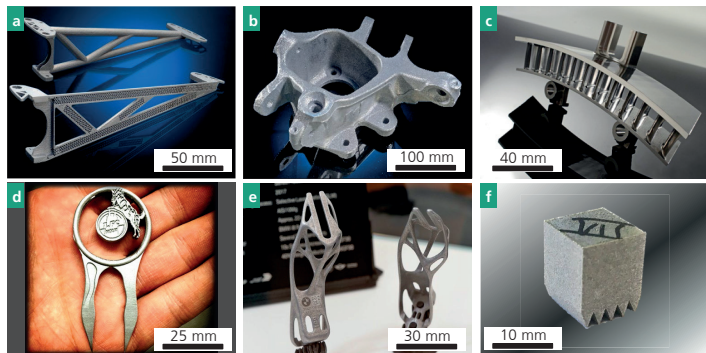


1 Einleitung

Die Gesellschaft steht vor zunehmenden Herausforderungen: Megatrends wie Klimawandel, Digitalisierung und Ressourcenknappheit tangieren dabei das einzelne Individuum in gleichem Maße, wie Industrie und Wissenschaft [1, 2]. Letztgenannte stehen in der Verantwortung sich diesen Herausforderungen zu stellen, Lösungen zu entwickeln und dabei gleichzeitig den stetig wachsenden Anforderungen der Konsumenten im Hinblick auf Produktindividualisierung und Nachhaltigkeit gerecht zu werden [3].

Auf dem Gebiet der Fertigungstechnik bieten additive Fertigungsverfahren im Allgemeinen und das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) im Speziellen das Potential, einen maßgeblichen Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderungen zu leisten: Das Versprechen einer ressourcenschonenden, werkzeuglosen Fertigung metallischer Bauteile mit nahezu beliebig komplexer Geometrie und einem großen Maß an Flexibilität bietet ein enormes Potential für vielfältige Anwendungen wie bspw. dem Leichtbau durch topologieoptimierte Strukturen, der Funktionsintegration zur Verkleinerung der Anzahl notwendiger Fertigungsschritte und Zusatzkomponenten oder der flexiblen Fertigung kundenindividueller Produkte.

Bild 1: Mittels LPBF gefertigte Bauteile
 a) Querlenker (Fraunhofer ILT)
 b) Radträger (BMW Group)
 c) Leitschaufelcluster (MAN Energy Solutions)
 d) Golf Pitchgabel (Fraunhofer ILT)
 e) Dachhalterung für BMW i8 Roadster (BMW Group)
 f) LPBF-Probekörper (Fraunhofer ILT)



Die möglichen Anwendungsfelder sind branchenübergreifend, wie anhand verschiedener Beispiele aus der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt, dem Turbomaschinenbau oder der Medizintechnik gezeigt werden kann (Bild 1). Lange Zeit nur als Verfahren für den Prototypenbau und die Fertigung von Kleinstserien geltend, konnte in der jüngeren Vergangenheit bereits an mehreren Anwendungsfällen der wirtschaftliche Einsatz des LPBF in der Serienfertigung demonstriert werden [4, 5].

Der großflächigen Anwendung des Fertigungsverfahrens in der Serienfertigung stehen allerdings nach wie vor wesentliche Herausforderungen gegenüber: Neben produktionstechnischen Aspekten wie bspw. einer Vergrößerung des Automatisierungsgrads oder der Schaffung standardisierter, digitaler Schnittstellen zur Integration von LPBF-Anlagen in industrielle Produktionsumgebungen, betreffen die Defizite in Bezug auf den LPBF-Fertigungsprozess vor allem die relativ hohen Kosten des Verfahrens, die noch nicht sichergestellte, gleichbleibende und geometrieunabhängige Bauteilqualität und die mangelnde Robustheit und Prozesssicherheit [6 bis 8]. Im Rahmen einer Umfrage unter den Mitgliedern des Industriearbeitskreises „Light Alliance“ werden insbesondere die Produktivität, die Sicherstellung eines fertigungsgerechten Produktdesigns sowie die Qualitätssicherung als wesentliche Herausforderungen genannt [9].

Seit der Entwicklung des LPBF Verfahrens Ende der 1990er Jahre [10] sind zur Bewältigung der beschriebenen Herausforderungen unterschiedliche Weiterentwicklungen der LPBF-Anlagentechnik vollzogen worden: Dazu zählen bspw. der parallele Einsatz mehrerer Laser-Scanner-Einheiten in einer LPBF-Anlage [11], die Vergrößerungen des Bauraums [12], Vergrößerungen des Automatisierungsgrades [13], die Integration von Systemen zur Prozessbeobachtung [14] oder die Erweiterung des verarbeitbaren Werkstoffportfolios [15]. Bei den Weiterentwicklungen wurde sich dabei vornehmlich auf die Anlagenhardware konzentriert, während die Prozessführung und Datenaufbereitung bisher weitgehend unverändert geblieben ist. So erfolgt bspw. die Qualifizierung von Prozessparametern anhand primitiver Probekörper (Bild 1f), die dann auf beliebig komplexe Geometrien übertragen werden.[6]

Mit Richtlinien zu „Design for Additive Manufacturing“ (DfAM) soll die Befähigung der Anwender zur vollständigen Ausnutzung der Geometriefreiheit des Verfahrens sichergestellt werden, indem bspw. bionische Strukturen oder konventionell nicht herstellbare Designs realisiert werden. Gleichzeitig ergeben sich im Hinblick auf eine fertigungsgerechte Konstruktion wesentliche Einschränkungen, wie z.B. die Notwendigkeit von Stützstrukturen ab Überhangwinkeln von 45°, minimal herstellbare Wandstärken von 0,4 mm und spezifische Anforderungen an die Bauteilorientierung zur Sicherstellung eines robusten Fertigungsprozesses [16]. Im Widerspruch zur vielfach beworbenen Flexibilität und Geometriefreiheit müssen im Konstruktionsprozess also die Restriktionen der LPBF-Prozessführung berücksichtigt werden. Zielgrößen wie Bauteilqualität, Produktivität und Prozesssicherheit gelten dabei zudem als kontroverse Forderungen [17].

Aus den beschriebenen Umständen und Widrigkeiten ergibt sich der Bedarf, die konventionelle LPBF-Prozessführung hin zu einer adaptiven Prozessführung weiterzuentwickeln, bei der durch eine geometriegetriebene Anpassung der LPBF-Bearbeitungsstrategien und -Prozessparameter die Bauteilqualität und Prozessrobustheit vergrößert, die Menge benötigter Stützstrukturen und damit die Konstruktionsrestriktionen verkleinert sowie die Aufbaurate vergrößert werden soll.

Die Ansätze zur adaptiven Prozessführung werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit an der Titanlegierung TiAl6V4 demonstriert, da diese bereits mittels LPBF verarbeitet werden kann und in Branchen mit hohen Anforderungen an eine gleichbleibende Bauteilqualität und Prozesssicherheit (Medizintechnik, Luft- und Raumfahrtindustrie, Rennsport) eingesetzt wird. Bei der Erarbeitung der Ansätze zur adaptiven Prozessführung wird jedoch eine zukünftige Übertragbarkeit auf weitere Werkstoffe berücksichtigt.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung und Technik gegeben. Basierend darauf wird die Problemstellung, die Forschungsfragen sowie die Vorgehensweise im Rahmen dieser Arbeit abgeleitet.