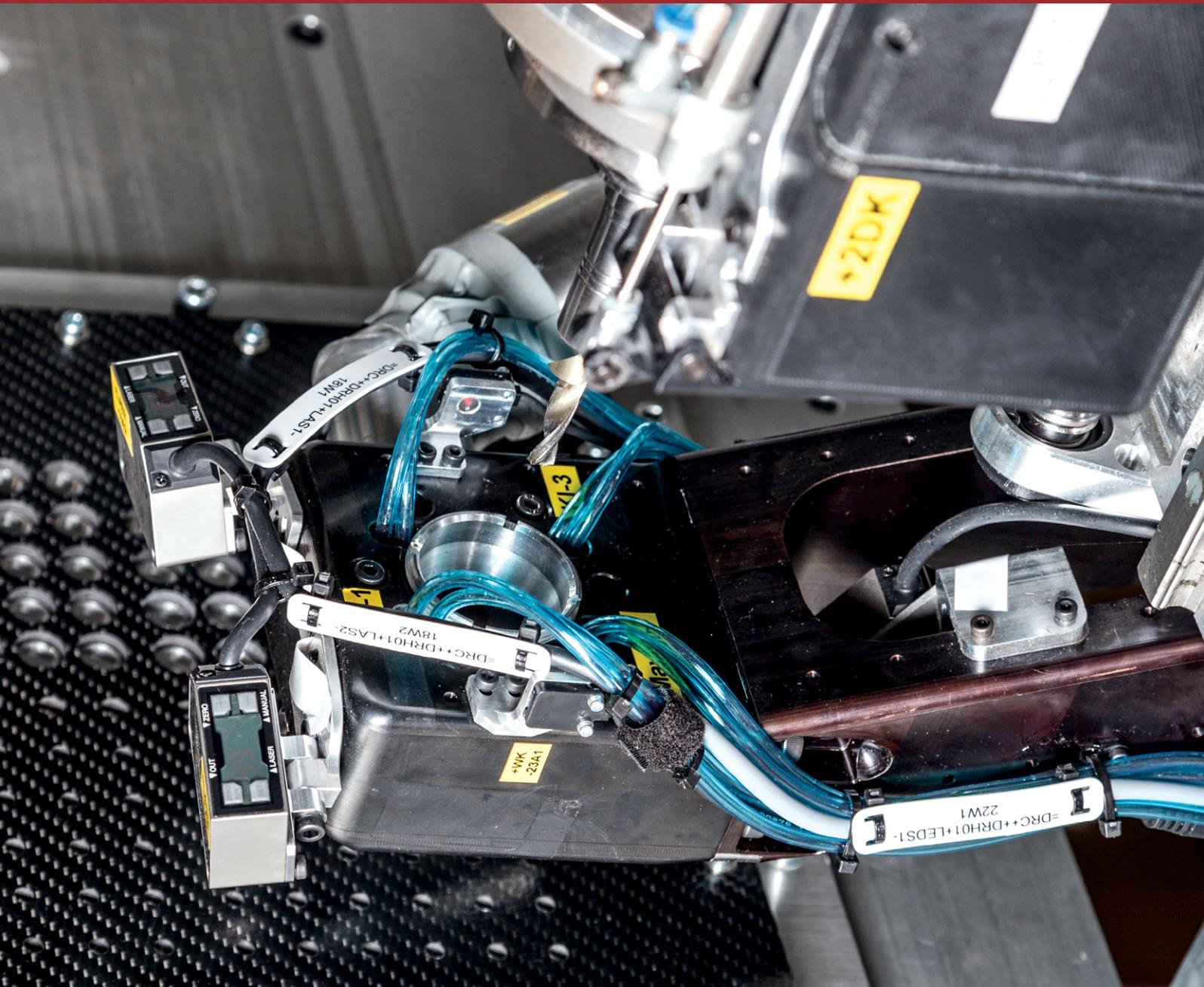


# LEICHTBAUTECHNOLOGIEN



# LEICHTBAU FÜR DEN LEICHTBAU



Leichtbau ist eine Schlüsseltechnologie, um den Herausforderungen der Energie- und Materialeffizienz zu begegnen und zugleich die Leistungsfähigkeit und Produktivität von Maschinen und Anlagen zu erhöhen. Konstruktionen mit möglichst geringer Masse zu ermöglichen, Gewichte einzelner Bauteile maximal zu reduzieren und dabei beispielsweise Transportmittel effizienter und schneller zu gestalten sind typische Ziele.

Der Leichtbau kann überdies sich widersprechende Anforderungen erfüllen: hohe Stabilität trotz geringem Materialeinsatz durch möglichst leichte aber auch stabile und sichere Bauteile, Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bei Automobilen und dennoch höhere Fahrzeugsicherheit. Das Ziel des Leichtbaus liegt also nicht nur in einzelnen Faktoren wie der Gewichtsreduzierung, sondern im Gesamtoptimum – technologisch, ökonomisch und ökologisch.

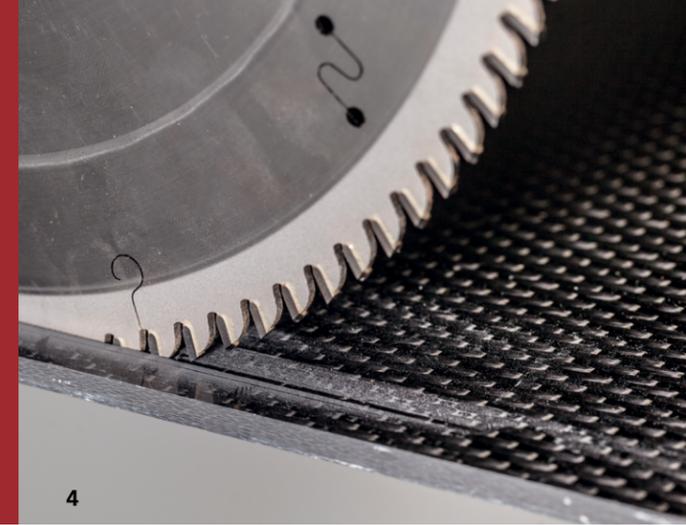
In der Automobilbranche bietet Leichtbau ein sehr großes Potenzial zur Minimierung von CO<sub>2</sub> sowie zur Verbrauchsoptimierung. Dort – wie auch im Flugzeugbau – wird er intensiv eingesetzt. Ziel ist es stets, die Leistungsfähigkeit, Reichweite oder Produktivität zu steigern und dies mit der Einsparung von Rohstoffen, Kosten und Energie zu vereinen. Vor allem bei bewegten Objekten – vom Flugzeug über das Automobil bis hin zum Schlitten einer Werkzeugmaschine – steht die Steigerung der Beschleunigung und Geschwindigkeit oder die Einsparung von Energie bei gleicher Performance im Vordergrund. Leichtbau spielt nicht nur in diesen Branchen eine zentrale Rolle, sondern wird immer stärker bei Konsum- und Gebrauchsgütern berücksichtigt. Herstell- und Transport-, aber auch die Entsorgungskosten können minimiert und die Rohstoffverknappung im globalen Markt eingedämmt werden.

## Lösungsansatz Fraunhofer IPA

Um die Vielfalt der Leichtbautechnologien für die Industrie nutzbar zu machen, stehen diverse Ansätze zur Verfügung. Durch innovative Bauweisen entstehen leichte Produkte. Hierfür werden leichte und hochfeste Werkstoffe unter genauer Bestimmung des Belastungsfalls eingesetzt. Unsere Abteilung »Leichtbautechnologien« beschäftigt sich in einem interdisziplinären Team mit der Entwicklung konstruktiver Lösungen als Formleichtbau. Es werden hohe Steifigkeiten und hohe Festigkeiten mit geringstem Stoffeinsatz erreicht, indem wir eine optimale Kräfteverteilung und Formgebung, z. B. mittels Topologieoptimierung bestimmen. Zum anderen werden im Stoffleichtbau spezifisch schwere Werkstoffe durch leichtere oder festere ersetzt, die wir den Kunden- und Funktionsanforderungen exakt anpassen. Somit ermöglichen wir unseren Kunden die Energie für den Anlagenbetrieb zu verringern und die Emission zu senken oder auch die Leistung ihrer Maschinen und Anlagen erheblich zu steigern.

Neben den konstruktiven Themen beforschen wir auch den spannenden Produktionsprozess. Da sich die Bearbeitung von Leichtbauwerkstoffen erheblich von der konventionellen Metallbearbeitung unterscheidet, treiben wir Innovationen und Anpassungen der Bearbeitungstechnologien und der Bearbeitungsprozesse voran. Wir ermöglichen Ihnen geeignete Lösungen für eine wirtschaftliche spanende Fertigung. Mit unserem Know-how – von der Schneide über die Maschine zur Absaugung hin zur Sicherheit – bieten wir unseren Kunden ein einzigartiges Prozessverständnis. Der Nutzen liegt in einer ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung, um nicht nur Teilaspekte zu verbessern, sondern auch Rückwirkungen auf andere Systemeigenschaften zu erfassen und letztendlich die Wirtschaftlichkeit der Trennprozesse zu erhöhen.





## UNSER LEISTUNGSANGEBOT

Durch den Einsatz von Leichtbaukonzepten und Leichtbauwerkstoffen wie CFK ermöglichen wir unseren Kunden die Leistungsfähigkeit zu steigern und die Energie für den Anlagenbetrieb zu verringern. Daneben unterstützen wir die Umsetzung von individuellen Leichtbaumaßnahmen und die Einführung neuer Werkstoffe zur Steigerung der technologischen Eigenschaften von Maschinen und Anlagen.

### Zerspanungstechnologien

Trotz endkonturnaher Fertigung müssen an fast allen Bauteilen aus Leichtbauwerkstoffen Pass- und Klebeflächen, Bohrungen sowie eine Vielzahl anderer geometrischer Elemente angebracht werden. Hierzu entwickeln wir leistungsstarke Bearbeitungstechnologien und -prozesse.

#### Leistungen

- Auslegung hochproduktiver Zerspanprozesse für Leichtbauwerkstoffe
- Entwicklung von Zerspanwerkzeugen und Beschichtungen zum Bohren, Fräsen und Sägen
- Nasszerspanung von FVK inkl. Analyse der chemischen Verträglichkeit, Lackierbarkeit und Klebefähigkeit
- Präzise Roboterzerspanung und hybride Bearbeitung mit Schwingungsüberlagerung
- Untersuchung der Bearbeitungsqualität und des Werkzeugverschleißes

#### Vorteile

- Erhöhung der Produktivität durch optimierte Zerspanprozesse
- Steigerung der Bearbeitungsqualität und der Prozesssicherheit
- Senkung der Werkzeugkosten
- Senkung der Prozesszeiten und der Maschinenbelegung

### Simulation der spanenden Bearbeitung

Leichtbauwerkstoffe unterscheiden sich im Bezug auf die Zerspanung wesentlich von homogenen Metallen. Wir entwickeln spezielle Simulationsverfahren, um die werkstoffspezifischen Eigenschaften in Modellen abzubilden.

#### Leistungen

- Hochauflösende Simulation von Zerspanprozessen
- Analyse des Einflusses von Schneidengeometrien und Prozessparametern
- Analyse der Eigenspannungen und Prozesstemperaturen
- Simulations- und Modellvalidierung mittels realer Zerspanversuche
- Erstellung von Materialmodellen für die Simulation
- Ermittlung und Analyse des Werkzeugverschleißes

#### Vorteile

- Senkung der Entwicklungszeiten und -kosten neuer Werkzeuge
- Einsparung von Werkzeug- und Materialkosten
- Systematische Steigerung des Prozessverständnisses
- Schnelle Anpassung von Werkzeuggeometrien an neue Werkstoffe

### Gesundheitsschutz und Absaugtechnologien

Bei der Zerspanung von Verbundwerkstoffen entstehen Späne, Stäube und Fasern. Wir sichern die Produktionsprozesse unserer Kunden, um die Maschinenbediener zu schützen und die Maschinen und Anlagen betriebssicher und verschleißarm zu betreiben. Dazu entwickeln wir angepasste Absaugtechnologien und -konzepte.

#### Leistungen

- Analyse des Zerspanprozesses und Spanguts
- Optimierung und Auswahl geeigneter Werkzeuge und Prozessparameter für einen absauggerechten Späneauswurf
- FEM-Simulation der Luftströmungen und des Partikelflugs
- Konzeption und Entwicklung hocheffizienter Absaughauben und ganzheitlicher Erfassungssysteme
- Messung der Staubkonzentrationen personenbezogen und stationär im Maschinenumfeld
- Nachweis der Maschinenverträglichkeit gegenüber abrasiven und leitfähigen Stäube

#### Vorteile

- Gesteigerte Prozesssicherheit und Produktivität
- Verringerung der benötigten Absaugleistung bei gesteigertem Späne-Erfassungsgrad
- Reduzierter Energieverbrauch, geringere Investitionskosten
- Minimierung manueller Reinigungsarbeiten
- Nachweis zur Einhaltung gesetzlicher Staubgrenzwerte

### Sägetechnologien

Sägen ist ein maßgebliches Verfahren, das in der Fertigung von Bauteilen fast immer am Beginn der Wertschöpfungskette steht. Wir entwickeln und optimieren Sägemaschinen, Sägeblätter und den Zerspanungsprozess, um für unsere Kunden eine hohe Wirtschaftlichkeit in diesem Grundverfahren zu erreichen.

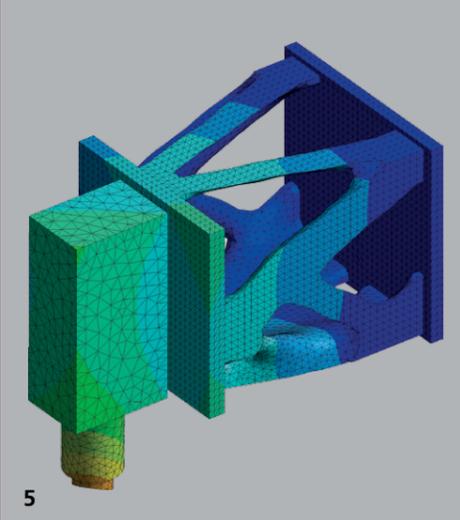
#### Leistungen

- Auswahl und Entwicklung von Werkzeugen für unterschiedlichste Anwendungsfälle
- Optimierung von Maschinenkomponenten wie Absaugung oder Flansch
- Einsatz und Entwicklung von ultraschallüberlagerten Kreissägeprozessen
- Weiterentwicklung des Herstellprozesses von Kreissägewerkzeugen

#### Vorteile

- Optimierung von Standzeit, Schnittqualität, Zeitspanvolumen
- Nutzung des Potenzials der Ultraschalltechnik beim Kreissägen
- Einsatz von neuen Werkstoffen für Schneide und Stamblatt
- Optimierung der Fügeverfahren zur Reduktion der Herstellungskosten

- 1 Fräsen von Carbon
- 2 Rauheitsmessung von Carbon
- 3 Adaptive Späneerfassung
- 4 Kreissägen von CFK



5



6

### Konstruktiver Leichtbau und rechnerische Optimierung

Konstruktiver Leichtbau ist der Schlüssel zu Leistungssteigerung sowie Energie- und Ressourceneffizienz. Wir unterstützen unsere Kunden in der Einführung moderner Leichtbauwerkstoffe, in der Konstruktion und Berechnung von topologieoptimierten Strukturen, Faserverbünden und anderen Leichtbauwerkstoffen.

#### Leistungen

- Konzepterstellung für Maschinen/-komponenten aus Leichtbauwerkstoffen
- Methodisches Entwickeln und Konstruieren innovativer Maschinensysteme
- Konstruktion mit innovativen Werkstoffen oder Multi-Material-Verbunden
- Ergonomieoptimierte Lösungen für Fertigung, Montage und Automatisierung
- FEM-Berechnungen zur Strukturmechanik und -dynamik, Thermik und Akustik von Geräten, Maschinen und Anlagen
- Strukturberechnungen von faserverstärkten Kunststoffen
- Parametrische Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Topologie- und Strukturoptimierungen

#### Vorteile

- Gewichtsreduzierung und höhere Materialeffizienz
- Verringerung des Energiebedarfs
- Kürzere Taktzeiten und höhere Produktivität durch Steigerung der Dynamik
- Einstellbare Wärmeausdehnung
- Verbesserte Handhabung durch optimierte Ergonomie
- Verkürzung der Entwicklungszeiten durch konstruktionsbegleitende, rechnergestützte Analyse
- Aufdeckung und Nutzung von Optimierungs- und Leichtbaupotenzialen

### Verbindungstechnik

Verbindungstechniken bieten ein erhebliches Potenzial, bisherige Prozessketten wirtschaftlicher zu gestalten und einen Mehrwert in Produkten umzusetzen. Insbesondere Leichtbauwerkstoffe benötigen abgestimmte Verbindungsverfahren, die wir anwendungsbezogen für unsere Kunden entwickeln.

#### Leistungen

- Kundenspezifische Auswahl anforderungsgerechter Fügetechnologien
- Unterstützung in Konstruktion und Auslegung von Fügestellen
- Potenzialanalyse hinsichtlich wirtschaftlicher und technischer Aspekte
- Entwicklung innovativer Fügetechnologien in den Bereichen Prozess- und Anlagentechnik
- Charakterisierung, Prüfung und Bewertung von Fügeverbindungen
- Entwicklung von Verfahren zum Defügen und Recycling

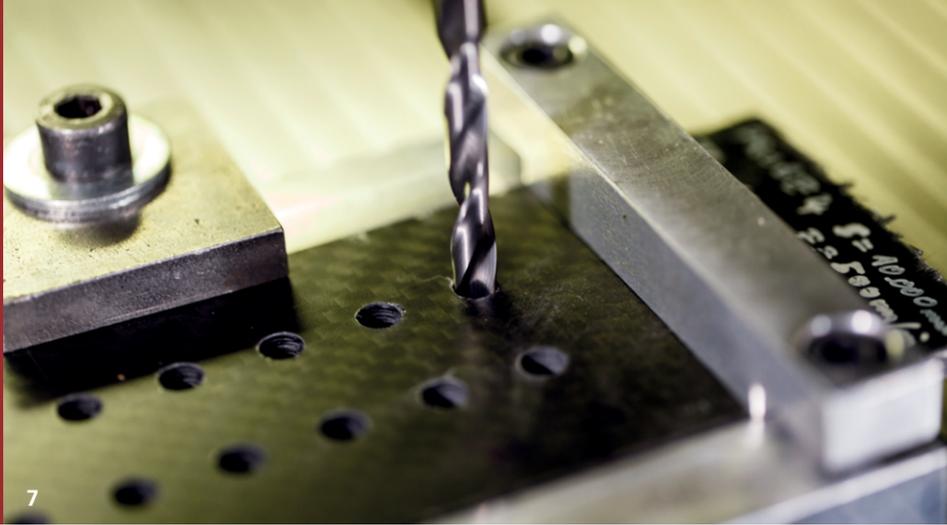
#### Vorteile

- Optimierung von Bauteilstrukturen im Bereich der Füge-stelle hinsichtlich mechanischer und thermischer Effekte
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Produktion aufgrund optimierter Fügestellen
- Reduzierung der Prozesszeiten durch angepasste Verbindungstechniken
- Wiedernutzung von Komponenten durch Defügen von Verbindungsstellen

5 *Topologieoptimierung*

6 *Nasszerspannung von CFK*





7



8

## REFERENZPROJEKTE

### Roboterbasiertes Bohren und Nieten für den Flugzeugbau

#### Aufgabenstellung

Entwicklung und Erprobung einer roboterbasierten, automatisierten Bohr- und Nietenheit für die Bearbeitung und Montage von Flugzeugschalelementen in Multi-Material-Bauweise

#### Leistungen

- Konzeption und Entwicklung eines Leichtbauendeffektors zum Bohren und Nieten
- Qualifizierung von Bohrwerkzeugen und Entwicklung des Bearbeitungsprozesses
- Modellierung und Implementierung von Algorithmen zur Steigerung der Roboterpositioniergenauigkeit
- Entwicklung featurebasierter optischer Methoden zur Referenzierung am Bauteil

#### Nutzen

- Verbesserte Positioniergenauigkeit auch auf gekrümmten Oberflächen
- Implementierung einer durchgehenden Qualitätskontrolle beim Bohren und Nieten
- Standzeiterhöhung der Werkzeuge und Steigerung der Prozesssicherheit beim Bohren

### Ergonomiegerechte Montagehilfsmittel

#### Aufgabenstellung

Entwicklung und Umsetzung leichter, ergonomischer Montagemittel für die Produktion, wie Handschiebwägen, Montagebänke und -sitze

#### Leistungen

- Konzeption, Entwicklung, Berechnung und Umsetzung von ergonomischen Leichtbaustrukturen

- Planung und Umsetzung in kundenspezifischen, kostenoptimierten Werkstoffsystemen wie Blechleichtbau, Faserverbund- und Compositestrukturen

#### Nutzen

- Reduktion der physischen Arbeitsbelastung
- Taktzeitreduktion aufgrund verbesserter Handhabung optimierter Montagehilfsmittel
- Steigerung der zulässigen Nutzlasten durch Massenreduktion an Montagemitteln

### Systemgestaltung von Verpackungsmaschinen

#### Aufgabenstellung

Umgestaltung bisheriger Gestellstrukturen für höhere dynamische Anforderungen unter Berücksichtigung des technischen Designs

#### Leistungen

- Konzeption, Umsetzung und Vermessung von Gestellstrukturen für hochdynamische Verpackungsmaschinen
- Auslegung und Berechnung virtueller Prototypen
- Verifikation durch Modal- und Schwingungsanalysen der umgesetzten Lösungen

#### Nutzen

- Verbesserung der Taktzeit durch gewichtsoptimierte Bauteilstrukturen hochdynamischer Maschinenkomponenten
- Kostenreduktion durch gezielte Modularisierung von Bauteilen bzw. Baugruppen
- Verringerung der Nachgiebigkeit durch optimierte Strukturbauteilauslegung

### Senkung von Produktionskosten bei der spanenden Bearbeitung von faserverstärkten Werkstoffen

#### Aufgabenstellung

Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Senkung der Kosten für Werkzeuge, Maschinenbelegung, Absaugung und manuelle Nacharbeit von Faserverbundbauteilen in der Luftfahrt und im Automobilbau

#### Leistungen

- Analyse der aktuellen Bearbeitungsstrategie
- Auswahl von Werkzeugen und Bearbeitungsstrategien
- Entwicklung von Maßnahmen zur Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit und Senkung der Werkzeugkosten
- Erarbeitung und Implementierung von energiesparenden Absaugsystemen zur Erfassung schädlicher Stäube und Fasern

#### Nutzen

- Reduktion der Kosten und Prozesszeiten für die Endbearbeitung
- Verzicht oder Automation manueller Nachbearbeitungsschritte
- Einsparung einer anschließenden Bauteilreinigung
- Schulung von Mitarbeitern in der Zerspaltung von Faserverbundwerkstoffen

### Steigerung der Späneerfassung bei der Zerspaltung von CFK-Sandwich-Werkstoffen

#### Aufgabenstellung

Entwicklung eines ganzheitlichen Absaugkonzepts für die Zerspaltung von CFK-Sandwich-Werkstoffen auf einem Bearbeitungszentrum zur Vermeidung manueller Reinigungsprozesse und zur Steigerung der Prozesssicherheit

#### Leistungen

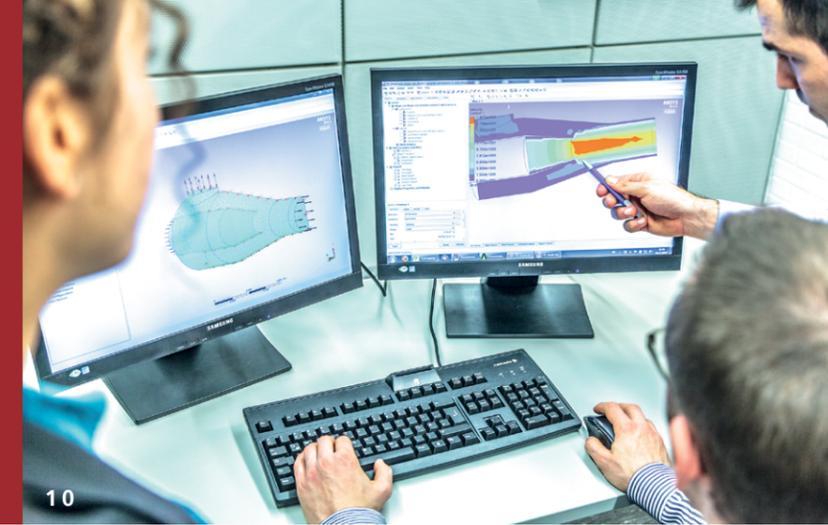
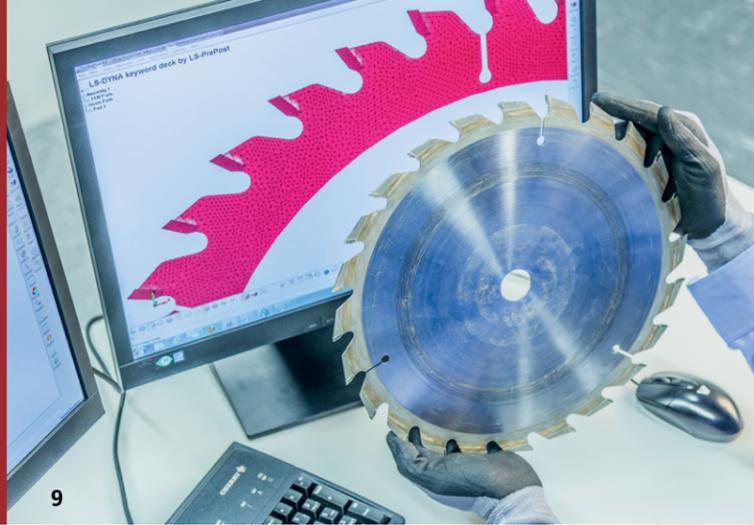
- Bewertung derzeitiger Absaugsysteme hinsichtlich Späneerfassung und Energieverbrauch
- Konzeption und Entwicklung eines ganzheitlichen Absaugsystems
- Optimierung und Auswahl geeigneter Werkzeuge und Prozessparameter für einen absauggerechten Späneauswurf
- Begleitung der Umsetzung und des Aufbaus durch einen Absauganlagen-Hersteller
- Messung der Staubkonzentrationen personenbezogen und stationär im Maschinenumfeld

#### Nutzen

- Steigerung der Späneerfassung auf über 94 Prozent
- Wegfallen manueller Reinigungsarbeiten an den Bauteilen
- Reduktion der Reinigungsintervalle der Bearbeitungsmaschine (von einmal pro Schicht auf einmal pro Woche)

7 Bohren von Stacks

8 Ultraschall-Kreissägen



### Ganzheitliche Optimierung der spanenden Bearbeitung von CFK durch Einsatz von innovativen Kühlschmiermitteln

#### Aufgabenstellung

Potenzialanalyse und ganzheitliche Optimierung der spanenden Nassbearbeitung von CFK

#### Leistungen

- Sensitivitätsanalyse der Bearbeitungsparameter bei der CFK-Bearbeitung mit Einsatz von Überflutungskühlung
- Optimierung und Auswahl geeigneter Werkzeuge und Prozessparameter für die spanende Nassbearbeitung von CFK
- Vergleich mit der Standard-CFK-Trockenbearbeitung hinsichtlich der Bearbeitungsqualität und des Werkzeugverschleißes
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Nasszerspannung von CFK im Vergleich zur Trockenbearbeitung

#### Nutzen

- Deutlich höhere Werkzeugstandzeiten im Vergleich zu den heute verfügbaren Trockenwerkzeugen
- Steigerung der Bearbeitungsqualität im Vergleich zur Trockenbearbeitung, insbesondere weniger Faserausfransungen
- Erhöhung der Sicherheit für Mensch und Maschine durch Vermeidung von Staubemission
- Deutlich bessere Marktposition durch Einsatz innovativer KSS, die auf die CFK-Zerspannung abgestimmt sind
- Volle Entfaltung des KSS-Potenzials durch optimale Prozessparameter für die CFK-Zerspannung

### Bewertung und Optimierung eines Maschinengestells mittels FEM-Analyse

#### Aufgabenstellung

Bewertung und Optimierung des Grundgestells einer Hochleistungskreissäge für die Bearbeitung metallischer Werkstoffe im Hinblick auf das statische und dynamische Verhalten

#### Leistungen

- Aufbau eines Simulationsmodells der Gestellkonstruktion für die FEM-Berechnung
- Durchführung einer statischen Analyse mit Ermittlung von Verformungen und Spannungen
- Ermittlung der Eigenfrequenzen und -formen im Rahmen einer Modalanalyse
- Aufdeckung von Optimierungspotenzialen und Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen

#### Nutzen

- Steigerung der Steifigkeit des Maschinengrundkörpers
- Optimierung des dynamischen Verhaltens im relevanten Frequenzbereich
- Verbessertes Fertigungsprozess und Abschöpfung von Optimierungspotenzialen (Gestell, Produktionsprozess, Montage, Kosten)

## INFRASTRUKTUR

### Spanende Bearbeitungsmaschinen

Die Zerspanung von Leichtbau- und Faserverbundwerkstoffen stellt hohe Anforderungen an die eingesetzten Bearbeitungsmaschinen und periphere Infrastruktur, die sich im Maschinenpark unseres Technikums befindet. Eine Vielzahl an unterschiedlichen Bearbeitungsmaschinen steht hierbei zur Verfügung:

- 5-Achs-Hochgeschwindigkeitsbearbeitungszentrum
- 5-Achs-Bearbeitungszentrum zur hochpräzisen Mikrozerspannung
- Mehrere 3-Achs-Bearbeitungszentren mit Absaugung, geeignet für Trockenzerspannung oder den Einsatz von KSS/MMS
- Maschinen und Anlagen zur Zerspanung mittels Kreissäge-Werkzeugen
- Robotersystem für Bohr- und Nietapplikationen in der Luftfahrt
- Ultraschallunterstützte Zerspanverfahren

### Fügetechnologie

Ergänzend zu den trennenden Verfahren können Fügeoperationen durchgeführt werden. Die erweiterte Anlageninfrastruktur erlaubt neben konventionellen Fügeverfahren auch die Umsetzung innovativer Technologien.

Zu diesen Anlagen zählen:

- Maschinen-, hand- und robotergeführte Effektoren zum Rührreißschweißen faserverstärkter Kunststoffe
- Anlage zum Ultraschallschweißen
- Roboteranlage zum Nieten von Luftfahrtstrukturen

### Kühl- und Schmierkonzepte

Mit dem erweiterten Anwendungsfeld neuer Werkstoffe ergeben sich auch veränderte Anforderungen an die Formulierung und Rezeptur von Schmierstoffkonzepten. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Entwicklung neuer funktionaler Kühlschmierstoffe und bieten hierzu:

- Bearbeitungseinheiten zum Einsatz von KSS
- diverse Applikatoren für den Einsatz von MMS
- Applikatoren für Aerosole auf Basis von Trockenschmierstoffen

### Messmittel und Qualitätserfassung

Eine qualifizierte und zuverlässige Analyse von Fertigungsprozessen oder neuartigen Technologieansätzen bedarf einer umfassenden Mess- und Qualitätstechnik, auf die im Rahmen unserer Forschungsarbeit zurückgegriffen werden kann. Neben modernen Messmitteln ermöglichen auch eigenentwickelte individuelle Apparaturen und Prozesse die präzise kundenspezifische Auswertung und Dokumentation. Dies umfasst:

- Alle gängigen Verfahren der Oberflächen- und Konturanalyse
- Koordinatenmessmaschinen
- Verfahren zur Ermittlung der Qualität bei Faserverbundwerkstoffen
- Geräte und Verfahren zur Ermittlung der Lasten, Kräfte und Temperaturen
- Geräte und Verfahren zur Bestimmung der Staubbelastung
- Geräte zur Untersuchung und Optimierung von Späneauswurf und Späneentsorgung

### Software zur rechnerischen Auslegung und Bauteilberechnung

Die virtuelle Auslegung von Bauteilen unter Last oder im Wirkzusammenspiel mit weiteren Komponenten kann mittels einer Vielzahl an rechnergestützten Simulationssoftwares durchgeführt werden:

- FEM-Simulationsumgebung auf Basis von ANSYS zur Bauteilauslegung und -analyse
- Tools zur Topologie-, Form- und Gestaltoptimierung sowie parametrische Optimierungsverfahren (OptiSLang)
- Tools zur Laminat- und Faserverbundauslegung
- Tools zur Zerspanungssimulation auf Basis von 2D- und 3D-Softwarelösungen

9 Sägeblatt-Simulation

10 Strömungs-Simulation



## ANSPRECHPARTNER

**Dr.-Ing. Marco Schneider**

**Abteilungsleiter Leichtbautechnologien**

Telefon +49 711 970-1535

[marco.schneider@ipa.fraunhofer.de](mailto:marco.schneider@ipa.fraunhofer.de)

## WEITERE ANSPRECHPARTNER

**Andreas Gebhardt**

Bearbeitungstechnologien

Telefon +49 711 970-1538

[andreas.gebhardt@ipa.fraunhofer.de](mailto:andreas.gebhardt@ipa.fraunhofer.de)

**Dr.-Ing. Christoph Birenbaum**

Fertigungssysteme

Telefon +49 711 970-1536

[christoph.birenbaum@ipa.fraunhofer.de](mailto:christoph.birenbaum@ipa.fraunhofer.de)

**Fraunhofer-Institut für**

**Produktionstechnik und Automatisierung IPA**

Holzgartenstraße 17

70174 Stuttgart

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

**Institutsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Scannen Sie diesen  
QR-Code und erfahren Sie  
mehr über die Abteilung  
»Leichtbautechnologien«.

