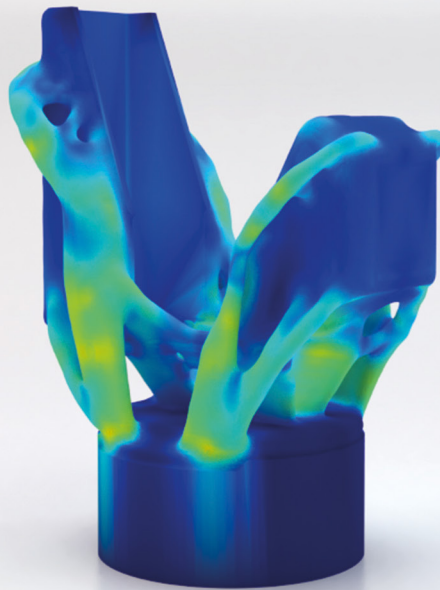


Schnelle und flexible Nachproduktion generativ optimierter Ersatzteile

Mit angepassten, gewichtsoptimierten Designs additive Produktionskosten senken und flexibel und werkzeuglos Ersatzteile produzieren



In einem gemeinsamen Innovationsprojekt haben Deutsche Bahn, SLM Solutions und Hexagon/Simufact ein konventionell konstruiertes Scharnier eines Güterwaggons optimiert und für die additive Fertigung neu entwickelt. Das gewichtsoptimierte Ergebnis von MSC Apex Generative Design ermöglicht eine kosteneffiziente Produktion durch den 3D-Druck.

Anlagegüter wie Güterwaggons sind durch eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten geprägt. Bei eintretenden Defekten der Anlagegüter stellt die Ersatzteilbeschaffung die Betreiber vor große Herausforderungen, da über einen solch langen Zeitraum Ersatzteile häufig nicht vorrätig gehalten werden können.

Betreiber und Hersteller dieser Gegenstände sind so damit konfrontiert, einzelne Ersatzteile für den Weiterbetrieb zu beschaffen bzw. herzustellen, ohne auf die ursprünglichen Fertigungswerkzeuge, ggf. auch ohne Originaldaten, zurückgreifen zu können. Mit der additiven Fertigung gibt es nun die Möglichkeit, die Ersatzteile werkzeuglos und damit hochflexibel zu produzieren.

Anwendung und Herausforderung

Das Problem bei der Produktion sehr alter Bauteile mit herkömmlichen Fertigungsverfahren sind die äußerst langen Durchlaufzeiten und hohen Kosten. Die Herstellung von Werkzeugen oder Halbzeugen benötigt viel Zeit, Maschinen müssen eingerichtet und umgerüstet werden. Mit der additiven Fertigung kann dies deutlich schneller und flexibler geschehen, gerade vor dem Hintergrund eines Bauteildefekts kann hier Zeit ein entscheidender Faktor sein. Problematisch sind aber auch die konventionellen Konstruktionen selbst, die sich mit der additiven Fertigung nur schwer oder gar nicht herstellen lassen und zusätzlich die Produktionszeiten verlängern können, da viel Material aufgeschmolzen werden muss. Dabei sind sowohl Material als auch Maschinenstunden wesentliche Kostentreiber, die als solche so weit wie möglich reduziert werden sollten. Daher bedarf es eines Prozesses, mit dem schnell und personalsparend angepasste Bauteildesigns konstruiert werden können.

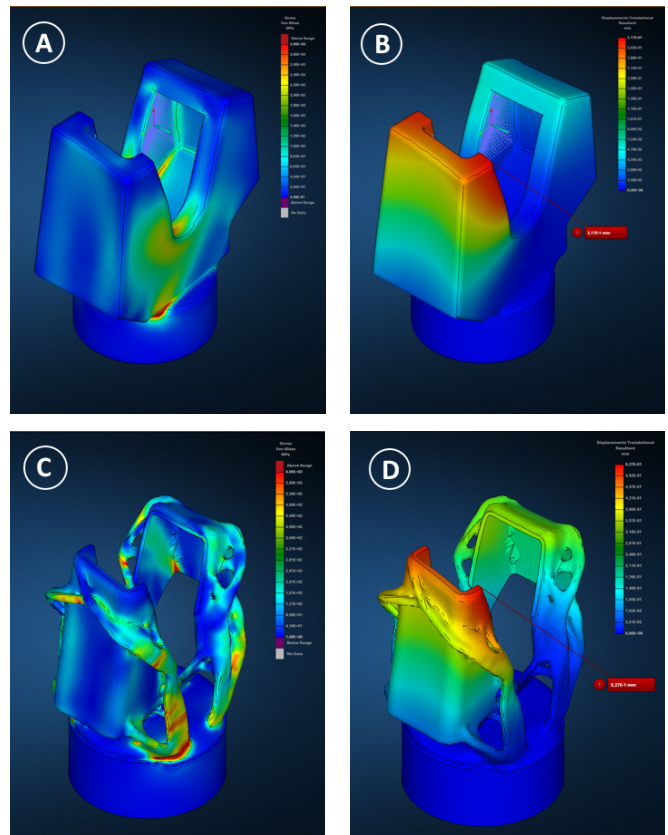
Bei dem hier zu optimierenden Bauteil handelt es sich um eine Umstellwelle für die automatische Kupplung eines offenen Drehgestell-Schüttgutwagens für den Erztransport. Mit diesem Bauteil kann der Zugbediener zwischen manuellem und automatischem Kupplungsvorgang des 15 m langen Waggons umschalten und die Feststellbremse des Güterwaggons mit einem Laderaum von über 60 m³ Fassungsvermögen händisch lösen. Die meisten Wagen wurden 1978 und den darauffolgenden fünf Jahren ausgeliefert.

Mit MSC Apex Generative Design lassen sich mit nur geringem Zeitaufwand konventionelle Bauteildesigns optimieren und so für die additive Fertigung handhabbar zu machen – auch ohne besondere Simulationsexpertise.

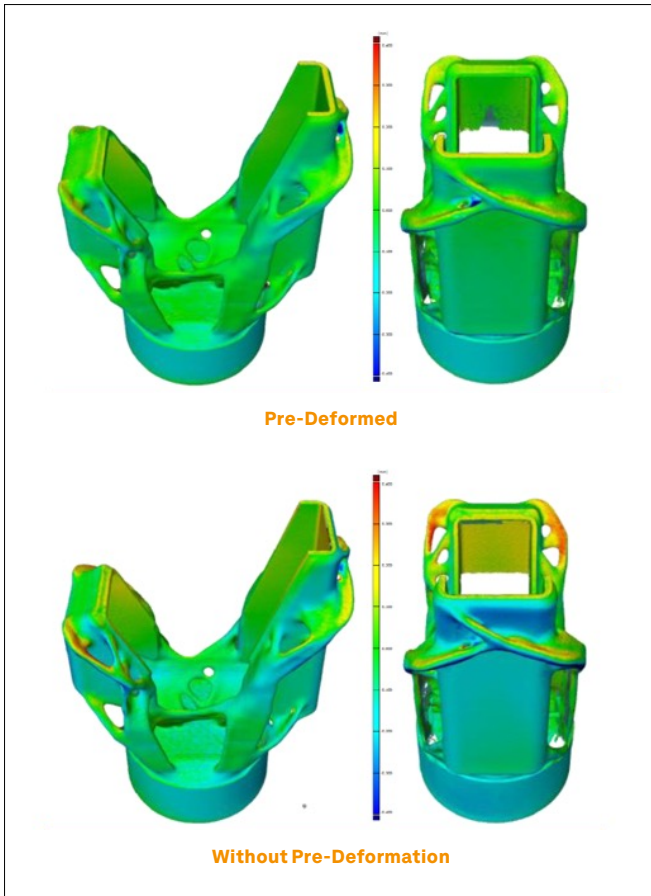
Integrierter Leichtbau mit Generative Design

Für die Optimierung wurde das Originalbauteil zunächst in MSC Apex Generative Design importiert und mit Hilfe der Geometrietools ist der Designspace, also der Bereich, in dem der Algorithmus Material platzieren darf, auf Basis des zur Verfügung stehenden Platzes erweitert worden. Das Material des ursprünglichen Bauteils war Temperguss und ist für den Einsatz in der additiven Fertigung auf den Edelstahl 316L gewechselt worden, um die Fertigung zu ermöglichen. Funktionsflächen haben ein Aufmaß für die spätere spanende Bearbeitung erhalten und dürfen als non-design Bereiche von dem Algorithmus nicht verändert werden. Die verschiedenen auftretenden Kräfte wurden hinzugefügt und für die Optimierung zu Lastfällen zusammengefasst. Anschließend konnte die Optimierung starten und mit verschiedenen Werten für die maximal zulässige Spannung ließen sich direkt mehrere Designalternativen generieren.

Das vielversprechendste Ergebnis reduziert das Gewicht auf die Hälfte des Originaldesigns. Mit Hilfe von MSC Apex Structures sind die Ergebnisse mittels einer FE-Reanalyse weiter untersucht worden: Die Aufbiegung unter Last ist im Vergleich zu dem soliden Originaldesign gestiegen, bewegt sich mit einem halben Millimeter dennoch in einem unkritischen Bereich. Relevanter ist die hohe Gewichts- und Volumenreduktion zur Senkung der Produktionskosten für die additive Fertigung. Die Spannungswerte liegen selbst in kritischen Bereichen noch unterhalb der zulässigen Materialspannung.



Vergleich des konventionellen Designs (oben, A & B) mit dem optimierten Design (unten, C & D) mit 50% Gewichtsreduktion: Bedingt durch den Designbereich weisen beide Designs eine Spannungsspitze unten mittig auf (vgl. A & C), die Verformung unter Last (vgl. B & D) ist an der Spitze oben bei beiden Varianten am ausgeprägtesten, aber im Toleranzrahmen.



Oben ist das Messergebnis des vorverformten Bauteils zu sehen, welches deutlich geringer ausfällt als bei dem rechten, nicht angepassten Bauteil. Mit Simufact Additive konnte hier eine wesentliche Verbesserung der Bauteilqualität erzielt werden. Quelle: SLM Solutions

Fertigungssimulation und Verzugkompensation

Die Prozesssimulation mit Simufact Additive konnte zwei wesentliche Herausforderungen für den Druck des Bauteils lösen: Die Stützstrukturoptimierung und die Kompensation von Verzügen. Die generierten Geometriedaten wurden dabei in die Simulationssoftware geladen und innerhalb weniger Stunden vollständig berechnet. Dabei kann der gesamte Produktionsprozess inklusive Nachbearbeitung eingestellt und simuliert werden, also auch das Entfernen von der Bauplattform und eine Wärmenachbehandlung etc.

Für den eigentlichen Druck kann die Orientierung optimiert werden, um ein möglichst gutes Druckergebnis mit wenig Supportstrukturen zu ermöglichen. Zusätzlich kann die Software auftretende Verzüge während des Druckprozesses ermitteln und die CAD-Geometrie so modifizieren, dass sie am Ende sehr nah an der Soll-Geometrie liegt.

Um dies auch in der Praxis zu verifizieren, wurden von dem Projektpartner SLM Solutions vier Bauteile gebaut, je zwei kompensiert und unkompensiert. Der Baujob für die jeweils ca. 15 x 9 x 3 cm großen Edelstahlbauteile dauerte 14h auf der SLM 280 2.0 Twin Maschine, bei ca. 1800 Schichten in 50 µm Schichtstärke. Anschließend

wurden die Bauteile von SLM Solutions auf ihre Genauigkeit und Verformung untersucht. Dabei zeigt sich klar: Die vorverformten Bauteile sind signifikant weniger verformt als die nicht-optimierten Bauteile. Die virtuelle Fertigungssimulation bringt hier also nachweislich entscheidende Vorteile für die Qualität und Maßhaltigkeit der Bauteile.

Zusammenfassung

Viele Anlagegüter wie Güterwaggons befinden sich Jahrzehnte im Einsatz und benötigen weiterhin Ersatzbauteile für den ordnungsgemäßen Betrieb. Häufig fehlen dazu jedoch Lieferanten, Werkzeuge oder die Zeit, bis diese mit konventionellen Verfahren und fehlenden Halbzeugen geliefert werden können. Hier bietet die additive Fertigung eine deutlich flexiblere, werkzeuglose Fertigung mit geringen Lieferzeiten. Problematisch sind dabei jedoch die klassischen Bauteildesigns, die sich mit der additiven Fertigung schlecht oder gar nicht herstellen lassen, in jedem Fall aber aufgrund des Materialeinsatzes und den damit verbundenen Maschinenlaufzeiten sehr teuer sind. Daher ist es notwendig, gut fertigmache, kosteneffiziente Leichtbaudesigns zu generieren. Mit MSC Apex Generative Design lassen sich mit nur geringem Zeitaufwand konventionelle Bauteildesigns optimieren und so für die additive Fertigung handhabbar zu machen – auch ohne besondere Simulationsexpertise. In Kombination mit der Fertigungssimulation, Simufact Additive für Metall und Digimat AM für Polymer, erhält der Nutzer Zugang zu der additiven Technologie auch ohne eigenes Expertenwissen. Mit den Tools lassen sich optimale und für die Fertigung angepasste Strukturen generieren und der Produktionsprozess optimieren. Die Fertigungssimulation der erzeugten Struktur optimiert kritische Elemente der Fertigung wie Verzug und eingebrachte Spannungen, sodass die Bauteile mit hoher Qualität gefertigt werden können. Für den vorliegenden Anwendungsfall konnte das Gewicht um die Hälfte reduziert und durch die Vorverformung der produktionsinduzierte Verzug signifikant verringert werden.



Die vier gedruckten Testobjekte aus 316L in 50 µm Schichtstärke auf der Bauplattform und noch mit Supportstruktur. Quelle: SLM Solutions.



Hexagon is a global leader in digital reality solutions, combining sensor, software and autonomous technologies. We are putting data to work to boost efficiency, productivity, quality and safety across industrial, manufacturing, infrastructure, public sector, and mobility applications.

Our technologies are shaping production and people-related ecosystems to become increasingly connected and autonomous – ensuring a scalable, sustainable future.

Hexagon's Manufacturing Intelligence division provides solutions that use data from design and engineering, production and metrology to make manufacturing smarter. For more information, visit hexagonmi.com.

Learn more about Hexagon (Nasdaq Stockholm: HEXA B) at hexagon.com and follow us [@HexagonAB](https://twitter.com/HexagonAB).