

## Forschungsvorhaben:

# Tragverhalten von geschweißten Bauteilen aus Stahlguss unter Berücksichtigung von Imperfektionen und Eigenspannungen

(Stand: August 2013)

**Projektnummer:** DVS-Nr. 09.062 / IGF-Nr. 17.745  
**Ansprechpartner:** Dipl.-Ing. Max Spannaus (IWE)  
**Förderung:** DVS-Forschung, AIF, BMWi  
**Starttermin:** 04/2013  
**Endtermin:** 10/2015

### 1. Anlass für den Forschungsantrag

Räumliche Tragstrukturen mit komplexen Anschlüssen werden seit einigen Jahren im modernen Hoch- und Brückenbau aber auch im Maschinen- und Anlagenbau verstärkt durch den Einsatz von Stahlgussbauteilen realisiert. Die rechnerische Traglast dieser Bauteile ist an die spätere Ausführungsqualität (zulässige Imperfektionen) gekoppelt. D.h. schon in der Planungs- und Berechnungsphase muss der Konstrukteur die angestrebte Gütestufe des Bauteils festlegen. Da es derzeit keine systematischen Untersuchungen zum Einfluss von Lage, Größe und Kerbschärfe von Imperfektionen auf das Tragverhalten von Stahlgussbauteilen gibt, werden meist zu hohe und damit kostenintensive Anforderungen an die Ausführungsqualitäten gestellt.

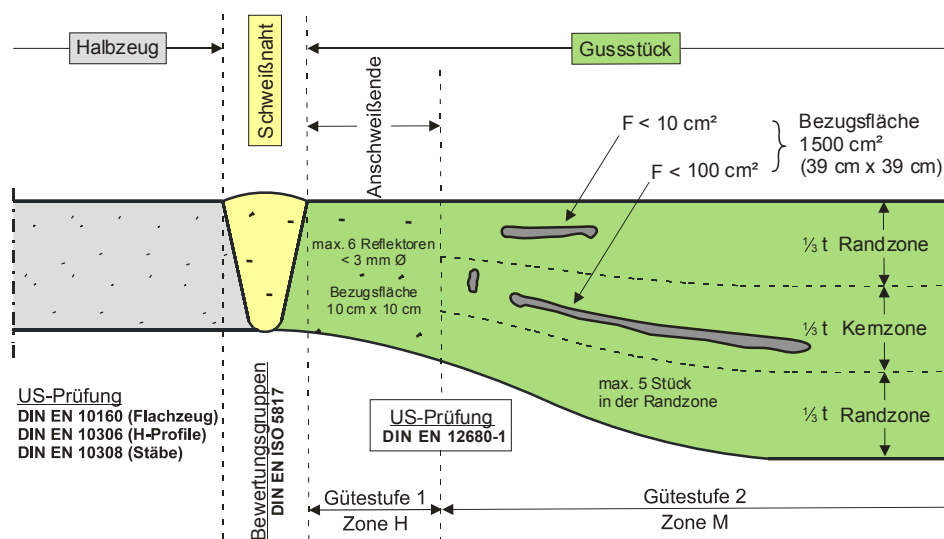
Zusätzlich stellen die nationalen und europäischen bauaufsichtlichen Regelungen ein Hemmnis für die Anwendung von Stahlgussbauteilen als Verbindungselement dar. Die Vorgaben der DIN EN 1993-1-1 lassen die Bauweise entweder gar nicht oder in Deutschland (NAD) nur eingeschränkt für das Bemessungsverfahren elastisch-elastisch (E-E) zu. Die Ausnutzung plastischer Querschnittsreserven (E-P) oder plastischer Systemreserven (P-P) ist nicht zulässig, obwohl eine Vielzahl an Bauteilversuchen zeigt, dass die nach den technischen Regeln für Stahlgussbauteile hergestellten Gussstücke auch im geschweißten Zustand eine hervorragende Bruchdehnung aufweisen. Die Realisierung von geschweißten Stahlgusskonstruktionen unter Berücksichtigung plastischer Querschnitts- oder Systemreserven ist somit in Deutschland nur mit einer aufwendigen und teuren Zustimmung im Einzelfall möglich.

## 2. Ausgangssituation

Für komplexe Geometrien, die oftmals hochbeansprucht sind, bietet es sich an, Knotenpunkte aus Stahlguss auszuführen. Die Möglichkeit der nahezu freien Geometrieausbildung erlaubt es, eine dem Spannungsverlauf optimal folgende, nahezu gleichmäßig ausgenutzte Knotenform zu realisieren. Zusätzlich kann in den meisten Fällen die Schweißaufgabe von einer kompliziert auszuführenden dreidimensionalen Schweißnaht auf eine einfache und gut automatisierbare zweidimensionale Stumpfnahtüberföhrt werden, welche nicht im Bereich der höchsten Spannungen liegen.

Trotz moderner Gießverfahren und neu entwickelter Werkstoffe neigt Stahlguss auf Grund seiner dendritischen Erstarrung zu Schwindungshöhlräumen (Lunker). Aber auch Gasblasen, Sand-, Schlacken- und Schaumstellen, Warm- und Kaltrisse, Seigerungen und weitere nicht-metallische Einschlüsse können bei der Herstellung von Gussbauteilen auftreten.

In Abbildung 1 ist exemplarisch eine Schweißverbindung mit den im Rahmen der zerstörungsfreien Prüfung anzuwendenden Regelwerken (hier nur US-Prüfung) dargestellt.



**Abbildung 1:** Exemplarische Darstellung einer Stahl-Stahlgussverbindung mit zulässigen Imperfektionen

Für das Halbzeug und die Schweißnaht basieren die normativen Regelungen auf einer großen Anzahl wissenschaftlicher Untersuchungen. Ausreichendes plastisches Verformungsvermögen und Sprödbrechtsicherheit können beim Einhalten dieser Regelungen vorausgesetzt werden.

Auf Seiten des Gussstückes werden dem Konstrukteur zwar genaue Kenngrößen über zulässige Imperfektionen gegeben, es sind jedoch durch nur unzureichende Kenntnisse zum

Einfluss dieser Imperfektionen auf das Tragverhalten vorhanden. Daher gibt es für den Konstrukteur keinen klar geregelten Zusammenhang zwischen Gütestufen und Tragfähigkeit.

### 3. Ziele und Methodik

Das Hauptziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer fundierten Grundlage für die plastische Bemessung von geschweißten Bauteilen aus Stahlguss. Die Beschreibung des elastischen und insbesondere des plastischen Tragverhaltens soll hierbei auf der bestehenden Einteilung der Gussbauteile in Gütestufen erfolgen. Von maßgebender Bedeutung für das Tragverhalten geschweißter Konstruktionen ist der Bereich nahe der Schweißnaht. Deshalb stellt die Untersuchung des Einflusses des Schweißprozesses (Gefahr der Bauteilversprödung durch die Entstehung von mehrachsigen Eigenspannungen und aufgrund erhöhter Härten) in Kombination mit geometrischen Imperfektionen oder Ungängen aus dem Gießprozess einen weiteren Schwerpunkt dar.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes werden die ungenügenden Kenntnisse über das Tragverhalten von geschweißten Gussbauteilen maßgebend erweitern. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die folgenden Arbeitsschritte dienen:

- Zusammenstellung und Bewertung bemessungsrelevanter Imperfektionen anhand einer Feldstudie sowie begleitender bruchmechanischer und numerischer Untersuchungen auf Basis der vorhandenen Einteilung von Gussbauteilen in Gütestufen.
- Detektierbarkeit relevanter Ungängen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren. Dabei soll neben den gängigen ZfP-Verfahren wie US-Prüfung und RT-Prüfung auch erstmals Induktionsthermografie zum Einsatz kommen.
- Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Sprödbbruchverhalten und zur plastischen, quasi statischen Tragfähigkeit von geschweißten Bauteilen aus Stahlguss. Dabei soll gezeigt werden, dass Bauteile aus Stahlguss auch mit Werkstoff und Bauteildiskontinuitäten ein ausreichendes Verformungsvermögen aufweisen.
- Entwicklung einer Bemessungsempfehlung zur plastischen Bemessung von Verbindungen mit Stahlgussbauteilen sowie Überprüfung und ggf. Überarbeitung der Anforderungen an die Werkstoffzähigkeit nach DIN EN 1993-1-10 und zulässigen Ausnutzungsgrade nach DIN EN 1993-1-8.

Die auf systematischen Untersuchungen basierenden, angestrebten Ergebnisse ermöglichen die Erstellung von Empfehlungen zur plastischen Bemessung von Gussbauteilen und liefern grundlegende Erkenntnisse zur Werkstoffzähigkeit von Stahlguss unter Berücksichtigung ungünstiger Randbedingungen.

#### 4. Ergebnisse

Zum derzeitigen Zeitpunkt, liegen noch keine konkreten Ergebnisse vor. Nach Projektstart wurden zunächst die Probekörper zusammen mit den Gießereien durch Simulation mit der Software MAGMA festgelegt. Die ersten Probekörper sollen noch in diesem Jahr gegossen und geprüft werden.

Zur Erreichung des Forschungsziels werden die wissenschaftlichen/technischen Arbeiten des Vorhabens in drei übergeordnete Schwerpunkte aufgeteilt. Die Schwerpunkte gliedern sich wie folgt:

- Im ersten Schwerpunkt werden grundlegende Informationen zu den Werkstoffeigenschaften sowie zu den geometrischen Imperfektionen von Bauteilen aus Stahlguss erarbeitet. Weiterhin wird durch zerstörungsfreie Prüfung der Gussbauteile die Detektierbarkeit der geometrischen Ungenauigkeiten geprüft. Dieser Schwerpunkt definiert damit die Randbedingungen für die in Schwerpunkt zwei und drei geplanten Untersuchungen.
- Experimentelle Untersuchungen bilden den Kern des zweiten Schwerpunktes. Zur Beschreibung des elastischen und plastischen Tragverhaltens in Anlehnung an die Gütestufen werden Versuche an Proben mit gusstypischen Imperfektionen durchgeführt. Zur Bestimmung der Anforderungen an die Sprödebruchsicherheit sind Versuche an Proben mit scharfem Anriss und ungünstigsten Bauteileigenschaften geplant. In Schwerpunkt zwei werden somit grundlegende und systematische Erkenntnisse über die Tragfähigkeit und Zähigkeit der geschweißten Stahl-Stahlguss-Verbindung erarbeitet. Die Versuchsergebnisse bilden die Basis sowohl für die numerischen als auch für die bruchmechanischen Untersuchungen.
- Den dritten Schwerpunkt stellen numerische Untersuchungen dar. Diese begleiten die experimentellen Untersuchungen. Die numerischen Modelle werden mit den Versuchsergebnissen abgeglichen und können an diesen validiert werden. Sie ermöglichen es, den Einfluss einzelner Kenngrößen auf das Tragverhalten herauszuarbeiten und mit Parameterstudien eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen. Die numerischen Untersuchungen erweitern das Parameterfeld der Versuche und tragen zum vertieften Verständnis des Tragverhaltens bei.

## 5. Durchführende Forschungsstelle

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Stahl- und Leichtmetallbau  
Kaiserstraße 12 • 76131 Karlsruhe

Tel.: 0721/608-42215 • Fax: 0721/608-44078

Leiter der Forschungsstelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer  
T: +49(0)721 608 42215 • E: [thomas.ummenhofer@kit.edu](mailto:thomas.ummenhofer@kit.edu)

Projektleiter: Dipl.-Ing. Max Spannaus (IWE)  
T: +49(0)721 608 47843 • E: [max.spannaus@kit.edu](mailto:max.spannaus@kit.edu)

## 6. Partner



greinerengineering



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

■ Ingenieurbüro Dr. Knödel

■ Anakon GmbH



SHB



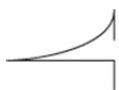
DYNATEC



■ Reinhard Tweer GmbH



■ Dipl.-Ing. Gerhard Steidl



schlaich bergemann  
und partner

■ Dr. Manfred Kaßner

