



**JAHRESBERICHT  
2017/2018**

**JAHRESBERICHT 2017/2018  
LEISTUNGEN UND ERGEBNISSE  
DES FRAUNHOFER IGP**



# EDITORIAL



Sehr geehrte Leserinnen und Leser, liebe Freunde des Fraunhofer IGP,

seit nunmehr eineinhalb Jahren ist unsere Einrichtung hier in Rostock als IGP selbstständig. Seit einem guten Jahr begleite ich unsere Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik nun als Institutsleiter.

Wir haben die Zeit genutzt, uns eigenständig aufzustellen, ohne unsere bekannten Stärken über Bord zu werfen. Das Leistungsportfolio haben wir erhalten, weiter ausgebaut und unser Profil geschärft, um für unsere Kunden, die sich mit der Fertigung von XXL-Bauteilen und Auftragslosen in geringen Stückzahlen beschäftigen, starker Partner zu sein.

Augenmerk legen wir auf die Besonderheit unserer Einrichtung, alle Disziplinen von den Fertigungsverfahren, der Automatisierung bis zu der Unternehmensplanung und den Themen rund um Industrie 4.0 und Digitalisierung unter einem Dach zu vereinen und zu den Fragestellungen in diesen Themenfeldern unseren wissenschaftlichen Tiefgang zu bewahren.

Trotz unseres ständigen Wachstums wollen wir weiterhin hier in Mecklenburg-Vorpommern und für die typischen Industriezweige für Großstrukturen und für die Fertigung in Stückzahl 1 unseren Kunden als kompetenter Ansprechpartner zur Seite stehen.

Wir möchten diesen Bericht nutzen, um unsere Einrichtung, unser Team sowie eine Auswahl unserer Projekte vorzustellen, mit denen wir im vergangenen Jahr zusammen mit unseren Partnern marktfähige Lösungen entwickelten.

Um bildreiche Einblicke in die Fraunhofer-Gesellschaft, unser Haus und auch in unsere Arbeitsgruppen zu gewinnen, möchten wir Ihnen außerdem unseren neuen Imagefilm ans Herz legen: „Das IGP stellt sich vor“.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre und hoffen, dass wir damit neue Fragestellungen und Ideen generieren, bei deren Umsetzung wir gerne behilflich sind. Nutzen Sie den Bericht als Ideengeber für Innovationen von morgen.

Mit freundlichem Gruß aus der  
Hanse- und Universitätsstadt Rostock

Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge  
Institutsleiter des Fraunhofer IGP



Imagefilm - Das IGP stellt sich vor

# INSTITUTSLEITUNG



## INSTITUTSLEITER

Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge  
Telefon +49 381 49682-20  
wilko.fluegge@igp.fraunhofer.de



## STELLVERTRETUNG INSTITUTSLEITER

Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel  
Telefon +49 381 49682-30  
knuth.henkel@igp.fraunhofer.de





#### EFB-Forschungsbeirat in Rostock

Im September 2017 tagte erstmalig der EFB-Forschungsbeirat in den Räumen des Fraunhofer IGP. Dieser Beirat, bestehend aus Vertretern der Industrie und Forschung, entscheidet zweimal im Jahr über neue Forschungsvorhaben, die für die Beantragung von Fördermitteln auf ihre Qualität bewertet werden. So unterstützt die EFB durch Förderung von Wissenschaft und Forschung die technologische und anwendungstechnische Gemeinschaftsforschung auf den Gebieten der Blechverarbeitung.



#### 40. IHK-Technologieabend im Fraunhofer IGP

Die 40. Veranstaltung in der Reihe „Technologieabende – Wissen schafft Wirtschaft“ informierte zum Thema: Wertschöpfung in Mecklenburg-Vorpommern – made in plastics. Für die 70 Gäste aus Wirtschaft, Forschung und Politik standen vor allem innovative Kunststofftechnologien für die Gegenwart und Zukunft im Vordergrund. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit in Kunststofftechnologie des Fraunhofer IGP ist bis heute eine wesentliche Basis für die regionale Wirtschaft.



#### Starker Auftritt auf der Blechexpo 2017

Auf der internationalen Fachmesse für Blechbearbeitung konnten sich das Fraunhofer IGP gemeinsam mit der EFB präsentieren und gewannen dabei an spannenden Gesprächen mit Kunden und Interessenten. Mit dem Fokus auf den Mobilitätssektor wurden Modelle des Großroboters ausgestellt, der unter anderem in der Schiffspropellerfertigung angewandt und als Clinchzange für große Blechdicken eingesetzt werden.



#### SPD-Landesregierung zu Besuch im Fraunhofer IGP

Im Frühjahr 2018 trafen sich die SPD-Minister der Landesregierung Mecklenburg-Vorpommerns in den Räumen des Fraunhofer IGP, um sich über das Thema Digitalisierung und deren Umsetzung zu informieren. Neben Ministerpräsidentin Manuela Schwesig tagten Vertreter der Fraunhofer IGP und IGD in beratender Funktion und leisteten dabei zukunftsweisende Beiträge für die voranschreitende Digitalisierung in Unternehmen des Mittelstandes in M-V.



#### Regier Austausch beim ersten Ehemaligentreffen

Zum ersten Mal trafen sich frühere Mitarbeiter im Rahmen des Ehemaligentreffens am Fraunhofer IGP. Der Einladung der Lehrstühle Fertigungstechnik und Fügetechnik der Universität Rostock folgten rund 20 Gäste. Das Ehemaligentreffen gestaltete sich als Kommunikationsplattform zwischen Wissenschaftlern, ob jung oder alt, ließ in Erinnerung schwelgen und gab Raum für regen Austausch über frühere, aktuelle und noch kommende Forschungsaufgaben.



#### Das IGP präsentiert sich auf der Hannover Messe

Auch in diesem Jahr präsentierte das Fraunhofer IGP neue Forschungsergebnisse auf der Hannover Messe, der größten Industriemesse Deutschlands. So wurde eine innovative und dabei preiswerte Lösung zur digitalen Bauzustandserfassung im Schiffsbau vorgestellt, außerdem ein flexibler Großroboter, der das Handling sehr großer Lasten bei hohen Reichweiten ermöglicht und somit auf Anforderungen moderner Produktionsprozesse der Schiffbau- und Offshore-Industrie eingeht.



#### Die ILA und Innovationen für die Zukunft des Fliegens

Die ILA Berlin war 2018 der Anziehungspunkt für die internationale Luft- und Raumfahrtszene. Unter den circa 1.100 Ausstellern aus 41 Ländern demonstrierte auch das Fraunhofer IGP Innovationen für die Zukunft des Fliegens. Im Fokus standen dabei unter anderem leistungsfähige Faserverbundstrukturen sowie lasttragende Klebverbindungen, welche aus dem modernen Leichtbau nicht mehr wegzudenken sind.



#### Das Fraunhofer IGP auf dem MV-Tag

Unser Bundesland präsentierte sich im Mai 2018 auf dem 13. Mecklenburg-Vorpommern-Tag in Rostock. Als wichtiger Baustein der Wissenschaft und Forschung war die Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP Teil der Pagodenlandschaft am Universitätsplatz. Zusammen mit dem Fraunhofer IGD informierte das IGP an diesen Tagen über die Fraunhofer-Gesellschaft am Rostocker Standort und stellte aktuelle Forschungsaktivitäten vor.



#### Sommersitzung des Fraunhofer-Verbundes Produktion

Ebenfalls zum ersten Mal fand eine Verbundssitzung des Fraunhofer-Verbundes Produktion in Rostock statt. Zu diesem Anlass fanden sich die Institutsleiter der führenden produktionstechnischen Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft in Rostock zu ihrer turnusmäßigen Sitzung am Fraunhofer IGP zusammen. Am Vorabend wurde im Rahmen eines gemeinsamen Segeltörns auf der Ostsee Prof. Martin-Christoph Wanner offiziell aus dem Verbund verabschiedet.



#### Frischer Wind mit dem HANSE KONGRESS

Im Juni 2018 waren Unternehmer und Wissenschaftler aus Rostock, Mecklenburg-Vorpommern und europäischen Hansestädten eingeladen, an einer neuen Art Kongress teilzunehmen. Auch das Fraunhofer IGP war Baustein dieses Events. Neben spannenden Pitching-Vorträgen zum Thema „Wissenschaft, Wirtschaft und Wachstum“ öffnete die Fraunhofer-Einrichtung ihre Türen, um internationalen Gästen das Institut und eine Auswahl aktueller Projekte vorzustellen.



#### Das IGP auf der automatica

Auf der automatica 2018 drehte sich alles um innovative Lösungen der intelligenten Automation und Robotik mit wegweisenden Schlüsseltechnologien für jede Industriebranche. Auch das Fraunhofer IGP präsentierte zukunftsweisende Forschungen für die automatisierte Produktion. So demonstrierte das IGP einen Anwendungsfall für die robotergestützte Fertigung von Volumenstrukturen im Schiffbau mittels MIG/MAG-Schweißverfahren.



#### Feierliche Antrittsvorlesung von Prof. Wilko Flügge

Prof. Wilko Flügge, Institutsleiter des Fraunhofer IGP, bewies sein Können als Universitätsprofessor und Leiter des Lehrstuhls Fertigungstechnik und läutete so den offiziellen Beginn seiner Lehrtätigkeit ein, wenschon er bereits seit Juni 2017 an der Uni Rostock lehrt. Unter den zahlreichen interessierten Gästen befanden sich unter anderem der Rektor der Universität, Prof. Dr. Wolfgang Schareck und die Dekanin der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Prof. Dr. Manuela Sander.

1 Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner, ehemaliger Leiter der Einrichtung, im Gespräch auf der automatica 2018



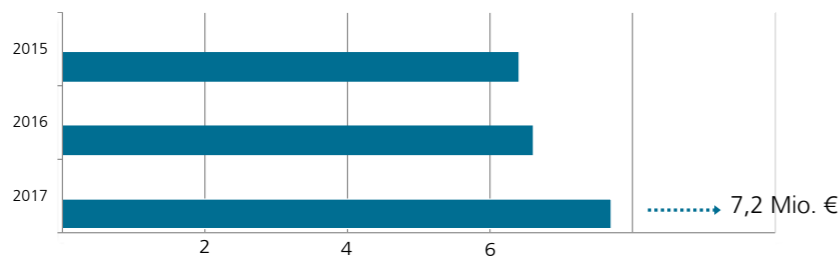
# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Anzahl der Mitarbeiter



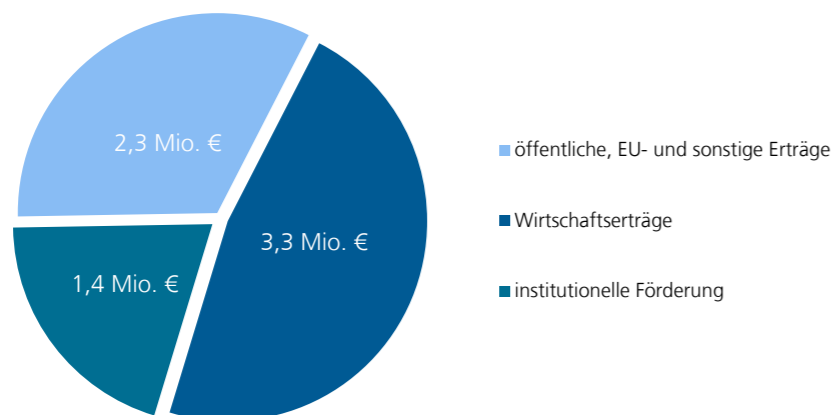
## Mitarbeiterentwicklung

Die Gesamtzahl der Beschäftigten des Fraunhofer IGP stieg 2017 auf 162. Unsere Wissenschaftler verfügen dabei mehrheitlich über einen Abschluss als Diplom-Ingenieur oder Diplom-Wirtschaftsingenieur. Die Arbeit der Fraunhofer-Begleitschaft unterstützen 2017 80 wissenschaftliche Hilfskräfte. Zudem stieg die Zahl der Auszubildenden auf drei. In Kooperation mit den Lehrstühlen Fertigungstechnik und Fügetechnik arbeiten acht Mitarbeiter der Universität eng mit dem Fraunhofer IGP in Forschung und Lehre zusammen. Dazu kamen im vergangenen Jahr 27 Praktikantenverträge zustande.



## Gesamthaushalt

Das Fraunhofer IGP hat im Jahr 2017, wie bereits in den Jahren zuvor, einen ausgeglichenen Haushalt und einen positiven Übertrag. Der Gesamthaushalt verzeichnet stetiges Wachstum.



## Erträge

Die Erträge im Jahr 2017 beliefen sich auf insgesamt 7 Mio. Euro. Mit einem Wirtschaftsertrag von 47 % wurden auch 2017 die Planziele erreicht. Eine weitere Steigerung wird auch für das darauffolgende Jahr erwartet.

## Ausstattung

Das Fraunhofer IGP wächst! Nicht nur die steigenden Mitarbeiterzahlen sowie die Haushalts- und Ertragsentwicklungen beweisen die stetige Expansion, auch räumlich gibt es Veränderungen: Mit dem vierten Bauabschnitt wurde der weitere Ausbau der Einrichtung mit einem Investitionsvolumen von ca. 14 Mio. Euro beschlossen. Die Realisierung der neuen Gebäude mit einer Gesamtfläche von circa 2.000 m<sup>2</sup> hat bereits begonnen. Mit der Fertigstellung 2021 wird der Standort in der Rostocker Südstadt um neue Büros, Labore und einer neuen Versuchshalle erweitert.

Derzeit verfügt das Fraunhofer IGP über 2.545 m<sup>2</sup> Büro- und Laborfläche in der Rostocker Albert-Einstein-Straße. Auf einer Technikumsfläche von circa 1.200 m<sup>2</sup> stehen modernste Ausstattungen für die anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Zu den besonderen Einrichtungen zählen unter anderem Labore der Fertigungstechnik, Automatisierungs- und Robotertechnik, Messtechnik, Prüftechnik und PÜZ-Stelle, Schweißtechnik, mechanische Fügetechnik, Klebtechnik sowie eine Klimakammer, ein Bereich für virtuelle Realität und ein Labor für Industrie 4.0.

## Weitere Kennzahlen 2017

Promotionen	3
Konferenzbeiträge	57
Veröffentlichungen	123

1 und 2 Vierter Bauabschnitt des Fraunhofer IGP, Architektenentwurf







## FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER PRODUKTIONSTECHNIK IGP

**Institutsleitung**  
Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge

Stellvertretung Institutsleitung  
Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel

### Assistenz der Institutsleitung

Dipl.-Ing. Sabine Wegener  
Dipl.-Ing. Gabriele Ehmke

**Umformtechnisches Fügen und Formgeben**  
Dr.-Ing. Normen Fuchs

**Automatisierungstechnik**  
Dipl.-Ing. Steffen Dryba

**Unternehmens- und Produktionsorganisation**  
Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Sender

**Akkreditiertes Prüflabor**  
M.Eng. Holger Brauns

**Verwaltung und IT**  
Dipl.-Wirt.-Inf. Marcus Baier

**Mechanische Verbindungstechnik**  
Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Blunk

**Messen von Großstrukturen**  
Dr.-Ing. Michael Geist

**Klebtechnik, Faserverbundtechnik und Korrosionsschutz**  
Dr.-Ing. Nikolai Glück

**Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach LBO**  
Prof. Dr.-Ing. Ralf Glienke

**Schweißtechnik**  
Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel

# UMFORMTECHNISCHES FÜGEN UND FORMGEBEN

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Die Arbeitsgruppe Umformtechnisches Fügen und Formgeben des Fraunhofer IGP beschäftigt sich mit zwei Forschungsschwerpunkten.

Im Forschungsschwerpunkt des umformtechnischen Fügens werden Fragestellungen des Verbindens von Leichtbauwerkstoffen, beispielsweise von Faserkunststoffverbunden oder Aluminiumknetlegierungen, als reine umformtechnische Fügepunkte sowie in Kombination mit dem Kleben betrachtet. Hauptanwendungsgebiete der betrachteten Fügeverfahren sind der Flugzeug- und Fahrzeugbau.

Hierbei erfolgt sowohl die initiale Qualifizierung des Umform- beziehungsweise Setzprozesses des Fügepunktes als auch die Analyse der Tragfähigkeit des Fügepunktes unter statischer und zyklischer Belastung sowie im Crashfall. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der bruchmechanischen Bewertung der Fügestellen hinsichtlich Rissinitiierung, Risswachstum und Bruchverhalten.

Darüber hinaus werden die Eigenschaften der Fügepunkte über die Lebensdauer analysiert und Themenstellungen wie Korrosionsbeständigkeit, Dichtheit, elektrische Leitfähigkeit oder aber Möglichkeiten zur (zerstörungsfreien) Prüfung behandelt.

Im Forschungsschwerpunkt des umformtechnischen Formgebens werden grundlegende umformtechnische Fragestellungen zur Formgebung von Bauteilstrukturen behandelt. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Entwicklung von Prognosemodellen und der Ableitung von Prozesssteuerungskonzepten für die kalt- und warmplastische Umformung, vornehmlich für das Umformen großer Blechfelder mit Materialstärken größer als 5 mm. Diese müssen hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit zur Integration in Anlagensteuerungen evaluiert und optimiert werden.

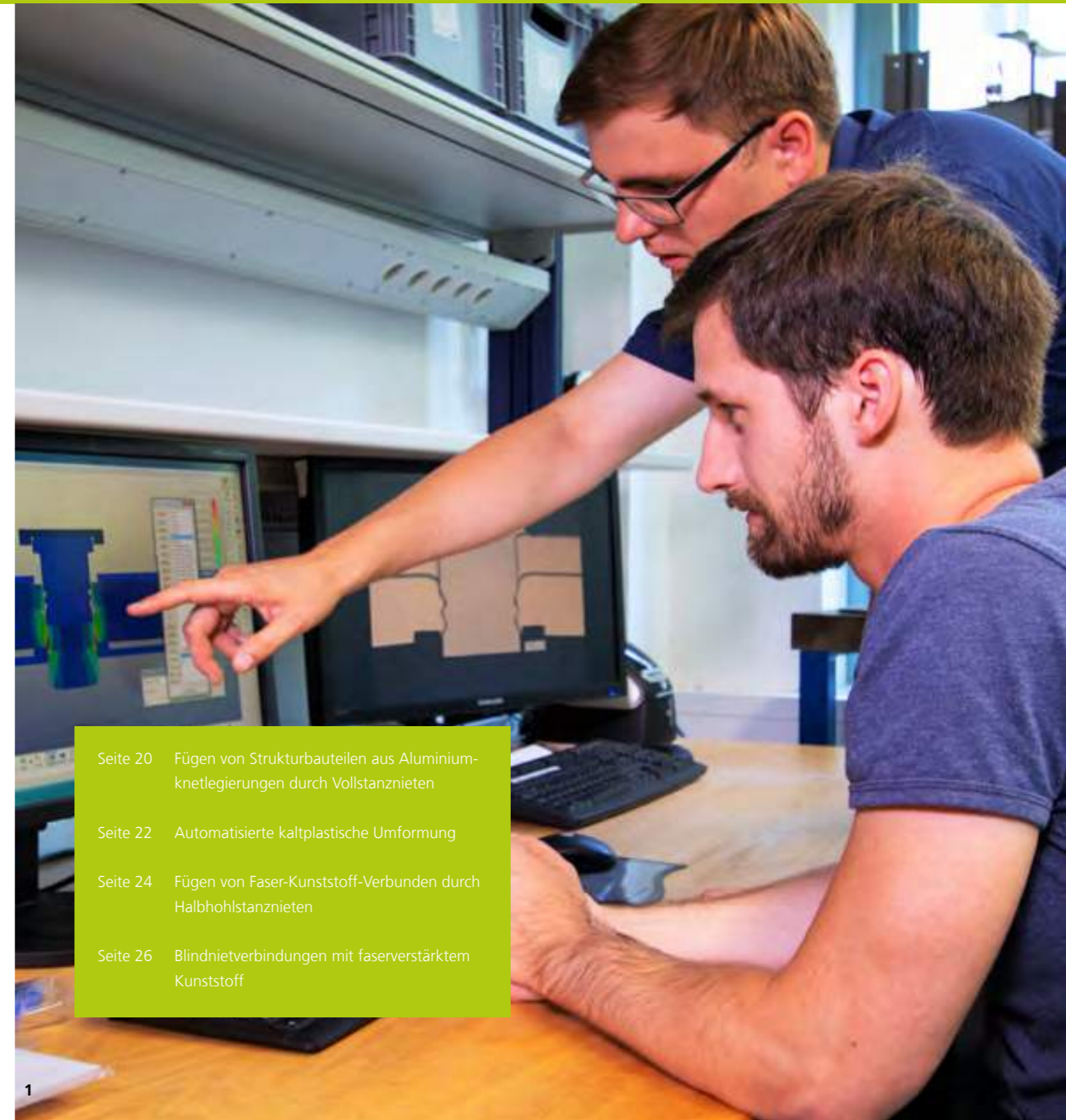
1 *Thomas Nehls und René Dukat betrachten Ergebnisse eines Vollstanznietprozesses*

## Gruppenleiter

Dr.-Ing. Normen Fuchs  
Telefon +49 381 49682-36  
normen.fuchs@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

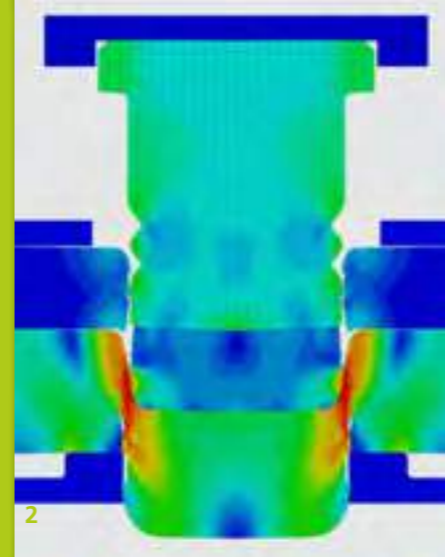
Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 20 Fügen von Strukturbauteilen aus Aluminiumknetlegierungen durch Vollstanznieten
- Seite 22 Automatisierte kaltplastische Umformung
- Seite 24 Fügen von Faser-Kunststoff-Verbunden durch Halbhohlstanznieten
- Seite 26 Blindnietverbindungen mit faserverstärktem Kunststoff



1



2

# FÜGEN VON STRUKTURBAUTEILEN AUS ALUMINIUMKNETLEGIERUNGEN DURCH VOLLSTANZNIETEN

## Herausforderung

Im Flugzeug-, Schienenfahrzeug- und Kraftfahrzeugbereich besteht die Anforderung nach effizienten Fügeverfahren in Kombination mit einer Reduzierung des Strukturgewichtes. Zur Umsetzung dieser Anforderungen werden verstärkt Aluminiumknetlegierungen für Strukturbauteile verwendet, die mittels umformtechnischer Fügeverfahren miteinander verbunden werden. Als effizientes Verfahren hat sich das Vollstanznieten herausgestellt. Die Entwicklung von Vollstanznieten aus höchstfesten Aluminiumlegierungen bieten bei diesem Anwendungsbereich ein großes Optimierungspotenzial, da sie ein deutlich verbessertes Life-Cycle-Management und eine Optimierung der Korrosionsschutzbeständigkeit der Fügeverbindungen erzeugt.

## Lösungskonzept

### Materialcharakterisierung

Die Entwicklung eines Vollstanznietes aus höchstfesten Aluminiumlegierungen erfolgt durch die geeignete Auswahl einer Aluminiumlegierung für den Nietwerkstoff und deren optimale Anpassung an die Fügeaufgabe mittels geeigneter Wärmebehandlungsparameter.

Während des Setzprozesses durchstanzt der Vollstanzniet die Fügeteile und der Fügeteilwerkstoff fließt in die umlaufende Rillengeometrie des Vollstanznietes. Durch hohe lokale Beanspruchungen muss daher ein Nietwerkstoff mittels Wärmebehandlung in der Art eingestellt werden, dass der Niet eine hohe Festigkeit bei ausreichendem Umformvermögen bietet. Diese Anpassung setzt eine genaue Kenntnis über die zur

Auswahl stehenden Aluminiumlegierungen der Fügeelemente sowie eine detaillierte Betrachtung typischer Fügeteilwerkstoffe voraus, die die Rahmenbedingungen für die Fügeaufgabe vorgeben. Erforderliche Kennwerte werden hierzu aus der Härteprüfung, den quasistatischen und zyklischen Untersuchungen sowie aus der optischen Emissionsspektrometrie zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung generiert.

### Numerische und experimentelle Geometrieoptimierung

Neben der Werkstoffauswahl und Wärmebehandlung hat die Geometrie des Vollstanznietes einen entscheidenden Einfluss auf den Setzprozess und die Fügepunktausprägung beim Vollstanznieten. Hohe lokale Beanspruchungen liegen dabei während der Stanzphase am Nietfuß und während der Umformung an den Rillen des Nietes vor. Durch eine gezielte Geometrieanpassung auf Basis numerischer Simulationen wird der Vollstanzniet optimal an die Fügeaufgabe angepasst. Zur Validierung der Simulationsergebnisse werden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, wobei die Überprüfung der maximalen Stanzkräfte für unterschiedliche praxisübliche Fügeteilwerkstoffe, Setzversuche mit Vollstanznieten mit optimierten Nietgeometrie zur Ermittlung der Fügepunktausprägung sowie der Prozessparameter im Fokus stehen.

### Ermittlung der Prozessgrenzen

Bei der Ermittlung der Prozessgrenzen stehen der Lateral- und Winkelversatz im Fokus der Untersuchung. Es ist zu überprü-

fen, welche Grenzwerte für diese Parameter zulässig sind, um eine optimale Fügepunktausprägung ohne Überbeanspruchung des Aluminium-Vollstanznietes zu erzeugen. Die Ermittlung dieser Parameter erfolgt mittels numerischer Simulation.

### Bewertung der Fügeverbindung

Die Bewertung der Fügeverbindung hinsichtlich Rissausbildung und Tragfähigkeit sind abschließende Qualitätskriterien. Hierzu werden optische Analysemethoden angewandt sowie statische und zyklische Tragfähigkeitseigenschaften im Prüflabor des Fraunhofer IGP ermittelt. Ein Vergleich zu Fügeverbindungen mit herkömmlichen Vollstanznieten aus Stahl sind anzustreben, um dem Anwender eine Einordnung der Prüfergebnisse zu ermöglichen.

### Ausblick

Die Entwicklung eines Vollstanznietes aus höchstfesten Aluminiumlegierungen bietet die Möglichkeit, Strukturbauteile aus Aluminiumknetlegierungen artgleich zu fügen. Durch die gezielte Auswahl und Anpassung des Nietwerkstoffes sowie der detaillierten Betrachtung und Optimierung der Nietgeometrie werden die Verfahrensgrenzen dieser artgleichen Fügeverbindung maximiert. Für den Anwender bedeutet dies, einen weiteren Anwendungsbereich der Vollstanznieten aus Aluminium mit der Möglichkeit, herkömmliche Vollstanznieten aus Stahl zu substituieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden dazu Vorgaben für die Prozessgrenzen sowie eine Bewertung der Fügeverbindung hinsichtlich der Tragfähigkeitseigenschaften vorgenommen. Im Sinne des Leichtbauansatzes führt dies zu einer angestrebten Reduzierung des Strukturgewichtes. Darüber hinaus wird ein verbessertes Life-Cycle-Management und eine Optimierung der Korrosionsschutzbeständigkeit der Fügeverbindungen erzeugt.

- 1 Vollstanznietelement
- 2 Numerische Simulation eines Vollstanznietprozesses

## Beteiligte Partner

Universität Rostock, Rostock

## Ansprechpartner

M.Sc. Thomas Nehls  
 Telefon +49 381 49682-65 | Fax +49 381 49682-12  
 thomas.nehls@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das Projekt „Fügen von Strukturbauteilen aus hochfesten Aluminiumknetlegierungen durch Vollstanznieten aus höchstfesten Aluminiumlegierungen“ wird als Vorhaben der Industriellen Gemeinschaftsforschung der Forschungsvereinigung Stifterverband Metalle e.V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





# AUTOMATISIERTE KALTPLASTISCHE UMFORMUNG

## Hintergrund

Die dreidimensionale Umformung von Grobblechen für den Schiffbau, Fassadenbau, Formbau und den Bereich der erneuerbaren Energien obliegt einem mehrstufigen kaltplastischen Umformprozess durch freies Biegen. Die Positionierung der Grobbleche erfolgt hierbei über ein Kransystem. Während der Umformung wird die Krananlage sowie die Zustellbewegung des Umformwerkzeuges rein nach Ermessen und Erfahrung des Anlagenbedieners gesteuert. Lediglich Schablonen in Kombination mit der klassischen Lichtspaltmethode können zur Qualitätssicherung hinzugezogen werden. Zur Steigerung der Effizienz der Prozessplanung, basierend auf einem rein subjektiven Ermessen des Anlagenbedieners und Möglichkeit zur Archivierung des Erfahrungsschatzes, wird daher innerhalb des Forschungsprojektes die Automatisierung des Handhabungssystems umgesetzt.

## Vorgehensweise

### Prognose der Plattenumformung

Die automatisierte Planung der Umformschritte benötigt eine Möglichkeit zur rechenzeitoptimierten Prognose der Grobblechumformung infolge des Werkzeugeingriffs. Daher wird ein Ansatz über eine vereinfachte geometrische Modellierung verfolgt, mit der das charakteristische Umformverhalten beim freien Biegen über geeignete geometrische Modellparameter nachgebildet werden kann. Die Identifikation der Modellparameter in Relation zu den Einflussfaktoren der kaltplastischen Umformung (Werkstoff,

Geometrie, Eingriffsposition, etc.) erfolgt durch die Verwendung eines künstlichen neuronalen Netzes, das im Rahmen von experimentellen und numerischen Untersuchungen für praxisrelevante Umformaufgaben trainiert wird. Das Prognosemodell verfügt außerdem über eine Schnittstelle zur automatischen Korrektur der Prognose und des künstlichen neuronalen Netzes.

### Automatisierung der Prozessplanung

Basierend auf der Prognose der Umformung kann eine automatisierte Prozessplanung entwickelt werden, mit der die notwendigen Umformschritte für beliebige Sollgeometrien ermittelt werden können. Durch einen mathematischen Ansatz zur Abbildung des werkstoffspezifischen Fließverhaltens kann ebenfalls der Einfluss der Kaltverfestigung innerhalb der Prozessplanung berücksichtigt werden. Durch anschließende Sortierung der geplanten Umformschritte kann die wirtschaftliche Effizienz nachhaltig gesteigert werden, da der Aufwand der zeitintensiven Handhabung des Grobblechs zur Positionierung oberhalb des Umformwerkzeugs verringert wird.

### Erfassung des realen Umformungsverhaltens durch optische Messverfahren

Die kontinuierliche Überwachung des Umformprozesses wird mithilfe von Laserscannern ermöglicht. Basierend auf einer

- 1 Umformpresse mit Krananlage zum dreidimensionalen Umformen von Grobblechen
- 2 Entwicklung der automatisierten Prozessplanung

Sichtfeldanalyse können die Laserscanner für jede beliebige Plattenkontur optimal positioniert werden, sodass keine Abschattungen auftreten können. Neben der automatischen Durchführung der dreidimensionalen Vermessung werden Algorithmen zur automatischen Ausrichtung der Punktwolken und Datenaufbereitung entwickelt.

### Intelligente Kransteuerung zur genauen Plattenpositionierung

Für eine genaue Positionierung des Grobblechs oberhalb des Umformwerkzeugs wird eine intelligente Kransteuerung benötigt, mit der eine direkte Umsetzung der automatisierten Prozessplanung sichergestellt werden kann. Durch eine Nachbildung der Trägheitseigenschaften werden dabei unerwünschte Lastpendelbewegungen beim Beschleunigen und Abbremsen des Grobblechs erheblich reduziert.

## Ausblick

Die Automatisierung der kaltplastischen Umformung von Grobblechen bietet die Möglichkeit zur Objektivierung eines zuvor rein subjektiv gesteuerten Fertigungsprozesses. Durch den Aufbau einer automatisierten Datenbank kann das zeitintensive Anlernen neuer Anlagenbediener signifikant reduziert werden. Der kontinuierliche Abgleich zwischen der prognostizierten und der tatsächlichen Umformung erlaubt eine sofortige Kompensation von lieferantenspezifischen Schwankungen der Materialeigenschaften und langfristige Steigerung der Modellgenauigkeit. Durch die Prozesssimulation kann der Fertigungsaufwand auch bei der Herstellung von Einzelstücken bereits in der Planungsphase abgeschätzt werden und ermöglicht eine höhere Maschinenauslastung, da die Durchlaufzeiten exakter geplant werden können.

## Beteiligte Partner

Ostseestaal GmbH & Co. KG, Stralsund; Universität Rostock, Rostock

## Ansprechpartner

M.Sc Pascal Froitzheim  
 Telefon +49 381 49682-228 | Fax +49 381 49682-12  
 pascal.froitzheim@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das Projekt „Handhabungssystem für die automatisierte kaltplastische Umformung“ wird mit Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die Betreuung erfolgte nach Maßgabe der Richtlinie zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation des Ministeriums für Wirtschaft, Bau und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern durch den Projektträger Technologie-Beratungs-Institut (TBI).





# FÜGEN VON FASER-KUNSTSTOFF-VERBUNDEN DURCH HALBHÖHLSTANZNIETEN

## Ausgangssituation

Beim Fügen von Metallstrukturen mit Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) ist das Halbhohlstanznieten als vorlochfreies, umformtechnisches Fügeverfahren zunehmend in den Fokus gerückt, da es durch seine hohe Automatisierbarkeit bestens für die Großserienfertigung im Mobilitätssektor geeignet ist und eine hohe Prozesssicherheit bei kurzen Prozesszeiten gewährleistet. Jedoch werden in Folge des Stanznietsetzprozesses Schädigungen im FKV induziert. Hierzu zählen lokale Faser- und Matrixbrüche als auch flächige Delaminationen, die die strukturelle Tragfähigkeit des Verbundwerkstoffs und der Fügeverbindung signifikant reduzieren können. Aktuell besteht ein Defizit zur effizienten Prognose der setzprozessinduzierten Schädigungen sowie Unsicherheiten hinsichtlich der Zusammenhänge, die sich aus der Ausprägung des Fügepunkts und dem resultierenden Tragverhalten bei Ermüdungsbelastung ergeben.

## Vorgehensweise

### Schädigungsquantifizierung in Folge des Setzprozesses

Die initiale Schädigung infolge des Setzprozesses ist ein wesentlicher Aspekt, der bei der Analyse von mechanischen Fügeverbindungen in FKV zu berücksichtigen ist. Hierfür werden Analysestrategien benötigt, die mit Hilfe der richtigen Messtechnik und Auswerteverfahren eine quantitative Bestimmung der setzprozessinduzierten Schädigungen im FKV ermöglichen.

Die Quantifizierung der Schädigung infolge des Setzprozesses

ses ist aus zweierlei Gründen erforderlich: Einerseits bedarf die Entwicklung von numerischen Simulationsmodellen zur Prognose der Fügepunktausprägung und der Schädigung eine Validierungsgrundlage, andererseits besteht die Notwendigkeit, für eine weiterführende Tragfähigkeitsanalyse den Grundzustand der Schädigung infolge des Setzprozesses zu charakterisieren. Darausfolgend können die Zusammenhänge zwischen dem Tragverhalten, insbesondere bei Ermüdung und der setzprozessinduzierten Schädigung abgeleitet werden.

### Numerische Simulation des Stanznietsetzprozesses

Für metallische Konstruktionswerkstoffe sind eine Vielzahl von numerischen Modellierungsansätzen zur Bestimmung der Fügepunktausprägung und Prognose der Tragfähigkeit vorhanden. Diese können beim umformtechnischen Fügen von FKV mit Metallen aufgrund der komplexen anisotropen Eigenschaften und Schädigungsmoden des FKV nicht direkt übertragen werden. Daher gilt es, durch eine geeignete Werkstoffcharakterisierung und Parametrisierung die unterschiedlichen Versagensmoden beim Durchstanzen abzubilden. Durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für numerische und experimentelle Festkörpermechanik der TU Dresden werden praxisnahe Simulationsansätze entwickelt, die eine effiziente

1 Halbhohlstanzniet-Fügepunkt in faserverstärkten Kunststoffen und Aluminium mit Kennzeichnung der setzprozessinduzierten Delaminationen

2 Schadensanalyse mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Simulation des Stanznietprozesses in FKV-Metall-Werkstoffe ermöglichen sollen.

### Schädigungsverhalten der Grundwerkstoffe

Zur erfolgreichen Modellierung des FKV-Werkstoffs ist die Bestimmung charakteristischer Kennwerte zwingend erforderlich. Hierfür gilt es, die notwendigen Schädigungszustände auf Basis experimenteller Begutachtungen auszuwählen und die für die Modellparametrisierung erforderlichen Schädigungsparameter mit Hilfe standardisierter Prüfkonzepte umzusetzen.

Die Werkstoffcharakterisierung durch quasistatische aber auch schwingende Belastung gibt darüber hinaus einen umfangreichen Einblick in das Schädigungsverhalten des FKV. Diese Kenntnisse sind die Basis für nachgelagerte Tragverhaltensuntersuchungen an umformtechnisch gefügten FKV-Metall-Verbindungen.

### Ausblick

Die Untersuchungen sollen dem Anwender Vertrauen in den Einsatz von umformenden Fügeverfahren unter Verwendung von FKV als Fügepartner geben. Die effizienten Auswerterroutinen und Modellierungsstrategien ermöglichen zudem die Übertragbarkeit auf andere FKV-Werkstoffe und Fügekonstellationen und bieten die Möglichkeit, einen umformtechnisch gefügten Fügepunkt mit FKV und Metall anwendungsgerecht auszuführen.

### Beteiligte Partner

Technische Universität Dresden, Dresden

### Ansprechpartner

M.Sc. Robert Staschko  
 Telefon +49 381 49682-42 | Fax +49 381 49682-12  
 robert.staschko@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Die Projekte „Modellierungsstrategie zur anwendungsgerechten Simulation stanzender Fügeverfahren bei FKV-Hybridstrukturen“ und „Ermüdungsfestigkeit halbhohlstanzgenieteter FKV-Metall-Hybridverbindungen“ werden als Vorhaben der Industriellen Gemeinschaftsforschung von der Forschungsvereinigung EFB e.V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.





1

## BLINDNIETVERBINDUNGEN MIT FASERVERSTÄRKTEM KUNSTSTOFF

### Motivation

Leichtbaubestrebungen in unterschiedlichen Bereichen der Industrie führen verstärkt zu einem multimateriellen Werkstoffeinsatz, welcher sowohl Leichtmetalle und höchstfeste Stähle als auch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) vorsieht. Die Umsetzung des Multi-Material-Designs setzt Fügeverfahren voraus, die einen werkstoffgerechten und zugleich effizienten Einsatz sicherstellen.

Im Karosseriebau von Automobilherstellern finden unter anderem Blindnietssysteme zur Vorfizierung von Bauteilstrukturen Verwendung. Eine wesentliche Anforderung an diese Verbindungen ist es, die Lochüberdeckung der zu fügenden Bauteile zu gewährleisten. Aus der Aufsummierung von Form- und Lagetoleranzen einzelner Bauteile zu Toleranzketten resultieren jedoch teilweise ungünstige Verbindungskonfigurationen. In Fügepaarungen mit faserverstärkten Kunststoffen können infolgedessen Schädigungen sowohl am Fügeelement als auch an den Fügeteilen beobachtet werden. Im Rahmen der Forschungsarbeit sollen für bestehende Blindnietssysteme die Anwendungsgrenzen aufgezeigt und dem Anwender Gestaltungshinweise für Fügeteilkonfigurationen unterstützend zur Seite gestellt werden.

### Lösungskonzept

#### Identifikation von Schädigungsmechanismen

Als Betrachtungsgegenstand der Forschungsarbeit dient eine Blindnietverbindung von CFK und Aluminium. Anhand dieser wird zunächst der Einfluss wesentlicher Verbindungsparameter auf setzprozessinduzierte Schädigungen systematisch

untersucht. Der Parameterraum wird durch verschiedene Ausführungen von Blindnietelementen und Fügeteilwerkstoffen erweitert. Mit Hilfe von metallografischen Schliffbildern können Risse im Fügeelement, Faserbrüche oder Abplatzungen der Matrix des Verbundwerkstoffs im Bereich der Fügestelle detektiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Eingangsgrößen für die weiter durchzuführenden Versuche und um Tendenzen zur Auswirkung der betrachteten Verbindungsparameter auf das Ausmaß der setzprozessinduzierten Schädigungen formulieren zu können.

#### Tragfähigkeitsuntersuchungen

Experimentelle Versuche zum Tragverhalten der Blindnietverbindungen komplettieren die Schädigungsanalyse indirekt. Ausgehend von den vorherigen Betrachtungen werden für jedes Verbindungselement Proben entsprechend vorkonfiguriert und sowohl unter quasistatischer als auch unter zyklischer Beanspruchung geprüft. Von großer Bedeutung hierbei ist der Zusammenhang der Auswirkungen zwischen generierten Schädigungen unter schwingender Beanspruchung wie sie unter realitätsnahen Bedingungen im Betrieb zu finden sind.

#### Numerische Simulation des Blindnietsetzprozesses

Für die Simulation des Setzprozesses werden entsprechende Geometriemodelle der betrachteten Nietelemente erstellt

- 1 Karosseriestruktur eines Audi R8 mit CFK-Bauteilen
- 2 Aluminium-CFK-Blindnietverbindung unter Berücksichtigung von Form- und Lagetoleranzen



2

und die Materialeigenschaften der einzelnen Nietbestandteile (Niethülse, Nietdorn) experimentell ermittelt. Um die setzprozessinduzierten Schädigungen im CFK-Werkstoff abzubilden, wird ein Materialmodell entwickelt, welches die werkstoffspezifischen Effekte hinsichtlich des Verformungs- und Versagensverhaltens berücksichtigt. Durch die Kombination der Modelle von Niet- und Fügepartnern werden in einem weiteren Arbeitsschritt die simulierten Blindnietsetzprozesse anhand technologischer Größen wie Kraft-Weg-Verläufe und lokale Deformationen sowie geometrische Größen von gesetztem Niet- und Fügeteil für verschiedene Verbindungskonfigurationen mit den experimentellen Befunden validiert.

### Ausblick

Mithilfe des parametrisierten Modells von Blindniet und CFK können gezielt werkstoffliche und geometrische Modifikationen am System der Verbindung vorgenommen werden. Das Ziel besteht darin, Stellschrauben für eine Blindnietoptimierung zu identifizieren, anhand derer setzprozessinduzierte Schädigungen gezielt verringert oder vermieden werden können. Die Entwicklung und anschließende Fertigung von Blindniet-Demonstratoren, die beispielsweise eine verbesserte Blindnietfaltung besitzen, sollen die durch Simulation erhaltenen Erkenntnisse verifizieren. Zu den weiteren Ergebnissen des Forschungsvorhabens zählen neben einer entsprechenden Vorhersage von Verbindungs- und Schädigungsausbildung auch präzise formulierte Anforderungen für das Fügen von faserverstärkten Kunststoffen mit Blindnietelementen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen. Somit soll sichergestellt werden, dass Blindnietverbindungen auch in Verbundwerkstoffen qualitätsgerecht eingesetzt werden können.

### Beteiligte Partner

Technische Universität Dresden, Dresden

### Ansprechpartner

M.Sc. Felix Holleitner  
 Telefon +49 381 49682 234 | Fax +49 381 49682-12  
 felix.holleitner@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt „Anforderungsprofil für Blindnietverbindungen mit CFK“ wird als Vorhaben der Industriellen Gemeinschaftsforschung von der Forschungsvereinigung EFB e.V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



# MECHANISCHE VERBINDUNGSTECHNIK

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Steigende Anforderungen bei der Herstellung energie- und ressourceneffizienter Produkte sowie umwelttechnische Aspekte führen in vielen Branchen zunehmend zur Anwendung von Leichtbaukonzepten. Der damit verbundene Einsatz neuartiger Materialien lässt insbesondere die mechanische Verbindungstechnik in den letzten Jahren eine Renaissance erfahren. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, erarbeitet das Fraunhofer IGP für die damit verbundenen Problemstellungen innovative und wirtschaftliche Lösungen.

Der Bereich Mechanische Verbindungstechnik umfasst verschiedene Forschungsschwerpunkte im Metalleicht- und Stahlbau, im Schienenfahrzeugbau sowie im allgemeinen Fahrzeug- und Maschinenbau. Gemeinsam mit unseren Kunden erarbeiten wir branchenspezifische Lösungen. Die richtige Auswahl und Beherrschung der Fügeverfahren entscheidet bereits zu Beginn der Produktentwicklung maßgeblich über die Funktionalität, Zuverlässigkeit und Sicherheit einer Konstruktion. Gleichzeitig hilft die für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Füge-technologie Kosten und Material während der Produktion und der Nutzung einzusparen. Der Tätigkeitsbereich erstreckt sich von der Beratung zur Auswahl der optimalen Füge-technologien über die Analyse des Tragverhaltens bis hin zum Ableiten geeigneter Bemessungsregeln entsprechend den Anforderungen aus dem jeweiligen Anwendungsfall.

Unterstützt werden die theoretischen Betrachtungen durch das akkreditierte Prüflabor des Fraunhofer IGP, welches mit modernster Prüftechnik umfangreiche experimentelle Untersuchungen von Werkstoffen, Verbindungselementen, Verbindungen und Beschichtungssystemen unter genormten Bedingungen abbilden kann.

1 *Andreas Ebert und Thomas Gerke bei der Besprechung von Vorspannkraftversuchen*

## Gruppenleiter

Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Blunk  
Telefon +49 381 49682-34  
christoph.blunk@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 30 Zuverlässigkeit von gleitfesten Verbindungen in Stahlbaukonstruktionen
- Seite 32 Vorspannkraftverluste ermüdungsbeanspruchter vorgespannter Schraubverbindungen
- Seite 34 Steigerung der Tragfähigkeit durch den Einsatz von Schließringbolzensystemen
- Seite 36 Gewindeeinsätze für Leichtmetallverschraubungen



## ZUVERLÄSSIGKEIT VON GLEITFESTEN VERBINDUNGEN IN STAHLBAUKONSTRUKTIONEN

### Motivation

Das internationale Projekt „Execution and reliability of slip-resistant connections for steel structures using carbon steel and stainless steel - SIROCO“ untersucht das Verhalten von gleitfest vorgespannten (GV-)Verbindungen aus Kohlenstoff- und nichtrostendem Stahl. Gleitfeste Verbindungen werden in schubbeanspruchten Konstruktionen mit Belastungen aus Schwingungen mit und ohne Lastumkehr vorzugsweise eingesetzt.

Eine weitaus wirtschaftlichere Auslegung von GV-Verbindungen im Stahlbau ist möglich, wenn entgegen der genormten Haftreibungszahlen in DIN EN 1090-2 höhere Werte für neuartige Beschichtungen zu erreichen sind. Auch im Hinblick auf wartungsfreie GV-Verbindungen ist die experimentelle Untersuchung und das Zusammenspiel von Vorspannkraft und Haftreibungszahl von immenser Bedeutung. Anwendungen sind beispielsweise in geschraubten Brücken und längsgeteilten Türmen von Windenergieanlagen oder Gittermasten zu finden. Dabei spielt das Verfahren zur Bestimmung der Haftreibungszahl eine große Rolle. Die Regeln dafür sind im Anhang G der DIN EN 1090-2 festgelegt, aber nicht ohne weiteres auf neuartige Beschichtungssysteme übertragbar.

Darüber hinaus sind die Prüfungen sehr komplex und das sogenannte Verschiebungskriterium zur Bestimmung der Gleitlast kann je nach Probengröße variieren. Normativ ist dieses Kriterium jedoch fix auf 150 µm Verschiebung festgeschrieben. Dieses Verschiebungskriterium wird überarbeitet, um eine verbesserte Durchführung der Prüfung zu gewährleisten. Ebenso wird die Herangehensweise der Durchführung

und Auswertung der erweiterten Kriechprüfung nach DIN EN 1090-2, Anhang G.5 detailliert betrachtet und überarbeitet. Weiterhin wurde das Verfahren zur Bestimmung der Haftreibungszahl hinsichtlich folgender Einflussgrößen untersucht: Prüfgeschwindigkeit, Höhe der Vorspannkraft, Anziehverfahren, Reibflächenvorbehandlungen (gestrahlt, Feuerverzinkung, Alkali/Ethyl-Zink-Silikat-Beschichtung, thermisch gespritzt mit Aluminium/Zink und Kombinationen), Kriterien für die Ermittlung der Gleitlast und die Bestimmung der Lasten für erweiterte Kriechprüfungen. Es wurden Verbesserungen bezüglich des Verfahrens zur Bestimmung der Haftreibungszahl formuliert, die teilweise bereits in der Überarbeitung der EN 1090-2 umgesetzt wurden.

Der Einsatz von Schrauben in gleitfesten Verbindungen, beides aus nichtrostenden Stählen, wurde hinsichtlich des Kriech-/Relaxationsverhaltens, der Vorspannkraftverluste, des Anziehverhaltens und der gleitfesten Tragwirkung für austenitische, Duplex- und Superduplex-Edelstähle untersucht. Im Ergebnis sind Edelstahlverschraubungen grundsätzlich vorspannbar und sogenanntes „Fressen“ kann durch geeignete Schmiermittel und Anziehverfahren vermieden werden. Für gestrahlte Oberflächen wurden hohe praxisgerechte Haftreibungszahlen nach dem Verfahren im Anhang G der DIN EN 1090-2 ermittelt. Daraufhin wurden Empfehlungen zur Auslegung und Ausführung von gleitfesten Verbindungen und Änderungen der EN 1993-1-4, EN 1993-1-8 und EN 1090-2 formuliert.

**1 Auswertung der erweiterten Kriechprüfung nach DIN EN 1090-2, Anhang G**

### Ziele

Bisherige Regeln für GV-Verbindungen im Stahlbau sind lediglich für Baustähle und einige Reiboberflächenbeschichtungen in DIN EN 1090-2 festgelegt. Für abweichende Oberflächen oder für höher angestrebte Haftreibungszahlen sind spezielle Versuche nach DIN EN 1090-2, Anhang G erforderlich, deren genormte Durchführung einige Fragestellungen aufwarfen, welche im Zuge von SIROCO geklärt wurden. Ein verbessertes Verfahren zur Prüfung der Haftreibungszahl  $\mu$  nach EN 1090-2, Anhang G wurde entwickelt und in den bestehenden Normentwurf aufgenommen. Weiterhin wurde der Einsatz von modernen, innovativen Verbindungselementen wie Schließringbolzen und H360-Bolzen erfolgreich in GV-Verbindungen eingesetzt und vergleichende Untersuchungen an Verbindungen mit hochfest vorgespannten Schrauben durchgeführt. Als Hauptziele des Projektes wurden die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von gleitfesten Verbindungen aus Baustahl unter Berücksichtigung innovativer Schrauben- und Vorspannmethoden sowie innovativer Beschichtungssysteme und die Schließung wichtiger Wissenslücken bei feuerverzinkten Stahlverbindungen erreicht. Zum anderen gelten diese bestehenden Regeln nur für Verbindungen aus Baustahl und so wurden umfangreiche und vergleichende Untersuchungen zum Vorspann- und Tragverhalten von GV-Verbindungen aus austenitischen, Duplex-, Lean-Duplex- und Super-Duplex-Stählen durchgeführt.

Für geschraubte Verbindungen aus rostfreien Stählen wurden erstmals Bemessungsregeln hinsichtlich der Vorspannkraft bei Verwendung von Schrauben aus ebenfalls rostfreierem Stahl erarbeitet und Regeln zur Ausführung der Verbindung formuliert.

### Beteiligte Partner

Arup, London; Bumax AB, Åshammar; EGGA, Reddicroft; Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH, Dresden; Outokumpu Stainless AB, Avesta; Outokumpu Stainless Oy, Tornio; SCI Steel Knowledge, Ascot; Technische Universität, Delft; Universität Duisburg-Essen, Duisburg; VTT, Espoo

### Ansprechpartner

M.Sc. Wirt.-Ing. Andreas Ebert  
Telefon +49 381 49682-33 | Fax +49 381 49682-12  
andreas.ebert@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt „Execution and reliability of slip-resistant connections for steel structures using carbon steel and stainless steel - SIROCO“ wurde unter der Federführung von Prof. Stranghøner, IML Universität Duisburg-Essen vom RFCS Research Fund for Coal and Steel gefördert.







# VORSPANNKRAFTVERLUSTE ERMÜDUNGSBEANSPRUCHTER VORGESPANNTER SCHRAUBVERBINDUNGEN

## Einleitung

Zur Gewährleistung der Tragfähigkeit oder Gebrauchstauglichkeit von Konstruktionen über die Lebensdauer ist der Erhalt der angesetzten Vorspannkraft in den Schraubverbindungen zwingend erforderlich. Folglich müssen die Verbindungen in regelmäßigen Abständen geprüft und gegebenenfalls nachgespannt werden. Um Wartungsintervalle zu definieren und zu verlängern, müssen Vorspannkraftverluste demnach bereits bei der Dimensionierung einer Verbindung realistisch abgeschätzt werden. Die Ursachen der Vorspannkraftverluste sind dabei vielfältig, doch gerade der Anteil der Vorspannkraftverluste infolge zyklischer Beanspruchungen sind noch weitestgehend unbekannt.

## Lösungskonzept

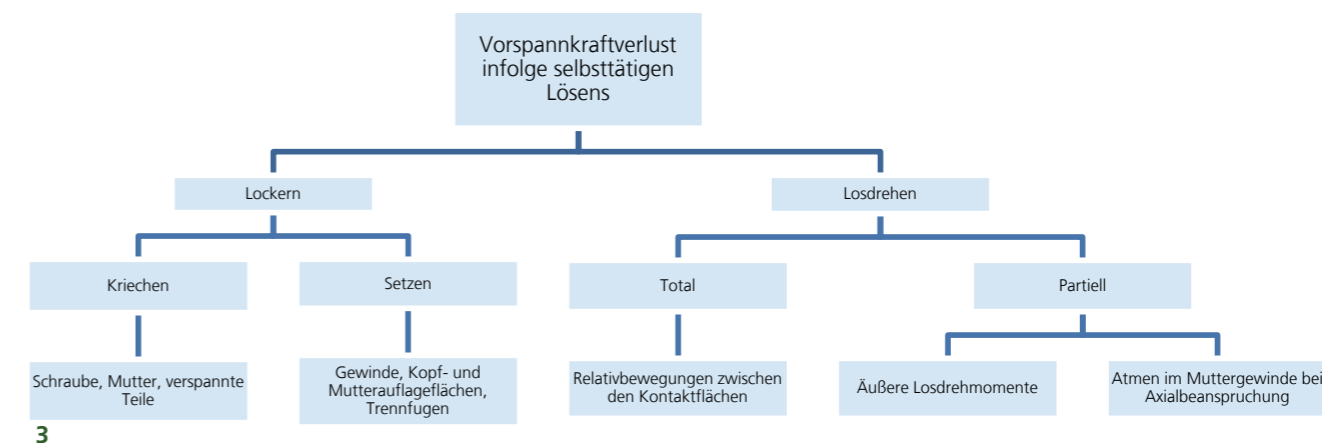
Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Anteile der Vorspannkraftverluste infolge des Setzens und infolge zyklischer Beanspruchung für eine Vielzahl praxisrelevanter Anschlusskonfigurationen bestimmt. Dabei wurden gleitfest vorgespannte Verbindungen sowie zugbeanspruchte vorgespannte Verbindungen unter der Verwendung von verschiedenen Verbindungsmitteln, Anziehverfahren und Oberflächenvorbehandlungen hinsichtlich ihres Vorspannkraft-Zeit-Verhaltens geprüft. Speziell bei den zyklischen Beanspruchungen wurde darauf geachtet, dass die Belastungen in Anlehnung an den Anwendungsfall definiert wurden. Die

maßgebenden Einflussfaktoren auf die Vorspannkraftverluste wurden herausgearbeitet und die extrapolierten und statistisch abgesicherten Vorspannkraftverluste für jede Anschlusskonfiguration ermittelt.

## Nutzen

Durch die ursachenspezifische Bestimmung der Vorspannkraftverluste in vorgespannten Verbindungen soll den Unternehmen die Möglichkeit gegeben werden, Vorspannkraftverluste bereits zum Zeitpunkt der Dimensionierung berücksichtigen zu können, sodass Wartungsintervalle verlängert beziehungsweise mechanisch wartungsfreie Verbindungen hergestellt werden können. Gleichzeitig können die Schraubverbindungen so gestaltet werden, dass eine optimale Ausnutzung des verbleibenden Vorspannkraftniveaus gegeben ist.

- 1 *Riesenrad mit gleitfest vorgespannten Verbindungen*
- 2 *Gittermastturm einer Windenergieanlage mit gleitfest vorgespannten Verbindungen*
- 3 *Ursachen von Vorspannkraftverlusten*



## Ausblick

Nach großem Interesse seitens der Industrieunternehmen wird ein Folgeprojekt angestrebt, bei dem die Datenbasis erweitert werden soll. Außerdem sind weitere Untersuchungen mit Mehrstufenkollektiven (mehrstufige zyklische Belastung) an gleitfest vorgespannten Verbindungen notwendig, da diese am ehesten dem Anwendungsfall entsprechen.

## Beteiligte Partner

Universität Duisburg-Essen, Duisburg

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Maik Dörre  
 Telefon +49 381 49682-239 | Fax +49 381 49682-12  
 maik.doerre@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das IGF-Vorhaben „Entwicklung eines Konzeptes zur Erfassung von Vorspannkraftverlusten in vorgespannten Schraubverbindungen unter Ermüdungsbeanspruchung“ wurde von der Forschungsvereinigung FOSTA e.V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.





# STEIGERUNG DER TRAGFÄHIGKEIT DURCH DEN EINSATZ VON SCHLIESSRINGBOLZENSYSTEMEN

## Einleitung

Die Bemessung von Verbindungen mit Schließringbolzen (SRB) erfolgt nach dem DVS-EFB-Merkblatt 3435-2 in Anlehnung an den DIN EN 1993-1-8 (EUROCODE 3) und an die Richtlinien VDI 2230-Blatt 1. Das Merkblatt berücksichtigt jedoch bisher nur die Grundfälle der Beanspruchung, welche sich in reine Axialkraft zentrisch beanspruchte Verbindungen (Zugverbindungen) und in reine Querkraft beanspruchte Verbindungen (Scherverbindungen) unterscheiden lassen.

Dennoch finden sich in der Praxis eine Vielzahl von Anwendungsfällen, bei denen die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen nicht den Grundfällen zuzuordnen sind. In den meisten Konstruktionen des Stahl-, Maschinen-, Nutz- und Schienenfahrzeugbaus sind dementsprechend nicht nur rein zentrisch oder rein Querkraft beanspruchte Verbindungen vorzufinden. In der Regel wird das Fügeelement konstruktionsbedingt einer Exzentrizität ausgesetzt wie zum Beispiel L-Flansche in Stahlrohrtürmen von Windenergieanlagen, bei denen das Fügeelement neben der reinen Zugbeanspruchung zusätzlicher Biegebeanspruchung ausgesetzt ist. Der Einsatz von exzentrisch beanspruchten Verbindungen mit SRB in tragenden und damit oft sicherheitsrelevanten Strukturen stellt Konstrukteure nicht selten vor eine Herausforderung. Aus diesem Grund wurden am Fraunhofer IGP im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojekts Ergebnisse ermittelt, welche die systematische Untersuchung des Tragverhaltens und der Versagensmechanismen von Schließringbolzen (SRB)-Verbindungen unter exzentrischer Beanspruchung zum Inhalt haben. Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist auch eine Steigerung der Tragfähigkeit unter anderem im Grenzzustand der Ermüdung für exzentrisch beanspruchte SRB im Vergleich zur konventionellen Schraubenverbindungen zu erwarten.

## Zielstellung und Lösungsweg

Das Ziel des Forschungsvorhabens ergab sich folglich daraus, den Anwendern der SRB-Technologie eine Erweiterung der Bemessungsregeln an die Hand zu geben, welche es dem Anwender erlaubt, SRB-Verbindungen in Abhängigkeit der über die Lebensdauer zu erwartenden exzentrischen Belastungen sowohl analytisch als auch mithilfe der Finite-Elemente-Methode sicher und gleichzeitig wirtschaftlich zu bemessen und auszulegen. Dazu wurden systematisch experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten unter zügiger und zyklischer Belastung erforderlich. Vor allem geht es hier um den nichtlinearen Beanspruchungsverlauf bei SRB-Verbindungen. Weiterführend wird ein Vergleich mit konventionellen Schraubenverbindungen angestrebt. Aus den durch die experimentellen und numerischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen wurden gezielt Bemessungsparameter abgeleitet. Diese sollen den Nachweis in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Ermüdungsfestigkeit von SRB-Verbindungen unter Einwirkung einer exzentrischen Axialkraftbeanspruchung ermöglichen. Ziel ist in diesem Zusammenhang die Bestimmung der maßgebenden Versagensmechanismen sowie die Definition eines Kerbfalls. Betrachtungsgegenstand des Forschungsvorhabens waren SRB aus Stahl der Nenndurchmesser M16, M20 und M36 sowie die damit hergestellten Verbindungen.

- 1 *Setzen des Schließringbolzens*
- 2 *Numerische Simulation zur Analyse exzentrisch beanspruchter Verbindungen mit Schließringbolzensystemen*

## Nutzen

Durch eine Steigerung der Tragfähigkeit können kleinere Abmessungen wie zum Beispiel bei L-Flanschen in Stahlrohrtürmen von Windenergieanlagen mit geringeren Exzentrizitäten dimensioniert werden, die dem Endanwender erhebliche Ersparnisse bezüglich Materialeinsatz, Wartung und Unterhalt bei der Verwendung von SRB ermöglichen. Der Ausbau von Bemessungsregeln für exzentrisch beanspruchte SRB-Verbindungen reduziert den zukünftigen Versuchsaufwand insbesondere für klein- und mittelständische Unternehmen. Die Erkenntnisse werden in Form eines Bemessungsvorschlags als Erweiterung in das DVS-EFB-Merkblatt 3435-2 aufgenommen und anwendergerecht eingearbeitet.

## Ausblick

Anwendungen für den Einsatz von SRB großer Nenndurchmesser zeigen unter anderem moderne Windenergieanlagen mit hohen Nabenhöhen. Große Nabenhöhen stellen große Herausforderungen an die Leistungsfähigkeit der Türme, die für den Betrieb der Anlage bestimmte statische und dynamische Eigenschaften erfüllen müssen. Künftig könnten Flanschverbindungen, welche eine exzentrische Belastung auf SRB ausüben, mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse dimensioniert werden. Allerdings fehlt es an Wissen zum Tragverhalten solcher exzentrisch axialkraftbeanspruchter SRB-Verbindungen großer Nenndurchmesser. Das im Forschungsvorhaben bestätigte Potenzial ist in weiteren Forschungsaktivitäten an größeren Nenndurchmessern zu vertiefen und ebenfalls zu bestätigen, um die Wissenslücken hinsichtlich der Grenzzustände der Tragfähigkeit und Ermüdungsfestigkeit von SRB zu schließen. Neben der Abhängigkeit der Tragfähigkeit, insbesondere der Schwingfestigkeit vom Nenndurchmesser der SRB, bleibt auch der Einfluss von fertigungs- und montagebedingten Imperfektionen in der exzentrisch beanspruchten Schließring-

bolzenverbindung ungeklärt. In diesem Zusammenhang ist neben der Tragfähigkeit auch die sequentielle Montage von SRB-Systemen beispielsweise zum Beiziehen der sogenannten Flanschklaffungsimperfektionen in Ringflanschverbindungen hinsichtlich der Einbringung der Montagevorspannkraft zu untersuchen.

## Ansprechpartner

M.Sc. Mathias Schwarz  
Telefon +49 381 49682-193 | Fax +49 381 49682-12  
mathias.schwarz@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das IGF-Vorhaben „Steigerung der Tragfähigkeit in exzentrisch beanspruchten Verbindungen durch den Einsatz von Schließringbolzensystemen“ wurde von der Forschungsvereinigung EFB e.V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

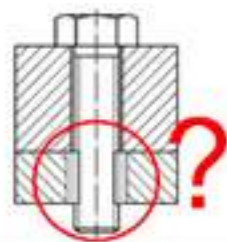
Gefördert durch:  
  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# GEWINDEEINSÄTZE FÜR LEICHTMETALLVERSCHRÄUBUNGEN

## Motivation

In allen Produkten des Maschinen- und Anlagenbaus, des Automobilbaus, des Schienenfahrzeugbaus, der Luftfahrt aber auch des Metallleichtbaus im Bauwesen sind gestiegene Anforderungen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit und damit ein zunehmender Materialmix zu beobachten. Als Zielstellung wird eine Reduktion des Gewichtes durch den Einsatz von Leichtmetallen wie Aluminium, Magnesium, Titan und deren Legierungen angestrebt, wobei insbesondere die Reparatur- und Recyclingfähigkeit von Bauteilen gewährleistet sein muss. Unter diesen Gesichtspunkten sind lösbare Schraubenverbindungen unumgänglich und werden daher auch vielfach eingesetzt.



1

## Nutzen

In der Konstruktion wird meist ein kleiner Durchmesser der Schraube bei möglichst hoher Ausnutzung des Schraubenwerkstoffes angestrebt. Mit dieser Maßnahme sollen Gewicht eingespart, der Größeneinfluss reduziert, die Exzentrizität verringert und Schraubwerkzeuge verkleinert werden, womit wiederum der Bauraum minimiert wird. Der Leichtbaugedanke wird dadurch in der Konstruktion konsequent umgesetzt.

Verschraubungen im Leichtmetall sind in einer Vielzahl technischer Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Entsprechend umfassend ist der Nutzerkreis, der Verschraubungen mit Gewindeeinsätzen einsetzt. Der Nutzerkreis reicht hierbei von kleinen bis mittleren Unternehmen (KMU), welche meist hochspezialisierte Produkte anbieten und als Zulieferer fungieren, über die Hersteller der Gewindeeinsätze selbst, die als KMU mit ihrem technischen Know-how beratend zur Seite stehen, bis hin zu Großunternehmen.

Die Kenntnisse der Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz der Gewindeeinsätze in Leichtmetallen im Sinne der Verschraubungstechnik eröffnet einerseits neue Anwendungsgebiete und damit Geschäftsfelder. Durch experimentelle Untersuchungen abgesicherte und resultierende Berechnungsvorschriften von Gewindeeinsätzen schaffen Akzeptanz und Sicherheit für diese Technik, sowohl bei KMU als Zulieferbetrieben als auch den Anwendern. Die angestrebten experimentellen Untersuchungen führen andererseits dazu, neue technische Innovationen im Rahmen des Leichtbaugedankens zu verwirklichen und damit die Ressourcen zu schonen. Durch diese Innovationen bleiben insbesondere KMU am Markt wettbewerbsfähig. Im angestrebten Forschungsvorhaben werden konkrete Probleme der Industrie hinsichtlich der Verschraubung in Leichtmetallwerkstoffen aufgegriffen. Für eine technologische Lösung in Form der Gewindeeinsätze wird der Allgemeinheit zugängliches Expertenwissen zur Bemessung

**1 Fragestellung zur Tragfähigkeit von Mehrfachgewindeeingriffen**

**2 Drehmoment-Vorspannkraftuntersuchung**



der Gewindeeinsätze geliefert und Vornormungsarbeit geleistet. Die Verschraubungstechnik, die in vielfältiger und umfangreicher Weise in allen Industriezweigen eingesetzt wird, kann somit zur Verbesserung bestehender Produkte entscheidend beitragen.

## Ausblick

Das Arbeitsziel des angestrebten Forschungsvorhabens besteht im experimentellen, numerischen und analytischen Nachweis, sodass die in Leichtmetall eingebrachten Gewindeeinsätze im Sinne des Konstruktionsprinzips der Schraubenverbindung eingesetzt und bemessen werden können. Der Wissensstand wird insofern erweitert, als dass für die in Leichtmetall eingeschraubten selbstschneidenden Gewindeeinsätze (und Drahtgewindeeinsätze großer Durchmesser ( $d > M16$ )) erstmals eine Aussage der axialen Tragfähigkeit nach dem Grenzkraftkonzept möglich ist beziehungsweise die erarbeiteten Berechnungs- und Ausführungsvorschriften für ineinandergreifende Gewindepaarungen um die für Gewindeeinsätze ergänzt werden.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Denkert  
Telefon +49 381 49682-64 | Fax +49 381 49682-12  
christian.denkert@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das IGF-Vorhaben „Gewindeeinsätze für Leichtmetallverschraubungen“ wurde von der Forschungsvereinigung EFB e. V. finanziert und betreut und über die Arbeitsgemeinschaft

industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# KLEBTECHNIK, FASERVERBUNDBTECHNIK UND KORROSIONSSCHUTZ

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Der Bereich Klebtechnik, Faserverbundtechnik und Korrosionsschutz des Fraunhofer IGP beschäftigt sich sowohl mit aktuellen fügetechnischen Problemstellungen der Leicht- und Mischbauweisen als auch mit der Entwicklung und Adaption von Fertigungsverfahren für Faserverbundbauteile. Weitere Schwerpunkte sind die Untersuchung von Alterungseinflüssen auf Werkstoffe, Klebverbindungen und Beschichtungen durch Laboralterung in künstlichem Klima. In Zusammenarbeit mit dem akkreditierten Prüflabor des Fraunhofer IGP werden Werkstoffe, Verbindungen und Beschichtungssysteme unter genormten Bedingungen geprüft und qualifiziert. Darüber hinaus werden für Spezialanwendungen neue Prüfverfahren entwickelt und eingesetzt.

Im Bereich der Klebtechnik erstreckt sich das Leistungsspektrum des IGP von der klebgerechten Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen, über die Auslegung und Dimensionierung von Klebverbindung bis hin zur Entwicklung und Qualifizierung des gesamten Klebprozesses sowie der Verbindungsstelle.

Der Fokus im Bereich Faserverbundtechnik liegt in der ganzheitlichen Optimierung großer Faserverbundkonstruktionen wie Rotorblätter von Windenergieanlagen, Schiffsaufbauten oder Anwendungen im Bauwesen. Die Arbeitsschwerpunkte reichen dabei von der Entwicklung brandgeschützter Werkstoffe über Fertigungstechnik bis zur Kennwertermittlung und Berechnung.

Im Bereich Korrosionsschutz und künstliche Alterung liegen die Schwerpunkte des IGP in der Entwicklung und Qualifizierung neuartiger Korrosionsschutzsysteme mit verbesserten Eigenschaften sowie der Ermittlung von Alterungseinflüssen.

**1** Daniel Kelm und Ivo Drisga bei der thermo-mechanischen Wechsellastprüfung eines Composite-Trägers in der IGP-Klimakammer

## Gruppenleiter

Dr.-Ing. Nikolai Glück  
Telefon +49 381 49682-39  
nikolai.glueck@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

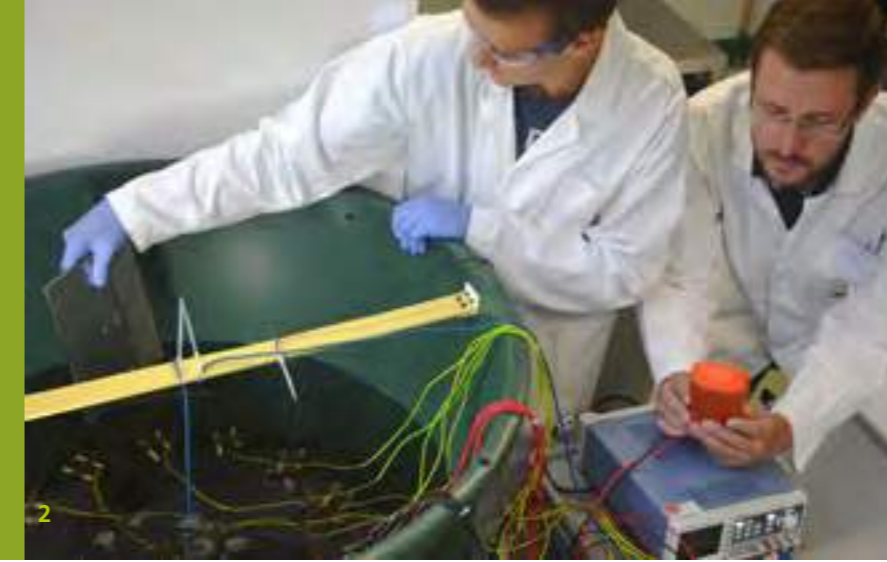
Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



Seite 40 Prozesssicheres Kleben von Halterungen unter Wasser

Seite 42 Transport- und Montageschäden an Offshore-Beschichtungen

Seite 44 Tragfähigkeitserhöhung von strukturellen Klebungen mit Faser-Kunststoff-Verbindungen



## PROZESSSICHERES KLEBEN VON HALTERUNGEN UNTER WASSER

### Motivation

Der Erhalt und Betrieb von wasserbaulichen Anlagen, wie Offshorestrukturen, Wehren oder Staudämmen aber auch die Instandhaltung von Schiffen erfordern häufig eine nachträgliche Montage von Ausrüstungsgegenständen unter Wasser. Dazu zählen unter anderem Kabel, Rohre, Monitoringsysteme und Messinstrumente. Zur sicheren Befestigung sind Halterungen notwendig, die nachgerüstet oder ausgetauscht werden müssen. Alternativ zum Unterwasserschweißen kann hierzu das im Unterwasserbereich bislang kaum etablierte Kleben zum Einsatz kommen. Im Rahmen des Projektes Unterwasserkleben werden Lösungsansätze erarbeitet, um entsprechende Klebungen unter Berücksichtigung prozessrelevanter Aspekte wie geeignete Oberflächenvorbehandlungs- und Applikationsmethoden, Aushärtungsmechanismen sowie das Langzeitverhalten sicher zu beherrschen.

### Lösungskonzept

#### Klebstoffauswahl für den Unterwassereinsatz

Für die Entwicklung eines robusten Unterwasserklebsystems werden bereits bestehende Klebstoffsysteme genutzt. Eine Vorauswahl wurde anhand eines definierten Anforderungsprofils für Unterwasserklebungen in Absprache mit Klebstoffherstellern getroffen. Im Vordergrund hierbei stehen unter anderem eine Unempfindlichkeit des Aushärtungsvorganges gegenüber Wassereinfluss sowie eine langfristige Beständigkeit der tragenden Klebverbindung gegenüber (Salz-)Wasser. Hinzu kommen weitere Anforderungen wie beispielsweise eine ausgeprägte Fähigkeit des Klebstoffes, die Oberfläche des Grundwerkstoffes zu benetzen. Dies kann durch eine beson-

ders geringe Oberflächenspannung des Klebstoffes erzielt werden.

#### Klebstoffapplikation unter Wasser

Gegenüber Klebungen an der freien Atmosphäre existiert beim Unterwasserkleben eine weitere Besonderheit. Um Adhäsionskräfte zwischen dem Klebstoff und der Oberfläche schaffen zu können, müssen vor der Applikation des Klebstoffes neben Schmutz und losen Partikeln zudem Wassermoleküle von der Oberfläche entfernt beziehungsweise verdrängt werden, die durch die Oberflächenenergie des zu klebenden Materials adsorptiv gebunden sind. Zur Beseitigung dieser schwach gebundenen Hydridschichten (weak boundary layer) wird im Rahmen des Projektes die Injektionstechnik angewandt. Der zu befestigende Gegenstand wird zunächst temporär, beispielsweise mittels Magneten, fixiert. Der durch Abstandshalter erzeugte Klebspalt wird in diesem Zuge abgedichtet, sodass eine Kavität entsteht. Über einen Anguss erfolgt die Injektion des Klebstoffes, der nach der vollständigen Füllung des Klebspaltes über einen Abguss direkt in ein Steigrohr austritt. Dieses Verfahren wird kombiniert mit einer vorherigen Spülung der Kavität mit Druckluft. Die Beeinträchtigung der Umwelt durch eine Vermischung des Klebstoffes und des umgebenden Wassers kann so verhindert werden.

- 1 Applikationsversuche im Meerwasserbad an Haltern in unterschiedlichen Lagen
- 2 Laboralterung unter Wasser liegender Klebproben mit integriertem Korrosionsschutz

#### Sicherstellung der Aushärtung des Klebstoffes

Das umgebende Wasser beeinflusst nicht nur den Aufbau von Haftkräften zwischen dem Klebstoff und dem Untergrund, es kann ebenso die Aushärtung des Klebstoffes beeinträchtigen. Dies betrifft insbesondere die im Projekt betrachteten chemisch härtenden Systeme: kalt- oder warmhärtend. Beide Systeme entwickeln im Zuge der Aushärtung Wärme. Diese Wärme reicht im Falle der kalthärtenden Systeme aus, um ausreichende mechanische Eigenschaften im ausgehärteten Zustand sicherzustellen. Anders bei warmhärtenden Systemen: Hier muss zusätzlich nachgewärmt werden.

Im Vergleich mit Klebungen im Überwasserbereich kommt es im Unterwasserbereich zu einem beschleunigten Entzug von Wärmeenergie, sodass es länger dauert, bis die Endfestigkeit der Klebverbindung erreicht ist. Hinzu kommt, dass neben geringeren mechanischen Eigenschaften eine schlechtere Beständigkeit der Klebverbindung gegenüber Feuchtigkeit und anderen Medien zu erwarten ist.

Die Lösung des Problems kann darin bestehen, kalthärtende Klebstoffe zu nutzen, deren mechanische Eigenschaften trotz der Unterwasseraushärtung ausreichend für den gedachten Einsatzzweck sind. Alternativ können warmhärtende Klebstoffe eingesetzt werden, die mithilfe spezieller Heizsysteme gezielt nachgewärmt werden.

#### Ausblick

Ziel der weiteren Forschungsarbeit ist unter anderem eine Langzeitqualifizierung ausgewählter Oberflächen-Klebstoff-Kombinationen. Hierzu werden Klebproben einer beschleunigten Laboralterung unterzogen. Nach definierten Zeitintervallen werden ausgelagerte Proben entnommen, um in Zugversuchen deren mechanische Eigenschaften zu ermitteln. Um eine Aussage über die Eignung der beschleunigten Laboralterung treffen zu können, werden parallel Proben identischer Form im küstennahen Unterwasserbereich der Ostsee ausgelagert. Anhand der Ergebnisse wird das allgemeine

Alterungsverhalten der Verbindung beschrieben und Abminderungsfaktoren bestimmt, mithilfe derer die Beanspruchbarkeit des Klebverbundes für den langjährigen Einsatz im Freiwasser prognostiziert werden kann. Auf Basis der Realversuche in Kombination mit den ermittelten Abminderungsfaktoren sowie Finite-Elemente-Analysen wird ein Katalog von Halterklassen mit zugehörigen maximalen Traglasten erstellt. Durch diese Hilfestellung soll die Anwendung der Klebtechnik im Unterwasserbereich vereinfacht und somit ein Beitrag dazu geleistet werden, das Fügeverfahren in diesem neuartigen Umfeld zu etablieren.

#### Ansprechpartner

M.Sc Benjamin Blumentritt  
Telefon +49 381 49682-236 | Fax +49 381 49682-12  
benjamin.blumentritt@igp.fraunhofer.de

#### Förderung

Das IGF-Vorhaben „Entwicklung eines Verfahrens zum prozesssicheren Kleben von Halterungen unter Wasser“ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





## TRANSPORT- UND MONTAGESCHÄDEN AN OFFSHORE-BESCHICHTUNGEN

### Herausforderung

Die Reparatur von Beschichtungs- und Korrosionsschäden an Offshore-Windenergieanlagen ist mit hohem zeitlichen und organisatorischen Aufwand sowie mit hohen Kosten verbunden. Deshalb ist die Vermeidung von Beschichtungsschäden von großer Bedeutung. Systematische Untersuchungen an 750 Inspektionen an Offshore-Windplattformen in der Nord- und Ostsee ergaben, dass 30 % aller Schäden auf mechanische Beanspruchungen zurückgeführt werden können. Ergebnisse von Inspektionen an Offshore-Windenergieanlagen in der Nord- und Ostsee nach ein- bis fünfjährigem Betrieb zeigten, dass 46 % der Schäden auf „mechanischen Schäden nach Abnahme“ des fertig beschichteten Bauteils beruhen.

Ziel der Untersuchungen war es, die Beschädigungen zu kategorisieren, unter Laborbedingungen bewertbar zu machen und den Einfluss mechanischer Beschädigungen auf die verbleibende Korrosionsschutzwirkung von Beschichtungssystemen zu bestimmen.

### Lösungskonzept

Im ersten Schritt der Untersuchungen wurden die mechanischen Beanspruchungen untersucht. Dazu wurden zunächst mögliche mechanische Beanspruchungen identifiziert. Es wurden drei Arten der Beanspruchung betrachtet: Druck, Schlag und Abrasion. Weiterhin wurde die Intensität der Schäden betrachtet und durch drei Intensitätsklassen definiert: leicht, moderat, stark. Diese Klassifikationen ermöglichen eine

Bewertung der mechanischen Beständigkeit für die folgenden Fälle: Druckbeanspruchung mit Gurtmaterial, Schlagbeanspruchung mit Fallbolzen und Abrasionsbeanspruchung mit Rollreibrädern.

Im zweiten Schritt der Untersuchungen werden mechanisch geschädigte Beschichtungssysteme einer künstlich beschleunigten Alterung nach ISO 20340 [6] unterworfen, um die verbleibende Korrosionsschutzwirkung zu bewerten.



- 1 *Probengestell mit Druck- und Abriebproben nach Feldauslagerung in der oberen Wasserwechselzone*
- 2 *Proben nach Dauerversuch*
- 3 *Belastungskollektiv unter Offshore-Bedingungen*
- 4 *Das Team vor Ort auf Helgoland*

### Ergebnisse

Auf Basis von systematischen Untersuchungen zur mechanischen Beanspruchbarkeit von 15 Beschichtungssystemen konnten wesentliche Mechanismen der Schädigung aufgrund von Druck-, Schlag- und Abrasionsbeanspruchung identifiziert werden. Mithilfe einer qualitativen Wertung der Beschichtungssysteme wurden die Druckschäden nach Schadensbild und Prüfkraft bis zum Bruch kategorisiert. Die Bewertung der Schlagschäden wurde auf Basis der visuellen Begutachtung der plastischen Verformung (Durchmesser des Schadens) und der Rissbildung vorgenommen. Für die Abrasionschäden wurde der Gesamtabrieb nach 2000 Umdrehungen bewertet.

In einem nächsten Schritt wird die verbleibende Korrosionsschutzwirkung der Beschichtungssysteme infolge eines Druck-, Schlag- und Abrasionsschadens bewertet. Zu dem Zweck werden momentan beschleunigte Laboralterungsprüfungen und Feldauslagerungen (Wasserwechselzone, Nordsee) an geschädigten Proben durchgeführt. Mit abschließenden Ergebnissen wird in Kürze gerechnet.

### Ausblick

Die Ergebnisse ermöglichen es zum einen, neue praxisgerechte Prüfverfahren für Offshore-Windbeschichtungssysteme einzuführen und zeigen zum anderen die Einsatzpotenziale von im Markt verfügbaren Beschichtungssystemen für die Beanspruchungen, die während des Transports und der Installation von Offshore-Windenergieanlagen auftreten können.

### Beteiligte Partner

Muehlhahn AG, Hamburg

### Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.-Ing. Michael Irmer  
 Telefon +49 381 49682-222 | Fax +49 381 49682-12  
 michael.irm@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt „Partielle Beschichtungsoptimierung für Transport und Montage von Offshore WEA“ wurde über die Innovationsinitiative Wachstumskerne Neue Länder vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



# TRAGFÄHIGKEITSERHÖHUNG VON STRUKTURELLEN KLEBUNGEN MIT FASER-KUNSTSTOFF-VERBINDUNGEN

## Zielstellung

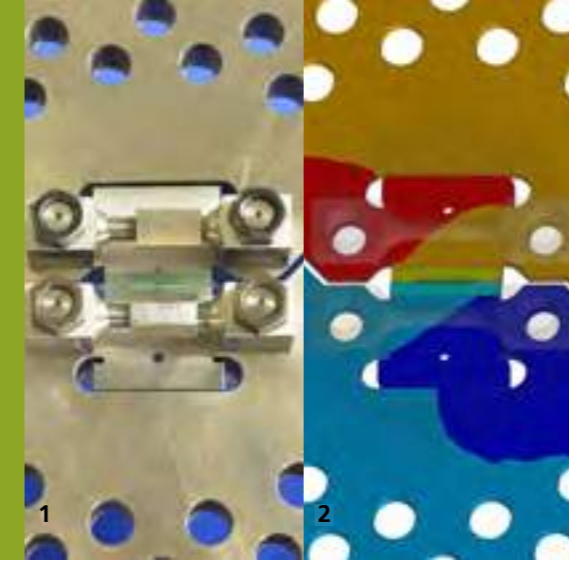
Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) sind aufgrund ihrer hohen spezifischen Steifigkeiten und Festigkeiten charakteristische Werkstoffe für den Leichtbau und werden in Branchen wie der Windenergie, dem Automobil- und Schiffbau zunehmend eingesetzt. Zur Realisierung eines Produktes mit einem ganzheitlichen Leichtbaugedanken ist neben der Auswahl des Werkstoffs eine optimale Füge-technik notwendig. Für FKV- und Multi-Material-Verbindungen stellt dabei die Klebtechnik das optimale Fügeverfahren dar, da aufgrund der flächigen Krafterleitung der FKV werkstoffgerecht in die Gesamtstruktur eingebunden werden kann. Während bei Klebungen mit metallischen Fügeteilen in der Regel Brüche in der Klebschicht oder eine nicht ausreichende Haftung zwischen Fügeteil und Klebstoff die Verbundfestigkeit begrenzen, kommt es bei strukturellen Klebverbindungen mit Bauteilen aus FKV häufig zu einem komplexen Versagen innerhalb der Fügeteile. An den Überlappungsenden einer Klebverbindung treten dabei Spannungsspitzen auf, welche zu lokalen Rissen, Zwischenfaserbrüchen und Delaminationen innerhalb des schichtweise aufgebauten FKV-Werkstoffs führen. Da das Adhäsions- und Kohäsionspotential der FKV-Klebverbindung somit nicht vollständig ausgenutzt werden kann, wird dieses Problem in der praktischen Anwendung häufig durch überdimensionierte Klebflächen und damit auch erhöhten Klebstoffmengen umgangen. Die variantenreiche Gestaltung eines FKV in Hinblick auf die Kombination von Faser und Matrix sowie Lagenorientierung und -aufbau ermöglicht die maßgeschneiderte Anpassung des Werkstoffs für die entsprechende Anwendung. Die damit einhergehenden Möglichkei-

ten zur Optimierung der FKV-Fügeteilwerkstoffe für strukturelle Klebverbindungen mit erhöhter Tragfähigkeit sind derzeit weitestgehend unerforscht und stellen die Grundlage des Forschungsprojekts „OptiBondFKV“ dar.

## Herangehensweise

Mit dem Ziel, Faserverbundbauteile für das klebtechnische Fügen zu optimieren und so die Verbundfestigkeit von Klebungen mit FKV zu steigern, wurden verschiedene Parameter der FKV-Fügeteilwerkstoffe systematisch variiert. Im Rahmen des Projektes wurden unter anderem materialeitige Einflussparameter wie Flächengewichte der Faserhalbzeuge und Feinheiten der Faserbündel, verschiedene Faserarchitekturen und Matrixsysteme, konstruktive Einflussparameter wie die Orientierung der klebschichtnahen Decklagen und die Schichtungsreihenfolge der Einzellagen sowie fertigungstechnische Aspekte wie der Einfluss des Faservolumen- und Porengehaltes betrachtet. Die Entwicklung eines angepassten Prüfverfahrens mit Hilfe numerischer Berechnungen zur Ermittlung der Verbundfestigkeit von FKV-Klebungen bildete die Grundlage der Untersuchung der genannten Einflussparameter in experimentellen Versuchen.

**1 und 2** *Zugscherversuch an geklebten GFK-Laminaten mit einer modifizierten Arcan-Prüfvorrichtung - experimenteller Versuchsaufbau und numerische Berechnungen*



Auf Basis der ermittelten Versuchsergebnisse erfolgte anschließend die Ableitung optimierter fügeteilseitiger Gestaltungsoptionen durch eine qualitative und quantitative Bewertung der untersuchten Einflussparameter.

## Ergebnisse

In den durchgeführten experimentellen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass verschiedene fügeteilseitige Parameter von FKV-Werkstoffen einen direkten Einfluss auf die Tragfähigkeit von strukturellen FKV-Klebverbindungen ausüben. Die Ergebnisse der quasistatischen Zugscherversuche mit einer biegesteifen Probengeometrie zeigen, dass mit einer klebschichtnahen Faserlage in 0°- sowie 45°- Orientierung zur Belastungsrichtung nahezu identische Verbundfestigkeiten, trotz unterschiedlichem Versagenverhaltens, erzielt werden können. Während Proben mit einer 0°-Decklage einen Mischbruch aus kohäsivem Klebstoffversagen und einem randnahen Matrixversagen in der obersten Deckharzschicht zeigen, kommt es bei einer 45°-orientierten klebschichtnahen Faserlage zu einem Abreißen der obersten Lage. Der Bruch setzt sich als Delamination bis zur lasttragenden 0°-Faserlage fort. Im Vergleich zu einer 90°-Decklage konnte die Verbundfestigkeit um 24% gesteigert werden. Das Bruchbild weist dabei ein vollständiges Abreißen der obersten 90°-Lage infolge eines Zwischenfaserbruchs sowie einen Versagensfortschritt bis hin zur lasttragenden 0°-Lage auf. Eine Decklage in 90°-Richtung sollte deshalb konstruktiv vermieden werden. Eine weitere Erkenntnis der Untersuchungen ist, dass ein Matrixsystem ausgewählt werden sollte, welches eine hohe interlaminae Scherfestigkeit der Faserverbundfügeteile sowie eine hohe Bruchdehnung aufweist. So konnte in den Versuchen durch eine verbesserte Faser-Matrix-Anhaftung eine Steigerung der Verbundfestigkeit um bis zu 48% nachgewiesen werden. Durch eine Erhöhung des Faservolumenanteils konnte an geklebten FKV-Verbindungen eine Tragfähigkeitserhöhung um 5% erzielt werden.

Weiterhin ist ein feinschichtiger Laminataufbau mit geringen Flächengewichten der Einzellagen und niedrigen Rovingfeinheiten an der Grenze zur Klebschicht empfehlenswert. Dies sollte insbesondere bei strukturell verklebten Faserverbundbauteilen mit variierenden bzw. überlagernden Belastungsrichtungen berücksichtigt werden. Ausblickend gilt es noch zu untersuchen, inwieweit die gewonnenen Erkenntnisse aus den quasistatischen Zugscherversuchen auf andere Belastungsrichtungen sowie auf die Dauerfestigkeit übertragbar sind.

## Ansprechpartner

M.Sc. Stefan Schmidt  
Telefon +49 381 49682-223 | Fax +49 381 49682-12  
stefan.schmidt@igp.fraunhofer.de

## Förderung

Das IGF-Vorhaben „Tragfähigkeitserhöhung von geklebten FKV- und Multi-Material-Verbindungen durch optimierte Gestaltung und Fertigung der FKV-Fügeteilwerkstoffe“ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Schwerpunkte und Kompetenzen

Thermische Tren-, Beschichtungs- und Fügeprozesse spielen in einer Vielzahl von Produktionsabläufen eine zentrale Rolle als wertschöpfende und qualitätsbestimmende Fertigungsschritte. Vor allem Schweißverbindungen und -verfahren müssen in hochindustrialisierten Branchen stetig wachsenden und wechselnden Ansprüchen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und Qualität gerecht werden. Dazu zählen beispielsweise die qualitätsgerechte Verarbeitung moderner Werkstoffe mit oftmals hohen Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften bei konstanter Prozesssicherheit, die Sicherung der Bauteilintegrität geschweißter Komponenten von innovativen und statisch sowie zyklisch hoch ausgelasteten Leichtbau-Stahlbaukonstruktionen sowie die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Schweißprozessen durch moderne Automatisierungslösungen und die Einführung hochproduktiver Schweißverfahren zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit als Antwort auf den steigenden Kostendruck in globalisierten Märkten.

Um den daraus erwachsenden technologischen und ökonomischen Herausforderungen langfristig und nachhaltig gerecht zu werden, beschäftigt sich der Bereich Schweißtechnik am Fraunhofer IGP kontinuierlich mit innovativen Forschungs- und Entwicklungsansätzen zu aktuellen und zukünftigen Fragestellungen aus den Bereichen Schiffbau, Stahlbau, On- und Offshore-Windenergie. Dabei wird stets eine ganzheitliche Betrachtung technologischer, metallurgischer sowie konstruktiver Aspekte der jeweiligen Schweißaufgaben innerhalb der Wertschöpfungskette angestrebt.

Die Kombination innovativer Analysemethoden mit moderner schweißtechnischer Ausstattung sowie genormter und akkreditierter Prüftechnik gewährleisten eine flexible und ganzheitliche Betrachtungsweise aktueller Problemstellungen im Rahmen öffentlicher und privater Forschungsaufträge.

1 *Elektroschweißprozess am Rohr*

## Gruppenleiter

Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel  
Telefon +49 381 49682-30  
knuth.henkel@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 48 Innovative thermische Fügekonzepte zur Erhöhung der Schwingfestigkeit und Lebensdauer von Türmen
- Seite 50 Elektrogasschweißen im Werftbetrieb
- Seite 52 Qualifizierung des Lichtbogenlötens für den Stahlbau
- Seite 54 Optimierung gefügter Bolzenschweißverbindungen unter Wasser





1



2



3

## INNOVATIVE THERMISCHE FÜGEKONZEPTE ZUR ERHÖHUNG DER SCHWINGFESTIGKEIT UND LEBENSDAUER VON TÜRME

### Motivation

Im Rahmen des stetigen Ausbaus erneuerbarer Energien geht der Trend zu immer größeren Nabenhöhen bei Windenergieanlagen. Dies ist im Wesentlichen begründet durch einen steigenden Ertragszuwachs mit zunehmender Nabenhöhe aufgrund stetiger Winde in größeren Höhen mit steigender Geschwindigkeit bei gleichzeitig abnehmenden Turbulenzen. Moderne Regelkonzepte der Turbine verhindern kritische schwingungsbasierte Resonanzereignisse der Konstruktion und ermöglichen so zusätzlich die theoretische Reduktion von Blechdicken im Turm im Sinne des Leichtbaugesdankens. Die dynamisch hoch beanspruchten Türme werden dabei überwiegend in Stahlrohrbauweise als umgeformte und geschweißte Konstruktionen ausgeführt.

Die dabei auftretenden Schweißverbindungen und -details stellen als metallurgische (z. B. Schweißspannungen, Mikrorisse, ungünstige Gefügemorphologien) sowie geometrische Kerben (z. B. Dehnungsbehinderung durch Nahtüberhöhungen) mit einhergehenden Spannungsspitzen typische Ausgangspunkte von Ermüdungsrissen unter zyklischer Beanspruchung dar und müssen im Rahmen der Bemessung und Konstruktion durch Materialaufdickungen bzw. größere Turmblechstärken kompensiert werden, was die ressourcenschonenden Leichtbaupotentiale immens reduziert. Neben den kraftübertragenden Längs- und Quernähten stellen besonders geschweißte, sogenannte sekundäre Anbauteile im Turm, die selbst nicht zyklisch beansprucht sind und als Halterung für beispielsweise Treppen und Kabelführungen dienen, Details mit starker Kerbwirkung dar. Diese reduzieren damit die Lebensdauer der Gesamtkonstruktion beziehungsweise haben

starken Einfluss auf dessen Design. Die existierenden Maßnahmen zur Reduktion dieser Kerbwirkung fokussieren die Reduktion der geometrischen Kerbwirkung (z. B. Nachschleifen der Naht) oder metallurgische Kerbwirkung (z. B. Reduktion ungünstiger Schweißspannungen durch Spannungsarmglühen oder Einbringung von Druckeigenstressungen) und erfordern in der Regel aufwändige Nacharbeiten. Für eine nachhaltige Reduktion der Blechstärke im Sinne des Leichtbaus für Stahlrohrtürme von Windenergieanlagen besteht daher die Notwendigkeit zur Reduktion der Kerbwirkung durch effektive und kostengünstige Maßnahmen gleich während der notwendigen Schweiß- und Fügearbeiten.

### Lösung

Zur Reduktion der metallurgischen und geometrischen Kerbwirkung angeschweißter Details bei gleichzeitig niedrigem Nacharbeitungsaufwand werden neuartige fügetechnische Konzepte untersucht, welche den herkömmlichen Schweißprozess substituieren. Dazu wird neben dem konventionellen Hubbolzenschweißen das Magnetfeld-Bolzenschweißen mit stark reduzierter Wärmewirkung im Vergleich zu vergleich-

- 1 *Anbauteile in einem Stahlrohrturm einer Windenergieanlage*
- 2 *Makroschliff Hubbolzenschweißung*
- 3 *Mikroschliff Metallschutzgas-Lichtbogengelötete Kehlnaht*

baren Lichtbogenschweißverfahren für die Schweißaufgabe qualifiziert. Dabei wird der Lichtbogen magnetisch ausgelenkt und das Grundmaterial gleichmäßig aufgeschmolzen. Dadurch kann die thermische Belastung des Bauteils sowie die resultierenden negativen Wärmewirkungen des Schweißprozesses auf die Ermüdungsfestigkeit stark reduziert werden. Da für die Anbringung des Bolzens keine umlaufenden Nähte benötigt werden, reduziert sich gleichzeitig die Ausführungszeit im Vergleich zum herkömmlichen Schweißprozess.

Ein weiterer neuartiger Ansatz beschäftigt sich mit der Substitution des Metallschutzgas-Schweißens für Anbauteile durch das MSG-Lichtbogenlöten mit Kupfer-Basislötungen. Dabei wird durch Diffusionsvorgänge und Kohäsionskräfte eine stoffschlüssige Verbindung hergestellt aber der Grundwerkstoff im Vergleich zum Schweißprozess nicht aufgeschmolzen. Die statischen Festigkeitseigenschaften sind vergleichbar mit geschweißten Verbindungen. Für diese verfahrenstechnisch sehr ähnliche Fügetechnologie wird wesentlich weniger Energie benötigt und somit die thermische Belastung der Konstruktion stark reduziert. Aufgrund der veränderten Materialcharakteristika des Kupferbasislötens im Vergleich zu Stahl wird weiterhin die Dehnungsbehinderung bei zyklischer Beanspruchung der Anbauteile wesentlich verringert, was in reduzierten Spannungsspitzen und einer wesentlich erhöhten Ermüdungsfestigkeit resultiert. Es sind keine zusätzlichen Nacharbeiten oder Änderungen im Prozessablauf notwendig.

### Nutzen und Ergebnisse

Durch die Substitution konventioneller Schweißprozesse mit dem Magnetfeld-Bolzenschweißen bzw. dem Lichtbogenlöten für sekundäre Anbauteile ergibt sich eine Erhöhung des Bezugswertes der Ermüdungsfestigkeit um 40 %. Dies entspricht bei der Annahme üblicher Lastfälle für Windenergieanlagen eine Steigerung der Lebensdauer um ca. 540 % ohne zusätzlichen Aufwand für Schweißnahtnachbehandlungen oder

Änderungen im Produktionsablauf. Die sich daraus ergebende Sicherheit in der Bemessung und Konstruktion hinsichtlich Ermüdungsfestigkeit kann gleichzeitig in der Einsparung von Material im Rahmen von Leichtbau- oder neuartigen Turmkonzepten umgesetzt werden.

### Beteiligte Partner

Fraunhofer IWES, Bremerhaven; Nordex SE, Rostock

### Ansprechpartner

M.Sc. Wirt-Ing. Andreas Gericke  
Telefon +49 381 49682-37 | Fax +49 381 49682-12  
andreas.gericke@igp.fraunhofer.de

### Förderer

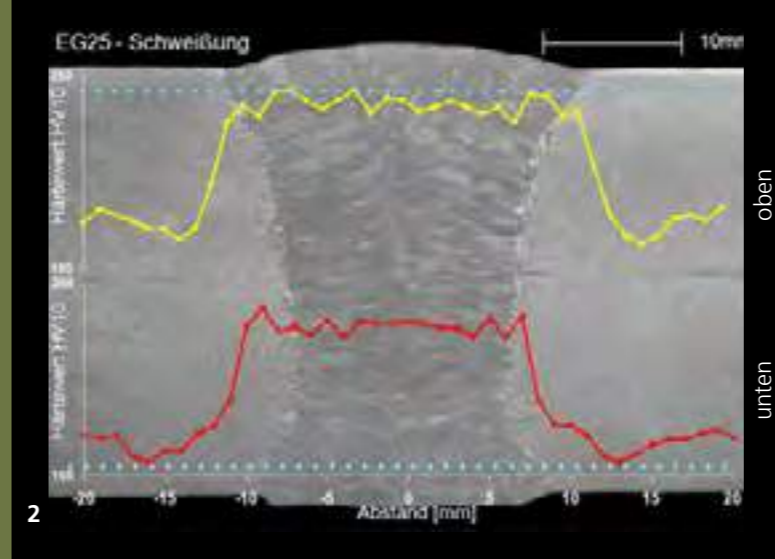
Das Vorhaben „Ganzheitliches ressourceneffizientes Turmkonzept für Windenergieanlagen mit großen Nabenhöhen für Onshore-Schwachwindstandorte (GreT)“ des Projektträgers Jülich (PTJ) wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





## ELEKTROGASSCHWEISSEN IM WERFTBETRIEB

### Ausgangssituation

Die Stärke des deutschen Schiffbaumarkts liegt im Bau komplexer Schiffstypen wie beispielsweise Hochsee- oder Flusskreuzfahrtschiffen. Betrachtet man die Bauweise der Schiffe, wird die Bedeutung des Schweißens als wichtigster Füge- und Fertigungsschritt ersichtlich: Bleche werden mit aufgeschweißten Profilen verstärkt und anschließend zu Paneelen, Sektionen und Blöcken verschweißt. Erst nach der aufwändigen Endmontage des Schiffskörpers im Baudock kann es zur Endausrüstung der Kreuzfahrtschiffe außerhalb des Baudocks kommen. Das Baudock stellt somit den Engpass in der Fertigungskette dar.

Während der Endmontage ist das fertigungstechnisch anspruchsvolle und zeitintensive Schweißen von Steignähten an dickwandigen Blechen der Schiffsaußenhaut unumgänglich. Auch im Sektions- und Blockbau müssen Zwangslagenschweißungen in Steignahntposition durchgeführt werden. Üblicherweise werden entsprechende Schweißungen manuell mittels Schutzgasschweißen (MSG-Schweißen) ausgeführt. Alternativ bietet sich das Elektrogasschweißen (E-Gas-Schweißen) als vollmechanisiertes MSG-Hochleistungsschweißverfahren für senkrechte Stumpfstoße an, um erhebliche Zeitersparnisse während der Fertigung zu realisieren. Insbesondere auf asiatischen Werften wird das Verfahren für Steignahntanwendungen genutzt. Die Nutzung des E-Gas-Schweißens im deutschen Schiffbau ist zwar historisch belegt, dennoch existieren keine werftbezogenen Anwendungen mehr und nur noch wenige Erfahrungswerte mit nicht mehr zeitgemäßer Technologie. Durch die Untersuchung der Eignung des E-Gas-Schweißens für den modernen europäischen Schiffbau in technologischer und werkstofflicher Hinsicht sollten Ansätze identifiziert wer-

den, welche die Wirtschaftlichkeit im Werftbetrieb zu steigern.

### Herangehensweise

Durch umfangreiche Schweißversuche konnten genauere technologische und werkstoffliche Kenntnisse über das Verfahren und die Verbindungseigenschaften mittels E-Gas-Schweißens gefügter Verbindungen generiert werden. Um die Einhaltung vorgegebener mechanisch-technologischer Güteverhältnisse im Schiffbau trotz der Grundwerkstoffe in seinen Eigenschaften degradierenden, hohen Streckenenergie des Verfahrens sicherzustellen, wurde ein speziell auf das Verfahren abgestimmter Schweißzusatzwerkstoff entwickelt. Parallel wurde ein Anforderungskatalog zu den im Werftbetrieb üblichen Fertigungsschwierigkeiten wie beispielsweise Maßabweichungen und Toleranzen erstellt, um auch diese experimentell abzudecken und eine Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf die Praxis zu garantieren.

- 1 Probeschweißung in der MEYER WERFT
- 2 Mittels Legierungsoptimierung herbeigeführte Kornfeinerung im Schweißgut
- 3 Makroschliff und Härteprofil eines einlagig elektrogassgeschweißten Stumpfstoßes

### Ergebnisse

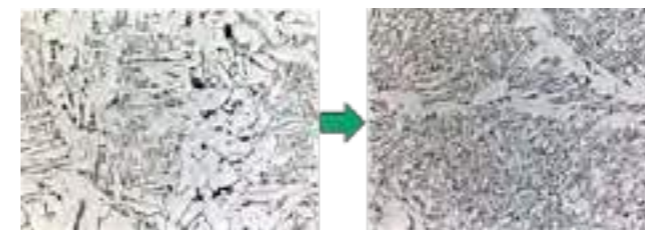
E-Gas-Schweißen ermöglicht eine drastische Verkürzung der Fertigungszeit des Schiffskörpers durch einlagiges, vollmechanisiertes MSG-Hochleistungsschweißen von Steignähten. Die verringerten Nebenzeiten (u. a. einfachere Nahtvorbereitung, Schleifarbeiten nach jeder Lage beim manuellen MSG-Schweißen), der reduzierte Verzug der geschweißten Bleche, die Einfachheit des Verfahrens, die Reproduzierbarkeit der Schweißergebnisse und die Entlastung des Schweißpersonals bilden die Vorteile des E-Gas-Schweißens. Die notwendigen Kenntnisse für die praktische Nutzung des Verfahrens im Werftbetrieb konnten im Rahmen des Projekts gewonnen werden. Unter Nutzung eines auf Grundlagen von metallurgischen Untersuchungen des Fraunhofer IGP entwickelten Schweißzusatzwerkstoffs von ESAB konnten auch die notwendigen mechanisch-technologischen Güteverhältnisse der Schweißverbindungen erzielt werden. Mit der Merkle GmbH hat sich ein europäischer Anlagenhersteller für den Bau der notwendigen Anlagentechnik gefunden. Sowohl Anlagentechnik als auch Schweißtechnologie wurden unter Werftbedingungen validiert, sodass das Verfahren mittlerweile in den Fertigungsprozess des Projektpartners MEYER WERFT an den Standorten Papenburg und Rostock integriert wird. Zulassungs- und Ausbildungsvorgänge werden dabei durch das Fraunhofer IGP begleitet.

### Beteiligte Partner

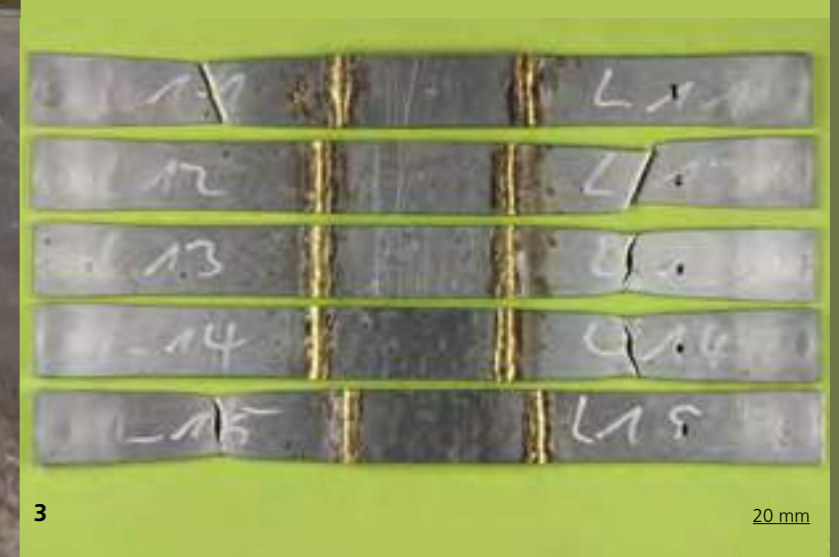
ESAB Welding & Cutting GmbH, Langenfeld; Merkle Schweißanlagen-Technik GmbH, Kötz; MEYER WERFT GmbH & Co. KG, Papenburg

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Richard Banaschik  
 Telefon +49 381 49682-143 | Fax +49 381 49682-12  
 richard.banaschik@igp.fraunhofer.de



3



## QUALIFIZIERUNG DES LICHTBOGENLÖTENS FÜR DEN STAHLBAU

### Herausforderung

Innerhalb ihrer Lebenszeit unterliegen stahlbauliche Strukturen verschiedenen Belastungen: Sowohl mechanische Einflüsse wie statische und dynamische Lasten als auch Umwelteinflüsse, zum Beispiel Korrosion aufgrund von Feuchtigkeit und chemischen Reaktionen, oder die Kombination mehrerer Einflussgrößen beanspruchen Konstruktionen und verlangen von Herstellern umfassende Maßnahmen zur Sicherung der Bauteilintegrität.

Als chemische Beanspruchungsart ist Korrosion im Stahlbau häufig mit immensen Aufwänden verbunden. Unterschiedlichste Bauteile, von Fassadenelementen bis hin zu seewassergängigen Rohren im Schiffbau, werden aus Korrosionsschutzgründen beschichtet (z. B. verzinkt). Ohne Entfernung der auf den Grundwerkstoff aufgetragenen Korrosionsschutzschicht können jedoch keine qualitäts- und korrosionsgerechten Schweißverbindungen hergestellt werden, sodass bei der Fertigung entsprechend korrosionsgefährdeter Elemente aus verzinktem Rohmaterial häufig mit Doppelmuffenverbindungen (Schweißstelle „entzinkt“) gearbeitet wird oder alternativ die Beschichtung entfernt, das Bauteil verschweißt und anschließend nachbeschichtet werden muss. Als problematisch ist auch das Fügen beschichteter stahlbaulicher Strukturen auf der Baustelle oder in Reparaturfällen zu sehen. Hier kann einer korrosionsgerechten Verbindung ohne zusätzlichem Aufwand vielfach nicht Rechnung getragen werden.

Mechanische Einflüsse werden bei der rechnerischen Auslegung stahlbaulicher Konstruktionen berücksichtigt. Auch hier stellen die Verbindungsstellen die kritischen Bereiche dar: Die einwirkende Last darf die von der Schweißverbindung ertragbare Last nicht überschreiten. Schweißverbindungen mindern die Ermüdungsfestigkeit der gesamten Konstruktion und sind

insbesondere bei zyklischer Beanspruchung maßgebend für deren Lebensdauer. Die hieraus resultierenden konstruktiven Einschränkungen, wie zum Beispiel die maximal erreichbare Turmhöhe von Windenergieanlagen oder das Erreichen ungeeignet großer Wanddicken bestimmter Konstruktionsdetails, setzen bestimmten Anwendungen Grenzen oder reduzieren die Lebensdauer von ganzen Konstruktionen.

### Lösung

In Hinblick auf die bestehenden Herausforderungen geschweißter Konstruktionen bietet sich im Einsatz des Lichtbogenlötens als Alternative zum klassischen Schweißen eine vielversprechende Option. Das im Bereich des Automobilbaus (Feinblech mit Blechdicken von  $t \leq 3\text{ mm}$ ) bereits etablierte Verfahren bietet auch für den Stahlbau ( $t > 3\text{ mm}$ ) etliche Vorteile, findet hier aufgrund nur lückenhaft vorhandener Kenntnisse bezüglich verschiedenster Randbedingungen des Verfahrens und einer unzureichenden Normungssituation bislang allerdings kaum Anwendung.

Potenziale bietet das Lichtbogenlöten insbesondere beim Fügen beschichteter Bauteile. Hier führt die geringere thermische Belastung des Grundwerkstoffes durch den Lötprozess zu

- 1 *Verzinkte Bauteile: Rohr-Doppelmuffe in Schiffssektion*
- 2 *Verzinktes lichtbogengelötetes Rohr mit einfacher Muffenverbindung*
- 3 *Lichtbogengelötete Zugproben mit Grundwerkstoffversagen*

reduzierter Zerstörung der Beschichtung wie zum Beispiel im Nahtnebenbereich oder auf der Rückwand von gelöteten Rohren. Die Lötnaht (vorwiegend Kupferbasislöte) selbst ist sehr korrosionsträge und bedarf keiner Beschichtung nach dem Fügeprozess. Zusätzlich erweitern verbesserte Schwingfestigkeitseigenschaften gelöteter Verbindungen bei gleichzeitig ausreichend statischer Festigkeit die konstruktiven Möglichkeiten bei Substitution von Schweißverbindungen durch Lichtbogenlötverbindungen.

### Ergebnisse

Im Rahmen mehrerer aktueller Projekte werden umfangreiche Versuche zur praktischen Ausführung der Lötung, den unter verschiedenen Randbedingungen (Lötzusatzwerkstoff, Ein- und Mehrlagenlötens) erreichbaren statischen und zyklischen Beanspruchbarkeiten und dem konkreten Korrosionsverhalten der Verbindungen durchgeführt und ausgewertet, um eine breite Wissensbasis zu dem Verfahren und seinen Anwendungsbereichen und -grenzen zu generieren. Metallografische Untersuchungen sollen zu einer Erweiterung der Kenntnisse über Bindungsmechanismen lichtbogengelöteter Verbindungen beitragen und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern die Weiterentwicklung von Lötzusatzwerkstoffen unter Berücksichtigung der Anforderungen des Stahl- und Schiffbaumarktes unterstützen. Ziel ist es, neben dem Schweißen auch das Lichtbogenlöten als thermisches Fügeverfahren im Stahl- und Schiffbau für bestimmte Bereiche zu etablieren. Daten für Bemessungsgrundlagen, Ausführung, metallurgische Verbesserungen und Qualitätssicherung werden dazu kombiniert in beiden Forschungsvorhaben gesammelt.

### Beteiligte Partner

Universität Stuttgart, Stuttgart

### Ansprechpartner

M.Sc. Wirt-Ing. Andreas Gericke  
 Telefon +49 381 49682-37 | Fax +49 381 49682-12  
 andreas.gericke@igp.fraunhofer.de

### Förderer

Das IGF-Vorhaben „Einfluss von fertigungstechnischen und geometrischen Parametern auf die Betriebstauglichkeit lichtbogengelöteter verzinkter Stahlkonstruktionen  $t > 3\text{ mm}$ “ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

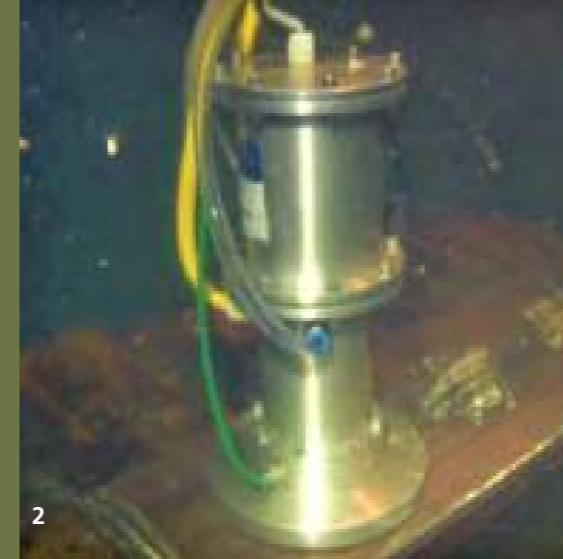
Das IGF-Vorhaben „Einsatz des Lichtbogenlötens zum Fügen von Anbauteilen an schwingend hoch beanspruchten Stahlkonstruktionen Fatigue“ der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





## OPTIMIERUNG GEFÜGTER BOLZENSCHWEISSVERBINDUNGEN UNTER WASSER

### Motivation

Im Stahlwasserbau, insbesondere Unterwasser, wird bei strukturellen Schädigungen wie in Havariefällen, Überbelastungen oder durch Korrosion zur Realisierung stoffschlüssiger und qualitätsgerechter Verbindungen derzeit auf den Lichtbogen-Handsweißprozess zurückgegriffen. Sämtliche Maßnahmen zur Instandhaltung, Schadensbeseitigung und Lebenszeitverlängerung von Unterwasserbauwerken erfordern dabei diverse praktikable Befestigungselemente an Stahlstrukturen in verschiedenen Wassertiefen. Es besteht daher oftmals der spezielle Bedarf, stiftförmige Befestigungen schnell und reproduzierbar unter Wasser an Stahlstrukturen zu fügen. Für derartige Anforderungen hat sich das Lichtbogen-Bolzenschweißen mit Hubzündung im konventionellen Stahl- und Schiffbau bereits seit 70 Jahren bewährt. Da aufgrund des vollmechanisierten Schweißprozesses keine besonderen schweißtechnischen Handfertigkeiten des Bedieners notwendig sind, bietet es zudem besondere Vorteile für Taucher beim Unterwassereinsatz. Eine hohe Schweißleistung sowie gute Reproduzierbarkeit zeichnen das Verfahren zudem aus und begründen daher das große Potenzial für die Unterwasseranwendung.

Die praxisrelevanten großen Bolzendurchmesser (Gewindebolzen ab M16) stellen jedoch bei Zwangslagenschweißungen in waagerechter Position oftmals im Überwasserbereich schon die Prozessgrenze dar. Für größere Bolzen sind demnach prozesstechnische Modifikationen erforderlich. Zusätzlich ist die Integrität sämtlicher unterwassergeschweißter Nähte durch den Eintrag von Wasserstoff als Stahlchädling gefährdet und bedürfen besonderer Abschirmung oder schweißmetallurgi-

scher Maßnahmen während des Schweißprozesses. Ziel ist es, das Hubzündungsschweißen von M16- und M24-Bolzen für den Unterwasserbereich bis 50 m Wassertiefe bei entsprechenden Druckverhältnissen zu qualifizieren.

### Lösung

Zur Nutzung des Bolzenschweißprozesses im Unterwasserbereich wurde eine Abschirmvorrichtung entwickelt, die ein qualitätsgerechtes Schweißen in Wassertiefen bis zu 50 m ermöglichen soll. Dies stellt den typisch relevanten Bereich von Unterwasserreparaturen dar. Um den Prozess annähernd wie über Wasser zu gestalten, ist die Schaffung eines lokalen Habitats notwendig, sodass der Schweißprozess sogenannt halbnaß erfolgt. Dazu wird das Umgebungsmedium aus dem Schweißbereich entfernt und die Schweißstelle von Restfeuchtigkeit befreit.

Weiterhin sind Prozessmodifikationen durch angepasste Parameter und werkstoffliche Anpassungen der Keramikringe notwendig. Durch hochfrequente Schweißparameteranalysen und Bestimmung des prozessbedingt eingebrachten Wasserstoffs wird der Prozess analysiert und insbesondere Störeinflüsse durch Restfeuchtigkeit qualifiziert. Die Wirkungsweise

**1,2 und 3** *Manuell vom Taucher durchgeführter Praxis- und Handhabungstest der Technologie zum halbnaßen Unterwasser-Bolzenschweißen*

der entsprechenden Modifikationen konnte hierbei bestätigt werden. Entsprechend den Qualitätsanforderungen beim Lichtbogen-Bolzenschweißen wurden zur Qualifizierung Sichtprüfungen, mechanisch-technologische Untersuchungen zum Festigkeits- und Verformungsvermögen unter quasistatischer und zyklischer Belastung sowie metallographische Untersuchungen durchgeführt. Zur Durchführung der Schweißungen bei definierter Wassertiefe wurde der hydrostatische Wert experimentell in einer gefluteten Druckkammer simuliert (IW-UWTH).

### Ergebnisse

Im Rahmen des laufenden Projektes „Optimierung des Tragverhaltens unter Wasser gefügter Bolzenschweißverbindungen großer Dimensionen für Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen“ wurde für das Anschweißen praktikabler Befestigungselemente im Unterwasserbereich eine Bolzenschweißtechnologie mit zusätzlicher Abschirmtechnik entwickelt, welche ein reproduzierbares halbnaßes Schweißen unter lokal atmosphärischen Bedingungen erlaubt. Die Anlagentechnik wurde entwickelt und experimentell sowie auch von Tauchern praxisnah erprobt.

In den begleitenden Untersuchungen zum halbnaßen Verschweißen großdimensionaler Bolzen konnten qualitätsgerechte Schweißungen mit großen Bolzendurchmessern (M16/M24) in Wannens- und waagerechter Position durchgeführt werden. Prozessinstabilitäten aufgrund von Ringrestfeuchtigkeit konnten durch eine Modifizierung des Keramikringes kompensiert und der prozessbedingt eingebrachte diffusive Wasserstoff signifikant verringert werden. Die Untersuchungen zum Prozessverhalten und Verbindungscharakterisierungen erfolgten an Unterwasserschweißproben. Das Tragverhalten der für Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen geplanten Bolzenschweißungen konnte entscheidend verbessert und die praktische Anwendbarkeit aufgezeigt werden.

### Beteiligte Partner

Leibniz Universität Hannover, Hannover; Unterwassertechnik Hannover, Hannover

### Ansprechpartner

M.Sc. Oliver Brätz  
Telefon +49 381 49682-231 | Fax +49 381 49682-12  
oliver.braetz@igp.fraunhofer.de

### Förderer

Das IGF-Vorhaben „Optimierung des Tragverhaltens unter Wasser gefügter Bolzenschweißverbindungen großer Dimensionen für Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen“ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren des DVS e. V. wurde über die Allianz der Forschungsvereinigung (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen gegenüber dem globalen Markt spielt die Automatisierung, auch im Kontext von Industrie 4.0, eine zentrale Rolle. Insbesondere bei der Fertigung von Großstrukturen bestehen die Herausforderungen für die Automatisierung aus den großen Werkstückabmessungen und -massen in Verbindung mit großen Fertigungstoleranzen der Halbzeuge.

So beschäftigen sich unsere Experten unter anderem mit dem Thema der autonomen Programmierung. Unter dem Aspekt der geringen Losgrößen im Bereich der Fertigung von Großstrukturen rückt eine effiziente Programmierung in den Fokus. Unsere autonome Roboterprogrammierung kommt bereits in ersten Applikationen erfolgreich in der maritimen Industrie zum Einsatz. Sie basiert entsprechend des Anwendungsfalles auf der Auswertung von 3D-Sensordaten oder einer CAD/CAM-Kopplung.

Darüber hinaus entwickelt das Team der Automatisierungstechnik am Fraunhofer IGP aufgrund der immer weiter steigenden Anforderungen an Qualität und Wirtschaftlichkeit neue Verfahren und Methoden zur Ausweitung der robotergestützten Fertigung. Unser Ziel ist es, Robotersysteme in industriellen Bereichen einzuführen und zu etablieren, welche bisher von dieser Technologie nicht oder nur partiell profitieren konnten.

Gerade in der Fertigung von Großstrukturen übersteigen die Anforderungen an die Handhabungstechnik oft die Leistungskennwerte der am Markt verfügbaren Systeme. Eine weitere Kernkompetenz bildet daher die Entwicklung, der Bau und die Integration neuartiger Robotertechniken für den Einsatz in der XXL-Fertigung. Es ist unser Ziel, bestehende und geplante Fertigungsanlagen so zu gestalten, dass sie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte bestmöglich die Anforderungen an Qualität, Zuverlässigkeit und Ressourceneffizienz erfüllen.

1 Sebastian Rieck und Sascha Lauer bei der Bedienung von Anlagentechnik im Labor

## Gruppenleiter

Dipl.-Ing. Steffen Dryba  
Telefon +49 381 49682-45  
steffen.dryba@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

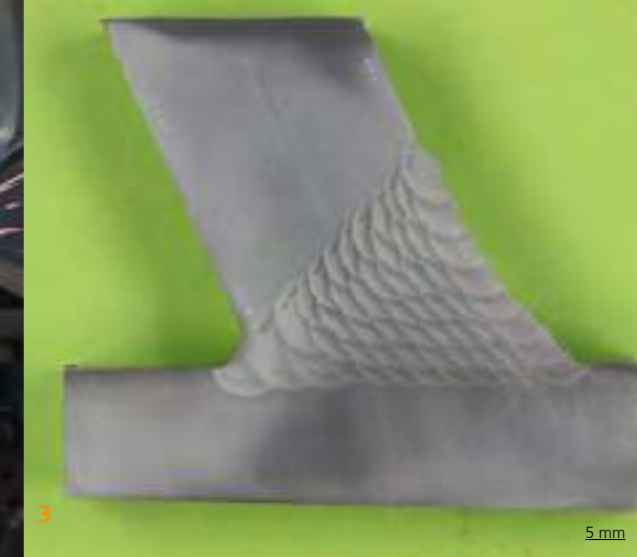
Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



Seite 58 Automatisierte Fertigung großvolumiger Rohrknoten mit Industrierobotern

Seite 60 Endeffektor zum hochgenauen robotergestützten Bohren auf Freiformflächen

Seite 62 Sensorbasierte automatisierte Fertigung hoher orthogonaler Volumenstrukturen



## AUTOMATISIERTE FERTIGUNG GROSSVOLUMIGER ROHRKNOTEN MIT INDUSTRIEROBOTERN

### Zielstellung

Die Erschließung der Offshore-Windenergie wird durch die Energiewende stetig vorangetrieben. Die Gründungen von Windenergieanlagen und Konverterplattformen werden häufig als Gitterstrukturen und damit als Schweißkonstruktion ausgeführt. Der Mechanisierungsgrad bei der Gründungsstrukturfertigung ist dabei unterschiedlich ausgeprägt. Während das Fügen stumpfgestoberer Rohrschüsse mit einer vollmechanisierten Fertigung erfolgt, werden Rohrknoten manuell gefügt. Eine Erhöhung des Mechanisierungsgrades und die Nutzung von Hochleistungsschweißverfahren im Bereich der Rohrknotenfertigung versprechen eine Steigerung der Produktivität und die Schaffung reproduzierbarer Fertigungsprozesse. Probleme bei der Mechanisierung der Fertigung sind die große Bauteilvarianz, die Fertigungstoleranzen der Halbzeuge, das Handling großer Werkstückmassen sowie die großen Arbeitsräume beim Einsatz konventioneller Manipulatorik, wie beispielsweise einem Portalsystem in Kombination mit Knickarmrobotern. Als Anforderungsprofil für die Anlagenentwicklung ergeben sich daraus eine Minimierung des Anlagenbauraumes, der Verzicht auf aufwendiges Werkstückhandling, eine sensorgestützte Roboterbahnplanung, eine hohe Abschmelzleistung und die Einhaltung von Anforderungen in Bezug auf Nahtqualität und mechanisch-technologischen Eigenschaften.

### Lösung

Anhand des Anforderungsprofils wurde ein Konzept einer Orbitalerschweißanlage entwickelt. Bei diesem wird ein Trägerma-

nipulator über einen Klemmmechanismus fest mit dem Werkstück verbunden, wobei die Kinematik des Trägermanipulators an die geometrische Form des Werkstücks angepasst ist. Die an den Enden der kinematischen Kette angebrachten Kleinroboter werden durch den Trägermanipulator dicht entlang der Fugestelle geführt. Die Medien- und Energieversorgung sowie die Steuerung erfolgt durch eine oberhalb des Trägermanipulators positionierte endlos drehbare Versorgungsplattform. Diese Versorgungsplattform kann fest installiert oder mobil sein. Dieses Konzept ermöglicht eine effiziente Ausnutzung des Arbeitsraumes und damit eine kompakte Gestaltung im Vergleich zu konventionellen mehrachsigen Portallösungen. Eine endlose Bewegung der Roboter, und damit ein kontinuierliches Schweißen, ist bei geringen Anforderungen an Reichweite und Tragfähigkeit der Schweißroboter möglich. Der modulare Anlagenbau gestattet eine flexible Integration in vorhandene Fertigungslinien. Für die Bewegungsablaufprogrammierung entstand ein Konzept, welches die Vermessung der Nahtgeometrie, die Planung des Lagenaufbaus sowie das eigentliche Schweißen der Fülllagen beinhaltet. Im Vorfeld des Schweißprozesses wird die Fugengeometrie (Nahtvorbereitung) mit Hilfe eines Laser-

- 1 *Positionierung des Roboters mit Hilfe der externen Achsen entlang der Schweißnaht*
- 2 *Schweißung eines Rohrknotens am Versuchsstand*
- 3 *Makroschliff der roboterassistierten Versuchsschweißungen*

lichtschnittsensoren messtechnisch erfasst. Die Messergebnisse werden sowohl für die Bahnplanung des Schweißroboters als auch für die Parametrierung des Prozesses verwendet.

### Ergebnis

Mit der Entwicklung, dem Bau und der Inbetriebnahme der Orbitalerschweißanlage wurde eine neuartige Kinematik für den genannten Anwendungsfall erstellt. Da bei dem Konzept ein Schweißen in Zwangslagen nötig ist, erfolgte eine Erprobung der Prozessstauglichkeit von Hochleistungsschweißverfahren für diesen Anwendungsfall. Die eingesetzte Metall-Aktivgas-Schweißanlage ermöglicht eine hohe Gesamtabschmelzleistung, wodurch die Fertigungszeiten drastisch reduziert werden. Für die Anlage und den Schweißprozess liegt ein AIP (Approval in Principle) von der Klassifikationsgesellschaft DNV-GL vor.

Die mechanisierte Rohrknotenfertigung führt zu einer Verbesserung der Schweißnahtqualität und gewährleistet ein reproduzierbares Prozessergebnis. Weiterhin führt die Automatisierung des Prozesses zu einer signifikanten Erhöhung der Produktivität sowie zu einer wesentlichen Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Vergleich zu der manuellen Fertigung. Aufgrund des räumlich flexibel einsetzbaren Anlagenkonzeptes und der Schweißung in Zwangslagen wird das aufwendige und kostenintensive Manipulieren der Rohrknoten auf ein Minimum reduziert. Weiterhin ist es durch den modularen Systemaufbau möglich, die Anlage auf verschiedene Rohrdurchmesser, Rohrlängen und Wandstärken zu adaptieren.

### Ausblick

Weitere Entwicklungen zielen insbesondere darauf ab, den gesamten Prozess der Rohrknotenfertigung zu automatisieren. Zu diesem Zweck sind vorhandene Lösungen im Bereich des

Ansatzrohrzuschnitts (inklusive Schweißnahtvorbereitung) sowie der hochgenauen Positionierung und Ausrichtung von Haupt- zu Ansatzrohr weiterzuentwickeln. Die einzelnen Fertigungsabschnitte können nachfolgend zu einer Fertigungslinie gekoppelt werden. Den Schweißprozess betreffend sind Algorithmen für die Erweiterung auf Decklagenschweißungen zu entwickeln.

### Beteiligte Partner

Ingenieurtechnik und Maschinenbau GmbH, Rostock

### Ansprechpartner

M.Sc. Sascha Lauer  
Telefon +49 381 49682-232 | Fax +49 381 49682-12  
sascha.lauer@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt „Automatisierte Fertigung von großen bis sehr großen Rohrknoten“ wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die Betreuung erfolgte nach Maßgabe der Richtlinie zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation des Ministeriums für Wirtschaft, Bau und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern durch den Projektträger Technologie-Beratungs-Institut (TBI).





## ENDEFFEKTOR ZUM HOCHGENAUEN ROBOTERGESTÜTZTEN BOHREN AUF FREIFORMFLÄCHEN

### Motivation

Die Mecklenburger Metallguss GmbH gilt als Spezialist für die Herstellung von Schiffspropellern. Diese Propeller können einen Durchmesser von bis zu 11,6 m besitzen und werden an das Schiff, die Maschine und das spezifische Einsatzprofil angepasst. Die bei der Herstellung nötige mechanische Bearbeitung von Gussrohlingen erfolgt bei der MMG durch manuell geführtes Schleifen mit einem hydraulischen Manipulator. Als Anhalt für den Maschinenbediener, wie viel Material abzutragen ist, werden die Rohlinge mit einem Netz von Sackbohrungen versehen, deren Bohrungsgrund die Soll-Oberfläche des Schiffspropellers darstellt. Die Positionen und Tiefen müssen hochgenau sein, damit die Maßhaltigkeit und letztendlich der Wirkungsgrad der Propeller gewährleistet sind. Die Erstellung der bis zu 1.000 Bohrungen war bisher ein vollständig manueller Prozess.

Die Zielstellung des Projektes war die Automatisierung dieses Bohrprozesses, um zum einen durch die Vermeidung von Prozessfehlern eine Qualitätssteigerung zu erreichen und zum anderen durch den Wegfall des manuellen Bohrens die Arbeitsbedingungen in der Fertigung erheblich zu verbessern.

### Herangehensweise

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde eine Bohrapplikation mit einem am Fraunhofer IGP entwickelten Großroboter realisiert. Dieses Robotersystem ist durch seine Abmessungen und dem damit verbundenen großen verfügbaren Arbeitsraum prädestiniert für diese Anwendung. Die entstandene Applikation

beinhaltet dabei folgende Technologien und Verfahren: Zur Steigerung der Genauigkeit kommt ein Lasertracker als externer Lagegeber zum Einsatz. Dieser ermöglicht sowohl die statische Übersteuerung einzelner Punkte, als auch eine absolutgenaue Bahnbewegung in Echtzeit. Als Basis für das Referenzieren des Werkstückes und des Roboters mittels des Lasertrackers dienen CAD-Daten des Soll-Propellers und Messdaten der Ist-Geometrie des Propeller-Rohlings, welche für jedes zu bearbeitende Werkstück durch die Gießerei zur Verfügung gestellt werden. Mit ihrer Hilfe wird eine automatische Offline-Bahnplanung mit Ausrichthilfe für den Propeller erstellt. Diese Ausrichthilfe unterstützt den Bediener bei der Positionierung des Werkstückes gegenüber dem Roboter mittels manuell gesteuertem Drehtisch durch eine Visualisierung der optimalen Werkstückposition mittels Laserprojektion. Ziel ist es, die Anzahl der erreichbaren Bohrungen für einen Programmablauf zu maximieren.

- 1 IGP-Großroboter im Versuchsfeld bei der Mecklenburger Metallguss GmbH
- 2 Bohrposition an der Unterseite eines Propellers
- 3 Referenzieren des Werkstückes und des Roboters mittels Lasertracker auf Basis der CAD-Daten des Soll-Propellers und Messdaten der Ist-Geometrie des Propeller-Rohlings

Ein Robotersystem mit einer seriellen Kinematik, insbesondere in den Abmessungen wie es in dieser Anwendung verwendet wird, weist eine vergleichsweise geringe Steifigkeit auf und eignet sich somit nur bedingt für eine mechanische Bearbeitung von metallischen Werkstücken. Daher bestand ein weiterer wesentlicher Punkt in der Entwicklung eines Bohrwerkzeuges, welches diesen Nachteil kompensiert und das Robotersystem soweit unterstützt, dass die geforderten Genauigkeiten eingehalten werden können. Dieses Werkzeug ermöglicht sowohl das Fixieren des Endeffektors am Werkstück mittels Vakuumgreifer, um ein mögliches Abdriften während des Bohrprozesses zu vermeiden, als auch ein Verspannen des Roboters gegen das Werkstück zum Ausgleich der vergleichsweise geringen Robotersteifigkeit. Weiter erfolgt während des Bohrvorganges zum Zwecke der Prozessoptimierung eine sensorgestützte Vermessung der Bohrereindringtiefe sowie dessen Oberflächennormalität.

### Ergebnis

Die entwickelte Bohrapplikation liefert ein neuartiges Verfahren, um Bohrungen mit einer sehr hohen Genauigkeit in Bezug auf Lage und Tiefe auf beliebig gekrümmten Oberflächen zu platzieren. Die Anzahl der Bohrungen sowie die Geometrie der Werkstücke sind dabei im Rahmen des verfügbaren Arbeitsraumes nahezu beliebig skalierbar. Außerdem ist das System durch die erweiterte Sensorik weitgehend unabhängig von der Steifigkeit und der Absolutgenauigkeit des verwendeten Roboters und ermöglicht somit Bohrungen selbst am Flügelrand des Schiffspropellers. Arbeitssicherheit und Ergonomie haben sich für den Facharbeiter, der die Arbeiten zuvor manuell durchgeführt hatte, erheblich verbessert. Die Qualität der Bohrungen konnte durch den Ausschluss der Ables- und Bohrtiefenfehler signifikant gesteigert werden.

### Ausblick

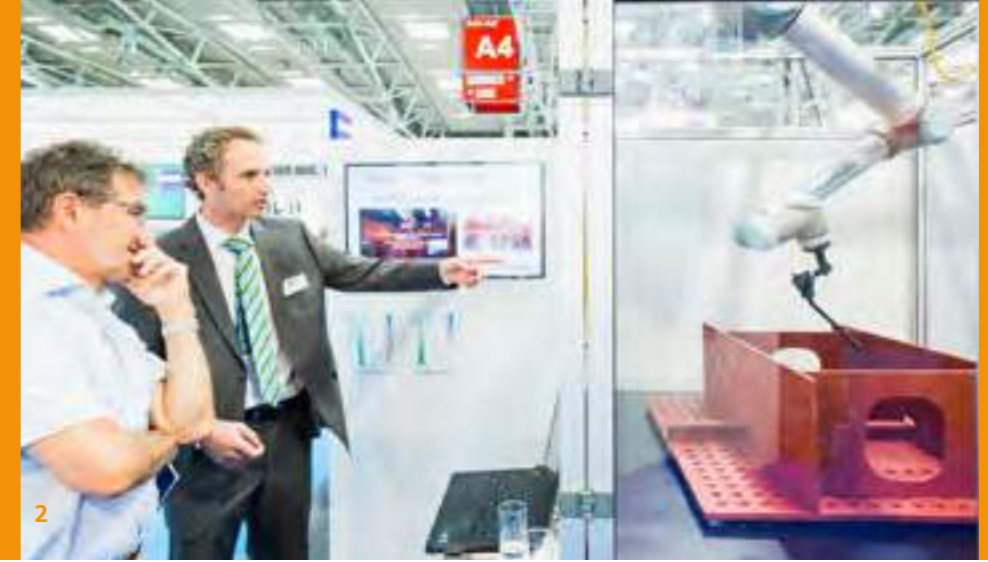
Nach dem erfolgreichen Abschluss des Projektes wird sich aktuell mit der Automatisierung eines weiteren Teilschrittes des Herstellungsprozesses von Großpropellern beschäftigt. Das manuell geführte Schleifen mit einem hydraulischen Manipulator soll durch ein kontaktkraftgeregeltes Schleifen zur definierten Oberflächenerzeugung von Gussbauteilen abgelöst werden.

### Projektpartner

Mecklenburger Metallguss GmbH, Waren

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Steffen Dryba  
 Telefon +49 381 49682-12 | Fax +49 381 49682-12  
 steffen.dryba@igp.fraunhofer.de



## SENSORBASIERTE AUTOMATISIERTE FERTIGUNG HOHER ORTHOGONALER VOLUMENSTRUKTUREN

### Ausgangssituation

Die Produktionsbedingungen im Schiffbau und im Bereich von Offshore-Konstruktionen sind geprägt durch geringe Stückzahlen, große Abmessungen der Bauteile und Baugruppen sowie damit verbundene große Fertigungs- und Montagetoleranzen. Ein Teilbereich der schiffbaulichen Fertigung, in dem trotz dieser Voraussetzungen bereits Schweißroboter zum Einsatz kommen, ist die Fertigung von orthogonalen Volumenstrukturen. Zur Programmierung der Schweißroboter werden dort zurzeit überwiegend Offline-Programmiersysteme eingesetzt, bei denen CAD-Daten als Basis der Programmerstellung dienen. Die verfügbaren Systeme weisen allerdings im praktischen Betrieb einige wesentliche Nachteile auf, die den Einsatz der Roboter in der Produktion behindern.

So erweist sich die Programmierung der Roboter mit konventionellen Verfahren im Bereich der Unikatfertigung oft als unwirtschaftlich. Durch den Einsatz der Offline-Programmiersysteme ergeben sich weiterhin hohe Anforderungen an die Qualität der benötigten CAD-Daten. Zusätzlich ergibt sich aus der Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung, mit einem hohen zeitlichen Vorlauf zur Produktion, eine Inflexibilität gegenüber konstruktiven oder technologischen Änderungen. Außerdem müssen die Roboterprogramme in der Produktion oftmals aufgrund der aktuellen Bauteillage sowie der Fertigungs- und Montagetoleranzen angepasst werden.

### Aufgabenstellung

Es wurde für die Programmierung der Schweißroboter ein Verfahren entwickelt, welches basierend auf 3D-Sensordaten der aktuellen Volumenstruktur die benötigten Roboterprogramme vollautomatisch erzeugt. Bei der Entwicklung der Methoden zur automatischen Verarbeitung der Sensordaten wurde besonderes Augenmerk auf die Robustheit der entsprechenden Verfahren gelegt. Vor diesem Hintergrund wurde ein mehrstufiges Segmentierungs- und Klassifizierungsverfahren entwickelt, welches es ermöglicht, aus der Gesamtpunktwolke einer Box vereinfachte, regelgeometrische Beschreibungen der einzelnen Bauteile zu ermitteln und in einer hierarchischen Struktur zu ordnen. Abschließend werden aus diesen Daten die zu schweißenden Nähte ermittelt und deren Parameter bestimmt.

Mit Hilfe eines entwickelten Postprozessors werden die erkannten Arbeitsaufträge in ein kollisionsfreies, anlagenspezifisches Roboterprogramm umgewandelt und zur Abarbeitung auf die jeweilige Robotersteuerung übertragen. Durch die Einbettung der Bahnplanung in den Produktionsablauf ergibt

- 1 *Automatisiertes Schweißen einer Naht innerhalb der Mockup-Struktur*
- 2 *Scan der Volumenstruktur mit ausschwenkbarem, seitlich an der Linearachse angebrachtem 3D-Scanner*

sich die Anforderung eines geringen Rechenaufwandes für deren Methoden. Unter anderem erfolgt eine Reduzierung des Aufwandes je Kollisionstest durch Primitiven-Approximation. Dabei werden Objekte durch umhüllende geometrische Volumen, wie zum Beispiel Kapseln oder Quader ersetzt, um die Abstandsberechnung durch einfachere Algorithmen zu beschleunigen und eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit zu realisieren.

### Nutzen

Das entwickelte System zeichnet sich dadurch aus, dass die Roboterprogrammierung in den Produktionsablauf integriert und dabei unabhängig von technologischen Vorarbeiten und Konstruktionsdaten ist. Es ermöglicht damit eine Reduzierung des Aufwandes zur Erstellung der Roboterprogramme sowie eine Erhöhung der Produktivität in der Produktion. Durch die Integration der sensorbasierten Roboterprogrammierung in eine bestehende Produktionsanlage auf der Warnow Werft in Warnemünde konnte deren Anwendbarkeit für hohe orthogonale Volumenstrukturen nachgewiesen werden. Die hinterlegten Roboter- und Anlagenparameter sind modifizierbar, wodurch das System flexibel mit anderen Industrierobotertypen und Anlagenspezifikationen einsetzbar ist.

### Ausblick

Zukünftige Entwicklungen zielen darauf ab, den Einsatzbereich des Systems durch die Erweiterung der erkennbaren Bauteil- und Schweißnahttypen für ein breites Spektrum an Volumenstrukturen auszubauen. Für ein weiteres Forschungsprojekt wird die Aufhebung der Beschränkung auf orthogonale Strukturen angestrebt.

### Beteiligte Partner

Ingenieurtechnik und Maschinenbau GmbH, Rostock; Hensel Elektronik GmbH, Rostock; Nordic Yards, Wismar; Universität Rostock, Rostock

### Ansprechpartner

Dr.-Ing. Alexander Zych  
 Telefon +49 381 49682-43 | Fax +49 381 49682-12  
 alexander.zych@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt „Sensorbasierte Roboterprogrammierung zur automatisierten Fertigung hoher orthogonaler Volumenstrukturen“ wurde im Rahmen des Programmes „InnoProfile-Transfer“ als Bestandteil der Innovationsinitiative Neue Länder „Unternehmen Region“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.





# MESSEN VON GROSSSTRUKTUREN

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Das Entwicklungsteam Messen von Großstrukturen entwickelt zusammen mit ihren Industriepartnern Mess- und Qualitätssicherungskonzepte. Ein umfassend ausgestattetes Messlabor für stationäre und mobile Anwendungen sowie ein multidisziplinäres Team bilden die Grundlage für innovative Lösungen.

Aktuelle Analyse- und Auswerteverfahren aus Wissenschaft und Forschung werden eingesetzt, um die Schwerpunktthemen geometrische Qualitätskontrolle und Steuerung von Fertigungsprozessen, Bereitstellung des Ist-Zustandes als Planungsgrundlage, Onlineprogrammierung von Robotern und Bauzustandsüberwachung als Simulationsbasis, Verarbeitung, Analyse sowie Modellierung (Reverse Engineering) von Punktwolken, angepasste Softwareentwicklung zur Datenauswertung und die Analyse und Automatisierung von Messprozessen zu bearbeiten.

Durch ein umfassendes Leistungsspektrum bieten wir unseren Kunden umfassende Lösungen in den Bereichen Reverse Engineering, Qualitätskontrolle, 3D-Toleranzanalysen, Schaffung von Planungs- und Simulationsgrundlagen auf Basis von Ist-Daten, Herstellerunabhängige Analyse, Beratung und Konzeptionierung von Mess- und Prüfprozessen, Entwicklung von Verfahren zur Steuerung von Fertigungsprozessen, Genaubau im Montageprozess, Bauzustandsüberwachung/Monitoring und in angepasster Softwareentwicklung zur Datenauswertung und Automatisierung von Messprozessen

1 *Lars Bretthauer bei der Vermessung mit Hilfe eines Streifenlichtprojektors*

## Gruppenleiter

Dr.-Ing. Michael Geist  
Telefon +49 381 49682-48  
michael.geist@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 66 Ansatz zur intelligenten und adaptiven Produktion von Fahrstühlen
- Seite 68 3D-Erfassung und Überwachung von Unterwasserstrukturen
- Seite 70 Geometrieerfassung sowie Datenauswertung von Schiffsoberflächen für effiziente Beschichtungsprozesse
- Seite 72 3D-Informationssystem zur Schadensstellen-Begutachtung von Windenergieanlagenblättern im Betrieb

# ANSATZ ZUR INTELLIGENTEN UND ADAPTIVEN PRODUKTION VON FAHRSTÜHLEN

## Hintergrund

Bestandsgebäude barrierefrei und altersgerecht umzubauen, stellt eine große Herausforderung für Betreiber und Eigentümer von Liegenschaften dar. Nachträgliche Installationen von Aufzugsanlagen bringen langwierige Mess- und Montageprozesse mit sich und behindern den Wohnungszugang der Mieter. Bisherige Nachrüstungen von Fahrstühlen werden durch einen Anbau vor das Wohngebäude realisiert. Da der Anbau an das Treppenhaus angrenzt, muss weiterhin ein Treppenlauf überwunden werden, um die Wohnräume zu erreichen. Auch das Kellergeschoss kann durch einen von außen angebauten Aufzug nicht erreicht werden. Im Rahmen des Projekts Fahrstuhl 4.0 werden Lösungsansätze erarbeitet, um eine vollständige barrierefreie Aufzugsanlage mit deutlich reduzierter Einbauzeit zu gewährleisten.

## Lösungskonzept

Die vollständige Barrierefreiheit wird durch den Einbau einer innenliegenden Aufzugsanlage erreicht. Dafür wird eine Treppenhausseite durch den Aufzugsschacht ersetzt und mittels Modulbauweise in einem Außenanbau rekonstruiert. Unterstützt werden die Ein- und Anpassungsarbeiten durch eine digitale Planungsgrundlage. Basierend auf 3D-Messdaten, bietet die Planungsgrundlage einen einheitlichen Informationsfluss für alle am Bau beteiligten Gewerke. Zur Erstellung der Planungsgrundlage mittels Laserscanner wird eine anwendungsbezogene Mess- und Auswertestrategie benötigt. Im

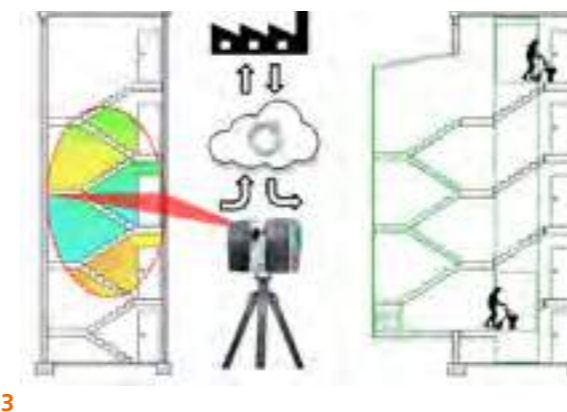
ersten Schritt der Untersuchung wurde die Messunsicherheit verschiedener Laserscanner überprüft. Besonderes Augenmerk lag auf der Entwicklung einer Messsystematik unter Berücksichtigung der vertikalen Toleranzvorgaben, da der Aufzugsschacht und demzufolge auch die Planungsgrundlage lotrecht verlaufen sollen. Nach der Beurteilung der Laserscanner erfolgte der Aufbau eines Referenzfeldes zur Analyse verschiedener Mess- und Auswerteansätze. Die Ergebnisse von zahlreichen Messaufbauten und Auswertevariationen wurden dem mit übergeordneter Genauigkeit eingemessenen Referenzfeld gegenübergestellt, um die optimale Strategie für das Erfassen von Treppenhäusern zu ermitteln. Das Ergebnis der Auswertung ist eine hochaufgelöste Punktwolke des Treppenhauses. Aus diesem Datensatz kann jeder Bearbeiter verschiedenste Maßzahlen, Abbildungen und Simulationen ableiten, ohne dass eine weitere Begehung der Baustelle nötig ist. Zur weiteren Verarbeitung wurde ein Software-Prototyp entwickelt, mit dem die geometrischen Parameter für die Aufzugsanlage berechnet werden. Der implementierte Algorithmus

- 1 Berechneter maximaler Kubus auf Basis der Laserscandaten
- 2 Eingebauter innenliegender Fahrstuhl in einem Bestandsgebäude
- 3 Workflow zur effizienten Fertigung und Installation eines innenliegenden Aufzuges in Bestandshäuser auf Basis von as-built Planungsdaten



ermittelt den maximal möglichen Bauraum, sowie die Lage und Orientierung des Aufzugsschachts.

Wird eine Mindestgröße für die Schachtbreite unterschritten, analysiert die Software den Verlauf der Wände und berechnet die notwendigen Anpassungsarbeiten. Die Daten bilden die Grundlage für eine 4.0-fähige Prozesskette.



## Ergebnisse

Auf der Basis von systematischen Untersuchungen konnte ein Mess- und Auswertekonzept zur anwendungsbezogenen Analyse von Treppenhäusern entwickelt werden. Die gewonnenen Messdaten werden in einer digitalen Planungsgrundlage modelliert und dienen als ganzheitlicher Informationsfluss für die gesamte Dauer der Bauphase. Auf Grundlage der fertigungsbegleitenden Messungen wurde ein Konzept zur effizienten Realisierung der Modulbauweise identifiziert. Durch diesen „BIM-Ansatz“ werden as-built-Zustände für jedes Messobjekt berücksichtigt und die optimale Nutzung des Bauraums gewährleistet. Der Einbau eines vollständig barrierefreien Aufzugsystems kann dadurch mit deutlich reduzierter Mess- und Einbauzeit realisiert werden.

## Beteiligte Partner

Hochschule Wismar, Wismar; Zurow Bau GmbH, Zurow

## Ansprechpartner

M.Eng. Lisa Knaack  
 Telefon +49 381 49682- 146 | Fax +49 381 49682-12  
 lisa.knaack@igp.fraunhofer.de

## Förderung

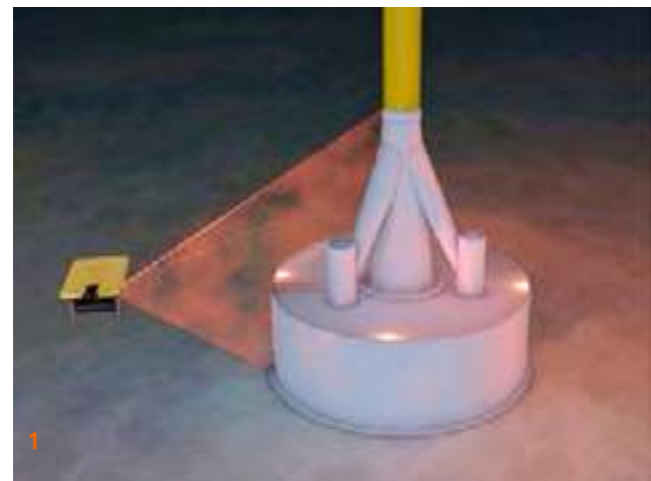
Das Verbundprojekt „Entwicklung eines Industrie 4.0-fähigen Ansatzes zur datentechnisch integrierten, intelligenten und adaptiven Produktion eines Fahrstuhls“ wird von der Technologie-Beratungs-Institut GmbH gefördert.



# 3D-ERFASSUNG UND ÜBERWACHUNG VON UNTERWASSERSTRUKTUREN

## Zielstellung

Das Meer stellt heute einen wichtigen Bereich für die Energieerzeugung aber auch als Rohstofflieferant dar. Offshore-Windenergieanlagen, Tidenhubkraftwerke und Bohrplattformen sind Bauwerke, die teilweise oder ganz im Wasser errichtet werden müssen. Solche Bauwerke bedürfen einer regelmäßigen und möglichst objektiven Inspektion und Prüfung, welche heute aufgrund fehlender effizienter Systeme bislang nur visuell durch Taucher oder akustisch mit Hilfe von Sonargeräten durchgeführt werden können. Für eine regelmäßige Prüfung der Unterwasserstrukturen fehlt es somit an präzisen, effizienten und möglichst automatisierten Methoden. Im Rahmen des Projektes wird das durch den Projektpartner entwickelte laserbasierte Scannersystem für 3D-Inspektionen durch Algorithmen für eine schnelle und zuverlässige Datenauswertung und -integration erweitert.



## Herangehensweise

Im Fokus des Vorhabens steht die Entwicklung eines Verfahrens zur Detektion von Deformationen an Unterwasserstrukturen basierend auf gescannten 3D-Punktwolken. Unterwasserlaserscanner, wie das vom Projektpartner entwickelte System, sind in der Lage, die Oberflächen von Unterwasserstrukturen berührungslos abzutasten und in Form von Punktwolken abzubilden. Aufgrund der Vielzahl von Störeinflüssen unter Wasser, wie zum Beispiel die Lichtabsorption, die eingeschränkte Sichtweite oder Schwebepartikel, sind die Messdaten mit größeren Messunsicherheiten behaftet als bei vergleichbaren Messungen über Wasser. Zur zuverlässigen Interpretation der unstrukturierten Punktwolken werden angepasste, sensorspezifische Filteralgorithmen und Operatoren entwickelt. Grundlage einer Deformationsanalyse ist die hochgenaue Registrierung der Messepochen in einem an die Umgebungsbedingungen angepassten und weitestgehend automatisierten Auswerteverfahren. Die im Projekt „DeepInspect“ entwickelte Software übernimmt die Analyse der gemessenen Punktwolken

- 1 Konzept der Inspektion von Unterwasserstrukturen mit Hilfe des Laserscanners
- 2 Test eines impulsbasierten Unterwasserlaserscannersystems mit definierten Prüfkörpern
- 2 Konzept des Vergleichs zeitlich verschiedener Messepochen untereinander und zum Architekturmodell

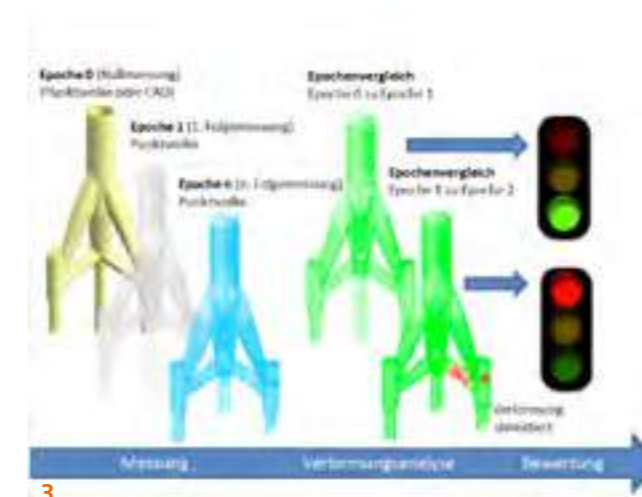


weitestgehend vor Ort und in kurzer Zeit, sodass eventuelle Nachmessungen während bzw. kurz nach den Messungen eingeleitet werden können oder Deformationen ohne langwierige Nachbearbeitung detektierbar sind. Anforderungen an die Auswertesoftware sind eine schnelle Prozessierung, Detektion potentieller Verformungen, Übersichtlichkeit und Bedienerfreundlichkeit sowie einfache Bewertungsaussagen.

## Nutzen

Nach Abschluss des Projektes steht dem Anwender eine Auswertesoftware zur Verfügung, die an das entwickelte Messsystem angepasst ist und spezifische Messparameter berücksichtigt. Der Nutzer wird so in die Lage versetzt, eine schnelle und automatisierte Verformungsanalyse von gescannten Punktwolken durchzuführen.

Durch die Kombination innovativer Unterwassermesstechnik und teilautomatisierter Auswertesoftware sind zukünftig präzise und effiziente Inspektionen von Unterwasserstrukturen möglich.



## Beteiligte Partner

Fraunhofer IPM, Freiburg im Breisgau

## Ansprechpartner

Dr.-Ing Frank Niemeyer  
 Telefon +49 381 49682-235 | Fax +49 381 49682-12  
 frank.niemeyer@igp.fraunhofer.de

## Förderung

WISA - Institutsübergreifende Vorlaufforschung zur Erarbeitung von Technologien und Produkten durch strategische wirtschaftsorientierte Eigenforschungsprojekte





1

## GEOMETRIEERFASSUNG SOWIE DATENAUSWERTUNG VON SCHIFFSOBERFLÄCHEN FÜR EFFIZIENTE BESCHICHTUNGSPROZESSE

### Motivation

Im Yachtbau werden in einem sehr aufwendigen manuellen Prozess die äußeren sichtbaren Bereiche mit Spachtel geglättet, bevor die Lackierung erfolgt. Die Spachteldicke an jeder Stelle ergibt sich dabei iterativ, sodass der Beschichtungsprozess sehr zeitintensiv ist und Kosten in Millionenhöhe verursacht. Vorhandene Methoden zur Steuerung der Spachtelarbeiten haben sich für große Yachten als nicht effizient genug erwiesen, da die Modellierung der Spachtelschicht durch das manuelle Glätten von Scandaten erfolgt. Es resultieren subjektive und unzureichend reproduzierbare Ergebnisse. Zielsetzung des Verbundprojekts FINISH ist die Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Steuerung der Spachtelarbeiten. Dafür werden einhüllende Freiformflächen unter Optimierungskriterien automatisiert aus Messdaten abgeleitet. Zur weiteren Beschleunigung des Prozesses wird ein an die Prozessanforderungen angepasstes Messkonzept entwickelt.

### Lösungskonzept

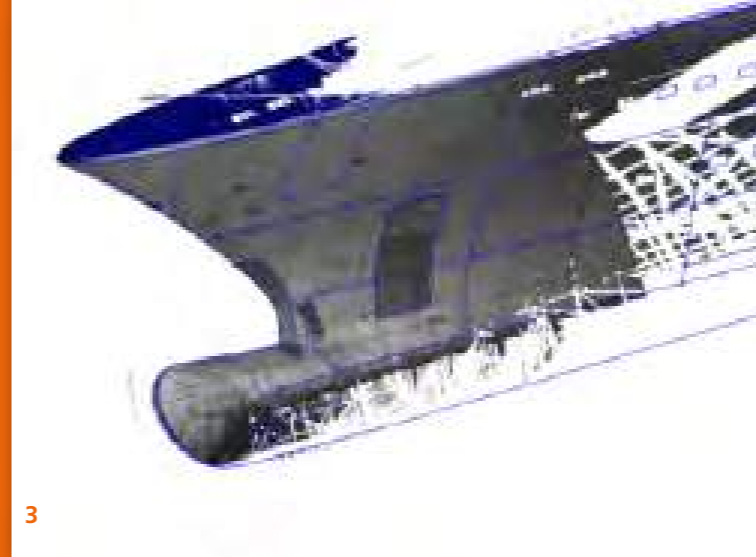
Eine signifikante Beschleunigung der Datenaufnahme ist nur durch eine grundlegende Änderung des Messkonzeptes zu erreichen. Bisher erfolgt die 3D-Objektaufnahme durch statisches terrestrisches Laserscanning (s-TLS). Für die Aufnahme von Großstrukturen sind oft 50 oder mehr Einzelmessungen erforderlich, die anschließend referenziert und aufbereitet werden müssen. Zur Vermeidung dieses enormen Zeitaufwandes soll die 3D-Objektaufnahme stattdessen kinematisch erfolgen (k-TLS). Ein im Profilmodus arbeitender Laserscanner

2



auf einer bewegten Plattform wird am Objekt vorbeibewegt und durch einen Lasertracker hochgenau referenziert. Basierend auf den Mess- und Konstruktionsdaten erfolgt eine Vorverarbeitung durch die automatisierte Datenbereinigung. Darüber hinaus werden Funktions- und Designelemente identifiziert, die bei der Flächengenerierung als Soll-Kriterien berücksichtigt werden. Weiterhin erfolgt eine Analyse der Messdaten bezüglich des Konturverlaufs, um relevante Punkte auf der Oberfläche des Schiffsrumpfs zu identifizieren. Die Punkte werden für die Generierung eines idealen Oberflächenfinishes der Yacht verwendet. Dieses zeichnet sich durch eine minimale Spachtelschichtdicke bei möglichst strakenden Flächenverläufen aus. Als Vorlage dienen die Designdaten der Yacht, deren Flächenverläufe unter Berücksichtigung aller

- 1 *Fertiggestellte Megayacht*
- 2 *Kinematisches Laserscanning zur Erfassung der Außenhaut des Schiffes*
- 3 *Automatisierte Ableitung von strakenden Flächen aus Laserscandaten*
- 4 *Qualitätssicherung von Flächen anhand optischer Kriterien*



3

Kriterien an die Oberflächenpunkte einhüllend angepasst werden.



4

Durch die automatisierte Differenzbildung von bereinigten Messdaten und generiertem idealen Oberflächenfinish wird eine Spachtellandkarte erstellt, die im folgenden manuellen Fertigungsprozess zum Einsatz kommt.

### Ausblick

Die dynamische Erfassung großer Oberflächen, wie beispielsweise eines Schiffsrumpfs, wird durch die Anwendung des entwickelten Messsystems ermöglicht, die Aufnahmedauer deutlich verkürzt.

Die automatisierte Bereinigung der Messdaten und die anschließende Klassifizierung verringern den manuellen Prozessanteil und führen somit zu einer signifikanten Zeit- und Kosteneinsparung.

Die Automatisierung der Generierung mathematisch optimierter Flächen verringert ebenfalls die manuelle Arbeitszeit. Außerdem werden die einzuhaltenden Qualitätskriterien erstmals definiert und zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen. Dadurch kann erstmalig die Qualität von Flächen unter optischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Insgesamt wird der Beschichtungsprozess im Yachtbau beschleunigt. Die Spachtelvorhersage kann auch zur Vorferti-

gung von Einbauteilen für komplexe Bereiche verwendet werden. Außerdem liefert dieses Verfahren erstmals eine objektive Bewertung der Spachtelschicht und der Konturverläufe. Seine Anwendung vermeidet Nacharbeiten und somit Zusatzkosten.

### Beteiligte Partner

Dr. Hesse und Partner Ingenieure, Hamburg; Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG, Bremen; Geodätisches Institut Leibniz Universität Hannover, Hannover; Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen - Leibniz Universität Hannover, Hannover

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Fabian Gierschner  
Telefon +49 381 49682-47 | Fax +49 381 49682-12  
fabian.gierschner@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Verbundprojekt „Exakte und schnelle Geometrieerfassung sowie Datenauswertung von Schiffsoberflächen für effiziente Beschichtungsprozesse“ mit dem Vorhaben „Neue Methoden zur automatisierten Modellgenerierung“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# 3D-INFORMATIONSSYSTEM ZUR SCHADENSSTELLENBEGUTACHTUNG VON WINDENERGIEANLAGENBLÄTTERN IM BETRIEB

## Ausgangssituation

Aufgrund der technischen Komplexität und der stark wechselnden Belastungen, die auf eine Windenergieanlage einwirken, sind regelmäßige Inspektionen der Anlage durchzuführen, um so einen sicheren und zuverlässigen Betrieb gewährleisten zu können. Die Inspektion von Windenergieanlagen auf Schadensstellen erfolgt derzeit vorwiegend mit analogen Messmitteln sowie einer Fotodokumentation. Diese analoge Art der Inspektion zieht folgende Probleme nach sich: ein hoher Zeitaufwand zur Erfassung von Schadensstellenpositionen, hohe Fehleranfälligkeit, fehlende Reproduzierbarkeit aufgrund der subjektiven Bewertung der Schäden anhand von Fotos sowie eine schwache Analysemöglichkeit aufgrund der geringen Datenbasis.

Wegen der aufgelisteten Defizite ist eine schnelle und objektive Inspektion nicht möglich. Die Forderung nach möglichst geringen Stillstandzeiten der Windkraftanlagen für die Inspektionen kann nur in beschränktem Maße erfüllt werden. Das Ziel der Prozessinnovation bestand darin, die Inspektion sowohl von Onshore- als auch von Offshore-Windenergieanlagen durch die Anwendung moderner digitaler Messmittel und Informationstechnologien zu verbessern. Insbesondere sollte die Inspektionsdauer bei gesteigertem Informationsgehalt reduziert werden.

## Lösung

Für die Umsetzung eines verbesserten, fehlerresistenteren Prozesses wurde der gesamte Inspektionsprozess digitalisiert.



Für die Digitalisierung wurde ein 3D-Informationssystem mit den drei folgenden Systemkomponenten entwickelt und umgesetzt:

### Mobiles Inspektionssystem

Das System besteht aus einem 3D-Laserscanner in Kombination mit einem mobilen Endgerät zur Dokumentation bestehender und neuer Schadensstellen, welches durch den Inspekteur vor Ort eingesetzt wird. Für die praktische Anwendung des Laserscanners wurde eine Messsystematik entwickelt.

### Stationäres Gesamtinspektionssystem

Dieses System besteht aus der Auswertesoftware und einer Schnittstelle zum Datenbankmanagementsystem. Mit Hilfe

1 Beispielrotorblatt

2 Punktwolke einer inspezierten Rotorblattinnenstruktur



des Gesamtinspektionssystems können aus den registrierten Laserscandaten die Positionen der Schadensstellen im Rotorblattkoordinatensystem abgeleitet sowie Abstände und Winkel zwischen Strukturen bestimmt werden. Zusätzlich können die Eingaben des Inspektors kontrolliert und abschließend in einer Datenbank gespeichert werden.

### Datenmanagementsystem

Für eine schnelle und übersichtliche Speicherung von Inspektionsdaten wurde eine Datenbank umgesetzt. Die Integration von Inspektionsdaten wird durch eine Benutzeroberfläche stark vereinfacht, sodass keinerlei Vorkenntnisse im Umgang mit Datenbanken notwendig sind. Durch eine langfristige Speicherung und durch Verweise zwischen Tabelleninhalten können langfristige Analysen durchgeführt werden.

### Ergebnisse und Nutzen

Im Ergebnis steht dem Anwender eine Messsystematik zur schnellen digitalen Zustandserfassung von Rotorblattinnenstrukturen mittels Laserscanner zur Verfügung sowie eine Software zur Analyse, Dokumentation und Datenmanagement der erfassten Laserscandaten hinsichtlich inspizierter Schadensstellen.

Die Digitalisierung ermöglicht eine erhebliche Beschleunigung und Objektivierung des Inspektionsprozesses von Windenergieanlagenblättern. Zudem sind ein durchgängiger, digitaler Datenfluss und die Möglichkeit zur räumlichen geometrischen Auswertung entstanden. Da die Inspektionsdaten einen Bezug zu den Planungsdaten haben, erlaubt eine Auswertung dieser Rückschlüsse auf die Produktion. Das 3D-Informationssystem dient dabei als Grundlage für eine Langzeitanalyse von Schadensstellen.

### Beteiligte Partner

Tools for composite GmbH, Güstrow

### Ansprechpartner

M.Eng. Lisa Knaack  
Telefon +49 381 49682-146 | Fax +49 381 49682-12  
lisa.knaack@igp.fraunhofer.de

# UNTERNEHMENS- UND PRODUKTIONSORGANISATION

## Schwerpunkte und Kompetenzen

Das Team der Unternehmens- und Produktionsorganisation des Fraunhofer IGP entwickelt in enger Zusammenarbeit mit den Industriepartnern individuelle Lösungen für die Gestaltung und Steuerung der Produktion von morgen.

Im Bereich der Fabrik- und Logistikplanung kommen neueste Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik, wie etwa Materialflusssimulation, 3D-Layoutplanung und Robotersimulation zum Einsatz. Dadurch können Industriepartner unter anderem bei der Absicherung von Reorganisations- oder Investitionsprojekten in der Produktion unterstützt werden.

Auf Shopfloor-Ebene liegt der Fokus auf der Entwicklung und Umsetzung individueller Lösungen für die smarte Fabrik im Kontext von Industrie 4.0. Hierzu gehören IT-basierte Betriebsdatenerfassungssysteme, die in Kombination mit modernster Ortungstechnologie zu einer Steigerung der Transparenz über den Produktionsprozess führen. Gleichzeitig wird eine schnelle und flexible Bereitstellung digitaler Informationen für den Mitarbeiter immer wichtiger. Um diese Ziele zu erreichen, werden Assistenzsysteme wie Datenbrillen, Tablets und andere Smart Devices eingesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten liegt im Bereich der ergonomischen Assistenzsysteme. Durch den Einsatz von Ergonomiesimulation und intelligenten Arbeitsplatzsystemen können Montageprozesse ergonomisch korrekt und effizient gestaltet werden. Außerdem werden innovative Produktionskonzepte entwickelt, die auf der Mensch-Roboter-Kollaboration basieren.

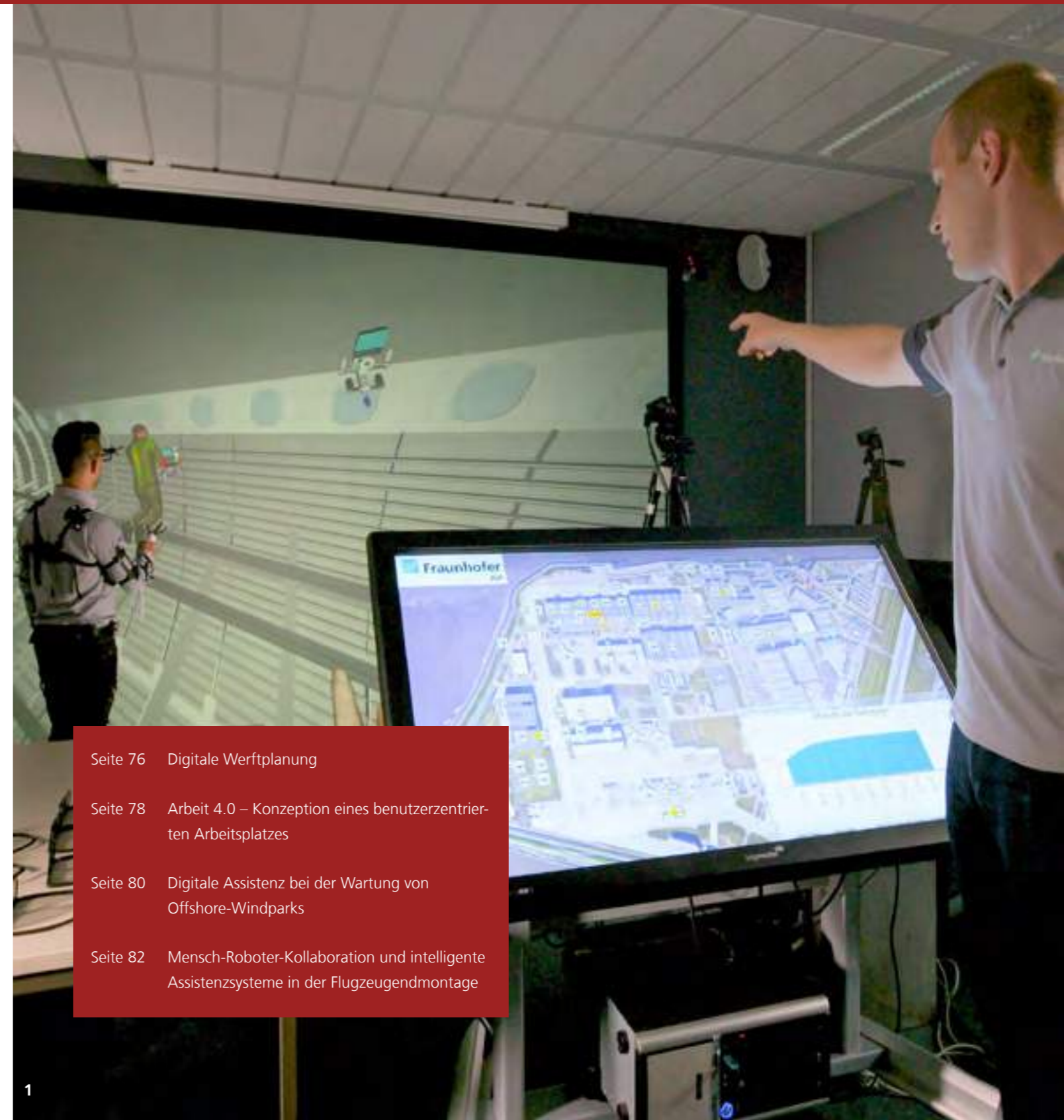
**1** Florian Beuß und Benjamin Illgen bei der digitalen Fabrikplanung und Ergonomieanalyse mittels Virtual Reality

## Gruppenleiter

Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Sender  
Telefon +49 381 49682-55  
jan.sender@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 76 Digitale Wertplanung
- Seite 78 Arbeit 4.0 – Konzeption eines benutzerzentrierten Arbeitsplatzes
- Seite 80 Digitale Assistenz bei der Wartung von Offshore-Windparks
- Seite 82 Mensch-Roboter-Kollaboration und intelligente Assistenzsysteme in der Flugzeugendmontage



1



3

## DIGITALE WERFTPLANUNG

### Ausgangssituation

Die Unikatfertigung im Schiffbau führt zu immer wiederkehrenden Neuplanungen. Zudem ist die Industrie gekennzeichnet durch komplexe Materialflüsse innerhalb der Fertigung und Logistik sowie durch umfangreiche Interdependenzen innerhalb der Prozessstufen. Darüber hinaus liegt der Planungsstart für die Produktion nahezu ausnahmslos weit vor Fertigstellung der Konstruktion. Weitere Spezifika sind enorme Flächenbedarfe, hohe Gewichte der Produkte sowie sehr lange Durchlaufzeiten. Diese massive Komplexität der Planungsaufgabe bringt statische Planungswerkzeuge schnell an ihre Grenzen. Aufgrund der beschriebenen Einzigartigkeit der Industrie existieren zudem kaum digitale Hilfsmittel, auf die zurückgegriffen werden kann.



2

### Lösungsansatz

Den Ansatz des Fraunhofer IGP zur Planung und Bewertung von Produktions- und Logistikprozessen innerhalb eines oder mehrerer Werftstandorte bildet ein digitales Abbild aller

planungsrelevanten Teilbereiche basierend auf dem Werkzeug der ereignisdiskreten Materialflusssimulation. So wird unter Anwendung der Produkt-Prozess-Ressource-Struktur die reale Ausgangssituation in die digitale Welt überführt. Durch die Modellierung der Werft sowie der zu fertigenden Schiffe können dynamische Belastungen der zur Verfügung stehenden Ressourcen mit dem Produktionsprogramm szenariobasiert simuliert werden. Die Simulation umfasst neben der Fertigung von Einzelteilen und deren Montage auch die Ausrüstung sowie die Logistik des Standortes und dessen Zulieferern. Als weitere Schlüsselemente sind eine Flächenbelegungsplanung, Mitarbeiter (qualitativ und quantitativ) und Schichtpläne in das Modell implementiert. Im Ergebnis dienen statistische Auswertungen dem Anwender als eine aussagekräftige Unterstützung bei der Bewertung der Produktionsprozesse und somit deren Planung. Die dabei entstehenden Erkenntnisse bieten die Möglichkeit der Bewertung des Produktionsplanes hinsichtlich Plausibilität und Engpassituation. Auch können jegliche denkbaren Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Systemverhalten validiert werden.

- 1 Modell einer Fertigungslinie für Paneele
- 2 Digitales Abbild einer Werft
- 3 Interaktiver und teambasierter Planungsprozess unter Nutzung der Virtual Reality
- 4 2D-Ansicht des Simulationsmodells

Des Weiteren ist es ein Ansatz, die Fertigungsprozesse sowie die geplanten Szenarien mithilfe von Virtual Reality intuitiv zu visualisieren, um in teambasierten Planungstreffen ein konsistentes Gesamtverständnis zu entwickeln. Auch sollen so Änderungen und deren Auswirkungen verständlich gemacht, vor Ort interaktiv eingearbeitet und so eine qualitativ hochwertige Planungsbasis geschaffen werden.



4

### Ergebnisse und Nutzen

Als Nutzen ergeben sich durch die Simulation eines Werftstandortes eine verbesserte und transparente Planungsgrundlage. Darüber hinaus ist es dem Anwender möglich, gesteckte Terminziele zu überprüfen und gegebenenfalls durch verschiedene Maßnahmen vor Verzug abzusichern. Engpässe werden frühzeitig erkannt, was als Grundlage zur Ableitung von Handlungsempfehlungen herangezogen werden kann. Weiterhin kann eine Überprüfung möglicher Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen vollzogen werden, ohne dass diese reale Risiken - durch Umsetzung eines Szenarios am Standort - darstellen. Langfristig führt dies zu einer Senkung der Fehlerfolgekosten für den Standort. Zusätzlich folgt eine Objektivierung des Entscheidungsfindungsprozesses für die Produktions- und Logistikplanung.

Durch die Darstellung der Planungsinhalte in der virtuellen Realität und dem damit einhergehenden immersiven Erleben der geplanten Szenarien sowie deren interaktive Umsetzung, wird ein objektives und übereinstimmendes Verständnis für die Planungen bei allen Anliegern geschaffen. Diese fundierte Ausgangsbasis führt zu einem besseren Verständnis, einer höheren Akzeptanz und zu einer deutlichen Verschlanung des Planungsprozesses.

### Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Sender  
 Telefon +49 381 49682-55 | Fax +49 381 49682-12  
 jan.sender@igp.fraunhofer.de



## ARBEIT 4.0 – KONZEPTION EINES BENUTZERZENTRIERTEN ARBEITSPLATZES

### Motivation

Die Flexibilität des Menschen hinsichtlich der Lösung komplexer Aufgaben ist besonders in Montagebereichen gefragt, in denen eine Automatisierung, beispielsweise durch Roboter, unwirtschaftlich ist. Daher gilt es, die Arbeitskraft der Mitarbeiter zu konservieren beziehungsweise einer Abnahme präventiv entgegen zu wirken. Besonders im Umgang mit großen und schweren Bauteilen bieten herkömmliche Arbeitsplatzsysteme meist nur eine eingeschränkte Assistenz und verhindern eine ergonomisch korrekte sowie effiziente Arbeitsweise. Basierend auf dieser Problemstellung entstand die Motivation im Rahmen des Projektes „ErgoTab“ ein intelligentes Arbeitsplatzsystem für die Montage großer Bauteile zu entwickeln.

### Lösungskonzept

#### Analyse des Ist-Zustands

Für die Entwicklung konkreter Optimierungsansätze fanden ganzheitliche Analyseprozesse hinsichtlich der Montagetätigkeiten bei den Anwendungspartnern statt. Zur Objektivierung der Prozessaufnahmen wurden die Ergebnisse in einer Simulationsumgebung nachempfunden. Anschließend fand die Bewertung der Ergonomie mit Hilfe der Rappid-Upper-Limb-Analysis-Methode statt. Um eine realitätsnahe Abbildung der Bewegungen zu gewährleisten, wurden diese mit inversen Kinematiken erstellt. Die Verteilung der Gefährdungsklassen für die Ist-Situation ergab, dass eine Veränderung der Arbeitsplätze essentiell war.

#### Konzeption eines benutzerzentrierten Arbeitsplatzes

Basierend auf den Ergebnissen der Ergonomieanalysen wurde ein Kinematikkonzept abgeleitet, durch welches die defizitären Körperpositionen ausgeglichen werden können. Hierbei erfolgt die Anpassung des Arbeitsplatzsystems durch eine automatische Ansteuerung diverser Antriebssysteme zur ergonomisch optimalen Ausrichtung. Die Ermittlung der jeweiligen korrekten Endlagen der entsprechenden Antriebe wird auf Basis einer berührungslosen Identifikation des Bauteils und der physiologischen Gegebenheiten des Mitarbeiters realisiert. Die flexible Anpassung wird hierbei durch Kombination von translatorischen und rotatorischen Antrieben mit hohen Reaktionsfähigkeiten erreicht.

Innerhalb der Entwicklungsphase wurde anhand von Virtual-Reality-Mock-Ups die allgemeine Funktionsfähigkeit des Kinematikkonzepts überprüft und validiert. Die Übertragung der Bewegungen der Mitarbeiter fand über ein markerbasiertes Trackingsystem in die virtuelle Szene statt. Veränderungen der Antriebe und Anpassungen der Aktionsbereiche konnten so schnell umgesetzt werden.

- 1 und 2** Überführen der realen Montagebewegungen in eine digitale Simulationsumgebung zur Ergonomiebewertung
- 3** Intelligentes Arbeitsplatzsystem für die Montage großer und schwerer Bauteile
- 4** Digitaler Mock-Up zur Evaluierung und Optimierung des Prototypen

#### Umsetzung des intelligenten Arbeitsplatzsystems

Die Entwicklung des Arbeitsplatzsystems erfolgte unter Berücksichtigung des Modularitätsgedankens, der eine Adaption auf verschiedene Anforderungsprofile gewährleistet. Um die kontaktlose Identifikation des jeweiligen Mitarbeiters, des Bauteils sowie des entsprechenden Prozessschritts zu realisieren, wird die Radio-Frequency-Identification-Technologie eingesetzt. Durch die Identifikation des jeweiligen Bauteils können Rückschlüsse auf den Montageschritt getroffen werden, die eine Berechnung der optimalen Ausrichtung des Systems ermöglichen. Unter Verwendung von Smart-Devices sind die einzelnen Antriebe separat ansteuerbar, die eine nachträgliche sowie stufenlose Anpassung gewährleisten. Als weitere Schnittstelle, die eine Mensch-Technik-Interaktion erlaubt, fungiert ein Touchbildschirm, der neben den verschiedenen Zuständen des Systems weiterführende Informationen visuell darstellt. Interaktive Montageanleitungen dienen darüber hinaus als visuelle Assistenz.

#### Ergebnisse

Das beschriebene Arbeitsplatzsystem ermöglicht die ganzheitliche Optimierung der Ergonomie während der Montage. Durch die Integration der Kinematik und die Kombination dieser mit einer intelligenten Steuerung sind interpersonelle und prozessabhängige Anpassungen des Arbeitsplatzsystems bzw. die Ausrichtung des zu bearbeitenden Werkstücks an den Arbeiter möglich. Die kraftlose Manipulation der schweren Bauteile und die Vermeidung von Zwangslagen während der Montage minimieren die physischen Belastungen des Menschen.

#### Ausblick

Die Ergebnisse der umfangreichen Analysen ergaben, dass ein hohes Optimierungspotential im Bereich der Arbeitsplatzsys-

teme und der manuellen Montage größerer Bauteile existiert. Aufgrund der Komplexität solcher Montageprozesse müssen die Arbeitsplatzsysteme einen ganzheitlichen Lösungsansatz verfolgen, sodass starre Strukturen diesen Anforderungen nicht gerecht werden. In den nächsten Entwicklungsstufen müssen die Mensch-Technik-Interaktion, die mechanische Assistenz sowie der modulare Aufbau weiterentwickelt werden. Vor allem flexible und intelligente Assistenzsysteme entlasten den Menschen in seinen komplexen Tätigkeitsfeldern.

#### Beteiligte Partner

MiniTec GmbH & Co.KG, Schönenberg; VARIOVAC PS System-Pack GmbH, Zarrentin am Schaalsee; REFA MV GmbH, Rostock; KLH Kältetechnik GmbH, Bad Doberan

#### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Florian Beuß  
Telefon +49 381 49682-59 | Fax +49 381 49682-12  
florian.beuss@igp.fraunhofer.de

#### Förderung

Das Vorhaben „Entwicklung eines intelligenten Arbeitsplatzsystems für die Montage großer Bauteile“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.







## DIGITALE ASSISTENZ BEI DER WARTUNG VON OFFSHORE-WINDPARKS

### Motivation

Durch die zunehmende Komplexität von Bauteilen und Geräten in Offshore-Windparks werden hohe Anforderungen an das Personal zum Betrieb und zur Wartung gestellt. Die Komplexität der Bauteile hat ebenso komplexe Wartungsprozesse zur Folge. Eine fehlerhafte Ausführung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen hat gravierende ökonomische Auswirkungen. Die variablen Rahmenbedingungen in der Offshore-Wartung und -Instandhaltung hinsichtlich der rauen Umweltbedingungen, Kommunikationsinfrastruktur, Arbeitsschutzanforderungen und Arbeitsinhalte erschweren die soft- und hardwareseitige Konfiguration eines flexibel einsetzbaren Assistenzsystems. Auch wiederkehrende Arbeiten werden deshalb papiergebunden ausgeführt, die Vorteile der Digitalisierung somit nicht ausgenutzt.

### Lösungsansatz

Im Rahmen des Wachstumskerns „OWS – Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern“ wurde eine Methodik zur anwendungsspezifischen Konfiguration von Assistenzsystemen zur mobilen Anwendung in der Wartung von Offshore-Strukturen entwickelt. Die besonderen Herausforderungen, die sich aus den rauen Rahmenbedingungen im Offshore-Betrieb ergeben, wurden durch die Bildung von Referenzszenarien aus dem tatsächlichen Offshore-Geschäft berücksichtigt. Dadurch geht die Methodik auf die vielfältigen Unterschiede der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten ein und liefert die jeweils optimale Grundlage für den eigentlichen Systemaufbau. Hierfür wurde ein Konfigurationstool entwickelt,

das anhand der Beschreibung des Einsatzszenarios und der anfallenden Wartungsarbeiten Vorschläge zu geeigneten Hardwarespezifikationen und Endgerätetypen generiert. Für die Anbindung an das zugrunde liegende Datenmodell wurden bilaterale, bedarfsorientierte Informationsflüsse konfiguriert. Hierdurch ist sowohl der Online- als auch der Offline-Betrieb des Assistenzsystems möglich. Um den wechselnden Anforderungen der jeweiligen Arbeitsaufgabe gerecht zu werden, wurden verschiedene Teilmethoden der Interaktion und Datenaufbereitung als modularer Baukasten entwickelt, die bedarfsgerecht im Assistenzsystem eingesetzt werden können. Je nach Nutzeranforderung kann das Assistenzsystem dann entweder manuell oder per Sprachbefehl gesteuert, als Informationsstütze oder Dokumentationstool genutzt und in Form von Tablet oder Datenbrille in die Ausrüstung integriert werden. Durch die Anbindung an ein zentrales Datenmodell wird der Informationsfluss beschleunigt. Infolgedessen können die Arbeiten und Einsatzergebnisse onshore schneller ausgewertet und dadurch Folgekampagnen personell und materiell bedarfsgerecht geplant werden. Außerdem entsteht durch die digitale Dokumentation im Informationssystem eine digitale Lebensakte zu jeder Anlage im Windpark.

**1 Einsatzszenario Offshore-Plattform**

**2 Digitale Unterstützung bei der Wartung von Offshore-Windparks**

**3 Evaluierung des Assistenzsystems im virtuellen Windpark**

### Nutzen

Durch die Funktionen und den Aufbau der Methodik zur anwendungsspezifischen Konfiguration von Assistenzsystemen zur mobilen Anwendung in der Wartung von Offshore-Strukturen können komplexe Wartungs- und Instandhaltungsprozesse fehlerfrei durchgeführt und durchgängig digital dokumentiert werden. Mitarbeiter vor Ort werden in Abhängigkeit der durch ihre Arbeitsaufgabe definierten Rahmenbedingungen bedarfsgerecht mit für sie optimal aufbereiteten Informationen versorgt und mittels digitaler Anweisungen durch die Kampagne begleitet. Hierbei wirkt das System als Assistent des Arbeiters und unterstützt die anfallenden Prozesse im jeweils benötigten Funktionsumfang. Durch die Anbindung an die zentrale Informationsplattform kann die digitale Lebensakte jeder Anlage in der Maßnahme angefordert und bearbeitet werden, wodurch ebenso die um die Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen angesiedelten Prozesse in der Kampagnenplanung und -nachbereitung effizient beschleunigt werden.

### Ausblick

Die Ergebnisse der Methodik lassen sich aus der Offshore-Wind-Branche auf andere Industriezweige, wie den industriellen Anlagenbau oder das Baugewerbe übertragen. Die Methodik liefert hierfür die geeignete Basis, um nicht nur Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, sondern auch Prozesse in anderen Lebenszyklusphasen digital abzubilden und Mitarbeiter in der Ausführung ihrer Arbeit unter industriell geprägten Umweltbedingungen informationstechnisch durch mobile Assistenzsysteme zu unterstützen und Workflows zu beschleunigen. Die durch die gesammelten Rückmeldungen im Assistenzsystem gewonnenen Daten lassen sich außerdem auswerten und für weitere Maßnahmen nutzen. Im Produktionsumfeld der Unikat- und Kleinserienfertigung eingesetzt,

können derartige Systeme eine wesentliche Grundlage zum Aufbau von Wissensdatenbanken und der Planung und Steuerung von Prozessen bilden. In den nächsten Entwicklungsstufen müssen die Mensch-Technik-Interaktion und die Hardwareignung für den industriellen Einsatz weiter vorangetrieben werden.

### Beteiligte Partner

IMAWIS GmbH, Rostock; Krebs Unternehmensgruppe, Hamburg; Neptun Ship Design GmbH, Rostock; ONP Management GmbH, Hamburg; SEAR GmbH, Rostock

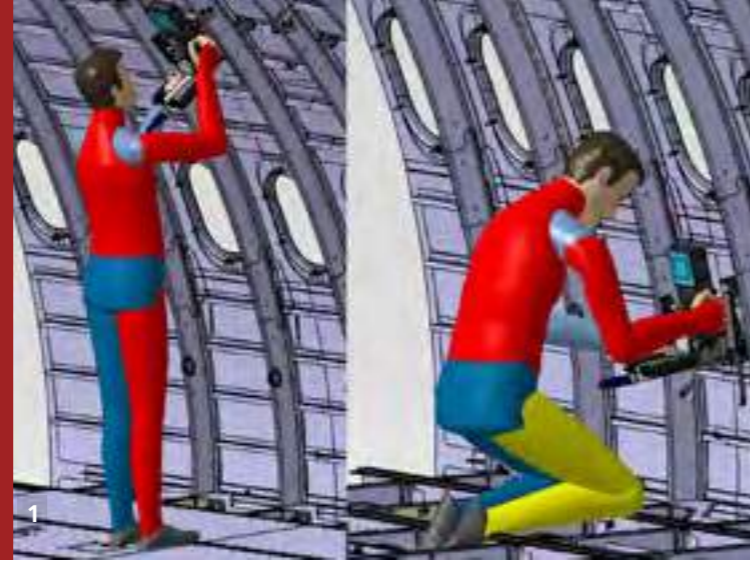
### Ansprechpartner

M.Sc. Martin Eggert  
Telefon: +49 381 49682-145 | Fax: +49 381 49682 -12  
martin.eggert@igp.fraunhofer.de

### Förderung

Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des Wachstumskerns „OWS – Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern“ gefördert.





## MENSCH-ROBOTER-KOLLABORATION IN DER FLUGZEUGENDMONTAGE

### Herausforderung

Das weltweit steigende Transportaufkommen im Personen- und Güterverkehr wirkt sich direkt auf die Nachfrage nach Schmalrumpfflugzeugen aus. Die Auftragsbestände der großen Flugzeughersteller sind so hoch wie nie. In diesem Zusammenhang will Airbus die Produktionsrate ihres Mittelstreckenflugzeugs A320 erhöhen. Neben einer zusätzlichen Endmontagelinie sollen zudem neue Produktionstechnologien zur bisher überwiegend manuellen Endmontage der Flugzeuge eingeführt werden. Dort werden aktuell Längsstreben, sogenannte Stringer, einzelner Sektionen durch Stringerkuppelungen manuell durch herkömmliche Vollniete miteinander verbunden. Hierfür sollen zukünftig Vollstanzniete eingesetzt werden, die eine deutliche Reduktion der benötigten Prozessschritte und -zeit bewirken. In einem Kooperationsprojekt zwischen den Firmen Airbus, Tox Pressotechnik und Fraunhofer IGP wurde das aus dem Automobilbau bekannte Verfahren für die Anwendung im Flugzeugbau qualifiziert und intelligente Werkzeuge für das Stanzen entwickelt. Aufgrund der hohen Prozesskräfte beim Stanzen weisen die Werkzeuge ein hohes Eigengewicht auf, wodurch die manuelle Montage zu hohen physischen Belastungen der Mitarbeiter während der manuellen Handhabung führen würde.

### Lösungsansatz

Um dieses Problem zu lösen, wurde ein intelligentes Assistenzsystem auf Basis eines kollaborierenden Robotersystems entwickelt, welches die Mitarbeiter beim Fügen der Stringer und Stringerkuppelungen entlang der Flugzeugstruktur körperlich

und geistig unterstützt und eine nachhaltige Qualitätssicherung ermöglicht.

### Mensch-Roboter-Kollaboration

Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) kombiniert die Vorteile aus der manuellen und automatisierten Montage. In der vorliegenden Anwendung wurde ein handgeführter Leichtbauroboter der Firma Universal Robots mit einer Traglast von 10 kg eingesetzt, an dem das Stanzniet-Setzgerät angebracht ist. Weiterhin ist ein Kraft-Momenten-Sensor (KMS), der die angreifenden Kräfte der Handführung durch den Mitarbeiter erfasst, implementiert worden. Die geringe Kraft der Mitarbeiter während der Handführung wird vom Roboter in eine Bewegung überführt, wodurch sich das Werkzeug intuitiv und ohne körperliche Anstrengung frei im Raum und zu den Fügepositionen bewegen lässt.

### Integrierte Bedienung

Die Steuerung des kombinierten Roboter-Setzgerät-Systems wurde in einer integrierten Bedieneinheit realisiert. Sicherheitstechnisch erfordert das Setzgerät eine Zweihandschaltung zum Auslösen des Stanzprozesses. Der Roboter in seiner Handföhrfunktion benötigt ebenfalls eine Zustimmungsrückmeldung sowie mehrere Bewegungsmodi, um diesen zügig und

**1** *Physische Belastung während manueller Montage*

**2** *Handgeführtes Robotersystem*

**3** *Kombinierte Prozessdatenverarbeitung und Informationsvisualisierung*

präzise an die Fügestelle zu führen. Zur Gewährleistung einer intuitiven Bedienung und damit einer hohen Akzeptanz der Mitarbeiter wurde eine ganzheitliche Bedienung des Roboter-Setzgerät-Systems realisiert.

### Kombinierte Prozessdatenerfassung

Ein weiterer Vorteil des entwickelten Assistenzsystems ist die Möglichkeit der Nutzung der integrierten Sensorik. Zum einen ist das Werkzeug intelligent und kann für jeden Nietprozess die Kraft-Weg-Verläufe erfassen und damit eine Prozessbewertung vornehmen. Zum anderen können die Positionsdaten des Roboters für eine automatische Zuordnung der Prozessdaten zu den Nietpositionen genutzt werden. Durch Vernetzung von Werkzeug- und Robotersystem und einer kombinierten Prozessdatenverarbeitung konnte eine automatische Prozessdokumentation realisiert werden.



### Intelligente Informationsvisualisierung

Um dem Mitarbeiter die Daten während des Arbeitsprozesses zugänglich zu machen, wurde eine Applikation zur Informationsvisualisierung auf einem Smartphone entwickelt. Der Mitarbeiter führt während der Montage permanent ein Smartphone am Unterarm mit sich, auf dem Informationen zum Robotersystem und momentanen Montageprozess angezeigt werden. Weiterhin erhält er die Möglichkeit, wichtige Einstellungen zum Prozess bzw. Robotersystem direkt über das Smartphone vorzunehmen. Die Qualitätssicherung als wichtiger Aspekt des Flugzeugbaus wird durch das Smartphone maßgeblich erleichtert, indem eine fortwährende Prozess-

dokumentation stattfindet. Die gesetzten Nieten werden in der Applikation den entsprechenden Nietpositionen im Flugzeugrumpf zugewiesen und visualisiert. So kann der Montageprozess sowie, falls notwendig, die manuelle Nacharbeit zielgerichtet und zügig erfolgen.

### Nutzen

Das intelligente Assistenzsystem auf Basis der MRK führt durch die physische Entlastung der Mitarbeiter zu einer Verbesserung der Ergonomie. Die kombinierte Prozessdatenerfassung ermöglicht eine Erhöhung der Transparenz und Qualität des Fügeprozesses in der Flugzeugendmontage. Durch die digitale Informationsbereitstellung auf dem Smartphone werden die Mitarbeiter intuitiv durch den Montageprozess geführt. Erste Tests unter realen Bedingungen im Flugzeugrumpf zeigten das Potenzial der Anwendung und die Akzeptanz durch die Mitarbeiter. Das grundlegende System soll zukünftig nicht nur einen weltweiten Einsatz beim Nieten der Stringer und Stringerkuppelungen finden, sondern auch auf weitere Bereiche der Flugzeugendmontage übertragen werden.

### Beteiligte Partner

Airbus Operations GmbH, Hamburg; TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG, Weingarten

### Ansprechpartner

M.Sc. Frederik Schmatz  
Telefon: +49 381 49682-569 | Fax: +49 381 49682-12  
frederik.schmatz@igp.fraunhofer.de



Das Prüflabor des Fraunhofer IGP ist durch die Geschäftsfelder des Instituts eng in laufende Forschungsprojekte eingebunden. Zudem werden Prüfaufgaben aus der Wirtschaft bearbeitet. Um der Kompetenz und den hohen Qualitätsanforderungen aus Forschung und Wirtschaft zu entsprechen, wurde das Prüflabor im Jahr 2009 DIN EN ISO/IEC 17025:2005 durch die deutsche Akkreditierungsstelle DAkkS akkreditiert.

Seit Bestehen des Prüflabors konnte ein umfangreiches Know-how in den Bereichen experimenteller Untersuchungen von Werkstoffen, Verbindungselementen, Verbindungen und Beschichtungssystemen aufgebaut werden. Schwerpunktthemen sind neben akkreditierten Versuchen, normgerechte und nicht normgerechte Versuche sowie Bauteilprüfungen. Der Fokus in diesen Bereichen liegt hierbei auf den hohen Qualitätsstandards und der Reproduzierbarkeit der Versuche. Zudem werden kontinuierlich weitere genormte Verfahren in das Portfolio aufgenommen. Zum Leistungsspektrum des Prüflabors zählen mechanisch-technologische Prüfungen, Dichtheitsprüfungen mittels Heliumlecktest, Korrosionsprüfungen, chemisch-physikalische Prüfungen und Oberflächencharakterisierungen. Hierfür steht in den Laboren ein breit aufgestellter Maschinenpark zur Verfügung. Das Prüfportfolio wird ständig erweitert und umfasst derzeit folgende Versuche:

## Mechanisch-technologische Prüfungen

- Zugversuche
- Dauerschwingversuche
- 3- und 4-Punkt-Biegeversuche
- Mechanisch gefügte Verbindungen: Haftreibungszahl, Querkraft- und Längszugtragfähigkeit, Anzieh-, Drehmoment- und Vorspannkraftverhalten, Schwingfestigkeit
- Klebverbindungen und Klebstoffe: statisch und schwingend, ein- und mehrschnittige Verbindungen, Raupenschälversuche
- Kerbschlagbiegeversuche
- Härteprüfungen nach Vickers

## Dichtheitsprüfungen mittels Heliumlecktest

- Behälterprüfungen
- Lecksuche
- Verbindungsprüfungen

## Korrosionsprüfungen

- Kraftfahrzeuglackierungen (VDA)
- Beschichtungssysteme für Stahlbauten (ISO 12944-6, ISO 20340)
- Korrosionsprüfungen in künstlicher Atmosphäre
- Freibewitterung von Beschichtungen

1 Gleitlastversuch

## Chemisch-physikalische Prüfungen

- Kalzinierung von Faserverbundwerkstoffen
- Funkenemissionsspektrometrie von Metallen
- Bestimmung des Wasserstoffgehaltes im Lichtbogen-schweißgut

Zusätzlich zu dem breit aufgestellten Leistungsspektrum der Prüftechnik kann ein Metallographielabor ausgewiesen werden. Dafür beschäftigen wir zwei angehende Werkstoffprüfer, welche für die Präparation, Durchführung verschiedener Prüfverfahren sowie für die Analyse und Dokumentation zuständig sind.



## Ansprechpartner

M.Eng. Holger Brauns  
Telefon +49 381 49682-220  
holger.brauns@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock

Die Versuche in der Abteilung Prüftechnik werden von einem kompetenten Ingenieur- und Technikteam durchgeführt, welches langjährige Erfahrung mit der Entwicklung und dem Aufbau von Mess- und Prüfapparaturen hat. Die Arbeitsschwerpunkte reichen dabei von der Entwicklung, Durchführung bis zur Versuchsauswertung.

## Maschinen

- Universalprüfmaschinen: Zug / Druck bis 1000 kN, -80...250 °C
- dynamische Prüfmaschinen bis 1000 kN
- Hochfrequenzpulsatoren bis 100 kN
- Fallwerk bis 90 kN
- Drehmomentprüfstand bis 500 Nm
- Härteprüfgerät nach Vickers bis HV30
- Rauheitsmessgerät bis 300µm
- Schichtdickenmessgerät bis 3000µm



# PRÜF-, ÜBERWACHUNGS- UND ZERTIFIZIERUNGSSTELLE NACH LBO

## PÜZ-Stelle MVO08 nach Landesbauordnung

Produkte oder Bauarten, für die bisher keine anerkannten technischen Regeln existieren, bedürfen für den Einsatz im bauaufsichtlich geregelten Bereich einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis. Für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) der Zulassungsnummern Z-14.1-... und Z-14.4-... (Verbindungselemente) ist das Fraunhofer IGP seit 2014 vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) als Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (MVO08) nach Landesbauordnung anerkannt. Die Anerkennung als Überwachungs- und Zertifizierungsstelle wurde im Jahr 2018 mit den Zulassungsnummern Z-30.6-... (Geschweißte Bauteile aus Stahl) und Z-14.9-... (Bauliche Verankerungen von Anschlagpunkten für Anschlagseinrichtungen) erfolgreich erweitert. Zudem konnte die Anerkennung für die Zulassungsgruppe „Mit standardisiertem Prozess geschweißte Bauteile aus Baustahl mit besonderer Anwendung“ (Zulassungsnummer Z-30.6-...) als deutschlandweit erste und derzeit einzige Prüfstelle erlangt werden.

Das Fraunhofer IGP nimmt Überwachungs- und Zertifizierungsaufträge (System ÜZ) im In- und Ausland entgegen. Die Aufgaben der Überwachungsstelle umfassen dabei die Begutachtung der Herstellwerke vor Ort hinsichtlich der personellen

und ausstattungsmäßigen Voraussetzung für eine ständige ordnungsgemäße Herstellung. Auch die Überprüfung der entsprechenden werkseigenen Produktionskontrolle zur Sicherstellung der Produkteigenschaften obliegen der Überwachungsstelle. Die Fremdüberwachung umfasst somit eine Prüfung der Bauprodukte auf Übereinstimmung mit der zugrundeliegenden technischen Spezifikation (abZ).

Die Zertifizierungsstelle übernimmt die abschließende Beurteilung der von der Überwachungsstelle vorgelegten Berichte hinsichtlich der Erteilung, Aufrechterhaltung oder Zurückziehung der Übereinstimmungszertifikate. Bei positiver Beurteilung ist der Hersteller zur Kennzeichnung der Bauprodukte oder Bauarten mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) berechtigt und verpflichtet.

Für bestimmte Bauprodukte oder Bauarten kann die Erklärung der Übereinstimmung durch den Hersteller erfolgen (System ÜHP). In dem Fall kann durch die Prüfstelle des Fraunhofer IGP eine Erstprüfung des Bauprodukts oder der Bauart hinsichtlich der Übereinstimmung mit den Anforderungen der zugrundeliegenden abZ erfolgen.

1 Florian Knöchelmann und Detlef Krüger bei der Bestückung der Prüfmaschine

## Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Ralf Glienke  
Telefon +49 381 49682-40  
ralf.glienke@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



# LEHRE, AUS- UND WEITERBILDUNG

Im Rahmen unseres Kooperationsvertrags zwischen der Universität Rostock, Fakultät Schiffbau und Meerestechnik und dem Fraunhofer IGP besteht seit vielen Jahren eine enge Zusammenarbeit in Lehre und Forschung.

Der Lehrstuhl Fertigungstechnik steht für Ausbildung der produktions- und fertigungstechnischen Module im Bachelor- und Masterstudium. Wir sind eng verzahnt mit den Themen des Lehrstuhls für Fügechnik, um den Studierenden ein geschlossenes Bild aller Fertigungsverfahren zu vermitteln.

Seit 1998 wird die universitäre Lehre eng mit der industriellen Forschung verzahnt. Über die seitdem kontinuierlich gewachsenen schiff- und stahlbautechnischen sowie maschinen- und fahrzeugbaulichen Forschungsaktivitäten in der Fügechnik sowie der Fertigungstechnik und aufgrund weitgefächerter fertigungstechnischer Forschungsprojekte in der Automatisierungstechnik, der Produktionsorganisation und der Messtechnik ergeben sich für Studenten interessante grundlagen- und anwendungsorientierte Aufgabenstellungen im Rahmen von Studien- und Abschlussarbeiten, die den Übergang vom Studium in die berufliche Praxis erleichtern. Viele unserer Absolventen konnten interessante Tätigkeiten in der Industrie oder auch in der Forschung aufnehmen und sind noch heute durch die Lehrstühle Fertigungstechnik und Fügechnik eng in einem Alumni-Netzwerk verbunden.

Neben der universitären Ausbildung von Studenten widmen wir uns auch der beruflichen Weiterbildung. In Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP bietet das Weiterbildungszentrum Klebtechnik des Fraunhofer IFAM einen einwöchigen Kurs für Klebpraktiker und einen dreiwöchigen Kurs für die Weiterbildung von Meistern, Technikern und Ingenieuren zu Klebfachkräften in Rostock an.

1 Seminar der Klebtechnik, unterrichtet von Sven Wachtmann

## Ansprechpartner universitäre Ausbildung

Dr.-Ing. Ulrich Kothe  
Telefon +49 381 49682-50  
ulrich.kothe@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



- Seite 90 Weiterbildung für Klebpraktiker und Klebfachkräfte
- Seite 91 Lehrangebote der Lehrstühle Fertigungstechnik und Fügechnik
- Seite 92 Lehrstuhl Fertigungstechnik
- Seite 93 Lehrstuhl Fügechnik

### Weiterbildung für Klebpraktiker und Klebfachkräfte

Das Kleben gewinnt als Fügeverfahren durch den zunehmenden Materialmix aus Metallen, Kunststoffen und Composites immer mehr an Bedeutung. Mit dem Erscheinen der neuen DIN 2304 „Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse“ werden neue Anforderungen an die Anwender gestellt. Um Unternehmen in die Lage zu versetzen, das Potential der Klebtechnik zu nutzen, bietet das Weiterbildungszentrum Klebtechnik des Fraunhofer IFAM in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP in Rostock neben einwöchigen Kursen für Klebpraktiker auch einen dreiwöchigen Kurs für die Weiterbildung von Meistern, Technikern und Ingenieuren zu Klebfachkräften an.

#### Klebpraktiker NACH RICHTLINIEN DVS® / EWF 3305 UND EWF 515

Die Teilnehmer werden für die Arbeit in der betrieblichen Fertigung qualifiziert. Dafür wird im einwöchigen Lehrgang ein Grundverständnis für das Kleben vermittelt, damit die Besonderheiten des klebtechnischen Prozesses verstanden und in der Fertigung berücksichtigt werden. Arbeitsanweisungen

werden so in ihren jeweiligen Zusammenhängen und Auswirkungen transparent. Mit diesen Kenntnissen können Klebpraktiker Klebungen selbstständig und fachgerecht erstellen.

#### Klebfachkraft NACH RICHTLINIEN DVS® / EWF 3301 UND EWF 516

Die Teilnehmer werden in dem dreiwöchigen Kurs für den Einsatz in der betrieblichen Fertigung und Produktentwicklung qualifiziert. Sie sind nach erfolgreichem Abschluss des Lehrgangs befähigt, Arbeitsanweisungen zu erstellen und Mitarbeiter sowie Klebpraktiker klebtechnisch in Theorie und Praxis anzuleiten. Klebarbeitsvorgänge können von ihnen geplant, organisiert und überwacht, Prozessparameter kontrolliert und gegebenenfalls variiert werden. Sie sind in der Lage, Unregelmäßigkeiten in der Fertigung zu erkennen und darauf zu reagieren. Die erfolgreich abgelegte Prüfung dient als Befähigungsnachweis und qualifiziert dazu, in einem Unternehmen die Aufgaben und Befugnisse der verantwortlichen Klebaufsichtsperson (nach DIN 6701-2 bzw. Richtlinien DVS® 3310 und 3311) zu übernehmen.

Beide Lehrgänge werden nach DIN 2304 und DIN 6701 anerkannt.



### Ansprechpartner

Dr.-Ing. Nikolai Glück  
Telefon +49 381 49682-39  
nikolai.glueck@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock

### Lehrangebote der Lehrstühle Fertigungstechnik und Fügetechnik

FERTIGUNG	SCHWEISSEN	ORGANISATION	QUALITÄT	AUTOMATISIERUNG
Fertigungslehre	Schweißtechnologien	Anlagenwirtschaft (Dr. Schröder)	Qualitätsmanagement	Automatisierung in Fertigung und Montage
Ausgewählte Fertigungsverfahren	Schweißkonstruktion	Produktionswirtschaft (Dr. Schröder)	Fertigungsmesstechnik	Steuerungstechnik
Fertigungsmittel	Schweißmetallurgie		Technische Dokumentation	Robotertechnik (Prof. Woernle)
Schiffsfertigungstechnik		Ringvorlesung MHI Industrie 4.0 für Ingenieure		
Arbeitswissenschaften				



### Lehrstuhl Fertigungstechnik

Der Lehrstuhl Fertigungstechnik versteht sich als integraler Bestandteil der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock und steht für Ausbildung der produktions- und fertigungstechnischen Module im Bachelor- und Masterstudium. Wir sind eng verzahnt mit den Themen des Lehrstuhls für Fügetechnik, um den Studierenden ein geschlossenes Bild aller Fertigungsverfahren zu vermitteln.

In der Lehre erreicht der Lehrstuhl Fertigungstechnik mit seinen Veranstaltungen zur Zeit 195 Studenten im Sommersemester und 421 Studenten im Wintersemester (Stand 2018). Dies betrifft die Studenten des Maschinenbaus und des Wirtschaftsingenieurwesens, aber auch die Ausbildung zum Lehramt.

Aus der Kooperation mit dem Fraunhofer IGP eröffnet sich die Möglichkeit, anwendungsrelevante Forschungsthemen in die Lehre zu integrieren. So sind Mitarbeiter des Fraunhofer IGP als Gastdozenten am Lehrstuhl Fertigungstechnik tätig. Darüber hinaus ermöglicht der Lehrstuhl über zahlreiche Dozenten aus der Industrie und aus anderen industrienahen Forschungsstellen anderer Universitäten, den Studenten ein aktuelles Bild aus der industriellen Umsetzung zu erhalten. Unsere Dozenten kommen unter anderem von der Dürr AG, TKMS Blohm+Voss, SLV Rostock, Nordic Yards, der Salzgitter AG und dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik der Universität Paderborn.

### Lehrstuhlinhaber Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge  
Telefon +49 381 49682-20  
wilko.fluegge@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



Wir bieten den Studenten eine Vielzahl interessanter studentischer Arbeiten (Bachelor-, Studien- und Masterarbeiten) an. Insbesondere durch die Kooperation mit dem Fraunhofer IGP können wir die Studierenden in industrierelevante Themenstellungen einbinden und den Bezug zu späteren Arbeitsfeldern der Absolventen herstellen.

Seit diesem Semester 2018 beteiligen wir uns aktiv an der multimedialen Verbundvorlesung Industrie 4.0, welche an 14 Standorten in Deutschland gehalten wird und im Rahmen der Zusammenarbeit im MHI (Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik e.V.) organisiert wird.

1 Die Vorlesung Fertigungslehre, unterrichtet von Prof. Flügge



### Lehrstuhl Fügetechnik

Der Lehrstuhl Fügetechnik an der Universität Rostock geht zurück auf die Gründung der Technischen Fakultät 1951 mit der fachlichen Symbiose von Werkstofftechnik und Schweißtechnik mit schiffbautechnischer Prägung. Seit 1992 wurde eine fertigungstechnische Orientierung der Fügetechnik forciert, die neben der Schweißtechnik eine thematische Erweiterung hinsichtlich mechanischer und hybrider Fügetechniken sowie Löt- und thermischer Spritztechniken erfuhr. So kann der Lehrstuhl Fügetechnik heute an der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik für die Studiengänge Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Berufspädagogik im Masterstudium schweiß- und fügetechnische Vertiefungen anbieten, die von ca. 30 Masteranden pro Semester belegt werden. Eine



### Lehrstuhlinhaber Fügetechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel  
Telefon +49 381 49682-30  
knuth.henkel@igp.fraunhofer.de

www.igp.fraunhofer.de

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock

gern genutzte weitere fachliche Orientierung besteht in der Anerkennung der schweißtechnischen Module und eines speziellen Praktikums im Rahmen einer zertifizierten Schweißfachingenieurausbildung.

Im Rahmen der Kooperation mit dem Fraunhofer IGP wird seit 1998 die fügetechnische universitäre Lehre eng mit der industriellen Forschung verzahnt. Über die seitdem kontinuierlich gewachsenen schiff- und stahlbautechnischen sowie maschinen- und fahrzeugaubaulichen Forschungsaktivitäten ergeben sich für Studenten interessante grundlagen- und anwendungsorientierte Aufgabenstellungen im Rahmen von Studien- und Abschlussarbeiten, die den Übergang vom Studium in die berufliche Praxis erleichtern.

Innerhalb der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik gibt es für das Lehrangebot in der Fügetechnik eine Reihe geeigneter fachlicher Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Lehrstühlen, vor allem mit den Lehrstühlen Fertigungstechnik, Werkstofftechnik und Konstruktionstechnik sowie den Lehrstühlen Windenergietechnik, Strukturmechanik und Meerestechnik. Komplettiert werden diese an den ingenieurseitigen Anforderungen orientierten Angebote durch geeignete weitere Veranstaltungen, die durch den Lehrstuhl Fügetechnik koordiniert werden, zum Beispiel des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik und verwandter Verfahren.

2 Prof. Henkel im Seminar zum Unterpulverschweißverfahren



# MITTELSTAND 4.0 – KOMPETENZZENTRUM ROSTOCK



## Herausforderung

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bilden mit mehr als 50 % der gesamten Wertschöpfung das Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Obwohl auch heute noch viele KMU in der Lage sind, analog sehr effizient zu arbeiten, ist eine zunehmende Digitalisierung und Vernetzung der Weltwirtschaft zu beobachten. Das stellt neue Anforderungen an die Unternehmen der Zukunft. Hierfür ist es unabdingbar, dass die digitale Kompetenz der KMU in Mecklenburg-Vorpommern erhöht wird. Dabei stehen besonders die Vernetzung der regionalen Wirtschaft sowie die innovative Digitalisierung von kleinen und mittleren Unternehmen aus den Zielgruppen des Gesundheits- und Sozialwesens, des Tourismus sowie des verarbeitenden Gewerbes im Vordergrund. Durch umfangreiche Unterstützungsangebote sollen die regionalen Unternehmen in der Lage sein, ihre bestehende Marktposition zu festigen und darüber hinaus auch weitere disruptive Geschäftsfelder zu erschließen.

## Lösung

Für die Unterstützung der Unternehmen auf ihren Digitalen Transformationen wird ein Kompetenzzentrum für die Unternehmen in Mecklenburg-Vorpommern gegründet. Die Projektpartner, bestehend aus den Hochschulen des Landes sowie dem Fraunhofer IGP, betreiben am Standort Rostock eine Geschäftsstelle, die als erster Anlaufpunkt für interessierte Unternehmen fungiert. Die vor Ort befindlichen Mitarbeiter helfen den Unternehmen der Zielbranchen in der Auswahl der richtigen Unterstützungsaktivität und informieren umfangreich über die Potentiale und Herausforderungen der Digitalisierung.

## Zielbranchen

Innerhalb des Transferprojekts ist das Kompetenzzentrum auf die Belange von kleinen und mittelständischen Unternehmen aus dem Tourismus, dem Gesundheitstourismus, der Gesundheitswirtschaft, der Medizintechnik sowie dem produzierenden Gewerbe fokussiert. Innerhalb der Projektlaufzeit ist eine Erweiterung der zu unterstützenden Branchen geplant.

## Leistungsportfolio

Interessierte Firmen finden dank eines dreistufigen Systems schnelle Hilfe zum Thema Digitalisierung. Neben der Sensibilisierung für die Digitale Transformation anhand von diversen Informationsveranstaltungen und Themenworkshops, die in der Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums durchgeführt werden, existiert auch die Möglichkeit, auf einer eingerichteten Webpräsenz den aktuellen Digitalisierungsgrad des eigenen Unternehmens mittels eines Quick-Checks zu analysieren. Darüber hinaus betreibt das Fraunhofer IGP an zwei verschiedenen Standorten Demonstratoren, anhand derer die Digitalisierung lösungsorientiert veranschaulicht wird. In der Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums werden Möglichkeiten der Digitalisierung innerhalb von Assistenzsystemen in der Medizin visualisiert. Hierbei können mit Hilfe eines Belegungsplaners, die kostenintensiven Bereiche von Kliniken sowie Arztpraxen optimal ausgelastet werden. So lassen sich Leerzeiten vermeiden und Kosten einsparen, ohne das Wohl der Patienten zu vernachlässigen.

- 1 *Digitale Assistenzsysteme in der Medizin: digitale OP-Belegungsplanung*
- 2 *Einsatz von Ortungstechnologien: Traceability in der Unikatfertigung*

Am Fraunhofer IGP kann die Traceability in der Unikatfertigung besichtigt werden. Hier wird der Einsatz verschiedener Identifikations- und Ortungstechnologien sowie die Auswertung der erhaltenen Daten dargestellt.

Neben den angebotenen Demonstratoren führt das Fraunhofer IGP kundenindividuelle Informationsgespräche mit KMU aus dem produzierenden Gewerbe durch und informiert hierbei in einer persönlichen Atmosphäre über gezielte Maßnahmen zur zielgerichteten Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen.

Als weitere Stufe werden im Rahmen der Qualifizierung verschiedene Schulungen angeboten. Durch zwei Basisschulungen sollen Unternehmen die Grundlagen von Assistenzsystemen in der Montage sowie der Shopfloordigitalisierung in KMU erhalten. Um auch auf Fachniveau einen schnellen Wissenstransfer in die KMU zu ermöglichen, stellt das Fraunhofer IGP zwei weitere Schulungen zu den Themen Datenanalyse sowie Ortung in der Produktion bereit.

In einer dritten Stufe unterstützt das Fraunhofer IGP die beispielhafte Umsetzung von kundenindividuellen Digitalisierungslösungen. Hierbei werden interessierte KMU über die einzelnen Möglichkeiten informiert und in der Entscheidungsfindung unterstützt.



## Nutzen

Die umfangreiche und flächendeckende crossmediale Wissensverbreitung zum Thema Digitalisierung ermöglicht die schnelle Sensibilisierung der regional ansässigen Unternehmen. Erweitert durch die vielen Informationsveranstaltungen und Schulungen wird erwartet, dass der Digitalisierungsgrad rapide gesteigert wird. Einhergehend mit einem flächendeckenden Breitbandausbau können so neue disruptive Geschäftsmodelle durch die Unternehmen der Zielbranchen entwickelt und erfolgreich betrieben werden.



[www.kompetenzzentrum-rostock.digital](http://www.kompetenzzentrum-rostock.digital)

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Florian Beuß  
Telefon +49 381 49682-59  
[florian.beuss@igp.fraunhofer.de](mailto:florian.beuss@igp.fraunhofer.de)

[www.igp.fraunhofer.de](http://www.igp.fraunhofer.de)

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock



# VERBÜNDE, ALLIANZEN UND GREMIENARBEIT

## Fraunhofer-Verbund Produktion

Der Fraunhofer-Verbund Produktion ist ein Forschungs- und Entwicklungspartner für das produzierende Gewerbe. Mehr als 2200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus acht Instituten und drei Fraunhofer-Einrichtungen stellen ihr Wissen wie auch ihre Erfahrungen zur Verfügung.

Als Teil der Fraunhofer-Gesellschaft, der größten Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa, wurde der Verbund 1998 gegründet.

Die Verantwortlichkeiten für Entwicklung und Monitoring der Verbundstrategie sowie für die institutsübergreifende Öffentlichkeitsarbeit liegt in den Händen der Geschäftsstelle in Magdeburg. Vorsitzender des Verbunds ist Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk, dessen Stellvertretung ist Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann. Die Geschäftsstelle wird von Prof. Dr.-Ing. Fabian Behrendt geleitet. Unter Nutzung der neusten Erkenntnisse aus den Produktions- und Ingenieurwissenschaften und der Informatik bietet der Fraunhofer-Verbund Produktion ein Leistungsspektrum an, welches den gesamten Produktlebenszyklus bzw. die gesamte Wertschöpfungskette umfasst. Forschung und Industrie sind hier eng und interdisziplinär vernetzt. So verfügt der Verbund über ein breit gefächertes Angebot an Technologien und Dienstleistungen, die Unternehmen fit machen - für die »Produktion der Zukunft«.

[www.produktion.fraunhofer.de](http://www.produktion.fraunhofer.de)

## Fraunhofer-Allianz Verkehr

In der Fraunhofer-Allianz Verkehr bündeln seit März 2003 verschiedene Fraunhofer-Institute und -Einrichtungen ihre verkehrsrelevanten Kompetenzen. Die Mitglieder der Allianz haben sich zum Ziel gesetzt, durch verkehrsrelevante Forschung geeignete technische und konzeptionelle Lösungen für öffentliche und industrielle Auftraggeber zu entwickeln und in die Anwendung zu überführen.

Durch eine enge, themenbezogene Zusammenarbeit können im Verkehrsbereich für die Kunden ganzheitliche System- und Verbundlösungen sowie neue Anwendungsbereiche durch Know-how-Transfer erschlossen werden. Diese Auswahl und Bündelung unterschiedlichster Kompetenzen stellt sicher, dass bedarfsgerechte Lösungen für den Kunden angeboten werden können.

Durch internationale Forschungsprogramme sind die Mitgliedsinstitute weltweit mit verkehrsrelevanten Wirtschafts- und Forschungsunternehmen vernetzt. Die Geschäftsstelle der Allianz hilft die richtigen Partner zu finden.

[www.verkehr.fraunhofer.de](http://www.verkehr.fraunhofer.de)

## Gremienarbeit

### Center of Maritime Technologies

Prof. Dr.-Ing. W. Flügge – Mitglied des Technischen Beirates

### Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.

Prof. Dr.-Ing. habil. K.-M. Henkel – Vorsitzender des Landesverbandes M-V

### Maritime Allianz Ostseeregion e.V.

Dipl.-Wirt.-Ing. J. Sender – Vorsitzender

### Kooperationsverbund RIC MAZA MV e. V.

Dipl.-Wirt.-Ing. J. Sender – Mitglied des Vorstandes

### Technologie- und Innovationskreis Wirtschaft/Wissenschaft M-V

Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Mitglied

### Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage-Handhabungstechnik-Industrieroboter

Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Mitglied

### Arbeitskreis XXL-Produkte

Prof. Dr.-Ing. W. Flügge – Mitglied

### Deutsches Institut für Bautechnik

Prof. Dr.-Ing. R. Glienke – Mitglied Sachverständigenausschuss SVA „Metallbau und Verbundbau“

### Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.

M.Sc. M. Schwarz – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF3/V10.3 „Mechanisches Fügen“ – Blindnieten und Schließringbolzen

Dipl.-Wirt.-Ing. C. Blunk – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF3/V10.3 „Mechanisches Fügen“ – Blindnieten und Schließringbolzen

Dipl.-Ing. C. Denkert – Stellvertretender Obmann/Schriftführer – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF4/V10.4 „Mechanisches Fügen“ – Funktionselemente

Dipl.-Ing. C. Denkert – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF7/V10.7 „Mechanisches Fügen“ – Konstruktion und Berechnung

Dipl.-Ing. M. Dörre – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF4/V10.4 „Mechanisches Fügen“ – Funktionselemente

M. Sc. R. Staschko – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AG MF1/V10.1 „Mechanisches Fügen“ – Stanznieten

Dr.-Ing. N. Fuchs – Mitglied – Gemeinschaftsausschuss DVS / EFB AGMF8/V10.8 „Mechanisches Fügen“ – Prüfung und Verbindungseigenschaften

### GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Arbeitskreis Windenergie

Dipl.-Wirt.-Ing. M. Irmer – Mitglied

### Hanse Aerospace e. V., Hamburg

Prof. Dr.-Ing. W. Flügge – Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates

### REFA Landesverband Mecklenburg-Vorpommern e.V.

Dipl.-Wirt.-Ing. J. Sender – Mitglied des Vorstandes

### Schiffbautechnische Gesellschaft

Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Leiter der FA Arbeitsorganisation und Fertigungstechnik sowie Mitglied des Technisch Wissenschaftlichen Beirates

## Gutachtertätigkeit

### Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.

Prof. Dr.-Ing. W. Flügge, Prof. Dr.-Ing. habil. K.-M. Henkel, Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Fachgutachter

### Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Fachgutachter für das Förderprogramm „Innovativer Schiffbau sichert wettbewerbsfähige Arbeitsplätze“

### Deutsche Forschungsgemeinschaft

Prof. Dr.-Ing. W. Flügge – Fachgutachter  
Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner – Fachgutachter

## Normungsarbeiten

### Deutsches Institut für Normung e.V.

Prof. Dr.-Ing. R. Glienke – Mitglied des Beirates NA 092  
DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

### DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren

Dr.-Ing. N. Fuchs – Mitglied – NA 092-00-23 AA: Arbeitsausschuss Mechanisches Fügen (DVS V 10.8)

Dr.-Ing. N. Glück – Mitglied – NA 092-00-28-01: Prozesskette Klebtechnik

Dr.-Ing. N. Glück – Mitglied – NA 092-00-28-02: Kleben von Faserverbundkunststoffen

# VERÖFFENTLICHUNGEN

## Dissertationen

Ehrich, K.: **Entwicklung eines Faser-Kunststoff-Verbund-Werkstoffs als Auflager für ein LGN-Tanksystem.** Rostock: Universität Rostock 2017

Geist, M.: **Fläschenhafte Formabweichungen bei der Anwendung terrestrischer Laserscanner.** München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften 2017

Glück, N.: **Beitrag zur Gestaltung von druck- und wechselfesten Krafteinleitungselementen für stranggelegte Faserverbundtragwerke.** Rostock: Universität Rostock 2017

## Abschlussberichte

Blunk, C.: Glienke, R.; Flügge, W.: **Bemessungskonzept für tragende Blindnietverbindungen im Stahl- und Maschinenbau.** In: EFB-Forschungsbericht Nr. 472. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. 2018

Denkert, C.; Flügge, W.: **Aus-**

**nutzung planmäßig vorspannbarer**

**Verbindungselemente für dünne Klemmbereiche unter montagegerechten Bedingungen.** In: EFB-Forschungsbericht Nr. 483. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. 2018

Flügge, W.; Fuchs, N.; Glück, N.; Staschko, R.; Schornstein, B.: **Erhöhung der Fügepunktsteifigkeit durch Z-Pins beim mechanischen Fügen von FVK-Metall-Hybridstrukturen.** Hannover: Druckteam GmbH 2018

Knaack, L.; Geist, M.; Gierschner, F.; Treichel, G.; Meister, M.: **IMoScan - Regelgeometriebasiertes Ist-Modell für den Innenraum von Megayachten.** Hannover: Technische Informationsbibliothek 2017

Nehls, T.; Fuchs, N.: **Vergleich und Analyse verschiedener Verfahren zur Herstellung qualitätsge-rechter Blindnietmutterverbindungen.** In: EFB-Forschungsbericht Nr. 460. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. 2017

Schwarz, M.; Wegener, F.; Glienke, R.; Flügge, W.: **Steigerung der Tragfähigkeit in exzentrisch beanspruchten Verbindungen durch den Einsatz von Schließringbolzensystemen.** In: EFB-Forschungsbericht Nr. 480. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. 2018

Stranghöner, N.; Afzali, N.; Jungbluth, D.; Abraham, C.; Veljkovic, M.; Bijlaard, F.; Gresnigt, N.; de Vries, P.; Kolstein, H.; Nijgh, M.; Schedin, E.; Pilhagen, J.; Jakobsen, E.; Söderman, A.; Glienke, R.; Ebert, A.; Baddoo, N.; Chen, A.; Hradil, P.; Talja, A.; Rantala, J.; Auerkari, P.; Säynäjäkangas, J.; Manninen, T.; Rudolf, A.; Berger, S.; Cook, M.; Taylor, M.; Huckshold, M.: **Execution and reliability of slip resistant connections for steel structures using CS and SS, RFCS Research project SIROCO.** In: Final Report European Commission 2018

## Beiträge in Tagungs- und Sammelbänden

Beuß, F.; Jagusch, K.; Sender, J.: **Flexibel adaptierbares,**

**intelligentes Arbeitsplatzsystem für große Bauteile** In: Anwendungsorientierte Beiträge zum Industriellen Management. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH 2017, S. 61-72

Beuß, F.; Jagusch, K.; Sender, J.: **Nutzerzentriertes, adaptierbares Arbeitsplatzsystem für die manuelle Montage von großen Bauteilen.** In: Frühjahrskongress 2017. Dortmund: GfA Press 2017, S. 1-6

Brätz, O.; Henkel, K.-M.: **Qualifizierung des Unterwasserbolzenschweißens für M16/M24.** In: DVS-Berichte Band 338 Unterwassertechnik. Dortmund: DVS Media GmbH 2017, S. 25-31

Brätz, O.; Henkel, K.-M.: **Wirtschaftlicheres Fertigen von Offshore-Gründungsstrukturen durch streckenenergieneutrales UP-Schweißen mit Kalt-drahtzufuhr** In: DVS-Berichte Band 337 Unterwassertechnik. Dortmund: DVS Media GmbH 2017, S. 1-7

Denkert, C.; Schwarz, M.; Glienke, R.; Henkel, K.:

**Verschraubungen im Schienenfahrzeugbau.** In: 15. Internationale Schienenfahrzeugtagung, Dresden. Hamburg: DVV Media Group GmbH 2017, S. 1-21

Eggert, M.; Jagusch, K.; Sender, J.: **Verwendung von 3D-Daten auf mobilen Assistenzsystemen im Bereich Betrieb und Wartung von Offshore-Windenergieanlagen.** In: Go-3D 2017 „Mit 3D Richtung Maritim 4.0“. Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2017, S. 101-110

Fischer, A.; Sender, J.; Roisch, D.; Flügge, W.: **Capturing As-Built Building Progress Data for Efficient Control of Outfitting Processes in Shipbuilding.** In: 17th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries COMPIT'18. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg Schriftenreihe Schiffbau 2018, S. 322-330

Fröck, L.; Glück, N.: **Fügen im Schiffbau - kleben statt schweißen.** In: Kunststoffe erfolgreich kleben. Wiesbaden: Springer Vieweg 2017, S. 395-406

Fröck, L.; Glück, N.; Flügge, W.; Kordy, H.; Bußkamp, P.: **Nachbearbeitungsfreies Halterkleben auf Schiff- und Stahlbaubeschichtungen.** In: Tagungsband zum 18. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. DEHEMA. Köln: 2018, S. 36-38

Gericke, A.; Glienke, R.; Henkel, K.-M.; Wegener, F.; Ripsch, B.: **Alternative thermische Fügekonzepte zur Reduktion der Kerbwirkung bei stahlbaulichen Anwendungen.** In: DVS-Berichte Band 337 Unterwassertechnik. Dortmund: DVS Media GmbH 2017, S. 16-21

Gericke, A.; Glienke, R.: **MSG-Lötverbindungen - Untersuchungen zur Tragfähigkeit und zum Ermüdungsverhalten.** In: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau. Berlin: Ernst&Sohn 2017, S. 13-19

Harmel, A.; Zych, A.: **Sensor-Based Robot Programming for Automated Manufacturing of High Orthogonal Volume Structures.** In: Tagungsband des 3. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter.

Wiesbaden: Springer Vieweg 2018, S. 93-101

Hauer, M.; Banaschik, R.; Henkel, K.-M.: **Influence of Spray Pattern on Residual Stresses and Coating Properties of Arc-Sprayed Aluminum Bronzes Sprayed with Different Gas Mixtures.** In: ITSC 2018—Proceedings of the International Thermal Spray Conference. Orlando: ASM International 2018, S. 736-743

Hauer, M.; Henkel, K.-M.: **Improvements of Coating Properties and Residual Stress States in Arc Sprayed Aluminium Bronze Coatings by Using an Alternative Gas Mixture.** In: Proceedings of the International Thermal Spray Conference, ITSC 2017; Düsseldorf, Germany; June 7 – 9, 2017; DVS-Berichte Volume 336. Dortmund: DVS Media GmbH 2017, S. 114-120

Herholz, H.; Dryba, S.; Gründler, M.; Wanner, M.-C.: **Development of a flexible special kinematics for the fully mechanized production of tubular nodes for offshore foundation struc-**

**tures.** In: Tagungsband des 2. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter. Berlin: Springer 2017, S. 1-3

Irmer, M.; Glück, N.: **Offshore-WEA - Untersuchungen zu Transport- und Montage-schäden an Beschichtungssystemen.** In: Tagungsband zur 17. Tagung „Korrosionsschutz in der maritimen Technik“. Hamburg: DNV GL SE 2018, S. 59-76

Knaack, L.; Geist, M.; Gierschner, F.; Niemeyer, F.: **Automatische Ableitung von Prüfmerkmalen aus 3D-Laserscannerpunktwolken im Stahlkörperbau.** In: Luhmann, T.; Schumacher, C.: Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Berlin: VDE Verlag 2018, S. 235-247

Meißner, J.; Schmatz, F.; Beuß, F.; Sender, J.; Flügge, W.: **Smart Human-Robot-Collaboration in Mechanical Joining Processes.** In: Procedia Manufacturing. Amsterdam: Elsevier B.V. 2018, S. 264-270

Nowak, K.; Fuchs, N.; Glienke, R.: **Prüfverfahren zur praxisgerechten Ausle-**

gung von Korrosionsschutzsystemen für hochfeste mechanische Fügeverbindungen. In: DVS-Bericht Band 337. Düsseldorf: DVS Media GmbH 2017, S. 446-453

Schmidt, S.; Flügge, W.; Glück, N.: **Tragfähigkeits-erhöhung von geklebten FKV- und Multi-Material-Verbindungen durch optimierte Gestaltung und Fertigung der FKV-Füge-teilwerkstoffe (OptiBond-FKV)**. In: Tagungsband zum 18. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. DECHEMA. Köln 2018, S. 33-35

Schwarz, M.; Wegener, F.; Glienke, R.; Flügge, W.: **Steigerung der Tragfähigkeit in exzentrisch beanspruchten Verbindungen durch den Einsatz von Schließringbolzensystemen**. In: Gemeinsame Forschung in der Mechanischen Fügetechnik. Band 45. Dresden: Druckteam GmbH 2017, S. 77-89

Sender, J.; Illgen, B.: **Strategisch-taktische Planung und Gestaltung von Produktionsnetzwerken für**

die schiffbauliche Fertigung mithilfe der Materialflussimulation. In: Simulation in Produktion und Logistik 2017. Kassel: Kassel university press 2017, S. 373-382

Staschko, R.; Fuchs, N.; Schornstein, B.; Glück, N.; Flügge, W.: **Anforderungen an Schraubenverbindungen beim Einsatz von FKV-Werkstoffen**. In: Gemeinsame Forschung in der Mechanischen Fügetechnik. Band 45. Dresden: Druckteam GmbH 2017, S. 147-155

Urban, B.; Geist, M.; Knaack, L.: **IMOSCAN – Regelgeometriebasiertes IST-Modell für den Innenausbau von Megayachten**. In: Statustagung Maritime Technologien - Tagungsband der Statustagung 2017. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH 2017, S. 127-140

## Zeitschriftenaufsätze

Backens, S.; Schmidt, S.; Glück, N.: **Heißpressen komplexer und endkonturhafter 3-D-Bauteile**. In: lightweight.design. Band 1. Wiesbaden: Springer View

2018, S. 52-57

Banaschik, R.: **Fenton chemistry promoted by sub-microsecond pulsed corona plasmas for organic micropollutant degradation in water**. In: Elsevier Electrochimica Acta. Band 245. Amsterdam: Elsevier 2017, S. 539-548

Banaschik, R.; Brätz, O.; Henkel, K.-M.: **Systematic Expansion of the Microstructural Characterization of Ferritic Weld Metals**. In: Practical Metallography / Praktische Metallographie. Band 54(10). München: Carl Hanser Verlag 2017, S. 669-684

Denkert, C.: **Technologiebezeichnung: 1.1 Verschrauben**. In: VDMA-Leitfaden Technologien im Hybridleichtbau. 25. Technologiesteckbriefe zu Fertigungs- und Fügeverfahren. Frankfurt am Main: VDMA-Arbeitsgemeinschaft Hybride Leichtbau Technologien 2018, S. 5-6

Denkert, C.; Schwarz, M.; Glienke, R.; Henkel, K.-M.: **Vorgespannte Schraubverbindungen mit Blindnietmuttern im**

Schienenfahrzeugbau. In: KONSTRUKTION. Januar/Februar 1/2-2017. Berlin: Springer Verlag 2017, S. 75-82

Drisga, I.; Glück, N.: **Schwingfestigkeits- und Klimawechselprüfung von Rotorblattkomponenten**. In: lightweight.design. Band 3. Wiesbaden: Springer View 2018, S. 52-56

Drisga, I.; Glück, N.: **Thermo-mechanische Wechselprüfung großer geklebter Anbauteile**. In: Adhäsion. Band 4. Wiesbaden: Springer View 2018, S. 14-17

Ebert, A.; Dörre, M.; Glienke, R.: **Behaviour of lockbolts in slip-resistant connections for steel structures**. In: Steel Konstruktion. Band 9. Berlin: Ernst&Sohn 2017, S. 295-309

Eggert, M.; Sender, J.; Jagusch, K.: **Verwendung von 3D-Daten auf mobilen Assistenzsystemen im Bereich Betrieb und Wartung**. In: Schiff&Hafen. Band 5. Dortmund: DVS Media GmbH 2017, S. 32-36

Fröck, L.: **Kleben im Schiff-**

bau. In: Schiff + Hafen. Band 2. Hamburg: DVV Media Group 2017, S. 28-29

Fröck, L.: **Kleben statt schweißen**. In: adhäsion. Band 6. Wiesbaden. Springer Verlag 2017, S. 46-53

Fuchs, N.; Staschko, R.; Schornstein, B.; Glück, N.: **Fertigungstechnische Grundlagen zum Einsatz von Z-Pins beim Verschrauben von FVK-Bauteilen**. In: lightweight.design. band 3. Wiesbaden: Springer Verlag 2017, S. 36-40

Glienke, R.; Ebert, A.; Denkert, C.; Henkel, K.-M.: **Erhöhung der Tragfähigkeit von GV-Verbindungen durch den Einsatz von Klebstoff**. In: Stahlbau 86. Band 9. Berlin: Ernst&Sohn 2017, S. 811-830

Glienke, R.; Ebert, A.: **Optimization of the test procedure for slip factor tests according to EN 1090-2**. In: Steel Konstruktion. Band 10. Berlin: Ernst&Sohn 2017, S. 267-281

Harmel, A.: **Präzise Schweißarbeiter**. In: Schiffbau Industrie. Band 2.

Hamburg: Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. 2017, S. 18-21

Hauer, M.; Henkel, K.-M.: **Alternative Gas Mixtures in Arc Spraying: A Chance to Improve Coating Properties and Residual Stress States**. In: Journal of Thermal Spray Technology. Band 1-2. Berlin: Springer Verlag 2018, S. 106-118

Hauer, M.; Henkel, K.-M.: **Study of Traverse Speed Effects on Residual Stress State and Cavitation Erosion Behavior of Arc-Sprayed Aluminum Bronze Coatings**. In: Journal of Thermal Spray Technology. Vol. 26, 1-2. Heidelberg: Springer Verlag 2017, S. 217-228

Hauer, M.; Banaschik, R.; Henkel, K.-M.: **Qualifizierung der Laserlinientriangulation zur optischen Inline-Schichtdickenmessung an plasmagespritzten Keramik- und Metall-Schichten**. In: Thermal Spray Bulletin. Band 69. Düsseldorf: DVS Media GmbH 2017, S. 112-116

Herholz, H.; Gründler, M.;

Dryba, S.: **Offshore-Windkraftanlagen**. In: Schiffbau, Industrie. Band 1. Hamburg: VERBAND FÜR SCHIFFBAU UND MEERESTECHNIK e.V. 2017, S. 56-71

Irmer, M.; Glück, N.: **A note on the distribution of stationary contact angles on organic coatings**. In: International Journal of Adhesion&Adhesives. Band 75. Amsterdam: Elsevier 2017, S. 1-5

Irmer, M.; Glück, N.: **Investigation Into the Performance of a Dual-Layer Thin-Film Organic Coating During Accelerated Low-Temperature Offshore Testing**. In: Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Band 139. New York: The American Society of Mechanical Engineers - ASME 2017, S. 041402-1-9

Irmer, M.; Glück, N.: **Effects of accelerated low-temperature ageing on the performance of polymeric coating systems on offshore steel structures**. In: Cold Regions Science and Technology. Band 140. Amsterdam: Elsevier 2017, S. 39-53

Schmidt, S.; Glück, N.; Flügge, W.: **Strukturelles Kleben von duroplastischen, glasfaserverstärkten**

Jagusch, K.; Sender, J.; Beuß, F.; Flügge, W.: **Intelligente Montageassistenten**. In: ZWF. Band 6, München: Carl Hanser Verlag 2017, S. 369 – 372

Jahns, H.; Pons, J.; Thiele, K.; Flügge, W.; Höfemann, M.; Schmale, H.: **Zum Tragverhalten von Leichtbau-Flächentragwerken aus gekanteten, dünnwandigen Blechen**. In: Stahlbau 86. Band 7. Berlin: Ernst&Sohn 2018, S. 681-686

Meister, M.; Gierschner, F.; Geist, M.; Knaack, L.: **Regelgeometriebasiertes Ist-Modell für den Innenausbau von Megayachten**. In: avn. allgemeine vermessungsnachrichten. 03/17. Ort: Wichmann 2017, S. 43-50

Nowak, K.; Fuchs, N.: **Untersuchungskonzept zur praxisnahen Abschätzung des Korrosionsverhaltens von Schließringbolzenverbindungen**. In: Materials Testing. Band 59. München: Carl Hanser Verlag 2017, S. 859-868

Schmidt, S.; Glück, N.; Flügge, W.: **Strukturelles Kleben von duroplastischen, glasfaserverstärkten**

ten Kunststoffen mit optimierten Füge- teilwerkstoffen. In: Joining Plastics. Band 2, Dortmund: DVS Media GmbH 2018, S. 94-101

Schorstein, B.; Flügge, W.; Glück, N.: Unterwasserkleben Ein neues Einsatzgebiet für die Klebtechnik. In: Schiff&Hafen. Band 3. Dortmund: DVS Media GmbH 2018, S. 34-37

Schwarz, M.; Glienke, R.; Wegener, F.; Bye, C.; Städler, H.: Bemessung von Verbindungen mit Schließbolzen im Maschinenbau - Teil 1. Schließbolzentechnologie und -tragverhalten. In: KONSTRUKTION. Oktober 10-2017. Düsseldorf: Springer Verlag 2017, S. 84-90

Schwarz, M.; Glienke, R.; Wegener, F.; Bye, C.; Städler, H.: Bemessung von Verbindungen mit Schließbolzen im Maschinenbau - Teil 2. Rechenschritte in Anlehnung an VDI 2230. In: KONSTRUKTION. November 11-2017. Düsseldorf: Springer Verlag 2017, S. 83-89

Sender, J.; Illgen, B.; Wanner,

M.: Simulationsbasiertes Assistenzsystem. In: ProductivITy. Band 1. Berlin: GITO 2017, S. 34-36

Staschko, R.; Fuchs, N.: Simulation of self-piercing riveting processes in fibre reinforced polymers: material modelling and parameter identification. In: Journal of Material Processing Technology. Band 241. Amsterdam: Elsevier 2017, S. 164-177

Stranghöner, N.; Afzali, N.; de Vries, P.; Glienke, R.; Ebert, A.: Optimization of the test procedure for slip factor tests according to EN 1090-2. In: Steel Construction 10 No. 4, Berlin: Ernst&Sohn 2017, S. 267-281

Wanner, M.-C.; Dryba, S.; Meißner, J.; Wurst, O.: Hochpräzises Bearbeiten von Schiffspropellern. In: wt Werkstattstechnik online. Band 3. Düsseldorf: Springer VDI-Verlag 2017, S. 182-188

## Vorträge

Banaschik, R.; Henkel, K.-M.: Aktueller Stand zum Elektrogasschweißen für Steig-

und Rundnähte. 10. Rostocker Schweißtage. Rostock 2017

Beuß, F.: Future Workplaces - Gesundes Arbeiten in der maritimen Wirtschaft. Hanse Kongress zum 38.

Internationaler Hansetag 2018. Rostock 2018

Beuß, F.: Rückenschmerzen auf Arbeit? - Mein Arbeitsplatz denkt mit!. Rostock's Eleven. Rostock 2018

Brätz, O.: Qualifizierung des Unterwasserbolzenschweißens für M16/M24. 6. Tagung Unterwassertechnik 2017. Hamburg 2017

Brätz, O.: Wirtschaftliches Fertigen von Offshore-Gründungsstrukturen durch streckenenergieunterstütztes UP-Schweißen mit Kaltdrahtzufuhr. DVS Congress 2017. Düsseldorf 2017  
Brätz, O.; Henkel, K.: IIW Doc II-A-349-18. IIW Intermediate Meeting C II-A. Genova 2018

Brätz, O.; Henkel, K.-M.: IIW Doc II-2097-18. 71st IIW Annual Assembly & International Conference 2018. Dusa Nua 2018

Brätz, O.; Henkel, K.-M.: Halbnasses Lichtbogenbolzenschweißen großer Dimensionen mit Hubzündung im Unterwasserbereich. DVS Congress 2018. Friedrichshafen 2018

Denkert, C.; Glienke, R.: Experimental studies in relaxation and embedding of final-coated components with preloaded bolted joints. 5th EUROPEAN CONFERENCE JOIN-TRANS 2018. Halle/Saale 2018

Eggert, M.: Assistenzsysteme für die Wartung von Offshore-Windparks. 2. Wirtschaftsforum Regiopol Region Rostock. Rostock 2017

Eggert, M.: Durchgängige Digitalisierung von Betrieb und Wartung von Offshore-Windparks. Zukunftskonferenz Wind & Maritim 2017. Rostock 2017

Eggert, M.; Jagusch, K.; Sender, J.: Verwendung von 3D-Daten auf mobilen Assistenzsystemen im Bereich Betrieb und Wartung von Offshore-Windenergieanlagen. Go-3D 2017 „Mit 3D Richtung Maritim 4.0“.

Rostock 2017  
Fischer, A.; Sender, J.: Capturing As-Built Building Progress Data for Efficient Control of Outfitting Processes in Shipbuilding. 17th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries. Pavone 2018

Fuchs, N.; Staschko, R.; Henkel, K.-M.: Umformtechnisches Fügen von FKV-Hybridstrukturen im Automobilbau - aktuelle Herausforderungen. VDI Wissensforum. Fügetechnik im Fahrzeugbau. Ingolstadt 2017

Fröck, L.; Glück, N.; Flügge, W.; Kordy, H.; Bußkamp, P.: Nachbearbeitungsfreies Halterkleben auf Schiff- und Stahlbaubeschichtungen. 18. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. Köln 2018

Geist, M.: IMOSCAN – Regelgeometriebasiertes Ist-Modell für den Innenausbau von Megayachten. PtJ Statustagung. Berlin 2017

Gericke, A.; Glienke, R.; Ripsch, B.; Henkel, K.-M.;

Wegener, F.: Alternative thermische Fügekonzepte zur Reduktion der Kerbwirkung bei stahlbaulichen Anwendungen. DVS Congress und Große Schweißtechnische Tagung. Düsseldorf 2017

Gericke, A.; Glienke, R.; Ripsch, B.; Henkel, K.-M.: Improvement of Fatigue Strength of Welded Details through Blast Cleaning – Effects, Results and Quality Assurance. 71st IIV Annual Assembly & International Conference 2018. Dusa Nua 2018

Gericke, A.; Henkel, K.-M.: Investigation on material transfer and melting losses of solid and flux-cord wires in submerged arc welding through high speed imaging of the cavern. 70th Annual Assembly and International Conference of the International Institute of Welding; Commission XIII; Working Group 2. Shanghai 2017

Gericke, A.; Glienke, R.; Henkel, K.-M.; Wegener, F.: Reduction of the notch effect of non-loaded attachments on steel struc-

tures through arc brazing. 70th Annual Assembly and International Conference of the International Institute of Welding; Commission XIII; Working Group 2. Shanghai 2017

Gericke, A.; Henkel, K.-M.: What did we learn about the SAW cavern?. 70th Annual Assembly and International Conference of the International Institute of Welding; Commission XIII; Working Group 2. Shanghai 2017

Glienke, R.; Gericke, A.; Wegener, F.; Dörre, M.; Ebert, A.: Entwicklung von Türmen für WEA mit großen Nabenhöhen mit Blick auf die Fügetechnik. 7. Zukunftskonferenz Wind & Maritim. Rostock 2017

Glück, N.; Weiss, N.: Entwicklung, Qualifizierung und Anwendung von neuen Klebstoffen in der Windindustrie. 8. Zukunftskonferenz Wind & Maritim. Rostock 2018

Gründler, M.; Dryba, S.; Herholz, H.; Wanner, M.-C.: Application of small robots for welding of large tubular nodes for jacket struc-

tures. Blueweek 2017 - Autumn Session. Den Helder 2017

Gründler, M.; Dryba, S.; Wanner, M.-C.: Robotik und Digitalisierung - Kompetenzzentrum MV. Zweite Expertenrunde Robotik. Rostock 2017

Harmel, A.: Sensor Based Robot Programming. 3. Fachkolloquium der WG MHI. Erlangen 2018

Hauer, M.; Banaschick, R.; Henkel, K.: Influence of Spray Pattern on Residual Stresses and Coating Properties of Arc-Sprayed Aluminum Bronzes Sprayed with Different Gas Mixtures. ITSC 2018. Orlando 2018

Hauer, M.; Henkel, K.-M.: Improvements of Coating Properties and Residual Stress States in Arc Sprayed Aluminium Bronze Coatings by Using an Alternative Gas Mixture. International Thermal Spray Conference ITSC 2017. Düsseldorf 2017

Herholz, H.; Dryba, S.; Gründler, M.; Wanner, M.-C.;

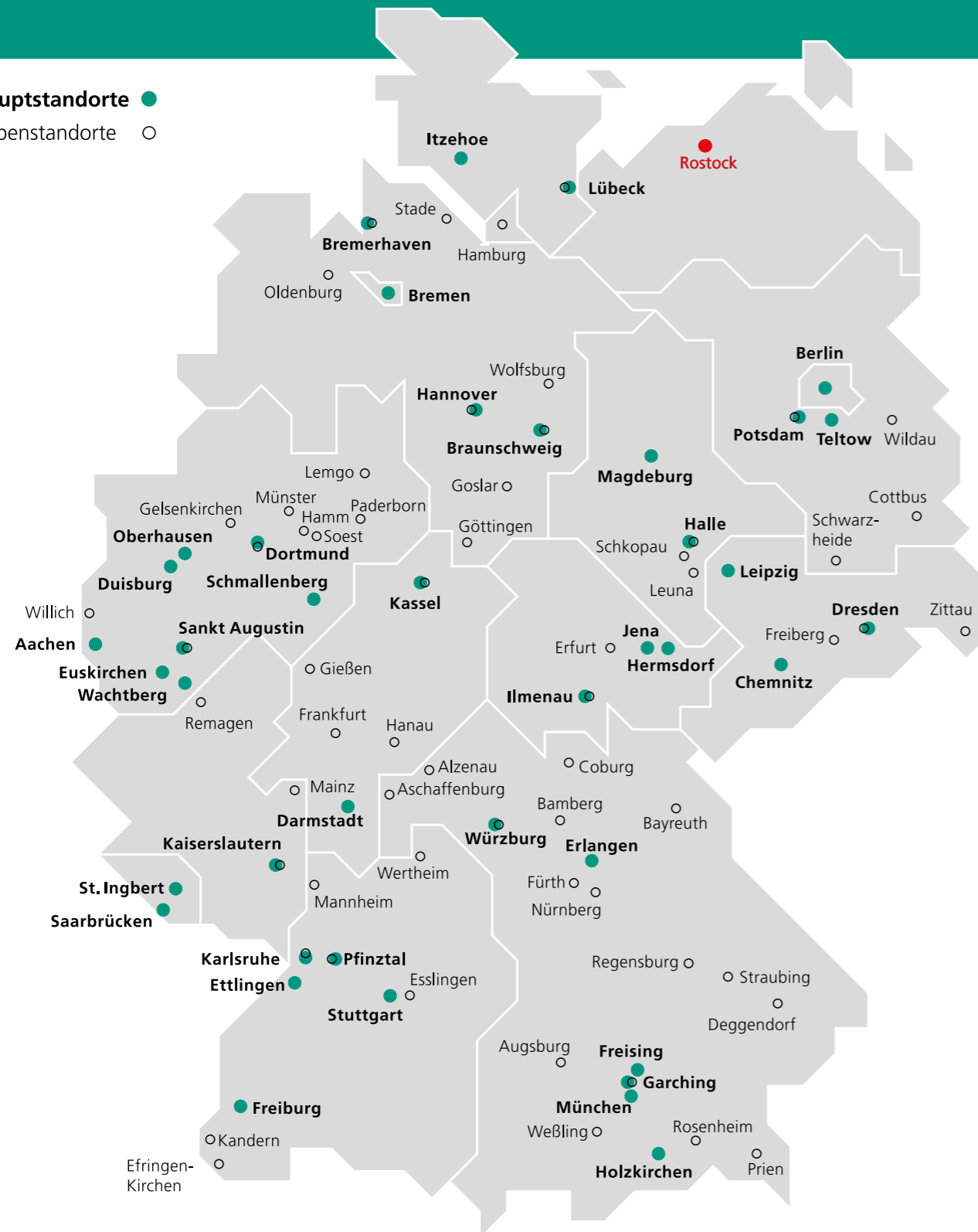
# VERÖFFENTLICHUNGEN

- Entwicklung einer flexiblen Sonderkinematik zur vollmechanisierten Herstellung von Rohrknotenverbindungen für Offshore-Gründungsstrukturen. 2. MHI Fachkolloquium. Hamburg 2017
- Illgen, B.: **Strategisch-taktische Planung und Gestaltung von Produktionsnetzwerken für die schiffbauliche Fertigung mithilfe der Materialflusssimulation.** ASIM 2017. Simulation in Produktion und Logistik. Kassel 2017
- Illgen, B.; Sender, J.; Flügge, W.: **Digital Design of Shipbuilding Networks.** 12th CIRP International Conference on INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING. Ischia 2018
- Irmer, M.: **Transport- und Montageschäden an Offshore-Beschichtungssystemen: Schadensmechanismen und Laborversuche.** Zukunftskonferenz: Wind & Maritim 2017. Rostock 2017
- Irmer, M.: **Untersuchungen zur Abrasions- und Schlag-**
- beständigkeit von organischen Oberflächenschutzsystemen.** ZVO-Oberflächentage 2017. Rostock 2017
- Irmer, M.: **Untersuchungen zur Beanspruchung von mehrschichtigen organischen Schutzsystemen durch Abrasion und Schlag.** Werkstoffwoche 2017. Dresden 2017
- Irmer, M.; Glück, N.: **Offshore-WEA - Untersuchungen zu Transport- und Montageschäden an Beschichtungssystemen.** 17. Tagung „Korrosionsschutz in der maritimen Technik“. Hamburg 2018
- Jagusch, K.: **Industrie 4.0.** Wirtschaft 2025 - Herausforderungen und Chancen der nächsten Jahre. Hasenwinkel 2018
- Jagusch, K.; Sender, J.; Beuß, F.: **Nutzerzentriertes, adaptierbares Arbeitsplatzsystem für die manuelle Montage von großen Bauteilen.** Frühjahrskongress 2017 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.. Brugg-Windisch 2017
- Kalich, J.; Füssel, U.; Ebert, A.; Glienke, R.; Flügge, W.: **Qualifizierung des Scherschneidens zur Ausführung von Löchern in Stahlkonstruktionen.** 7. Füge-technisches Gemeinschaftskolloquium 2017. Dresden 2017
- Knaack, L.: **Astronomische Uhr trifft auf moderne Mess- und Auswertetechnik.** Jahresmitgliederversammlung Greifswalder Sternwarte e.V. 2017. Greifswald 2017
- Kneifel, P.; Blunk, C.: **Numerische Simulation zum Verfahrensablauf und Tragverhalten von Blindnietverbindungen.** Workshop: Numerische Simulation in der mechanischen Füge-technik. Dresden 2017
- Meißner, J.: **Digitale Prozesskette in der Praxis.** Effizienz gestalten - digital! Wirtschaft 4.0 in der Unternehmenspraxis. Lüneburg 2017
- Meißner, J.: **Industrie 4.0 im Maschinenbau.** Thementag des Wissenschaftsverbundes IuK - „Industrie 4.0 - die digitale Vernetzung der Pro-
- duktion“. Rostock 2018
- Meißner, J.; Schmatz, F.; Beuß, F.; Sender, J.; Flügge, W.: **Smart Human-Robot-Collaboration in Mechanical Joining Processes.** SysInt - 4th International Conference on System-Integrated Intelligence - 19./20.06.2018. Hannover 2018
- Nehls, T.: **Kleine Stanzelemente, große Wirkung – Füge-technisches Neuland im Flugzeugbau.** Rostock's Eleven. Rostock 2017
- Niemeyer, F.: **Automatische Ableitung von Prüfmerkmalen aus 3D-Laserscannerpunkt-wolken im Stahlkörperbau.** In: Luhmann, T.; Schuhmacher, C.: Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Berlin: VDE Verlag 2018, S. 235-247
- Niemeyer, F.: **Inspection of Underwater Structures using Underwater Laserscanner.** BlueWeek 2017 - Autumn Session. Rostock 2017
- Niemeyer, F.; Geist, M.; Gründer, M.: **Hochgenaue**
- industrielle Vermessung von Oberflächen.** 2. WIRTSCHAFTSFORUM REGIOPOL-REGION, Technologien, Innovationen & Forschungspartner für die Wirtschaft. Rostock 2017
- Nowak, K.: **Prüfverfahren zur praxisgerechten Auslegung von Korrosionsschutzsystemen für hochfeste mechanische Fügeverbindungen.** Große Schweißtechnische Tagung. Düsseldorf 2017
- Nowak, K.: **Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der Korrosions-schutzbeständigkeit von mechanischen Fügeverbindungen.** Korrosionsforum 2018. Schorndorf 2018
- Schmidt, S.: **Tragfähigkeits-erhöhung von geklebten FKV- und Multi-Material-Verbindungen durch optimierte Gestaltung und Fertigung der FKV-Füge-teilwerkstoffe (OptiBond-FKV).** 18. Kolloquium: Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. Köln 2018
- Schmidt, S.; Flügge, W.; Glück, N.: **Tragfähigkeitserhöhung von geklebten**
- FKV- und Multi-Material-Verbindungen durch optimierte Gestaltung und Fertigung der FKV-Füge-teilwerkstoffe (OptiBond-FKV).** 18. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. Köln 2018
- Schwarz, M.; Wegener, F.; Flügge, W.: **Steigerung der Tragfähigkeit in exzentrisch beanspruchten Verbindungen durch den Einsatz von Schließringbolzensystemen.** 7. Füge-technisches Gemeinschaftskolloquium 2017. Dresden 2017
- Sender, J.; Wanner, M.-C.: **Industry 4.0 – applied and future solutions for shipyard's production.** MECON 2017. Rostock 2017
- Staschko, R.; Fuchs, N.: **Application of Fiber Reinforced Materials in Mobility Sector.** CFK-VALLEY STADE Convention. Stade 2017
- Wanner, M.-C.; Dryba, S.: **Hochpräziser Schwerlastknickarmroboter.** 6. VDI-Fachtagung „Industrielle Robotik“. Rostock 2017

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Hauptstandorte ●

Nebenstandorte ○



## Forschen für die Praxis!

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 25.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 % dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen. Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

## ZAHLEN | DATEN | FAKTEN

72	Institute und Forschungseinrichtungen
25 327	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
2,3 Mrd. Euro	Forschungsvolumen



1 Mitarbeiter der Personalabteilung:  
Melanie Gragert und Claudia Bäcker

## Organisation



### Institutsleiter | Lehrstuhl Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge  
Telefon +49 381 49682-20  
wilko.fluegge@igp.fraunhofer.de



### Stellvertretung Institutsleiter | Lehrstuhl Fügetechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel  
Telefon +49 381 49682-30  
knuth.henkel@igp.fraunhofer.de



### Institutsassistentz | Öffentlichkeitsarbeit

Dipl.-Ing. Sabine Wegener  
Telefon +49 381 49682-13  
sabine.wegener@igp.fraunhofer.de



### Sekretariat

Dipl.-Ing. Gabriele Ehmke  
Telefon +49 381 49682-11  
gabirele.ehmke@igp.fraunhofer.de



### Verwaltungs- und IT-Leitung

Dipl.-Wirt.-Inf. Marcus Baier  
Telefon +49 381 49682-57  
marcus.baier@igp.fraunhofer.de



### Teamleiter Technische Dienste

Dipl.-Ing. Kay Müller  
Telefon +49 381 49682-60  
kay.mueller@igp.fraunhofer.de

## Arbeitsgruppen

### Umformtechnisches Fügen und Formgeben

Dr.-Ing. Normen Fuchs  
Telefon +49 381 49682-36  
normen.fuchs@igp.fraunhofer.de



### Mechanische Verbindungstechnik

Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Blunk  
Telefon +49 381 49682-34  
christoph.blunk@igp.fraunhofer.de



### Klebtechnik, Faserverbundtechnik und Korrosionsschutz

Dr.-Ing. Nikolai Glück  
Telefon +49 381 49682-39  
nikolai.glueck@igp.fraunhofer.de



### Schweißtechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel  
Telefon +49 381 49682-30  
knuth.henkel@igp.fraunhofer.de



### Automatisierungstechnik

Dipl.-Ing. Steffen Dryba  
Telefon +49 381 49682-12  
steffen.dryba@igp.fraunhofer.de



### Messen von Großstrukturen

Dr.-Ing. Michael Geist  
Telefon +49 381 49682-48  
michael.geist@igp.fraunhofer.de



### Untermehmens- und Produktionsorganisation

Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Sender  
Telefon +49 381 49682-55  
jan.sender@igp.fraunhofer.de



## Branchen

### Schiffbau

Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Sender  
Telefon +49 381 49682-55  
jan.sender@igp.fraunhofer.de



### Flugzeugbau

Dr.-Ing. Normen Fuchs  
Telefon +49 381 49682-36  
normen.fuchs@igp.fraunhofer.de



### Metallleicht- und Stahlbau

Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Blunk  
Telefon +49 381 49682-34  
christoph.blunk@igp.fraunhofer.de



### Maschinenbau

Dipl.-Ing. Steffen Dryba  
Telefon +49 381 49682-12  
steffen.dryba@igp.fraunhofer.de



### Windenergieanlagen

Dr.-Ing. Nikolai Glück  
Telefon +49 381 49682-39  
nikolai.glueck@igp.fraunhofer.de



### Schienen- und Fahrzeugbau

Dipl.-Ing. Christian Denkert  
Telefon +49 381 49682-64  
christian.denkert@igp.fraunhofer.de





# QUELLEN

Bild: Fraunhofer IGP  
ausgenommen:

Seite 1, Titelbild; Seite 6; Seite 8; Seite 9; Seite 17; Seite 18;  
Seite 20, Bild 1; Seite 23, Bild 2; Seite 25, Bild 2; Seite 28;  
Seite 29, Bild 2; Seite 30, Bild 1; Seite 35, Bild 2; Seite 37, Bild  
2; Seite 38; Seite 46; Seite 56; Seite 58, Bild 1; Seite 64; Seite  
74; Seite 84; Seite 84, Bild 1; Seite 90; Seite 108, Bild 1; Seite  
109; Seite 110; Seite 111: Peter-Paul Reinmuth

Seite 10, Bild 3: Blechexpo 2018

Seite 11, Bild 3: Messe Berlin GmbH. ILA

Seite 12, Bild 3; Seite 13; Seite 63, Bild 2: Alex Muchnik/  
EVENTFOTOGRAPH.in

Seite 15, Bild 1,2: Architekturgemeinschaft Fehr GmbH

Seite 19, Bild 1; Seite 57, Bild 1; Seite 60, Bild 1,2; Seite 65,  
Bild 1; Seite 75, Bild 1; Seite 89, Bild 1: Sunshinemonkey  
Videoproduktion/Gianna Schellenberg

Seite 26, Bild 1: Audi AG: Audi R8 - Audi Space Frame in Mul-  
timaterialbauweise; Bild-Nr: A155329; 8. Jul. 2015.

Seite 34, Bild 1: ARCONIC FASTENING SYSTEMS AND RINGS  
Ltd.

Seite 42, Bild 2: aus Momber, A.; Plagemann, P.; Stenzel, V.;  
Schneider, M.: Beurteilung von Korrosionsschutzsystemen  
für Offshore-Windenergietürme - Teil 1. Problemstellung und  
Versuchsdurchführung. In: Stahlbau 78 (4). Berlin: Ernst&Sohn  
2009. S. 259–266

Seite 70, Bild 1: Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG

Seite 70, Bild 2: Ehm, M. & Hesse, C. (2012): Entwicklung  
eines kinematischen Laserscansystems für Anwendungen  
im Schiffbau. Tagungsband der Go-3D-Konferenz 2012 in  
Rostock, S.33

# IMPRESSUM



**Jahresbericht 2017/2018**  
**Leistungen und Ergebnisse des Fraunhofer IGP**

## Herausgeber

Fraunhofer-Einrichtung für  
Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP  
Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge  
Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel

Albert-Einstein-Straße 30  
18059 Rostock

Telefon +49 381 49682-20  
Fax +49 381 49682-12

info @igp.fraunhofer.de  
www.igp.fraunhofer.de

## Redaktion

M.A. Verena Schulz, Dipl.-Ing. Sabine Wegener

## Layout und Produktion

M.A. Verena Schulz

## Druck

Druckerei WEIDNER GmbH

## Gleichstellung und Gender

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir teilweise  
in unseren Formulierungen auf die gleichzeitige Verwen-  
dung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet.  
Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen  
Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung  
als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

## Berichtszeitraum

1. Juli 2017 bis 31. Juli 2018

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der  
Redaktion.



Jahresbericht 2017/2018

**Titelbild:** Willkommen am  
Fraunhofer IGP