

BEM 10 - KraBaTrä

Programm zur Berechnung von Kranbahnträgern



Programmbeschreibung

LSS Entwicklungs- und Vertriebs- GmbH & Co KG

Entwicklung: Prof. Dr.-Ing. Christoph Seeßelberg - Dipl.-Ing.(FH) Christian Steigenberger
Programmversion 2.4 - Stand 29. 10. 2001

Inhalt:

1.	Leistungen des Programms.....	3
1.1	Programmoptionen	3
1.2	Leistungsausschlüsse von BEM10-Version 2.....	4
1.3	Einschränkungen der DEMO-Version des Programms	5
1.4	Was ist neu gegenüber BEM10 – Version 1.x ?.....	5
1.5	Worauf muß der Programmnutzer achten?.....	6
2.	Installation des Programms	6
3.	Anwendung von BEM10.....	7
4.	Die Dateneingabe - Standardfelder.....	9
5.	Nachweise	19
5.1	Charakteristische und design-Auflagerkräfte (Nachweisfenster 1)	19
5.2	Spannungsnachweis nach DIN 18800 T2 (AS und BDK).....	19
5.2	Beulnachweis nach DIN 18800 Teil 3.....	21
5.3	Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132.....	24
5.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis: vertikale und horizontale Durchbiegung	27
6.	Ergebnisdokumentation – Drucken – Programm beenden	28
7.	Frequently Asked Questions (FAQ)	30
7.1	FAQ's zur Bedienung des Programms	30
7.2	FAQ's zur Berechnung von Kranbahnträgern	30
	Literatur.....	34
	Anhang A - Beispiele	35

Hinsichtlich von Gewährleistung und Haftung gelten die Bedingungen des Lizenzvertrages der LSS Entwicklungs- und Vertriebs- GmbH & Co.KG. Sie dürfen das Programm BEM10 nur nutzen, wenn Sie diesem Lizenzvertrag zugestimmt haben.

1. Leistungen des Programms

Das in der Version 2 vorliegende Programm BEM10 ermöglicht die statische Berechnung und den normgerechten Nachweis von Kranbahnen nach DIN 4132, DIN 18800 T1 - T3 und Anpassungsrichtlinie Stahlbau, siehe auch [1], [2], [5], [9], [10].

1.1 Programmoptionen

Das Programm bietet u.a. folgende Möglichkeiten:

a) Kranbahn

- Berechnung von ein- und mehrfeldrigen Kranbahnträgern mit gleich langen Feldern. Kranbahnträger mit vier oder mehr Feldern werden auf der sicheren Seite liegend als Dreifeldträger berechnet, denn die maximalen Spannungen von Vier- und Mehrfeldträgern sind i.d.R. nur unwesentlich geringer als die max. Spannungen des Dreifeldträgers mit gleicher Feldlänge (siehe auch Kap. 7.2).
- Als Kranbahnträgerquerschnitte sind HEA, HEB und HEM Walzprofile oder allgemein einfachsymmetrische I Profile als Schweißprofile wählbar. Über die direkte Eingabe der Querschnittswerte können alternativ auch beliebige einfachsymmetrische Querschnitte definiert werden. Für solchermaßen definierte Querschnitte sind jedoch nicht alle Berechnungen und Nachweise verfügbar.
- Berücksichtigung von Schienen Typ A-Profil (geklemmt) oder angeschweißten Flachstahlschienen. Die Schienen werden statisch nicht mitberücksichtigt.
- Quersteifen an den Auflagern werden vorausgesetzt. Für den Feldbereich kann eine beliebige Anzahl von Quersteifen vorgegeben werden, die als gleichmäßig verteilt angenommen werden.
- Alle Auflager werden als Gabellager angenommen.

b) Befahrung der Kranbahn, Lastannahmen

- Befahrung durch eine zweiachsige Kranbrücke mit Achsen EFF, Seitenführung durch Spurkränze und mit zwei vertikalen Radlasten φR_1 , φR_2 und einer horizontalen Radlast H . Masselasten H_m sind gem. DIN 4132 über eine 10% - Erhöhung der Spurführungskräfte S , H_{s11} und H_{s12} zu berücksichtigen, so daß i.d.R. als Horizontallast $H = 1,1 \cdot (S - H_{s11})$ anzugeben ist.
- Befahrung durch einen zweiten zweiachsigen Kran mit den oben genannten Eigenschaften; gem. DIN 4132 3.2.1.1 brauchen dessen Horizontallasten nicht mit berücksichtigt werden. Für den zweiten Kran darf nach DIN 4132, 3.1.3 mit dem Schwingbeiwert $\varphi = 1,1$ gerechnet werden. (diese Option steht bei der kleinen Programmversion für 1 Kran nicht zur Verfügung)
- Lastannahmen nach DIN 4132, DIN 15018, DIN 18800 T1 und T2, Anpassungsrichtlinie Stahlbau
- Radlasten können entweder direkt eingegeben (Regelfall) oder nach DIN 15018 aus den Daten der Kranbrücke berechnet werden.

c) Berechnungsverfahren

- Berechnung der Spannungen nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung mit Hilfe des Verfahrens der Gesamtschrittiteration ([3], Kap. 7.16.3) unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion.
- Automatische Ermittlung der ungünstigsten Laststellung.
- Berechnung von Spannungen aus globaler Tragwirkung und lokalen Beanspruchungen aus Lasteinleitung.

- Allgemeiner Spannungsnachweis (AS) nach dem Verfahren elastisch-elastisch.
- Biegedrillknicknachweis (BDK) als Spannungsnachweis Th.II.O. unter Berücksichtigung von Ersatzimperfektionen.
- Beulnachweis für das Stegblech unter der Radlast.
- Betriebsfestigkeitsuntersuchung (BFU) für die entscheidenden Querschnittsstellen bei üblichen Konstruktionsweisen.
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis: Durchbiegungen vertikal und horizontal.

d) Sonstige Eigenschaften

- In der alten BEM 10 - Version 1.x wurden die Daten gemeinsam mit dem kompletten Berechnungsprogramm gespeichert. In der vorliegenden Version 2.x von BEM 10 werden die Eingabedaten in Projektdateien <name.kr2> abgespeichert. Die Ergebnisse werden nicht gespeichert. Die Größe der Projektdateien beträgt 1 KB. Durch diese Verbesserung wird es möglich sein, bei zukünftigen Programmversionen eine Kompatibilität zu älteren Projektdateien zu erzeugen.

1.2 Leistungsausschlüsse von BEM10-Version 2

Folgende Optionen sind in der vorliegenden Programmversion nicht verfügbar (siehe auch Kap. 7.2 f)

- Überfahung durch Kranbrücken mit mehr als zwei Achsen.
- Überfahung mit mehr als zwei Kranbrücken gleichzeitig. (bei der Programmversion für 1 Kran: Überfahung mit mehr als einer Kranbrücke gleichzeitig)
- Andere Achstypen als EFF oder Seitenführung über Seitenführungsrollen.
- Unterschiedliche Feldlängen mehrfeldriger Kranbahnträger oder auskragende Kranbahnträger.
- Es wird angenommen, daß alle Felder der Kranbahn komplett befahren werden können. Zusätzlich kann angegeben werden, ob die Kranbrücke den Träger auf beiden Seiten verlassen kann oder nicht. Die Definition eines Bereiches auf der Kranbahn, der von den Rädern nicht befahren werden kann, ist nicht möglich. (siehe auch 7.2 f)
- Katzbahnträger mit Unterflanschlaufkatzen könne nicht nachgewiesen werden. Die Berechnung von Spannungen aus Unterflanschbiegung infolge Radlastangriff am Unterflansch ist nicht möglich.
- Berücksichtigung von zusätzlichen Lasten, die nicht aus Kranbetrieb oder dem Gewicht des Kranbahnträgers resultieren.
- Verwendet man spezielle elastische Schienenunterlagen, dürfen die Lasteinleitungsspannungen auf 75% reduziert werden. Dieser Effekt kann in BEM10 derzeit noch nicht berücksichtigt werden.
- Längssteifen können nicht berücksichtigt werden.
- Da die Projektdaten jetzt völlig anders abgespeichert werden (siehe 1.1 d), können Projektdateien aus BEM10-Version 1.x nicht mit der vorliegenden Programmversion verarbeitet werden. Ggf müßten die Daten aus alten Projekten noch einmal von Hand eingegeben werden.

- Lochschwächungen werden in keiner Spannungsberechnung (AS, BDK, BFU, Beulen) berücksichtigt und müssen ggf. anschließend händisch berücksichtigt werden.
- Außer der Schienenschweißnaht und den Steghalsnähten werden keine Verbindungsmittel nachgewiesen. Solche Nachweise, z.B. im Bereich der Auflagerung oder bei Kranbahnträgerstößen, müssen vom Anwender von Hand ausgeführt werden.
- Bei der Erstellung des Programms wurde großer Wert darauf gelegt, Beanspruchungen möglichst exakt zu bestimmen, damit eine wirtschaftliche Dimensionierung möglich wird. Dennoch kann keine Garantie dafür übernommen werden, daß es nicht Rechenverfahren für den einen oder anderen Nachweis gibt, die eine noch stärkere Abmagerung der Querschnitte zulassen würden.

1.3 Einschränkungen der DEMO-Version des Programms

Wenn bei der Abfrage nach der Installation kein Lizenzierungscode in das Programm eingegeben wird, wird nur eine Demoversion des Programms aktiviert. Gegenüber der vollständigen Programmversion ist die Demoversion in folgender Hinsicht eingeschränkt:

- Als Querschnittstyp 1 (Walzprofile) ist ein Profil voreingestellt. Andere Profile können nicht gewählt werden.
- Als Querschnittstyp 2 und 3 sind bestimmte Querschnittsdaten voreingestellt, die nicht änderbar sind.
- Die Feldlänge des Trägers ist auf einen Wert festgelegt und kann nicht geändert werden.

1.4 Was ist neu gegenüber BEM10 – Version 1.x ?

- Berücksichtigung der Befahrung durch max. gleichzeitig zwei Kranbrücken mit je 2 Achsen EFF. Insgesamt können max. 2* 2 vertikale Radlasten und 1 horizontale Raddlast berücksichtigt werden.
- Zusätzliche Detailnachweise, die nur in seltenen Fällen maßgebend werden, zum Schutz vor versehentlich unsinnigen Eingaben. z B.:
 - + b/t – Nachweis der Flansche bei Schweißträgern (Beulnachweis)
 - + Nachweis der Zugspannungen an der Trägerunterkante (Allg. Spannungsnachweis)
 - + Nachweis der Stegschubspannungen und der Stegbiegung bei Schweißprofilen (BFU)
- Beulwerte für das Stegbeulen unter der Radlast werden automatisch berechnet und müssen nicht mehr von Hand eingegeben werden. Quersteifen sind in beliebigen Abständen möglich.
- Die Eingabedaten für ein Projekt werden in einer kleinen, separaten Datei mit der Dateiendung *.kr2 (ca. 1 KB groß) gespeichert und nicht mehr wie bisher gemeinsam mit der kompletten, großen Berechnungsdatei.
- Die Auflagerkräfte, die für die Bemessung der Auflagerungen benötigt werden, werden mit den reduzierten Schwingbeiwerten berechnet und auch für den Fall angegeben, in dem zwei benachbarte Kranbahnträger gelenkig auf einer Konsole aufliegen.
- Die Formeln für die Berechnungen der Schnittgrößen eines Dreifeldträgers wurden ergänzt. Diese Ergänzung wurde wegen der Einführung des 2. Krans notwendig: der Zustand, in dem Kran 1 in Feld 1 steht und Kran 2 sich in Feld 3 befindet, konnte nicht genügend genau durch einen Zweifeldträger angenähert werden.
- Noch aussagekräftigere Ausgabegestaltung auf 6 (bei Schweißprofilen 7) Druckseiten.

- Mangels Bedarf weggelassen wurde die Berechnung der Eigenfrequenzen der Krananlage.
- Die horizontale Durchbiegung im Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird jetzt bezogen auf die Schienenoberkante angegeben (vorher: bezogen auf den Schwerpunkt).
- Der Algorithmus für die Berechnung der Spannungen an der oberen Flanschecke nach Th.II.O. unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion wurde verbessert. Deshalb können die mit der Version 2 berechneten Spannungswerte geringfügig von den mit Version 1 berechneten Spannungswerten abweichen.

1.5 Worauf muß der Programmnutzer achten?

Neben selbstverständlichen Regeln wie der, daß BEM10 nur zur Berechnung von Kranbahnträgern wie in diesem Handbuch beschrieben eingesetzt werden darf, muß der Anwender auf folgendes achten:

- Der Anwender ist grundsätzlich für die Vollständigkeit der statischen Nachweise verantwortlich. Es ist also bei Programmnutzung grundsätzlich zu prüfen, ob alle Nachweise durchgeführt wurden oder ob ggf. zusätzliche, von BEM10 nicht vorgehaltene Nachweise notwendig sind. Dies ist besonders bei der Betriebsfestigkeitsuntersuchung (BFU) hinsichtlich spezieller Kerbdetails wichtig. Aber auch geschraubte oder geschweißte Kranbahnträgerstöße oder Verbindungsmittel im Rahmen der Auflagerung müssen von Hand ausgeführt werden. Dieser Check auf Vollständigkeit der Nachweise ist mit dem Ausdruckprotokoll möglich, da darin sämtliche durchgeführten Nachweise auch verzeichnet sind. Nachweise, die nicht im Ausdruckprotokoll verzeichnet sind, wurden auch nicht durchgeführt. Es wird darauf hingewiesen, daß der Nachweis für benutzerdefinierte Querschnitte (Typ 3) in jedem Fall unvollständig ist und durch Handrechnungen ergänzt werden muß.
- Das Programm schlägt für alle notwendigen Daten voreingestellte Angaben vor. Es gibt in BEM10 also kein leeres Datenblatt, das erst gefüllt werden muß. Noch nicht neu eingegebene Daten werden vom Programm nicht angemahnt, sondern es wird mit den bereits vorhandenen Zahlen gerechnet. Der Anwender ist dafür verantwortlich, alle für sein zu berechnendes Projekt notwendigen Daten in das Programm einzugeben. Das ausführliche Berechnungsprotokoll ermöglicht eine leichte Kontrolle.
- Bitte lesen Sie dieses Handbuch aufmerksam, damit Sie wissen, was BEM10 leisten kann und was nicht.

2. Installation des Programms

Mindestanforderungen an Hard- und Software :

- Pentium Rechner mit mindestens 200 MHz und einem Arbeitsspeicher von mindestens 32 MB.
- Mindestens Windows 95. Ältere Windows Versionen (z.B. 3.11) sind nicht ausreichend.
- Microsoft EXCEL 97 oder neuer
Ältere EXCEL-Versionen (z.B. EXCEL 5, EXCEL 7 oder EXCEL aus MS-Office 95) sind nicht ausreichend.
Der Anwender muß das Programm EXCEL jedoch nicht bedienen können, da keinerlei Eingriffe in EXCEL Rechenblätter von Hand notwendig oder zulässig sind.
- 17-Zoll Bildschirm mit Auflösung 1024 x 768 Pixel. Bei geringeren Auflösungen sind die Programmfenster nicht vollständig zu sehen, ein vernünftiges Arbeiten mit dem Programm ist dann nicht mehr möglich.
Die Auflösung Ihres Bildschirms können Sie unter "Start-Einstellungen - Systemsteuerung - Anzeige - Einstellungen" verändern. Bitte beachten Sie auch Kap. 7.1 a.

Installation :

Starten Sie „Setup.exe“ im BEM10-Verzeichnis der CD und folgen Sie den Anweisungen des Setup-Programmes. Das BEM10-Unterverzeichnis auf Ihrer Festplatte können Sie frei auswählen. Eine Installation von BEM 10 Version 2 ist möglich, wenn gleichzeitig BEM10 Version 1.x installiert ist. Ältere Versionen 2.x müssen vorher aber deinstalliert werden.

Eingabe des Lizenzierungs-Codes :

Nach dem ersten Programmstart (siehe unten) öffnet ein Fenster mit einer Abfrage des Lizenzierungs-Codes. Sie haben nun zwei Möglichkeiten

- Wenn Sie auf „Abbrechen“ klicken, wird automatisch die DEMO-Version aktiviert, die in ihrem Leistungsumfang eingeschränkt ist (siehe Kap. 1.3 weiter oben)
- Wenn Sie den Lizenzierungs-Code, Ihren Namen und den Firmennamen entsprechend den Angaben auf dem Begleitschreiben eingeben (bitte auf Groß- und Kleinschreibung achten), wird das Programm in der von Ihnen gekauften Version aktiviert. Es gibt zwei Programmversionen: eine große Version (max 2 Kranbrücken) und eine kleine Version, die auf eine einzige Kranbrücke beschränkt bleibt.

Nachträgliche Eingabe des Lizenzierungs-Codes :

- Sie haben die Demoversion bereits installiert und möchten jetzt nach dem Kauf der entsprechenden Programmlizenz die Vollversion aktivieren
Bitte geben Sie nach dem Programmstart den auf dem Begleitschreiben angegebenen Lizenzcode ein.
- Sie besitzen die kleine Lizenz (1 Kranbrücke) und haben die große Lizenz (2 Kranbrücken) erworben.
Bitte deinstallieren Sie das Programm (siehe unten), installieren Sie es komplett neu und geben Sie beim ersten Programmstart den auf dem Begleitschreiben angegebenen neuen Lizenz-Code ein.

Deinstallation :

Klicken Sie auf "Start" in der Windows Taskleiste, weiter in das Menü „Einstellungen“, „Systemsteuerung“, „Software“, markieren Sie „BEM10“, drücken Sie „Hinzufügen/Entfernen“ und folgen Sie den Anweisungen des Deinstallations-Programms.

3. Anwendung von BEM10**Starten von BEM10 :**

Klicken Sie auf „Start“ in der Windows Taskleiste, weiter in das Menü „Programme“ und klicken sie auf Ordner LSS_Kranbahnträger und die Datei „BEM102“. Beim ersten Start geben Sie bitte jetzt den Lizenzierungscode ein. Ein Mausklick läßt das Startfenster verschwinden. Starten sie mit einem neuen Projekt oder öffnen sie ein vorhandenes Projekt im Menü „Projekt“. Wenn Sie ein neues Projekt beginnen wollen, geben Sie bitte zunächst den Dateinamen an, unter dem das neue Projekt danach sofort gespeichert wird. Projektdateien erhalten die Endung *.kr2 .

Wenn Sie ein neues Projekt begonnen haben, sieht der Bildschirm wie in Bild 1 aus.

Aus programmtechnischen Gründen sind alle Felder bereits mit Zahlen gefüllt, die aber von Ihnen - entsprechend der zu berechnenden Kranbahn - geändert werden müssen.

Prinzip der Anwendung :

Im Menü „Nachweise“ können Sie die gewünschten Nachweise anwählen. Die erforderlichen Eingabewerte werden in sog. Felder (Bild 2 zeigt Feld 1) eingetragen, siehe Kap. 4. Im Menü "Bearbeiten" (Bild 1 oben) sind nur diejenigen Felder aktivierbar, die für den jeweiligen Nachweis notwendige Daten abfragen. Die Felder 1 bis 4 sind für alle Nachweise gleich und müssen daher auch nur ein einziges Mal ausgefüllt werden; Redundanzen in der Dateneingabe gibt es nicht. Feld 5 ist dagegen abhängig vom gewählten Nachweis und dem eingestellten Querschnittstyp unterschiedlich besetzt.

Wenn Sie unter "Nachweise" einen anderen Nachweis auswählen, bleiben natürlich alle bereits eingegebenen Daten erhalten und sind verfügbar.

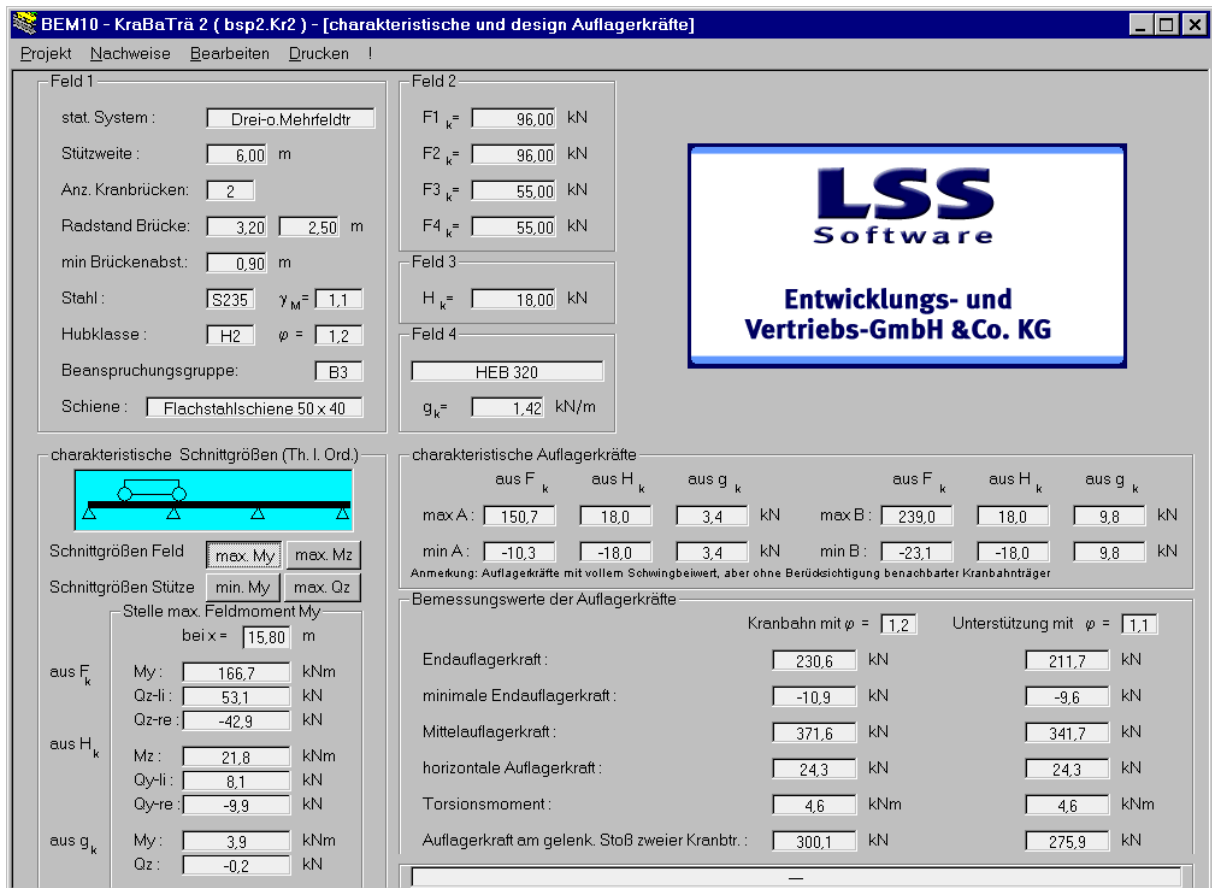


Bild 1: Neues Projekt im Nachweisfenster "charakteristische und design-Auflagerkräfte"

Alle 5 verfügbaren Nachweisfenster sind gleich unterteilt: die obere Hälfte enthält die benötigten Angaben für den Nachweis („Felder“), im linken unteren Bereich sind die maximalen charakteristischen Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung angegeben. Der rechte untere Bereich enthält die Ergebnisse des jeweiligen Nachweises.

Wenn eine Zahl in der Eingabe geändert wurde, wird nach Schließen des Eingabefeldes sofort eine komplette Neuberechnung ausgeführt. Das Nachweisfenster enthält also stets die aktuellen Ergebnisse. Wegen der kompletten Neuberechnung kann es bei langsameren Rechnern einige Zeit dauern, bis die Operation ausgeführt ist und das nächste Fenster geöffnet werden kann. Bitte haben Sie Geduld, besonders, wenn Sie BEM10 auf einem älteren, langsamen Rechner betreiben.

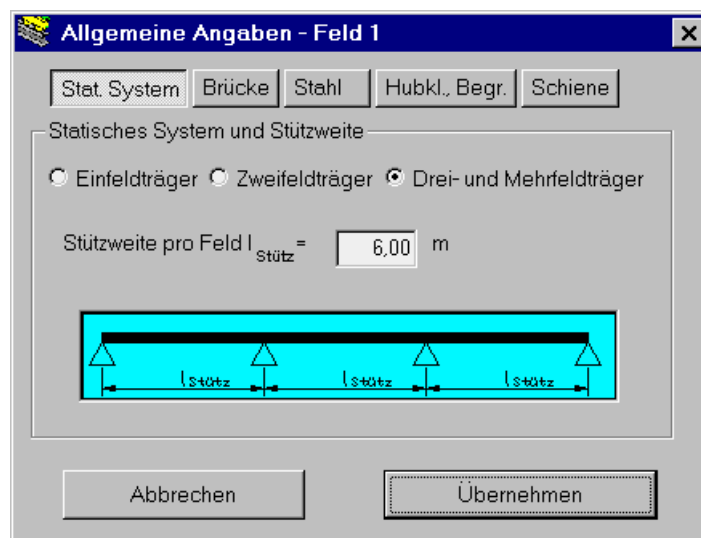


Bild 2: Beispiel für ein Eingabefeld: Feld 1

Menü Bearbeiten

Unter dem Menü Bearbeiten stehen die Felder 1 bis 5 zur Auswahl, wobei die Felder 1 bis 4 immer wählbar sind und das Feld 5 abhängig vom gewählten Nachweis und dem gewählten Querschnittstyp je nach Erfordernis verfügbar ist oder nicht. Wollen Sie einen Parameter ändern, so können Sie sich an der Überschrift des jeweiligen Rahmens im Nachweisfenster orientieren und dieses Feld unter "Bearbeiten" anwählen und Daten ändern. Eine Änderung des jeweiligen Feldinhaltes hat auch Einfluß auf den Inhalt der anderen Nachweisfenster. Sie brauchen keine Reihenfolge bei der Eingabe der Daten zu beachten. Die Kranbahnträger-Berechnung wird automatisch gestartet, nachdem ein Eingabefeld mit "Übernehmen" geschlossen wurde.

Die EXCEL-Berechnungsdatei

Die eigentlichen Berechnungen werden mit dem Programm EXCEL ausgeführt, das gleichzeitig mit dem Programmstart von BEM10 in den Arbeitsspeicher geladen wird. EXCEL bleibt meist unsichtbar im Hintergrund geöffnet. Haben Sie bereits EXCEL geöffnet, bevor Sie BEM10 starten, so ist dies unproblematisch. Die Datei „BerechnungsdateiKra2.xls“ enthält die Berechnungsformeln und die Ausgangsparameter für ein neues Projekt. Änderungen an dieser EXCEL-Datei führend i.d.R. zu einer Fehlfunktion des Programms BEM10, weshalb alle Veränderungen an BerechnungsdateiKra2.xls unbedingt unterbleiben müssen.

Beenden des Programms

Wird das Programm ohne vorherige Speicherung des Projekts beendet (Menü: Projekt – Beenden), erscheint eine Rückfrage, ob das Projekt gespeichert werden soll. Das Programm EXCEL darf auf keinen Fall vor BEM10 beendet werden, da BEM10 sonst mit einer Fehlermeldung beendet wird. Die eingegebenen Daten gehen dabei unwiederbringlich verloren.

Löschen von Projekten

Sie können alle Projekte im WINDOWS Explorer z.B. durch Verschieben in den Desktop-Papierkorb entfernen. BEM10 Projektdateien enden mit „*.Kr2“.

4. Die Dateneingabe - Standardfelder

Die Einheiten der verschiedenen Parameter sind vorgegeben und im Eingabefeld jeweils angegeben. Bitte beachten Sie diese Vorgaben bei Ihrer Eingabe, da die Ergebnisse sonst fehlerhaft werden. Bei der Dateneingabe ist zu beachten, daß nach Anlage eines neuen Projekts die Datenfelder nicht leer sind, sondern bereits Werte enthalten. Es ist deshalb wichtig und zwingend erforderlich, alle Felder mit den aktuellen Projektdaten zu überschreiben, es sei denn, die voreingestellten Daten sind zufällig zutreffend!

Feld 1 : Geometrie, Tragwerk

Bild 3a

Daten	Bemerkungen
Stützweite pro Feld $l_{Stütz}$ des Kranbahnträgers	Abstand von einem Auflager zum Nachbärauflager. Es wird angenommen, daß alle Felder dieselbe Feldlänge besitzen.
statisches System des Kranbahnträgers	Auswahl Einfeld / Zweifeld / Drei- und Mehrfeld (siehe auch Kap.7.2a)

Bild 3b

Daten	Bemerkungen
Anzahl Kranbrücken	Eine oder zwei, jeweils mit 2 Achsen
Kann die Brücke über Feld(er) hinaus fahren?	Auswahl Ja / Nein Wenn die Kranbahn aus mehreren gelenkig gestoßenen Trägern besteht, kann die Kranbrücke den zu berechnenden Ein- oder Mehrfeldträger verlassen. => Antwort „Ja“ markieren. (dies ist der ungünstigere Fall) Wenn die Kranbahn dagegen auf den vorliegenden Ein-, Zwei- oder Dreifeldträger begrenzt ist, „nein“ angeben
a	Abstand der Lastangriffspunkte von R1 und R2
Bei zwei Kranen: Abstand b	Minimaler Abstand des Rades 2 (Kran 1) zum benachbarten Rad des Krans 2
Abstand c	Achsabstand Kran 2



Bild 3c

Daten	Bemerkungen
Stahlsorte	Auswahl S235, S355; andere Stahlsorten können nicht vorgegeben werden. (siehe auch 7.2 j)
Sicherheitsbeiwert	Teilsicherheitsbeiwert Material $\gamma_m=1,1$ ist i.d.R. zutreffend
Elastizitätsmodul	der vorgegebene Wert ist i.d.R. zutreffend
Schubmodul	der vorgegebene Wert ist i.d.R. zutreffend



Bild 3d

Daten	Bemerkungen
Hubklasse	die Hubklasse entspricht derjenigen der Kranbrücke. Der Schwingbeiwert wird automatisch berechnet.
Beanspruchungsgruppe	die BG entspricht derjenigen der Kranbrücke

Bild 3e

Daten	Bemerkungen
Schientyp	Flachstahlschiene oder Typ A. Andere Schienen können nicht vorgewählt werden.
Nur bei Flachstahlschienen:	
bs	Breite der Schiene
ts	Dicke der fabrikneuen Schiene
Schienenschweißnahtdicke a_w	Dicke der Schienenkehlnaht
Nur bei Typ-A Schienen	Schienengröße von A45 bis A150

Feld 2 : Vertikale Radlasten:

Die vertikalen Radlasten sollten aus dem Kranleistungsblatt in das Programm übertragen werden. BEM10 kann die vertikalen charakteristischen Radlasten notfalls auch aus den Parametern der Krananlage berechnen („Berechnung der Radlasten“ anklicken). Liegen die Radlasten jedoch bereits fertig berechnet vor, sollten sie unbedingt direkt eingegeben werden („Eingabe der Radlasten aus Krاندatenblatt“ anklicken).

a) "Eintragen der Radlasten aus Krاندatenblatt"

Bereits vorliegende vertikale charakteristische Radlasten können (ohne Schwingbeiwert und ohne Teilsicherheitsbeiwert) direkt eingetragen werden (Bild 4). Von dieser Möglichkeit sollte stets Gebrauch gemacht werden, wenn ein Kranleistungsblatt mit den berechneten Lasten vorliegt.

Zur Reihenfolge der Kranlasten:

- Grundsätzlich steht die Kraft R1 am weitesten links und die Kraft mit dem größten Index rechts, der Kran 1 mit den Rädern R1 und R2 steht links, der Kran 2 mit R3 und R4 steht rechts.
- Ist nur 1 Kran mit 2 Achsen vorhanden, können die Radlasten in beliebiger Reihenfolge eingegeben werden. BEM10 stellt die größere Kraft automatisch nach rechts. Die Horizontallast wird automatisch unter der größeren der beiden Radlasten angesetzt.
- Sind jedoch zwei Achsen vorhanden, so ist unbedingt auf die richtige Reihenfolge der Kräfte zu achten. Ergeben sich aus dem 2. Kran höhere Radlasten als aus dem ersten Kran, so wird die Reihenfolge getauscht, d.h. aus Rad 1 wird Rad 4, aus Rad 2 wird Rad 3, aus Rad 3 wird Rad 2 und aus Rad 4 wird Rad 1. Die Bezeichnungen „Kran 1“ und „Kran 2“ werden dann durchgetauscht. Es wird jedoch mit derselben Horizontallast weitergerechnet. Bitte prüfen Sie, ob die eingegebene Horizontallast zu dem Kran mit der größeren Radlast paßt!

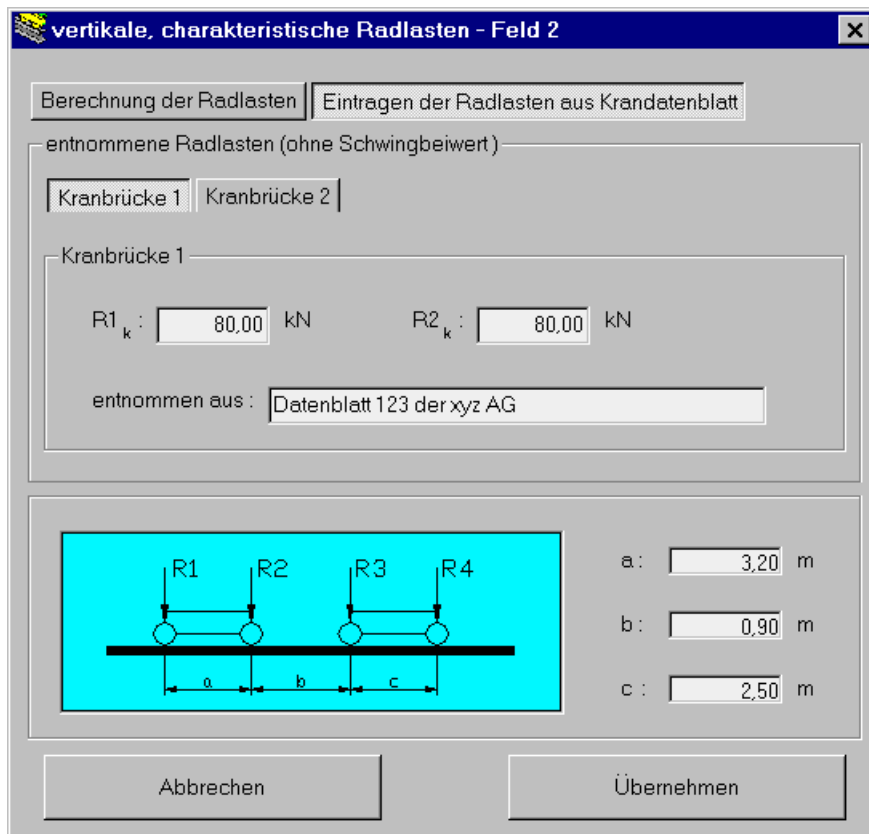


Bild 4a

Daten	Bemerkungen
R1k, R2k (Kranbrücke 1)	Vertikale charakteristische Radlasten ohne (!) Schwingbeiwerte. (Die angegebenen Radlasten werden automatisch mit dem Schwingbeiwert ϕ nach DIN 4132 multipliziert.)
Entnommen aus:	Quellenangaben, z.B. des Krандatenblatts. Diese Angabe kann auch leer gelassen werden. Die Eingabe darf keine Sonderzeichen enthalten.
a	Abstand des Lastangriffs von R1 und R2
Radlasten des 2. Krans R3k, R4k (bei zwei Kranen)	Vertikale charakteristische Radlasten ohne (!) Schwingbeiwerte. (Die angegebenen Radlasten werden automatisch mit dem Schwingbeiwert $\phi = 1,1$ nach DIN 4132 multipliziert.)
Bei zwei Kranen: Abstand b Abstand c	Minimaler Abstand des Rades 2 (Kran 1) zum benachbarten Rad des Krans 2 Achsabstand Kran 2 Wenn diese Daten bereits in Feld 1 eingegeben wurden, sind sie in Feld 2 schon richtig angegeben und brauchen nicht mehr geändert zu werden.

b) "Berechnen der Radlasten"

vertikale, charakteristische Radlasten - Feld 2

Berechnung der Radlasten | Eintragen der Radlasten aus Krantdatenblatt

Berechnung der Radlasten (ohne Schwingbeiwert)

Kranbrücke 1 | Kranbrücke 2

Kranbrücke 1

Brückeneigengewicht: kN | Katzeigengewicht: kN

Hublast: kN

min. Katzstellung k_1 : m | Spurmaß R: m



a: m

b: m

c: m

Abbrechen | Übernehmen

Bild 4b

Daten	Bemerkungen
charakteristisches Eigengewicht der Brücke	Gewichtskraft in kN
charakteristisches Eigengewicht der Katze	Gewichtskraft in kN
charakteristische Hublast	Gewichtskraft in kN
minimale Katzstellung $\min x_k$	Äußerste Randposition der Katze, Abstand des Katzenschwerpunkts zur Spur
Abstände a, b, c	Siehe Text unter Bild 4a

Feld 3 Horizontallasten des Krans 1 quer zur Fahrbahn:

In der Regel sind die Horizontallasten im Kranleistungsblatt vorgegeben, häufig sind Spurführungskräfte (die Resultierende S und die damit im Gleichgewicht stehenden Kräfte $H_{s1,1}$ und $H_{s1,2}$) und Horizontalkräfte aus Beschleunigen / Bremsen (Masselasten H_m) sogar separat angegeben. In Übereinstimmung mit DIN 4132- Kap. 3.2.1.1 werden in BEM10 die Masselasten berücksichtigt, indem die Spurführungskräfte um 10% erhöht werden. Bitte multiplizieren Sie also die Spurführungskräfte mit 1,1 und geben Sie sie dann in BEM10 ein. H_m muß nicht eingegeben werden. Die Vergrößerung der Spurführungskräfte um 10% zur Berücksichtigung der Masselasten wird **nicht** automatisch vom Programm ausgeführt!

Die horizontalen Radlasten quer zur Fahrbahn können notfalls optional aus den Parametern der Krananlage berechnet werden („Berechnung der Radlasten“ anklicken). Liegen die Radlasten bereits fertig berechnet vor, sollten sie jedoch unbedingt direkt eingegeben werden („Eingabe der Radlasten aus Krantdatenblatt“ anklicken).

Bei allen Angaben und Berechnungen wird eine zweiachsige Kranbrücke mit Achstyp EFF und Seitenführung über Spurkränze unterstellt. Deshalb werden auch nur Horizontallasten an der Achse mit der größeren Radlast berücksichtigt. Liegen andere Achstypen vor (was in der Praxis nur sehr selten vorkommt), kann das Programm BEM10 nicht benutzt werden, da für die zweite Achse keine Horizontalkräfte eingebbar sind.

Horizontallasten längs der Fahrbahn (z.B. aus Pufferstoß oder Bremskräften) spielen für die Dimensionierung der Kranbahn i.d.R. keine Rolle, weshalb sie in diesem Programm nicht berücksichtigt werden. Horizontallasten längs der Fahrbahn können allerdings beim Nachweis der Kranbahnstützen und deren Verbände wichtig werden.

a) "Eintragen der Radlasten aus Krاندatenblatt"

Eine bereits berechnet vorliegende charakteristische horizontale Radlast sollte stets direkt eingegeben werden (Bild 5).

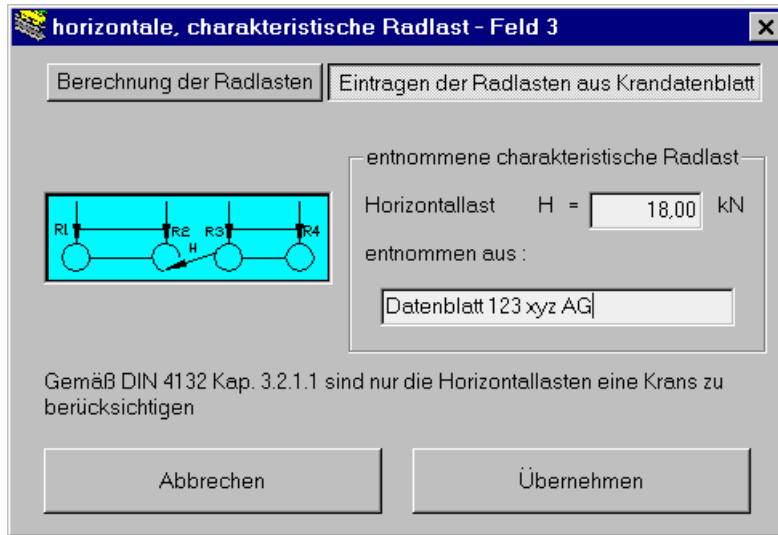


Bild 5a

Daten	Bemerkungen
Horizontallast	Spurführungskraft, multipliziert mit dem Faktor 1,1 zur Berücksichtigung der Masselasten
Entnommen aus..	Optionale Quellenangabe; Feld kann frei bleiben

b) "Berechnung der Radlasten"

Als horizontale Radlast quer zur Fahrbahn werden die Spurführungskräfte S und H_s berücksichtigt, die um 10% erhöht werden, womit nach DIN 4132 die Masselasten H_m abgegolten sind und nicht mehr zusätzlich angesetzt werden müssen. Die berücksichtigte Horizontallast ist also $H = 1,1 \cdot \text{Spurführungskraft}$.

Die Radlast ist u.a. abhängig vom Spurspiel und von der Schienenkopfbreite der zuvor in Feld 1 gewählten Schiene. Wird später die Schienengröße geändert, ändert sich auch die Horizontallast!

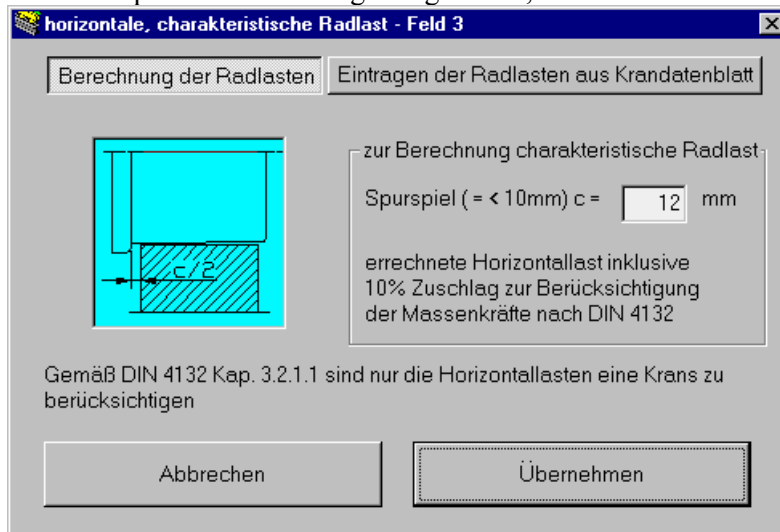


Bild 5b

Daten	Bemerkungen
Spurspiel	Das Spurspiel muß größer als 10 mm gewählt werden, andernfalls wird automatisch mit einem Spurspiel von 10 mm gerechnet

(Anmerkung: In der Skizze des Bildes in Eingabefeld 3 fehlt fälschlicherweise der 2. Spurkranz)

Feld 4 : Querschnittstyp

Zur Auswahl stehen Walzprofile vom Typ HEA, HEB oder HEM, Schweißprofile (einfach oder zweifachsymmetrische I – Form) und ein selbst definierter, einfachsymmetrischer Querschnitt, für den die Querschnittswerte angegeben werden müssen. Wenn möglich, sollten die Querschnittstypen 1 und 2 bevorzugt werden, da für den 3. Querschnittstyp nicht alle Berechnungen durchgeführt werden können.

Das im Nachweisfenster (Bild 1) im Feld 4 angegebene Gewicht wird für die Querschnittstypen 1 und 2 automatisch berechnet, es sind das Trägergewicht und das Schienengewicht berücksichtigt.

a) Typ 1: I – Walzprofile

Daten	Bemerkungen
Walzprofiltyp	Auswahl HEA – HEB – HEM Andere Walzprofile sind derzeit nicht verfügbar
Profilgröße	Es sind alle Normgrößen verfügbar. Die weiter unten im Fenster angegebenen Maße werden automatisch angegeben.

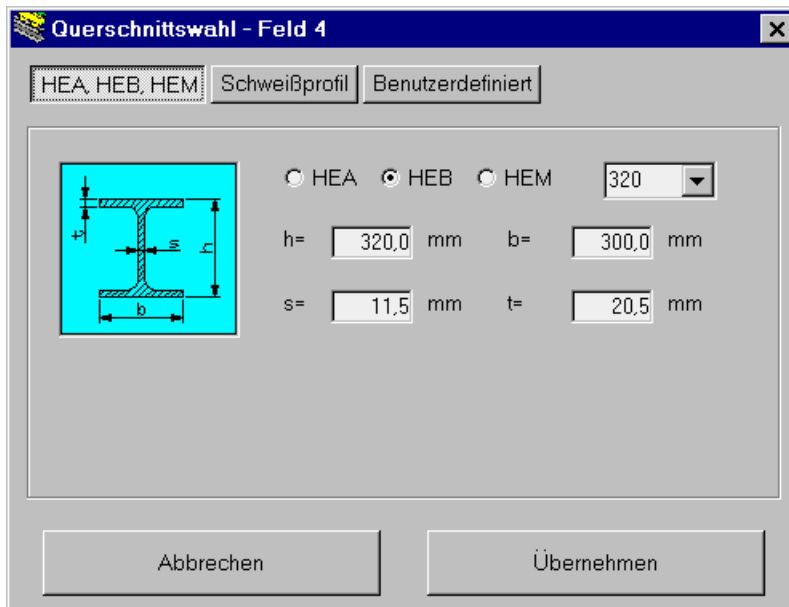


Bild 6a

b) Typ 2: Schweißprofil (Bild 6b)

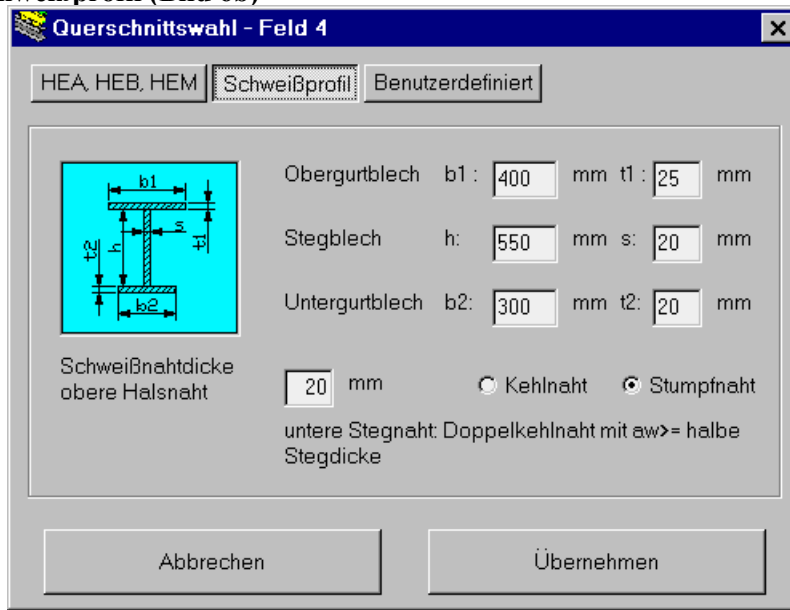


Bild 6b

Daten	Bemerkungen
Abmessungen	Die Abmessungen werden entsprechend der Querschnittsskizze in Bild 6b angegeben
Nahtart der oberen Halsnaht	Kehlnaht oder Stumpfnah. Hier sollte unbedingt eine Stumpfnah (z.B. K-Nah mit Doppelkehlnah) vorgesehen werden!
Schweißnahtdicke obere Halsnaht	Bei Stumpfnah: a_w angeben Bei Doppelkehlnah: Dicke a_w der einzelnen Kehlnah angeben

c) Typ 3 : Selbstdefinierter Querschnitt mit bekannten Querschnittswerten

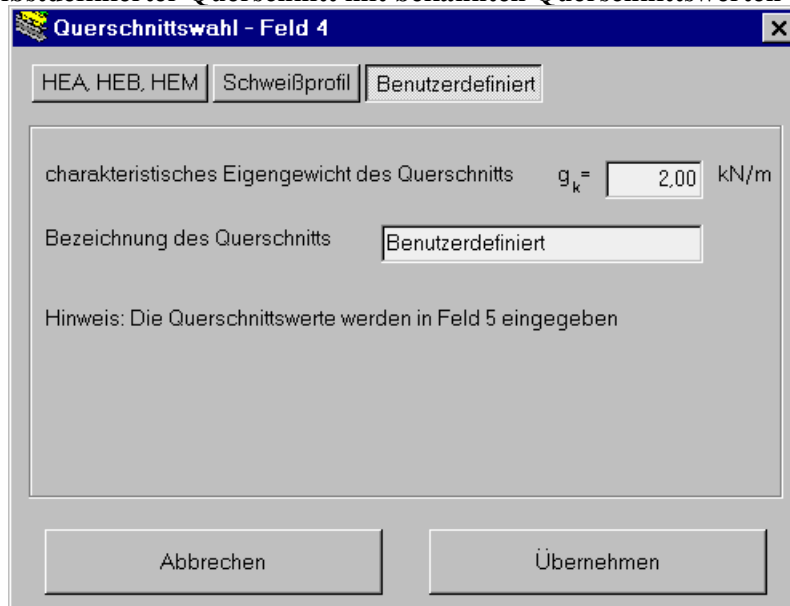


Bild 6c

Daten	Bemerkungen
charakteristisches Eigengewicht	In kN/m angeben
Bezeichnung des Querschnitts	Dieses Feld kann auch leer gelassen werden

Die zugehörigen Querschnittswerte werden in Feld 5 (Bild 6d) angegeben. Da für die Berechnung der Auflagerkräfte die Querschnittswerte nicht benötigt werden, ist die Eingabe in Feld 5 auf der Bildschirmseite „Auflagerkräfte“ gesperrt. Zur Eingabe der Querschnittswerte bitte auf die Bildschirmseite Spannungsnachweis wechseln.

benötigte Querschnittswerte für den Spannungsnachweis - Feld 5

Trägheitsmoment $I_z =$ cm^4

Torsionswiderstand $I_t =$ cm^4

Wölbwiderstand $I_\omega = C_M =$ cm^6

Angriffshöhe der Radlasten bezogen auf den Schubmittelpunkt $e_y =$ cm

Vorkrümmung in Feldmitte $e_z =$ cm

Folgende Werte sind für einen beliebigen Querschnittspunkt oberhalb des Schubmittelpunktes anzugeben, für den die Spannungen berechnet werden sollen.

Widerstandsmoment $W_y =$ cm Für Querschnittspunkt unterhalb des Schwerpunktes negativ eingeben

Widerstandsmoment $W_z =$ cm^3

Hauptverwölbung $\omega_m =$ cm^2

Bild 6d

Daten	Bemerkungen
Trägheitsmoment I_z (schwache Achse!)	Ggf. mit einem Querschnittswerteprogramm berechnen
St. Venantscher Torsionswiderstand I_t	Ggf. mit einem Querschnittswerteprogramm berechnen
Wölbwiderstand $I_\omega = C_M$	Ggf. mit einem Querschnittswerteprogramm berechnen
Widerstandsmomente W_y und W_z oben	Bezogen auf eine obere Flanschecke
Hauptverwölbung ω_m	Bezogen auf eine obere Flanschecke
Angriffshöhe e_y der Radlasten	bezogen auf den Schubmittelpunkt (SMP) . Der Abstand zum Schubmittelpunkt ist nach oben positiv anzugeben Die Bezeichnung e_y meint: Abstand des Lastangriffs zur y-Achse
Vorkrümmung der Kranbahn in Feldmitte e_z	Als Ersatzimperfektion nach DIN 18800 T2 wird eine horizontale Durchbiegung in y-Richtung angesetzt. Die Abminderungen nach DIN 18800 T 2 El. 201 und 202 müssen von Hand vorgenommen werden. Die Bezeichnung e_z meint: Abstand der ausgelenkten Figur zur z-Achse

5. Nachweise

Grundsätzlich sind für eine Kranbahn folgende Nachweise zu führen:

- Biegedrillknicknachweis (BDK) als Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordnung gemäß DIN 18800 T2,
- Allgemeiner Spannungsnachweis (AS)
- Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast nach DIN 18800 T3
- Betriebsfestigkeitsuntersuchung (BFU) gemäß DIN 4132
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis (GTN)

Für die gegebenen Daten werden stets alle im Programm vorhandenen Nachweise durchgerechnet. Redundanzen gibt es nicht: wenn z.B. im Fenster „BDK-Nachweis“ das Querschnittsprofil geändert wird, dann gilt diese Änderung automatisch auch für alle anderen Nachweise, z.B. für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis.

Wenn Sie nicht an allen Nachweisen interessiert sind, brauchen Sie nur die zum jeweiligen interessierenden Nachweis gehörigen Felder zu bearbeiten. In jedem Fall gilt: es ist grundsätzlich nicht erforderlich, für den gerade auszuführenden Nachweis Eingabefelder, die zu anderen Nachweisen gehören, zu bearbeiten.

5.1 Charakteristische und design-Auflagerkräfte (Nachweisfenster 1)

In diesem Fenster (siehe Bild 1) werden dem Anwender Auflagerkräfte zur Verfügung gestellt; der Begriff „Nachweisfenster“ trifft hier deshalb eigentlich nicht zu, da keine Nachweise geführt werden.

5.2 Spannungsnachweis nach DIN 18800 T2 (AS und BDK)

Allgemeiner Spannungsnachweis (AS) und Biegedrillknicknachweis (BDK) werden in einem Fenster dargestellt. Dabei werden die jeweils für einen Profiltyp wichtigen Nachweise angezeigt.

charakteristische Schnittgrößen (Th. I. Ord.)

aus F_k	My	Qz-li	Qz-re
	166,7 kNm	53,1 kN	-42,9 kN

aus H_k	Mz	Qy-li	Qy-re
	21,8 kNm	8,1 kN	-9,9 kN

aus g_k	My	Qz
	3,9 kNm	-0,2 kN

Nachweise

Iteration erfolgreich? JA

maßgebende Schnittgrößen und Spannungen (EK: 1,35 g_k + 1,35 R_k φ + 1,35 H_k) Stelle 1 bei x = 15,38 m

My_d = 229,30 kNm Mz_d = 29,82 kNm zug. M_ω = 55068,57 kNm β = 1,79 °
 max. Normalspannung = Vergleichsspannung = $\sigma_{x,d} = \sigma_{v,d} = 23,84$ kN/cm²

maßgebend Spannungen (EK: 1,35 g_k + 1,5 R_k φ) Stelle 2 bei x = 12,00 m

Normalspannung $\sigma_{x,d} = 5,30$ kN/cm² Vergleichsspannung $\sigma_{v,d} = 17,24$ kN/cm²
 Lastenleitungsspannung $\sigma_{Steg} = -6,11$ kN/cm² Schubspannung $\tau_d = 8,15$ kN/cm²

Grenzspannung $f_{y,d} = \sigma_{R,d} = 21,82$ kN/cm²

Nachweis Stelle 1 $\sigma_{x,d} / 1,1\sigma_{R,d}$	0,99	< 1,00
Nachweis Stelle 2 $\sigma_{v,d} / \sigma_{R,d}$	0,79	< 1,00
Nachweis Stelle 3 $\sigma_{x,d} / \sigma_{R,d}$	0,61	< 1,00

Ausnutzung Schienenschweißnaht 0,64 < 1,00

Bild 7

Prinzip der Spannungsberechnung nach Th.II.O.

Die Grundlagen für den BDK-Nachweis von Kranbahnträgern werden in [2] beschrieben. Die Spannungen des Kranbahnträgers werden nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung berechnet.

Die Spannungen werden iterativ mit Hilfe des Verfahrens der Gesamtschrittiteration berechnet. Sollte die Iteration nicht konvergieren (z.B. weil die Verzweigungslast überschritten ist), wird dies durch eine Warnmeldung angezeigt. Es erscheint im Fenster „Iteration erfolgreich?“ die Angabe „NEIN“. Die berechnete Spannung ist dann in jedem Fall unbrauchbar

In einem weiteren Fall wird diese Warnmeldung gezeigt: Wenn die Querschnittsverdrehung unter den γ -fachen Lasten $12^\circ = 21\%$ überschreitet. Bei einer Überschreitung dieses Wertes kann die Iteration zwar u.U. immer noch konvergent enden, die Ergebnisse sind aber wegen der zu großen Verformungen nicht mehr ausreichend zutreffend, wie Vergleichsrechnungen mit FEM-Programmen gezeigt haben. Es ist jedoch nur in Fällen sehr weit gespannter Kranbahnträger bei gleichzeitig hohen Lasten möglich, daß diese Grenze erreicht wird. Da die Gebrauchstauglichkeit dann wegen der großen Verformungen in aller Regel nicht mehr gegeben ist, spielt diese Beschränkung keine praktische Rolle.

Entscheidend für die Brauchbarkeit der berechneten Spannungen ist die Angabe "Ja" hinter der Frage „Iteration erfolgreich?“. Ist dort "Nein" angegeben, ist das Ergebnis unabhängig von den angegebenen Spannungen unbrauchbar und der Nachweis gilt als nicht erbracht.

Erforderliche Daten für BDK und AS:

Feld 1 bis Feld 4 : Kompletz bearbeiten (siehe Kap. 4)

Feld 5 (nur verfügbar und erforderlich bei Querschnittstyp 3 „Benutzerdefinierter Querschnitt“)

Folgende Nachweise werden im Rahmen des BDK / AS geführt:

- a) Walzprofil – Typ 1
 - Druckspannung im Feldbereich an der Flanschoberkante (nach Biegetorsionstheorie II.O)
 - Vergleichsspannung an der Stegoberkante für die Lastpos. max Q am Auflager
 - Zugspannungen an der Trägerunterkante im Feldbereich
 - Ggf: Nachweis der Schienenschweißnaht auf Lasteinleitungsspannungen
- b) Einfachsymmetrisches I - Schweißprofil (Typ 2)
 - Wie a, jedoch zusätzlich:
 - Vergleichsspannungen der oberen Steghalsnaht
- c) Benutzerdefinierter Querschnitt (Typ 3)
 - Druckspannung im Feldbereich an der Flanschoberkante (nach Biegetorsionstheorie II.O)
 - Ggf: Nachweis der Schienenschweißnaht auf Lasteinleitungsspannungen

Achtung:

- Die Nachweisführung muß bei Typ 3 durch weitere Nachweise von Hand ergänzt werden, sie ist nicht vollständig! (siehe Anhang, Beispiel 3)
- Lochschwächungen von Querschnittsteilen werden in keinem Nachweis berücksichtigt. Falls Lochschwächungen zu berücksichtigen sind, muß dies in einem zusätzlichen Nachweis händisch erfolgen!

5.2 Beulnachweis nach DIN 18800 Teil 3

Für Walzprofile ist der Beulnachweis i.d.R. nicht kritisch, wie die Erfahrung lehrt. Bei Schweißprofilen ist der Beulnachweis wichtig, um zu erkennen, ob die gewählte Stegblechdicke zweckmäßig ist.

Prinzip der Berechnungen :

Bei Querschnittstyp 1 und 2 werden aus dem maximale Feldmoment die Spannungen am oberen und unteren Beulfeldrand mit den berechneten Widerstandsmomenten errechnet. (Die obere Spannung wird immer als Druck, die untere immer als Zug angenommen). Die Schubspannung wird mit der zugehörigen Querkraft und die Lasteinleitungsspannung (Stegpressung) mit der maximalen vertikalen γ -fachen Radlast (inklusive Schwingbeiwert) berechnet. Bei Querschnittstyp 3 können Sie ein beliebiges Beulfeld und die zugehörige Spannungen frei angeben. (Bei eingestelltem Querschnittstyp 3 läßt sich das Programm deshalb auch für die Durchführung beliebiger Beulnachweise nutzen!)

Zur Nachweisführung siehe DIN 18800 T3 und [2].

Anders als in BEM10 Version 1.x werden die Beulwerte nun automatisch gemäß [3], Tafel 8.5 und [6], Kapitel 21, Bild 86 bestimmt. Die Beulwerte sind für die bei Kranbahnen üblichen Spannweiten der Werte Beulfeldlänge/Beulfeldhöhe und Lastangriffsbreite / Beulfeldlänge gültig.

Die gemeinsame Wirkung benachbarter Räder auf die Beulsicherheit wird vom Programm berücksichtigt. Im Beul-Bildschirm steht dann hinter „Berücksichtigung nebeneinander liegender Räder“ ein „Ja“. Wenn dort „nein“ verzeichnet ist, braucht der gemeinsame Einfluß nicht berücksichtigt werden, da in einem Beulfeld nur eine Radlast stehen kann..

Der Einfluß wird auf der sicheren Seite wie folgt berücksichtigt: Alle Radlasten, die in einem Abstand von maximal $3 \cdot \text{Beulfeldhöhe}$ wirken, werden als unmittelbar nebeneinander stehend voll berücksichtigt. Räder, die außerhalb des Bereichs $3 \cdot \text{Beulfeldhöhe}$ stehen, aber innerhalb des betrachteten Beulfelds wirken, gehen mit zu den Beulfeldenden hin linear von 1 auf 0 sinkendem Einfluß in die Rechnung ein. Ist die Beulfeldbreite geringer als $3 \cdot \text{Beulfeldhöhe}$, werden die Radlasten, die innerhalb des Beulfelds angreifen, als mittig unmittelbar nebeneinander wirkend betrachtet.

Bei Typ3-Querschnitten (benutzerdefiniert) werden alle Beulfelddaten und –spannungen von Hand eingegeben. Daher muß für diesen Querschnittstyp über die Steuerung der Lastangriffsbreite c selber festgelegt werden, wie benachbarte Räder mitwirken.

Einzugebende Daten:

Feld 1

Querschnittstyp 1 und 2 → komplett bearbeiten
 Querschnittstyp 3 → nur Elastizitätsmodul E und Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Feld 2

Querschnittstyp 1 und 2 → komplett bearbeiten
 Querschnittstyp 3 → keine Angaben erforderlich

Feld 3

Querschnittstyp 1 und 2 → komplett ausfüllen
 Querschnittstyp 3 → keine Angaben erforderlich

Feld 4 : → komplett bearbeiten

BEM10 - KraBaTrä 2 (bsp2.Kr2) - [Beulnachweis nach DIN 18800 Teil 3]

Projekt Nachweise Bearbeiten Drucken !

Feld 1

stat. System :

Stützweite : m

Anz. Kranbrücken :

Radstand Brücke : m

min Brückenabst. : m

Stahl : $\gamma_M =$

Hubklasse : $\phi =$

Beanspruchungsgruppe :

Schiene :

Feld 2

F1_k = kN

F2_k = kN

F3_k = kN

F4_k = kN

Feld 3

H_k = kN

Feld 4

g_k = kN/m

Feld 5

Beulfeldlänge : cm

Beulfeldhöhe : cm

Beulfelddicke : cm

Lasteinleitungsbreite : cm


Normalspannung Beulfeldoberkante : $\sigma_{x,o,d} =$ kN/cm²

Normalspannung Beulfeldunterkante : $\sigma_{x,u,d} =$ kN/cm²

Lasteinleitungsspannung : $\sigma_{z,d} =$ kN/cm²

Schubspannung : $\tau_d =$ kN/cm²

charakteristische Schnittgrößen (Th. I. Ord)



Schnittgrößen Feld

Schnittgrößen Stütze

Stelle max. Feldmoment My bei x = m

aus F_k My : kNm
Qz-li : kN
Qz-re : kN

aus H_k Mz : kNm
Qy-li : kN
Qy-re : kN

aus g_k My : kNm
Qz : kN

Beulwerte und Grenzbeulspannungen

nach Petersen, Statik u. Stabilität, Tafel 8.5 k_{ox} = $\sigma_{xP,R,d} =$ kN/cm²

nach Petersen, Stahlbau, Kap.21, Bild 86 k_{oy} = $\sigma_{yP,R,d} =$ kN/cm²

k_{tz} = $\tau_{P,R,d} =$ kN/cm²

Nachweise

Berücksichtigung nebeneinander liegender Räder

bei alleiniger Wirkung der Randspannungen

$\sigma_{x,o,d} / \sigma_{xP,R,d} =$

$\sigma_{z,d} / \sigma_{yP,R,d} =$

$\tau_d / \tau_{P,R,d} =$

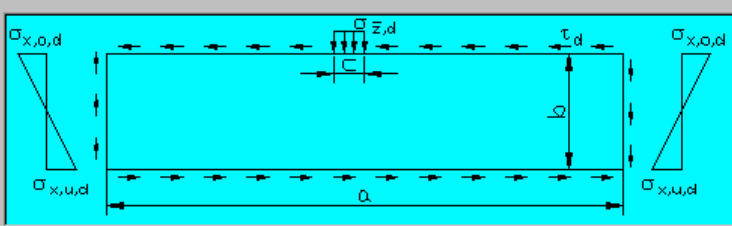
Nachweis bei gleichzeitiger Wirkung der Randspannungen

Bild 8: Fenster Beulnachweis

Feld 5

Daten	Bemerkungen
Anzahl vertikale Quersteifen	Die Auflagersteifen werden nicht mitgezählt. Wenn nur bei den Auflagern Quersteifen vorhanden sind, ist „0“ einzugeben. Längssteifen können nicht berücksichtigt werden
Quersteifen am OG angeschweißt?	Die Beantwortung dieser Frage hat auf das Beulproblem keinen Einfluß, sondern auf den Betriebsfestigkeitsnachweis (Vorwahl des Kerbfalls)

Beulfeldmaße und Spannungen - Feld 5



Anzahl vertikale Quersteifen je Feld (ohne Auflagersteifen)

Quersteifen am Obergurt angeschweißt Ja Nein
(bei B5 und B6 gem. DIN 4132, 5.3.3 nicht zulässig)

Bild 9 : Eingabefeld 5 Typ 1 + 2

The dialog box 'Beulfeldmaße und Spannungen - Feld 5' contains the following input fields:

a =	<input type="text" value="600.00"/>	cm	$\sigma_{x,o,d}$ =	<input type="text" value="10.00"/>	kN/cm ²	Druckspannung
b =	<input type="text" value="50.00"/>	cm	$\sigma_{x,u,d}$ =	<input type="text" value="10.00"/>	kN/cm ²	<input checked="" type="checkbox"/> Zugspannung
t =	<input type="text" value="2.00"/>	cm	$\sigma_{z,d}$ =	<input type="text" value="8.00"/>	kN/cm ²	
c =	<input type="text" value="30.00"/>	cm	τ_d =	<input type="text" value="3.00"/>	kN/cm ²	

Buttons: Abbrechen, Übernehmen

Bild 10: Eingabefeld 5, Typ 3

Bei Typ 3 müssen alle für das Beulen relevanten Daten von Hand eingegeben werden, da wegen der dem Programm nicht bekannten Querschnittsgeometrie eine automatisierte Berechnung nicht möglich ist. Bei allen Spannungen sind Bemessungswerte anzugeben.

Daten	Bemerkungen
Beulfeldlänge a	= Stützlänge / (Anzahl der Beulsteifen im Feld + 1)
Beulfeldhöhe b	
Beulfelddicke t	
Lasteinleitungsbreite c	
obere Normalspannung (am Stegoberrand)	Die obere Normalspannung wird immer als Druckspannung angenommen.
untere Normalspannung (Stegunterrand)	Ist die untere Normalspannung eine Zugspannung, muß das nebenstehende Feld "Zugspannung" markiert werden.
Lasteinleitungsspannung σ_{yd}	Die Lasteinleitungsspannung wird automatisch als Druckspannung angenommen.
Schubspannung τ_d	

5.3 Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

Der Betriebsfestigkeitsnachweis (Bild 11) wird gemäß DIN 4132 nach dem zul σ - Konzept geführt, siehe [8], Kap. 5. Wenn die Kranbahn durch zwei Kranbrücken gleichzeitig befahren werden kann, werden zusätzlich zu den Einzelnachweisen auch die Nachweise nach Kombinationsformel gemäß DIN 4132, Gl. (4) geführt.

BEM10 - KraBaTrä 2 [bsp3] - [Betriebsfestigkeitsnachweis nach DIN 4132]

Projekt Nachweise Bearbeiten Drucken !

Feld 1
 stat. System :
 Stützweite : m
 Anz. Kranbrücken :
 Radstand Brücke : m
 min Brückenabst. : m
 Stahl : γ_{M^*} =
 Hubklasse : ϕ =
 Beanspruchungsgruppe :
 Schiene :

Feld 2
 $F1_k$ = kN
 $F2_k$ = kN
 $F3_k$ = kN
 $F4_k$ = kN

Feld 3
 H_k = kN

Feld 4

 g_k = kN/m

Feld 5

nur Kran 1

Pkt	Stelle	Wy	max. My	min. My	κ
1	Feld	1926,3	133,19	-27,27	-0,20
2	Stütze	2209,3	-103,69	-6,40	0,06
3	Stütze	-2209,3	-103,69	-6,40	0,06

Kran 1 + 2

Pkt	Stelle	Wy	max. My	min. My	κ
1	Feld	1926,3	170,67	-18,65	-0,11
2	Stütze	2209,3	-147,66	-5,48	0,04
3	Stütze	-2209,3	-147,66	-5,48	0,04

charakteristische Schnittgrößen (Th. I. Ord.)

Schnittgrößen Feld
 Schnittgrößen Stütze

Stelle max. Feldmoment My
 bei $x =$ m

aus F_k
 M_y : kNm
 Q_z -li : kN
 Q_z -re : kN

aus H_k
 M_z : kNm
 Q_y -li : kN
 Q_y -re : kN

aus g_k
 M_y : kNm
 Q_z : kN

Normalspannungsnachweise

Pkt	Kerbfall	nur Kran 1		Kran 1 + 2		Kombination					
		vorh. σ_x	zul. σ_{Be}	vorh. σ_x	zul. σ_{Be}	Auslastung	Auslastung				
1	K1	-6,91	16,00	0,43	< 1,00	-8,86	16,00	0,55	< 1,00	0,55	< 1,00
2	K3	-4,69	16,00	0,29	< 1,00	6,68	16,00	0,42	< 1,00	0,42	< 1,00
3	K3	-4,69	16,00	0,29	< 1,00	-6,68	16,00	0,42	< 1,00	0,42	< 1,00

weitere Nachweise

Auslastung

τ Lasteinleitung Schienenschiennaht ($a_w =$ mm) < 1,00

Bild 11: Nachweisenfenster Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

Folgende Einzelnachweise werden im Rahmen der BFU geführt:

a) Walzprofil – Typ 1

- Normalspannung im Feldbereich an der Oberflanschoberkante, bei angeschweißter Schiene im Bereich der Schienenschweißnaht. Der Kerbfall wird vorgeschlagen, kann aber abgeändert werden
- Oberflanschunterkante an der Schweißnaht der Quersteife.
Sind nur am Auflager Steifen: Nachweis im Stützbereich, sonst im Feldbereich.
Der Kerbfall wird vorgeschlagen, kann aber abgeändert werden
- Unterflanschoberkante an der Schweißnaht der Quersteife.
Sind nur am Auflager Steifen: Nachweis im Stützbereich, sonst im Feldbereich.
Der Kerbfall wird vorgeschlagen, kann aber abgeändert werden
- Ggf Nachweis der Schubspannungen aus Lasteinleitung bei der Schienenschweißnaht.
Bei BG B4 – B6 wird der exzentrische Lastangriff berücksichtigt.

b) Einfachsymmetrisches I - Schweißprofil (Typ 2)

- Wie a, jedoch zusätzlich:
- Schubspannungen aus Lasteinleitung in der oberen Steghalsnaht, falls diese eine Kehlnaht ist. Bei BG B4 – B6 wird der exzentrische Lastangriff berücksichtigt.

- Lasteinleitungsspannungen σ_z an der Stegoberkante des Schweißprofils unter Berücksichtigung der Stegbiegung bei BG B4 – B6
- Schubspannungen in der unteren Halskehlnaht. Die untere Halsnaht wird immer als Doppelkehlnaht mit einer Schweißnahtdicke, die der halben Stegdicke entspricht, angenommen.
- σ_x im Feldbereich an der Trägerunterkante.

c) Benutzerdefinierter Querschnitt (Typ 3)

- Bei Querschnittstyp 3 können die Normalspannungen an drei beliebige Punkten im Querschnitt an drei beliebigen Stellen des Systems (im ersten Feld) nachgewiesen werden. Die Auswahl der Punkte läßt sich jedoch nicht automatisieren, da dem Programm die Querschnittsgeometrie unbekannt ist. Der Anwender muß die Nachweispunkte und die Kerbfälle selbst auswählen.
- Achtung: die Nachweisführung muß bei Typ 3 besonders durch weitere Nachweise von Hand ergänzt werden, sie ist nicht vollständig!

Falls weitere als die genannten kerbrelevanten Konstruktionsdetails vorhanden sind, sind i.d.R. zusätzliche Nachweise erforderlich.

Ggf vorhandene Stöße von Kranbahnträgern (z.B. an einem Zwischenauflager eines durchlaufenden Kranbahnträgers) sind in jedem Fall separat nachzuweisen. BEM 10 geht grundsätzlich davon aus, daß der Träger durchlaufend und nicht gestoßen ist.

Der Anwender trägt die Verantwortung dafür, daß evtl. zusätzliche Nachweispunkte erkannt und von Hand zusätzlich nachgewiesen werden.

Feld 1 - Feld 4: Kompletzt bearbeiten

Feld 5

a) Querschnittstyp 1 und 2

Beanspruchungsgruppe und Kerbfälle der nachzuweisenden Punkte - Feld 5

Querschnittstyp1

Querstreifen am Obergurt angeschweißt Ja Nein
 Abstand der Querstreifen m

Anteil gemeinsamer Lastwechsel der zwei Kranbahnen
 weniger als 10 % weniger als 33 % mehr als 33 %

Kerbfälle Fall vorschlagen Fall eingeben

Punkt 1
 Kerbfall:
 Stelle x = m
 mit $W_y =$ cm^3
 aw = mm

Punkt 2
 Kerbfall:
 Stelle x = m
 mit $W_y =$ cm^3

Punkt 3
 Kerbfall:
 Stelle x = m
 mit $W_y =$ cm^3

Bild 12: Eingabefeld 5 - Querschnittstyp 1 und 2

Daten	Bemerkungen
Quersteife am Og angeschweißt?	Diese Angabe ist für die Bestimmung des Kerbfalls wichtig.
Anteil gemeinsamer Lastwechsel von 2 Kranen	<ul style="list-style-type: none"> • Wird nur bei 2 Kranen abgefragt • Wichtig um die reduzierte BG des Krans 2 zu bestimmen
Kerbfälle vorschlagen oder eingeben	Wenn „Fall vorgeschlagen“ angekreuzt ist, werden die von BEM10 vorgeschlagenen Kerbfälle angesetzt. Andernfalls kann der Anwender eigene Kerbfälle angeben. In jedem Fall trägt der Anwender die Verantwortung dafür, daß die richtigen Kerbfälle unterstellt werden.
Für jeden der 3 Punkte <ul style="list-style-type: none"> • Kerbfall • Stelle x des Nachweises • Widerstandsmoment zur Berechnung von σ_x • Schweißnahtdicke der Schienenschweißnaht 	<ul style="list-style-type: none"> • Kann frei gewählt werden, wenn oben „Fall eingeben“ markiert ist • ist vorgegeben • ist vorgegeben • nur bei Punkt 1 und nur bei angeschweißter Flachstahlschiene. Der Wert ist nur in Eingabefeld 1 unter „Schiene“ abänderbar

c) Querschnittstyp 3

Im Prinzip ist die Eingabe wie bei Querschnittstyp 1 und 2, die Kerbfälle sind aber in jedem Fall frei zu wählen. Außerdem ist anzugeben, ob der Nachweis im Feldmomentenmaximum oder am Auflager ausgeführt werden soll.

5.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis: vertikale und horizontale Durchbiegung

BEM10 - KraBaTrä 2 (bsp2.Kr2) - [Gebrauchstauglichkeitsnachweis]

Projekt Nachweise Bearbeiten Drucken !

Feld 1
 stat. System:
 Stützweite: m
 Anz. Kranbrücken:
 Radstand Brücke: m
 min Brückenabst.: m
 Stahl: $\gamma_M =$
 Hubklasse: $\varphi =$
 Beanspruchungsgruppe:
 Schiene:

Feld 2
 $F1_k =$ kN
 $F2_k =$ kN
 $F3_k =$ kN
 $F4_k =$ kN

Feld 3
 $H_k =$ kN

Feld 4

 $g_k =$ kN/m

Feld 5
 Trägheitsmomente: $I_y =$ cm⁴
 $I_z =$ cm⁴
 zul $I_{Stütz} /$ in y-Richtung nach
 zul $I_{Stütz} /$ in z-Richtung nach

charakteristische Schnittgrößen (Th. I. Ord.)

Schnittgrößen Feld:
 Schnittgrößen Stütze:
 Stelle max. Feldmoment My
 bei $x =$ m

aus F_k :
 $My:$ kNm
 $Qz-li:$ kN
 $Qz-re:$ kN

aus H_k :
 $Mz:$ kNm
 $Qy-li:$ kN
 $Qy-re:$ kN

aus g_k :
 $My:$ kNm
 $Qz:$ kN

Nachweise

maximale vertikale Durchbiegung
 infolge vertikaler charakteristischer Radlasten ohne φ und charakteristischem Eigengewicht
 $w =$ cm = $I_{Stütz} /$ $I_{Stütz} /$

maximale horizontale Durchbiegung
 infolge horizontaler charakteristischer Radlasten bezogen auf die Schienenoberkante
 $f =$ cm = $I_{Stütz} /$ $I_{Stütz} /$

Bild 13: Nachweisfenster Gebrauchstauglichkeitsnachweis

DIN 4132 fordert zwar keinen Gebrauchstauglichkeitsnachweis, die Hersteller der Kranbrücken schreiben jedoch häufig eine Begrenzung der Kranbahndurchbiegung vertikal und horizontal vor. Grundsätzlich ist $l/600$ ein brauchbarer Grenzwert, der auch zukünftig im Eurocode 3 vorgeschrieben sein wird. Manche Hersteller von Kranbrücken lassen dagegen auch Werte bis $l/500$ zu.

Durchbiegung: Prinzip der Berechnung

Die vertikalen und horizontalen Durchbiegungen f_V und f_H werden nach [6], Tafel 21.4 mit den charakteristischen Radlasten ohne Schwingbeiwert berechnet.

Die horizontale Durchbiegung f_H wird bezogen auf die Schienenoberkante berechnet, nicht auf die Schienenoberkante (in BEM10-Version 1 war die horizontale Durchbiegung auf den Schwerpunkt bezogen angegeben).

Zur Berechnung wird die Methode des Tragwirkungssplittings angesetzt: In Querrichtung wird nur der Oberflansch als tragend angesehen. Die angegebene horizontale Durchbiegung ist also die Durchbiegung des Obergurts unter der horizontalen Last.

Feld 1 - Feld 4: komplett bearbeiten

Feld 5 :

a) Querschnittstypen 1 + 2

- Eingabe der zulässigen Durchbiegungen vertikal und horizontal

b) Querschnittstyp 3



Bild 14

Daten	Bemerkungen
Trägheitsmoment I_y	Bei Typ 1 und Typ 2 Querschnitte nicht änderbar.
Trägheitsmoment I_z	Bei Typ 1 und Typ 2 Querschnitte nicht änderbar.
zul. Durchbiegung in vertikaler Richtung z (vertikal)	angegeben als Bruchteil der Stützlänge. Voreingestellt ist $l/600$ nach EC 3
zul. Durchbiegung in horizontaler Richtung y (horizontal)	angegeben als Bruchteil der Stützlänge. Voreingestellt ist $l/600$ nach EC 3

6. Ergebnisdokumentation – Drucken – Programm beenden

Wählen Sie im Menü „Drucken – Nachweise drucken“ durch Anklicken aus, welche Berichte sie gedruckt haben möchten und bestätigen Sie mit OK. Unter "Einrichten..." kann ein anderer Drucker ausgewählt werden.

(Die Einstellungen des Druckers (z.B. "Tonereinsparung" oder "Normaldruck") können zwar angeklickt werden, die Änderungen bleiben jedoch u. U. ohne Wirkung. Nur in diesem Ausnahmefall sollten die Druckereinstellungen direkt in EXCEL geändert werden, siehe Abschnitt 7.1-d.)

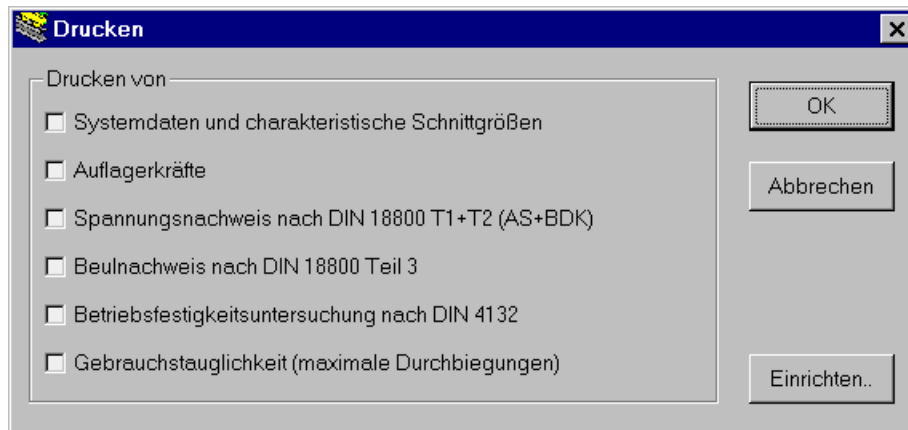
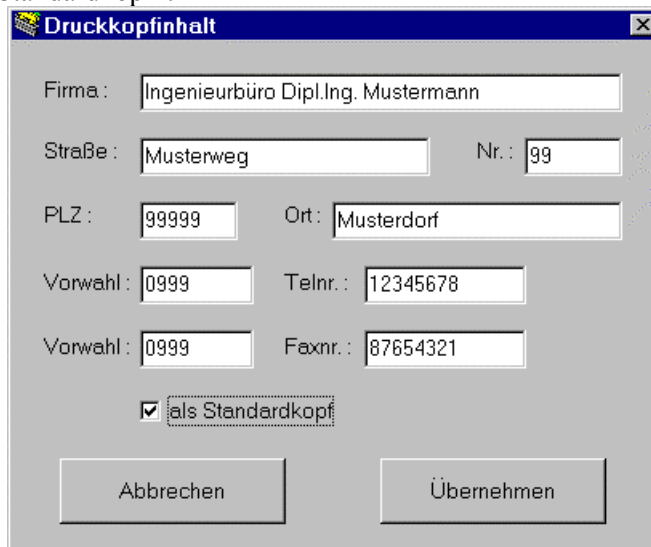


Bild 15: Auswahl der zu druckenden Berichte

In jedem Fall muß der Ausdruck direkt aus dem Feld "Drucken“ (Bild 15) heraus erfolgen. Erst nach dem Bestätigen über "OK" werden die entsprechenden EXCEL-Tabellen aktualisiert. Niemals darf man aus EXCEL heraus von Hand den Druck starten, weil dann die noch nicht aktualisierten Seiten gedruckt werden, d.h. das gedruckte Ergebnis ist unbrauchbar und falsch!

Druckkopf

Geben Sie hier an, welche persönlichen Daten im Druckkopf des Ausdrucks enthalten sein sollen. Sollen diese Daten in jedem ab jetzt neu angelegten Projekten vorhanden sein, so bestätigen sie das Feld „als Standardkopf“.



Firma :	Ingenieurbüro Dipl.Ing. Mustermann		
Straße :	Musterweg	Nr. :	99
PLZ :	99999	Ort :	Musterdorf
Vorwahl :	0999	Telnr. :	12345678
Vorwahl :	0999	Faxnr. :	87654321
<input checked="" type="checkbox"/> als Standardkopf			
Abbrechen		Übernehmen	

Bild 15: Druckkopfinhalt

Wenn Sie für ein spezielles Projekt einen Druckkopf angeben wollen, der für andere Projekte nicht gilt, so darf die Check-Box „als Standardkopf“ nicht markiert sein.

Der veränderte Druckkopf wird nun für dieses Projekt stets beibehalten. Wenn ein neues Projekt angelegt wird, ohne daß vorher BEM10 beendet wurde, wird dieser veränderte Druckkopf ebenfalls beibehalten.

Wenn ein Projekt geöffnet wird, das einen Druckkopf enthält, der nicht dem Standard-Druckkopf entspricht, so werden alle während dieser BEM10-Sitzung angelegten neuen Projekte mit dem geänderten Druckkopf versehen. Wenn das nicht erwünscht ist, muß BEM10 beendet und wieder gestartet werden – der Standarddruckkopf steht dann wieder zur Verfügung.

Beenden

Beenden Sie die Anwendung mit dem Menüpunkt „Beenden“. Falls Änderungen noch nicht gespeichert wurden, erfolgt eine Abfrage.

7. Frequently Asked Questions (FAQ)

7.1 FAQ's zur Bedienung des Programms

a) "Die in den Nachweisfenstern dargestellten gelb unterlegten Felder werden auf meinem Rechner mit schwarzem Hintergrund dargestellt, so daß die ebenfalls schwarz dargestellten Zahlen nicht mehr abgelesen werden können. Wie kann der Fehler behoben werden?"

Man wähle in der Taskleiste unter "Start" - Einstellungen - Systemsteuerung - Anzeige - Darstellung - Bildelement" und wähle in der Auswahlliste "Quickinfo" an. Stellt man die zugehörige Farbe auf hellgelb, lassen sich alle Felder ablesen.

b) "Während das Programm BEM10 geöffnet war, habe ich versehentlich das gleichzeitig offene Programm EXCEL geschlossen. Wie kann ich den Zustand vor dem Absturz wieder herstellen?"

BEM10 ist ohne EXCEL nicht lauffähig. Sobald Sie EXCEL beendet haben, wird BEM10 mit einigen Fehlermeldungen abstürzen.

Alle Eingaben werden automatisch in einer Datei „sicherung.kr2“ mitprotokolliert. Wenn Sie nach dem Neustart von BEM10 unter „Projekt“-„Datei öffnen“ die Datei „sicherung.kr2“ im Hauptverzeichnis des Programms BEM10 öffnen, haben Sie den gleichen Zustand wie vor dem Absturz hergestellt. Ausschließlich Daten, die in ein zum Zeitpunkt des Absturzes gerade geöffnetes Eingabefenster bereits eingegeben waren, ohne daß schon das Feld „Übernehmen“ angeklickt war, sind beim Absturz verloren gegangen. Alle anderen eingegebenen Daten bleiben erhalten.

c) "Die eigentlichen Berechnungen werden ja im Programm EXCEL durchgeführt. Kann ich auch aus EXCEL heraus den Ausdruck starten?"

Natürlich ist es möglich, die den Ausdruck enthaltenden Seiten A1 bis A6 direkt aus EXCEL heraus zu drucken (EXCEL Menü "Datei - Drucken"). Der Ausdruck enthält jedoch nicht die korrekten Ergebnisse. Das liegt daran, daß die Aktualisierung der Zahlen auf den Tabellenblättern A1 bis A6 erst erfolgt, wenn aus BEM 10 der Druckbefehl gegeben wird. Deshalb: Bitte die Ausdrücke unbedingt nur aus BEM 10 starten!

d) " Ich möchte meine Ausdrücke im Toner- oder Tintensparmodus ausdrucken. Wenn ich diese Einstellung im BEM 10 Druckfenster unter "Einstellungen" einstelle, wirkt sich diese Einstellung jedoch nicht aus. Wie kann ich die Druckereinstellungen verändern?"

- Falls BEM 10 offen ist: Speichern und Schließen des Programmes.
- EXCEL öffnen, laden der Datei "BerechnungsdateiKra2.xls", die sich im BEM10-Ordner befindet.
- Die geöffnete Arbeitsmappe enthält u.a. die Blätter A1 bis A6. Für alle Seiten A1 bis A6 ist folgendes Vorgehen einzeln und nacheinander erforderlich:
 - + Aktivieren der Seite A i ($i = 1 \dots 6$) durch Anklicken im Arbeitsmappenregister
 - + EXCEL Menü "Datei - Drucken" wählen; auf Eigenschaften klicken und die Einstellungen vornehmen.
 - + Wenn Sie jetzt in BEM10 ein neues Projekt öffnen, werden diese Einstellungen übernommen.

7.2 FAQ's zur Berechnung von Kranbahnträgern

a) "Es soll eine über vier Felder durchlaufende Kranbahn berechnet werden. Im Programm BEM10 sind aber nur die Formeln für einen Dreifeldträger programmiert. Wie groß ist der Fehler, wenn für einen Vierfeldträger die Schnittgrößen und Spannungen des Dreifeldträgers verwendet werden ?"

Vergleicht man bei jeweils gleichen Auflagerabständen l die maximalen Schnittgrößen von Ein- und Mehrfeldträgern miteinander, so ergeben sich beispielsweise für einen mit zwei gleichen Radlasten im Abstand von $a=0,6 \cdot l$ beanspruchten Kranbahnträger die in Tab.1 dargestellten Ergebnisse. Das maximale Feldmoment des Dreifeldträgers ist mit 81,8% nur unwe-

sentlich größer als dasjenige des Vierfeldträgers mit 81,6%. Mit anderen Worten: Eine Berechnung als Dreifeldträger ist hinreichend genau.

Kranbahn als...	max. Feldmoment	max. Stützmoment
1-Feldträger	100 %	-
2-Feldträger	82,4 %	-50,2 %
3-Feldträger	81,8 %	-52,4 %
4-Feldträger	81,6 %	-52,9 %

Tab.1: Bsp.:Relative Beanspruchungen bei unterschiedlichen stat. Systemen (100% = Feldmoment beim Einfeldträger)

b) "Spielt die Reihenfolge der in Feld 2 einzugebenden vertikalen Radlasten eine Rolle?"

Wenn es nur einen Kran gibt: Nein. Das Programm ordnet die Kräfte immer ungünstigst an. Dabei wird die Horizontallast immer an dem Rad mit der größten Vertikalkraft angesetzt. Dies ist stets sinnvoll, weil unterstellt wird, daß die Kranbrücke mit maximaler Nutzlast in beide Fahrtrichtungen fahren kann. Ob also die größere Last als R_1 und die kleinere als R_2 eingegeben wird, hat keinen Einfluß auf das Ergebnis.

Gibt es zwei Krane, werden die Radlasten gespiegelt und so Kran 1 und Kran 2 ausgetauscht. Jedes Rad behält aber seinen alten „Nachbarn“. Daher muß die Reihenfolge **R1-R2-R3-R4** beachtet werden. Die Reihenfolge **R2-R1-R3-R4** kann zu einem anderen Ergebnis führen.

c) "Werden die Schienen in BEM10 statisch mit berücksichtigt?"

Nein. Zur Berechnung der Trägheitsmomenten und der Spannungen werden Schienen nicht berücksichtigt.

- Grundsätzlich zulässig wäre dies auch nur bei durchgehend angeschweißten Schienen.
- Auch wenn die Schiene statisch vernachlässigt wird, muß die Schienenschweißnaht auf Schubspannungen nachgewiesen werden.
- Die korrekte Angabe des Schientyps in Feld 1 ist trotzdem wichtig, da deren Gewicht und Höhe in einige Berechnungen eingeht.

d) "Im Nachweisfenster BDK/AS wird unter "Nachweis" angegeben: "Iteration erfolgreich? - nein" . Dürfen die angegebenen Spannungen trotzdem verwendet werden?"

In keinem Fall dürfen die Ergebnisse verwendet werden; selbst dann nicht, wenn die Spannungen noch unterhalb der Fließgrenze liegen. Der Grund: die Verformungen sind so groß, daß die der Rechnung zugrundeliegende Theorie II. Ordnung, die ja auf kleinen Verformungen basiert, nicht mehr für die Spannungsberechnung geeignet ist. Der Nachweis gilt als nicht erbracht. Abhilfe: Wählen Sie so lange einen größeren Querschnitt, bis die Iteration erfolgreich beendet wird und gleichzeitig die Spannungen im zulässigen Rahmen bleiben.

e) "Welches Koordinatensystem wird in BEM10 verwendet, das nach DIN 4132 (Stabachse = z) oder dasjenige nach DIN 18800 (Stabachse = x) ?"

Alle Angaben und Indizes beziehen sich auf das Koordinatensystem nach DIN 18800: x ist die Kranbahnachse, y die horizontale, nach links verlaufende und z die vertikale, nach unten verlaufende Schwerpunktschwerachse.

f) "Welche Kranbahnträger können nicht mit BEM10 berechnet werden ?"

In Kap. 1.2 "Leistungsausschlüsse des Programmes" sind diejenigen Optionen beschrieben, die derzeit nicht in BEM10 implementiert sind. Es empfiehlt sich also, vor einer Berechnung an Hand der Liste zu prüfen, ob eine nicht implementierte Option wichtig für das zu berechnende Projekt wäre.

In den folgenden eher selten auftretenden Fällen ist die Benutzung von BEM10 eigentlich nicht möglich. Es kann aber u.U. ein auf der sicheren Seite liegender Nachweis geführt werden, der aber zu etwas zu großen Querschnitten führen kann :

- „Ein mehrfeldriger Kranbahnträger hat unterschiedlich große Stützweiten“
Näherungsweise kann auf der sicheren Seite liegend mit der größten Stützweite gerechnet werden.
- „Ein mehrfeldriger Kranbahnträger hat Felder mit unterschiedlichen Biegesteifigkeiten.“
Näherungsweise kann auf der sicheren Seite liegend der Nachweis mit der geringsten Biegesteifigkeit geführt werden.
- „Seitenführung über Seitenführungsrollen anstelle über Spurkränze“
Es muß geprüft werden, ob die Seitenführungsrollen ihre Lasten ebenfalls auf den Kranbahnträger absetzen. Wenn das nicht der Fall ist, werden in BEM10 nur die auf den berechneten Kranbahnträger wirkenden Horizontallasten angegeben.
- „Andere Achssysteme außer EFF“
Es treten u.U. auch an der Hinterachse Horizontallasten auf, die aber in der Rechnung nicht berücksichtigt werden. Näherungsweise kann die Summe der H-Lasten an beiden Achsen dann als eine Kraft an der Vorderachse angesetzt werden. Diese Vorgehensweise kann bei großen Radabständen allerdings sehr deutlich auf der sicheren Seite liegen. Haben die Kräfte unterschiedliche Vorzeichen, kann die Rechnung auch auf der unsicheren Seite liegen.
- „Es wird angenommen, daß alle Felder der Kranbahn komplett befahren werden können. Zusätzlich kann angegeben werden, ob die Kranbrücke den Träger auf beiden Seiten verlassen kann oder nicht. Die Definition eines Bereiches auf der Kranbahn, der von den Rädern nicht befahren werden kann, ist nicht vorgesehen“
Auf der sicheren Seite liegend kann dann mit einer kompletten Befahrung gerechnet werden.

g) "Ich möchte gerne andere Bauteile als Kranbahnträger mit BEM10 bemessen, z.B. einen beliebigen Träger mit zweiachsiger Biegung. Geht das?"

Es wird sehr dringend abgeraten, andere Bauteile als Kranbahnträger mit diesem Programm zu berechnen. Zum einen sind alle Voreinstellungen so gewählt, daß sie für Kranbahnträger passend sind (z.B. die Angriffshöhe der Vertikallast). Berechnet man andere Bauteile mit BEM10, so kann nicht in jedem Fall sicher gestellt werden, daß die im Programm steckenden Annahmen zutreffend sind.

Beispiel: die Iterationsverfahren für die statische Berechnung sind auf Kranbahnträger abgestellt. Für diese gilt, daß die Vertikallasten deutlich höher sind als die Horizontallasten. Diese Annahme ist bei anderen Bauteilen nicht unbedingt zutreffend.

h) "Ich möchte gerne das vorberechnete Eigengewicht g_k verändern, eine andere Ersatzimperfektion e_z annehmen oder die Angriffshöhe der Lasten verändern, um dann Spannungen zu berechnen. Wie geht das?"

Grundsätzlich werden Gewichte, Ersatzimperfektionen und Lastangriffshöhen bei den Querschnittstypen 1 und 2 normgerecht automatisch vorgegeben, um eine möglichst einfache Programmbedienung zu gewährleisten. Die Veränderung der Werte bedeutet i.d.R. eine Verletzung der Normen. Sollte jedoch einmal eine Berechnung mit anderen Werten erforderlich sein, kann wie folgt vorgegangen werden:

+ Bildschirmseite, "Spannungsnachweis nach DIN 18800..." auswählen.

+ Man gebe im Eingabefeld 4 als Querschnitt "HEB;HEA;HEM" (Typ 1) oder "Schweißträger" (Typ 2) samt den entsprechenden Daten an und lese im Feld 5 des Nachweisfensters die benötigten Querschnittswerte ab.

- + In Eingabefeld 4 wählt man nun als Querschnitt "Benutzerdefiniert" und gibt dort das angenommene Eigengewicht an.
- + Dann wählt man das Eingabefeld 5 und trägt dort die eben abgelesenen Querschnittswerte von Hand ein. In diesem Eingabefeld muß man nun auch die Ersatzimperfektion und die Lastangriffshöhe von Hand eintragen.
- + Eine Spannungsberechnung mit selbstgewählten Werten ist nun möglich.

i) "Wie müssen die Normalkräfte N im Kranbahnträger behandelt werden?"

- Normalkräfte aus Beschleunigen/Bremsen sind in aller Regel so gering, daß sie bezüglich des Spannungsnachweises der Kranbahn vernachlässigt werden können.
- Normalkräfte aus Pufferstoß gelten als außergewöhnliche Lasten, sie sind im Normalfall nicht dimensionierend für den Kranbahnträger. Im Programm BEM 10 werden die Pufferkräfte deshalb nicht berücksichtigt. Die Pufferkräfte spielen aber bei der Bemessung der Kranbahnverbände eine wichtige Rolle, deren Bemessung aber nicht zum Leistungsumfang von BEM 10 gehört.
- Sollte der Kranbahnträger durch nennenswerte zusätzliche Normalkräfte, die nicht aus dem Kranbetrieb resultieren, beansprucht sein, so muß geprüft werden, ob diese Normalkräfte vernachlässigt werden können oder nicht. In BEM 10 werden Normalkräfte nicht berücksichtigt.

j) "Stahlsorte: meine Kranbahn in nicht aus S235 oder S355. Was muß ich tun?"

- Die Stahlgüte hat Einfluß auf alle Tragsicherheitsnachweise. Soll ein anderer Stahl berücksichtigt werden, z.B. St44, sollte der Nachweis mit einem geringwertigen Stahl (z.B. St 235) durchgeführt werden. Im Ausdruck können dann die Nachweise von Hand verbessert werden.

k) "Elastische Schienenunterlage vorhanden. Was muß ich tun?"

- Die zulässige Reduzierung der Lasteinleitungsspannungen auf 75% bringt beim allgemeinen Spannungsnachweis und bei der BFU Vorteile, bei allen anderen Nachweisen nicht oder – wie beim Beulen – in nur sehr geringem Ausmaß. BEM10 bietet derzeit noch nicht die Möglichkeit, diese Spannungsabminderung anzuwenden. Wenn dies trotzdem geschehen soll, sollten zunächst alle Nachweiseiten mit BEM10 ausgedruckt werden. Dann prüft man, ob ein Einzelnachweis (AS oder BFU), bei dem die lokalen Spannungen eine Rolle spielen, kritisch wird. Ist das der Fall, ändert man den Nachweis von Hand. Dies ist auch bei Vergleichsspannungen gut möglich, da grundsätzlich alle Spannungskomponenten im Ausdruck angegeben sind.

l) "Wenn die von mir zu entwerfende Kranbahn nicht mit BEM10 berechnet werden kann, wer kann mich hinsichtlich der Nachweisführung beraten?"

- Kontakt zum Autor dieses Handbuchs: www.seesselberg.de
E-Mail: christoph@seesselberg.de
Beratung, die über die Bedienung von BEM10 hinausgeht, ist nicht im Preis für dieses Programm enthalten.

Literatur

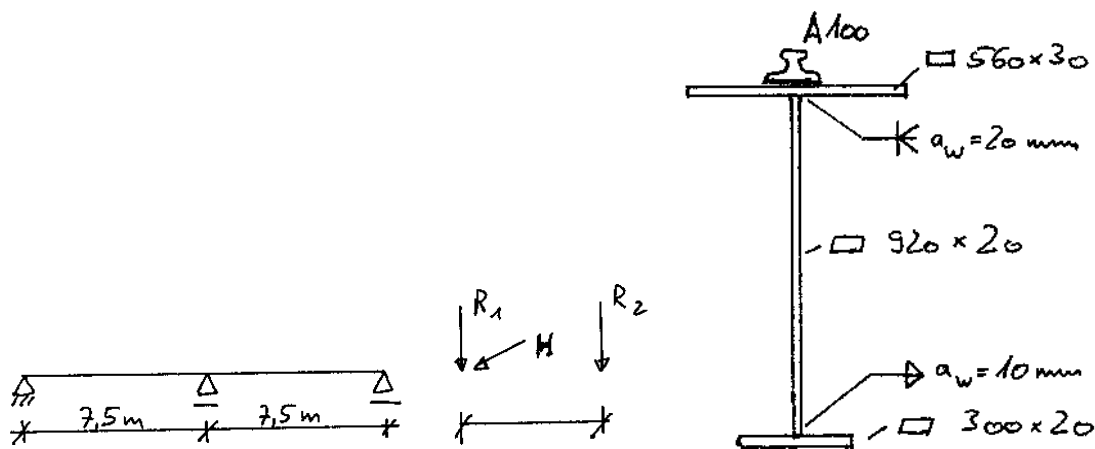
- [1] Steigenberger, C.; Erstellung eines Programmes für die Berechnung und den Nachweis von Kranbahnträgern, Diplomarbeit FH München, 1999
- [2] Seeßelberg, C.; Aktuelle Berechnungs- und Nachweisverfahren für Kranbahnträger; in: Tagungsband Aktuelles Stahlbauseminar Siegen, 1999. Dieser Aufsatz läßt sich unter: "<http://home.t-online.de/home/chr.seesselberg/siegen.zip>" aus dem Internet herunterladen (mit ZIP gepackte Word 97-Datei). In diesem Paper sind die Grundlagen von Berechnung und Nachweis von Kranbahnträgern beschrieben.
- [3] Petersen, Statik und Stabilität der Baukonstruktion, 1. Aufl., Braunschweig, Wiesbaden 1980
- [4] von Berg, D.; Krane und Kranbahnen, Teubner Verlag, 2. Auflage 1989
- [5] Seeßelberg, C.: Zum neuen Tragsicherheitsnachweis von Kranbahnträgern nach Anpassungsrichtlinie Stahlbau und DIN 18800; in: Stahlbau 12/1997, S. 830-839 und: Nachträgliche Anmerkungen; Stahlbau 4/1998, S. 329f
- [6] Petersen, Stahlbau, 3. Auflage, Braunschweig, Wiesbaden 1993
- [7] Rose; Ein Beitrag zur Berechnung von Kranbahnen; in: Der Stahlbau Heft 6/1958
- [8] Thiele, Lohse; Stahlbau 2; Teubner Verlag, 18. Auflage, Stuttgart 1997
- [9] Seeßelberg, C.: Kranbahnen nach DIN 4132 und DIN 18800; in: Schneider - Bautabellen, 14. Auflage, Kapitel 8 C, S. 8.96ff; Werner Verlag, Düsseldorf 2000
- [10] Seeßelberg, C.: Kranbau – Script für die Vorlesung Kranbau – Tragwerke der Fördertechnik im Studiengang Stahlbau an der FH München; Eigenverlag, März 2001; siehe auch www.stahlbaustudium.de

Anhang A - Beispiele

Beispiel 1: Kranbahnträger für schweren Betrieb

Gegeben:

- Zweifeldriger Kranbahnträger, Feldweiten 7,5 m
- Schweißprofil Obergurt: 560*30; Steg 920*20; Untergurt 300*20, Stahl S 355
- H2 / B4
- Kranschiene A100 geklemmt
- Zweiachsige Kranbrücke EFF mit $R_1 = R_2 = 400$ kN; $H = 90$ kN, Abstand der Räder: $a = 3,2$ m
- Berechnungsergebnisse siehe Anlage, Fußzeile "bsp-Handbuch.kr2"



Beispiel 2: Kranbahnträger als Walzprofil

Gegeben:

- Dreifeldriger Kranbahnträger, Feldweiten 6 m, 2 Krane
- HEB 320
- H2 / B3
- Flachstahlschiene 50mm * 40 mm
- Kran 1 EFF mit $R_1 = R_2 = 80$ kN; $H = 18$ kN, Abstand der Räder: $a = 3,2$ m
- Kran 2 EFF mit $R_3 = R_4 = 50$ kN, Abstand der Räder: $c = 2,5$ m; Abstand der Krane 0,90m

Berechnungsergebnisse siehe Anlage, Fußzeile "bsp2-Handbuch.kr2"

Beispiel 3:

Wie Beispiel 1(Schweißprofil), jedoch wurde exakt derselbe Querschnitt als Typ3 – benutzerdefiniert angegeben.

Dieses Beispiel soll aufzeigen, welche Nachweise für Typ3-Querschnitte ausgeführt werden im Unterschied zu Typ1 oder Typ2 Querschnitten.

Berechnungsergebnisse siehe Anlage, Fußzeile “bsp3-Handbuch.kr2”

Der Vergleich der Ergebnisse mit denen aus Bsp. 1 ergibt:

- Es werden weniger Nachweise ausgeführt, da für den Typ3 weniger Informationen zur Verfügung stehen.
- Die für Typ3 ausgegebenen Ergebnisse stimmen mit denen aus Bsp. 1 überein mit Ausnahme der horizontalen Durchbiegung. Der Unterschied in der horizontalen Durchbiegung ist auf die bei Typ3 fehlende Kenntnis des Trägheitsmoments I_z des Obergurts zurückzuführen. Auf der sicheren Seite liegend wird angenommen $I_{z,Og} = I_z / 2$. Bei Typ2 und Typ1 wird dagegen die Obergurtquersteifigkeit genau berechnet.

Systemdaten und charakteristische Schnittgrößen des Kranbahnträgers



Der Kranbahnträger ist ein **Zweifeldträger**
 Feldlänge des Kranbahnträgers **7,50 m** Kran kann über den Träger hinausfahren **Ja**
 Hubklasse Kran 1 : **H2** Anzahl der Kranbrücken : **1**
 Schwingbeiwert Kran 1 $\varphi = 1,2$ Beanspruchungsgruppe: **4**
 Die Kranräder können über den Kranbahnträger hinaus fahren.

charakteristische Radlasten

Kran 1: vertikale Radlasten (ohne Schwingbeiwert): $R_{1k} = 400,0 \text{ kN}$ $R_{2k} = 400,0 \text{ kN}$
 entnommen aus...
 Radstand der Kranbahnbrücke 1 **3,20 m**

Kran 2: n.v.

 vertikale Radlasten $F_k = \varphi * R_k$ $F_{1k} = 480,0 \text{ kN}$ $F_{2k} = 480,0 \text{ kN}$
 $F_{3k} = 0,0 \text{ kN}$ $F_{4k} = 0,0 \text{ kN}$

horizontale Radlast : $H_k = 90,0 \text{ kN}$
 entnommen aus...

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **Schweißprofil** Obergurtblech 560 x 30 Stegblech 920 x 20 Untergurtblech 300 x 20
 Schiene : **A100** statisch nicht berücksichtigt
 charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m** inklusive Schiene

max / min charakt. Schnittgrößen aus Th. I. O. (Schwingbeiwert gem. DIN 4132 berücksichtigt)

	Stelle max. M_y Feld bei $x = 12,20 \text{ m}$	Stelle max. M_z Feld bei $x = 11,76 \text{ m}$	Lager B (max. Stützmoment)	Stelle max. Q_z (bei Lager B)	
aus F_k					
$M_{y,k}$	907,10	882,38	-550,39	-343,45	kNm
$Q_{z,k,li}$	156,07	207,66	-566,19	-45,79	kN
$Q_{z,k,re}$	-323,93	-272,34	73,40	800,98	kN
aus H_k					
$M_{z,k}$	137,83	140,06	-57,11	-64,39	kNm
$Q_{y,k,li}$	40,78	43,28	-73,02	-8,59	kN
$Q_{y,k,re}$	-49,22	-46,72	7,62	60,19	kN
aus g_k					
$M_{y,k}$	15,73	15,37	-27,97	-27,97	kNm
$Q_{z,k}$	-0,05	1,70	-18,64	-18,64	kN

Auflagerkräfte

maximale / minimale charakteristische Auflagerkräfte

(ohne Berücksichtigung benachbarter Kranbahnträger) Kran 1: $\varphi = 1,2$

		aus $F_k=R_k \varphi$	aus H_k	aus g_k		
A_{kV}	max	713,63	-	11,19	kN	(Randauflager, vertikal)
	min	-73,40	-	11,19	kN	
B_{kV}	max	897,86	-	37,29	kN	(Mittelauflager, vertikal)
	min	0,00	-	37,29	kN	
A_{kH}	max	-	90,00	-	kN	(Randauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-90,00	-	kN	
B_{kH}	max	-	90,00	-	kN	(Mittelauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-90,00	-	kN	

- Die horiz. Auflagerkraft längs der Kranbahn (KrB) ergibt sich aus der Pufferkraft
Sie gilt als außergewöhnliche Einwirkung und kann dem Kranleistungsblatt entnommen werden

maximale / minimale Bemessungswerte der Auflagerkräfte

		mit $\varphi = 1,2$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Kranbahn	mit $\varphi = 1,1$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Unterstützungen
Vertikale Endauflagerkraft	max	1085,55 kN	996,35 kN
	min	-95,00 kN	-85,82 kN
Vertikale Mittelauflegerkraft bei Mehrfeldträgern	max	1397,13 kN	1284,89 kN
	min	50,34 kN	50,34 kN
Vertikale Auflagerkraft am gelenkigen Stoß zwischen zwei benachbarten Kranbahnträgern	max	1100,65 kN	1011,45 kN
	min	-108,04 kN	-96,52 kN
Horizontale Auflagerkraft A_{H1} quer zur Schiene, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	121,50 kN	121,50 kN
Torsionsmoment, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	22,86 kNm	22,86 kNm

Anmerkungen:

- An der gegenüberliegenden Kranbahn wirkt gleichzeitig mit A_{H1} die Kraft $A_{H2} = - A_{H1}$

BDK-Nachweis als Spannungsnachweis nach DIN 18800 T2

und allgemeiner Spannungsnachweis nach DIN 18800 T1

Stahl S 235 Streckgrenze $f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$ E-Modul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_M = 1,1$ $\tau_{R,d} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$ $21,82 \text{ kN/cm}^2$ Schubmodul $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : Schweißprofil Og-Blech 560 x 30 Stegblech 920 x 20 Ug-Blech 300 x 20

Schiene : A100 statisch nicht berücksichtigt

charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m** inklusive Schiene

Querschnittswerte $I_y = 576892 \text{ cm}^4$ $I_z = 48465 \text{ cm}^4$

$I_T = 829 \text{ cm}^4$ $C_M = 36450120 \text{ cm}^6$

Widerstandsmomente Flanschecke $W_y = 15816 \text{ cm}^3$ $W_z = 1731 \text{ cm}^3$

Hauptverwölbung Flanschecke $\omega_m = 247 \text{ cm}^2$

Abstand Unterkante - Schwerpunkt $e = 60,5 \text{ cm}$

Angriffshöhe der Radlasten bez. auf den Schubmittelpunkt $ey = 18,82 \text{ cm}$

nach DIN 18800 T2 KSL $c \cdot w_0 = l_{\text{Stütz}} / 200$ $ez = 0,5 \cdot 2/3 \cdot w_0$ nach Ele.(201),(202)

Vorkrümmung in Feldmitte $ez = 1,25 \text{ cm}$

a) Normalspannungen an der Ecke des Oberflanschs im Feldmaximum nach Th.II.O.

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 0,9 \cdot 1,5 \cdot F_k + 0,9 \cdot 1,5 \cdot H_k$

maßgebende Biegemomente $M_{y,d} = 1245,8 \text{ kNm}$ $M_{z,d} = 186,1 \text{ kNm}$

maßgebende Verdrehung $\vartheta_d = 0,0261 \text{ rad}$

maßgebendes Wölbmoment $M_{\omega,d} = 483963,3 \text{ kNcm}^2$

$$s_{v,d} = s_{x,d} = \frac{M_{y,d} - J_d \cdot M_{z,d}}{W_y} + \frac{M_{z,d} + J_d \cdot M_{y,d}}{W_z} + \frac{M_{\omega,d} \cdot w_{mo}}{C_M} = 23,75 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis	$\frac{\max \sigma_{v,d}}{1,1 \sigma_{R,d}} = \frac{23,75}{24,00} = 0,99 < 1,00$	Nachweis erfüllt.

Der Faktor 1,1 berücksichtigt örtlich begrenzte Plastizierung nach DIN 18800 T2 Ele. 121

b) Vergleichsspannung am oberen Stegrand an der Stelle $x = 7,5 \text{ m}$

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$ Zwischenaufleger, max Q

Vergleichsspannung $\sigma_{v,d} = 18,71 \text{ kN/cm}^2$ aus $\sigma_{x,d} = 3,21 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_d = 6,67 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{z,d} = -12,86 \text{ kN/cm}^2$

Schnittgrößen: $Myd = -552,94 \text{ kNm}$ $Qzd = 1226,65 \text{ kN}$

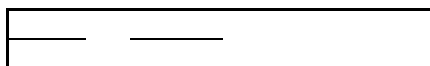
Nachweis	$\frac{\sigma_{v,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{18,71}{21,82} = 0,86 < 1,00$	Nachweis erfüllt.

c) Zugspannungen im Feld an der Trägerunterkante EK $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$

Nachweis	$\frac{\sigma_{x,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{14,50}{21,82} = 0,66 < 1,00$	Nachweis erfüllt.

d) Schienenschweißnahtspannungen (Stelle max Q)

Es gibt keine Schienenschweißnaht



e) Steghalsnahtspannungen oben (Stelle max Q)

Summe $a_w = 20$

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$ t-Steg = 20

Vergleichswert (El.825) $\sigma_{w,d} = 14,48 \text{ kN/cm}^2$ aus $\tau_{xz,d} = 6,67 \text{ kN/cm}^2$

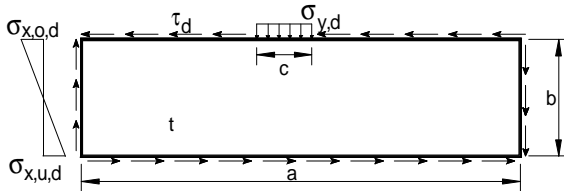
Stumpfnah $\sigma_{senkr.,d} = 12,86 \text{ kN/cm}^2$

Nachweis	$\frac{\sigma_{w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{14,48}{21,82} = 0,66 < 1,00$	Nachweis erfüllt.

Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast nach DIN 18800 Teil3

Stahl S 235	Streckgrenze	$f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$	Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
	Sicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$	Bezugsspannung $\sigma_e = 9,0 \text{ kN/cm}^2$
	Grenznormalspannung	$\sigma_{R,d} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$	mit $\mu = 0,3$
	Grenzschubspannung	$\tau_{R,d} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$	

Beulfeldmaße



Beulfeldlänge	a = 750,0 cm
Beulfeldhöhe	b = 92,00 cm
Beulfelddicke	t = 2,00 cm
Lasteinleitungsbreite	c = 28,0 cm
min. Radabstand	3,2 m
Benachbartes Rad berücksichtigt?	JA
c vergrößert auf	c = 50,8 cm

Spannungen (nach DIN 18800 Teil3 Druckspannung positiv)

für die Lastfallkombination $1,35 * g_k + 1,5 * F_k$

Normalspannung am oberen Beulfeldrand	$\sigma_{x,o,d} = 8,02 \text{ kN/cm}^2$
Normalspannung am unteren Beulfeldrand	$\sigma_{x,u,d} = -14,02 \text{ kN/cm}^2$
Lasteinleitungsspannung	$\sigma_{y,d} = 12,86 \text{ kN/cm}^2$
Schubspannung	$\tau_d = 2,64 \text{ kN/cm}^2$

Beulwerte

$k_{\sigma_x} = 45,22$ nach Petersen, Statik, Tafel 8.5-I	mit $\alpha = 8,15$ und $\psi = -1,75$
$k_{\sigma_y} = 0,35$ nach Petersen, Stahlbau, Kap. 21, Bild 86	mit $\alpha = 8,15$ und $\beta = 0,068$
$k_{\tau} = 5,40$ nach DIN 4114, Blatt 1, Tafel 6	

Abminderungsfaktoren

$\kappa_x = 1,00$ kein knickstabähnliches Verhalten	$\kappa_y = 0,96$ kein knickstabähnliches Verhalten
$\kappa_{\tau} = 1,00$	

Grenzbeulspannungen

$$\sigma_{xP,R,d} = \kappa_x \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{yP,R,d} = \kappa_y \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{P,R,d} = \kappa_{\tau} \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweise

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 501

$\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} = \frac{8,02}{21,82} = 0,37 < 1,00$	$\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} = \frac{12,86}{21,01} = 0,61 < 1,00$	$\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} = \frac{2,64}{12,60} = 0,21 < 1,00$
---	--	--

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 503

mit $e1 = 2,00$ $e2 = 1,86$ $e3 = 1,96$ $v = 0,80$

$\left(\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} \right)^{e1} + \left(\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} \right)^{e2} - v \cdot \left(\frac{\sigma_{x,o,d} \cdot \sigma_{y,d}}{\sigma_{xP,R,d} \cdot \sigma_{yP,R,d}} \right) + \left(\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} \right)^{e3} = 0,40 < 1,00$
--

**Beulsicherheit
ausreichend !**

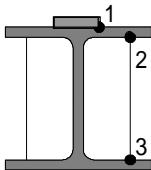
Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

Stahl S 235 Beanspruchungsgruppe B4 Lastfallkombination $1,0 \cdot g_k + 1,0 \cdot F_k$

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **Schweißprofil** Obergurtblech 560 x 30 Stegblech 920 x 20 Untergurtblech 300 x 20
 Schiene : **A100** statisch nicht berücksichtigt
 Querstreifen nur an den Auflagern

a) Normalspannungen s_x



Nachweisstellen :

Punkt 1	$W_y = 15816 \text{ cm}^3$	bei $x_1 = 12,20 \text{ m}$	Kerbfall W1
Punkt 2	$W_y = 17233 \text{ cm}^3$	bei $x_2 = 7,50 \text{ m}$	K3
Punkt 3	$W_y = 9857 \text{ cm}^3$	bei $x_3 = 7,50 \text{ m}$	K3

a1) Nachweis bei Befahrung der Kranbahn nur durch Kran 1

Pkt.	$\max M_y$ kNm	$\min M_y$ kNm	σ_{x0} kN/cm ²	σ_{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ_{Be} kN/cm ²	$\sigma_{x0} / \text{zul } \sigma_{Be}$
1	922,83	-189,78	-5,83	1,20	-0,21	16,00	0,36 < 1,00
2	-578,36	-27,97	3,36	0,16	0,05	15,34	0,22 < 1,00
3	-578,36	-27,97	-5,87	-0,28	0,05	16,00	0,37 < 1,00

a2) Nachweis bei Befahrung durch 2 Krane nach DIN 4132, Gl. (4)

Pkt.	$\max M_y$ kNm	$\min M_y$ kNm	σ_{x0} kN/cm ²	σ_{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ_{Be} kN/cm ²	Auslastung
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-

Es ist nur 1 Kran angegeben, daher Nachweis nach Gl. (4) nicht notwendig

Nachweis erfüllt

b) Schubspannungen aus Lasteinleitung in der Schienenschweißnaht

Kein Nachweis, da es keine Schienenschweißnaht gibt.

c) Schubspannungen aus Lasteinleitung in der oberen Steghalsnaht (Kehlnaht)

Kein Nachweis, da keine Halskehlnaht, sondern Stumpfnah

Fortsetzung BFU siehe nächste Seite

Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

(Fortsetzung)

Stahl **S 235** Beanspruchungsgruppe **B4** Lastfallkombination **1,0 * g_k + 1,0 * F_k**

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **Schweißprofil** Obergurtblech 560 x 30 Stegblech 920 x 20 Untergurtblech 300 x 20
Schiene : **A100** statisch nicht berücksichtigt
Querstreifen nur an den Auflagern

d) Lasteinleitungsspannungen s_z an der Stegoberkante des Schweißprofils

Zentrische Lasteinleitungsspannung σ_z infolge der größten Radlast = 8,57 kN/cm²
Stegbiegungsspannungen σ_z (nur bei BG4 bis BG 6) = 7,11 kN/cm²
Nachzuweisende Lasteinleitungsspannung σ_z (Summe) = 15,68 kN/cm²
Kerbklasse = k1
Spannungsspiel κ = 0
Zulässige Normalspannung zul σ_{Be} = 24,00 kN/cm²
Nachweis der maximalen Radlast, Auslastung: = **0,65** < 1,00
Kombinationsformel DIN 4132 Gl.(4), 1 Kran; Auslastung = **0,48** < 1,00

Nachweis erfüllt

e) Schubspannungen in der unteren Halskehlnaht (Doppelkehlnaht)

Querkraft max Q_z (Kran 1) = 820 kN
Nachzuweisende Kehlnahtschubspannung τ (mit $a_w = 10$ mm) = 2,54 kN/cm²
Spannungsspiel κ = 0
Zulässige Schubspannung zul τ_{Be} (Kran 1) = 8,10 kN/cm²
Nachweis Kran 1 (Auslastung) = **0,31** < 1,00

Nachweis erfüllt

Hinweis zu e) : τ wurde unter der Annahme berechnet, daß die Summe der unteren Kehlnahtdicken ($2 \cdot a_w$) der Stegdicke entspricht. Bei anderen Kehlnahtdicken sind die Auslastungsfaktoren entsprechend anzupassen.

f) s_x im Feldbereich an der Trägerunterkante

Feldmoment max M_y (Kran 1) = 923 kNm
Nachzuweisende Normalspannung σ_{x0} (Kran 1) = 9,68 kN/cm²
Spannungsspiel κ = -0,21
Zulässige Spannung zul σ_{Be} (Kran 1) = 16,00 kN/cm²
Nachweis Kran 1 (Auslastung) = 0,61 < 1,00

Nachweis erfüllt

Die Betriebsfestigkeit ist nachgewiesen!

Gebrauchstauglichkeitsnachweis

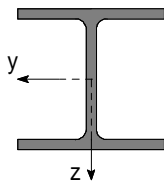
Stahl S 235 Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Querschnittstyp und charakt. Eigengewicht des Kranbahnträgers

Typ : **Schweißprofil** Obergurtblech 560 x 30 Stegblech 920 x 20 Untergurtblech 300 x 20

Schiene : **A100** statisch nicht berücksichtigt

charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m** inklusive Schiene



Trägheitsmomente $I_y = 576892 \text{ cm}^4$
 $I_z = 48465 \text{ cm}^4$

max. Durchbiegungen des Kranbahnträgers und Grenzempfehlungen

vertikal, infolge g_k und Radlasten R_{1k}, R_{2k} , ohne Schwingbeiwert, bezogen auf Schwerpunkt

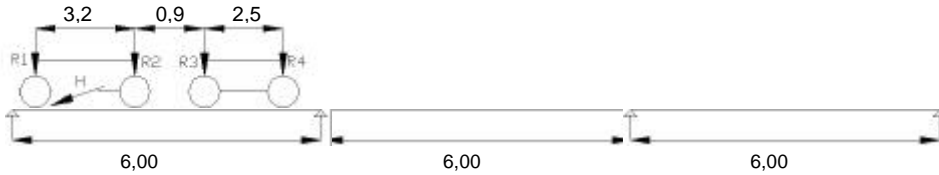
$$f_z = 0,30 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 2464 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

horizontal, bezogen auf die Schienenoberkante, infolge horizontaler Radlast H_k

$$f_y = 0,62 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 1210 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis erfüllt

Systemdaten und charakteristische Schnittgrößen des Kranbahnträgers



Der Kranbahnträger ist ein **Drei- oder Mehrfeldträger**
 Feldlänge des Kranbahnträgers **6,00 m** Kran kann über den Träger hinausfahren: **Ja**
 Hubklasse Kran 1 : **H2** Anzahl der Kranbrücken : **2**
 Schwingbeiwert Kran 1 $\varphi = 1,2$ Beanspruchungsgruppe: **3**
 Die Kranräder können über den Kranbahnträger hinaus fahren.

charakteristische Radlasten

(R1_k ist links angeordnet, die Kraft mit der größten Indexnummer rechts)

Kran 1: vertikale Radlasten (ohne Schwingbeiwert): entnommen aus: ...	R1 _k =	80,0 kN	R2 _k =	80,0 kN
Radstand der Kranbahnbrücke 1	3,20 m			

Kran 2: vertikale Radlasten (ohne Schwingbeiwert): entnommen aus: ...	R3 _k =	50,0 kN	R4 _k =	50,0 kN
Radstand der Kranbahnbrücke 2	2,50 m	Abstand der der beiden Kranbrücken		0,90 m

vertikale Radlasten F _k	= $\varphi \cdot R_k$	F1 _k =	96,0 kN	F2 _k =	96,0 kN
		F3 _k =	55,0 kN	F4 _k =	55,0 kN

horizontale Radlast Kran 1: entnommen aus: ...	H _k =	18,0 kN
---	------------------	---------

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **HEB320**

Schiene : **50 x 40** statisch nicht berücksichtigt

charakteristisches Eigengewicht: **1,42 kN/m** inklusive Schiene

max / min charakt. Schnittgrößen aus Th. I. O. (Schwingbeiwert gem. DIN 4132 berücksichtigt)

	Stelle max. M _y Feld bei x = 15,80 m	Stelle max. M _z Feld bei x = 15,38 m	Lager B (max. Stützmoment)	Stelle max. Q _z (bei Lager B)	
aus F _k					
M _{y,k}	166,73	165,95	-142,18	-91,87	kNm
Q _{z,k,li}	53,07	69,09	-90,33	181,97	kN
Q _{z,k,re}	-42,93	-26,91	142,21	-54,88	kN
aus H _k					
M _{z,k}	21,84	22,09	-8,97	-7,70	kNm
Q _{y,k,li}	8,12	9,56	-1,86	-8,30	kN
Q _{y,k,re}	-9,88	-8,44	15,30	1,28	kN
aus g _k					
M _{y,k}	3,94	3,91	-5,48	-5,48	kNm
Q _{z,k}	-0,22	0,38	-3,96	5,80	kN

Auflagerkräfte

maximale / minimale charakteristische Auflagerkräfte

(ohne Berücksichtigung benachbarter Kranbahnträger) Kran 1: $\varphi = 1,2$ Kran 2: $\varphi = 1,1$

		aus $F_k=R_k \varphi$	aus H_k	aus g_k		
A_{kV}	max	150,70	-	3,36	kN	(Randauflager, vertikal)
	min	-10,27	-	3,36	kN	
B_{kV}	max	238,95	-	9,76	kN	(Mittelauflager, vertikal)
	min	-23,15	-	9,76	kN	
A_{kH}	max	-	18,00	-	kN	(Randauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-18,00	-	kN	
B_{kH}	max	-	18,00	-	kN	(Mittelauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-18,00	-	kN	

- Die horiz. Auflagerkraft längs der Kranbahn (KrB) ergibt sich aus der Pufferkraft
 Sie gilt als außergewöhnliche Einwirkung und kann dem Kranleistungsblatt entnommen werden

maximale / minimale Bemessungswerte der Auflagerkräfte

		mit $\varphi = 1,2$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Kranbahn	mit $\varphi = 1,1$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Unterstützungen
Vertikale Endauflagerkraft	max	230,58 kN	211,74 kN
	min	-10,87 kN	-9,59 kN
Vertikale Mittelauflegerkraft bei Mehrfeldträgern	max	371,60 kN	341,73 kN
	min	-21,55 kN	-18,65 kN
Vertikale Auflagerkraft am gelenkigen Stoß zwischen zwei benachbarten Kranbahnträgern	max	300,14 kN	275,89 kN
	min	-27,18 kN	-24,16 kN
Horizontale Auflagerkraft A_{H1} quer zur Schiene, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	24,30 kN	24,30 kN
Torsionsmoment, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	4,62 kNm	4,62 kNm

Anmerkungen:

- An der gegenüberliegenden Kranbahn wirkt gleichzeitig mit A_{H1} die Kraft $A_{H2} = -A_{H1}$
- A_{H1} für die Unterstützungen gilt gemäß DIN 4132 Kap. 3.2.3.2 unter der Bedingung, daß die beiden Krane nicht dazu eingesetzt werden, gemeinsam (!) besonders schwere Lasten zu heben.

BDK-Nachweis als Spannungsnachweis nach DIN 18800 T2

und allgemeiner Spannungsnachweis nach DIN 18800 T1

Stahl S 235 Streckgrenze $f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$ E-Modul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
 $\gamma_M = 1,1$ $\tau_{R,d} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$ $21,82 \text{ kN/cm}^2$ Schubmodul $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **HEB320**

Schiene : **50 x 40** statisch nicht berücksichtigt

charakteristisches Eigengewicht: **1,42 kN/m** inklusive Schiene

Querschnittswerte $I_y = 30820 \text{ cm}^4$ $I_z = 9239 \text{ cm}^4$

$I_T = 225 \text{ cm}^4$ $C_M = 2069000 \text{ cm}^6$

Widerstandsmomente Flanschecke $W_y = 1926 \text{ cm}^3$ $W_z = 616 \text{ cm}^3$

Hauptverwölbung Flanschecke $\omega_m = 225 \text{ cm}^2$

Abstand Unterkante - Schwerpunkt $e = 16,0 \text{ cm}$

Angriffshöhe der Radlasten bez. auf den Schubmittelpunkt $e_y = 19,00 \text{ cm}$

nach DIN 18800 T2 KSL $c \cdot w_0 = l_{\text{Stütz}} / 200$ $e_z = 0,5 \cdot 2/3 \cdot w_0$ nach Ele.(201),(202)

Vorkrümmung in Feldmitte $e_z = 1,00 \text{ cm}$

a) Normalspannungen an der Ecke des Oberflanschs im Feldmaximum nach Th.II.O.

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 0,9 \cdot 1,5 \cdot F_k + 0,9 \cdot 1,5 \cdot H_k$

maßgebende Biegemomente $M_{y,d} = 229,3 \text{ kNm}$ $M_{z,d} = 29,8 \text{ kNm}$

maßgebende Verdrehung $\vartheta_d = 0,0313 \text{ rad}$

maßgebendes Wölbmoment $M_{\omega,d} = 55068,6 \text{ kNcm}^2$

$$s_{v,d} = s_{x,d} = \frac{M_{y,d} - J_d \cdot M_{z,d}}{W_y} + \frac{M_{z,d} + J_d \cdot M_{y,d}}{W_z} + \frac{M_{\omega,d} \cdot w_{mo}}{C_M} = 23,84 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis $\frac{\max \sigma_{v,d}}{1,1 \cdot \sigma_{R,d}} = \frac{23,84}{24,00} = 0,99 < 1,00$ **Nachweis erfüllt.**

Der Faktor 1,1 berücksichtigt örtlich begrenzte Plastizierung nach DIN 18800 T2 Ele. 121

b) Vergleichsspannung am oberen Stegrand an der Stelle x = 12 m

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$ Zwischenaufleger, max Q

Vergleichsspannung $\sigma_{v,d} = 17,24 \text{ kN/cm}^2$ aus $\sigma_{x,d} = 5,30 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_d = 8,15 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{z,d} = -6,11 \text{ kN/cm}^2$

Schnittgrößen: $M_{y,d} = -145,20 \text{ kNm}$ $Q_{z,d} = 280,78 \text{ kN}$

Nachweis $\frac{\sigma_{v,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{17,24}{21,82} = 0,79 < 1,00$ **Nachweis erfüllt.**

c) Zugspannungen im Feld an der Trägerunterkante EK $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$

$\frac{\sigma_{x,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{13,26}{21,82} = 0,61 < 1,00$ **Nachweis erfüllt.**

d) Schienenschweißnahtspannungen (Stelle max Q) $a_w = 6 \text{ mm}$

für die Einwirkungskombination $1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot F_k$

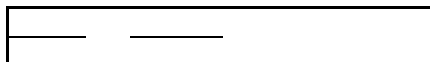
Vergleichswert (El.825) $\sigma_{w,d} = 11,09 \text{ kN/cm}^2$ aus $\tau_{xz,d} = 1,99 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_{\text{senkr.,d}} = 10,91 \text{ kN/cm}^2$

Nachweis $\frac{\sigma_{w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{11,09}{17,45} = 0,64 < 1,00$ **Nachweis erfüllt.**

e) Steghalsnahtspannungen oben (Stelle max Q)

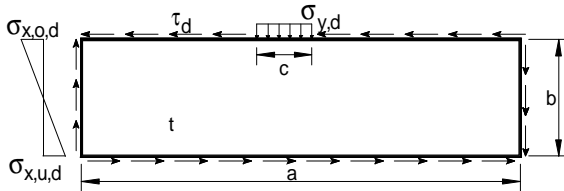
Es gibt keine Halsnaht



Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast nach DIN 18800 Teil3

Stahl S 235	Streckgrenze	$f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$	Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
	Sicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$	Bezugsspannung $\sigma_e = 49,6 \text{ kN/cm}^2$
	Grenznormalspannung	$\sigma_{R,d} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$	mit $\mu = 0,3$
	Grenzschubspannung	$\tau_{R,d} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$	

Beulfeldmaße



Beulfeldlänge	a = 600,0 cm
Beulfeldhöhe	b = 22,50 cm
Beulfelddicke	t = 1,15 cm
Lasteinleitungsbreite	c = 20,5 cm
min. Radabstand	0,9 m
Benachbartes Rad berücksichtigt?	JA
c vergrößert auf	c = 31,3 cm

Spannungen (nach DIN 18800 Teil3 Druckspannung positiv)

für die Lastfallkombination $1,35 * g_k + 1,5 * F_k$

Normalspannung am oberen Beulfeldrand	$\sigma_{x,o,d} = 9,32 \text{ kN/cm}^2$
Normalspannung am unteren Beulfeldrand	$\sigma_{x,u,d} = -9,32 \text{ kN/cm}^2$
Lasteinleitungsspannung	$\sigma_{y,d} = 6,11 \text{ kN/cm}^2$
Schubspannung	$\tau_d = 2,30 \text{ kN/cm}^2$

Beulwerte

$k_{\sigma_x} = 23,90$ nach Petersen, Statik, Tafel 8.5-I	mit $\alpha = 26,67$ und $\psi = -1,00$
$k_{\sigma_y} = 0,14$ nach Petersen, Stahlbau, Kap. 21, Bild 86	mit $\alpha = 26,67$ und $\beta = 0,052$
$k_{\tau} = 5,35$ nach DIN 4114, Blatt 1, Tafel 6	

Abminderungsfaktoren

$\kappa_x = 1,00$ kein knickstabähnliches Verhalten	$\kappa_y = 0,98$ knickstabähnliches Verhalten
$\kappa_{\tau} = 1,00$	

Grenzbeulspannungen

$$\sigma_{xP,R,d} = \kappa_x \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{yP,R,d} = \kappa_y \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,28 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{P,R,d} = \kappa_{\tau} \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweise

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 501

$\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} = \frac{9,32}{21,82} = 0,43 < 1,00$	$\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} = \frac{6,11}{21,28} = 0,29 < 1,00$	$\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} = \frac{2,30}{12,60} = 0,18 < 1,00$
---	---	--

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 503

mit $e1 = 2,00$ $e2 = 1,90$ $e3 = 1,98$ $v = 0,86$

$\left(\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} \right)^{e1} + \left(\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} \right)^{e2} - v \cdot \left(\frac{\sigma_{x,o,d} \cdot \sigma_{y,d}}{\sigma_{xP,R,d} \cdot \sigma_{yP,R,d}} \right) + \left(\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} \right)^{e3} = 0,21 < 1,00$
--

**Beulsicherheit
ausreichend !**

Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

Stahl **S 235** Beanspruchungsgruppe **B3** Lastfallkombination **1,0 * g_k + 1,0 * F_k**
 BG 2. Kran **B3** max. 10% gemeinsamer Betrieb

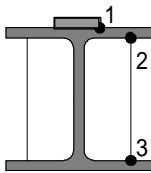
Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **HEB320**

Schiene : **50 x 40** statisch nicht berücksichtigt

Querstreifen nur an den Auflagern

a) Normalspannungen s_x



Nachweisstellen :

Punkt 1	$W_y =$	1926 cm ³	bei $x_1 =$	15,80 m	K1
Punkt 2	$W_y =$	2209 cm ³	bei $x_2 =$	6,00 m	K3
Punkt 3	$W_y =$	2209 cm ³	bei $x_3 =$	6,00 m	K3

a1) Nachweis bei Befahrung der Kranbahn nur durch Kran 1

Pkt.	maxM _y kNm	minM _y kNm	σ_{x0} kN/cm ²	σ_{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ_{Be} kN/cm ²	$\sigma_{x0} / \text{zul } \sigma_{Be}$
1	133,19	-27,27	-6,91	1,42	-0,20	16,00	0,43 < 1,00
2	-103,69	-6,40	4,69	0,29	0,06	16,00	0,29 < 1,00
3	-103,69	-6,40	-4,69	-0,29	0,06	16,00	0,29 < 1,00

a2) Nachweis bei Befahrung durch 2 Krane nach DIN 4132, Gl. (4)

BG 1

Pkt.	maxM _y kNm	minM _y kNm	σ_{x0} kN/cm ²	σ_{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ_{Be} kN/cm ²	Auslastung
1	170,67	-18,65	-8,86	0,97	-0,11	16,00	0,55 < 1,00
2	-147,66	-5,48	6,68	0,25	0,04	16,00	0,42 < 1,00
3	-147,66	-5,48	-6,68	-0,25	0,04	16,00	0,42 < 1,00

Nachweis erfüllt

b) Schubspannungen aus Lasteinleitung in der Schienenschweißnaht

(Nachweis wird nur dargestellt, wenn es eine Schienenschweißnaht gibt)

Kehlhahtdicke	$a_w =$	6 mm
Vorhandene Schubspannung	$\tau_{\text{senkrecht}} =$	7,27 kN/cm ²
Zulässige Schubspannung	zul $\tau_{Be} (\kappa=0) =$	10,18 kN/cm ²
Nachweis der einzelnen Radlast	$\tau / \tau_{Be} =$	0,71 < 1,00
Kombinationsformel DIN 4132 Gl.(4), 1 Kran; Auslastung	$=$	0,65 < 1,00
Kombinationsformel DIN 4132 Gl.(4), 2 Krane; Auslastung	$=$	0,76 < 1,00

Die Radlasten werden gem.DIN 4132 über die Kehl nähte, nicht über Kontakt von der Schiene in den Oberflansch geleitet.

Nachweis erfüllt

Die Betriebsfestigkeit ist nachgewiesen!

Gebrauchstauglichkeitsnachweis

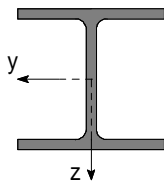
Stahl S 235 Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Querschnittstyp und charakt. Eigengewicht des Kranbahnträgers

Typ: HEB320

Schiene : 50 x 40 statisch nicht berücksichtigt

charakteristisches Eigengewicht: 1,42 kN/m inklusive Schiene



Trägheitsmomente $I_y = 30820 \text{ cm}^4$
 $I_z = 9239 \text{ cm}^4$

max. Durchbiegungen des Kranbahnträgers und Grenzempfehlungen

vertikal, infolge g_k und Radlasten R_{1k}, R_{2k} , ohne Schwingbeiwert, bezogen auf Schwerpunkt

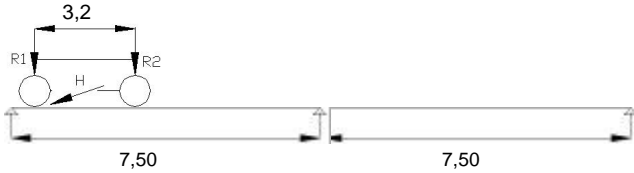
$$f_z = 0,66 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 915 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

horizontal, bezogen auf die Schienenoberkante, infolge horizontaler Radlast H_k

$$f_y = 0,59 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 1025 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis erfüllt

Systemdaten und charakteristische Schnittgrößen des Kranbahnträgers



Der Kranbahnträger ist ein **Zweifeldträger**
 Feldlänge des Kranbahnträgers **7,50 m** Kran kann über den Träger hinausfahren: **Ja**
 Hubklasse Kran 1 : **H2** Anzahl der Kranbrücken : **1**
 Schwingbeiwert Kran 1 $\varphi = 1,2$ Beanspruchungsgruppe: **4**
 Die Kranräder können über den Kranbahnträger hinaus fahren.

charakteristische Radlasten

(R1_k ist links angeordnet, die Kraft mit der größten Indexnummer rechts)

Kran 1: vertikale Radlasten (ohne Schwingbeiwert): entnommen aus: ...	R1 _k =	400,0 kN	R2 _k =	400,0 kN
Radstand der Kranbahnbrücke 1	3,20 m			

Kran 2: n.v.

vert. Radlasten mit Schwingbeiw., F _k	=	$\varphi \cdot R_k$	F1 _k =	480,0 kN	F2 _k =	480,0 kN
--	---	---------------------	-------------------	----------	-------------------	----------

horizontale Radlast Kran 1: entnommen aus: ...	H _k =	90,0 kN
---	------------------	---------

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ: **Benutzerdef.**

charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m**

max / min charakt. Schnittgrößen aus Th. I. O. (Schwingbeiwert gem. DIN 4132 berücksichtigt)

	Stelle max. M _y Feld bei x = 12,20 m	Stelle max. M _z Feld bei x = 11,76 m	Lager B (max. Stützmoment)	Stelle max. Q _z (bei Lager B)	
aus F _k					
M _{y,k}	907,10	882,38	-550,39	-343,45	kNm
Q _{z,k,li}	156,07	207,66	-566,19	-45,79	kN
Q _{z,k,re}	-323,93	-272,34	73,40	800,98	kN
aus H _k					
M _{z,k}	137,83	140,06	-57,11	-64,39	kNm
Q _{y,k,li}	40,78	43,28	-73,02	-8,59	kN
Q _{y,k,re}	-49,22	-46,72	7,62	60,19	kN
aus g _k					
M _{y,k}	15,74	15,38	-27,98	-27,98	kNm
Q _{z,k}	-0,05	1,70	-18,66	-18,66	kN

Auflagerkräfte

maximale / minimale charakteristische Auflagerkräfte

(ohne Berücksichtigung benachbarter Kranbahnträger) Kran 1: $\varphi = 1,2$

		aus $F_k=R_k \varphi$	aus H_k	aus g_k		
A_{kV}	max	713,63	-	11,19	kN	(Randauflager, vertikal)
	min	-73,40	-	11,19	kN	
B_{kV}	max	897,86	-	37,31	kN	(Mittelauflager, vertikal)
	min	0,00	-	37,31	kN	
A_{kH}	max	-	90,00	-	kN	(Randauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-90,00	-	kN	
B_{kH}	max	-	90,00	-	kN	(Mittelauflager, horiz., quer zur KrB)
	min	-	-90,00	-	kN	

- Die horiz. Auflagerkraft längs der Kranbahn (KrB) ergibt sich aus der Pufferkraft
Sie gilt als außergewöhnliche Einwirkung und kann dem Kranleistungsblatt entnommen werden

maximale / minimale Bemessungswerte der Auflagerkräfte

		mit $\varphi = 1,2$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Kranbahn	mit $\varphi = 1,1$ gem. DIN 4132, Tab.1 für Unterstützungen
Vertikale Endauflagerkraft	max	1085,56 kN	996,36 kN
	min	-94,99 kN	-85,81 kN
Vertikale Mittelauflegerkraft bei Mehrfeldträgern	max	1397,16 kN	1284,92 kN
	min	50,37 kN	50,37 kN
Vertikale Auflagerkraft am gelenkigen Stoß zwischen zwei benachbarten Kranbahnträgern	max	1100,67 kN	1011,47 kN
	min	-108,02 kN	-96,50 kN
Horizontale Auflagerkraft A_{H1} quer zur Schiene, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	121,50 kN	121,50 kN
Torsionsmoment, Extremalwert an allen Auflagern	+ / -	22,87 kNm	22,87 kNm

Anmerkungen:

- An der gegenüberliegenden Kranbahn wirkt gleichzeitig mit A_{H1} die Kraft $A_{H2} = - A_{H1}$

BDK-Nachweis als Spannungsnachweis nach DIN 18800 T2

und allgemeiner Spannungsnachweis nach DIN 18800 T1

Stahl S 235 Streckgrenze $f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$ E-Modul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
 $\gamma_M = 1,1$ $\tau_{R,d} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$ $21,82 \text{ kN/cm}^2$ Schubmodul $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **Benutzerdef.**

charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m**
 Querschnittswerte $I_y = 576892 \text{ cm}^4$ $I_z = 48465 \text{ cm}^4$
 $I_T = 829 \text{ cm}^4$ $C_M = 36450120 \text{ cm}^6$
 Widerstandsmomente Flanschecke $W_y = 15816 \text{ cm}^3$ $W_z = 1731 \text{ cm}^3$
 Hauptverwölbung Flanschecke $\omega_m = 247 \text{ cm}^2$
 Abstand Unterkante - Schwerpunkt $e = \text{cm}$
 Angriffshöhe der Radlasten bez. auf den Schubmittelpunkt $ey = 18,82 \text{ cm}$
 Vorkrümmung in Feldmitte $ez = 1,25 \text{ cm}$

a) Normalspannungen an der Ecke des Oberflanschs im Feldmaximum nach Th.II.O.

für die Einwirkungskombination $1,35 * g_k + 0,9 * 1,5 * F_k + 0,9 * 1,5 * H_k$
 maßgebende Biegemomente $M_{y,d} = 1245,8 \text{ kNm}$ $M_{z,d} = 186,1 \text{ kNm}$
 maßgebende Verdrehung $\vartheta_d = 0,0261 \text{ rad}$
 maßgebendes Wölbmoment $M_{\omega,d} = 484035,8 \text{ kNcm}^2$

$$s_{v,d} = s_{x,d} = \frac{M_{y,d} - J_d \cdot M_{z,d}}{W_y} + \frac{M_{z,d} + J_d \cdot M_{y,d}}{W_z} + \frac{M_{\omega,d} \cdot w_{mo}}{C_M} = 23,75 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis

$\frac{\max \sigma_{v,d}}{1,1 \sigma_{R,d}} = \frac{23,75}{24,00} = 0,99 < 1,00$
--

Nachweis erfüllt.

Der Faktor 1,1 berücksichtigt örtlich begrenzte Plastizierung nach DIN 18800 T2 Ele. 121

b) Vergleichsspannung am oberen Stegstrand an der Stelle x =

Nachweis wird nicht geführt

--

c) Zugspannungen im Feld an der Trägerunterkante EK $1,35 * g_k + 1,5 * F_k$

Nachweis wird nicht geführt

--

d) Schienenschweißnahtspannungen (Stelle max Q)

Es gibt keine Schienenschweißnaht

--

e) Steghalsnahtspannungen oben (Stelle max Q)

Nachweis wird nicht geführt

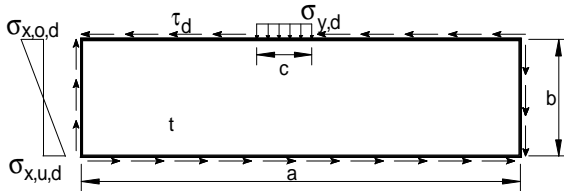
--

Weitere Nachweise von Hand nötig

Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast nach DIN 18800 Teil3

Stahl S 235	Streckgrenze	$f_{y,k} = 24,00$ kN/cm ²	Elastizitätsmodul E =	21000 kN/cm ²
	Sicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$	Bezugsspannung $\sigma_e =$	9,0 kN/cm ²
	Grenznormalspannung	$\sigma_{R,d} = 21,82$ kN/cm ²	mit $\mu =$	0,3
	Grenzschubspannung	$\tau_{R,d} = 12,60$ kN/cm ²		

Beulfeldmaße



Beulfeldlänge	a =	750,0 cm
Beulfeldhöhe	b =	92,00 cm
Beulfelddicke	t =	2,00 cm
Lasteinleitungsbreite	c =	50,8 cm
min. Radabstand		3,2 m
Benachbartes Rad berücksichtigt?		NEIN

Spannungen (nach DIN 18800 Teil3 Druckspannung positiv)

für die Lastfallkombination $1,35 * g_k + 1,5 * F_k$

Normalspannung am oberen Beulfeldrand	$\sigma_{x,o,d} =$	8,02 kN/cm ²
Normalspannung am unteren Beulfeldrand	$\sigma_{x,u,d} =$	-14,02 kN/cm ²
Lasteinleitungsspannung	$\sigma_{y,d} =$	12,86 kN/cm ²
Schubspannung	$\tau_d =$	2,64 kN/cm ²

Beulwerte

$k_{\sigma_x} = 45,21$ nach Petersen, Statik, Tafel 8.5-I	mit $\alpha = 8,15$ und $\psi = -1,75$
$k_{\sigma_y} = 0,35$ nach Petersen, Stahlbau, Kap. 21, Bild 86	mit $\alpha = 8,15$ und $\beta = 0,068$
$k_{\tau} = 5,40$ nach DIN 4114, Blatt 1, Tafel 6	

Abminderungsfaktoren

$\kappa_x = 1,00$ kein knickstabähnliches Verhalten	$\kappa_y = 0,96$ kein knickstabähnliches Verhalten
$\kappa_{\tau} = 1,00$	

Grenzbeulspannungen

$$\sigma_{xP,R,d} = \kappa_x \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{yP,R,d} = \kappa_y \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 21,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{P,R,d} = \kappa_{\tau} \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweise

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 501

$\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} = \frac{8,02}{21,82} = 0,37 < 1,00$	$\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} = \frac{12,86}{21,01} = 0,61 < 1,00$	$\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} = \frac{2,64}{12,60} = 0,21 < 1,00$
---	--	--

nach DIN 18800 Teil 3 Ele. 503

mit $e1 = 2,00$ $e2 = 1,86$ $e3 = 1,96$ $v = 0,80$

$\left(\frac{\sigma_{x,o,d}}{\sigma_{xP,R,d}} \right)^{e1} + \left(\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} \right)^{e2} - v \cdot \left(\frac{\sigma_{x,o,d} \cdot \sigma_{y,d}}{\sigma_{xP,R,d} \cdot \sigma_{yP,R,d}} \right) + \left(\frac{\tau_d}{\tau_{P,R,d}} \right)^{e3} = 0,40 < 1,00$
--

**Beulsicherheit
ausreichend !**

Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach DIN 4132

Stahl **S 235** Beanspruchungsgruppe **B4** Lastfallkombination

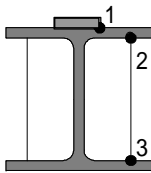
1,0 * g_k + 1,0 * F_k

Querschnitt des Kranbahnträgers

Typ : **Benutzerdefiniert.....**

Quersteifen nur an den Auflagern

a) Normalspannungen s_x



Nachweisstellen :

Punkt 1	W _y =	15816 cm ³	bei x ₁ =	12,20 m	w1
Punkt 2	W _y =	17233 cm ³	bei x ₂ =	7,50 m	k3
Punkt 3	W _y =	-9857 cm ³	bei x ₃ =	7,50 m	k3

Kerbfall

a1) Nachweis bei Befahrung der Kranbahn nur durch Kran 1

Pkt.	maxM _y kNm	minM _y kNm	σ _{x0} kN/cm ²	σ _{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ _{Be} kN/cm ²	σ _{x0} / zul σ _{Be}
1	922,84	-189,77	-5,83	1,20	-0,21	16,00	0,36 < 1,00
2	-578,38	-27,98	3,36	0,16	0,05	15,34	0,22 < 1,00
3	-578,38	-27,98	-5,87	-0,28	0,05	16,00	0,37 < 1,00

a2) Nachweis bei Befahrung durch 2 Krane nach DIN 4132, Gl. (4)

Pkt.	maxM _y kNm	minM _y kNm	σ _{x0} kN/cm ²	σ _{xu} kN/cm ²	κ -	zul σ _{Be} kN/cm ²	Auslastung
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-

Es ist nur 1 Kran angegeben, daher Nachweis nach Gl. (4) nicht notwendig

Nachweis erfüllt

b) Schubspannungen aus Lasteinleitung in der Schienenschweißnaht

Kein Nachweis, da es keine Schienenschweißnaht gibt.

Weitere Nachweise von Hand erforderlich!

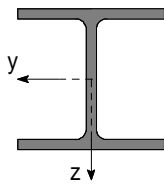
Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Stahl S 235 Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Querschnittstyp und charakt. Eigengewicht des Kranbahnträgers

Typ: Benutzerdefiniert

charakteristisches Eigengewicht: **3,98 kN/m**



Trägheitsmomente $I_y = 576892 \text{ cm}^4$
 $I_z = 48465 \text{ cm}^4$

max. Durchbiegungen des Kranbahnträgers und Grenzempfehlungen

vertikal, infolge g_k und Radlasten R_{1k}, R_{2k} , ohne Schwingbeiwert, bezogen auf Schwerpunkt

$$f_z = 0,30 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 2464 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

horizontal, bezogen auf die Schienenoberkante, infolge horizontaler Radlast H_k

$$f_y = 1,12 \text{ cm} \equiv l_{\text{Stütz}} / 668 < l_{\text{Stütz}} / 600 \quad \text{Grenzwert nach EC3}$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis erfüllt
