

Funktionsintegrierte und bionisch optimierte Fahrzeugleichtbaustruktur in flexibler Fertigung

Dr.-Ing. Martin Hillebrecht, EDAG Engineering GmbH

Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann, LZN, Laser Zentrum Nord GmbH

Einleitung

Die Automobilindustrie ist verstärkt gefordert, eine zunehmende Zahl an Antriebskonzepten und Energiespeichersystemen in einer ebenfalls deutlich wachsenden Variantenbreite von Fahrzeugderivaten zu integrieren. Die Nutzer werden Fahrzeuge nachfragen, die nicht nur mit Blick auf Ausstattungsdetails individualisiert sind, sondern auch auf die Technik, etwa die Antriebssysteme. Daraus leitet sich das Erfordernis einer ebenso energie- wie ressourcenschonenden und kosteneffizienten Produktion ab. Hierbei könnten möglicherweise auch Leichtbau und generative Fertigungstechniken eine wichtige Rolle spielen, die (schon heute) als Variante die Möglichkeiten von Industrie 4.0 aufzeigen.

Fertigungskonzept der Zukunft

Die Karosserien von morgen müssen im Hinblick auf die Integration alternativer Antriebssysteme in variantenintensiven Kleinserien leichter und hochflexibel konzipiert werden und mit angemessenem Investitions- und Kostenaufwand in relativ kleinen Serien herzustellen sein. Diese Anforderungen leiten sich aus den Wünschen der Kunden nach zunehmend auch technisch spezifizierten und individualisierten Fahrzeugen ab. Hinzu kommen weitere Parameter wie deutliche Kostenreduktion oder mehr Energieeffizienz, die die Automobilhersteller vor die Herausforderung stellt, ihre Produktionsprozesse zu optimieren.

Dabei spielt in erster Linie die Minimierung von Werkzeug-, Betriebsmittel- und Anlaufkosten eine Rolle. Daher gehen die Überlegungen in den Entwicklungsabteilungen für bestimmte Fahrzeuge in Richtung generativer Fertigung, die weit über den aktuellen Stand der Technik im Hinblick auf Rapid Prototyping, Rapid Tooling oder Ersatzteilmontage hinaus reicht.

Der „EDAG Light Cocoon“ ist die visionäre Umsetzung eines kompakten Sportwagens mit einer umfassend bionisch optimierten und generativ-hybrid (Material) und additiv (Prozess) gefertigten Fahrzeugstruktur auf Basis eines Space-Frame. Er greift diese Überlegungen auf, und zeigt Möglichkeiten eines wandelbaren und extrem flexiblen Produktionskonzeptes für laststufengerecht ausgelegte Karosserien auf.

Der „EDAG Light Cocoon“ (**Abb. 1**) bricht dabei bewusst mit bestehenden Paradigmen und regt an, bestehende Denkmuster in der Fahrzeugkonzeption aufbrechen. Zudem zeigt er die Zukunftspotenziale durch generative Fertigung auf.

Space-Frames – die leichte Alternative für alle (Last)Fälle

Space-Frames bestehen aus Profilen, die an Knoten miteinander verschweißt werden. Die tragende Grundstruktur muss dabei vielfältige Lastfälle wie Biege- und Torsionssteifigkeiten, Eigenfrequenzen, Crash und Betriebsfestigkeit erfüllen können.

Die Nutzung des Space-Frame-Konzeptes greift die Anforderungen auf, das künftig in immer ausdifferenzierteren Karosserievarianten die unterschiedlichsten Antriebskonzepte und Energiespeichersysteme untergebracht werden müssen. Daraus resultieren Laststufen und Package-Situationen, die sich in ganz unterschiedlicher Weise auf die Leistungsanforderungen an die Karosserie und die Gewichtsverteilung im Gesamtfahrzeug auswirken.

Ein Space-Frame-Demonstrator aus dem Bereich der A-Säule des “EDAG Light Cocoon” zeigt beispielhaft die Umsetzung eines flexiblen und variantenintensiven Produktionskonzept für laststufengerecht ausgelegte Space-Frames bei generativer Fertigung und mit maximal möglichen Gewichtsersparnissen auf.

Bei der Konstruktion des Demonstrators lag die Überlegung zu Grunde, dass eine Vielzahl von elektrischen Antriebsvarianten im Karosseriesystemen flexibel integrierbar sein muss – eine Zielvorgabe, die aktuell bei konventionellen Fertigungsverfahren als Gewichtungsfaktor keine Rolle spielt.

Der Demonstrator belegt, dass sich drei zentrale Anforderungen bereits heute realisieren lassen, um den oben skizzierten Erfordernissen gerecht zu werden; allerdings noch nicht in industriellem Fertigungsmaßstab.

- Die Knoten sind bionisch optimiert, hochfunktional, variantenintensiv und on demand in der jeweiligen Variante generativ gefertigt.
- Die Profile aus Stahl können durch Anpassung der Biegeradien, Biegewinkel und intelligenten 3D-Laserbeschnitt an den Enden auf die geforderten Funktionen in hochflexibler automatisierter Einzelteilfertigung hin optimiert werden.
- Der laststufenoptimierte und flexible Space-Frame lässt sich vorrichtungslarm durch das Laserschweißen fügen. (**Abb. 2**)

Die Fertigung kann mit geringem Logistikaufwand sehr flexibel auf unterschiedliche Stückzahlbedarfe der Fahrzeugvarianten angepasst werden: die Knoten werden vor Ort für die jeweilige Variante „just in sequence“ (JIS) hergestellt und die Profile ebenfalls entsprechend individuell beschnitten.

Ein weiterer Vorteil des Verfahrens: während eines Fahrzeuglebenszyklus kann schnell und einfach auf neue funktionale Anforderungen, etwa updatefähige Strukturbauteile, reagiert werden.

Knoten und Profile nach Maß

Die Fertigung von Bauteilen durch LaserCUSING(“Laser Additive Melting”, LAM), bei dem Bauteile werkzeuglos Schicht für Schicht unter Verwendung von 3D CAD-Daten generiert werden, ist zukunftsweisend, weil es aufgrund hoher geometrischer Gestaltungsfreiheit völlig neue Konstruktionsmöglichkeiten, Potentiale zur Funktionsintegration und des Leichtbaus eröffnen. Zusammengefügt werden die Bauteile durch Laserschweißen, das sich durch filigrane Schweißnähte und geringe Wärmeeinbringung aus und sich somit optimal für die angestrebten funktionsintegrierten Leichtbauanwendungen eignet. (**Abb. 3**)

Aktuelle Grenzen dieser Technik setzen der begrenzte Bauraum und die zu geringe Prozessgeschwindigkeit, die noch keinen wirtschaftlichen Großserieneinsatz erlauben. In diesem Punkt ist nun die aufstrebende und recht junge laseradditive Branche gefragt, die Entwicklung voran zu treiben.

Daher bietet sich – wie im Demonstrator umgesetzt – der Rückgriff auf hybride Strukturen (Material, Fertigung) an, die das Fügen einzelner Bauteile zu bionisch optimierten Strukturen erlaubt.

Als Verbindungselemente zwischen den Knoten werden Stahlprofile eingesetzt, die gegenüber Aluminiumprofilen die Vorteile höherer Festigkeit, Steifigkeit und Energieabsorption bei geringeren Herstellungskosten bieten. Mit Blick auf Gewichtsersparnis und Crashverhalten bieten Profile erhebliche Vorteile und können durch unterschiedliche Wandstärken und Geometrien individuell und einfach den vorgegebenen Laststufen angepasst werden. Durch Lochbildbeschnitt lassen sich Profile anwendungszogen gezielt optimieren, wie etwa das Crashverhalten eines Längsträgers (**Abb. 4**) Die Profile können mit geringem Werkzeuginvest elektronisch gesteuert gebogen und beschnitten werden und sind damit in hochflexible Produktionsprozesse integrierbar.

Die Knoten lassen sich durch generative Fertigung hoch funktionsintegriert gestalten und werden gewichtsoptimiert direkt durch LaserCUSING gefertigt. Dadurch ist die Herstellung von Bauteilen mit deutlich dünneren Wandstärken und komplexen Geometrien möglich, die mit herkömmlichen, heute üblichen Gussverfahren schwierig bis unmöglich ist.

Um einen fehlerfreien Aufbau der Knoten zu gewährleisten, ist an Flächen mit einem Winkel kleiner 45° zur Bauplattform eine Supportstruktur vorzusehen. Neben seiner

Stützfunktion nimmt der Support vor allem Eigenspannungen auf und verhindert Verzug. Basis einer erfolgreichen Produktion ist eine saubere Supportaufbereitung; insbesondere bei komplexen Knotengeometrien. Nach der Supportaufbereitung wird das Bauteil virtuell in einzelne 75µm dicke Schichten geschnitten (**Abb. 5**), um die Umsetzung der angestrebten Geometrie sicher zu stellen. Nach dem anschließenden Datentransfer auf die LaserCUSING-Anlage werden die entsprechenden Prozessparameter zugewiesen und der Bauprozess wird gestartet. Der Bau der Knoten kann perspektivisch auf Basis des jeweiligen Laststufenkonzepts der in der CAE ausgelegten Karosserievarianten erfolgen.

Beim Zusammenfügen von Knoten und Profilen werden die Profile automatisch durch die fügegerechte Gestaltung den Knoten ausgerichtet und fixiert und durch einen Scheibenlaser mit robotergeführter Optik verschweißt: Knoten und Zwischenbaugruppen werden dabei von großen Industrierobotern gehalten. Ein Leichtbauroboter nimmt die einzelnen Profile auf und steckt sie in die vorgesehenen Aufnahmen der Knoten. Diese Roboter sind in der Lage, durch leichte Veränderung der Position der zu steckenden Bauteile relativ zueinander das Profil auch in enge Passungen applizieren zu können. Der dritte Roboters schließlich führt den Laserschweißkopf. (**Abb. 6**)

Das Schweißen der gesamten Baugruppe wird vorab mittels Offlineprogrammierung simuliert; während des Schweißvorgangs ermöglicht eine Statistische Prozesskontrolle (SPC) die Fertigung von Knoten und Profilen als „Smart Parts“: Toleranzschwankungen werden durch maßgeschneidertes Umformen beziehungsweise Anpassung der 3D-Druckdaten ausgeglichen; auf diese Weise erfolgt eine kontinuierliche Optimierung der Bauteile. Das Steckprinzip der Profile in die Knoten minimiert zudem den Spanntechnikaufwand bei der Schweißbearbeitung. Der komplett gefügte Space-Frame wird abschließend vermessen.

Die angewandten Lasertechniken zur Herstellung von Profilen und Knoten sind in der Montage hochgradig automatisierbar. Dies eröffnet in punkto Fertigungsdauer und –kosten hohe Einsparpotenziale.

Ausblick

Der Demonstrator und das Konzeptfahrzeug “EDAG Light Cocoon” zeigen die Potenziale einer bionisch gestalteten, lastpfadoptimierten Space-Frame-Struktur auf. Durch den Einsatz vorrichtungs- und werkzeugarmer Verfahren können zukünftig unterschiedlichste Karosserievarianten wirtschaftlich und mit höchstmöglicher Flexibilität gefertigt werden. Mit Blick auf die absehbaren Anforderungen an lern- und wandlungsfähige Verfahren im Kontext Industrie 4.0 eröffnet die generative Fertigung ein Höchstmaß an Flexibilität hinsichtlich hoher Reaktionsfähigkeit auf schwankende

Stückzahlbedarfe und Anpassungsfähigkeit von Strukturbauteilen während eines Produktlebenszyklus.

Der Demonstrator wurde unter Einsatz des LaserCUSING (LAM)-Verfahrens gefertigt. Recht langsame Prozessgeschwindigkeiten, die relativ geringen Bauräume und eine sehr eingeschränkte Materialauswahl limitieren eine Anwendung in der Serienproduktion. Weitere F&E Aktivitäten sind erforderlich, um die Prozesse hoch zu skalieren, zu beschleunigen und einschließlich der Werkstoffe wesentlich kosteneffizienter gestalten zu können.

Das Ziel und die Vision ist die werkzeuglose Fertigung komplexer Strukturen mit unerreichter Gestaltungsfreiheit und maximalem Leichtbaupotenzial für kleine Serien direkt aus Datensätzen heraus. Die generative Fertigung zeigt hier einen ganz neuen Weg auf, weil sie die Herstellung sehr komplexer und hocheffizienter Strukturen ermöglicht, die mit anderen Verfahren nicht entformbar und auch nicht kostendeckend herstellbar sind. Zudem ist eine lastgerechte und bionische Bauteilgestaltung bei geringsten Wandstärken und herausragenden Materialeigenschaften möglich, die bei erweiterter Funktionsintegration ein enormes Leichtbaupotenzial offeriert. Das Ausrollen der industriellen 3D-Drucktechnik auf industrielle Standards, die die großmaßstäbliche Umsetzung generativer Fertigungsverfahren ermöglicht, wird klassische Fertigungsverfahren um eine neue Dimension erweitern und den Weg in den Leichtbau 2.0 prägen.

Literatur

1. Ohlsen, J.; Herzog, F.; Raso, S. und C. Emmelmann:
Funktionsintegrierte, bionisch optimierte Fahrzeugleichtbaustruktur in Flexibler Fertigung; aus ATZ 10.2015, Springer Fachmedien Wiesbaden.
2. Hillebrecht, M., Spiegel, A., Emmelmann C. und F. Beckmann:
Hybrides Leistungselektronikgehäuse. Wege zum wirtschaftlichen Einsatz der laseradditiven Fertigung. Lightweight Design 5/2015. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden (2015)
3. Fritzsche, E. und M. Hillebrecht:
Vehicle Lightweight Structure in flexible Production. Formnext. International exhibition and conference on additive technologies and tool making. Frankfurt, 19.11.2015
4. Hillebrecht, M.; Fritzsche, E. und F. Breitenbach:
Funktionsintegrierte, bionisch optimierte Fahrzeugleichtbaustruktur in flexibler Fertigung
5. 9. VDI Workshop Blechumformung:
„Neue Konzepte der Fahrzeugtechnologie – Chancen und Herausforderungen im globalen Wettbewerb“ Düsseldorf, 11.02.2016
6. Hillebrecht, M.:
Potenzialbewertung von neuen generativen Fertigungsmethoden für Leichtbaukonstruktionen; ATZ-Fachtagung Werkstoffe im Automobilbau Stuttgart, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014
7. Hillebrecht, M., Reul, W., Emmelmann C. und J. Kranz:
Laseradditive Fertigung von multifunktionalen Komponenten; Lightweight Design 1/2014, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2014

Dr.-Ing. Martin Hillebrecht
Leiter CC Leichtbau, Werkstoffe, Technologie
EDAG Engineering GmbH
Reesbergstraße 1 • 36039 Fulda
Tel: +49 661 6000 - 255
E-Mail: martin.hillebrecht@edag.de

Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann
Geschäftsführer
LZN Laser Zentrum Nord GmbH
Am Schleusengraben 14 • 21029 Hamburg
Tel: +49 40 484010-500
E-Mail: c.emmelmann@lzn-hamburg.de

Die EDAG Engineering GmbH mit Sitz in Wiesbaden entwickelt als weltweit führender und unabhängiger Entwicklungspartner der Automobilindustrie serienreife Lösungen für die Mobilität der Zukunft. Dazu zählt die verantwortliche Entwicklung von Fahrzeugen, Derivaten, Karosserien, Modulen und Produktionsanlagen so wie der Modell-, Prototypenbau und die Fertigung von Werkzeugen und Karosseriesystemen. Die Kompetenzzentren „Leichtbau“, „Elektromobilität“, „Licht und Sicht“ und „Vernetzung / Car-IT“ leisten branchenrelevante Innovationsbeiträge zur raschen Implementierung neuer Technologien in die automobilen Serienproduktion. In 2015 erzielt EDAG beschäftigt weltweit ca. 7.900 Mitarbeiter und erzielte 2015 einen Umsatz von knapp 700 Mio. Euro.

Die **LZN Laser Zentrum Nord GmbH** mit Sitz in Hamburg wurde im Jahre 2009 als anwendungsorientiertes Kompetenzzentrum für die Lasertechnologie gegründet. Es hat sich zum Ziel gesetzt, den Technologietransfer von der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung entscheidend zu verbessern, zu erleichtern und zu beschleunigen. Es will mit seiner (Forschungs-) Arbeit Unternehmen Impulse zur Stärkung ihrer Wettbewerbsfähigkeit geben. Dies insbesondere auf den Gebieten innovativer optischer beziehungsweise photonischer Produktionstechnologien und Produkte (Lasertechnologie). Hier möchte das LZN dazu beitragen, seinen Partnern aus der Wirtschaft die rasante Entwicklung in der Lasertechnologie zur innovativen und effizienten Weiterentwicklung ihrer Produkte nutzbar zu machen und damit erfolgreiche Pioniere auf dem Gebiet der photonischen Produktion zu werden.

Das Laser Zentrum Nord hat zusammen mit dem Institut iLAS der TUHH im Jahr 2015 mit ca. 50 Mitarbeitern einen Umsatz von rund 5 Mio. € erwirtschaftet.

Abbildungen



Abb. 1: Das Concept Car „EDAG Light Cocoon“ ist ein Kompaktsportwagen mit einer nach dem bionischen Prinzip eines Blattes gestalteten, generativ hergestellten Karosseriestruktur in Skelettbauweise. Das Fahrzeug zeigt die Möglichkeiten eines generativ-hybrid gefertigten Space-Frame-Konzepts zur Konstruktion laststufengerecht ausgelegte Karosserien auf und eröffnet eine nachhaltige Option für eine Automobilfertigung der Zukunft. Die Außenhaut aus einem speziell entwickelten Textilmaterial ermöglicht die Integration eines LED-Beleuchtungssystems, das das gesamte Fahrzeug einbezieht und die textile Haut zur Projektionsfläche werden lässt. Der Fahrzeuglook lässt sich damit jederzeit verändern und trägt damit den Kundenwünschen nach Individualisierung in höchstem Maße Rechnung.



Abb. 2: Space-Frame-Demonstrator aus dem Bereich der A-Säule; Details (Profile und Knoten)

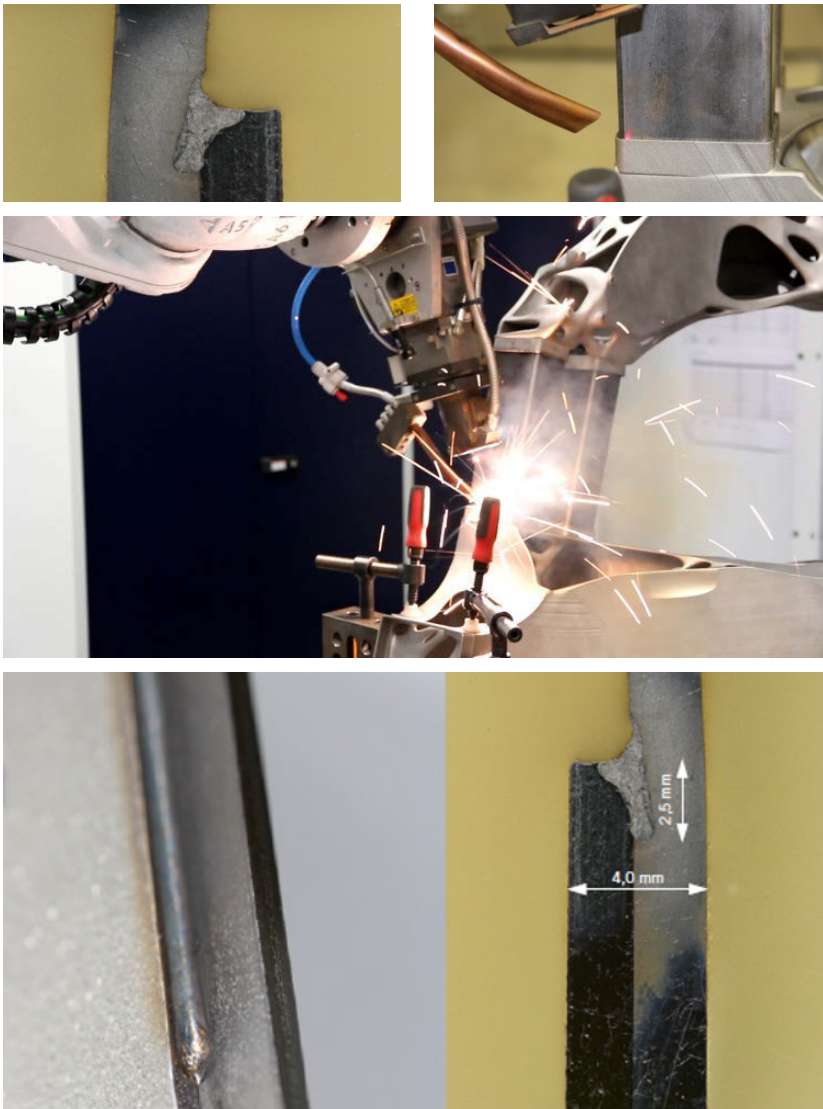


Abb 3. Laserschweißen: Die Laserschweißtechnik in Kombination mit dem prozessgerechten Bauteildesign ermöglicht ein hochpräzises Fügen der filigranen Leichtbaustrukturen bei minimalem Wärmeverzug.

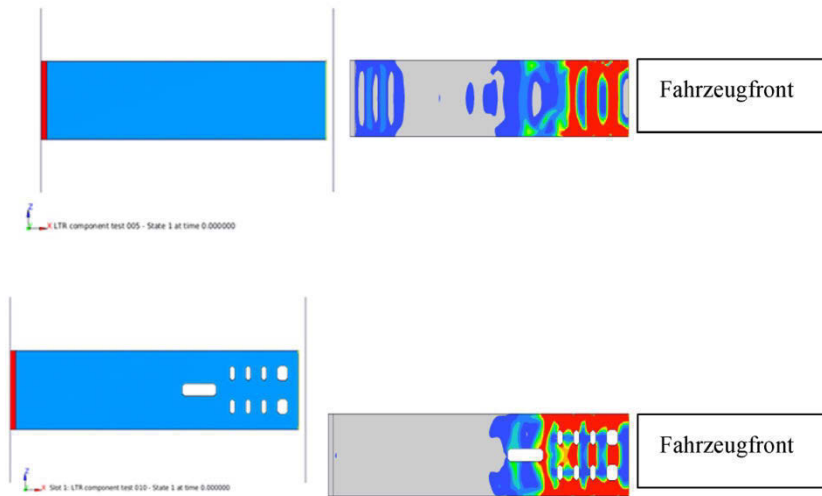


Abb. 4: Bauteiloptimierung durch Leichtbau: der Lochbildbeschnitt eines Längsträgers verbessert gezielt das Frontal-Crashverhalten

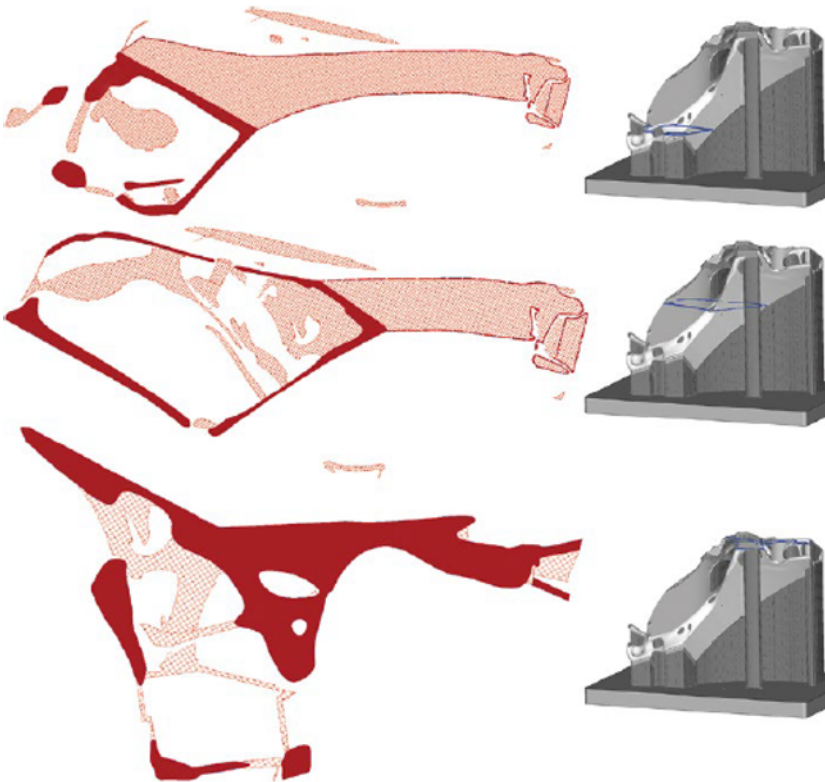


Abb. 5: Generative Fertigungstechniken erlauben durch den schichtweisen Aufbau in 75 µm Schritten die Herstellung hochkomplexer Bauteile. Oben: Schichtansicht 1500, Mitte: Schicht 3000, Unten: Schicht 5000, dunkelrot: Bauteil, hell rot: Stützstruktur

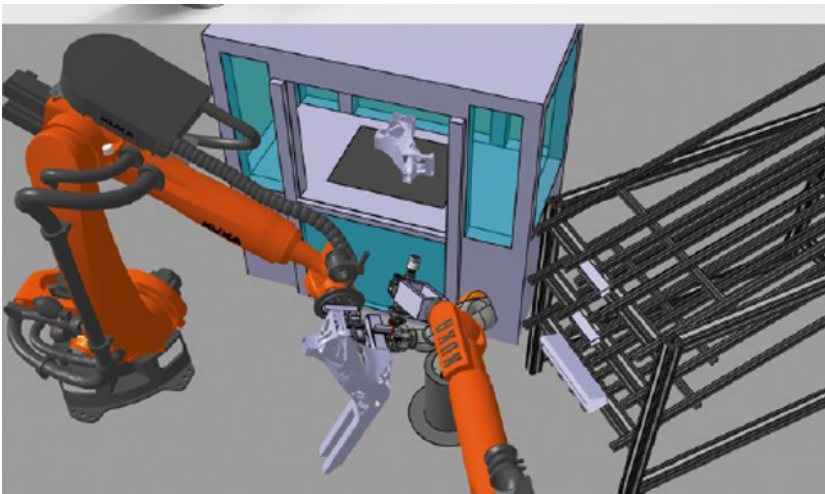


Abb. 6: Erstellung eines Space-Frames: das Zusammenfügen von on demand gefertigten LAM-Knoten und flexibel on demand gebogenen und 3D-beschnittenen Profilen erfolgt im Sinne einer Industrie 4.0 durch kommunizierende Roboter mit einer vorrichtungsarmen und somit investitionsminimalen Füge- und Handhabungstechnik.



Abb. 7: Zusammenfassung konzeptrelevanter Details – Fahrzeugleichtbaustruktur in flexibler Fertigung (2015).

Karosseriebautage Hamburg 2016

14. ATZ-Fachtagung

Tecklenburg, G. (Hrsg.)

2016, XI, 305 S. 274 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-14143-1