



 **bigrep**

Vom Druckbett in den Luftraum

Bauteile für die Luft- und Raumfahrt
aus dem 3D-Druck

Vom Druckbett in den Luftraum

Bauteile für die Luft- und Raumfahrt aus dem 3D-Druck

Die additive Fertigung bietet Unternehmen der Luft- und Raumfahrtbranche maßgeschneiderte, qualifizierte Werkzeuge für die Erforschung des Luftraums und darüber hinaus. Von der bedarfsorientierten Produktion von MRO (Maintenance, Repair, and Overhaul) für die kommerzielle Luftfahrt bis hin zur Stabilisierung von Militärhubschraubern an Bord von Schiffen auf See hat die Branche erkannt, dass die Möglichkeiten der additiven Fertigung überall genutzt werden können.

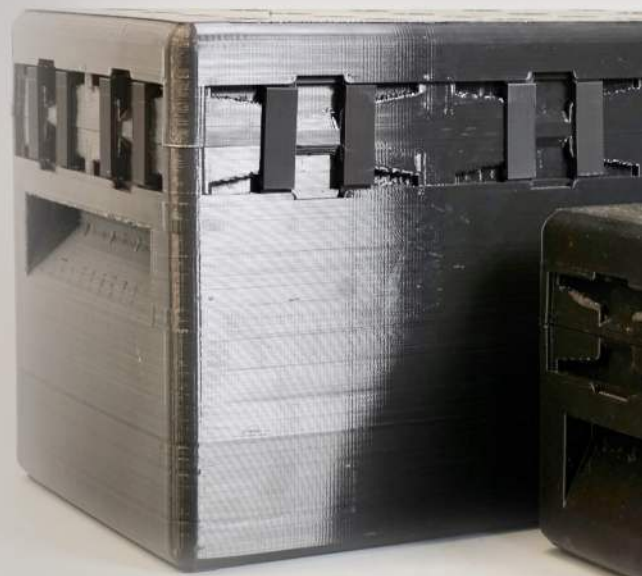
Luftfahrttaugliche Materialien wie hochleistungsfähige Polymere und Verbundwerkstoffe haben die Rolle des 3D-Drucks in der Luftfahrt weiter gestärkt. Sie werden jetzt zur Herstellung von robusten Bauteilen für herkömmliche Metallkomponenten verwendet, die im Vergleich zu ihren Pendanten aus Metall äußerst langlebig und leicht sind. Sie sind resistent gegenüber hohen Temperaturen, Druck, Stößen, Chemikalien und anderen Faktoren und erfüllen damit die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt.

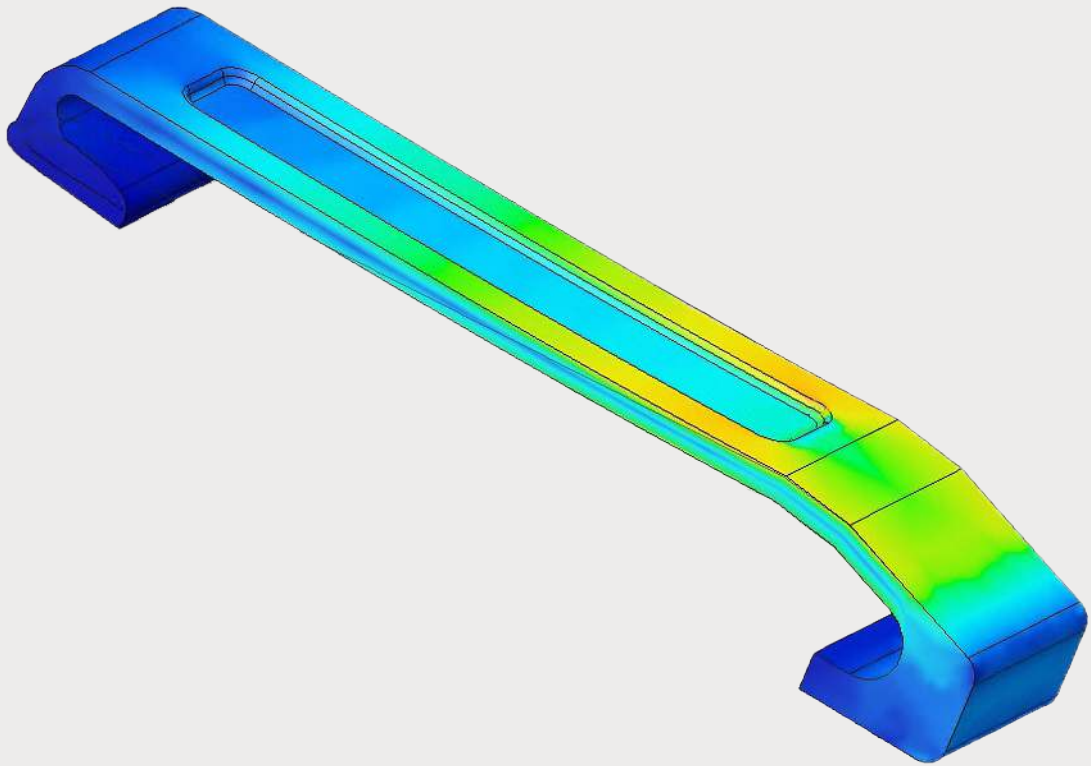
Testing methods include both internal certification of 3D printed parts, processes, and materials, as well as specific certifications developed by OEMs or suppliers, providing tested parameters. Whether it's a 3D printed armrest surviving the rigors of every flight use or a critical component like propellers for UAVs exposed to the environment, every fabricated part goes through a rigorous validation process.

Validierung luftfahrttauglicher Bauteile und MRO

Der Innenraum von Flugzeugen bietet eine breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten für die additive Fertigung. In nahezu jedem Flugzeug finden sich im 3D-Druckverfahren hergestellte Kabinenkomponenten wie Kanäle, Lüftungsöffnungen, Elektrohäuse und TV-Rahmen. Alle Teile werden auf ihre Hitzebeständigkeit und ihre Flamm-, Rauch- und Schadstofffestigkeit („Flame, Smoke, Toxicity“, FST) geprüft. Bei den Tests zur Hitzebeständigkeit wird geprüft, ob das Teil hohen Temperaturen standhalten kann, ohne sich zu verformen, zu schmelzen oder schädliche Gase freizusetzen, und ob es hilft, die Ausbreitung von Flammen einzudämmen und die Menschen an Bord zu schützen.

Darüber hinaus werden Strukturprüfungen an Luft- und Raumfahrtteilen wie Lüftungskanälen, Gepäckfächern und Verkleidungen durchgeführt, um zu prüfen, wie widerstandsfähig sie gegenüber Druckunterschieden, Stößen, Druck, Vibrationen und anderen Belastungen sind. Obwohl Prototypen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Halterungen keine Bauteile für den Endgebrauch sind, werden auch sie getestet, um zu gewährleisten, dass sie den Kräften und Belastungen standhalten, die bei der Montage, Bearbeitung und Handhabung auftreten.





Finite-Elemente-Analyse (FEA) für widerstandsfähige Komponenten in der Luft- und Raumfahrt

Bei der Validierung von 3D-gedruckten Teilen für die Luft- und Raumfahrt wird häufig die Finite-Elemente-Analyse (FEA) eingesetzt, eine Simulationsmethode, die es Ingenieuren ermöglicht, die strukturelle Integrität, Leistung und Zuverlässigkeit des Teils unter verschiedenen Betriebsbedingungen vorherzusagen und zu optimieren.

Im Unterschied zu traditionell hergestellten Metallteilen sind 3D-gedruckte Teile nicht isotrop. Deshalb sind physikalische Strukturtests in Verbindung mit FEA notwendig, um Teile zu fertigen, die den zu erwartenden Belastungen standhalten und trotzdem nur einen Bruchteil ihrer metallenen Pendanten wiegen. Ingenieure können den potenziellen Mangel an struktureller Festigkeit ausgleichen, indem sie die Füllung anpassen, sodass die Belastungspunkte einen höheren Anteil an Füllung haben als der Rest des Teils. Sowohl simulierte als auch praktische Tests liefern wertvolle Daten, um Konstruktionsentscheidungen zu überprüfen und Prototypen und Bauteile für den Endgebrauch zu optimieren.

Der ultimative Test ist jedoch die Umsetzung in die Praxis. Wir haben 3 Anwendungsfälle zusammengestellt, mit denen die Vielseitigkeit von additiver Fertigung in der Luft- und Raumfahrt veranschaulicht wird, indem wir die Lücke zwischen den sorgfältigen Prüfprotokollen für die 3D-gedruckten Teile und ihrer Verwendung schließen.



SFM zertifiziert die Leistung von 3D-gedruckten Hubschrauberhalterungen

Leonardo, ein wichtiger Anbieter in der Luft- und Raumfahrt und im Verteidigungsbereich, der mit der Lieferung von Militärhubschraubern für die Royal Navy betraut ist, hatte Probleme mit seinen bestehenden Rotorblatthalterungen. Sie wandten sich an die Abteilung AeroAdditive von SFM Technology und stellten die erste 3D-gedruckte Hauptrotorblatthalterung mit den Maßen 900 x 230 x 160 mm vor. Die nachbearbeiteten Halterungen sind jetzt wetter- und seewasserbeständig und übertreffen die mit herkömmlichen Methoden hergestellten Metallteile.

Wenn Hubschrauber an Bord eines Schiffes gehen, stehen sie vor der Herausforderung, auf dem Flugdeck oder im Schiffshangar stabil zu bleiben. Die Befestigung ist entscheidend für eine reibungslose Verladung, damit die Rotorblätter nicht umherschlagen. Das automatische Klappsystem, das den Flügeln einer Hummel ähnelt, faltet die Flügel zusammen, um den Platzbedarf für die Lagerung zu verringern. Die Flügel werden dann mit den Halterungen fest an ihrem Platz gehalten.

SFM Technology setzte den **BigRep PRO** unter Zeitdruck als Produktions- und Prototyping-Maschine ein. Der 3D-Drucker produzierte 64 Halterungen aus Hi-Temp CF und stellte damit die Effizienz und Stärke der additiven Fertigung unter Beweis.

Prüfung der 3D-gedruckten Halterungen auf Herz und Nieren

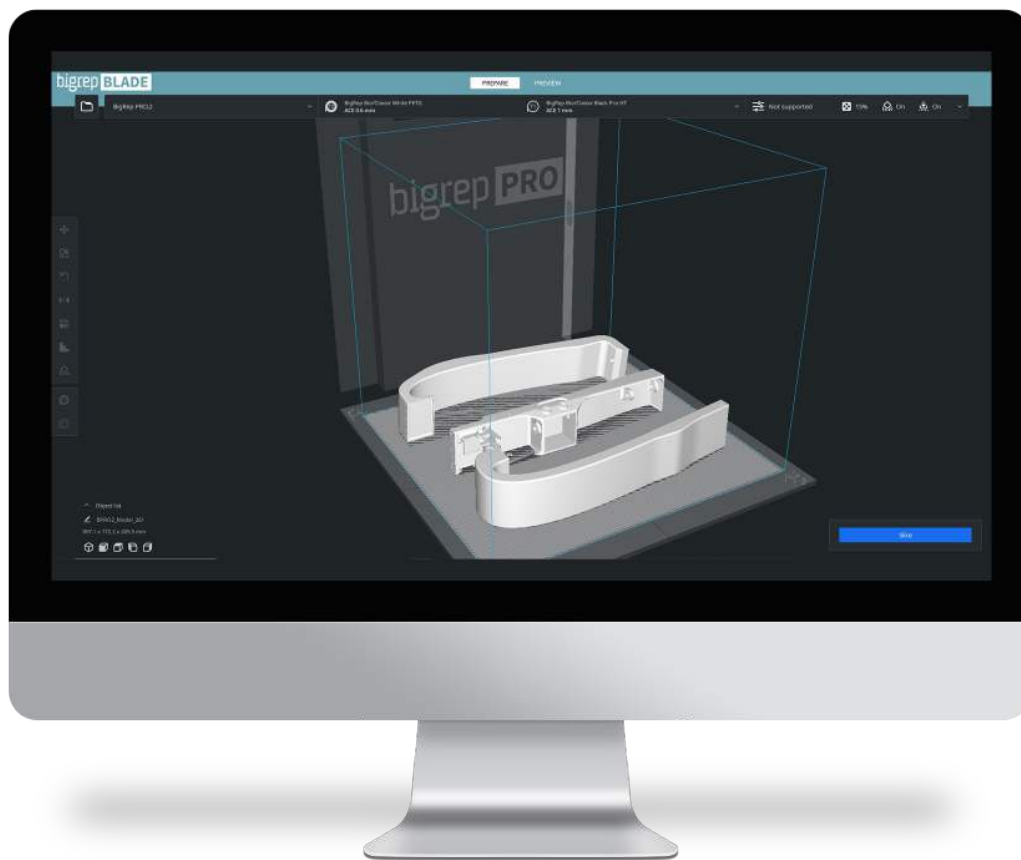
Die Halterungen wurden umfangreichen Tests unterzogen, um die **Festigkeit, Steifigkeit und Stoßfestigkeit** zu überprüfen und sicherzustellen, dass sie stabil und zuverlässig sind. Nach sieben Konstruktionsiterationen, die bis zu achtzehn Monate dauerten, wobei jede Konstruktion die Testphasen durchlief, stellte SFM die erste jemals in 3D gedruckte Halterung her.

Dem Kunden Leonardo wurde die **Finite-Elemente-Analyse (FEA)** vorgelegt, in der die Ergebnisse der Software zur Spannungsanalyse und der physikalischen Tests zur Qualifizierung des Materials (**Hi-Temp CF** von BigRep) und der Teile enthalten waren. Mit dem Programm **Materialize für die Triangulation** und **Patran für die Spannungsanalyse** wurde ermittelt, wie die Rotorblätter unter realen Bedingungen reagieren würden.

Die Anwendung dieser Software half dabei, strukturelle Schwachstellen zu erkennen und zu beheben, indem die Dichte, Form und Ausrichtung der Füllung angepasst wurde, um die Konstruktion zu optimieren und ihre Festigkeit und Stabilität zu verbessern. An den besonders beanspruchten Stellen wurde mehr Füllmaterial hinzugefügt, sodass sie fast durchgängig waren, während in anderen Bereichen weniger Füllmaterial verwendet wurde, um die Halterung leichter zu machen. Auf diese Weise wurde Material eingespart, ohne die Leistung zu beeinträchtigen.

Um die **Schlagfestigkeit** zu ermitteln, wurden die Halterungen aus Hubschrauberhöhe fallen gelassen, um die Bedingungen in der Praxis zu simulieren. Die früheren Halterungen aus Glasfaser und Metall überstanden den Aufprall nicht, aber die 3D-gedruckten Halterungen wurden nur minimal beschädigt, was ihre volle Funktionsfähigkeit beweist.

Eine Universalprüfmaschine führte **Zug- und Drucktests** an den Halterungen durch. Diese Tests waren unerlässlich, um die Festigkeit und Steifigkeit zu messen. Bei der Durchführung der Tests ging SFM über die Vorgaben des Kunden hinaus und die Halterung blieb unversehrt.



Gary Wilson, Leiter des technischen Vertriebs der SFM-Abteilung AeroAdditive, erklärt:



Wir haben die Halterung über die Kundenspezifikation hinaus belastet, um zu sehen, welchen Kräften sie standhalten kann. Wir haben die Spezifikation sogar übertroffen und die Halterung war unversehrt, was nicht nur unsere Erwartungen, sondern auch die von Leonardo übertraf.

In der nächsten Versuchsreihe wurde das Verhalten unter Umwelteinflüssen untersucht. Untersucht wurde die Beständigkeit der Halterungen gegen Umwelteinflüsse wie Regen, Sonne und Salzwasser. SFM schickte Proben des unbehandelten und durch Schleifen und Lackieren behandelten Materials an das Testlabor des Verteidigungsministeriums. Die Muster wurden in Salzwassertanks getaucht, dem Sonnenlicht ausgesetzt und auf ihre Beständigkeit gegen Abnutzung getestet. Außerdem wurden die Halterungen einem sechsmonatigen Einsatz und strengen Tests auf See unterzogen.

Obwohl sie bis an ihre Grenzen belastet wurden, hielten sie in allen Umgebungen stand - in simulierten, nachgestellten und realen Szenarien, die für ihren Einsatz entscheidend waren. Die Belastbarkeit der Halterungen unter Bedingungen von der Arktis bis zu den Tropen bestätigte die Effizienz und Zuverlässigkeit der in 3D gedruckten Halterungen für die Hauptrotorblätter.

Airbus beginnt mit der Zertifizierung von in 3D gedruckten Versandbehältern

*Airbus nutzte die großformatigen 3D-Drucker von BigRep, um durch die Neugestaltung eines traditionellen Fertigungsablaufs **regelmäßige Kosten** von bis zu **10.000 US-Dollar** zu umgehen. In Zusammenarbeit mit den Anwendungingenieuren von BigRep entwickelte Airbus TPU-Boxen für empfindliche Luftfahrtgeräte und begann mit der **Zertifizierung der in 3D gedruckten Geräte**.*

Der Transport empfindlicher Luftfahrttausrüstung stellt eine große logistische Herausforderung dar. Unternehmen, insbesondere solche, die mit Luft- und Raumfahrtkameras arbeiten, stehen vor der gewaltigen Aufgabe, ihren Bedarf an Investitionscontainern Jahre im Voraus abzuschätzen. Grund dafür sind die langen Wartezeiten aufgrund des weitgehend manuellen Produktionsprozesses von bis zu 9 Monaten, die Zertifizierung der einzelnen Investitionsbehälter und die begrenzte Anzahl von Lieferanten. In der Folge beträgt die Wartezeit für Transportbehälter oft mehr als zwei Jahre - eine für Unternehmen untragbare Vorlaufzeit.

Als Antwort auf diese Herausforderungen hat Airbus in Zusammenarbeit mit BigRep eine Lösung entwickelt, die den Schwerpunkt auf die Prüfung und Zertifizierung des Gesamtprozesses legt, anstatt nur einen einzelnen Fall zu zertifizieren. Durch den Einsatz datengesteuerter Konstruktionen und die Verwendung des TPU-Filaments von BigRep will Airbus die Herstellung von maßgeschneiderten Behältern für den Versand rationalisieren. Der Ansatz nutzt die dynamischen Materialeigenschaften von TPU und die gemeinsamen Füllmuster von Fused Filament Fabrication (FFF), um die traditionelle Schaumstoffpolsterung zu ersetzen.

TPU weist stabile Materialeigenschaften auf, wenn es zu einer dicken Platte gedruckt wird. In dünneren Zusammensetzungen ist es jedoch weich und flexibel, wodurch es sehr stoßdämpfend ist. Die Geräteform wird bei der Füllung als Hohlraum belassen. So entsteht ein Design, das in einem vollständig automatisierten Prozess als einzelne Einheit hergestellt werden kann. Die Verschlüsse werden parallel dazu in einem zweiten festen Material hergestellt und können von den Endverbrauchern in die Cases eingebaut werden.



Testen der in 3D gedruckten Versandbehälter

“Wir haben bereits mit den Tests begonnen, um die Konstruktion für die Zertifizierung zu qualifizieren,” sagte Ralf Schlueter, Geschäftsführer der Flugzeug Union Süd (einer Airbus-Tochter). “Bislang wurden die TPU-Gehäuse bei Fallstudien erfolgreich bei einer Abbremsung von 20 bis 40 G getestet und wiesen bei Hitzetests keine physikalischen Veränderungen auf.“

Bei den Hitzetests wurden die Versandbehälter auf ihre thermische Stabilität, ihre Widerstandsfähigkeit gegen thermische Ausdehnung, Materialverschleiß und thermische Belastung geprüft. Dabei werden die Bauteile Temperaturen ausgesetzt, die weit über die normalen Betriebsbedingungen hinausgehen, wobei ihr Verhalten, ihre strukturelle Unversehrtheit und ihre Funktionsfähigkeit während der gesamten Testdauer überwacht werden.

Bei den Falltests wurden die Versandkoffer einer Abbremsung von 20 bis 40 G ausgesetzt, d. h. sie mussten Kräfte aushalten, die 20 bis 40 Mal größer waren als die Schwerkraft. Diese Tests zeigten, dass der Koffer in der Lage ist, hohe Kräfte während des Aufpralls zu bewältigen und abzufedern, was für die Sicherheit der empfindlichen Ausrüstung, die er transportieren soll, entscheidend ist.

Durch die Zertifizierung des gesamten Fertigungsprozesses anstelle der Zertifizierung von Einzelbehältern sieht Airbus eine skalierbare Lösung vor, die Unternehmen eine reaktionsschnellere und effizientere Lösung für das Management komplexer Logistik bietet.



Die CNE-Lösung für Scandinavian Airlines: Zertifiziert, abgesichert und gegroundet werden

Durch die COVID-19-Pandemie kam der Großteil des Flugverkehrs zum Erliegen, wodurch 62 % der Passagierflugzeuge am Boden blieben und einen Dominoeffekt in den weltweiten Lieferketten auslösten. Für die Luftfahrtindustrie war dies eine besondere Herausforderung, da Flugzeuge nicht dafür ausgelegt sind, für längere Zeit am Boden zu bleiben. Die Branche sah sich mit unvorhergesehenen Problemen konfrontiert, die sie in kürzester Zeit bewältigen musste, wie z. B. dem Fehlen von Standplätzen und explodierenden Wartungskosten.

Da die meisten Flugzeuge der Scandinavian Airlines (SAS) dem für Norwegen typischen strengen Winter ausgesetzt waren, mussten sie schnell handeln, als die Pandemie ihre Flugzeuge lahmlegte. Die Fluggesellschaften benötigten Abdeckungen für die Auspuffanlage, und das Ein- und Auspacken der Abdeckungen war eine gewaltige Anstrengung, die viele Stunden an manueller Arbeit erforderte. Außerdem machten die begrenzten Vorräte und die verstärkte Nachfrage die Lieferung von Auspuffabdeckungen unmöglich. SAS wandte sich an CNE, ein spezialisiertes örtliches Ingenieurbüro, das der Fluggesellschaft seine Unterstützung anbot. Die Lösung bestand in einer Verkürzung der Lieferkette, um mehr vor Ort verfügbare Ressourcen mithilfe des 3D-Drucks nutzbar zu machen. Hier halfen die groß angelegten 3D-Druckkapazitäten von BigRep, eine lokale und flexible Lieferkette zu schaffen.



Qualifizierung der gegossenen Motorabdeckungen

CNE nutzte zwei Maschinen von BigRep für den 3D-Druck von Formen zur Herstellung von Gussteilen aus Urethan, wobei unterschiedliche Materialien für verschiedene Komponenten verwendet wurden. Das biobasierte PLX, HI-TEMP CF und TPU von BigRep wurden für die Außenschalen, den Kern und die Einsatzformen ausgewählt.

Das Material der gegossenen Motorabdeckungen musste **umfangreichen Tests unterzogen werden und sich als temperaturbeständig sowie resistent gegenüber Chemikalien und UV-Strahlung** erweisen. Außerdem musste es weich genug sein, um den Motor beim Aus- und Einbau nicht zu beschädigen. Aufgrund dieser Anforderungen erwies sich gießbares Urethan, ein weithin verfügbares und kostengünstiges Material, als die beste Option.

Nathan Brown, Geschäftsführer von CNE, sagt:

“Wir sahen nicht nur die Möglichkeit, den Bedarf für dieses Werkzeug zu decken, das sie über die normale Lieferkette nicht bekommen konnten, sondern wir sahen auch die Chance, es besser zu machen.“

Mit BigRep den Workflow in der Produktion neu erfinden

CNE Engineering erfüllte mit dem BigRep 3D-Drucker drei wichtige Aspekte ihres Entwurfs. Zunächst **konnten sie dank einer Reihe von Materialoptionen den endgültigen Guss testen und damit experimentieren**. Zweitens war das Bauvolumen (1 m³) des BigRep ONE groß genug, um die Abmessungen des Triebwerksauspuffs mit einteiligen Druckstücken zu realisieren. Darüber hinaus ermöglichte die Drucklinienorientierung des Formdesigns ein einfaches Gießen und Entformen.

Dank des großformatigen 3D-Druckverfahrens konnte CNE die knappen Zeitvorgaben von SAS einhalten: Die Formen wurden innerhalb weniger Tage gedruckt und die Gussteile innerhalb weniger Stunden fertiggestellt. SAS erhielt seine erste Bestellung innerhalb von nur zwei Monaten nach dem Erstgespräch. Es folgten weitere Bestellungen mit ähnlichen Mengen in verschiedenen Größen für die verschiedenen Flugzeuge. Das mehrstündige Ein- und Auspacken von Düsentriebwerken ist für einen Wartungstechniker und diese maßgefertigten Abdeckungen jetzt eine Sache von Minuten.





Die Zukunft des Flugverkehrs

In der Luft- und Raumfahrtbranche ist Sicherheit eines der größten Anliegen und 3D-gedruckte Teile werden im Allgemeinen strengeren Prüfungen unterzogen als traditionell gefertigte Teile. Angesichts der Konformitätsqualität der gedruckten Bauteile und der Bandbreite der Materialien erfüllen additiv gefertigte Teile, Prozesse und Materialien die Voraussetzungen für Zertifizierungen und Prüfparameter. Das macht Luftfahrt, Reparaturen und Wartung sowie das Prototyping flexibler und führt zu sichereren Flugzeugen, die sich schnell in die Lüfte erheben.

Einer der Hauptgründe, warum die Luft- und Raumfahrt die 3D-Drucktechnologien einsetzt, ist die Fähigkeit von AM, ein digitales Inventar zu führen und Ersatzteile im Handumdrehen zu produzieren. Dadurch werden Lager- und Logistikkosten gesenkt und sichergestellt, dass wichtige Teile verfügbar sind, wenn sie gebraucht werden. Außerdem werden bei FFF leicht vor Ort verfügbare Materialien verwendet, was Unterbrechungen in der Lieferkette abfängt und langfristig die Ausfallzeiten von Flugzeugen verringert.

Diese Vorteile sowie die schnelle Herstellung von Prototypen und der schnelle iterative Entwurfsprozess beschleunigen die Test- und Zertifizierungsprozesse, was Innovationen beschleunigt und die Entwicklung der nächsten Generation von Luft- und Raumfahrttechnik ermöglicht.



REDEFINING **ADDITIVE**

bigrep.com



EUROPE

Gneisenaustraße 66
10961 Berlin Germany
Phone +49 30 20 84 82 60

NORTH AMERICA

50-E Concord Street Suite
100, Wilmington, MA
01887 United States
Phone +1 781 281 0569

APAC

201 Henderson Road Apex@
Henderson #03-13 Singapore
159545
Phone +65 6909 8191 / 9793 25 15



[Learn More](#)