

1 Einleitung

Der Umgang mit zunehmend knapper werdenden natürlichen Ressourcen, insbesondere Mineralien, Metallerzen, Biomasse sowie fossilen Energieträgern ist ein zentrales Zukunftsthema für unsere Gesellschaft. Weltweit verdoppelte sich der Rohstoffverbrauch im Zeitraum 1980 – 2010, während das oft als Treiber für Beschäftigung und Wohlstand geltende Wirtschaftswachstum gemessen am weltweiten realen Bruttoinlandsprodukt im gleichen Zeitraum um das Dreifache angestiegen ist. Aus ökologischer, wie auch ökonomischer Sicht besteht ein großes Interesse den positiven Trend des Wirtschaftswachstums von der Rohstoffnutzung zu lösen. [1 bis 3] Diese Entkopplung ist in Deutschland, wie auch anderen führenden Industrienationen ein ressourcenpolitisches Ziel, das durch die Rohstoffproduktivität (Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt zu Rohstoffverbrauch) gemessen werden kann. Neben der Senkung des Energie- und Materialverbrauchs sind auch erweiterte Maßnahmen zur Steigerung von Produktlebenszyklen bis zur Verwertung von Reststoffen für die ganzheitliche Betrachtung der Effizienz von Bedeutung. [4]

In Deutschland stellen die Materialaufwendungen bestehend aus Materialverbrauch und Handelsware durchschnittlich mit einem Anteil von 56,2 % am Bruttoinlandsprodukt die größte Kostenposition im verarbeitenden Gewerbe dar und nehmen damit einen großen Stellenwert ein. [5] Durch die effiziente Nutzung von Ressourcen können Unternehmen somit nicht nur die Umwelt schonen, sondern auch ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern. Für die damit einhergehenden Herausforderungen und kontinuierlich steigenden Anforderungsprofile an Bauteile und ihre Lebensdauer nimmt die Oberflächenveredelung eine Schlüsselrolle ein.

So haben Bauteile mit dem Hintergrund einer gesteigerten Effizienz und Wirtschaftlichkeit eine längere Haltbarkeit sowie Lebensdauer zum Ziel, die jedoch in Folge von Schädigungsprozessen wie Korrosion und Verschleiß verkürzt wird. In der technischen Praxis stellt die oberflächennahe Randzone den am höchsten beanspruchten Bereich eines Bauteils dar. Verschleiß-, Korrosions- und Temperaturbeanspruchungen führen in der Regel an der Oberfläche oder oberflächennahen Bereichen zu Werkstoffschädigungsprozessen, die in Kombination mit nicht an den Anwendungsfall angepassten physikalischen Eigenschaften der äußeren Bauteilrandzone zu ca. 85 % aller Schadensfälle führen [6]. Nach einer Studie von NACE International aus dem Jahr 2016 beträgt der weltweite verursachte Schaden allein durch Korrosion 3,4 % des globalen Bruttoinlandsprodukts [7]. Anstatt einen kostenintensiven Hochleistungswerkstoff für die Herstellung des Bauteilkörpers zu verwenden, kann zum Schutz der Randzone eine Beschichtung aufgetragen und somit kostengünstig lokal Oberflächeneigenschaften eines

Hochleistungswerkstoffe an der gefährdeten Funktionsfläche des Bauteils eingestellt werden.

Abhängig von den geforderten Oberflächeneigenschaften können unterschiedliche Beschichtungsverfahren eingesetzt werden, die als Bestandteil einer bestehenden Prozesskette auch aufgrund der Anforderungen an vor- und nachgelagerte Prozessschritte zu deutlichen Unterschieden in der Wirtschaftlichkeit für die Herstellung des Bauteils führen. Im Unterschied zu galvanotechnischen Verfahren und Thermischen Spritzverfahren kann beim Laserauftragschweißen (LA) aufgrund einer schmelzmetallurgischen Anbindung der Beschichtung auf eine aufwendige Vorbearbeitung des Grundkörpers zur Steigerung der Haftfestigkeit verzichtet werden. Jedoch sind im Verhältnis zu bestehenden Beschichtungsverfahren die mittels Laserauftragschweißen erreichbaren Flächenraten für die Bearbeitung von Oberflächen zu gering und die erzielbaren Schichtdicken zu groß. Durch die Herstellung dünnerer Beschichtungen mit höherer Flächenrate bietet das neuartige Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) als eine Variante des Laserauftragschweißens ökonomische und ökologische Vorteile hinsichtlich des Material- und Bearbeitungsaufwands von Bauteilen.

Darüber hinaus ist die Maßhaltigkeit der aufgetragenen Beschichtung für die Erfüllung von technischen Funktionen der Bauteile von Bedeutung, für welche neben tolerierten Maß-, Form- und Lageabweichungen auch Anforderungen an die geometrische Beschaffenheit der Beschichtung gestellt werden. Oftmals werden diese Anforderungen erst durch eine aufwändige Nachbearbeitung der beschichteten Bauteile mittels spanabhebender Verfahren, wie z. B. dem Schleifen oder Drehen erreicht, wodurch ein großes Interesse an Beschichtungen mit möglichst geringen Gestaltabweichungen im Vergleich zur angeforderten geometrischen Oberfläche besteht.

Im Hinblick auf die Bedeutung des neuartigen EHLA-Verfahrens für eine effiziente Prozesskette bestehend aus den Schritten Vorbearbeitung, Beschichtung und Nachbearbeitung sind bislang keine systematischen Untersuchungen zu der erforderlichen Oberflächenbeschaffenheit von Bauteilen und die im Prozess erzielbare Oberflächenbeschaffenheit von Beschichtungen durchgeführt worden. Demzufolge existiert keine Kenntnis über das Anforderungsprofil der Vorbearbeitung und kein Prozessverständnis hinsichtlich der Wirkzusammenhänge von Prozesseinflussgrößen auf die erzielbare Oberflächenbeschaffenheit von EHLA-Beschichtungen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erforschung dieser Wirkzusammenhänge. Die Untersuchungen werden an unterschiedlichen technischen Oberflächen durchgeführt, die mittels Drehens, Schleifens und Sandstrahlens vorbearbeitet sind. Die Charakterisierung der Oberflächenbeschaffenheit der applizierten Beschichtungsflächen erfolgt mittels Weißlichtinterferometers und Auswertung der Rauheitskenngrößen R_a , R_z sowie S_a . Das Beschichtungsvolumen oberhalb einer Schnittebene wird durch das Materialspitzenvolumen $V_m(p)$ ermittelt und ist für die Nachbearbeitung hinsichtlich des abzutragenden

Materialvolumens von Bedeutung. Mit der anschließenden Zerlegung der Beschichtungsoberfläche in wellenlängenabhängige Anteile werden unterschiedliche Strukturgrößen dargestellt und ihre Entstehungsursachen analysiert.