

Perspektiven additiver Fertigungsverfahren in der maritimen Industrie

Jan Ninnemann*

Hamburg School of Business Administration, Adolphsplatz 1, 20457 Hamburg, Deutschland

Abstract

Additive Fertigungsverfahren dürften schon in den nächsten Jahren gravierende Auswirkungen auf Branchengrenzen, Wettbewerbsformen und Geschäftsmodelle nach sich ziehen. Allerdings ist die Durchsetzung dieser neuen Technologie in den unterschiedlichen Industrien z. T. noch sehr unterschiedlich. Während im Bereich Aviation bereits konkrete Anwendungsfälle bestehen, befindet sich der 3D-Druck in der maritimen Wirtschaft zumindest in Deutschland noch in einer sehr frühen Phase. Anwendungsbeispiele finden sich u. a. in der Ersatzteillogistik und bei Sonderanfertigungen. Mit Blick auf die Seeverkehrs- und Hafenwirtschaft ist insbesondere der Aspekt einer möglichen Verkürzung globaler Herstellungsketten bzw. einer Dezentralisierung der Produktion durch additive Fertigungsverfahren relevant. Hier gilt es frühzeitig mögliche Rückwirkungen aus einer sinkenden Transportintensität zu antizipieren und die entsprechenden strategischen Weichenstellungen vorzunehmen.

Schlagwörter/Keywords:

3D-Druck, Additive Fertigung, Maritime Industrie, Industrie 4.0, Digitalisierung

Potenziale neuer Fertigungsverfahren

Die wachsende Durchdringung der industriellen Fertigung durch IT und Internet und die damit einhergehende Integration von physischer und digitaler Welt spielt auch für die maritime Wirtschaft eine zunehmend wichtige Rolle. Von wachsender Bedeutung sind dabei sogenannte additive Fertigungsverfahren, d. h. Verfahren bei denen auf Basis von digitalen Konstruktionsdaten durch das Ablagern von Material schichtweise ein Produkt oder Bauteil aufgebaut wird. Damit unterscheidet sich dieses auch als 3D-Druck bekannte Produktionsverfahren deutlich von konventionellen, abtragenden Fertigungsverfahren. Neben Plastikgrundstoffen und speziellen Kunstharzen kommen im industriellen 3D-Druck insbesondere Metalle und Metalllegierungen sowie Verbundwerkstoffe zum Einsatz.

Mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren lassen sich langlebige, sichere und vermarktungsfähige Produkte für Industrie/Gewerbe und Endverbraucher in kleiner wie großer Serie herstellen. Zwar sind die Einzelkosten der Produkte die mit Hilfe von 3D-Druckverfahren hergestellt werden häufig hö-

her¹, dennoch könnte diese neue Technologie die heutigen Standardverfahren der Massenfertigung perspektivisch ablösen. Charakteristisch für die Massenfertigung ist, dass die allererste Einheit u. a. aufgrund hoher Anlagekosten und langer Umrüstzeiten i. d. R. extrem teuer ist, jedoch mit jeder weiteren Einheit die Grenzkosten sinken. Derartige Skaleneffekte lassen sich mit additiven Fertigungsverfahren nicht erzielen, dafür verfügen diese im Vergleich zur Massenproduktion über eine vielfach höhere Flexibilität. Aus diesem Grund erweist sich der 3D-Druck als sehr wertvoll für die Fertigung von Einzelprodukten, beispielsweise für den Bau von Prototypen oder selten benötigten Ersatzteilen. Doch auch für größere Produktionsmengen wird die additive Fertigung zunehmend sinnvoll.

Additive Fertigungsverfahren in der maritimen Industrie

Aufgrund der beschriebenen Charakteristika ist die Durchsetzung additiver Fertigungsverfahren in den unterschied-

¹ Trotz deutlicher Effizienzsteigerungen liegen die Kosten im Vergleich zum klassischen Bau identischer Teile immer noch 15- bis 60-Mal so hoch (Quelle: Roland Berger, 2018).

* E-Mail: jan.ninnemann@hsba.de (J. Ninnemann)

lichen Industrien z. T. noch sehr unterschiedlich. Während in den Bereichen Luftfahrt und Automotive bereits konkrete Anwendungsfälle bestehen, befindet sich der Einsatz additiver Fertigungsverfahren in der maritimen Industrie in Deutschland noch in einer sehr frühen Phase. Dies liegt u. a. darin begründet, dass der Einsatz leichterer und damit verbrauchsärmerer Bauteile in der maritimen Industrie anders als z. B. im Luftfahrtsektor nur eine eher nachrangige Rolle spielt. Dennoch bieten additive Fertigungsverfahren eine Reihe von Anwendungsperspektiven für die maritime Industrie. Ein erster Schwerpunkt zeigt sich im Bereich der Ersatzteillogistik.

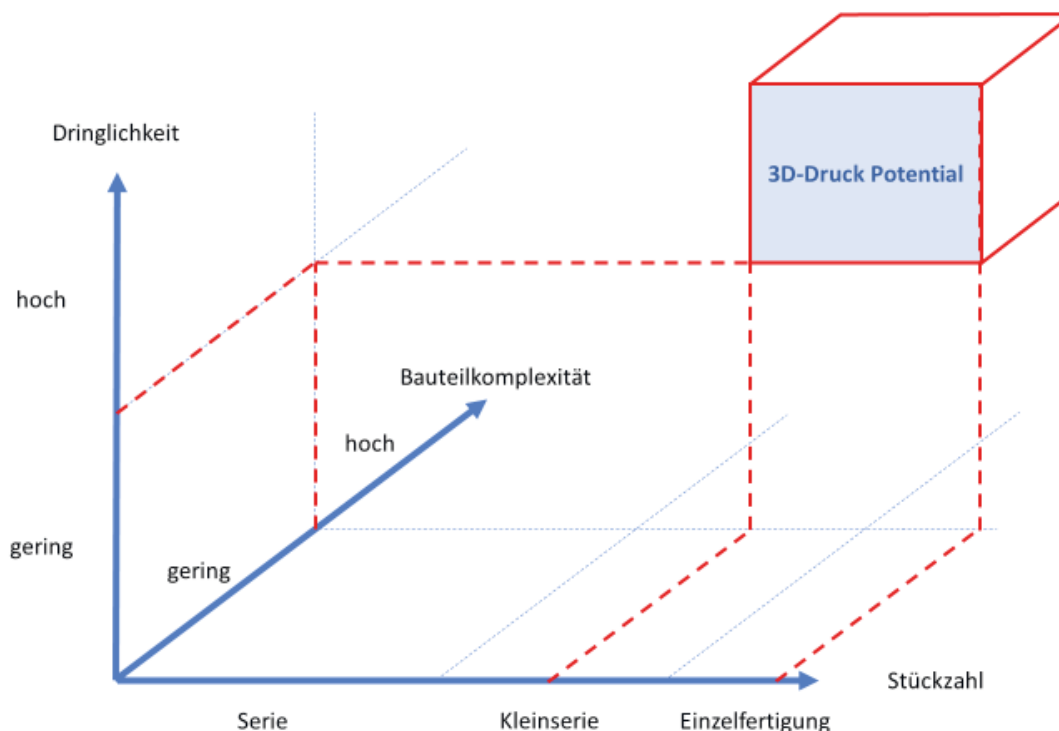
Die Herausforderung im Ersatzteilgeschäft liegt darin, die Versorgung auch für Bauteile und Komponenten sicherzustellen, die nicht mehr produziert werden. Dadurch befinden sich im Sortiment auch Ersatzteile, die pro Jahr nur in geringen Stückzahlen nachgefragt werden. Deren Produktion ist somit für Lieferanten zunehmend unwirtschaftlich – oftmals müssen Produktionsanlagen und Werkzeuge über Jahre hinweg vorgehalten und gewartet werden. Mit dem 3D-Druckverfahren kann jedes 3D-Ersatzteil weltweit „on demand“ kurzfristig bereitgestellt werden. Der Druck selbst kann nach Eingang der Designdefinition und der Bestellung in kürzester Zeit erfolgen, sodass damit eine erhebliche Beschleunigung der Ersatzteilerfertigung und -lieferung einhergeht. Da Ersatz- und Nachrüstteile auch nach langer Zeit anhand der gespeicherten Daten immer noch problemlos „nachgedruckt“ und ohne aufwendige Bevorratung gelie-

fert werden können, ist darüber hinaus auch keine Lagerhaltung erforderlich. Zugleich werden Kosten, Ressourcen und Umwelt geschont, da keine Materialüberschüsse entstehen, deren Wiederverwertung oder Entsorgung sehr aufwendig ist.

Weitere Anwendungsperspektiven finden sich im Bereich von Sonderanfertigungen. Der schichtweise Aufbau eliminiert prinzipiell Einschränkungen konventioneller Verfahren, wie zum Beispiel die Zugänglichkeit für abtragende Werkzeuge oder die Entnehmbarkeit aus einer Form. Dadurch können komplexe Geometrien und Hohlstrukturen in einem Schritt hergestellt werden, die konventionell aus vielen Einzelteilen zusammengefügt werden müssen. In additiven Verfahren hergestellte Komponenten/Bauteile ermöglichen darüber hinaus neue Formen, die u. a. zu einer höheren Energieeffizienz beitragen. Weiterhin erlauben sie die Herstellung von Teilen für enge Räume und lassen eine höhere Flexibilität sowie die Erfüllung individuelle Designwünsche der maritimen Kunden zu.

Auf Basis der beschriebenen Anwendungsperspektiven ergibt sich für die maritime Industrie derzeit ein 3D-Druck Potenzial, das sich wie in der nachfolgenden Matrix dargestellt einordnen lässt. Danach besteht vor allem dort Potenzial, wo Bauteile dringlich benötigt werden, extrem komplex sind und in geringen Stückzahlen hergestellt werden müssen.

Abbildung 1: Einordnung des 3D-Druck Potenzials



Quelle: Eigene Darstellung.

Anwendungsbeispiele in der maritimen Industrie

Trotz der beschriebenen Potenziale finden sich in der maritimen Industrie in Deutschland bislang nur wenig konkrete Anwendungsbeispiele im Bereich der additiven Fertigung. Die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt nutzt seit kurzem hauseigene 3D-Drucker zur Unterstützung bei der Herstellung von Schiffsmodellen für Tests (bspw. Propellergondeln) und kann dadurch Kosten sowie Durchlaufzeiten bei gleichbleibender Qualität sowie teilweise optimierter Konstruktion von Bauteilen generieren (Knabel, 2015; Neumeier, 2017). Darüber hinaus bestehen weitere Einzelinitiativen z. B. im Yachtbau sowie bei der Herstellung und Reparatur technischer Komponenten, allerdings ohne nennenswerte Referenzprojekte. Etwas anders stellt sich die Situation in den Niederlanden dar. Im Rahmen seiner Innovationsoffensive verfolgt der Hafenbetrieb Rotterdam das Ziel, den Hafen zu einem Knotenpunkt für den industriellen 3D-Druck auszubauen und sich durch die frühzeitige Fokussierung auf additive Fertigungstechniken Vorteile im Wettbewerb der Seehäfen zu sichern. Hierzu wurde im November 2016 das

sogenannte Rotterdam Additive Manufacturing LAB (RAM-LAB) als Fieldlab für den maritimen 3D-Druck gegründet. Zu vor konnten in einem Pilotprojekt bereits erste Erfahrungen im maritimen Umfeld gesammelt und potenzielle Anwendungsfälle für den Druck maritimer Bauteile identifiziert werden. Das Pilotprojekt wurde mit 16 Teilnehmern begonnen und hat sich inzwischen zu einem Konsortium mit mehr als 30 Unternehmen und Organisationen entwickelt. Außer Unternehmen mit Bezug zur maritimen Industrie nehmen auch Firmen aus anderen Industriesektoren am Projekt teil, u. a. Fokker (Aerospace) und Siemens (Softwareentwicklung). Zu den Initiatoren des Pilotprojekts zählen neben dem Hafenbetrieb Rotterdam auch das InnovationQuarter und der RDM Makerspace. Durch die Ansiedlung des Fieldlab im RDM Makerspace besteht darüber hinaus die Möglichkeit einer engen Vernetzung mit maritimen Start-Ups und Technologieunternehmen.

Erste Projekte wurden im Rahmen einer Projekt- und Testphase, deren Ergebnisse im Januar 2016 vorgestellt wurden, realisiert. Diese diente dazu den 3D-Druck von Bauteilen auf Machbarkeit und Sinnhaftigkeit zu testen. Dazu haben be-

Abbildung 2: Druck eines Propellers mit dem WWAM-Verfahren



Quelle: Eigene Aufnahme.

teiligte Unternehmen Bauteile vorgeschlagen, von denen sieben durch 3D-Druck realisiert wurden. Hierzu gehören gekühlte Ventil Sitz- sowie Distanzringe, eine Schiffsschraube sowie weitere Einzelkomponenten. Gearbeitet wurde bei diesem Testprojekt mit einfachen Materialien wie Nylon aber auch mit hochwertigen Rohstoffen wie PH-1 Pulver, Titan oder 316er rostfreiem Stahl. Im ersten Schritt wurden insbesondere Verfahren wie das Laserauftragsschweißen (Laser Cladding) sowie ein 3D-Sandguss-Verfahren eingesetzt. Mittlerweile befinden im RAMLAB zwei Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) Systeme im Einsatz. Im Gegensatz zu den bekannteren Verfahren aus dem Bereich Pulverbettbasierter Verfahren, dient hier Draht als Ausgangsmaterial, der durch einen Lichtbogen geschmolzen wird. Eine Anlage mit einer Größe von 4 x 3 m ist mit einem Manipulator ausgestattet, mit dem beispielsweise Schiffsschrauben gedruckt werden können. Ein weiterer Roboter kann über 6 m lange Schienen gleiten, etwa zum Schweißen von Lasthaken. Mit diesem System können Objekte mit einem Umfang von mehr als 1 m³ gefertigt werden. Ein Arbeitsschwerpunkt bildet dabei aktuell die Entwicklung des weltweit ersten nach dem 3D-Druckverfahren hergestellten Schiffspellers (Schiffsschraube). RAMLAB arbeitet hier gemeinsam mit den Partnern Damen Shipyards Group, Promarin, Autodesk und Bureau Veritas. Der erste Propeller wurde im Herbst 2017 fertiggestellt und auf einem Schiff von Damen Shiprepair Rotterdam getestet. Der Propeller mit einem Durchmesser von 1.300 mm wiegt ca. 190 kg. Die aktuelle Leistung liegt bei 4-5 kg „Druckfortschritt“ pro Stunde. Abbildung 2 zeigt den Propeller in der Entstehung.

Neben der Entwicklung in Rotterdam treiben auch andere maritime Cluster den Aufbau von Aktivitäten im 3D-Druck voran. In der Metropolregion Ulsan hat die südkoreanische Regierung Gelder in Höhe von 20 Mio. \$ für den Zeitraum 2017 bis 2022 bereitgestellt, um die Forschung im Bereich 3D-Druck im Schiffbau sowie maritimer Ausrüstungsgegenstände voranzutreiben (Krämer, 2016). Dieser Initiative haben sich bereits Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., Samsung Heavy Industries und Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering angeschlossen. In Singapur haben bereits 2014 einzelne Universitäten den Aufbau eigener Forschungszentren für den 3D-Druck vorangetrieben. So hat beispielsweise die Nanyang Technological University (NTU) in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen und starker Unterstützung aus der Politik für 150 Mio. \$ das Singapore Centre for 3D Printing (SC3DP) gegründet (Min, 2016).

Mögliche Rückwirkungen auf globale Transportketten

Die Auseinandersetzung mit dem Thema 3D-Druck ist für die maritime Industrie im Allgemeinen und die Seeverkehrs- und Hafenwirtschaft im Besonderen noch aus einem anderen Grund von hoher Relevanz. Die bisherigen Überlegungen zum Thema 3D-Druck liefern Grund zu der Annahme,

dass sich durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren langfristig weitreichende Rückwirkungen auf die Transportintensität in Folge einer Verkürzung globaler Herstellungs-ketten bzw. die Dezentralisierung der Produktion ergeben. Im Zuge einer Studie des IÖW konnte am Fallbeispiel einer Handschale nachgewiesen werden, dass Effizienzgewinne insbesondere bei dezentralem Druck in regionalen Zentren entstehen. Dagegen sind beim 3D-Druck „Zuhause“ heute noch zusätzliche Wertschöpfungsstufen in der Supply Chain für die Filamentherstellung und -vertrieb notwendig, die einen Einfluss auf die Länge und Komplexität der Transportkette haben.² Zudem wird die Wahrscheinlichkeit für das Aufschaukeln von Beständen durch falsche Vorhersagen über die Kundennachfrage (Bullwhip-Effekt) in der Supply Chain erhöht. Demgegenüber verschiebt sich bei der Produktion in regionalen Druckzentren das Ziel der Steuerung in der Transportkette in Richtung Ausnutzung von Mengendegressionseffekten bei der Auswahl der Transportmittel sowie einer möglichst hohen Konsolidierung der transportierten Mengen. Zudem werden im Fall von 3D-Druck überwiegend Rohstoffe transportiert, wodurch die Anzahl an Wertschöpfungsstufen tendenziell abnimmt. Dies erhöht den Massenstrom und begünstigt Transporte mit massenleistungsfähigen Transportmitteln wenn die entsprechende Infrastruktur gegeben ist. Einen wesentlichen Vorteil der 3D-Drucktechnologie stellt die Minimierung von Rücktransporten dar. Im Fall einer Produktion in regionalen Druckzentren werden die Handschalen erst nach dem Eingang der Kundenbestellung gedruckt. Damit wird eine Über- bzw. Unterproduktion aufgrund falscher Vorhersagen über die mögliche Endkundennachfrage minimiert. Aufgrund der nachfragegesteuerten Produktion erfolgt ein weitgehender Verzicht auf Lagerhaltung.

Abgeleiteter Handlungsbedarf für die Seeverkehrs- und Hafenwirtschaft

Aufgrund der möglichen Verkürzung globaler Herstellungs-ketten bzw. Dezentralisierung der Produktion durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren auch im Konsumgüterbereich ergeben sich entsprechende Handlungsbedarfe für die Seeverkehrs- und Hafenwirtschaft. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass ein ggf. rückläufiger Marktanteil herkömmlicher Massenprodukte dazu führt, dass das Umschlagvolumen vor allem im Containersegment in Zukunft keine signifikante Wachstumsperspektiven erwarten lässt. Zwar kommt eine an der TU Delft im Jahr 2015 durchgeführte Studie zu dem Ergebnis, dass eine nachhaltige Transportmengenreduzierung im globalen Containertransport durch die fortschreitende Verbreitung des 3D-Drucks derzeit noch nicht absehbar ist (Ye et al., 2015). Demgegenüber wird in

² 3D-Drucker für den Hausgebrauch müssen im Gegensatz zu industriellen Maschinen mit Filament anstatt mit Pulver bestückt werden.

anderen Veröffentlichungen über Rückgänge im Containerverkehr von bis zu 40 % „spekuliert“ (z. B. PWC, 2016). Ungeachtet dieser eher langfristig zu erwartenden Effekte besteht für die an der Containerlogistik beteiligten Akteure bereits heute die Notwendigkeit entsprechende strategische Weichenstellungen vorzunehmen.

Im Fokus stehen hier mögliche neue Geschäftsmodelle, wie zum Beispiel die Unterstützung von Kunden bei der Integration des 3D-Drucks in bestehende Wertschöpfungsnetzwerke oder die Spezialisierung auf das Thema „Digital Warehousing“. Für die Häfen besteht die Chance, sich als Plattform für 3D-Druck-Anwendungen zu positionieren. Plattformen mit deren Hilfe andere Unternehmen fertigen und kommunizieren werden in Zukunft eine zentrale Position im Wertschöpfungsnetzwerk einnehmen. Auch wenn bereits viele Unternehmen und Standorte um diese Position wetteifern, ist sie heute noch weitgehend unbesetzt. Ganz grundsätzlich kommt dem Plattforminhaber sehr viel Macht zu, denn die Produktion selbst wird mit der Zeit an Bedeutung verlieren. Erste Unternehmen errichten bereits Auftragsdruckerparks („Printer Farms“), die Produktion On-Demand letztlich zur Massenware machen werden. Akteure die auf diese Plattformen zugreifen steuern hierüber ihre Produktion dynamisch; sie speichern und verbessern auf den Plattformen Designentwürfe, überwachen die Rohstoffversorgung, bestellen Materialien nach und nehmen Kundenaufträge entgegen. Aufgrund ihrer Hub-Funktion und i. d. R. guten Verkehrsanbindung verfügen die Seehäfen über eine hohe Eignung als Plattform-Standort. Grundvoraussetzung bildet neben der Verfügbarkeit von entsprechenden Flächen auch der weitere Aufbau von Know-how in Verbindung mit einer weitreichenden Vernetzung.

Quellen

D’Aveni (2015), „3-D-Druck vor dem Durchbruch“, in: Harvard Business Manger, Juli 2015.

DVZ (2015), „Eine komplett neue Geschäftswelt“, 17. Juli 2015, S. 8.

Knabel (2015), „Kosten und Zeit sparen dank 3D Druck in der Schifffahrt“, www.3druck.com.

Krämer (2016), „Südkorea investiert in 3D-Druck im Schiffbau“, www.3d-grenzenlos.de.

Min (2016), „3D Printing in Singapore: the Future of Manufacturing“

Neumeier (2017), „Materialeinsparung durch 3D-Druck“, Vortrag vom 23.2.2017.

Petschow et al. (2014), „Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit“.

PWC (2015), „Turning additive manufacturing into business“, Industry white paper, December 2015.

PWC (2016), „s+b Trend Watch“.

Roland Berger (2018), „Advancements in metal 3D printing“.

Ye et al. (2015), „The Impact of 3D Printing on the World Container Transport“, Februar 2015.