

3D-Druck macht Druck auf Lieferanten

Fertigung 4.0 schreibt die Wertschöpfungskette neu

Erik Hofmann, Katrin Oettmeier, Universität St. Gallen



Additive Fertigungsverfahren, weitläufig bekannt unter den Begriffen „3D-Druck“ oder „generative Fertigung“, gewinnen zunehmend an Popularität. Die relativ neuen Technologien versprechen ein vielfältiges Potenzial in diversen Bereichen. Anhand zweier Fallstudien aus der Praxis wird aufgezeigt, welche Auswirkungen ein Wechsel zur additiven Fertigung auf das Supply Chain-Management hat und wie der Weg zur Fertigung 4.0 erfolgreich bestritten wird.

Bei der additiven Fertigung wird das Material in der Regel Schicht für Schicht aufgetragen („gedruckt“), sodass am Ende ein dreidimensionales Produkt entsteht. Ursprünglich wurden 3D-Drucker für die automatisierte Entwicklung von Prototypen konzipiert. Mit dem voranschreitenden technologischen Fortschritt werden additive Verfahren jedoch zunehmend attraktiver für den industriellen Einsatz im größeren Maßstab. Falls sich die additive Fertigung durchsetzen sollte, könnten die Auswirkungen weit über reine Veränderungen in der Produktion hinausgehen. So besteht die Möglichkeit, dass die additive Fertigung als technologischer Treiber ganze Supply Chains in ihrer Struktur verändert. Es ist nicht auszuschließen, dass der 3D-Druck in Zukunft eine Welle des Re-Near-Shorings auslöst, was einer Rückverlagerung von Wertschöpfungsaktivitäten in Hochlohnländer – wie Deutschland oder die Schweiz – gleichkommt.

Bei der additiven Fertigung entsteht kaum Materialausschuss, da im Gegensatz zu klassischen trennenden Fertigungsverfahren (zum Beispiel Spanen oder Fräsen) kein Material abgetragen wird. Stattdessen werden Materialien nur dort angehäuft, wo sie gemäß dem digitalen Konstruktionsmodell des Bauteils erforderlich sind.

Neben trennenden Verfahren gibt es auch andere klassische Fertigungsverfahren wie beispielsweise das Fügen (Löten oder Schweißen) oder das Urformen (Spritzgießen). Der Vorteil der additiven Fertigungsverfahren gegenüber diesen Technologien liegt vor allem darin, dass sie es ermöglichen, nahezu jede denkbare Form zu kreieren. Dies ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung kleiner Losgrößen bis hin zur

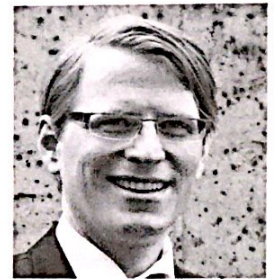
kundenindividuellen Produktion. Zudem kann durch die additive Fertigung eine höhere Homogenität der Bauteile (und damit auch Festigkeit bei gleicher oder sogar erhöhter Elastizität) erzielt werden als beispielsweise beim Löten oder Schweißen.

Einige Herausforderungen noch ungelöst

Trotz zahlreicher Potenziale bestehen jedoch noch diverse Herausforderungen für den industriellen Einsatz von additiven Fertigungsverfahren, welche es zu adressieren gilt. So sind aktuell die Rohstoffe für die additive Fertigung relativ aufwendig in der Herstellung, da besondere Materialeigenschaften gefordert sind. Beispielsweise muss das Kunststoffpulver für das Lasersintern eine sehr feine und regelmäßige Körnung haben, da sich mit zunehmender Feinheit genauere Bauteile erzeugen lassen. Diese und diverse weitere spezielle Anforderungen an die Materialeigenschaften führen derzeit dazu, dass nur eine begrenzte Auswahl an Materialien für die additive Fertigung geeignet ist. Beispiele für verschiedene Materialarten und dafür geeignete additive Fertigungsverfahren sind in Abbildung 1 aufgeführt.

Auch die Produktionsgeschwindigkeit des 3D-Drucks ist – im Vergleich zu etablierten Technologien – noch relativ gering. Deshalb benötigt die additive Fertigung insbesondere zur Herstellung von größeren Losgrößen aktuell noch wesentlich mehr Zeit als andere Verfahren.

Eine weitere große Herausforderung liegt in der Sicherstellung einer konstanten Bauteilqualität. Grund hierfür ist die hohe Sensibilität der Anlagen für die additive Fertigung, unter anderem hinsichtlich der Materialeigenschaften.



Prof. Dr. Erik Hofmann

Erik Hofmann ist Senior Lecturer und Vize-Direktor am Lehrstuhl für Logistikmanagement (LOG-HSG) an der Universität St. Gallen. Seine Forschung und Lehre deckt dabei schwerpunktmäßig Strategien, Märkte und Performance Measurement in Logistik und SCM ab. Funktional stehen dabei vor allem der Einkauf sowie die Logistik der Schweiz im Vordergrund seines Aktivitätenspektrums.

Kontakt

erik.hofmann@unisg.ch
Tel.: +41 71 2247295
www.logistik.unisg.ch

Materialien	Technologien	Detailgenauigkeit	Beständigkeit (mechanische Eigenschaften)	Oberflächen- güte (Glattheit der Oberfläche)
Kunststoff 	• Stereolithografie: Ein UV-Laser verfestigt selektiv ein flüssiges Fotopolymer (spezieller Kunststoff) an der Oberfläche eines Bades. Nach jeder Schicht senkt sich die Bauplattform ab, sodass das Objekt in dem Bad aufgebaut wird. • Multi-Jet Modeling: Druckköpfe sprühen auf eine Plattform gleichzeitig Stützmaterial und Fotopolymere, welche dann durch UV-Licht schichtweise erhärtet werden. Die Verwendung von verschiedenen Farben und Materialien ist möglich (Poly-Jet Modeling). • Binder-Jetting: Druckköpfe verkleben selektiv und schichtweise Kunststoffpulver mit einem Kleber (dem sogenannten „Binder“). Anschließend wird eine neue dünne Schicht Kunststoffpulver von einer Walze aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt aufgebaut ist. • Schmelzschiichtung (Fused Layer Modeling): Ein drahtförmiger, thermoplastischer Werkstoff wird durch eine beheizte Düse aufgeschmolzen und lokal aufgetragen. Das Bauteil entsteht durch das schichtweise Auftragen des geschmolzenen Kunststoffes. • Lasersintern: Ein Laser sorgt für ein selektives Schmelzen und Verbinden einer Schicht Kunststoffpulver. Anschließend wird mithilfe einer Walze eine neue Schicht Kunststoffpulver aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt aufgebaut ist.	▲ ▲ ▶ ▼ ▼	▼ ▼ ▶ ▲ ▲	▲ ▲ ▶ ▼ ▼
Sand 	• Binder-Jetting: Druckköpfe verkleben selektiv eine dünne Sandschicht mit einem Kleber (dem sogenannten „Binder“). Danach zieht eine Walze eine neue Sandschicht über die alte. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt aufgebaut ist. • Lasersintern: Ein Laser sorgt für ein punktuell Schmelzen und Verbinden eines kunststoffbeschichteten Formsandes. Danach wird mithilfe einer Walze eine neue dünne Sandschicht aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut ist.	▶ ▼	▶ ▲	▶ ▼
Metall 	• Binder-Jetting: Druckköpfe verkleben selektiv und schichtweise Metallpulver mit einem Kleber (dem sogenannten „Binder“). Die äußerst dünnen Pulverschichten werden von einer Walze nach jedem Klebevorgang neu aufgetragen. • Laserschmelzen: Ein Laser sorgt für das punktuell Schmelzen und Verbinden einer Schicht Metallpulver. Anschließend wird mithilfe einer Walze eine neue dünne Pulverschicht aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut ist. • Elektronenstrahlschmelzen: Ein Elektronenstrahl bringt eine Schicht Metallpulver punktuell zum Schmelzen. Anschließend wird mithilfe einer Walze eine neue dünne Pulverschicht aufgetragen und der Vorgang wiederholt. Die Schichten stapeln sich im Pulverbett aufeinander und verhärten.	▶ ▼ ▼	▶ ▲ ▲	▶ ▼ ▼
Keramik 	• Binder-Jetting: Druckköpfe verkleben selektiv und schichtweise Keramikpulver mit einem Kleber (dem sogenannten „Binder“). Die äußerst dünnen Pulverschichten werden von einer Walze aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt aufgebaut ist. • Lasersintern: Ein Laser sorgt für das punktuell Schmelzen und Verbinden einer Schicht Keramikpulver. Anschließend wird mit einer Walze eine neue dünne Pulverschicht aufgetragen. Der Vorgang wiederholt sich, bis das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut ist.	▶ ▼	▶ ▲	▶ ▼
Wachs 	• Material-Jetting: Druckköpfe sprühen flüssiges Wachs- und Stützmaterial auf eine Arbeitsfläche. Beim Abkühlen erhärten die aufgetragenen Materialien. Durch das kontinuierliche Wiederholen dieses Vorgangs wird das Objekt schichtweise aufgebaut.	▲	▶	▲

Legende

Abbildung 1: Überblick über Materialien und Technologien in der additiven Fertigung ^[1].

Da die Hersteller von Materialien und Maschinen für die additive Fertigung die geschilderten Problemfelder bereits aktiv adressieren, könnten die derzeitigen Limitationen mit Bezug zur additiven Fertigung künftig an Bedeutung verlieren.

Auf das Supply Chain-Management kann die additive Fertigung vielseitige Auswirkungen haben. Aufgrund der zunehmenden Globalisierung und reduzierten Wertschöpfungstiefen hat sich die Arbeitsteilung erhöht. So werden zum Beispiel Montagetätigkeiten häufig ausgelagert (Off-Shoring). Da sich mittels additiver Fertigung auch komplexe, in sich bewegliche Objekte fertigen lassen, können Montageschritte entfallen. Somit ermöglicht der Einsatz der Technologien eine Verkleinerung von Wertschöpfungsnetzwerken, unter anderem durch eine niedrigere Outsourcing-Quote. Auf diese Weise könnte die Komplexität von Supply Chains verringert werden. Zudem kann der industrielle „3D-Druck“ eine Verlagerung der Produktion zurück in Hochlohnländer bewirken (Near-Shoring), da die additive Fertigung weitestgehend automatisiert abläuft. Dies hätte eine Verkürzung von Supply Chains zur Folge. Ferner könnten sich durch eine lokale oder regionale Produktion die absoluten Transportmengen verringern und die Transportwege verkürzen, was sich positiv auf die CO₂-Bilanz auswirkt.

Die Supply Chain-Performance wird durch den Einsatz von additiven Fertigungstechnologien gesteigert, insbesondere durch eine höhere Prozesseffizienz sowie eine geringere Kapitalbindung. So ermöglicht die additive Fertigung eine höhere Flexibilität und Produktverfügbarkeit, geringere Transport- und Materialkosten sowie niedrigere Lagerkosten (aufgrund geringerer Fertigwarenbestände / Produktion nach Bedarf). Damit würde sie einen erheblichen Beitrag zur Zielerreichung im Supply Chain-Management leisten.

Im Folgenden wird anhand von Fallstudien aus der Luftfahrt- und Hörgeräteindustrie aufgezeigt, welche konkreten Veränderungen ein Wechsel zur additiven Fertigung im Supply Chain-Management zweier Industrieunternehmen bewirkt hat. Dabei werden insbesondere die Veränderungen in Bezug auf Supply Chain-Strukturen, -Prozesse und -Managementpraktiken beleuchtet.

Know-how-Aufbau und veränderte Zuliefererstrukturen

Liebherr Aerospace Lindenberg (kurz: Liebherr Lindenberg), ein Zulieferer der Luftfahrtbranche, arbeitet derzeit an der additiven

Serienfertigung diverser Metallteile (unter anderen Hebelprodukte). Erste additiv gefertigte Komponenten werden bereits in Flugzeugen erprobt. Durch den Wechsel auf die additive Fertigung zeichnen sich aus derzeitiger Sicht vor allem auf der Lieferantenseite bemerkbare Veränderungen in der Supply Chain-Konfiguration ab. Für die traditionelle Fertigung von Metallkomponenten bezieht Liebherr Lindenberg Fräsmaschinen von einem Maschinenhersteller und Schmiedeteile von verschiedenen Materiallieferanten. Dies wird in Abbildung 2 in der linken

Trotz zahlreicher Potenziale bestehen noch diverse Herausforderungen für den industriellen Einsatz von additiven Fertigungstechnologien.

Spalte veranschaulicht. Mit der Umstellung auf die additive Fertigung wird ein Teil der bestehenden Maschinen- und Materiallieferanten aus dem Wertschöpfungsnetzwerk verdrängt. An deren Stelle tritt ein Hersteller von speziellen 3D-Druckern, der gleichzeitig auch das Rohmaterial für die additive Fertigung (Metallpulver) liefert, wie Abbildung 2 in der rechten Spalte zeigt. Grund für diesen Wandel ist, dass das Metallpulver speziell auf die Maschinen zum Laserschmelzen (Selective Laser Melting, SLM) abgestimmt sein muss (beispielsweise Körnung), um die gewünschte Präzision beziehungsweise Bauteilqualität zu erzielen. Für die Zukunft strebt Liebherr Lindenberg die Qualifizierung eines weiteren Pulverlieferanten für die additive Fertigung an, um sich aus seiner derzeitigen Abhängigkeit vom Maschinenhersteller zu befreien. Um ihr Know-how im Bereich des 3D-Drucks auszubauen, ist Liebherr Lindenberg Mitglied im Direct Manufacturing Research Center (DMRC) in Paderborn. In diesem Forschungszentrum arbeiten neben universitären Forschern auch Hersteller von Pulver und Maschinen für die additive Fertigung sowie mehrere mögliche Anwender zusammen. Ziel des DMRC ist es, die Nutzung von additiven Fertigungstechnologien zur Herstellung industrieller Produkte voranzutreiben und zu verbessern. Derzeit sind keine Veränderungen



Katrin Oettmeier, M. Sc.

Katrin Oettmeier ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektmanagerin am Lehrstuhl für Logistikmanagement (LOG-HSG) an der Universität St. Gallen. Ihre Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf Trends und Entwicklungen in Logistik und Supply Chain-Management sowie auf die Auswirkungen der additiven Fertigung auf Wertschöpfungsnetzwerke.

Kontakt

katrin.oettmeier@unisg.ch
Tel.: +41 71 2247134
www.logistik.unisg.ch

auf der Kundenseite oder in der Zusammenarbeit mit anderen Produktionswerken innerhalb der Liebherr Aerospace aufgrund der geplanten Umstellung von einigen Metallteilen auf die additive Fertigung absehbar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Kundenzufriedenheit steigern wird: erstens, weil die additiv gefertigten Metallkomponenten teilweise auch ohne Designänderungen leichter sind als ihre traditionell hergestellten Pendanten. Dies ist ein großer Vorteil im Luftfahrtsektor, wo sich Gewichtsreduktionen unmittelbar in Treibstoffeinsparungen bemerkbar machen. Zweitens, weil diese Art der Fertigung eine Funktionsintegration (zum Beispiel Integration mehrerer Komponenten in ein Produkt „aus einem Guss“) ermöglicht und drittens, weil die Kunden verstärkt in die Entwicklung und das Design der Bauteile einbezogen werden.

**Engere Kundenintegration
in der Hörgeräteindustrie**

Bei Sonova, einem Schweizer Hersteller von Hörsystemen, ist aufgrund der Umstellung von der manuellen zur additiven Fertigung von kundenindividuellen Hörgeräteschalen eine

immer beliebter. Um diesem Trend aber die nötige Unterstützung zu verleihen, sind Direct Ear-Scanner nötig, mit deren Hilfe sich der Hörkanal unmittelbar scannen lässt. Diese stecken jedoch derzeit noch in der Entwicklung. Erst wenn die Ohrgeometriedaten sowie die weiteren Bestelldetails elektronisch beim Akustiker erfasst und übermittelt werden können, wird das E-Ordering an Bedeutung gewinnen. Dann lässt sich die Hörgeräteherstellung um etwa einen Tag beschleunigen. In der Folge kann durch den 3D-Druck die Performance in der Supply Chain signifikant gesteigert werden.

Fazit: Auf dem Weg zur Fertigung 4.0

Die Fallstudien aus der Hörgeräte- und Luftfahrtindustrie zeigen, dass mit dem Wechsel zur additiven Fertigung auch Auswirkungen auf Supply Chain-Strukturen, -Prozesse und -Managementkomponenten verbunden sind. Unternehmen müssen sich bei ihrer Entscheidung für oder gegen die additive Fertigung bewusst sein, dass der Einsatz dieser Technologien nicht nur in den internen Strukturen und Abläufen zu Veränderungen führen wird, sondern auch auf der Kunden- und Lieferantenseite (zum Beispiel, indem die Kunden stärker in die Wertschöpfung eingebunden und bestehende Lieferanten ausgetauscht werden oder entfallen). Entsprechend scheint eine klassische Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung der Investitionsentscheidung bei der additiven Fertigung wenig geeignet, da mögliche Potenziale in der Supply Chain nicht einbezogen werden. Eine Betrachtung der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership), die auch die Effekte auf die Supply Chain berücksichtigt, ist hier adäquater. Aufgrund des großen Potenzials ist davon auszugehen, dass die additive Fertigung – vernetzt mit anderen Technologien – einen zentralen Eckpfeiler der Fertigung 4.0 bildet.

Mit der Umstellung auf die additive Fertigung wird ein Teil der Maschinen- und Materiallieferanten aus dem Wertschöpfungsnetzwerk verdrängt.

veränderte Lieferantenstruktur und eine höhere Arbeitsteilung in der Produktion zu beobachten. Zudem hat der Wechsel zu einer zunehmenden Digitalisierung der Informationsströme auf Kundenseite geführt. Wurden früher die Ohrabformungen von Endkunden beim Akustiker abgenommen und physisch eingeschickt, scannt mittlerweile ein kleiner Teil von Sonovas Kunden (Akustiker) die Ohrabformungen vor Ort in der Filiale ein und sendet die 3D-Daten an das Unternehmen. Somit kann eine physische Lieferung gespart werden und die 3D-Modellierung des Im-Ohr-Hörgeräts schneller beginnen. Auch das E-Ordering von kundenindividuellen Produkten (elektronische Bestellsysteme) wird

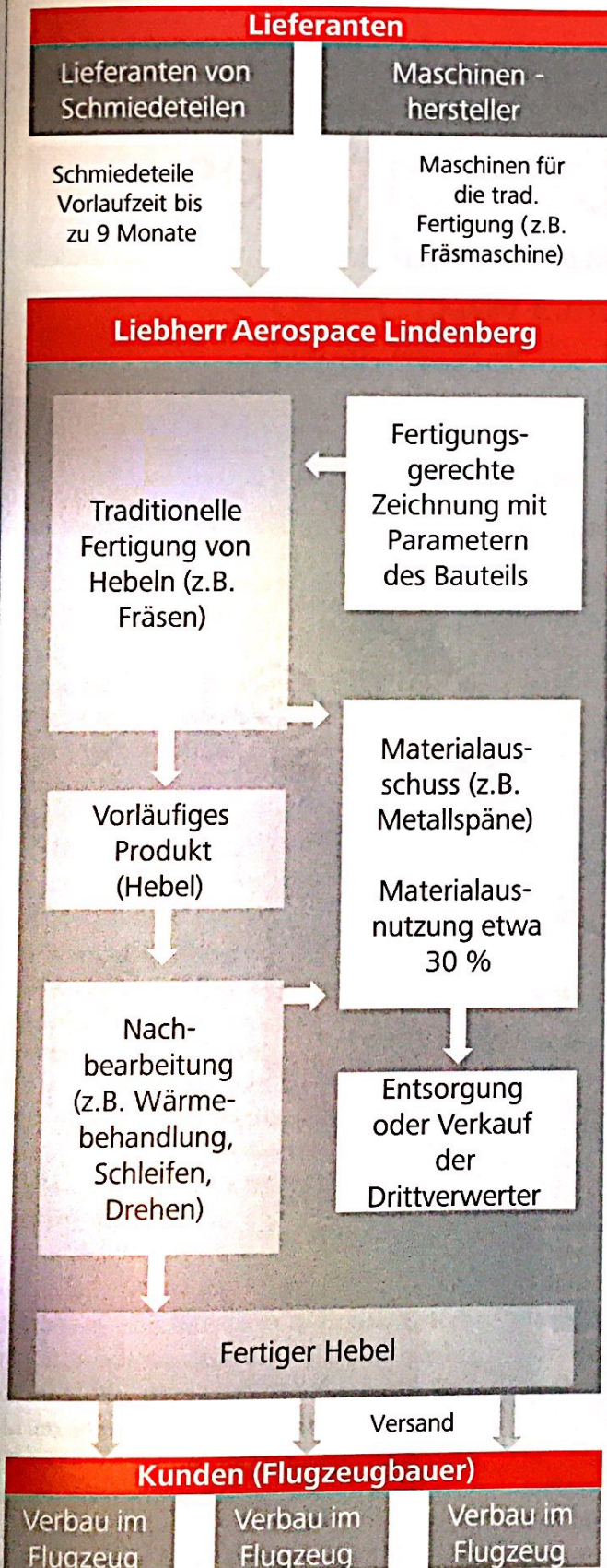


Das Audiointerview und die Literaturangaben zum Artikel finden Sie unter folgendem Link:
bit.ly/2atzmhu

Kurz und bündig

3D-Druck hat ein hohes Potenzial: weniger Materialüberschuss, personalisiertes Design, kürzere Produktionszeit. Der Wechsel zur additiven Fertigung verändert aber nicht bloß die internen Produktionsprozesse, sondern hat auch einen Einfluss auf die Supply Chain. Lieferanten werden im veränderten Wertschöpfungsprozess ausgetauscht oder gar überflüssig, Kunden können stärker integriert werden.

Supply Chain-Konfiguration ohne additive Fertigung



Supply Chain-Konfiguration mit additiver Fertigung

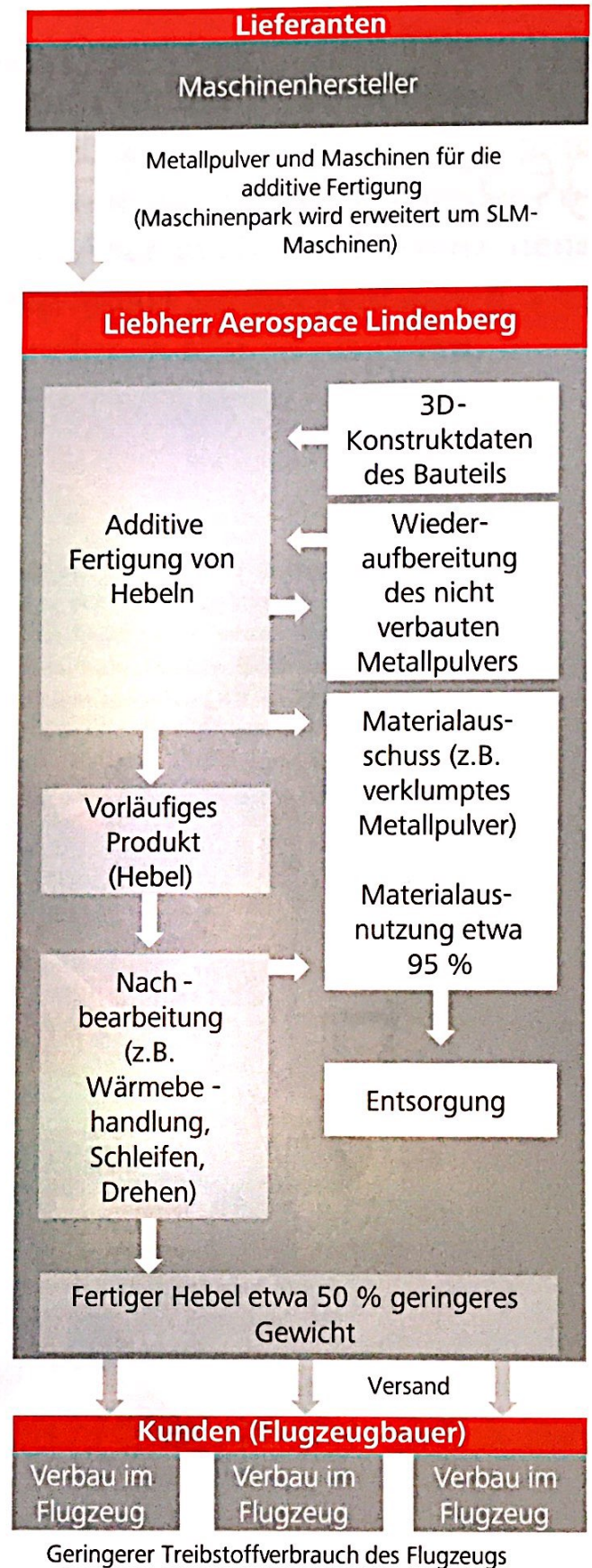


Abbildung 2: Supply Chain-Konfiguration von Liebherr Aerospace Lindenberg für Hebelprodukte mit und ohne Nutzung von additiven Fertigungstechnologien.