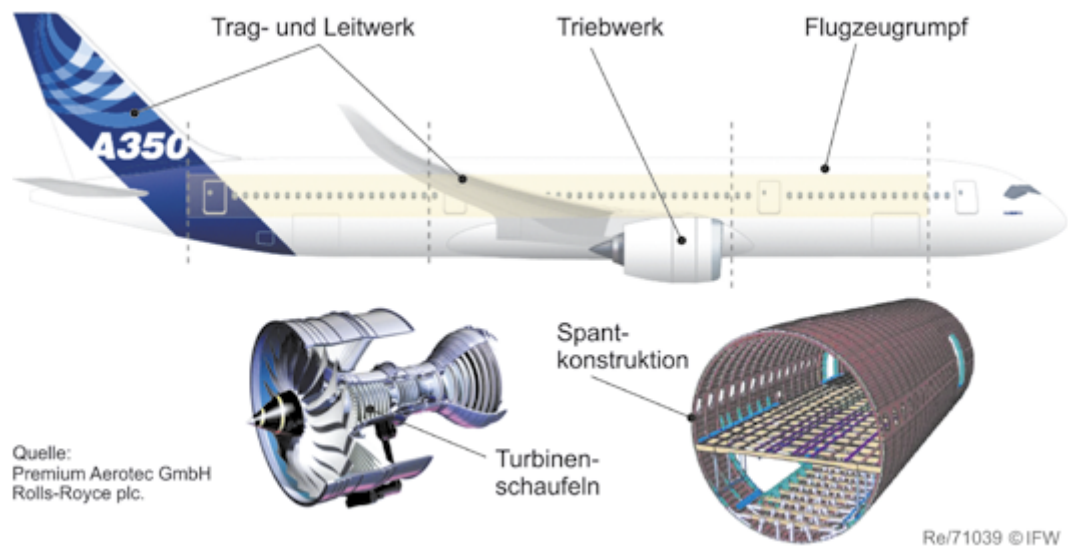


# Worauf es beim Fliegen ankommt

WAS EIN KLEINER SPAN MIT DEN AUFTRAGSBÜCHERN VON AIRBUS ZU TUN HAT

Der Traum vom Fliegen kann heute ziemlich schnell erfüllt werden, schließlich gehört das Reisen per Flugzeug für viele Menschen zum Alltag. Dass das Fliegen aber trotz aller Alltäglichkeit immer noch eine hochkomplexe technische Angelegenheit ist, zeigen zwei Forscher vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover.



Die Luftfahrtindustrie ist ein wichtiger Technologiemoor für den Produktionsstandort Deutschland und befindet sich seit einigen Jahren auf deutlichem Wachstumskurs. Nach einer Prognose des Flugzeugherstellers Airbus wird das Luftfahrtverkehrsaufkommen von derzeit knapp fünf bis ins Jahr 2028 auf über zehn Billionen Personenkilometer ansteigen. Dies entspricht der Entfernung, die ein Flugzeug 500-mal zurücklegen muss, um 100 Passagiere von der Erde bis zur Sonne und zurück zu befördern. Um die hierfür erforderliche Kapazität an Flugzeugen decken zu können, sind aufgrund steigender Energiekosten leichtere und somit sparsamere Flugzeuge erforderlich [BOE10, LEA10].

Bis zum ersten Start eines neuen Flugzeugs vergehen unzählige Entwicklungsstunden von der ersten Konzeptionierung bis hin zur Fertigungsplanung und dem Hochlauf der Serienproduktion. Innerhalb dieser Zeitspanne sind die beteiligten Ingenieure mit immer neuen Fragestellungen konfrontiert. Eine große Herausforderung ist dabei die Herstellung der überwiegend metallischen Komponenten durch Dreh- und Fräsoperationen, um eine wirtschaftliche und zugleich qualitativ hochwertige Bearbeitung der hochkomplexen und sicherheitskritischen Luftfahrtbauteile zu ermöglichen. Hierzu sind Innovationen im Bereich der Werkzeug-, Prozess- und Maschinentechologie von ausschlaggebender Bedeutung.

Eine konsequente Ausnutzung der Performance moderner Werkstoffe ist erforderlich, um größere und zugleich leichtere Flugzeuge herstellen zu können. Im Flugzeugbau von Kurz- und Mittelstreckenmaschinen werden nach wie vor metallische Werkstoffe wie Aluminium und Stahl im Bereich der Passagierkabine, der sogenannten Rumpfstruktur, eingesetzt. Daneben haben in den vergangenen Jahren insbesondere faserverstärkte Kunststoffe (CFK) Eingang in die Luftfahrtindustrie gefunden. Durch den Einsatz hochfester Fasern aus Kohlenstoff in einer Polymermatrix erreichen Bauteile aus CFK exzellente Festigkeiten bei sehr geringer Dichte (spezifische Festigkeit). Aufgrund der guten chemischen und physikalischen Kompatibilität

Abbildung 1  
Die Komponenten eines Flugzeugs.

bilität zu CFK wird bei zukünftigen Flugzeuggenerationen mit einem deutlichen Anstieg des Titananteils zu rechnen sein. Durch die Kombination dieser Werkstoffe können leichte und zugleich hochfeste Strukturen geschaffen werden [BOI10, PRE08].

Der Rumpf eines Flugzeugs sowie große Teile der Tragflächen bestehen aus einem Gerippe, das als Spantkonstruktion (siehe Bild 2) bezeichnet

einen Meter langen Bauteils (Gewicht ca. 8 kg) entstehen vier gut gefüllte Säcke à 120 Liter mit Titanschrott in Form von Spänen.

Obwohl der Werkstoff Titan zu den Leichtmetallen zählt, gehört er gleichzeitig zu den am schwersten zu zerspanenden Metallen. Vorhandene sowie durch die Bearbeitung eingebrachte Verspannungen im Ausgangsmaterial, die sogenannten Eigenspannungen,

net werden kann. Dies ermöglicht es, den Verzug von Titanbauteilen durch die spanende Bearbeitung schon in der Prozessplanungsphase kalkulierbar zu machen. Die Prognose von qualitätsbeeinflussenden Bauteilverzügen ermöglicht dann die Optimierung des Prozesses durch geeignete Gegenmaßnahmen.

Eine geeignete Gegenmaßnahme ist zum Beispiel die Optimierung der Frässtrategie, also

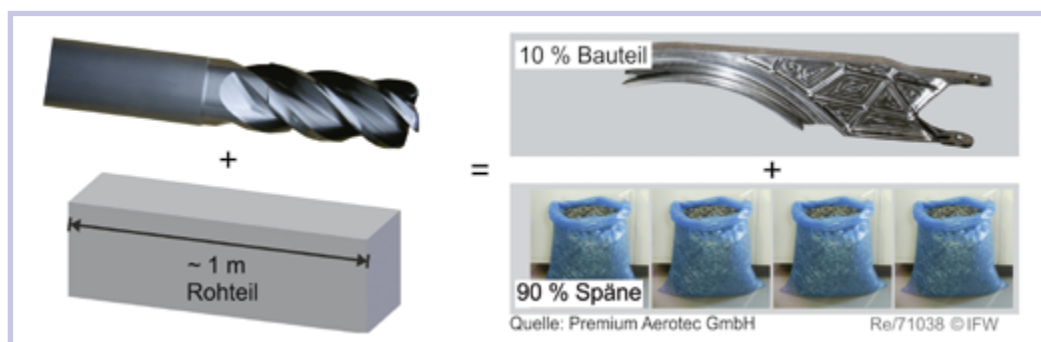


Abbildung 2  
Beispiel für ein Flugzeugbauteil,  
bei dessen Herstellung 90 Prozent  
Späne anfallen.

wird und aus einzelnen Spanten besteht. Diese weisen eine komplexe Geometrie auf und können mehrere Meter lang sein. Die Wandstärke liegt dabei im Millimeterbereich. Als Rohmaterial für die Spantfertigung kommt nach heutigem Stand der Technik überwiegend Vollmaterial in Form von Platten zum Einsatz. Etwa 90 Prozent der Bauteile werden derzeit aus Aluminium-Knetlegierungen hergestellt. Besonders hochbelastete Bauteile werden zu jeweils 5 Prozent aus Titanlegierungen und Stahl gefertigt. Vor allem bei der Volumenzerspannung aus Plattenmaterial ist der Zerspanaufwand mit Zerspanraten über 90 Prozent sehr beachtlich. Dies bedeutet, dass 90 Prozent des eingesetzten Rohteils als Späne abgeführt werden müssen und lediglich 10 Prozent als Bauteil den Weg in das Flugzeug finden. Ein Beispiel ist in Bild 2 anhand eines Führungselementes einer Tragfläche dargestellt. Bei der Fräsbearbeitung dieses etwa

führen zu Gestaltänderungen im laufenden Prozess. In der Fertigung kann es hierdurch zum Verzug des Bauteils in der Größenordnung von mehreren Zentimetern und somit zum Ausschuss kommen. Derzeitige Maßnahmen zur Reduzierung dieser Effekte sehen das Ent- und Wiederspannen in festen Zeitintervallen vor. Die Beherrschbarkeit der Fertigung von Titan-Integralbauteilen ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten des IFW mit dem Ziel, praxistaugliche Lösungen zur verzugsfreien spanenden Fertigung zu gestalten. Hierzu zählt unter anderem die Entwicklung eines adaptiven Spannverfahrens zum Nachführen und Ausgleichen des eigenspannungsbedingten Bauteilverzugs.

Daher wird am IFW ein Modell gebildet, mit dem die Entstehung von prozessinduzierten Bauteileigenspannungen und somit die Entstehung von Verzug und Gestaltabweichung im Fertigungsprozess berech-

der Bewegung des Werkzeugs über das Werkstück. Dieser Weg wird computergestützt von einem CAM-System (Computer Aided Manufacturing) erzeugt. Hieraus resultiert ein Code, der die Werkzeugbewegung beschreibt und an die Werkzeugmaschine übergeben werden kann. Dieser wird als NC-Code (Numerical Control) bezeichnet und im Prozess von der Maschine abgearbeitet. Der Weg des Werkzeugs wird NC-Bahn genannt.

Das IFW entwickelt hierzu eine einsetzbare Methodik zur Vermeidung von Bauteilverzügen anhand einer Modifizierung der NC-Bahn. Die NC-Bahn wird auf die verformte Fläche projiziert. Die Projektion führt zu einer neuen Kurve. Darauf basierend wird automatisiert eine gespiegelte NC-Bahn relativ zur ursprünglichen NC-Bahn erzeugt. Die ursprüngliche NC-Bahn wird anschließend durch die invertierte NC-Bahn im NC-Programm ersetzt.



### Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Jahrgang 1959, leitet seit 2001 das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) am Produktionstechnischen Zentrum der Leibniz Universität Hannover. Nach dem Studium des Maschinenbaus an der Universität Hannover war Denkena ab 1987 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW; 1992 promovierte er dort. Es folgten berufliche Stationen bei Thyssen in Deutschland und den USA sowie bei Gildemeister Drehmaschinen in Bielefeld. Kontakt: [denkena@ifw.uni-hannover.de](mailto:denkena@ifw.uni-hannover.de)



### Dipl.-Ing. Michael Rehe

Jahrgang 1982, ist seit April 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich der Fertigungstechnologien. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Schneidkantengestalt und Prozessauslegung bei der Fräsbearbeitung sowie die Koordination der Tätigkeiten im Bereich der Luft- und Raumfahrt. Kontakt: [rehe@ifw.uni-hannover.de](mailto:rehe@ifw.uni-hannover.de)

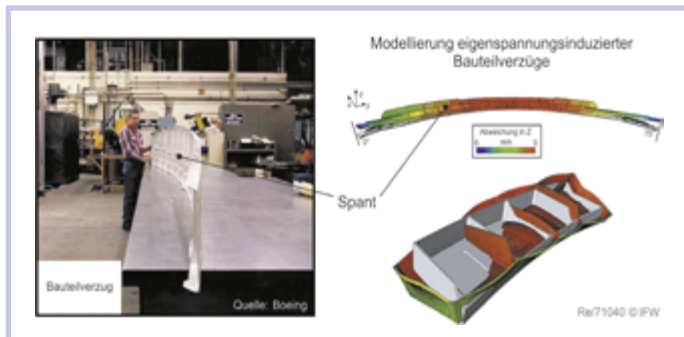


Abbildung 3  
Beispiel für die Modellierung eigenspannungsinduzierter Bauteilverzüge.

Neben der verzugsfreien Herstellung dieser Bauteile muss der steigende Bedarf und der damit verbundene Anstieg der Stückzahlen durch neue Maschinenkonzepte aufgefangen werden. Die hohen Zerspanraten führen bei heutigen Maschinenkonzepten zum Einsatz steifer und leistungsfähiger Werkzeugmaschinen, welche die Größe eines Einfamilienhauses aufweisen können und Investitionen in Millionenhöhe erfordern. Neue endkonturnahe Rohteile er-

möglichen eine deutliche Reduzierung der im Zerspanprozess auftretenden Kräfte und erlauben den Einsatz leistungsreduzierter Maschinen. Demzufolge sind die Anforderungen an das Fertigungssystem wesentlich geringer gegenüber der Volumenzer-spannung. Hierbei ist der im Vergleich zu Werkzeugmaschinen günstigere und zugleich flexiblere Einsatz von Robotersystemen möglich. Das IFW strebt daher die Entwicklung und Optimierung des Gesamtsystems an, um die Genauigkeiten der Industrieroboter auf das geforderte Maß zu erhöhen. Erst die Beherrschung dieser bisher ungeklärten Problematiken im Fertigungsprozess ermöglicht die wirtschaftliche Fertigung von hochkomplexen und sicherheitskritischen Luftfahrtbauteilen, wie sie bei der Herstellung der Passagierkabine zum Einsatz kommen.

Die Rumpfstruktur des Flugzeugs wird mit einer Außenhaut aus dünnen Blechen versehen. Hierzu werden neben Aluminiumlegierungen vermehrt kohlenstoffverstärkte Kunststoffe (CFK) eingesetzt. Um dem steigenden Anteil kohlenstoffverstärkter Kunststoffbauteile (CFK) in der Luftfahrttechnik gerecht zu werden, sind durchgängige Lösungen für eine wirtschaftliche und prozesssichere Fertigung erforderlich, die den Ansprüchen einer seriennahen Teileproduktion dieser Industrie gerecht werden. Für Werkstoffe, Prozesse sowie Prozessketten der CFK-Bauteilherstellung gilt es, den Herausforderungen an zukünftige Strukturen im Hinblick auf hohe Prozessgeschwindigkeiten bei gesteigerter Robustheit und effektiver Leistungsausbeute der Systemkomponenten zu begegnen. Zur Realisie-

rung einer Hochleistungsproduktion von CFK-Strukturen ist zudem eine weitreichende Anlagen- und Prozessautomatisierung erforderlich. Hierbei werden Drapiersysteme und Werkzeugsysteme mit einer hohen Formflexibilität betrachtet, die sowohl Lösungsansätze zur Bewältigung von Toleranzproblemen innerhalb der Fertigung liefern als auch eine hohe Flexibilität in der Formgestaltung erlauben. Prozessintegrierte Qualitätssicherungsmechanismen stützen zudem den hohen Automatisierungsgrad.

Die grundlegenden Forschungsarbeiten sowie die Überführung der Erkenntnisse in die industrielle Praxis sichern Flugzeugherstellern wie Airbus die internationale Wettbewerbsfähigkeit. Dabei hat die spanabhebende Fertigungstechnologie einen wesentlichen Beitrag und ermöglicht somit den Einsatz neu- und weiterentwickelter Hochleistungswerkstoffe, die für zukünftige Flugzeuggenerationen von ausschlaggebender Bedeutung sind.

### Literatur

- [BOE10] Boeings' Long Term Market Forecast, [http://www.boeing.com/commercial/cmo/forecast\\_summary.html](http://www.boeing.com/commercial/cmo/forecast_summary.html), 10.01.2011.
- [BOI10] Boeing 787 Dreamliner Program Fact Sheet, <http://www.boeing.com/-commercial/787family/program-facts.html>, 29.02.2010.
- [LEA10] Leahy, J.: Airbus Global Market Forecast 2010–2029, <http://www.airbus.com/company/market/gmf2010/>, Toulouse, 13.10.2010.
- [PRE08] Pretorius, N.; Homann, P.: Machining of aerospace materials with ultra-hard cutting tool materials. Begleitband Seminar »Neue Fertigungstechnologien in der Luft- und Raumfahrt 200«, Hannover, 19.–20.11.2008, S. 191–203.