

DIPLOMARBEIT  
Diploma Thesis

# **Ermittlung von Kerbfunktionen nach dem Konzept der effektiven Kerbspannungen am Detail einer Trogbrücke mittels FEM-Analyse**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer  
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Markus Schachinger, BSc**

Matr.Nr.: 01026918

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Josef Fink**

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Francesco Aigner**

Institut für Tragkonstruktionen  
Forschungsbereich für Stahlbau  
Technische Universität Wien,  
Karlsplatz 13, A-1040 Wien



## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink, dass ich die Möglichkeit bekommen habe, meine Diplomarbeit am Institut für Tragkonstruktionen/ Forschungsbereich für Stahlbau zu verfassen. Ferner danke ich Ihm sowie meinem Betreuer Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Francesco Aigner für die Anregungen, die fachliche Unterstützung aber auch für die mir gewährten Freiheiten in der Gestaltung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir durch jegliche Unterstützung dieses Studium erst ermöglicht haben.

Zu guter Letzt danke ich noch meiner Freundin Pia und meinen Freunden, deren Motivation und Gesellschaft mich während der Entstehung dieser Diplomarbeit immer wieder bekräftigt hat.

## Kurzfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit von Trogbrücken für die Eisenbahnnutzung. Der Regelquerschnitt dieses Tragwerks setzt sich aus zwei Obergurten, den beiden Stegen und einem 120 mm dicken Grobblech als Fahrbahnplatte zusammen. Die Schweißverbindung zwischen Steg und Fahrbahnblech, bestehend aus zwei Kehlnähten, muss neben den Schubspannungen in Haupttragrichtung noch Spannungen der Schnittgrößen aus der Quertragwirkung übertragen. In den Tabellen der derzeit aktuellen Normen sind keine Kerbfälle zu finden, welche die Ermüdungsfestigkeit bezogen auf die Quertragwirkung zufriedenstellend abbilden.

Im Zuge einer Parameterstudie werden der Neigungswinkel und die Dicke des Stegblechs, sowie das Schweißnahtmaß und die Querschnittsgeometrie der oberen Naht variiert. Diese Variationen, durchgeführt an einem Detailausschnitt um die Schweißverbindung, werden mit einem FE-Programm nach dem Konzept der effektiven Kerbspannungen modelliert. Mit den Nennspannungen nach der elementaren Stabtheorie ist es möglich, daraus Kerbfaktoren zu ermitteln, die abhängig von der betrachteten Schnittgröße und Systemstelle von bestimmten, der untersuchten Parametern abhängen. Die Bereiche, an denen Spannungsspitzen auftreten, sind der Übergang von der Stegblechoberfläche zur Schweißnahtoberfläche und die Schweißnahtwurzeln.

Die Kerbfaktoren an diesen maßgebenden Stellen werden daher in Kerbfunktionen mit entsprechenden Abhängigkeiten zusammengefasst. Um diese Kerbfunktionen möglichst gut an die „Messwerte“ aus den FE-Modellen anpassen zu können, wird die Methode der kleinsten Quadrate herangezogen.

Mit dem ermittelten Formelwerk lassen sich also die effektiven Kerbspannungen schnell und einfach berechnen, auch wenn man nicht über die Lizenz oder fundiertes Wissen in der Anwendung eines speziellen FE-Programms verfügt.

Ermittelt man somit aus einer ermüdungswirksamen Lastkombination die effektiven Kerbspannungen, so kann man mit einer allgemeinen Wöhlerlinie das Ermüdungsverhalten des Schweißdetails bewerten bzw. durch Optimierung gewisser Parameter die Lebensdauer eines Tragwerks verlängern.

## Abstract

This diploma thesis deals with the determination of the fatigue strength of trough bridges for railway purpose. The principle cross section of this structure is composed of two top flanges based on two webs and a heavy plate as bottom plate with 120 mm thickness. Two fillet welds form the welded joint between the web and the bottom plate. Besides the shear stresses resulting from the main structural system, the fillet welds are strained by stresses resulting from internal forces in crosswise direction. In the tables of the up-to-date European Standards there is no fatigue detail category found which fits satisfactorily to this special detail in relation to describe the fatigue strength in crosswise direction.

Using a parameter study, the inclination angle and thickness of the web plate as well as the dimension and the cross-sectional geometry of the upper weld seam are varied. Based on the concept of effective notch stresses these variations are modeled on a detail section around the welded joint by using an FE program. Using the nominal stresses from the classical beam theory, it is possible to determine notch factors that depend on certain of the examined parameters subjected to the chosen internal force and system location. The areas where stress peaks occur are the weld toe on the side of the web plate and the weld roots.

The notch factors at these mandatory places are combined to notch functions which depend on the conforming parameters. In order to fit these notch functions best possible to the computed values from the FE models, the Least Squares Method is used.

The developed formulas can be used to calculate the effective notch stresses quickly and easily, even if the user doesn't have the license or knowledge to apply a special FE software.

Thus, if one determines effective notch stresses from a FLS load combination, it is possible to evaluate the fatigue behavior of the weld detail with a S-N Wöhler curve. Another option is to extend the service life of a structure by optimizing certain parameters.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Allgemeines .....	1
1.2	Zielsetzung .....	1
2	Geometrie der Brücke .....	1
3	Bestimmen von Spannungen .....	2
3.1	Nennspannungen ( $\sigma_{\text{Nenn}}$ ) .....	2
3.2	Effektive Kerbspannungen ( $\sigma_{\text{Kerb}}$ ) .....	3
4	Parameterfeld .....	4
4.1	Parameter .....	4
4.2	Gültigkeitsbereich .....	4
4.3	Einheiten .....	5
5	Modellbildung .....	5
5.1	Grundlagen .....	6
5.1.1	Materialdefinition .....	6
5.1.2	Lagerungsbedingungen .....	6
5.1.3	Lasten .....	6
5.1.4	FE-Netz .....	7
5.2	Modulbauweise der Modelle .....	8
5.3	Vernetzung der Module und Netzverfeinerung .....	8
6	Kritische Stellen .....	11
6.1	Feldbereich .....	11
6.2	Auflagerbereich .....	12
7	Spaltproblematik .....	12
8	Einwirkungen .....	15
8.1	Ermittlung der Schnittgrößen .....	15
8.2	Wahl der eingprägten Schnittgrößen .....	20
8.2.1	Kritische Stelle 1 .....	20
8.2.2	Kritische Stelle 2 .....	20
8.3	Kombination der eingprägten Schnittgrößen .....	20
8.3.1	Kritische Stelle 1 .....	20
8.3.2	Kritische Stelle 2 .....	22
9	Parametervariationen .....	23
9.1	Parameter $a_{\text{unten}}$ .....	23
9.2	Parameter $\beta_1$ .....	27
9.3	Parameter $\beta_2$ .....	27
10	Auswertung der Ergebnisse .....	30

10.1	Kritische Stelle 1 .....	31
10.1.1	Kerbfunktion bei reiner Momentenbelastung.....	31
10.1.2	Kerbfunktion bei reiner Normalkraftbelastung .....	44
10.1.3	Kerbfunktion bei reiner Querkraftbelastung.....	66
10.2	Kritische Stelle 2 .....	80
10.2.1	Kerbfunktion bei reiner Normalkraftbelastung .....	80
10.2.2	Kerbfunktion bei reiner Momentenbelastung.....	96
10.2.3	Kerbfunktion bei reiner Querkraftbelastung.....	137
11	Zusammenfassung.....	156
11.1	Ergebnisse an der kritische Stelle 1.....	156
11.2	Ergebnisse an der kritische Stelle 2.....	156
11.3	Rechenbeispiel .....	157
11.3.1	Berechnungsergebnis kS 1.....	158
11.3.2	Berechnungsergebnis kS 2.....	158
11.4	Abschließende Bewertung.....	159
	Literaturverzeichnis .....	162
Anhang A	Ergänzungen zur Berechnung der Kerbfunktion $\mathcal{A}_{k,ks2}^N$ .....	I
Anhang B	Ergänzungen zur Berechnung der Kerbfunktion $\mathcal{A}_{k,ks2}^M$ .....	XI
B.1	ausgelesene Daten $t_{\text{Steg}} = 20$ mm.....	XI
B.2	ausgelesene Daten $t_{\text{Steg}} = 30$ mm (Ergänzung).....	XXIX
B.3	ausgelesene Daten $t_{\text{Steg}} = 40$ mm.....	XLV
B.4	$KF_N(N)$ .....	LXIII
Anhang C	Ergänzungen zur Berechnung der Kerbfunktion $\mathcal{A}_{k,ks2}^V$ .....	LXXII