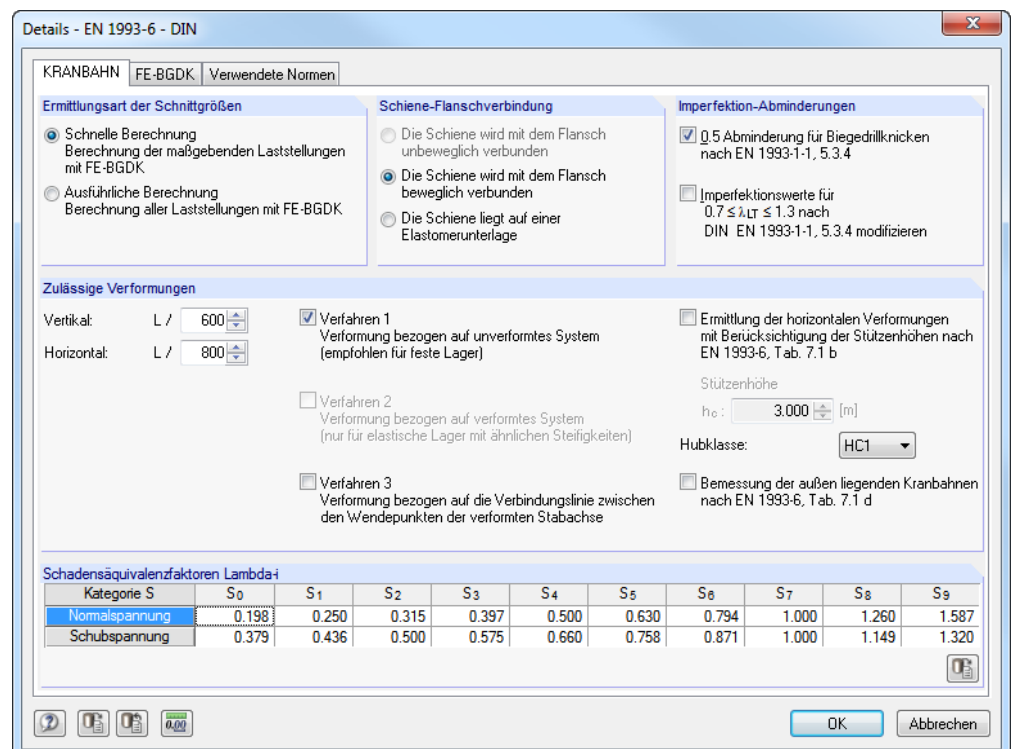
Berechnung

Details...

Vor dem Start der [Berechnung] sollten die Bemessungsdetails überprüft werden. Der entsprechende Dialog ist in jeder Maske über die Schaltfläche [Details] zugänglich.

Die Inhalte dieses Dialogs sind von der Norm abhängig, die für die Bemessung gewählt wurde.

3.1.1 EN 1993-6



Ermittlungsart der Schnittgrößen

- ☒ Schnelle Berechnung
Berechnung der maßgebenden Laststellungen mit FE-BGDK
- ☐ Ausführliche Berechnung
Berechnung aller Laststellungen mit FE-BGDK

Schiene-Flanschverbindung

- ☐ Die Schiene wird mit dem Flansch unbeweglich verbunden
- ☒ Die Schiene wird mit dem Flansch beweglich verbunden
- ☐ Die Schiene liegt auf einer Elastomerunterlage

Imperfektion-Abminderungen

- ☒ 0,5 Abminderung für Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1, 5.3.4
- ☐ Imperfektionswerte für $0,7 \leq \lambda_{LT} \leq 1,3$ nach DIN EN 1993-1-1, 5.3.4 modifizieren

Zulässige Verformungen

Vertikal: L / 600

Horizontal: L / 800

- ☒ Verfahren 1
Verformung bezogen auf unverformtes System (empfohlen für feste Lager)
- ☐ Verfahren 2
Verformung bezogen auf verformtes System (nur für elastische Lager mit ähnlichen Steifigkeiten)
- ☐ Verfahren 3
Verformung bezogen auf die Verbindungslinie zwischen den Wendepunkten der verformten Stabachse

☐ Ermittlung der horizontalen Verformungen mit Berücksichtigung der Stützenhöhen nach EN 1993-6, Tab. 7.1 b

Stützenhöhe h_0 : 3.000 [m]

Hubklasse: HC1

☐ Bemessung der außen liegenden Kranbahnen nach EN 1993-6, Tab. 7.1 d

Schadensäquivalenzfaktoren Λ_{bdi}

Kategorie S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
Normalspannung	0.198	0.250	0.315	0.397	0.500	0.630	0.794	1.000	1.260	1.587
Schubspannung	0.379	0.436	0.500	0.575	0.660	0.758	0.871	1.000	1.149	1.320

Bild 3.1: Dialog Details, Register KANBAHN für EN 1993-6

Ermittlungsart der Schnittgrößen

Es stehen zwei Berechnungsarten zur Wahl. Die *Ausführliche Berechnung* untersucht alle Lastkombinationen nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung, die *Schnelle Berechnung* nur nach Theorie I. Ordnung. Aus diesen Ergebnissen werden die maßgebenden Lastkombinationen ausgewählt, die dann nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung berechnet werden.

Schiene-Flanschverbindung

Die Einstellungen in diesem Abschnitt regeln die effektive Lastausbreitungslänge infolge Radlasten auf dem Oberflansch gemäß [6] Abschnitt 5.7. Die Gleichungen, die für die drei Möglichkeiten gelten, sind in [6] Tabelle 5.1 dargestellt.

Imperfektion-Abminderungen

Nach [7] Abschnitt 5.3.4 darf beim Biegedrillknickenachweis das Stichmaß der Vorkrümmung um die schwache Bauteilachse mit dem Beiwert k abgemindert werden. Der empfohlene Wert beträgt 0,5.

Zulässige Verformungen

Für die Ermittlung der Verformungsgrenzwerte stehen drei Verfahren zur Wahl:

Beim *Verfahren 1* werden die zulässigen Verformungen auf das unverformte System und seine Stabachsen bezogen. Dieser Ansatz eignet sich bei festen Lagern, da an den Lagerknoten die Verschiebungen in Z null sind. Beim *Verfahren 2* werden die Grenzverformungen auf das verformte System bezogen ermittelt. Das Kontrollfeld kann nur aktiviert werden, wenn Federkonstanten für die Lager definiert wurden.

Beim *Verfahren 3* werden die Wendepunkte der Biegelinie berechnet und die zulässigen Verformungen auf die entsprechenden Längen bezogen.

Die zulässigen Verformungen können zudem *mit Berücksichtigung der Stützhöhen* ermittelt werden. Optional erfolgt die Verformungsberechnungen von *außen liegenden Kranbahnen* gemäß [6] Tabelle 7.1 d.

Schadensäquivalenzfaktoren λ_i

Diese Faktoren werden zur Berechnung der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite beim Ermüdungsnachweis benötigt und sind [5] Tabelle 2.12 zu entnehmen. Die voreingestellten Faktoren können bei Bedarf angepasst werden.

3.1.2 DIN 4132

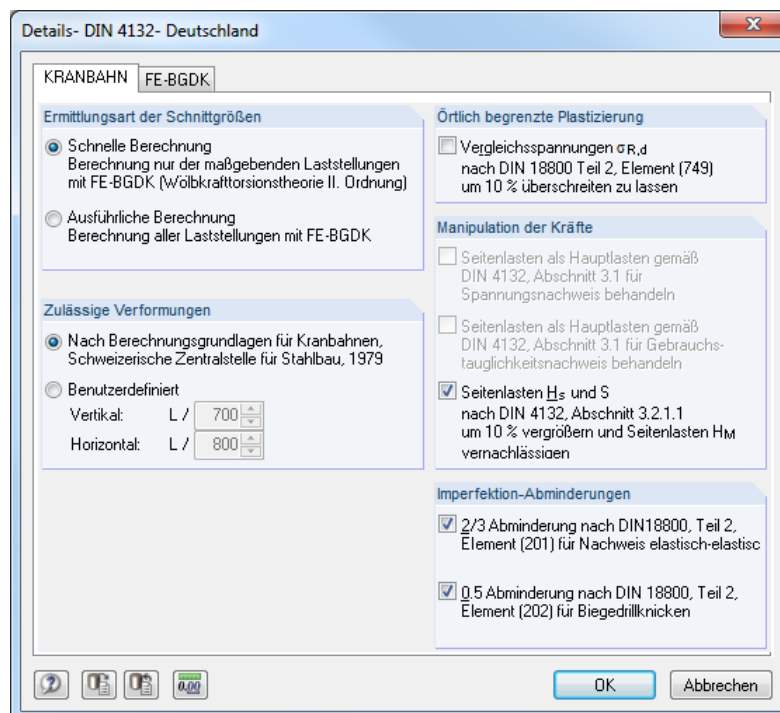


Bild 3.2: Dialog Details, Register KRANBAHN für DIN 4132

Ermittlungsart der Schnittgrößen

Dieser Abschnitt ist im Kapitel 3.1.1 beschrieben.

Zulässige Verformungen

Die Verformungsgrenzwerte lassen sich gemäß den *Berechnungsgrundlagen für Kranbahnen, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau* [15] oder *Benutzerdefiniert* für die vertikale und horizontale Richtung festlegen.

Örtlich begrenzte Plastizierung

Ist das Kontrollfeld angehakt, werden die zulässigen *Vergleichsspannungen* $\sigma_{R,d}$ um 10 % erhöht. Beim Spannungsnachweis werden die Spannungen σ_x und σ_y dann mit den erhöhten Grenzsicherungen verglichen. Die Spannungen σ_z hingegen werden den normalen (nicht erhöhten) Grenzsicherungen gegenübergestellt.

Manipulation der Kräfte

Die *Ermittlungsart der Schnittgrößen* (linker Abschnitt) steuert, welche Kontrollfelder hier zugänglich sind.

Die Option *Seitenlasten als Hauptlasten für Spannungsnachweis behandeln* bewirkt, dass die horizontalen Massenkräfte aus den Antrieben zusammen mit zugehörigen vertikalen Radlasten als eine Last betrachtet werden. Damit werden diese Einwirkungen bei der Ermittlung der Schnittgrößen nicht mit dem Kombinationsbeiwert ψ multipliziert, wenn sie gleichzeitig wirken.

Die Option *Seitenlasten als Hauptlasten für Gebrauchstauglichkeitsnachweis behandeln* führt dazu, dass auch die horizontalen Massenkräfte aus den Antrieben beim Betriebsfestigkeitsnachweis berücksichtigt werden. Somit werden nicht nur die Lastkombinationen mit den vertikalen Radlasten (Grundkombination 1) beim Betriebsfestigkeitsnachweis untersucht, sondern auch die Lastkombinationen mit den horizontalen Massenkräften aus den Antrieben (Grundkombination 2).

Während die ersten beiden Kontrollfelder nur selten angehakt werden brauchen, ist das Aktivieren der Option *Seitenlasten H_s und S um 10% vergrößern* und *Seitenlasten H_M vernachlässigen* immer zu empfehlen. Dieses Kontrollfeld ist jedoch nur zugänglich, wenn im Abschnitt links die *Ausführliche Berechnung* ausgewählt wurde.

Gemäß [2] darf so die mögliche Überlagerung der Seitenlasten aus Antrieben und aus dem Schräglauf berücksichtigt werden. In KRANBAHN wird nur die Erhöhung der Kräfte aus dem Schräglauf um 10 % vorgenommen. Die Grundkombinationen 1 und 2 bleiben davon unberücksichtigt; deshalb werden sich die Schnittgrößen nur für die Grundkombination 3 ändern.

Imperfektion-Abminderungen

Die Vorgaben in diesem Abschnitt wirken sich nur auf die automatische Ermittlung der Imperfektionen aus. Mit den beiden Optionen *2/3-Abminderung für Nachweis elastisch-elastisch* und *0,5-Abminderung für Biegedrillknicken* lassen sich kleinere Stichmaße der Imperfektionen erreichen.

3.1.3 FE-BGDK

Das zweite Register des Dialogs *Details* ist unabhängig von der gewählten Bemessungsnorm. Es verwaltet die Berechnungsparameter des integrierten Moduls FE-BGDK.

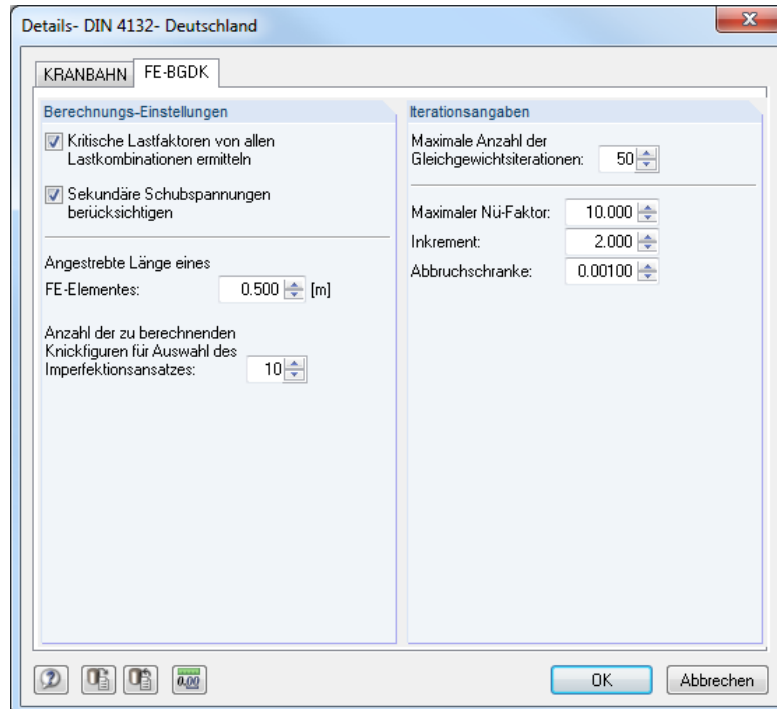


Bild 3.3: Dialog *Details*, Register *FE-BGDK*

FE-BGDK ist ein Rechenkern, der die Schnittgrößen nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung bestimmt und sich somit für den Biegedrillknicknachweis von Kranbahnträgern eignet.

Berechnungs-Einstellungen

Es ist anzugeben, ob KRANBAHN *Kritische Lastfaktoren von allen Lastkombinationen ermitteln* soll. In diesem Fall wird überprüft, ob ein Stabilitätsversagen bei der gegebenen äußeren Einwirkung auftritt: Ist der kritische Lastfaktor kleiner als 1, erscheint ein Hinweis und die Berechnung wird abgebrochen.

Die Option *Sekundäre Schubspannungen berücksichtigen* betrifft die Schubspannungen infolge des sekundären Torsionsmoments $M_{T,s}$. Wird das Häkchen nicht gesetzt, so werden die Schubspannungen nur aus den Querkraften und dem primären Torsionsmoment $M_{T,p}$ ermittelt.

Die *Angestrebte Länge eines FE-Elements* steuert, in wie viele finite Elemente der Kranbahnträger für die Berechnung geteilt wird. Die Länge eines Elements sollte nicht größer als $\frac{1}{8}$ der Feldlänge sein: In der Regel genügen acht Elemente je Trägerfeld, um die Verformungen mit einer Abweichung von weniger als 5 % bezogen auf die genaue Lösung zu berechnen.

Die *Anzahl der zu berechnenden Knickfiguren* legt fest, wie viele Eigenformen für die Imperfektionen der Lastkombinationen berechnet werden (siehe Bild 2.47, Seite 33).

Iterationsangaben

Dieser Abschnitt steuert die Berechnung von FE-BGDK. Die iterative Ermittlung der Verformungen endet, wenn das Verhältnis von Verschiebungsdifferenz zu ermittelter Verschiebung in einer Iteration kleiner ist als die *Abbruchschranke*. Die Berechnung bricht jedoch spätestens ab, wenn die *Maximale Anzahl der Gleichgewichtssiterationen* erreicht ist und gibt das Ergebnis aus. Die empfohlenen Werte sind **50** für die Iterationsanzahl und **0,001** für die Abbruchschranke.

Die Werte in den Feldern *Maximaler Nü-Faktor* und *Inkrement* stellen ein zusätzliches Abbruchkriterium für die Ermittlung des kritischen Lastfaktors und die Schritte zur Laststeigerung dar. KRANBAHN geht so vor: Es wird eine Berechnung mit der gegebenen Belastung durchgeführt. Anschließend wird bei der Ermittlung des kritischen Lastfaktors die Belastung inkrementweise erhöht, bis der maximale Nü-Faktor erreicht ist. Je nachdem, bei welcher Erhöhung der Belastung ein Stabilitätsverlust eintritt, versucht das Programm zwischen den beiden Inkrementen noch genauer zu unterteilen, um den kritischen Lastfaktor möglichst genau zu bestimmen.

Der empfohlenen Werte sind **10** für den maximalen Nü-Faktor und **2** für das Inkrement.

3.2 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder KRANBAHN-Eingabemaske kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

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

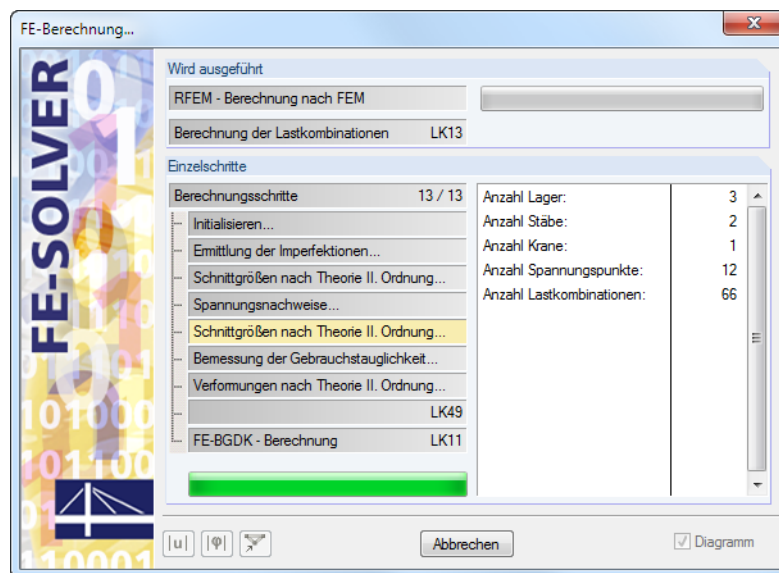


Bild 3.4: Dialog *FE-Berechnung*

4. Ergebnisse

Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Zusammenfassung der Nachweise*.

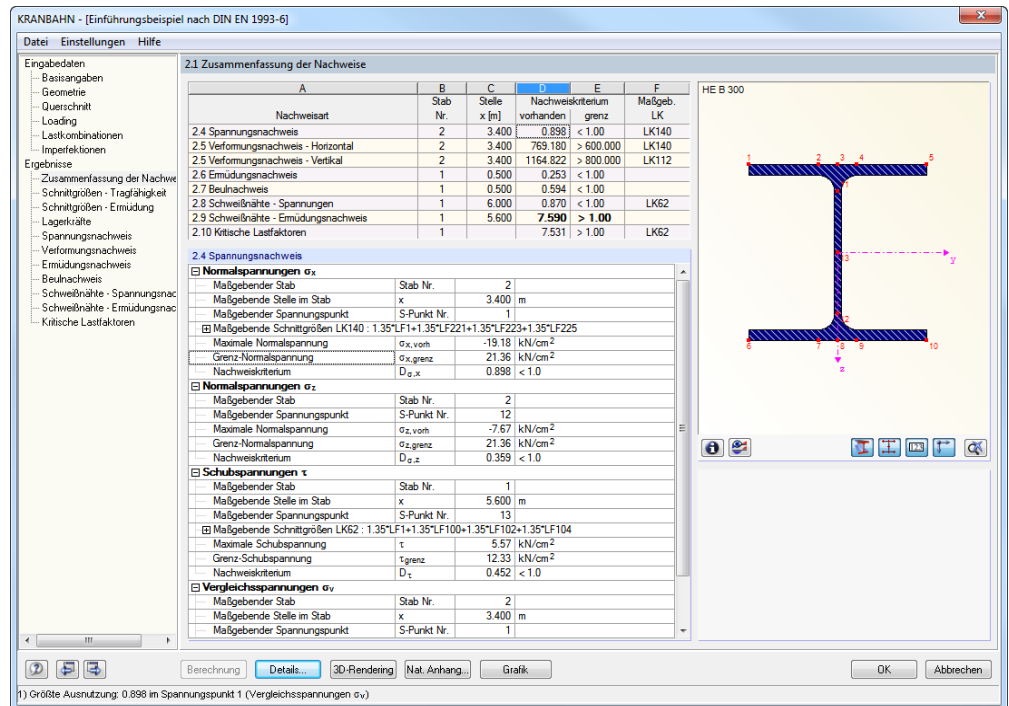


Bild 4.1: Ergebnismaske mit Nachweisen und Ergebnisdetails

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.10 nach verschiedenen Kriterien sortiert.

Jede Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator direkt ansteuern. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] und [F3] möglich.

Das Kapitel 4 *Ergebnisse* stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Beschreibung in diesem Kapitel bezieht sich auf die Nachweise nach **EN 1993-6**.

[OK] sichert die Ergebnisse und beendet das KRBABAHN-Programm.

OK

4.1 Zusammenfassung der Nachweise

Der obere Teil dieser Maske bietet eine nach maßgebenden Nachweiskriterien geordnete Zusammenfassung der Nachweise. Sie ermöglicht einen Überblick über sämtliche Nachweise: Es ist sofort ersichtlich, welche Nachweise erbracht und welche nicht eingehalten wurden.

Der untere Teil enthält detaillierte Angaben zu den Spannungen, Verformungen, Schweißnähten etc. des Nachweises, der im oberen Teil markiert ist.

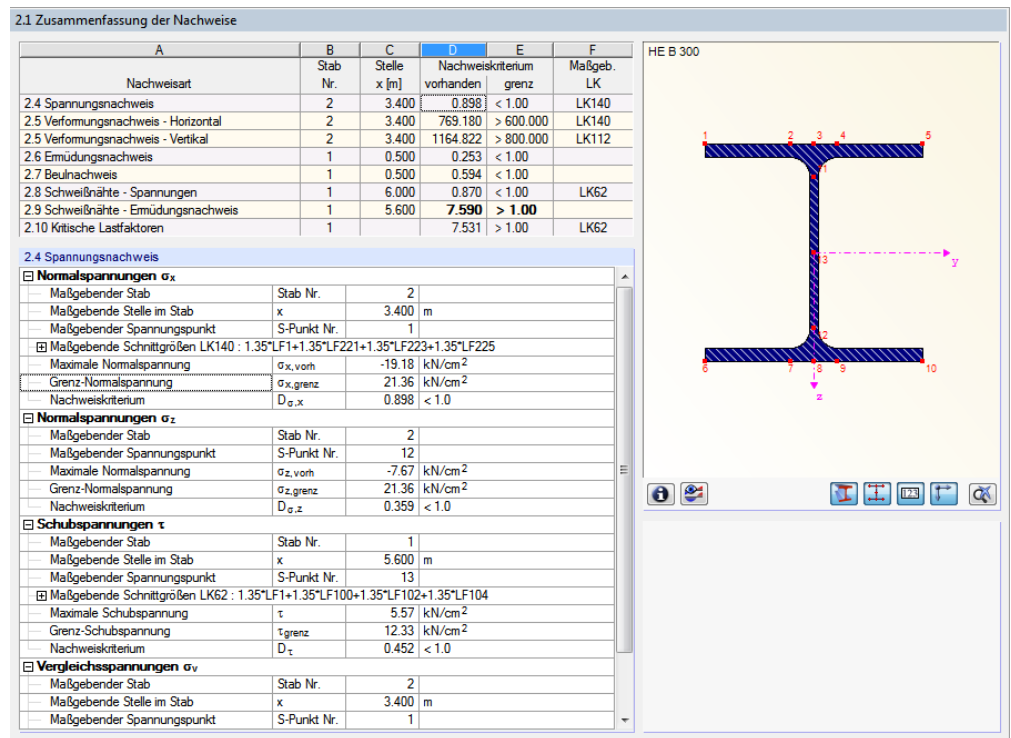


Bild 4.2: Maske 2.1 Zusammenfassung der Nachweise

Nachweisart

Diese Spalte beschreibt, welcher Nachweis jeweils vorliegt.

Stab Nr.

Es wird jeweils die Nummer des Stabes mit dem größten Nachweiskriterium angegeben.

Stelle x

An dieser x-Stelle des Stabes – bezogen auf den Stabanfang – liegt jeweils das Maximum vor.

Nachweiskriterium

In den Spalten D und E werden die Nachweisbedingungen gemäß Norm ausgegeben. Wenn das Nachweiskriterium nicht erfüllt ist, werden die Werte **fett schwarz** dargestellt.

Maßgebende Lastkombination

Die letzte Spalte gibt Aufschluss über die Lastkombinationen, deren Schnittgrößen für die einzelnen Nachweise relevant sind.

4.2 Schnittgrößen

Die Schnittgrößen werden nach Tragfähigkeits- und Ermüdungsnachweisen (sofern in Maske 1.3 *Querschnitte* aktiviert) sortiert in zwei Masken ausgewiesen.

4.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit

In dieser Maske sind die Schnittgrößen der berechneten Lastkombinationen (Laststellungen) angegeben, die für die Nachweise der Tragfähigkeit ermittelt wurden. Es können entweder *Sämtliche* Schnittgrößen oder *Nur max/min*-Werte angezeigt werden.

2.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Stab Nr.	Stelle x [m]	Maßgeb. LK	Kräfte [kN]			Momente [kNm]			Momente [kNm ² , kNm]	
			V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	M _ω	M _{T,pr}	M _{T,sek}
1	0.000	LK1	0.00	4.03	-0.03	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01
		LK47	11.71	131.50	2.68	0.01	0.00	0.00	0.26	2.42
		LK57	10.45	92.98	1.70	0.01	0.00	0.00	0.67	1.03
		LK62	9.63	75.56	1.68	0.01	0.00	0.00	0.93	0.75
		LK70	13.32	53.58	2.70	0.01	0.01	0.00	1.76	0.94
		LK75	10.88	40.87	2.24	0.01	0.01	0.00	1.59	0.65
		LK82	5.65	21.80	1.06	0.00	0.00	0.00	0.86	0.21
		LK85	6.47	19.85	1.34	0.00	0.00	0.00	1.06	0.28
		LK107	0.67	-8.22	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.01
		LK112	-0.13	-9.48	-0.06	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.01
		LK122	-1.40	-8.38	-0.21	0.00	0.00	0.00	-0.18	-0.03
		LK140	-2.51	-4.85	-0.33	0.00	0.00	0.00	-0.27	-0.05
	0.500 l	LK1	0.00	3.13	-0.03	1.79	0.00	-0.01	-0.02	-0.01
		LK47	11.80	130.60	2.67	65.55	-5.90	1.23	0.13	2.54
		LK57	10.64	92.06	1.70	46.26	-5.32	0.53	0.61	1.09
		LK62	9.86	74.64	1.68	37.55	-4.93	0.38	0.89	0.79
		LK70	13.62	52.61	2.70	26.54	-6.81	0.48	1.71	0.99
		LK75	11.09	39.91	2.24	20.19	-5.54	0.33	1.56	0.68
		LK82	5.71	20.89	1.06	10.67	-2.86	0.11	0.85	0.22
		LK85	6.53	18.93	1.34	9.69	-3.26	0.14	1.04	0.30
		LK107	0.67	-9.12	0.05	-4.34	-0.33	0.00	0.04	0.01
		LK112	-0.12	-10.37	-0.06	-4.96	0.06	0.00	-0.05	-0.01
		LK122	-1.39	-9.27	-0.21	-4.41	0.70	-0.02	-0.18	-0.03
		LK140	-2.50	-5.74	-0.33	-2.65	1.25	-0.03	-0.27	-0.05
	0.500 r	LK1	0.00	3.13	-0.03	1.79	0.00	-0.01	-0.02	-0.01
		LK47	-5.70	16.97	-0.65	65.54	-5.90	1.23	0.13	-0.78
		LK57	10.64	92.06	1.70	46.26	-5.32	0.53	0.61	1.09
		LK62	9.86	74.64	1.68	37.55	-4.93	0.38	0.89	0.79
		LK70	13.62	52.61	2.70	26.54	-6.81	0.48	1.71	0.99
		LK75	11.09	39.91	2.24	20.19	-5.54	0.33	1.56	0.68
		LK82	5.71	20.89	1.06	10.67	-2.86	0.11	0.85	0.22
		LK85	6.53	18.93	1.34	9.69	-3.26	0.14	1.04	0.30
		LK107	0.67	-9.12	0.05	-4.34	-0.33	0.00	0.04	0.01
		LK112	-0.12	-10.37	-0.06	-4.96	0.06	0.00	-0.05	-0.01

Anzeigen: ☒ Sämtliche ☐ Nur max/min

Bild 4.3: Maske 2.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit mit Option *Sämtliche* Schnittgrößen

Die hier ausgewiesenen Schnittgrößen stellen Bemessungswerte dar, d. h. bei der Ermittlung dieser Schnittgrößen wurden alle relevanten Sicherheits-, Schwing- und Kombinationsbeiwerte berücksichtigt. Diese Schnittgrößen werden für den Spannungsnachweis, den Beulnachweis und die Berechnung des kritischen Lastfaktors benutzt.

Bei der Option *Sämtliche* Werte werden alle ermittelten Schnittgrößen an allen x-Stellen für die zu berücksichtigenden Lastkombinationen (abhängig von der Berechnungsmethode *Schnelle Berechnung* bzw. *Ausführliche Berechnung*) ausgegeben.

Wird das Auswahlfeld *Nur max/min* aktiviert, so werden für jeden Stab nur die Schnittgrößen der x-Stellen ausgewiesen, an denen die Extremwerte vorliegen.

2.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Stab Nr.	max min	Maßgeb. LK	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente [kNm]			Momente [kNm ² , kNm]		
				V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	M ₀	M _{T, pri}	M _{T, sek}
1	max V _y	LK70	2.500 l	14.36	48.81	2.91	127.60	-36.01	3.64	0.19	2.72
	min V _y	LK85	4.000 r	-21.94	-88.22	-3.89	64.66	-26.89	3.15	-0.65	-3.24
	max V _z	LK47	0.000	11.71	131.50	2.68	0.01	0.00	0.00	0.26	2.42
	min V _z	LK62	6.000	9.63	-162.60	2.17	-79.08	4.90	-0.20	-0.10	2.27
	max M _T	LK70	2.500 l	14.36	48.81	2.91	127.60	-36.01	3.64	0.19	2.72
	min M _T	LK85	4.000 r	-21.94	-88.22	-3.89	64.66	-26.89	3.15	-0.65	-3.24
	max M _y	LK62	2.000 l	10.30	71.89	1.89	147.40	-20.62	2.05	0.18	1.71
	min M _y	LK82	6.000	-11.76	-102.60	-2.19	-128.80	0.92	-0.02	-1.31	-0.88
	max M _z	LK75	6.000	-16.12	-71.13	-2.86	-90.79	15.75	-1.90	-0.94	-1.92
	min M _z	LK70	2.500 l	14.36	48.81	2.91	127.60	-36.01	3.64	0.19	2.72
	max M ₀	LK70	2.500 l	14.36	48.81	2.91	127.60	-36.01	3.64	0.19	2.72
	min M ₀	LK85	6.000	-20.53	-92.14	-3.82	-115.60	15.22	-2.15	-1.02	-2.80
	max M _{T, pri}	LK70	0.000	13.32	53.58	2.70	0.01	0.01	0.00	1.76	0.94
	min M _{T, pri}	LK85	5.100 l	-21.22	-90.37	-3.86	-33.45	-3.01	0.15	-1.39	-2.47
	max M _{T, sek}	LK70	2.500 l	14.36	48.81	2.91	127.60	-36.01	3.64	0.19	2.72
	min M _{T, sek}	LK85	4.000 r	-21.94	-88.22	-3.89	64.66	-26.89	3.15	-0.65	-3.24
2	max V _y	LK140	3.400 l	15.52	53.01	2.75	129.70	-36.45	4.06	-0.14	2.89
	min V _y	LK140	3.400 r	-13.97	-47.54	-2.86	129.70	-36.45	4.06	-0.14	-2.72
	max V _z	LK107	0.000	9.78	159.20	1.76	-81.57	-4.01	0.33	-0.15	1.92
	min V _z	LK122	6.000	11.85	-135.60	2.07	-0.01	0.00	0.00	-0.25	2.32
	max M _T	LK140	0.000	14.21	59.47	2.92	-61.30	15.06	-2.01	0.96	1.95
	min M _T	LK140	6.000	-12.79	-52.53	-3.03	0.01	0.01	0.00	-1.99	-1.04
	max M _y	LK107	4.100 l	-8.07	38.06	-1.41	146.50	20.27	-2.45	0.31	-1.72
	min M _y	LK82	0.000	-12.62	110.20	-2.49	-128.80	0.92	-0.02	-1.31	-1.18
	max M _z	LK82	1.600 l	-13.84	107.20	-2.54	44.98	21.63	-2.33	-0.58	-1.96
	min M _z	LK140	3.400 l	15.52	53.01	2.75	129.70	-36.45	4.06	-0.14	2.89
	max M ₀	LK140	3.400 l	15.52	53.01	2.75	129.70	-36.45	4.06	-0.14	2.89
	min M ₀	LK107	4.100 l	-8.07	38.06	-1.41	146.50	20.27	-2.45	0.31	-1.72
	max M _{T, pri}	LK140	1.300 l	14.85	56.97	2.90	14.45	-3.58	0.06	1.47	1.43
	min M _{T, pri}	LK140	6.000	-12.79	-52.53	-3.03	0.01	0.01	0.00	-1.99	-1.04
	max M _{T, sek}	LK140	3.400 l	15.52	53.01	2.75	129.70	-36.45	4.06	-0.14	2.89
	min M _{T, sek}	LK140	3.400 r	-13.97	-47.54	-2.86	129.70	-36.45	4.06	-0.14	-2.72

Anzeigen: ☐ Sämtliche ☒ Nur max/min

Bild 4.4: Maske 2.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit mit Option Nur max/min-Werte

4.2.2 Schnittgrößen - Ermüdung

Die Schnittgrößendarstellung und Sortiermöglichkeiten sind identisch zur oben beschriebenen Maske 2.2.1 Schnittgrößen - Tragfähigkeit.

Die Schnittgrößen dieser Maske stellen ebenfalls Bemessungswerte dar: Bei der Berechnung der Schnittgrößen werden alle relevanten Sicherheits-, Schwing- und Kombinationsbeiwerte berücksichtigt.

Diese Schnittgrößen werden für die Ermüdungsnachweise des Trägers sowie für die Schweißnahtnachweise benutzt.

4.3 Lagerkräfte

In dieser Ergebnismaske gibt es drei Sortiermöglichkeit für die Anzeige.

2.3 Lagerkräfte

A	B	C	D	E	F	G	H
Knoten Nr.	Maßgeb. LF/LK	LF/LK-Bezeichnung	P _x	P _y	P _z	M _y	M _z
1	LF2	Windlast					
	LK1	Eigenlast + ständige Last	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00
	LK2	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF4) + \gamma_Q (LF6 + LF8) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00
	LK7	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF12) + \gamma_Q (LF14 + LF16) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-10.78	73.33	0.00	0.00
	LK8	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF11) + \gamma_Q LF16 + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-10.79	19.11	0.00	0.00
	LK42	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF68) + \gamma_Q (LF70 + LF72) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-3.62	26.86	0.00	0.00
	LK47	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF76) + \gamma_Q (LF78 + LF80) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	8.10	91.04	0.00	0.00
	LK50	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF77) + \gamma_Q (LF79 + LF81) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	17.90	87.10	0.00	0.00
	LK52	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF84) + \gamma_Q (LF86 + LF88) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	7.70	77.35	0.00	0.00
	LK82	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF132) + \gamma_Q (LF134 + LF136) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	3.91	15.25	0.00	0.00
	LK110	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF173) + \gamma_Q (LF175 + LF177) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-0.75	-5.10	0.00	0.00
	LK112	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF180) + \gamma_Q (LF182 + LF184) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-0.09	-6.34	0.00	0.00
	LK122	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF196) + \gamma_Q (LF198 + LF200) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-0.95	-5.58	0.00	0.00
	LK165	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF261) + \gamma_Q (LF263 + LF265) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-0.08	2.67	0.00	0.00
	max		0.00	17.90	91.04	0.00	0.00
	min		0.00	-10.79	-6.34	0.00	0.00
2	LF2	Windlast					
	LK1	Eigenlast + ständige Last	0.00	0.00	9.95	0.00	0.00
	LK2	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF4) + \gamma_Q (LF6 + LF8) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	0.00	9.95	0.00	0.00
	LK7	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF12) + \gamma_Q (LF14 + LF16) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-1.51	19.74	0.00	0.00
	LK8	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF11) + \gamma_Q LF16 + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-1.50	12.19	0.00	0.00
	LK42	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF68) + \gamma_Q (LF70 + LF72) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-9.62	72.12	0.00	0.00
	LK47	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF76) + \gamma_Q (LF78 + LF80) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-8.98	87.68	0.00	0.00
	LK50	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF77) + \gamma_Q (LF79 + LF81) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	2.53	84.21	0.00	0.00
	LK52	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF84) + \gamma_Q (LF86 + LF88) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-8.17	102.00	0.00	0.00
	LK82	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF132) + \gamma_Q (LF134 + LF136) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	-0.60	147.70	0.00	0.00
	LK110	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF173) + \gamma_Q (LF175 + LF177) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	19.83	118.60	0.00	0.00
	LK112	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF180) + \gamma_Q (LF182 + LF184) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	7.41	112.30	0.00	0.00
	LK122	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF196) + \gamma_Q (LF198 + LF200) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	9.12	84.66	0.00	0.00
	LK165	Gesamt, $\gamma_G (LF1 + LF261) + \gamma_Q (LF263 + LF265) + \gamma_{Q0} LF2$	0.00	0.50	11.82	0.00	0.00
	max		0.00	19.83	147.70	0.00	0.00
	min		0.00	-9.62	9.95	0.00	0.00
3	LF2	Windlast					
	LK1	Eigenlast + ständige Last	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00

Anzeigen: ☒ Sämtliche ☐ Nur max/min ☐ Nur max/min Erweitert

Bild 4.5: Maske 2.3 Lagerkräfte mit Option *Sämtliche* Lagerkräfte

Mit der ersten Option werden *Sämtliche* ermittelten Lagerkräfte der Lastkombinationen ausgegeben. Zusätzlich wird der Lastfall 2 *Windlast* angezeigt, damit die Lagerkräfte auf die Einzelanteile (Kran, ständige Last und Wind) zurückgerechnet werden können.

2.3 Lagerkräfte

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Knoten Nr.	max min	Maßgeb. LK	Horizontale Lagerkräfte P _y [kN]			Vertikale Lagerkräfte P _z [kN]		
			Gesamt	Aus Kran	Aus Wind	Gesamt	Aus Kran	Aus ständig
1	max P _y	LK50	17.90	17.90	0.00	87.10	84.11	2.98
	min P _y	LK8	-10.79	-10.79	0.00	19.11	16.13	2.98
	max P _z	LK47	8.10	8.10	0.00	91.04	88.06	2.98
	min P _z	LK112	-0.09	-0.09	0.00	-6.34	-9.33	2.98
2	max P _y	LK110	19.83	19.83	0.00	118.60	108.65	9.95
	min P _y	LK42	-9.62	-9.62	0.00	72.12	62.17	9.95
	max P _z	LK82	-0.60	-0.60	0.00	147.70	137.75	9.95
	min P _z	LK1	0.00	0.00	0.00	9.95	0.00	9.95
3	max P _y	LK165	19.58	19.58	0.00	76.42	73.43	2.98
	min P _y	LK122	-8.17	-8.17	0.00	93.86	90.88	2.98
	max P _z	LK122	-8.17	-8.17	0.00	93.86	90.88	2.98
	min P _z	LK52	0.47	0.47	0.00	-6.40	-9.38	2.98

Anzeigen: ☐ Sämtliche ☒ Nur max/min ☐ Nur max/min Erweitert

Bild 4.6: Maske 2.3 Lagerkräfte mit Option *Nur max/min*-Lagerkräfte

Bei der Option *Nur max/min* werden nur die Extremwerte der Lagerkräfte für die entsprechenden Richtungen ausgegeben, d. h. die charakteristische Lagerkräfte multipliziert mit dem zugehörigen Schwingbeiwert für Auflager.

2.3 Lagerkräfte

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Knoten Nr.	Maßgeb. LK	Horizontale Lagerkräfte P _y [kN]	Horizontale Lagerkräfte P _z [kN]	Vertikale Lagerkräfte P _y [kN]	Vertikale Lagerkräfte P _z [kN]	Aus Kran	Aus ständig	Kommentar
Extreme im Knoten Nr. 1 - max P _y								
1	LK50	17.90	17.90	0.00	87.10	84.11	2.98	
2	LK50	2.53	2.53	0.00	84.21	74.26	9.95	
3	LK50	-0.43	-0.43	0.00	-5.39	-8.38	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 1 - min P _y								
1	LK8	-10.79	-10.79	0.00	19.11	16.13	2.98	
2	LK8	-1.50	-1.50	0.00	12.19	2.24	9.95	
3	LK8	0.25	0.25	0.00	2.61	-0.37	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 1 - max P _z								
1	LK47	8.10	8.10	0.00	91.04	88.06	2.98	
2	LK47	-8.98	-8.98	0.00	87.68	77.73	9.95	
3	LK47	0.88	0.88	0.00	-5.79	-8.77	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 1 - min P _z								
1	LK112	-0.09	-0.09	0.00	-6.34	-9.33	2.98	
2	LK112	7.41	7.41	0.00	112.30	102.35	9.95	
3	LK112	-7.32	-7.32	0.00	66.93	63.94	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 2 - max P _y								
1	LK110	-0.75	-0.75	0.00	-5.10	-8.09	2.98	
2	LK110	19.83	19.83	0.00	118.60	108.65	9.95	
3	LK110	0.92	0.92	0.00	52.40	49.42	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 2 - min P _y								
1	LK42	-3.62	-3.62	0.00	26.86	23.88	2.98	
2	LK42	-9.62	-9.62	0.00	72.12	62.17	9.95	
3	LK42	1.20	1.20	0.00	-4.55	-7.53	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 2 - max P _z								
1	LK82	3.91	3.91	0.00	15.25	12.27	2.98	
2	LK82	-0.60	-0.60	0.00	147.70	137.75	9.95	
3	LK82	-3.32	-3.32	0.00	10.02	7.03	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 2 - min P _z								
1	LK1	0.00	0.00	0.00	2.98	0.00	2.98	
2	LK1	0.00	0.00	0.00	9.95	0.00	9.95	
3	LK1	0.00	0.00	0.00	2.98	0.00	2.98	
Extreme im Knoten Nr. 3 - max P _y								
1	LK165	-0.08	-0.08	0.00	2.67	-0.31	2.98	

Anzeigen: ☐ Sämtliche ☐ Nur max/min ☒ Nur max/min Erweitert

Bild 4.7: Maske 2.3 Lagerkräfte mit Option *Nur max/min Erweitert*

Mit der Anzeigemöglichkeit *Nur max/min Erweitert* werden die Extremwerte der Horizontalen Lagerkräfte (mit Komponenten aus Kran- und Windlast) und der Vertikalen Lagerkräfte (mit Komponenten aus Kran- und ständiger Last) ausgewiesen.

Wie die Schnittgrößen werden die Lagerkräfte aus den Lastfällen unter Berücksichtigung der Schwingbeiwerte kombiniert. Dazu werden die Lagerkräfte (außer für LF1 und LF2) mit dem Verhältnis von Schwingbeiwert-Träger zu Schwingbeiwert-Lager multipliziert und nach dem LK-Kriterium addiert, da die Radlasten ab LF3 bereits den Schwingbeiwert für den Träger beinhalten.

Da die Lagerkräfte aus der Berechnung nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung stammen, stehen bei der Berechnungsart *Schnelle Berechnung* nicht alle Lastkombinationen zur Verfügung – sondern nur die, die nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung berechnet wurden.

4.4 Spannungsnachweis

In dieser Maske gibt es drei Anzeigemöglichkeiten, die über die *Ausgabeart* gesteuert werden.

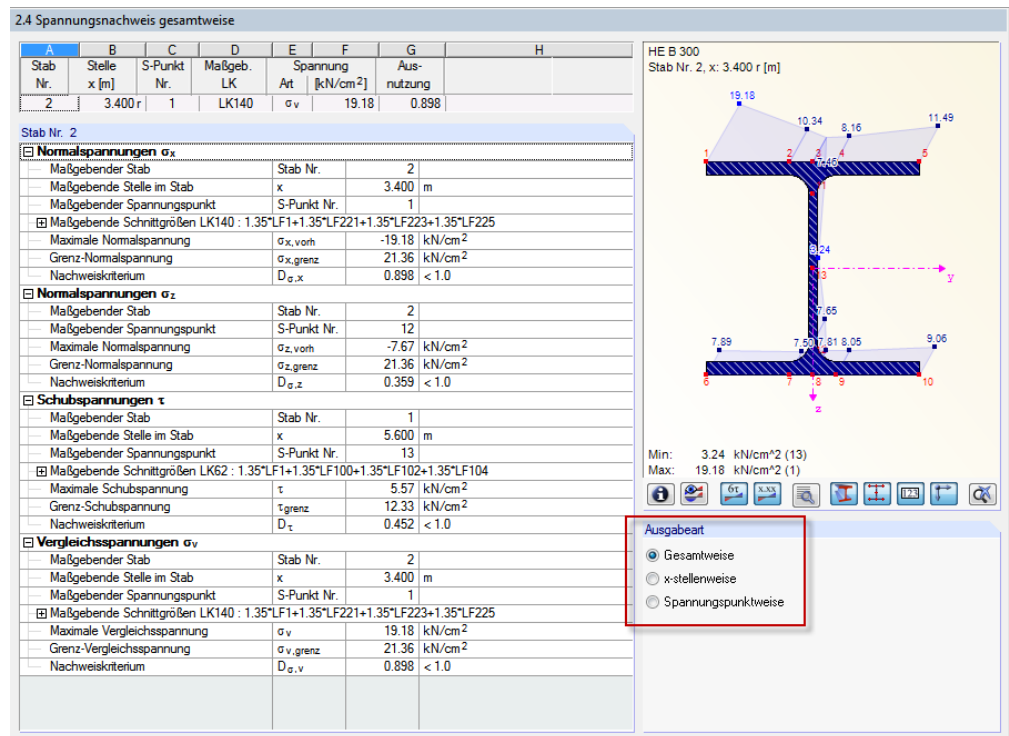


Bild 4.8: Maske 2.4 Spannungsnachweis gesamtweise

Bei der Ausgabeart *Gesamtweise* wird in der oberen Tabelle nur die x-Stelle angegeben, an der die maßgebende Ausnutzung vorliegt. Hierzu wurden alle x-Stellen, Spannungsanteile, Spannungspunkte und Lastkombinationen untersucht. Somit zeigt diese Tabelle auch den maßgebende Spannungspunkt, die maßgebende Lastkombination und die Spannungsart an, die zu der maximalen *Ausnutzung* führen. Dies drückt das Verhältnis von berechneter Spannung zur Grenzspannung dar. Der Spannungsnachweis ist erfüllt, wenn das Verhältnis kleiner als 1 ist.

Beim Spannungsnachweis werden Bemessungsschnittgrößen nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung verwendet, d. h. es sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F , der Kombinationsbeiwert ψ und der Schwingbeiwert ϕ berücksichtigt.

Details - Spannungen

Unter der Tabelle sind die Zwischenergebnisse aufgelistet, die zu dieser Ausnutzung führen. Darin sind die Anteile der Normalspannungen σ_x und σ_z , der Schubspannung τ und der Vergleichsspannung σ_v enthalten. Für jeden Spannungsanteil können die an dieser x-Stelle ermittelte Maximalspannung und die zu Grunde liegenden maßgebenden Schnittgrößen abgelesen werden.

Über [+] vor der LK-Nummer können die Schnittgrößen dieser Lastkombination eingeblendet werden. Eine Ausnahme bildet die Normalspannung σ_z , die je nach Bemessungsnorm direkt aus dem Raddruck ermittelt wird. In der jeweils letzten Zeile jedes Spannungsanteils wird die Ausnutzung angegeben, die dann mit dem Wert 1 verglichen wird.

Spannungsgrafik

Rechts wird der Verlauf der Spannung am Profil dargestellt. Die Grafik hängt von dem in der Tabelle angegebenen Nachweis ab. Damit lassen sich die maßgebenden Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen visualisieren, die an der aktuellen x-Stelle vorliegen.

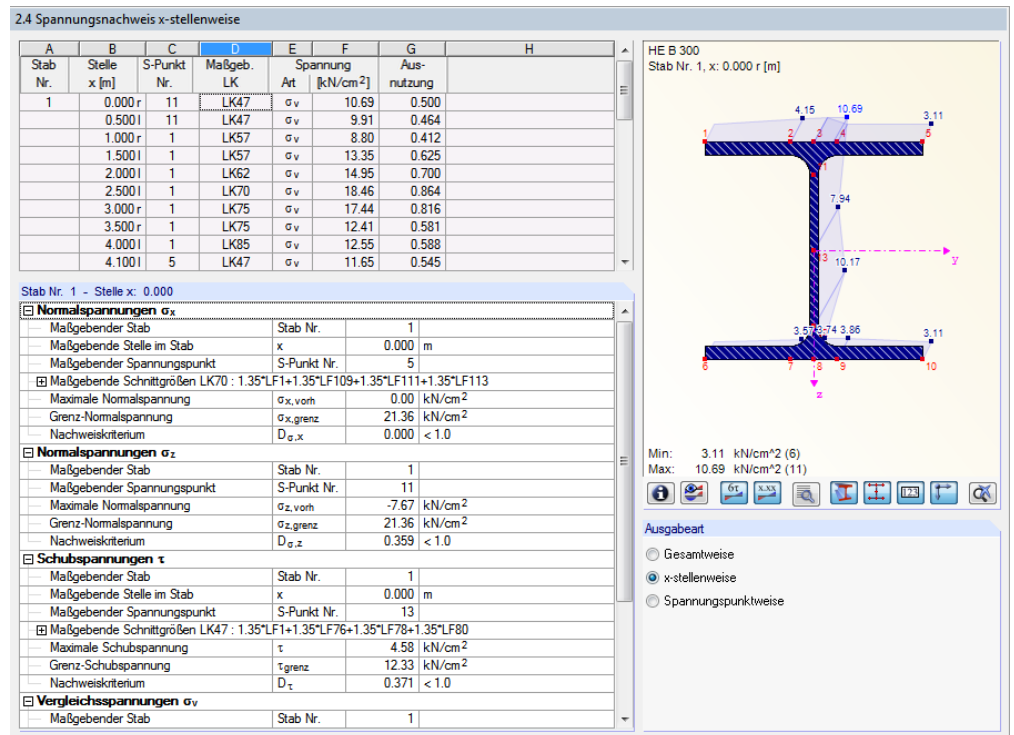


Bild 4.9: Maske 2.4 Spannungsnachweis x-stellenweise

Bei der Ausgabeart *x-stellenweise* werden in der oberen Tabelle die maximalen Ausnutzungen an jeder x-Stelle angegeben.

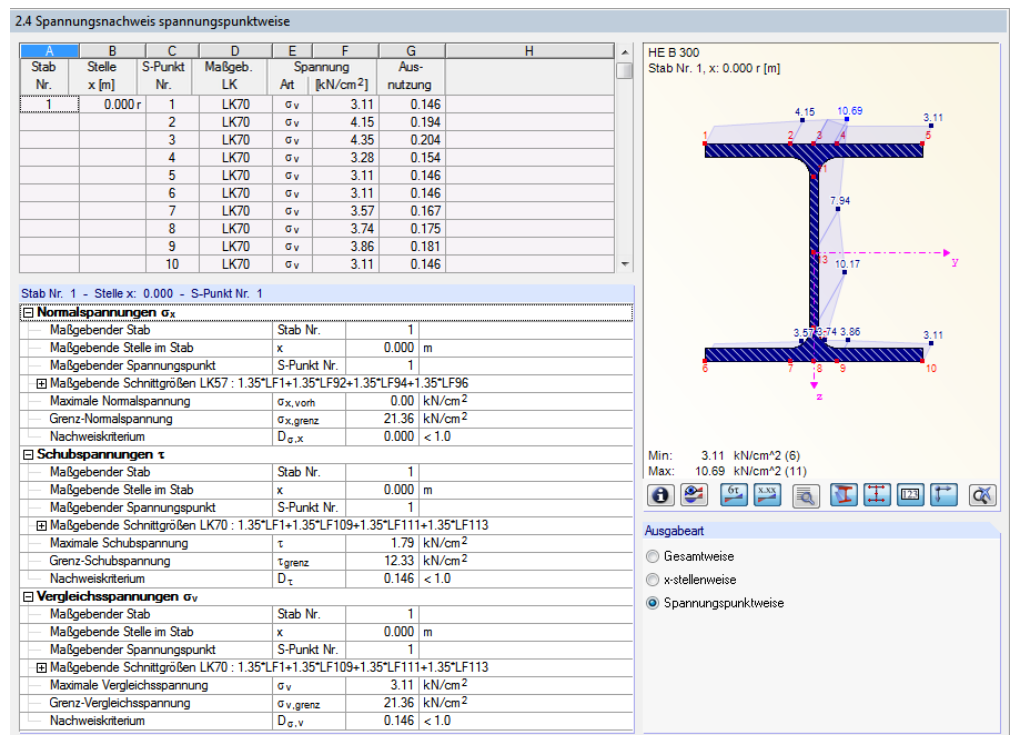


Bild 4.10: Maske 2.4 Spannungsnachweis spannungspunktweise

Erfolgt die Ausgabeart *Spannungspunktweise*, so werden in der oberen Tabelle die Ergebnisse für jeden Spannungspunkt und für jede x-Stelle aufgelistet.

4.4.1 Theoretische Grundlagen zur Spannungsberechnung

KRANBAHN berechnet die Normalspannungen σ_x , die Schubspannungen τ und die Vergleichsspannungen σ_v an allen Querschnittspunkten. Am oberen Stegblechrand werden auch die Normalspannungen σ_z aus der Radlasteinleitung berücksichtigt.

Die Berechnung wird entlang des Kranbahnträgers in so genannten x-Stellen durchgeführt. Diese x-Stellen befinden sich zum einen an den Knoten der finiten Elemente, in die der Träger unterteilt wurde, und zum anderen an den Lasteinleitungsstellen des Krans in den einzelnen Lastkombinationen.

Die Spannungspunkte sind im Folgenden durch die Koordinaten (y_i, z_i) gekennzeichnet. Die Normalspannungen σ_x sowie die Schubspannungen τ werden aus Schnittgrößen bestimmt, die nach der Theorie II. Ordnung unter γ_F -facher Belastung berechnet wurden.

Normalspannungen

Wegen der Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion treten bei den Normalspannungen σ_x nicht nur Anteile aus Normalkraft und Biegung, sondern auch aus dem Wölbbimoment auf. Insgesamt erhält man für die Normalspannung σ_x in einem Punkt i des Querschnitts:

$$\sigma_{x,i} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y(y_i, z_i)} - \frac{M_z}{W_z(y_i, z_i)} - \frac{M_\omega}{I_\omega} \omega_M(y_i, z_i)$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

N	Normalkraft
M_y	Biegemoment um y-Achse
M_z	Biegemoment um z-Achse
M_ω	Wölbbimoment
A	Querschnittsfläche
$W_y(y_i, z_i)$	Widerstandsmoment um y-Achse für Punkt (y_i, z_i)
$W_z(y_i, z_i)$	Widerstandsmoment um z-Achse für Punkt (y_i, z_i)
I_ω	Wölbwiderstand bezogen auf den Schubmittelpunkt M
ω_M	Hauptverwölbung am Punkt (y_i, z_i)

Schubspannungen

Die Schubspannungen setzen sich aus Querkraft- und Torsionsanteilen zusammen. Die Beziehung zur Bestimmung der primären Schubspannungen ist:

$$\tau_{p,i} = \frac{V_y \cdot S_z(y_i, z_i)}{I_z \cdot t(y_i, z_i)} + \frac{V_z \cdot S_y(y_i, z_i)}{I_y \cdot s(y_i, z_i)} + \left| \frac{M_{T,p}}{W_T(y_i, z_i)} \right|$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

V_y	Querkraft in Richtung y-Achse
V_z	Querkraft in Richtung z-Achse
$M_{T,p}$	Primäres Torsionsmoment
I_y	Trägheitsmoment bezogen auf y-Achse
I_z	Trägheitsmoment bezogen auf z-Achse
$S_y(y_i, z_i)$	Statisches Moment bezogen auf y-Achse für Punkt (y_i, z_i)
$S_z(y_i, z_i)$	Statisches Moment bezogen auf z-Achse für Punkt (y_i, z_i)
$t(y_i, z_i)$	Dicke des Querschnittsteils im Punkt (y_i, z_i)
$s(y_i, z_i)$	Dicke der Querschnittsteils im Punkt (y_i, z_i)
$W_T(y_i, z_i)$	Torsionswiderstandsmoment für Punkt (y_i, z_i)

Sekundäre Schubspannungen

Des Weiteren wird die sekundäre Schubspannung infolge des sekundären Torsionsmoments $M_{T,s}$ berechnet.

$$\tau_{s,i} = \frac{M_{T,s} \cdot A_{\omega}(y_i, z_i)}{I_{\omega} \cdot t(y_i, z_i)}$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

$M_{T,s}$	Sekundäres Torsionsmoment
$A_{\omega}(y_i, z_i)$	Wölbfläche im Punkt (y_i, z_i)
I_{ω}	Wölbwiderstandsmoment
$t(y_i, z_i)$	Querschnittsdicke im Punkt (y_i, z_i)

In KRANBAHN besteht die Wahlmöglichkeit, ob die sekundären Schubspannungen bei der Spannungsberechnung berücksichtigt werden sollen (siehe Bild 3.3, Seite 37). Falls sie in die Spannungsberechnung eingehen, so werden sie direkt zu den primären Schubspannungen addiert.

Normalspannungen aus Radlasteinleitung

Die Normalspannungen σ_z werden im Gegensatz zu den Normalspannungen σ_x und Schubspannungen τ nicht nach Theorie II. Ordnung ermittelt, sondern nach folgenden Gleichungen:

- DIN 4132**

$$\sigma_{z,i} = \frac{R}{c(y_i, z_i) \cdot t(y_i, z_i)}$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

R	Radlast multipliziert mit Teilsicherheitsbeiwert γ_F und Schwingbeiwert φ
$c(y_i, z_i)$	Lasteinleitungslänge der Radlast
$t(y_i, z_i)$	Dicke der maßgebenden Querschnittsteile im Punkt (y_i, z_i)

Die Länge $c(y_i, z_i)$ wird nach [2] Abschnitt 4.1.2 berechnet. Das folgende Bild stellt das Prinzip zur Bestimmung der Lasteinleitungslänge c dar.

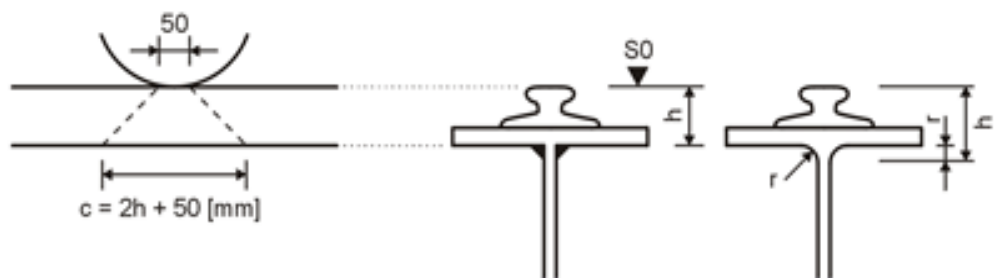


Bild 4.11: Länge der gleichmäßigen Verteilung der Radlast

• EN 1993-6

$$\sigma_{z,i} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} \quad \text{bzw. für Walzprofile} \quad \sigma_{z,i} = \frac{F_{z,Ed}}{(l_{eff} + 2 \cdot r) \cdot t_w}$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

$F_{z,Ed}$	Bemessungswert der Radlast
l_{eff}	Effektive Lastausbreitungslänge der Radlast nach [6], Tab. 5.1
t_w	Dicke des Stegblechs

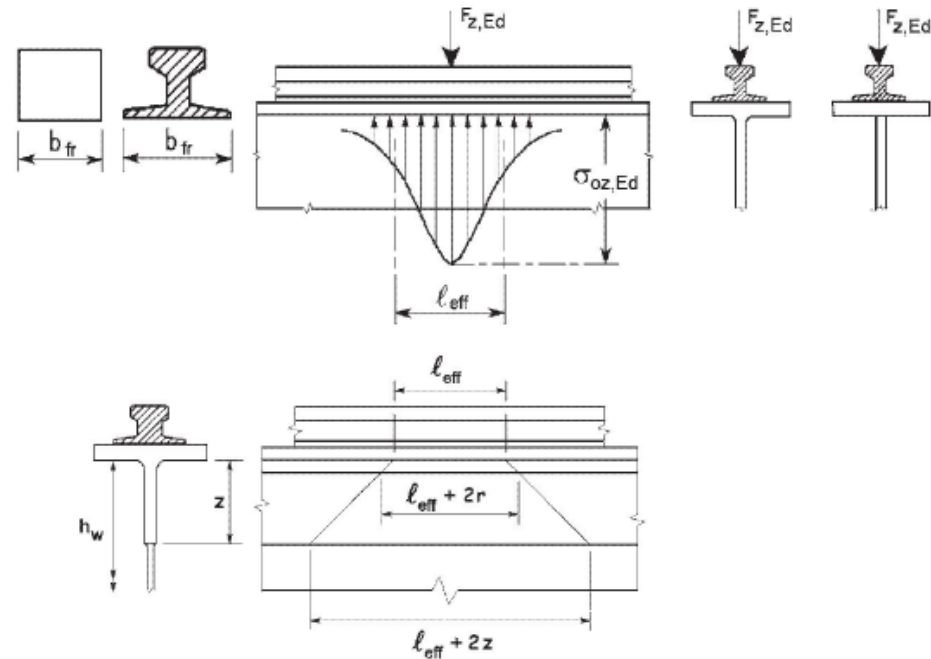


Bild 4.12: Effektive Lastausbreitungslänge

Tabelle 5.1: Effektive Lastausbreitungslänge l_{eff}

Fall	Beschreibung	Effektive Lastausbreitungslänge l_{eff}
(a)	Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [I_{rf}/t_w]^{1/3}$
(b)	Kranschiene nicht schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{f,eff})/t_w]^{1/3}$
(c)	Kranschiene auf einer mind. 6 mm dicken nachgiebigen Elastomerunterlage	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{f,eff})/t_w]^{1/3}$
$I_{f,eff}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des Flansches mit der effektiven Breite b_{eff}	
I_r	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene	
I_{rf}	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des zusammengesetzten Querschnitts einschließlich der Schiene und des Flansches mit der effektiven Breite b_{eff}	
t_w	Stegdicke	
$b_{eff} = b_{ff} + h_r + t_f$ aber $b_{eff} \leq b$ Dabei ist b die Gesamtbreite des Obergurtes; b_{ff} die Breite des Schienenfußes, siehe Bild 5.2; h_r die Schienenhöhe, siehe Bild 5.1; t_f die Flanschdicke.		
ANMERKUNG Der Verschleiß der Kranschinen wird bei der Bestimmung von I_r , I_{rf} und h_r berücksichtigt, siehe 5.6.2(2) und 5.6.2(3).		

Bild 4.13: Effektive Lastausbreitungslänge

Nachweise

Beim Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch ist nachzuweisen, dass unter den Bemessungseinwirkungen (γ_F -fache Lasten) Folgendes gilt:

$$\max \sigma_x \leq f_{y,d}$$

$$\max \sigma_z \leq f_{y,d}$$

$$\max \tau \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,d}$$

$$\max \sigma_v \leq f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Die Vergleichsspannung σ_v nach VON MISES berechnet sich aus den Normal- und Schubspannungen wie folgt:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3\tau^2}$$

In dieser Formel muss bei der Berechnung der Spannungen das Vorzeichen berücksichtigt werden. Die Spannung σ_z unter dem Rad ist wegen der Druckspannungsverteilung immer negativ.

Da die Spannung σ_z nur am oberen Stegblechrand vorhanden ist bzw. weiter unten im Träger keinen Einfluss mehr hat, wird für die anderen Spannungspunkte folgende vereinfachte Formel angewandt.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2}$$

Der Spannungsnachweis wird in jedem Spannungspunkt an allen x-Stellen des Kranbahnträgers mit den zugehörigen Bemessungsschnittgrößen nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung geführt.

Beim Spannungsnachweis haben meist die Normalspannungen σ_x den größten Einfluss. Die größte Normalspannung σ_x entsteht an der Flanschkeante, an der sich die Normalspannungskomponenten aus den Biegemomenten um die beiden Hauptachsen und aus dem Wölbbi-moment überlagern. Die Überlagerung ist im folgenden Bild dargestellt.

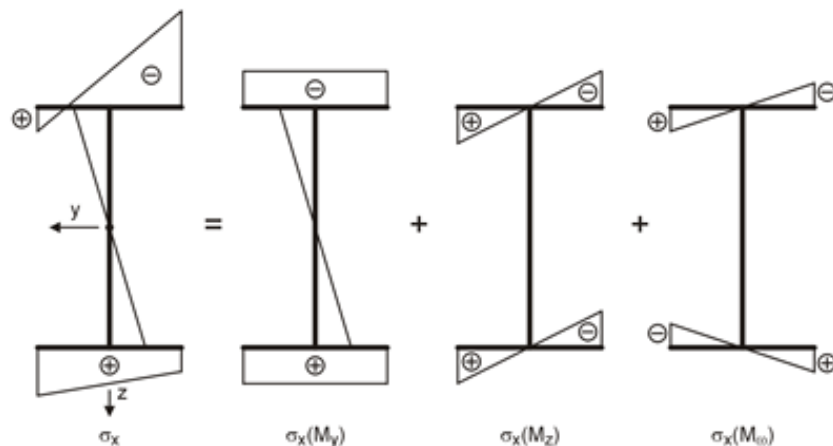


Bild 4.14: Normalspannungsanteile bei zweiachsiger Biegung mit Wölbkrafttorsion

4.5 Verformungsnachweis

In dieser Maske gibt es zwei Anzeigemöglichkeiten, die über die *Ausgabeart* gesteuert werden.

2.5 Verformungsnachweis gesamtweise

A	B	C	D	E	F	G	H
Richtung	Stab Nr.	Stelle x [m]	Maßgeb. LK	u [mm]	L/u	zul L/u	
Horizontal	2	3.400	LK140	7.9	769.180	> 600.000	
Vertikal	2	3.400	LK112	5.2	1164.822	> 800.000	

Details - Verformungen

Maßgebende Stablänge	L	6.000	m
Horizontale Verschiebung im Schubmittelpunkt	u _{y,M}	3.8	mm
Horizontale Verschiebung durch Torsion	u _{y,φ}	4.0	mm
Horizontale Verschiebung an OK Schiene	u _y	7.8	mm
Vertikale Verschiebung	u _z	4.7	mm
Verdrehung um Achse X	φ _x	17.570	mrad
Verdrehung um Achse Y	φ _y	0.226	mrad
Verdrehung um Achse Z	φ _z	-0.184	mrad
Vervölbung	ω	-0.001	1/m

☒ Verformungsnachweis - DIN EN 1993-6/NA:2010-12

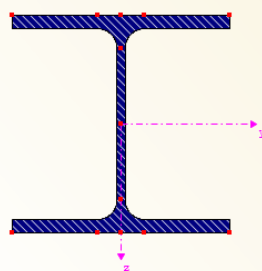
Maßgebender Nachweis der horizontalen Verformungen nach Tab. 7.1 a)

Berechnungsmethode	Met γ	1
--------------------	-------	---

Maßgebender Nachweis der vertikalen Verformungen nach Tab. 7.1 a)

Berechnungsmethode	Met z	1
--------------------	-------	---

HE B 300



Ausgabeart

☒ Gesamtweise

☐ x-stellenweise

Bild 4.15: Maske 2.5 Verformungsnachweis gesamtweise

Es werden die Verformungen der relevanten Lastkombinationen für jede x-Stelle untersucht. Bei der Option *Gesamtweise* werden nur die x-Stellen mit den LK-Nummern ausgegeben, an denen die maßgebende Verschiebung in die horizontale und vertikale Richtung auftritt.

Beim Nachweis wird das Verhältnis von Feldlänge zu größter Verschiebung im Feld mit dem zulässigen Verhältnis L/u verglichen. Der Nachweis ist erfüllt, wenn das vorhandene Verhältnis L/u größer ist als der zulässige Quotient.

Die Verformungen werden nach Wölbkrafttorsionstheorie II. Ordnung mit charakteristischen Werten berechnet, d. h. Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_F = 1,0$, Kombinationsbeiwert $\psi = 1,0$ und Schwingbeiwert $\varphi = 1,0$.

Details - Verformungen

Unter der Tabelle sind die Zwischenergebnisse der maßgebenden Verschiebungen u_y und u_z aufgelistet. Dort können auch die Anteile der Verdrehungen ϕ_x , ϕ_y und ϕ_z und die Wölbung ω eingesehen werden. Alle Verformungsanteile sind auf den Schubmittelpunkt M bezogen. Eine Ausnahme bildet dabei die Verschiebung u_y , – dieser Anteil bezieht sich auf die Schienenoberkante.

Bei der Ausgabeart *x-stellenweise* (siehe Bild 4.16) werden alle untersuchten Verformungsnachweise an jeder x-Stelle und für jede Lastkombination aufgelistet. Mit einem Klick in eine Zeile der oberen Tabelle werden unterhalb die *Details* der aktuellen Verschiebung angezeigt. In der Ausgabe ist auch die Berechnungsmethode für die horizontalen und vertikalen Verformungen enthalten (siehe Kapitel 3.1.1, Seite 34).

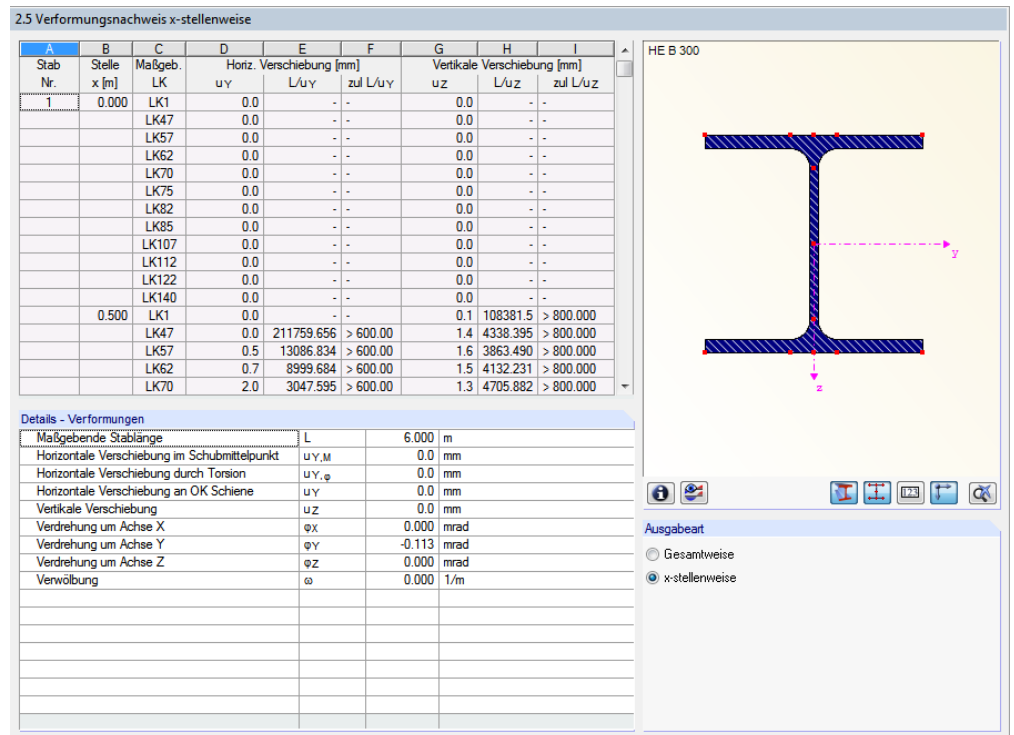


Bild 4.16: Maske 2.5 Verformungsnachweis x-stellenweise

4.5.1 Theoretische Grundlagen zum Verformungsnachweis

KRANBAHN ermittelt für jeden Lastfall neben den Schnittgrößen und Spannungen auch die zugehörigen Verformungen. Es handelt sich dabei um die Verschiebungen u_y , $u_{y,M}$, u_z , die Verdrehungen ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z sowie um die Verwölbung ω .

Der Verformungsnachweis wird für die Verschiebungen in horizontaler Richtung u_y und für die Verschiebungen in vertikaler Richtung u_z geführt. KRANBAHN ermöglicht ebenfalls den Vergleich mit Richtwerten, die manuell definiert werden können.

- Vertikale Durchbiegung des Kranbahnträgers
- Horizontale Verformung des Kranbahnträgers

Bei der Berechnung der Verformung wird der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_F = 1,0$ und der Kombinationsbeiwert $\psi = 1,0$ verwendet.



Der Verformungsnachweis der seitlichen Verschiebung ist von großer Bedeutung: Der Nachweis der horizontalen Verformung ist oft der maßgebende Nachweis und bestimmt somit die Abmessungen des Kranbahnträgers.

4.6 Ermüdungsnachweis

In dieser Maske gibt es zwei Anzeigemöglichkeiten, die über die *Ausgabeart* gesteuert werden.

2.6 Ermüdungsnachweis gesamtwweise

A	B	C	D	E
Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Ausnutzung	Maßgebende Nachweisart
2	2.900	1	0.212	Bemessung $\Delta \sigma_x$
2	2.900	2	0.217	Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$
2	2.900	4	0.217	Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$
2	2.900	5	0.212	Bemessung $\Delta \sigma_x$
2	2.900	6	0.212	Bemessung $\Delta \sigma_x$
2	2.900	10	0.212	Bemessung $\Delta \sigma_x$
1	0.500	11	0.253	Bemessung $\Delta \sigma_{E2(z)}$
1	5.600	13	0.243	Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$
1	6.000	14	0.200	Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$
1	6.000	15	0.200	Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$

Stab Nr. 2 - Stelle x: 2.900 - S-Punkt Nr. 1

Allgemeine Eigenschaften

Nennwert der Stahlstreckgrenze:	f_{yk}	23.50	kN/cm ²	
Teilsicherheitsbeiwert der Ermüdungsbelastung	γ_{Ff}	1.000		[1], 9.2 (1)
Teilsicherheitsbeiwert der Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		[5] Tab. 3.
Schadensäquivalenter dynamischer Vergrößerungsbeiwert	$\phi_{fat, 1}$	1.050		[6] Gl. (2.1)
Schadensäquivalenter dynamischer Vergrößerungsbeiwert	$\phi_{fat, 2}$	1.065		[6] Gl. (2.1)

Spannung σ_x

Kerbfall σ_x	$KD_{\sigma x}$	160		[5] Tab. 8.
Spannungsschwingbreite	σ_x	7.47	kN/cm ²	
Kranlastkategorie für σ_x	$S_{i, \sigma x}$	S2		[6] Tab. B.
Schadensäquivalenzfaktor für σ_x	$\lambda_{i, \sigma x}$	0.315		
Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	$\Delta \sigma_x E, 2$	2.35	kN/cm ²	

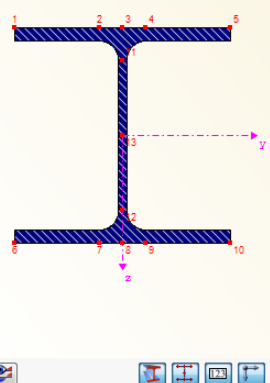
Spannung τ_{xz}

Kerbfall τ_{xz}	$KD_{\tau xz}$	100		[5] Tab. 8.
Spannungsschwingbreite τ_{xz}	$\Delta \tau_{xz}$	0.00	kN/cm ²	
Kranlastkategorie für τ_{xz}	S_i	S3		
Schadensäquivalenzfaktor für τ_{xz}	$\lambda_{i, \tau xz}$	0.575		[6] Tab. 2.
Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	$\Delta \tau_{xz} E, 1$	0.00	kN/cm ²	

Nachweis

Bemessung $\Delta \sigma_x$	$\eta_{\Delta \sigma x}$	0.212	≤ 1	[5], 8 (1)
Bemessung $\Delta \tau_{xz}$	$\eta_{\Delta \tau xz}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (1)
Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$	$\eta_{\Delta \sigma E2(x)}$	0.169	≤ 1	[5], 8 (2)
Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$	$\eta_{\Delta \tau E2(xz)}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (2)
Schädigung	D	0.005	≤ 1	[5], 8 (3)

HE B 300



Ausgabeart

☒ Gesamtweise

☐ x-stellenweise

Bild 4.17: Maske 2.6 Ermüdungsnachweis gesamtwweise

Bei der Ausgabeart *Gesamtweise* wird in der oberen Tabelle für die Spannungspunkte, denen Kerbfälle zugeordnet wurden (siehe Kapitel 2.3, Seite 22), jeweils die x-Stelle mit der größten Ausnutzung ausgewiesen. In Spalte E werden die maßgebenden Spannungsarten angegeben.

2.6 Ermüdungsnachweis x-stellenweise

A	B	C	D	E
Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Ausnutzung	Maßgebende Nachweisart
1	0.000	1	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$
		2	0.050	Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$
		4	0.050	Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$
		5	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$
		6	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$
		10	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$
		11	0.191	Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$
		13	0.204	Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$
		14	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$
		15	0.000	Bemessung $\Delta \sigma_x$

Stab Nr. 1 - Stelle x: 0.000 - S-Punkt Nr. 1

Allgemeine Eigenschaften

Nennwert der Stahlstreckgrenze:	f_{yk}	23.50	kN/cm ²	
Teilsicherheitsbeiwert der Ermüdungsbelastung	γ_{Ff}	1.000		[1], 9.2 (1)
Teilsicherheitsbeiwert der Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		[5] Tab. 3.
Schadensäquivalenter dynamischer Vergrößerungsbeiwert	$\phi_{fat, 1}$	1.050		[6] Gl. (2.1)
Schadensäquivalenter dynamischer Vergrößerungsbeiwert	$\phi_{fat, 2}$	1.065		[6] Gl. (2.1)

Spannung σ_x

Kerbfall σ_x	$KD_{\sigma x}$	160		[5] Tab. 8.
Spannungsschwingbreite	σ_x	0.00	kN/cm ²	
Kranlastkategorie für σ_x	$S_{i, \sigma x}$	S2		[6] Tab. B.
Schadensäquivalenzfaktor für σ_x	$\lambda_{i, \sigma x}$	0.315		
Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	$\Delta \sigma_x E, 2$	0.00	kN/cm ²	

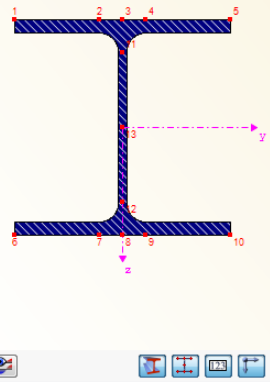
Spannung τ_{xz}

Kerbfall τ_{xz}	$KD_{\tau xz}$	100		[5] Tab. 8.
Spannungsschwingbreite τ_{xz}	$\Delta \tau_{xz}$	0.00	kN/cm ²	
Kranlastkategorie für τ_{xz}	S_i	S3		
Schadensäquivalenzfaktor für τ_{xz}	$\lambda_{i, \tau xz}$	0.575		[6] Tab. 2.
Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	$\Delta \tau_{xz} E, 1$	0.00	kN/cm ²	

Nachweis

Bemessung $\Delta \sigma_x$	$\eta_{\Delta \sigma x}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (1)
Bemessung $\Delta \tau_{xz}$	$\eta_{\Delta \tau xz}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (1)
Bemessung $\Delta \sigma_{E2(x)}$	$\eta_{\Delta \sigma E2(x)}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (2)
Bemessung $\Delta \tau_{E2(xz)}$	$\eta_{\Delta \tau E2(xz)}$	0.000	≤ 1	[5], 8 (2)
Schädigung	D	0.000	≤ 1	[5], 8 (3)

HE B 300



Ausgabeart

☐ Gesamtweise

☒ x-stellenweise

Bild 4.18: Maske 2.6 Ermüdungsnachweis x-stellenweise

Bei der Ausgabeart *x-stellenweise* werden die Nachweise an jeder Stabstelle *x* und für jeden Spannungspunkt aufgelistet, denen ein Kerbfall zugeordnet wurde.

Nachweisdetails

Im unteren Bereich der Maske sind alle Zwischenergebnisse aufgelistet, die für die Ausnutzung am oben selektierten Spannungspunkt gelten. Neben allgemeinen Parametern können dort die Anteile der Normal- und Schubspannungen sowie die schadensäquivalenten Spannungsschwingbreiten abgelesen werden.

4.6.1 Theoretische Grundlagen zum Ermüdungs- bzw. Betriebsfestigkeitsnachweis

DIN 4132

Im Unterschied zum Spannungsnachweis wird beim Betriebsfestigkeitsnachweis mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_F = 1$ gerechnet. Deshalb können beim Betriebsfestigkeitsnachweis vorhandene Spannungen nicht mit Bemessungswerten des allgemeinen Spannungsnachweises ins Verhältnis gesetzt werden, sondern müssen mit den zugehörigen zulässigen Spannungen für den Betriebsfestigkeitsnachweis verglichen werden. Sie sind von der verwendeten Stahlsorte, dem Kerbfall, dem Spannungsverhältnis von Unterspannung zu Oberspannung bei einer Spannungsamplitude ($\chi = \sigma_u / \sigma_o$) und von der Anzahl der Kranüberfahrten, die bei der Beanspruchungsgruppe des Krans definiert werden, abhängig.

Kennzeichnend für das Material Stahl ist eine Akkumulation der Ermüdungsbeschädigungen. Jede einzelne Spannungsamplitude kann dann von großer Bedeutung sein. Daher ist folgende Bedingung einzuhalten.

$$\sum \left(\frac{\max_{\tau_i}^{\sigma}}{\text{zul}_{\tau}^{\sigma} \text{Be}_i} \right)^k + \left(\frac{\max_{\tau}^{\sigma}}{\text{zul}_{\tau}^{\sigma} \text{Be}} \right)^k \leq 1$$

In die Kombinationsformel sind folgende Werte einzusetzen:

$\max_{\tau}^{\sigma}$	Höchstspannung infolge des Einzelkrans <i>i</i>
$\text{zul}_{\tau}^{\sigma} \text{Be}$	Zulässige Spannung für die entsprechende Beanspruchungsgruppe
$\max_{\tau}^{\sigma}$	Höchstspannung aus mehreren Kranen gemeinsam
$\text{zul}_{\tau}^{\sigma} \text{Be}$	Zul. Spannung für die entsprechende Beanspruchungsgruppe mehrerer Krane

Exponent *k*:

$k = 6,635$ für Kerbfälle W0 bis W2 bei St 37

$k = 5,336$ für Kerbfälle W0 bis W2 bei St 52

$k = 3,323$ für Kerbfälle K0 bis K4

Bei der Bestimmung der zulässigen Spannungen wird bei zwei Kranen die um zwei Stufen geringere Beanspruchungsgruppe des Krans mit der niedrigsten Beanspruchungsgruppe genutzt. Bei drei Kranen wird die um drei Stufen geringere Beanspruchungsgruppe des Krans mit der niedrigsten Beanspruchungsgruppe berücksichtigt.

Werden bei der Überfahrt eines Krans die Spannungshöchstwerte σ oder τ bereits von einzelnen Kranrädern oder Radgruppen hervorgerufen, so sind diese im Nachweis nach vorheriger Formel je für sich als Wirkungen mit der zulässigen Spannung zu berücksichtigen.

Bei komplizierten Spannungsverläufen ist die Beurteilung der Amplituden und der Werte σ_o und σ_u schwierig. Dieses Problem kann mit der Rainflow-Methode gelöst werden. Es handelt sich dabei um eine Methode, die aus den Spannungsverläufen die Amplituden und die zugehörigen oberen σ_o und unteren σ_u Spannungen bestimmt. Weiterhin kann diese Methode alle Formen von Spannungsverläufen erfassen. Die damit ermittelten σ_o und σ_u Spannungen werden dann als Eingangsparameter für den eigentlichen Betriebsfestigkeitsnachweis genutzt.

Die Rainflow-Methode liefert als Ergebnis die Spannungspaare σ_o und σ_u für jede Spanne (Amplitude). Für diese Spannungspaare wird nun der Betriebsfestigkeitsnachweis durchgeführt. Weiterhin muss beachtet werden, ob es sich um Voll- oder Halbspannen handelt. In der folgenden Kombinationsformel wurde der Einfluss der Spannen (Amplituden) ergänzt.

$$\sum s_i \left(\frac{\max \sigma_{\tau_i}}{\text{zul}_{\tau}^{\sigma \text{Be}_i}} \right)^k + \left(\frac{\max \sigma_{\tau}}{\text{zul}_{\tau}^{\sigma \text{Be}}} \right)^k \leq 1$$

s_i bedeutet:

$s_i = 1,0$ für Vollspanne

$s_i = 0,5$ für Halbspanne

Bei der Normalspannung σ_z werden im Unterschied zu den Spannungen σ_x und τ die Oberspannung σ_o und die Unterspannung σ_u nicht mit der Rainflow-Methode aus den Spannungsverläufen bestimmt. Es wird vorausgesetzt, dass jede vertikale Radlast über die zu untersuchende Stelle fährt und die zugehörigen Oberspannungen σ_o hervorruft:

$$\sigma_{o,i} = \frac{\varphi \cdot R_i}{c \cdot t}$$

mit

φ Schwingbeiwert

R_i Radlast

c Lasteinleitungslänge der Radlast

t Dicke des Stegblechs

KRANBAHN berücksichtigt auch exzentrisch wirkende Radlasten, die ein Torsionsmoment verursachen. Bei der Beanspruchungsgruppe B4 - B6 wird automatisch ein ausmittiger Lastangriff von $\pm 1/4$ der Schienenkopfbreite berücksichtigt. Dies geschieht, indem zu den Spannungen der zentrischen Radlasteinleitung die Spannungen des entsprechenden Torsionsmoments $M_{T,i}$ addiert werden, siehe Bild 4.19a).

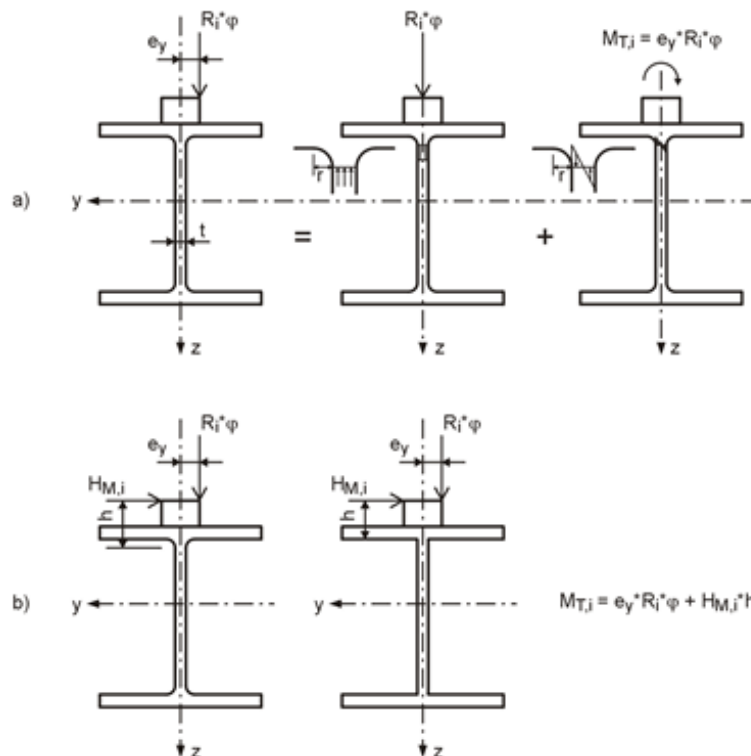


Bild 4.19: Beanspruchung am Stegoberrand infolge exzentrischer Radlast

Falls die horizontalen Massenkräfte H_M beim Betriebsfestigkeitsnachweis berücksichtigt werden, dann ergibt sich das Torsionsmoment $M_{T,i}$ nach Bild 4.19b).

Die zusammengesetzte Normalspannung $\sigma_{z,i}$ beträgt somit:

$$\sigma_{z,i} = \sigma_{z,i,V} + \sigma_{z,i,M}$$

mit

$$\sigma_{z,i,V} = \sigma_{o,i}$$

$$\sigma_{z,i,M} = \frac{6}{t^2} \cdot M_{T,i} \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \tanh\left(\frac{\lambda \cdot a}{2}\right)$$

Dabei bedeuten

$$\lambda = \sqrt{\frac{m_d}{G \cdot I_T}}$$

$$m_d = 1,15 \cdot \frac{E \cdot t^3}{a} \cdot \frac{\left(\sinh\left(\frac{\pi \cdot b}{a}\right)\right)^2}{\sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot b}{s}\right) - 2 \cdot \frac{\pi \cdot b}{a}}$$

Die Bezeichnungen bedeuten:

- t Dicke des Stegblechs
- G Schubmodul (Stahl $G = 8100 \text{ kN/cm}^2$)
- E Elastizitätsmodul (Stahl $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$)
- I_T Torsionsträgheitsmoment
- a Quersteifenabstand
- b Quersteifenhöhe (in der Regel entspricht dies der Stegblechhöhe)

Die Spannung σ_z aus der Radlastenteilung beeinflusst nach [2], Abschnitt 4.1.2 bei der Betriebsfestigkeitsuntersuchung auch die Schubspannungen τ am belasteten oberen Rand des Stegblechs. Die Spannung σ_z aus der Radlastenteilung ruft im Stegblech die Schubspannung τ_{xz} hervor. Dies wird in KRANBAHN durch folgende Formel berücksichtigt:

$$\tau_{xz} = 0,2 \cdot \sigma_z$$

EN 1993-6 (EN 1993-1-9)

Der Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 basiert auf dem Nennungskonzept. Die Schnittgrößen werden nach Stabstatik ermittelt und die Spannungen an der Stelle der zu erwartenden Rissbildung nach der Festigkeitslehre berechnet. Beim Ermüdungsnachweis werden also die Nennspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ und $\Delta\tau$ infolge der Einwirkungen den Bemessungswerten der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ und $\Delta\tau_R$ gegenübergestellt. Weiterhin gilt in EN 1993-1-9 das Prinzip der Teilsicherheitsbeiwerte.

Das Standardverfahren nach EN 1993-1-9 ist der Nachweis über Schadensäquivalenzfaktoren: Dabei sind die schadensäquivalenten Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{E,2}$ und $\Delta\tau_{E,2}$ bezogen auf $n = 2 \cdot 10^6$ Spannungsspiele unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren den Grenzwerten der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_c$ bzw. $\Delta\tau_c$ bei $n = 2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen des entsprechenden Kerbdetails gegenüberzustellen. Daraus ergeben sich folgende Nachweisformate:

$$\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad \text{und}$$

$$\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

mit

$$\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma$$

EN 1993-1-9, Kapitel 8, Gl. 8.2

Bei gleichzeitiger Wirkung von Längs- und Schubspannungsschwingbreiten gilt:

$$\left(\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

EN 1993-1-9, Kapitel 8, Gl. 8.3

Für die Ermittlung der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite stellt die EN 1991-3 für die jeweiligen Schadensklassen die Schadensäquivalenzfaktoren λ_i zur Verfügung. Folgende Tabelle ist in KRANBAHN implementiert.

Tabelle 2.12 — λ_i -Werte entsprechend der Kranklassifizierung

Klassen S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
Normalspannung	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
Schubspannung	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

ANMERKUNG 1 Bei der Bestimmung der λ -Werte sind genormte Spektren mit einer Gaußverteilung der Lasteinwirkungen, die Miner-Regel und Ermüdungsfestigkeitskurven S-N mit einer Neigung von $m = 3$ für Normalspannungen und $m = 5$ für Schubspannungen verwendet worden.

ANMERKUNG 2 Falls die Kranklassifizierung nicht in den Betriebsanforderungen des Betreibers der Krananlage enthalten ist, sind Hinweise zur Kranklassifizierung im Anhang B angegeben.

Bild 4.20: Schadensäquivalenzfaktoren nach EN 1991-3, Tabelle 2.12

4.7 Beulnachweis

Bei der Ausgabeart *Gesamtweise* wird in der oberen Tabelle für jedes Feld des Kranbahnträgers der Stab mit der x-Stelle angegeben, an dem die maximale Ausnutzung vorliegt. Im Abschnitt unterhalb finden sich detaillierten Angaben zu Beulfeld, lokalen Spannungen, Beiwerten etc. für die oben selektierte Nachweiszeile.

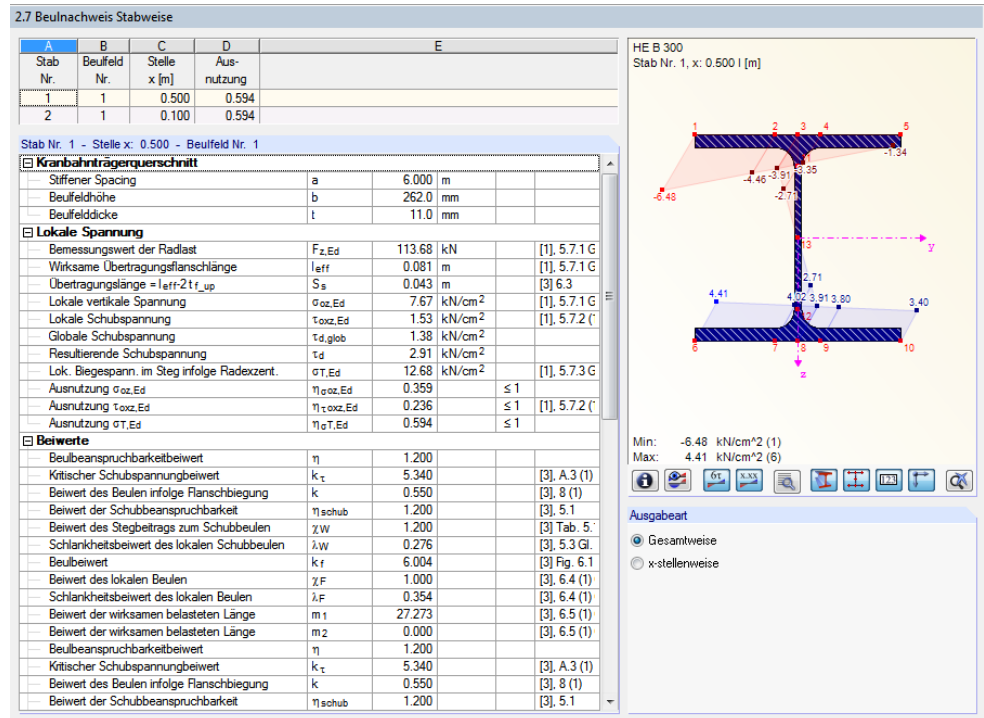


Bild 4.21: Maske 2.7 Beulnachweis gesamtweise

Die maßgebenden Nachweise lassen sich auch x-stellenweise anzeigen.

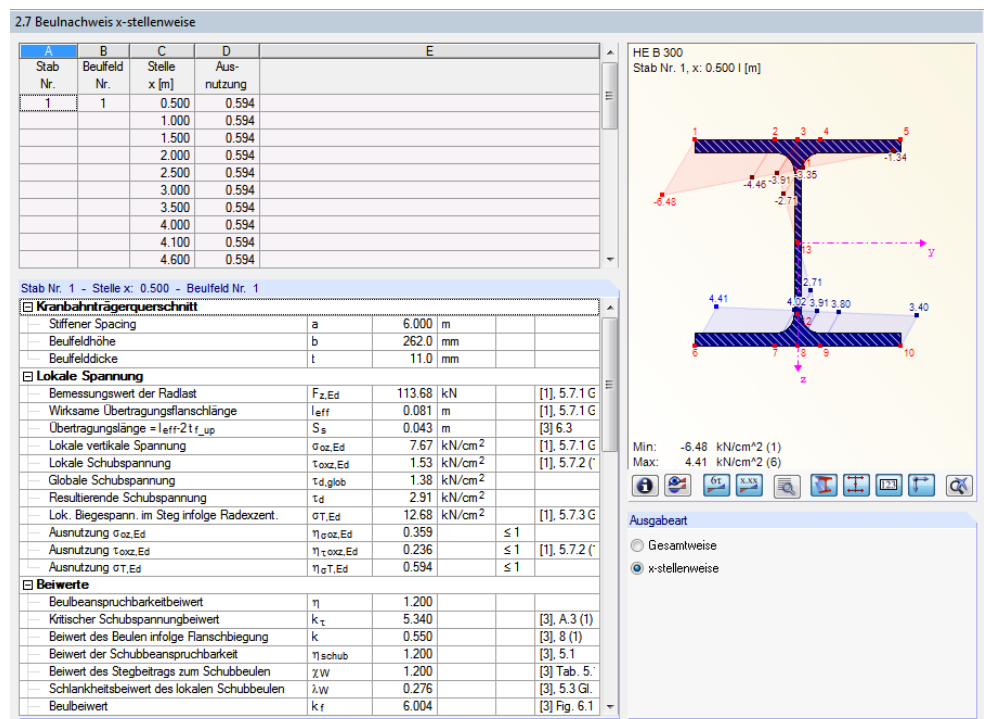


Bild 4.22: Maske 2.7 Beulnachweis x-stellenweise

4.8 Schweißnähte - Spannungen

Die Maske wird nur angezeigt, wenn in Maske 1.3 *Querschnitt* der Nachweis der Schweißnähte für die Berechnung aktiviert wurde (siehe Kapitel 2.3, Seite 15). Die Spannungen der Schweißnähte lassen ebenfalls *Gesamtweise* oder *x-stellenweise* anzeigen.

2.8 Schweißnähte - Spannungen gesamtweise

A	B	C	D	E	F	G
Stab Nr.	Stelle x [m]	Ort der Schweißnaht	Maßgeb. LK	Spannung [kN/cm ²]	Ausnutzung	
1	6.000	Schiene - Flansch	LK62	0.81	0.870	

Stab Nr. 1 - Stelle x: 6.000 - Schweißnaht: Schiene - Flansch

Algemeine Nahteigenschaften

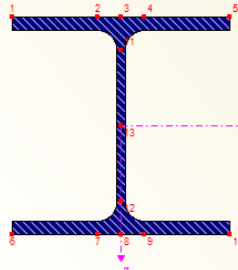
Nennwert der Stahlbruchfestigkeit:	f_u	36.00	kN/cm ²		
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{Mw}	1.250			[4] Tab. 2.1
Korrelationsfaktor	β_w	0.800			[4] Tab. 4.1
Maßgebender Kran für Radlast	Nr.	1			
Bemessungswert der vertikalen Radlast	$F_{z,d}$	113.68	kN		
Bemessungswert der horizontalen Radlast	H_d	0.00	kN		
Wirksame Nahthöhe	a_w	9.0	mm		

Schweißnähte - Spannungen σ , τ

Schnittgrößen LK62: 1.35*LF1+1.35*LF100+1.35*LF102+1.35*LF104

Wirksame Lastübertragungslänge	l_{eff}	0.043	m		
Resultierende vertikale Spannung	$\sigma_{w,z}$	22.13	kN/cm ²		
Resultierende horizontale Spannung	$\sigma_{w,y}$	0.00	kN/cm ²		
Normalspannung senkrecht zur Nahtebene	σ_L	15.65	kN/cm ²		[4], 4.5.3.2
Schubspannung senkrecht zur Nahtebene	τ_L	15.65	kN/cm ²		[4], 4.5.3.2
Schubspannung parallel mit Nahtebene	$\tau_{ }$	0.81	kN/cm ²		[4], 4.5.3.2
Ausnutzung	η_{Naht}	0.870		≤ 1	[4] Gl. 4(1)

HE B 300



Ausgabeart

☒ Gesamtweise

☐ x-stellenweise

Bild 4.23: Maske 2.8 Schweißnähte - Spannungen gesamtweise

Bei der Ausgabeart *Gesamtweise* werden in der oberen Tabelle nur die x-Stellen einer jeden Schweißnaht (Schiene-Flansch und Flansch-Steg) angegeben, die zur maximalen Ausnutzung führen. Dabei kann auch abgelesen werden, für welche Lastkombination dieses Nachweiskriterium relevant ist.

Der Nachweis ist erfüllt, wenn die Ausnutzung kleiner als 1 ist. Die Ausnutzung ist das Verhältnis von ermittelter Vergleichsspannung zur Grenz-Vergleichsspannung der Schweißnaht.

Details - Schweißnähte

Unter der Tabelle sind die Zwischenergebnisse aufgelistet, die für die Ausnutzung an der Stelle gelten, die oben selektiert ist. Neben allgemeinen Nahteigenschaften können dort die Schnittgrößen sowie die Normalspannungen σ und Schubspannungen τ der Schweißnaht abgelesen werden.

Bei der Ausgabeart *x-stellenweise* werden die maßgebenden Spannungsnachweise für die Schweißnähte an jeder x-Stelle dargestellt.

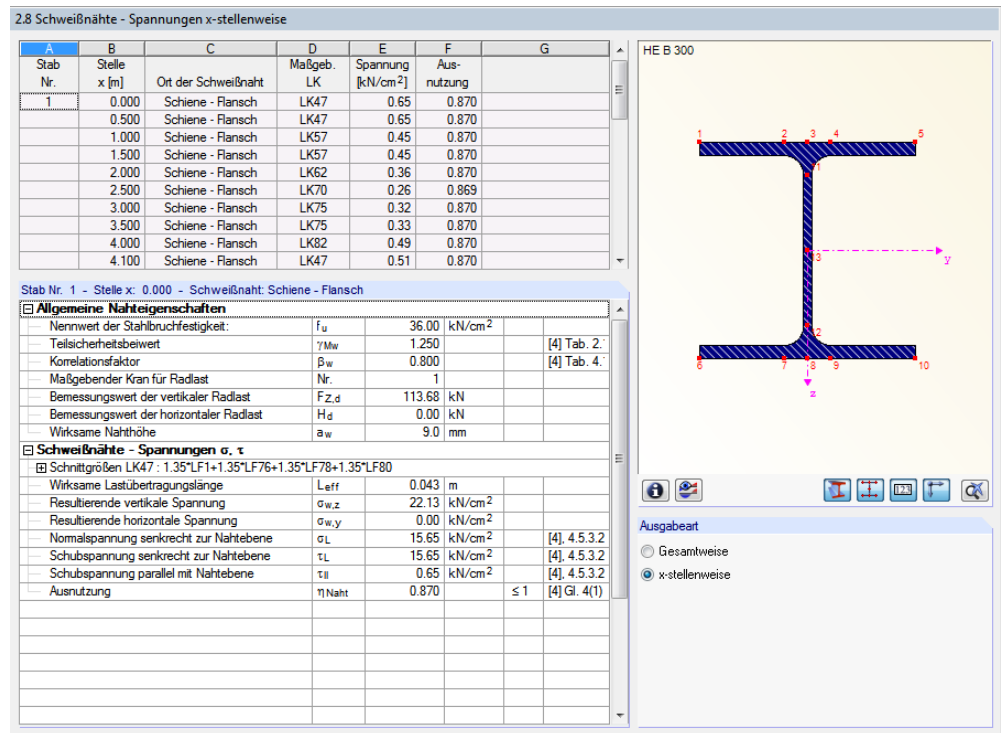


Bild 4.24: Maske 2.8 Schweißnähte - Spannungen x-stellenweise

4.9 Schweißnähte - Ermüdungsnachweis

In dieser Maske werden die Schweißnahtausnutzungen für den Ermüdungsnachweis ausgegeben. Es stehen wieder die Anzeigemöglichkeiten *Gesamtweise* und *x-stellenweise* zur Auswahl.

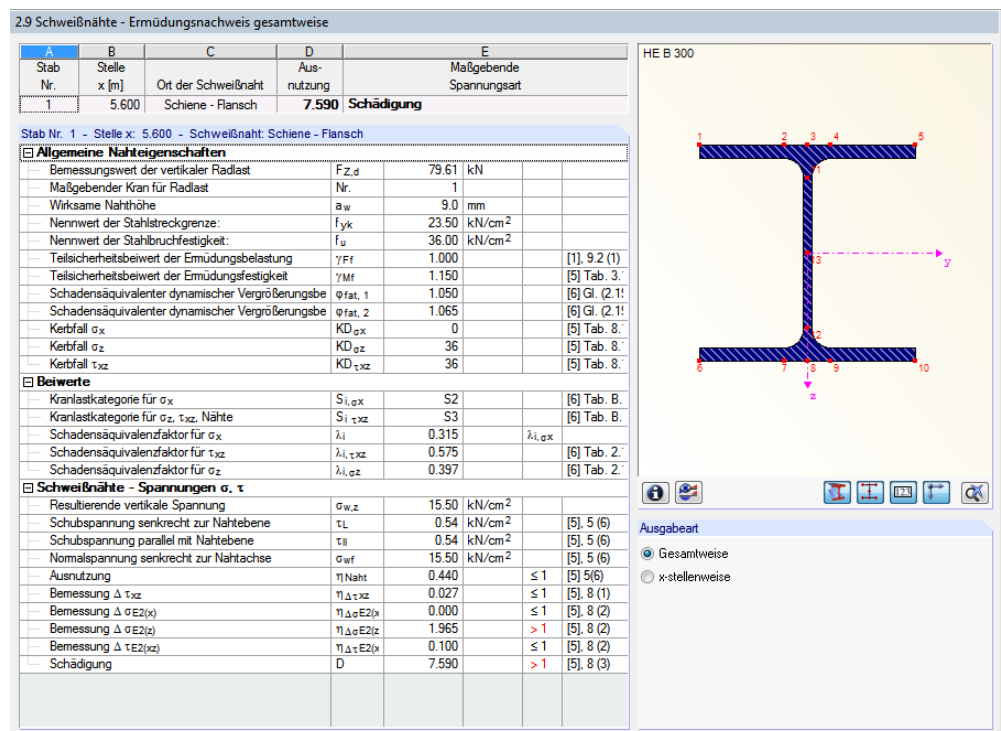


Bild 4.25: Maske 2.9 Schweißnähte - Ermüdungsnachweis gesamtweise

4.10 Kritische Lastfaktoren

Die letzte Ergebnismaske wird angezeigt, wenn im Dialog *Details*, Register *FE-BGDK* die Option *Kritische Lastfaktoren von allen Lastkombinationen ermitteln* aktiviert wurde (siehe Bild 3.3, Seite 37). Sie bietet einen Überblick über die kritischen Lastfaktoren, die für die relevanten Lastkombinationen (Laststellungen) ermittelt wurden.

2.10 Kritische Lastfaktoren			
A	B	C	
LK	Kritischer Lastfaktor	Grund für Ende der Berechnung	
LK1	9.000	9) Maximaler Nü-Faktor erreicht -> kein Stabilitätsproblem	
LK47	8.969	2) Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null	
LK57	8.453	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK62	7.531	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK70	7.781	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK75	7.969	2) Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null	
LK82	8.531	2) Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null	
LK85	9.564	2) Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null	
LK107	7.656	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK112	8.656	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK122	8.719	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	
LK140	7.656	3) Max. Anzahl von 50 Gleichgewichtssiterationen erreicht	

Bild 4.26: Maske 2.10 *Kritische Lastfaktoren*

Kritischer Lastfaktor

Dieser Wert gibt Aufschluss über die Stabilität des Tragwerks. Der kritische Lastfaktor von z. B. 7,969 für die Lastkombination LK75 (siehe Bild oben) bedeutet, dass die Belastung dieser Lastkombination um den Faktor 7,969 gesteigert werden kann, bis das System instabil wird (Kommentar *Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null*). Dabei wird von einem elastischen Werkstoffverhalten ausgegangen.

Grund für Ende der Berechnung

In Spalte C wird in den meisten Fällen als Kommentar *Diagonalkoeffizient der Matrix kleiner Null* oder *Max. Anzahl von x Gleichgewichtssiterationen erreicht* angegeben. Beim ersten Kommentar konnte der Stabilitätsverlust rechnerisch bestimmt werden. Der zweite Kommentar bedeutet, dass es nicht gelungen ist, innerhalb der erlaubten Anzahl an Iterationen die Abbruchschranke zu erreichen. Die *Maximale Anzahl der Gleichgewichtssiterationen* und die *Abbruchschranke* werden im Dialog *Details*, Register *FE-BGDK* verwaltet (siehe Bild 3.3, Seite 37).



Ist der kritische Lastfaktor kleiner als 1, so ist das Modell schon vor dem Erreichen der Bemessungslast instabil.

Wird ein kritischer Lastfaktor von 0 angegeben, so konnte die Berechnung nicht durchgeführt werden. Das Modell ist wahrscheinlich kinematisch, sodass die Lagerungsbedingungen überprüft werden müssen.

5. Ausdruckprotokoll

Die Eingabe- und Ergebnisdaten von KRANBAHN werden nicht direkt zum Drucker geschickt. Stattdessen wird zunächst aus den Daten ein so genanntes Ausdruckprotokoll generiert, das mit Grafiken, Erläuterungen, Scans etc. ergänzt werden kann (siehe Bild 5.5, Seite 66).

5.1 Ausdruckprotokoll anlegen

Da die Ausdruckprotokolle nicht in der KRANBAHN-Oberfläche erstellt werden, muss das Programm zunächst mit der Schaltfläche [OK] oder [Grafik] verlassen werden. In der Oberfläche von RSTAB bzw. RFEM lässt sich dann das Ausdruckprotokoll über Menü

Datei → Ausdruckprotokoll öffnen

oder die zugeordnete Schaltfläche erzeugen.

Wenn noch kein Ausdruckprotokoll existiert, erscheint der Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*.

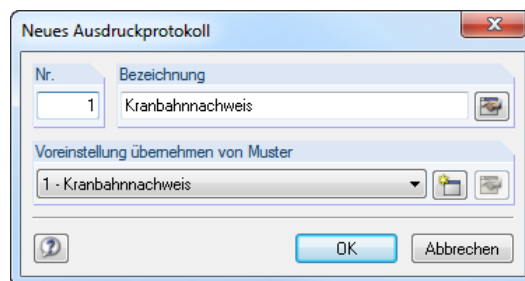


Bild 5.1: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

Die *Nummer* des Protokolls ist voreingestellt, kann aber geändert werden. Für das Protokoll kann eine *Bezeichnung* angegeben werden, die später die Auswahl in den Listen erleichtert. Diese Bezeichnung erscheint nicht im Ausdruck.

In der Liste *Voreinstellung übernehmen von Muster* kann ein bestimmtes Musterprotokoll als Vorlage ausgewählt werden.

Die Schaltflächen im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Ein neues Musterprotokoll wird angelegt.
	Die Selektion des Protokolls kann geändert werden (→ Kapitel 5.2, Seite 63).

Tabelle 5.1: Schaltflächen im Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

5.2 Selektion im Ausdruckprotokoll

In einem Dialog können die Kapitel ausgewählt werden, die im Ausdruckprotokoll erscheinen sollen. Diese Funktion wird aufgerufen über das Ausdruckprotokoll-Menü



Bearbeiten → Auswahl

oder die links gezeigte Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

Es erscheint der Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*.

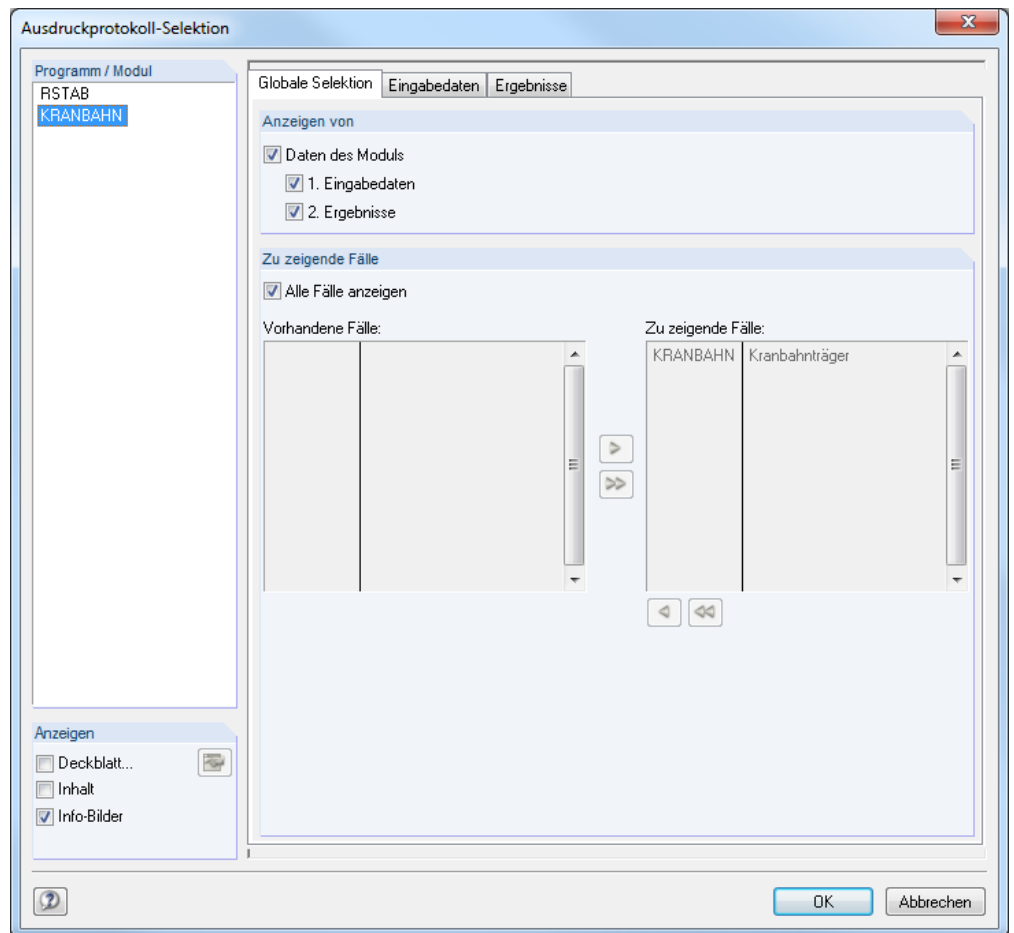


Bild 5.2: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion*

Die Liste im Abschnitt *Programm / Modul* enthält alle Module, in denen Eingabedaten vorliegen. Wird ein Programm in dieser Liste markiert, können die zu druckenden Kapitel in den Registern rechts ausgewählt werden.

Globale Selektion

Das erste Register verwaltet die Oberkapitel des Protokolls. Wenn hier ein Eintrag deaktiviert wird, verschwindet auch das zugehörige Detailregister. Um nur die Eingabedaten und Ergebnisse von KRANBAHN anzuzeigen, können die *RSTAB-Daten* bzw. *RFEM-Daten* in der globalen Selektion dieser Programme deaktiviert werden.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Anzeigen* links unten steuern, ob *Deckblatt*, *Inhaltsverzeichnis* sowie kleine *Info-Bilder* in der Randspalte des Protokolls angezeigt werden.

Eingabedaten

Das zweite Register steuert, welche Eingabedaten im Ausdruck erscheinen.

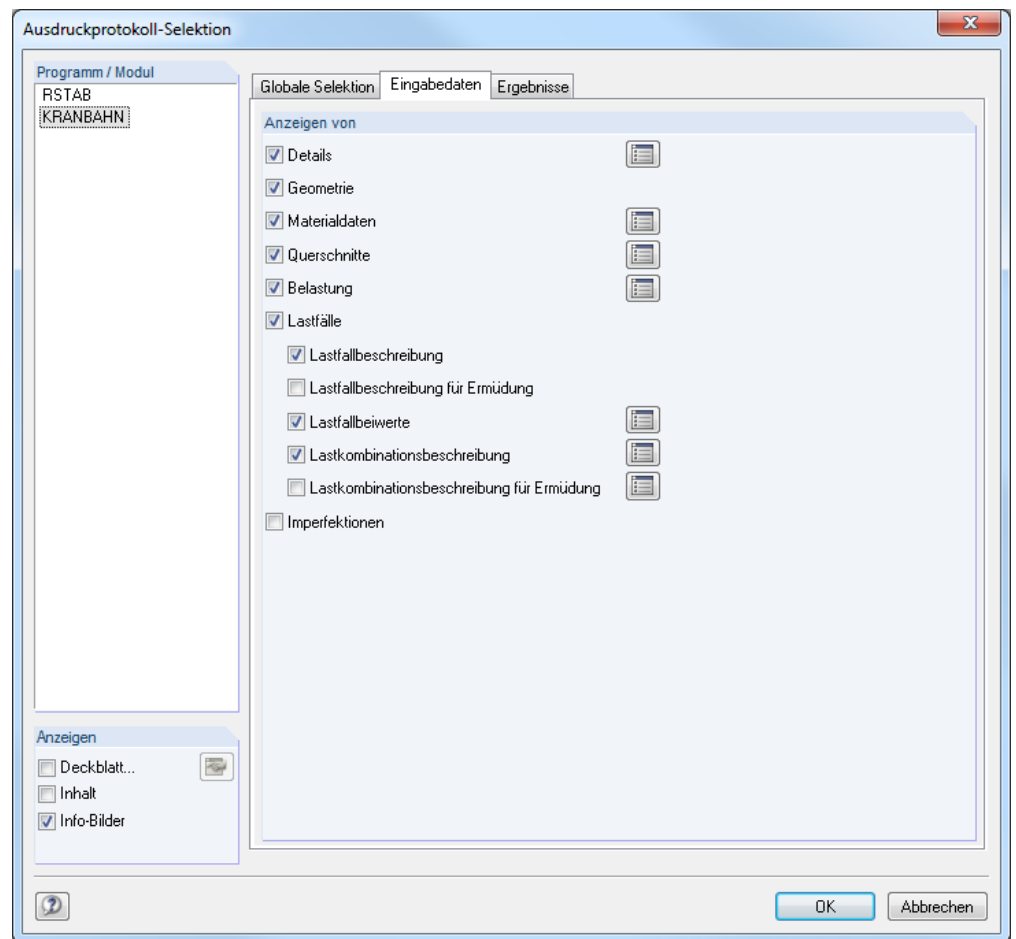


Bild 5.3: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Eingabedaten*



Bei vielen der hier aufgelisteten Kategorien kann der Druckumfang über die Schaltfläche [Details] gezielt festgelegt werden.

Ergebnisse

Auch in diesem Register kann anhand der Kontroll- und Auswahlfelder festgelegt werden, welche Ergebnisse gedruckt werden sollen und welcher Ausgabeumfang zutreffend ist.

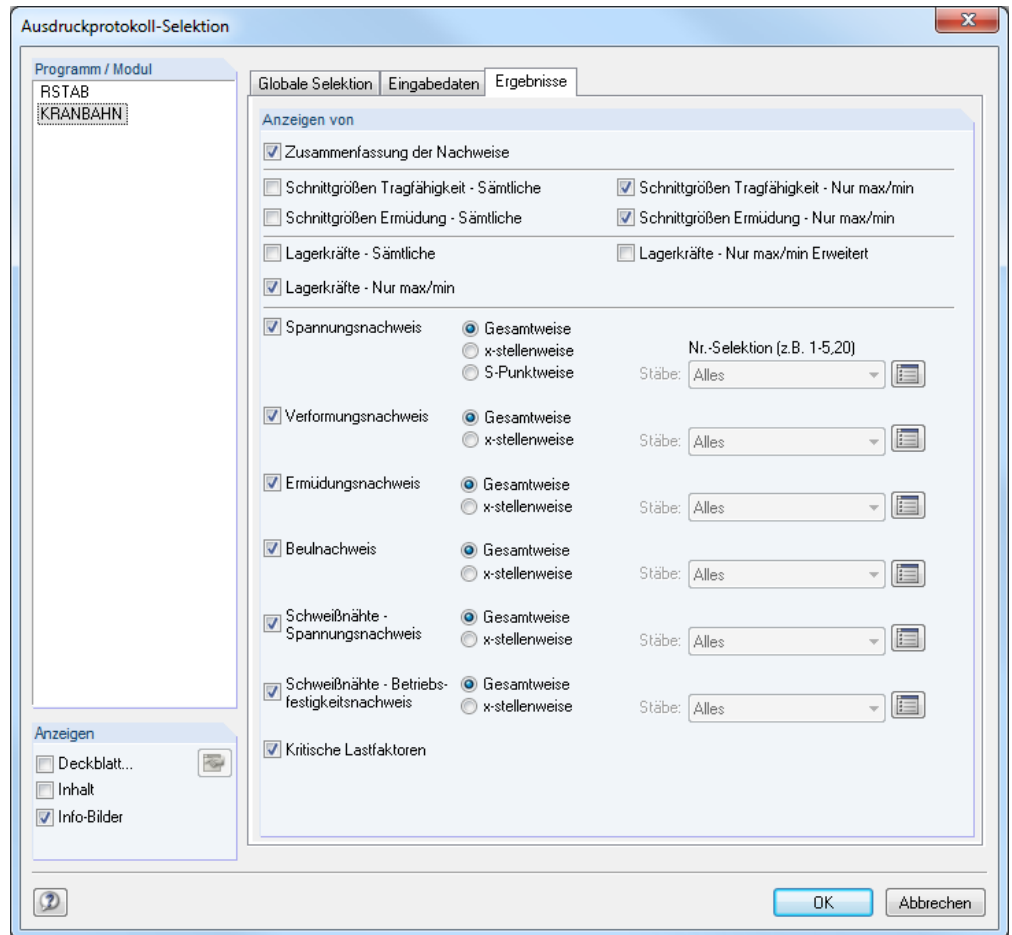


Bild 5.4: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Ergebnisse*



Wie die KRANBAHN-Ergebnismasken sind die druckbaren Ergebnisse in Nachweise gegliedert. Über die Schaltflächen [Details] lässt sich der Druckumfang der Ergebnisse steuern.

5.3 Ausdruckprotokoll-Navigator

Ist das Ausdruckprotokoll aufgebaut, wird links ein Navigator, rechts die Seitenansicht mit dem zu erwartenden Aussehen des Ausdrucks angezeigt.

Die einzelnen Kapitel des Protokolls können im Navigator per Drag-and-drop an jede beliebige Stelle verschoben werden.

Das Navigator-Kontextmenü bietet weitere Möglichkeiten zur Anpassung des Ausdruckprotokolls. Es lässt sich mit einem Rechtsklick auf ein bestimmtes Kapitel aufrufen. Wie in Windows üblich, ist eine Mehrfachselektion von Kapiteln mit den Tasten [Strg] und [⇧] möglich.

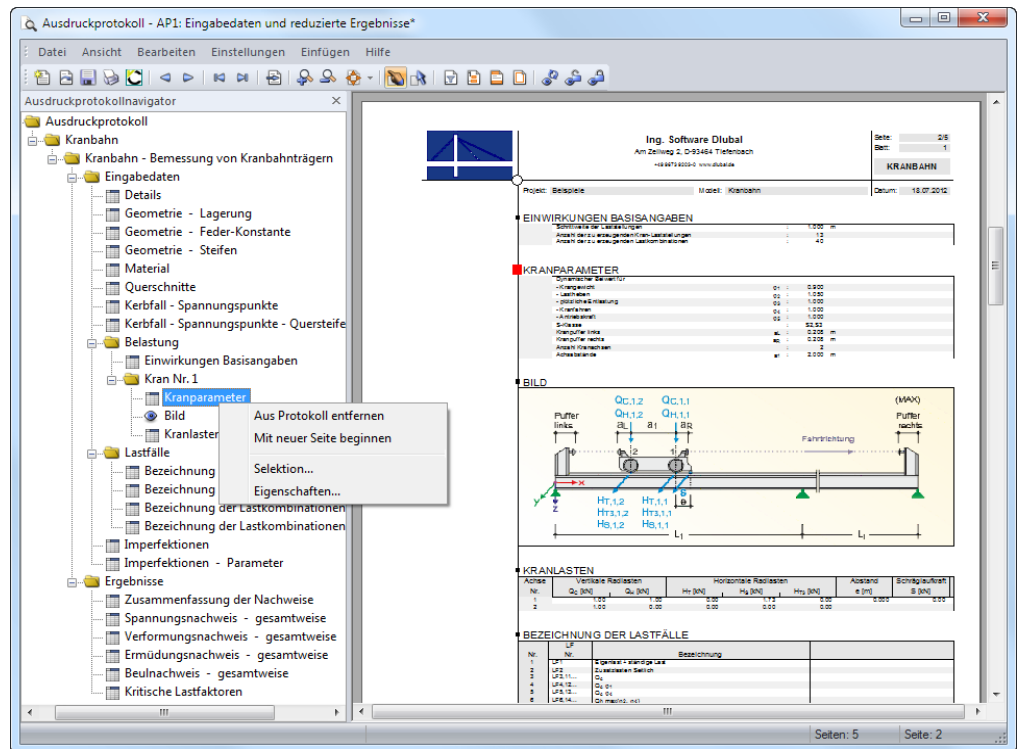


Bild 5.5: Kontextmenü im Navigator und Druckvorschau

Aus Protokoll entfernen

Das markierte Kapitel wird gelöscht. Soll es wieder in das Protokoll eingefügt werden, ist dies über die Selektion möglich: Menü *Bearbeiten* → *Auswahl*.

Mit neuer Seite beginnen

Mit diesem Kapitel wird eine neue Seite begonnen. Im Navigator ist das Kapitel mit einem roten Pin gekennzeichnet.

Selektion

Es wird die globale Selektion aufgerufen, die auf den folgenden Seiten beschrieben ist. Das gewählte Kapitel ist voreingestellt.

Eigenschaften

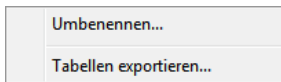
Einige allgemeine Eigenschaften eines Kapitels können beeinflusst werden, z. B. der Titel geändert oder eine Zusatz Erläuterung eingetragen werden.

6. Allgemeine Funktionen

Dieses Kapitel beschreibt nützliche Menüfunktionen und stellt grafische Möglichkeiten bei der Eingabe und Auswertung vor.

6.1 Menü *Datei*

Mit diesen Menüfunktionen können die Bezeichnung des KRANBAHN-Falls geändert sowie die Masken als Tabellen exportiert werden.



Umbenennen

Der aktuelle KRANBAHN-Fall kann mit einer neuen *Bezeichnung* versehen werden.

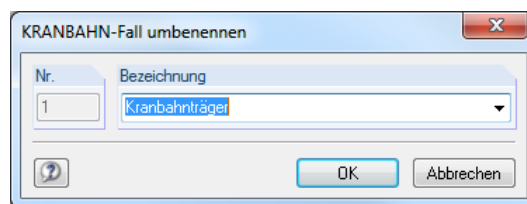


Bild 6.1: Dialog KRANBAHN Fall umbenennen

Tabellen exportieren

KRANBAHN ermöglicht den direkten Datenexport zu *MS Excel*, *OpenOffice.org Calc* oder in das *CSV-Format*. Es öffnet sich folgender Exportdialog.

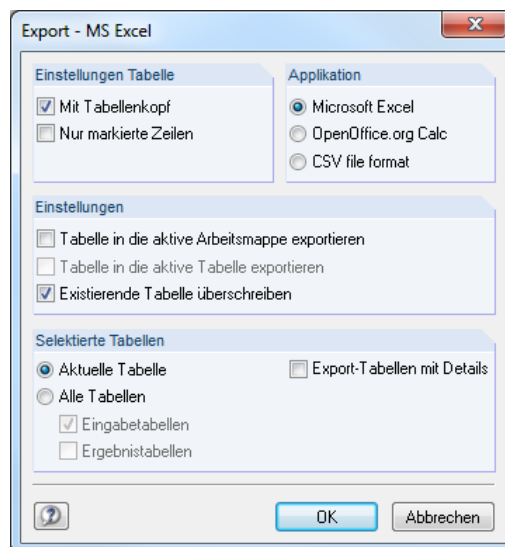


Bild 6.2: Dialog Export - MS Excel

Wenn die Auswahl feststeht, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel bzw. OpenOffice werden automatisch aufgerufen, d. h. die Programme brauchen nicht zuvor geöffnet werden.

Stab Nr.	Stelle x m	S-Punkt Nr.	Maßgeb. LK	Spannung		Aus- nutzung	
				Art	kN/cm ²		
1	0.000 r	11	LK2	σ_v	11,34	0,531	
	0.050 l	11	LK2	σ_v	11,26	0,527	
	0.550 r	12	LK17	σ_v	10,62	0,497	
	1.050 r	12	LK17	σ_v	11,55	0,541	
	1.550 l	4	LK17	σ_v	13,84	0,648	
	2.050 l	4	LK22	σ_v	15,34	0,718	
	2.550 l	4	LK30	σ_v	18,37	0,860	
	3.000 r	4	LK30	σ_v	14,31	0,670	
	3.325 r	4	LK30	σ_v	11,65	0,545	
	3.650 r	12	LK2	σ_v	11,94	0,559	
	4.050 l	4	LK45	σ_v	12,23	0,572	
	4.417 r	12	LK42	σ_v	10,34	0,484	
	4.783 r	11	LK42	σ_v	10,16	0,476	
	5.150 r	12	LK17	σ_v	11,61	0,544	
	5.650 r	11	LK22	σ_v	12,38	0,580	
	6.000 l	11	LK22	σ_v	13,07	0,612	
	0.000 r	11	LK62	σ_v	13,08	0,612	
	0.050 l	11	LK62	σ_v	12,95	0,606	
	0.150 r	11	LK67	σ_v	12,30	0,576	
	0.550 l	11	LK67	σ_v	11,37	0,532	
2	1.050 l	12	LK72	σ_v	11,64	0,545	
	1.350 r	12	LK87	σ_v	10,22	0,479	
	1.650 r	12	LK87	σ_v	10,74	0,503	
	2.000 r	4	LK90	σ_v	12,25	0,573	
	2.350 r	4	LK90	σ_v	16,24	0,760	
	2.675 r	4	LK90	σ_v	14,30	0,669	
	3.000 r	4	LK90	σ_v	12,57	0,589	
	3.325 r	12	LK62	σ_v	11,47	0,537	
	3.650 l	10	LK62	σ_v	12,81	0,600	
	4.150 r	12	LK67	σ_v	12,39	0,580	
	4.650 r	12	LK72	σ_v	12,31	0,576	
	5.083 r	12	LK72	σ_v	11,07	0,518	
	5.517 r	12	LK72	σ_v	10,05	0,470	
	5.950 r	11	LK87	σ_v	11,87	0,556	
	6.000 l	11	LK87	σ_v	11,95	0,559	

Bild 6.3: Ergebnis in Excel

6.2 Menü *Einstellungen*

Details...

Einheiten und Dezimalstellen...

Dieses Menü enthält Funktionen zur Steuerung der Berechnung und der Einheiten.

Details

Diese Funktion ruft den Dialog *Details* auf. Die Register dieses Dialogs sind im Kapitel 3.1 ab Seite 34 beschrieben.

Einheiten und Dezimalstellen,

Mit dieser Funktion können die Einheiten und Nachkommastellen der Ein- und Ausgabedaten angepasst werden. Es öffnet sich ein Dialog, der in die Register *Eingabedaten* und *Ergebnisse* unterteilt ist.

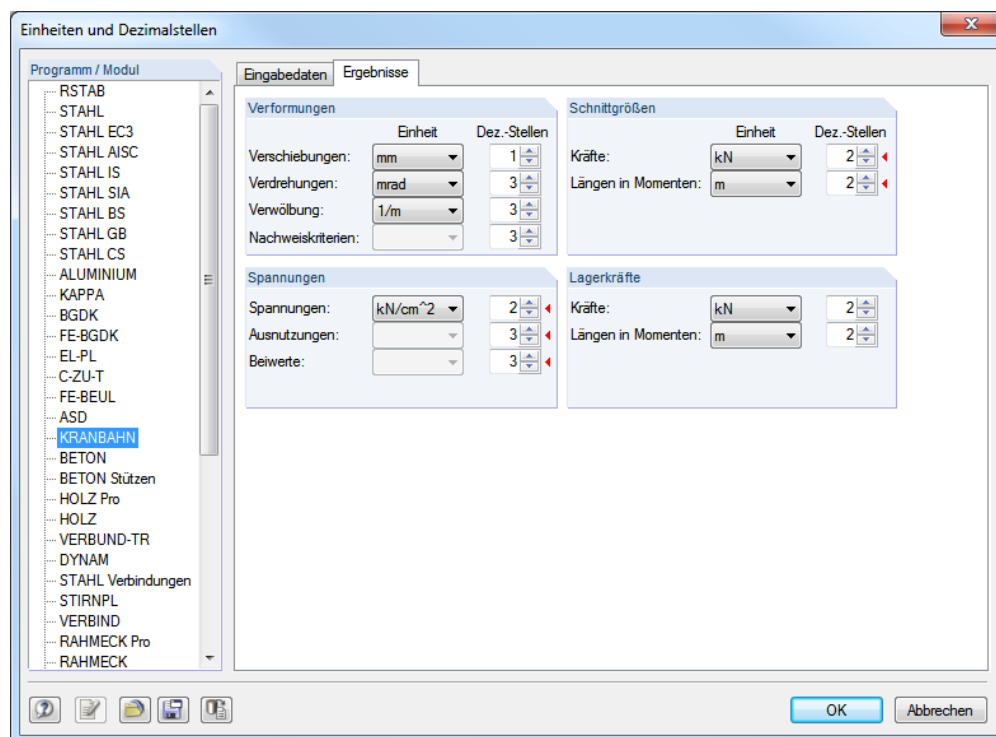


Bild 6.4: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen lassen sich als Benutzerprofil [Speichern] und in anderen Modellen wieder [Öffnen]. Mit der Schaltfläche [Standard] werden wieder die programmseitigen Voreinstellungen eingetragen.

6.3 Grafik

6.3.1 Eingabedaten

3D-Rendering

Über die Schaltfläche [3D-Rendering] können die Eingabedaten grafisch überprüft werden. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einer Visualisierung des Kranbahnträgers.

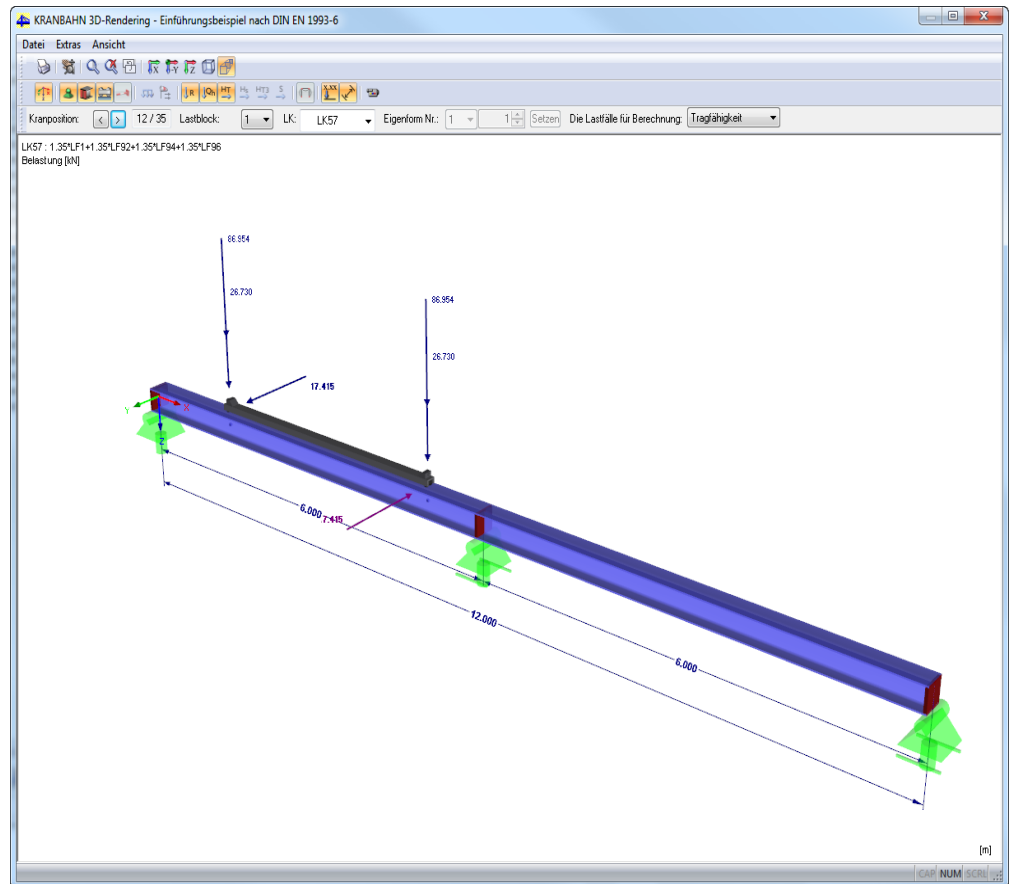
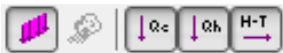


Bild 6.5: Grafik des Kranbahnträgers

Die Grafik zeigt das Modell des Kranbahnträgers und die Laststellungen mit Kranposition und wirkenden Kräften.



Die Werkzeugleiste gibt Aufschluss über die aktuelle *Kranposition* und die Gesamtanzahl der Positionen. Dort kann eine andere Kranposition eingestellt werden. Die Bewegung des Krans auf dem Träger lässt sich auch als Animation visualisieren.



Es können auch alle Lasten dargestellt werden, die an den einzelnen Kranpositionen wirken. Für jede Lastkombination lassen sich auch die zugehörigen Imperfektionen einblenden.

In der Liste *Die Lastfälle für Berechnung* kann zwischen den verschiedenen Bemessungssituationen (Tragfähigkeit, Ermüdung, Verformung, Lagerkräfte) gewechselt werden.

6.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich grafisch im RSTAB- bzw. RFEM-Arbeitsfenster darstellen. Dort stehen alle Funktionen des Zeigen-Navigators zur Verfügung, um die Darstellung zu ändern.

Das Arbeitsfenster ist über die Schaltfläche [Grafik] zugänglich.

Grafik

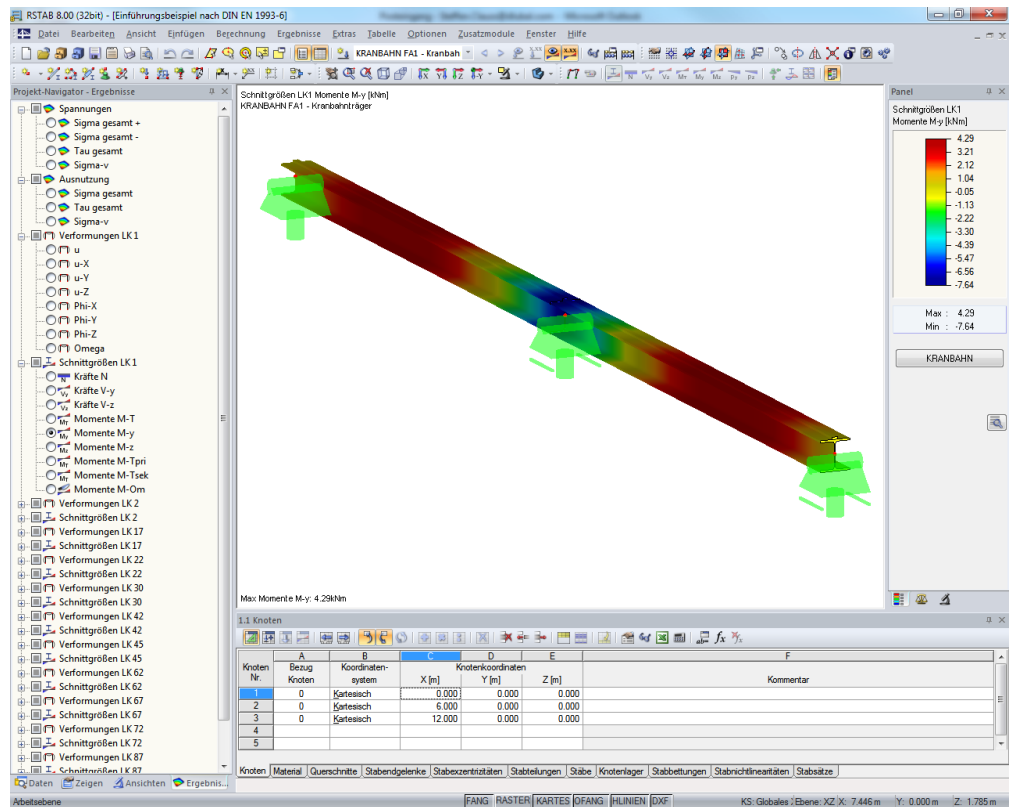


Bild 6.6: Grafik der Ergebnisse



Sollten die Ergebnisse des KRANBAHN-Falls nicht angezeigt werden, so lassen sich sie über die Schaltfläche [Ergebnisse] einblenden.

Panel

Das Steuerpanel ist in die Register *Farbskala*, *Faktoren* und *Filter* untergliedert. Sie ermöglichen es, die Werte anhand der Farben zu überprüfen und Farbbereiche anzupassen, Überhöhungsfaktoren für die Darstellung zu definieren und Stäbe für die Ergebnisanzeige festzulegen.

Navigator

Der *Ergebnisse*-Navigator steuert, welche Ergebnisverläufe am Modell angezeigt werden:

- Spannungen σ_{x+} , σ_{x-} , τ und σ_v
- Ausnutzung für σ_x , τ und σ_v
- Verformungen
- Schnittgrößen

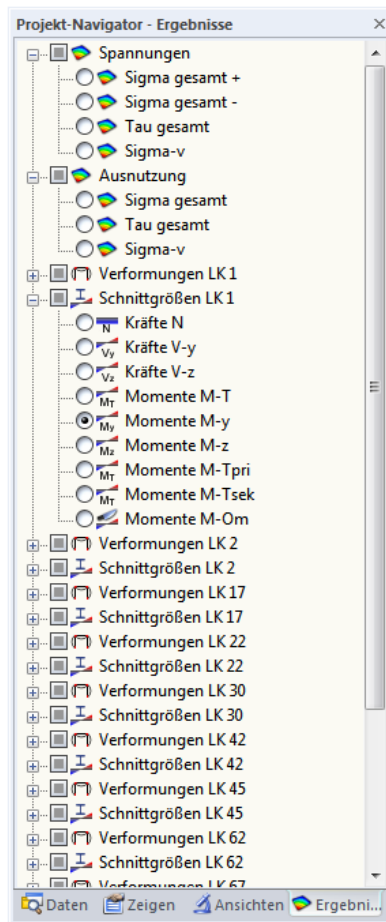


Bild 6.7: *Ergebnisse*-Navigator für KRBahn

Bei der Darstellung der *Verformungen* lassen sich neben der Gesamtverschiebung u die Verschiebungen und Verdrehung in Bezug auf die globalen Achsen X, Y und Z anzeigen. Die Verschiebung in Y-Richtung bezieht sich immer auf die Schienenoberkante und beinhaltet auch Anteile aus der Verdrehung des Querschnitts.

Die *Schnittgrößen* N , V_y , V_z , M_T , M_y , M_z , M_{Tprim} , M_{Tsek} und M_{ω} können gezielt für jede Lastkombination grafisch überprüft werden.

Die Schaltfläche [KRBahn] im Panel ermöglicht die Rückkehr in das Programm KRBahn.

KRBahn

7. Beispiel

7.1 Zweifeldrige Kranbahn nach DIN EN 1993-6

Das folgende Literaturbeispiel wird mit KRANBAHN berechnet. Es soll dazu dienen, die Berechnungen nachzuvollziehen und auch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Programms zu erkennen. Das Beispiel ist [19] entnommen.

System

- Zweifeldrige Kranbahn, Querschnitt HEB 300, Flachstahl-Kranschiene 5 cm x 3 cm (Schiene abgenutzt), angeschweißt mit Doppelkehlnaht $a_w = 5$ mm, S 235
- Eigengewicht der Kranbahn mit Schiene $g = 1,35$ kN/m
- Quersteifen nur an den Auflagern, jeweils an Steg und Flanschen angeschweißt
- Auflagerung auf Konsolen an den Hallenstützen, Gabellagerung
- Befahrung durch eine einzelne Kranbrücke, Kranfahrwerkssystem IFF
- Hubklasse HC2
- Beanspruchungsgruppe S_2
- Radstand $c = 3,6$ m

Belastung

- Vertikale Radlasten:
 $Q_c = 18,00$ kN infolge Eigengewicht
 $Q_h = 57,00$ kN, infolge Hublast
- Horizontale Radlasten:
 $H_5 = 20,00$ kN Spurführungskräfte = S-Hs
 $H_{T1}(H_1) = -H_{T2}(H_2) = 8,60$ kN Lasten aus Beschleunigen und Bremsen

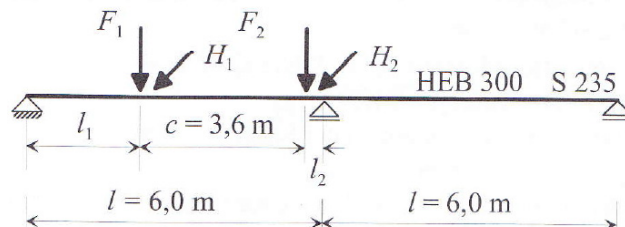


Bild 7.1: Systemskizze

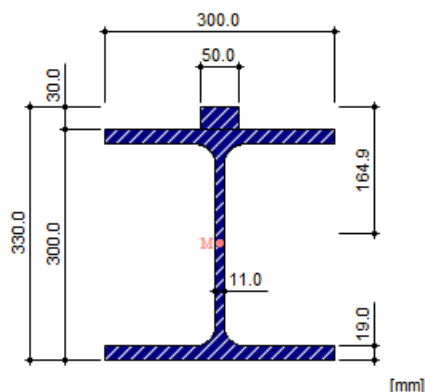


Bild 7.2: Querschnitt

7.2 Schnittgrößen - Tragfähigkeit

		Nach [19]				KRANBAHN			
Maximales Feldmoment		<i>x - Stelle</i>				<i>x - Stelle</i>			
EK1	$M_{y,d}$	147,90	[kNm]	2,10	[m]	147,20	[kNm]	2,10	[m]
	$M_{z,d}$	23,70	[kNm]	3,36	[m]	23,52	[kNm]	2,60	[m]
EK2	$M_{y,d}$	132,20	[kNm]	2,10	[m]	132,00	[kNm]	2,10	[m]
	$M_{z,d}$	33,60	[kNm]	2,58	[m]	37,17	[kNm]	2,50	[m]
Maximales Stützmoment									
EK1	$M_{y,d}$	-129,87	[kNm]	6,00	[m]	-129,30	[kNm]	6,00	[m]
EK2	$M_{y,d}$	-116,37	[kNm]	6,00	[m]	-116,34	[kNm]	6,00	[m]
Maximale Querkraft									
EK1	$V_{z,d}$	-175,50	[kN]	0,00	[m]	-172,10	[kN]	0,00	[m]
	$V_{y,d}$	-17,40	[kN]	0,00	[m]	-17,41	[kN]	0,00	[m]
EK2	$V_{z,d}$	-157,00	[kN]	6,00	[m]	-154,00	[kN]	6,00	[m]
	$V_{y,d}$	-27,00	[kN]	6,00	[m]	-26,83	[kN]	6,00	[m]

7.3 BDK-Nachweis als Spannungsnachweis

Ersatzimperfektionen

Nach [19]

Der Stich der Vorkrümmung in y-Richtung beträgt $v_y = 1,5$ cm.

KRANBAHN

Die Ersatzimperfektionen können entweder automatisch nach Eigenwertmethode ermittelt oder manuell definiert werden. Für dieses Beispiel wurde die manuelle Definition gewählt.

Spannungsberechnung

Nach [19]

Die maximale Vergleichsspannung nach Theorie II. Ordnung ergibt sich bei $x = 2,28$ m (linkes Feld) an der Oberflanschante

$$\sigma_v = 19,10 \text{ kN/cm}^2$$

KRANBAHN

$x = 2,30$ m (linkes Feld)

$$\sigma_v = 19,06 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungsnachweis elastisch-elastisch

Der Spannungsnachweis wird mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} geführt.

Nach [19]

$$19,10/21,36 = 0,894 < 1$$

BDK-Nachweis erfüllt

KRANBAHN

$$19,06/21,36 = 0,892 < 1$$

Nachweis erfüllt

7.4 Lasteinleitungsspannungen

Lastausbreitungslänge Ausrundungsradius - Steg

Die Schiene ist angeschweißt, d. h. starr mit dem Obergurt verbunden.

Nach [19]

KRANBAHN

$$l_{\text{eff}} = 12,8 \text{ cm}$$

$$l_{\text{eff}} = 12,8 \text{ cm}$$

Stegpressung am Übergang Ausrundungsradius - Steg

Nach [19]

KRANBAHN

Stegpressung:

$$\sigma_{\text{oz,Ed}} = -5,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{oz,Ed}} = -5,68 \text{ kN/cm}^2$$

Zugehörige lokale Schubspannung:

$$\tau_{\text{oxz,Ed}} = 1,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{oxz,Ed}} = 1,14 \text{ kN/cm}^2$$

7.5 Beulnachweise des Stegblechs unter Radlast

Länge der starren Lasteinleitung

Nach [19]

KRANBAHN

$$s_s = 9,0 \text{ cm}$$

$$s_s = 9,0 \text{ cm}$$

Beulwerte und kritische Beullast

Nach [19]

KRANBAHN

$$k_F = 6,00$$

$$k_F = 6,004$$

$$F_{\text{cr}} = 5761 \text{ kN}$$

$$F_{\text{cr}} = 5764,55 \text{ kN}$$

Hilfswerte

Nach [19]

KRANBAHN

$$m_1 = 27,3$$

$$m_1 = 27,27$$

$$m_2 = 0,00$$

$$m_2 = 0,00$$

$$I_y = 32,7 \text{ cm}$$

$$I_y = 32,6 \text{ cm}$$

$$F_y = 845,3$$

$$\lambda_{\text{quer}} = 0,38$$

$$\lambda_{\text{quer}} = 0,383$$

$$\chi_F = 1,0$$

$$\chi_F = 1,0$$

Interaktionsnachweis

Nach [19]

KRANBAHN

$$\eta_1 = 0,41 < 1,0$$

$$\eta_1 = 0,409 < 1,0$$

Stegblechbeulen

Nach [19]

KRANBAHN

$$\eta = 0,068 < 1,0$$

$$\eta = 0,068 < 1,0$$

7.6 Ermüdungsnachweise

Schwingbeiwerte und Nachweisstellen

Nach [19]

$$\varphi_{fat,1} = 1,05$$

$$\varphi_{fat,2} = 1,065$$

KRANBAHN

$$\varphi_{fat,1} = 1,05$$

$$\varphi_{fat,1} = 1,065$$

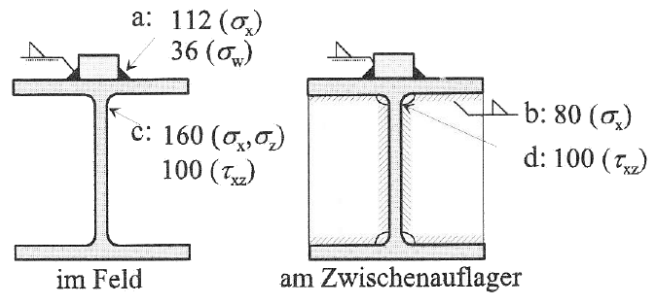


Bild 7.3: Nachweisstellen und Kerbfälle

Normalspannungen an der Flanschoberkante im Feld

Nach [19]

KRANBAHN

Im Feld bei $x = 2,1$ m

$$\max M_y = 100,3 \text{ kNm}$$

$$\min M_y = -20,1 \text{ kNm}$$

$$\Delta\sigma_x = 7,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 2,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,24 < 1,0$$

$$\Delta\sigma_x = 7,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 2,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,237 < 1,0$$

Normalspannungen am Stegansatz im Feld

Nach [19]

KRANBAHN

Im Feld bei $x = 2,1$ m

$$\max M_y = 100,3 \text{ kNm}$$

$$\min M_y = -20,1 \text{ kNm}$$

$$\Delta\sigma_x = 5,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 1,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,12 < 1,0$$

$$\Delta\sigma_x = 4,92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 1,55 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,14 < 1,0$$

Normalspannungen am Oberflansch an der Zwischenstütze

Nach [19]

KRANBAHN

$$\max M_y = -85,2 \text{ kNm}$$

$$\Delta\sigma_x = 4,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 1,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,20 < 1,0$$

$$\Delta\sigma_x = 4,37 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = 1,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta = 0,198 < 1,0$$

7.7 Durchbiegungen

Durchbiegungen

Nach [19]

KRANBAHN

Vertikale Durchbiegung

$$\delta_z = \gamma \cdot R \cdot l^3 / (100 \cdot E I_y) + \beta \cdot g \cdot l^4 / (E I_y)$$

mit $\beta = 0,0054$ und $\gamma = 1,62$

$$\delta_z = 0,50 + 0,02 = 0,52 \text{ cm}$$

$$u_z = 0,52 \text{ cm}$$

Horizontale Durchbiegung

$$\delta_y = \gamma \cdot H_1 \cdot l^3 / (100 \cdot E I_{z,0g})$$

mit $\gamma = 3,01$

$$\delta_y = 0,72 \text{ cm}$$

$$u_y = 0,72 \text{ cm}$$

A Literatur

- [1] DIN 18800 Stahlbauten. Ausgabe November 1990
- [2] DIN 4132 Kranbahnen, Stahltragwerke, Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, Ausgabe Februar 1981
- [3] SIA 160 Einwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe 1989
- [4] SIA 161 Stahlbauten, Ausgabe 1990
- [5] EN 1991-3: 2006, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen
- [6] EN 1993-6: 2010, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 6: Kranbahnen
- [7] EN 1993-1-1: 2005, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- [8] EN 1993-1-9: 2005, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 9: Ermüdung
- [9] EN 1993-1-5: 2005, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 5: Plattenförmige Bauteile
- [10] EN 1993-1-8: 2010, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 8: Bemessung von Anschlüssen.
- [11] VON BERG, D.: Krane und Kranbahnen. Berechnung, Konstruktion, Ausführung, Stuttgart, Verlag B.G.Teubner, Auflage 1988
- [12] Handbuch FE-BGDK (Programm zum Biegedrillknicksicherheitsnachweis nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung), DLUBAL GmbH, Fassung Dezember 2010
- [13] PETERSEN, Chr.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2. Auflage 1982
- [14] Erläuterungen zur DIN 18800, Teil 1 bis 4. Beuth-Verlag und Ernst & Sohn, 2. Auflage 1994
- [15] Berechnungsgrundlagen für Kranbahnen, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, Postfach 8034, Zürich. 1979
- [16] PETERSEN, Chr.: Stahlbau, Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, 1993
- [17] SCHNEIDER, K.-J.: Bautabellen mit Berechnungshinweisen, Beispielen und europäischen Vorschriften, Werner-Verlag, 10. Auflage
- [18] OSTERRIEDER, P; RICHTER, S.: Kranbahnträger aus Walzprofilen, Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2. überarbeitete Auflage, Oktober 2002
- [19] SEEBELBERG, Chr.: Kranbahnen, Bemessung und konstruktive Gestaltung, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, 3. Auflage, 2009

B Index

A

Abbruchschranke	37
Abnutzung	25
Animation	70
Auflagersteife	12
Ausdruckprotokoll	62
Ausnutzung	45

B

Basisangaben	8
Beenden von KRANBAHN	8
Belastung	26
Bemessungssituation	31
Berechnung	34
Berechnung starten	38
Betriebsfestigkeitsnachweis	21
Beulfeld	58
Beulnachweis	58
Blättern in Masken	8

C

CSV-Export	67
------------------	----

D

Detaileinstellungen	34
Dezimalstellen	69
DIN 4132	35, 54

E

Eigenform	33
Eigenwertmethode	32
Eingabedaten	8
Einheiten	69
EN 1993-6	34, 57
Ergebnismasken	39
Ergebnisse-Navigator	72
Ermüdungsnachweis	21, 35, 42, 53, 60
Excel	67

F

FE-BGDK	37
Feder	12
Feder-Konstanten	12

G

Gelenk	12, 13
Geometrie	11

Grafik	70, 71
--------------	--------

H

Halbspanne	55
Hängekran	29
Hängekran	10
Horizontale Durchbiegung	52
Hubklasse	27

I

Imperfektionen	32, 34, 36
Imperfektionsparameter	33
Inkrement	38
Installation	5, 6

K

Kerbfall	22, 53
Knickfigur	37
Knickspannungslinie	32
Kommentar	10
Kontextmenü	66
Kranlasten	28
Kranparameter	27
Kranposition	70
Kranschiene	17
Krantyp	10
Kritischer Lastfaktor	37, 61

L

Lagerkräfte	43
Lagertyp	12
Lagerung	11
Lasche	17
Lastausbreitungslänge	49
Lasteinleitungslänge	48
Lastfälle	30, 31
Lastkombination	30, 31, 40
Laufkran	10

M

Manipulation Kräfte	36
Material	8
Materialbibliothek	9

N

Nachweis	40
Nachweiskriterium	40

Nationaler Anhang	9	Spannungspunkt	19, 46
Navigator	8, 71	Starten von KRANBAHN.....	7
Neue Seite.....	66	Steife	14
Norm.....	9	Stichmaß.....	33
Nü-Faktor	38	T	
O		Tabellen exportieren	67
OpenOffice	67	Torsionsmoment.....	55
P		Träger.....	15
Panel.....	71	Trägerpuffer.....	26
Plastizierung	36	Tragfähigkeit	41
Primäre Schubspannungen.....	47	U	
Q		Umbenennen	67
Querschnitt	15	Unterbrochene Schweißnähte	25
R		Unverformtes System.....	35
Radlasten	26	V	
Radlasten Hängekran.....	29	Verformungen	35
Radlastspannungen	48	Verformungsnachweis	51
Rainflow-Methode	54	Vergleichsspannung.....	50
Rendering	70	Vertikale Achslasten.....	29
S		Vertikale Durchbiegung	52
Schadensäquivalenzfaktor.....	35	Vollspanne	55
Schiene-Flanschverbindung	34	W	
Schienenquerschnitt.....	17	Wölbbimoment.....	50
Schnittgrößen	34, 41, 42	Wölbfeder.....	12
Schrittweite	30	Wölbkrafttorsion	47, 50
Schweißnaht.....	25, 59, 60	X	
Schwingbeiwert.....	28, 44	x-Stelle.....	46, 51, 54
Scrollrad	31	Z	
Sekundäre Schubspannungen	48	Zusammenfassung.....	40
Selektion Ausdruckprotokoll.....	63	Zusatzlasten.....	26
Spannungen	59	Zusatzquerschnitt.....	18
Spannungsnachweis.....	45		