

**Zur Zugtragfähigkeit einseitig geschweißter T-Stöße
aus höherfesten Stählen**

On the tensile load-bearing capacity of single-sided welded
T-joints made of high-strength steels

Von der

Fakultät Bauingenieurwesen

der Technischen Universität Dresden

zur Erlangung der Würde eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

eingereichte

Dissertation

von Brian Rust, M. Sc.

geboren am 17. Oktober 1995 in Buchholz in der Nordheide

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Christian Schmale

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer

Eingereicht am: 29.10.2025

Verteidigt am: 22.07.2026

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der statischen Zugtragfähigkeit von Schweißverbindungen aus höherfesten Stählen der Festigkeitsklassen S500 bis S960. Bei diesen Stählen ist mit einer maßgeblichen Beeinflussung der Tragfähigkeit durch die beim Schweißen entstehende Wärmeeinflusszone (WEZ) zu rechnen. Insbesondere thermomechanisch gewalzte Stähle mit Festigkeiten oberhalb von S460 zeigen eine ausgeprägte Tendenz zur Erweichung in der WEZ.

Die Erweichung, auch als Softening bezeichnet, ist eine Folge der chemischen Zusammensetzung und des Herstellungsverfahrens des Stahls, der Wärmeeinbringung beim Schweißen sowie des anschließenden Abkühlverhaltens im Bereich der Schweißverbindung. Abhängig von diesen Parametern entstehen zudem unterschiedliche geometrische Ausdehnungen der WEZ. Insgesamt kann die WEZ zu signifikanten Tragfähigkeitsverlusten der Verbindung führen.

Zur Berücksichtigung des Softenings bei voll durchgeschweißten Stumpfnähten aus Stählen oberhalb S460 sieht DIN EN 1993-1-8 eine pauschale Reduzierung der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffs auf 90 % vor. Unterschiede im Herstellungsverfahren und daraus resultierende Festigkeitseigenschaften der Stähle nach dem Schweißen bleiben ebenso unberücksichtigt wie Interaktionen zwischen Grundwerkstoff, WEZ und Schweißnaht. Bei Kehlnähten wird der Einfluss der WEZ in der Bemessung derzeit vollständig vernachlässigt.

Um die Auswirkungen der WEZ einzuordnen, werden im Rahmen dieser Arbeit zunächst Einflüsse schweißtechnischer Parameter auf die Festigkeitseigenschaften höherfester Baustähle untersucht. Darauf aufbauend wird ein Regressionsmodell zur Bestimmung der Streckgrenze sowie der Zugfestigkeit in der WEZ entwickelt. Anschließend werden die Auswirkungen der WEZ auf die Zugtragfähigkeit einseitig geschweißter T-Stöße mittels experimenteller Untersuchungen analysiert. Zusätzlich dienen ausgewählte Versuche mit Kehlnahtausführung der Untersuchung des Einflusses exzentrischer Anschlüsse auf die Kehlnahttragfähigkeit bei Schweißnahtversagen.

Zur Untersuchung der WEZ-Ausdehnung werden numerische Simulationen zum schweißinduzierten Temperaturfeld durchgeführt. Die Simulationen erfolgen in Abhängigkeit von temperaturabhängigen Werkstoffkennwerten, Blechdicken, Vorwärmtemperaturen und Wärmeeinbringungen. Gemeinsam mit den experimentellen Auswertungen bilden die Simulationsergebnisse die Datengrundlage für das im nächsten Schritt entwickelte Konzept zur Abschätzung der geometrischen WEZ-Ausdehnung. Zusammen mit dem Regressionsmodell zur Berechnung der WEZ-Festigkeitsen bildet das Konzept zur Abschätzung der WEZ-Ausdehnung die Grundlage für ein Modell zur Berechnung der Tragfähigkeit von Schweißverbindungen mit WEZ-Versagen. Hierfür werden zunächst strukturmechanische Berechnungen durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher WEZ-Festigkeitsen und -Ausdehnungen sowie weiterer Parameter auf die Zugtragfähigkeit einseitiger T-Stöße zu analysieren.

Abschließend fließen die gewonnenen Erkenntnisse aus den experimentellen Untersuchungen und den strukturmechanischen Berechnungen in die Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Zugtragfähigkeit einseitiger T-Stöße mit WEZ-Versagen ein. Die Anwendbarkeit des Modells wird darüber hinaus auch für Stumpfnähte mit WEZ-Versagen bestätigt. Zusätzlich wird der gewählte Probekörper des T-Stoßes genutzt, um das richtungsbezogene Verfahren gezielt für den Anwendungsfall einseitiger Kehlnähte weiterzuentwickeln.

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag dazu, das Tragverhalten geschweißter Verbindungen aus höherfesten Stählen besser einzuordnen und deren Potenziale gezielter auszuschöpfen.

Abstract

This study investigates the static load-bearing capacity of welded joints made of high-strength steels in strength classes S500 to S960. For these steels, the influence of the heat-affected zone (HAZ), which is formed during welding, on the load-bearing capacity cannot be neglected. In particular, thermomechanically rolled steel grades with yield strengths above S460 show a pronounced tendency to soften within the HAZ.

Softening results from the steel's chemical composition and manufacturing process, the applied heat input during welding and the subsequent cooling behavior in the joint area. Depending on these parameters, the HAZ also exhibits different geometric expansions. In general, the HAZ can significantly reduce the load-bearing capacity of the welded joint.

DIN EN 1993-1-8 specifies a general reduction of the base material's tensile strength to 90 % to account for softening in fully penetrated butt welds made of steels above S460. However, differences in the manufacturing process and the resulting strength properties after welding are not considered, nor are the interactions between the base material, HAZ, and weld. In the case of fillet weld design, the influence of the HAZ is neglected entirely.

To further analyze the potential effects of the HAZ, this thesis first investigates the influence of welding parameters on the strength properties of high-strength structural steels. Based on these results, a regression model is developed to predict yield and tensile strengths within the HAZ. This thesis also examines the impact of the HAZ on the load-bearing capacity of single-sided welded T-joints through experimental investigations. In addition, the effect of eccentric loading on the capacity of fillet welds exhibiting weld failure is investigated using selected test specimens.

Next, numerical simulations of the weld-induced temperature field are performed to further investigate HAZ expansion. These analyses are performed as a function of temperature-dependent material parameters, plate thicknesses, preheating temperatures, and heat input. Based on the simulation results and experimental evaluations, a concept is developed that enables the estimation of the geometric expansion of the HAZ. Together with the model for predicting HAZ strengths, this concept establishes a foundation for a model calculating the load-bearing capacity of welded joints with HAZ failure. To achieve this, structural mechanical calculations are first performed to analyze the effects of different HAZ strengths, expansions, and other parameters on the load-bearing capacity of single-sided welded T-joints.

Finally, a model for calculating the load-bearing capacity of single-sided T-joints with HAZ failure is developed using the findings from the experimental investigations and structural mechanical analyses. The model's applicability is also confirmed for butt welds exhibiting HAZ failure. In addition, the T-joint specimens are used to extend the directional method to single-sided fillet weld applications.

The results of this thesis enhance the understanding of the load-bearing behavior of welded joints made of high-strength steels, enabling a more precise use of their structural potential.