

### **Titel**

„3D gedruckte Knotenpunkte aus Stahllegierungen für bionische Tragstrukturen

### **Anlass/ Ausgangslage**

Filigrane, materialsparende, festigkeits- und steifigkeitsangepasste Tragstrukturen aus Metall gewinnen zunehmend an Bedeutung. Durch solche Strukturen ist es nicht nur möglich individuelle Ästhetik in Bauwerke einfließen zu lassen oder ikonenhafte architektonische Meisterwerke zu kreieren, sondern auch beanspruchungsoptimierte bautechnische Lösungen in Anlehnung an die Natur (Bionik) zu generieren. Die Motivation eine leichte Knotenstruktur mit maximaler Tragfähigkeit herzustellen ist häufig mit dem Wunsch eines minimalen und angepassten Materialeinsatz sowie geringen Herstellungskosten gepaart. Dazu ist eine Herstellungstechnologie für tragende Strukturen mit Abmessung von größer 900 x 500 x 400 mm aus metallischen Werkstoffen notwendig.

### **Gegenstand des Forschungsvorhabens**

Die Untersuchung erfolgt sowohl an numerischen als auch an realen Modellen. Anhand der numerischen, parametrischen Modelle können eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle differierender Systemspezifikationen untersucht und hinsichtlich Tragfähigkeit der Knoten aus Stahl bewertet werden. Die Verifikation und Validierung der numerisch ermittelten Ergebnisse erfolgt über begleitende experimentelle Belastungstests an räumlichen Modellen. Hierbei kommen auch Messsysteme zur dreidimensionalen Erfassung von Verformungen während des Herstellungsprozessen und der Belastungsanalyse zur Anwendung.

Begleitend zu den numerischen als auch experimentellen Betrachtungen werden Empfehlungen bezüglich der Materialspezifikationen für den 3D-Druck von metallischen Knotenpunkten mittels Lichtbogentechnik (Wire Arc Additive Manufacturing - WAAM) entwickelt, welche für weitere Planungsaufgaben und Materialkombinationen zunehmend von Interesse sein werden.

Aufgrund des individuellen Charakters der Untersuchungsstruktur lassen sich verschiedene Zustände bzgl. Geometrie-, Festigkeits- und Steifigkeitszuständen einstellen. Hierzu werden einzelne Szenarien dargestellt.

Das Forschungsvorhaben verfolgt einen interdisziplinären Charakter, wobei auf experimentellem und numerischem Wege neue Ansätze für effiziente, steifigkeits- und festigkeitsangepasste Knotenkonstruktionen erarbeitet werden. Basierend auf den bisherigen Erfahrungen in der Herstellung von metallischen Strukturen mittels Lichtbogentechnik und den weiterführenden Erkenntnissen in der generativen Fertigung werden zukünftige Anwendungsfelder aufgezeigt. Hierbei wird sowohl ein Technologietransfer als auch eine maßstäbliche Skalierbarkeit angestrebt. In Zusammenarbeit mit Forschern und Praktikern der Fachbereiche der Lichtbogen- und Robotertechnik sowie Werkstofftechnologie werden geeignete Werkstoffkombinationen in Stahl für die Ausführung adaptiver Knotenkonstruktionen bei Tragstrukturen mit bionischem Charakter ermittelt. Hierbei werden generativ gefertigte Knotenkonstruktionen aus Stahl untersucht und geeignete Fertigungstechnologien insbesondere Schweißfolgen analysiert und entwickelt, wobei den Kriterien eines reproduzierbaren und robusten Herstellungsprozesses für endkonturnahen und verzugsarmen Strukturen Rechnung getragen wird. Die 3D-Drucktechnologie werden vor dem Hintergrund der materialtechnischen, mechanischen Einsetzbarkeit und hinsichtlich eines wirtschaftlichen, nachhaltigen Einsatzes im Bauwesen diskutiert. Zur Überführung der 3D-Drucktechnologien in den Größen- und Belastungsmaßstab des Bauwesens sind Systeme zu favorisieren, welche von der Praxis mit geringer Anpassung sofort genutzt werden können.

### **Fazit**

In diesem Forschungsvorhaben konnte das WAAM als geeignete Fertigungstechnologie für die Herstellung von Tragwerkstrukturen mit bionischem Charakter genutzt werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die drahtbasierte, additive Fertigung mittels Lichtbogen Strukturen aus niedriglegiertem Stahl mit Festigkeiten nahe den Herstellerangaben der Schweißzusatzwerkstoffe hervorbringen kann, welche in Aufbauichtung und quer dazu nahezu identisch sind und dadurch isotrope Materialeigenschaften erzeugt werden können. Im Weiteren wurde vorgestellt, inwiefern die Topologieoptimierung als Methode der numerischen Simulation die Steifigkeit der Knotenpunkte verbessern und damit die vorherrschenden mechanischen Spannungen verringern kann. Anhand eines Demonstrators konnte gezeigt werden, dass die Abbildung des Herstellungsprozesses unter Verwendung von gewissen Vereinfachungen mittels Schweißstruktursimulation möglich ist. Die experimentell ermittelten Materialkennwerte für die Schweißzusatzwerkstoffe ermöglichen es, die Tragwerkknotten beanspruchungsgerecht zu dimensionieren. Mit Hilfe von Demonstratoren konnte die Herstellbarkeit topologieoptimierter Tragwerkknotten mittels WAAM gezeigt werden.

## Eckdaten

---

**Kurztitel:** 3D-Weld

**Forschungsstellen:**

Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Fertigungstechnik (IFt), Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

**Forscher / Projektleitung:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J.-P. Bergmann (IFt)

Dr.-Ing. J. Hildebrand (IFt)

J. Reimann, M.Sc. (IFt)

**Projektpartner/Projektunterstützer:**

Westfälische Drahtindustrie GmbH

Linde AG

EWM AG

RSB Rudolstädter Systembau GmbH, Rudolstadt

Gesamtkosten: 207.416,05 € €

Anteil Bundeszuschuss: 140.000,00 €

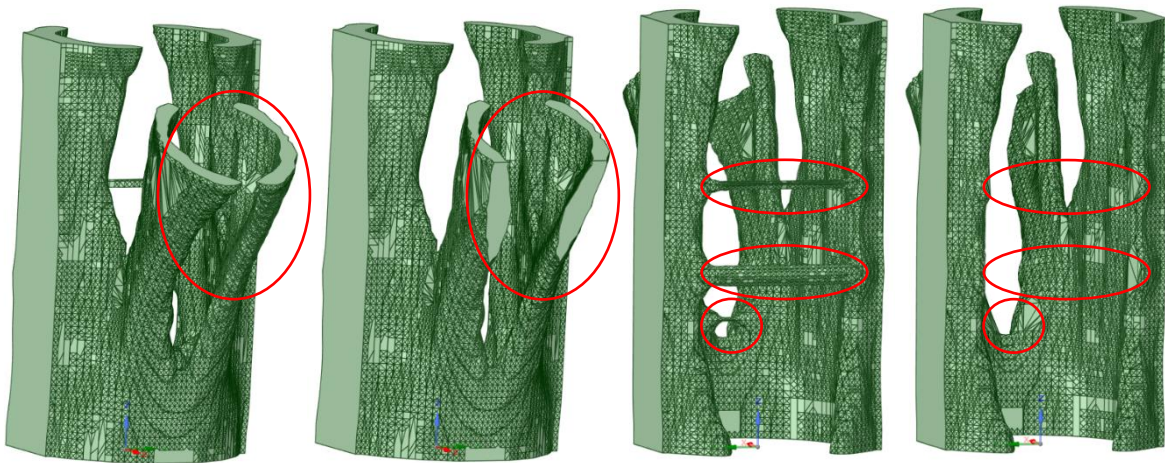
Projektlaufzeit: 24 Monate

## BILDER/ ABBILDUNGEN:

---



Abbildung 1: additiv hergestellter Obergurtnoten mit Vertikal- und Diagonalstäben



Topologieoptimierung    verbesserte Herstellbarkeit    Topologieoptimierung    verbesserte Herstellbarkeit

Abbildung 2: Verbesserung der Herstellbarkeit des 30° Schrägstoßes (rot eingerahmte Bereiche zeigen die Unterschiede zwischen der topologieoptimierten Geometrie und derjenigen mit verbesserter Herstellbarkeit)

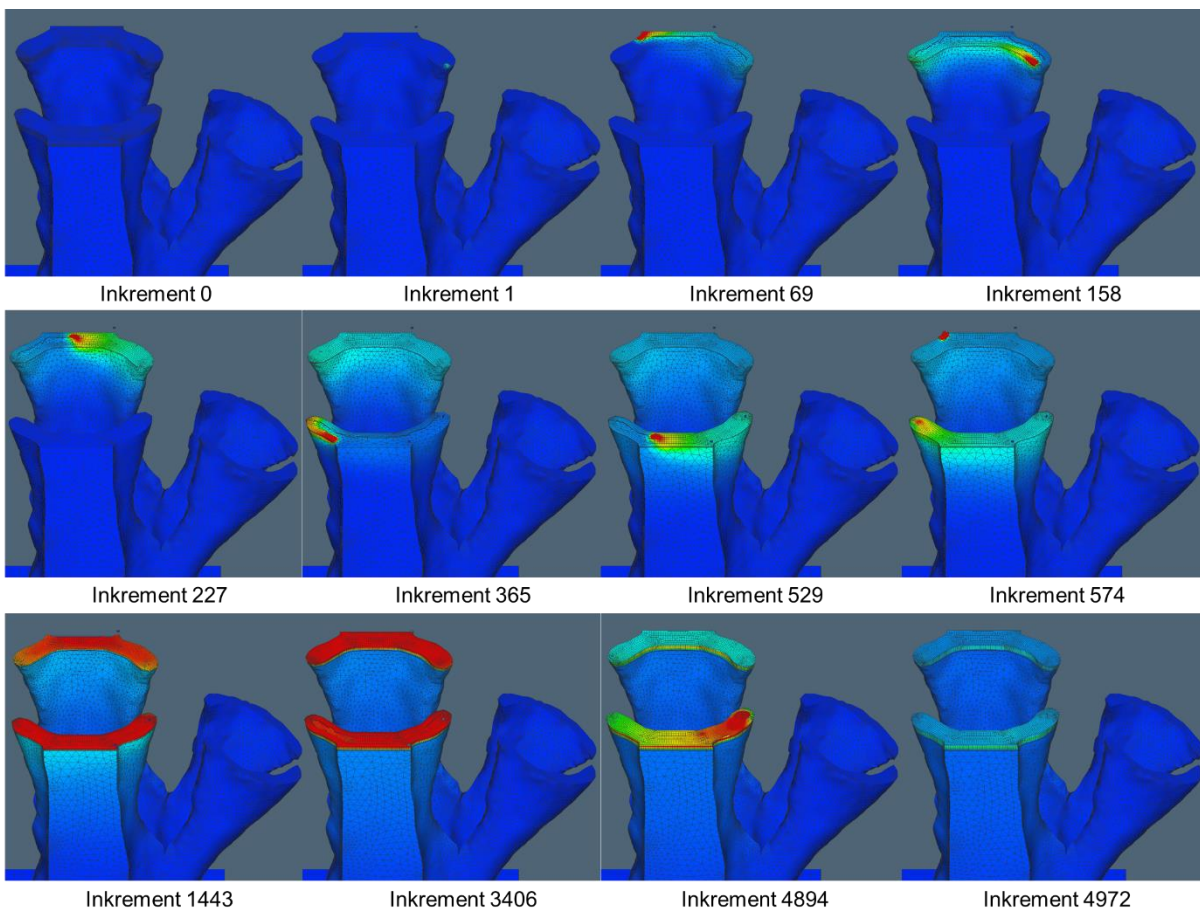


Abbildung 3: Simulation der additiven Fertigung (Schritte der Herstellung) mittels Simufact Welding



Abbildung 4: additiv gefertigter, topologieoptimierter 30° Schrägstoß

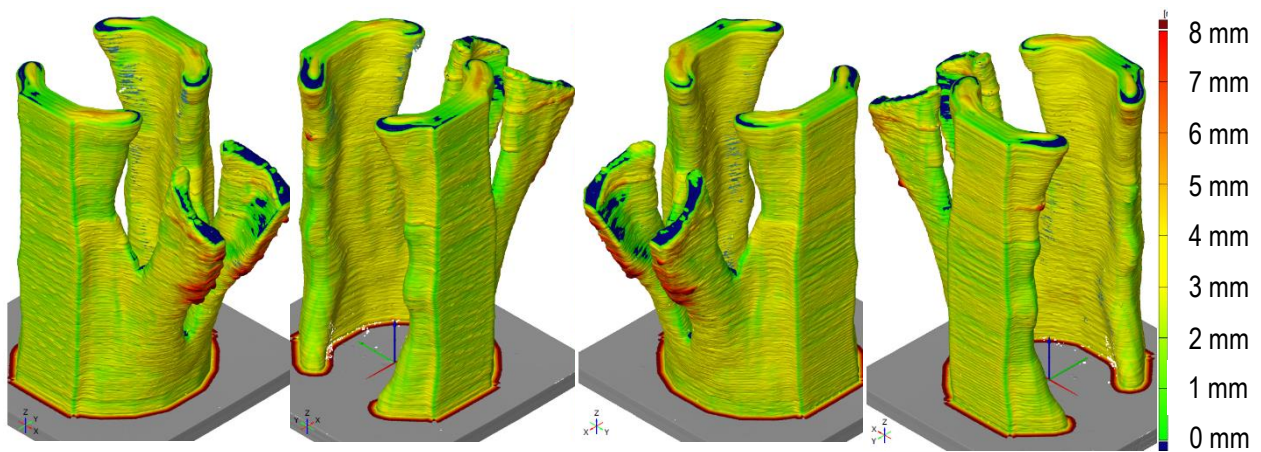


Abbildung 5: additiv hergestellter 30° Schrägstoß, Formabweichung zur CAD-Datei

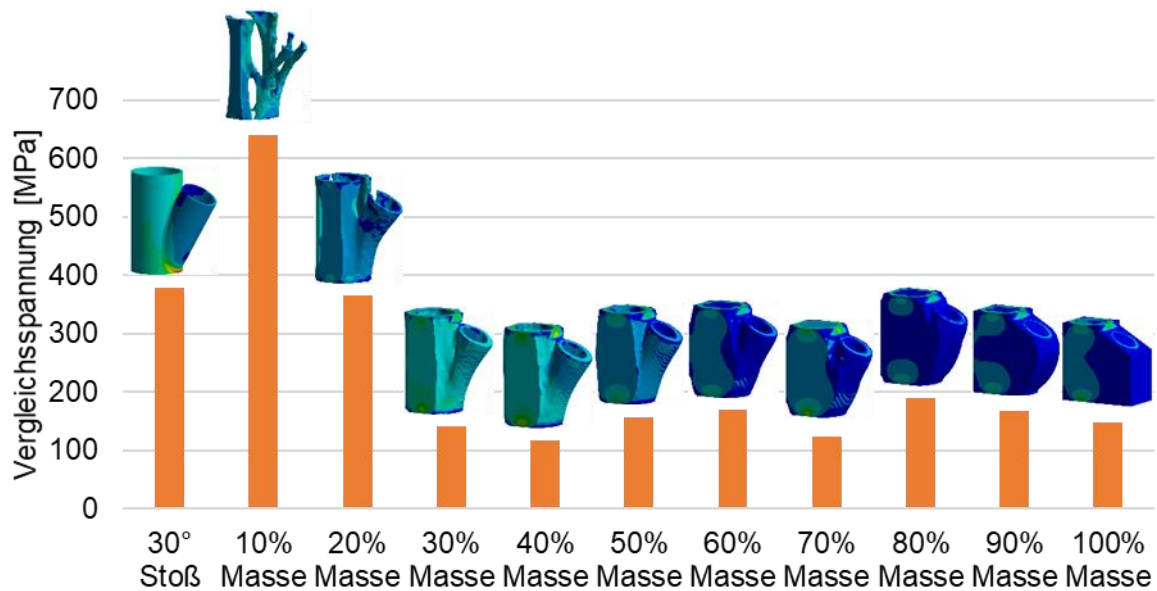


Abbildung 6: 30° Schrägstoß: von Mises-Vergleichsspannung in Relation zum Restmasseanteil nach der Topologieoptimierung