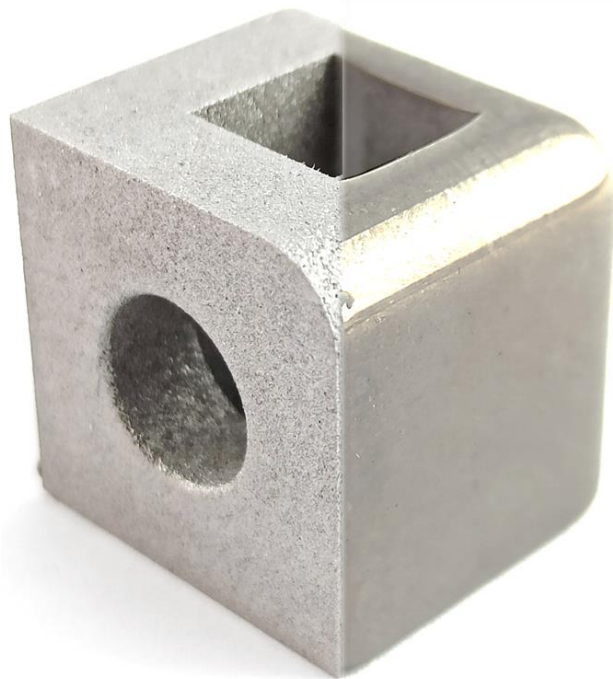


Benchmark-Analyse zu Nachbearbeitungsverfahren in der additiven Fertigung



Wie sind geeignete Nachbearbeitungsverfahren auszuwählen?

Die additive Fertigung wird bereits für die ersten Serienanwendungen eingesetzt. Je höher die Anforderungen an die additiv gefertigten Bauteile ausfallen, desto wichtiger werden die Verfahren zur Nachbearbeitung. Hierfür haben sich in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Nachbearbeitungsverfahren auf dem Markt etabliert, die jeweils verfahrensspezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Diese gilt es bei der Auswahl eines für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Nachbearbeitungsverfahrens zu berücksichtigen.

Werden Nachbearbeitungsverfahren miteinander verglichen, erfolgt dies typischerweise ausschließlich anhand der erzielbaren Oberflächenrauigkeit sowie der Wirtschaftlichkeit. Vielen ist nicht bewusst, dass mit jedem Nachbearbeitungsverfahren eine gute Oberflächenrauigkeit erzielt werden kann, indem

Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken

Universität Bayreuth | Universitätsstraße 30 | 95447 Bayreuth

www.3dfranken.de

Projektleitung: Christian Bay | 0921 78516-226 | christian.bay@uni-bayreuth.de

dieses lange und intensiv eingesetzt wird. Dadurch wird allerdings auch die Form- und Maßhaltigkeit in Folge der Kantenverrundung und des Materialabtrags der additiv gefertigten Bauteile beeinflusst.

Diese Wechselwirkungen zwischen erzielbarer Oberflächenrauigkeit sowie der damit einhergehenden Kantenverrundung und dem Materialabtrag bei verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren untersucht der Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth in Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Prozessinnovation des Fraunhofer IPA im Rahmen einer Benchmark-Analyse.

Ablauf der Benchmark-Analyse

Als Vorbereitung für die Benchmark-Analyse wurden würfelförmige Prüfkörpern aus dem Werkstoff TiAl6V4 mittels Laserstrahlschmelzen (Schichtdicke 20 μm) gefertigt, vgl. Abbildung 1. Die Prüfkörper wurden im Anschluss mittels Bandsäge von der Bauplatte getrennt und die prozessbedingt notwendigen Stützstrukturen manuell entfernt.

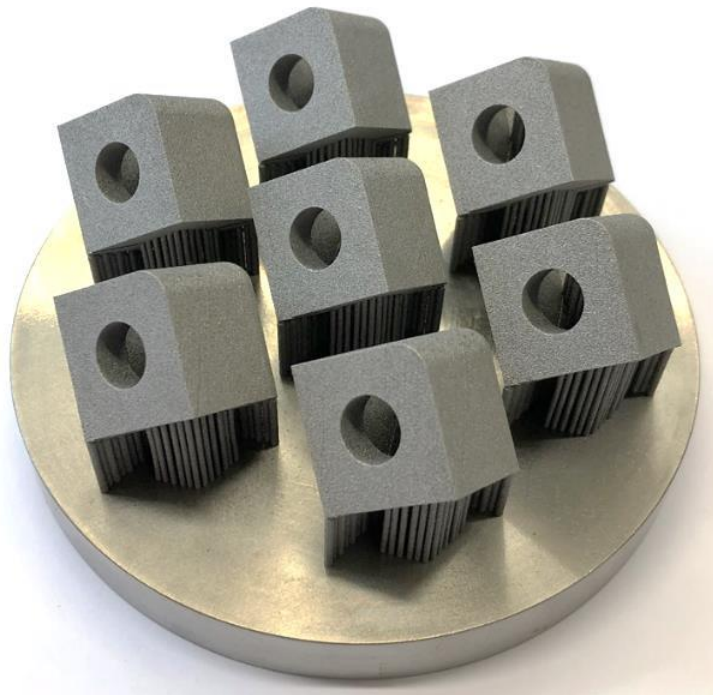


Abbildung 1: Bauplatte mit additiv gefertigten Prüfkörpern aus TiAl6V4 als Basis für die Benchmark-Analyse zum Vergleich verschiedener Nachbearbeitungsverfahren

Die Prüfkörper wurden jeweils im Ausgangszustand sowie nach der Anwendung eines bestimmten Nachbearbeitungsverfahrens hinsichtlich Oberflächenrauigkeit, Kantenverrundung und Materialabtrag untersucht (vgl. Abbildung 2). Dabei wurde die Oberflächenrauigkeit jeweils an einer im

Fertigungsprozess schräg nach oben (Upskin-Fläche) und an einer schräg nach unten gerichteten Fläche (Downskin-Fläche) erfasst. Im Rahmen der beschriebenen Vorgehensweise wird ausschließlich auf den Kennwert S_a (mittlere arithmetische Höhe des Rauigkeitsprofils) eingegangen. Dabei handelt es sich um eine flächenbezogene Erweiterung des Linienparameters R_a (arithmetischer Mittelwert des Rauigkeitsprofils). Die Kantenverrundung wurde pro Prüfkörper jeweils an drei Messpositionen einer Kante erfasst. Zur Bestimmung des Materialabtrags wurden pro Prüfkörper alle Außenflächen jeweils durch eine Ebene angenähert sowie der Abstand der jeweils gegenüberliegenden Ebenen messtechnisch bestimmt.

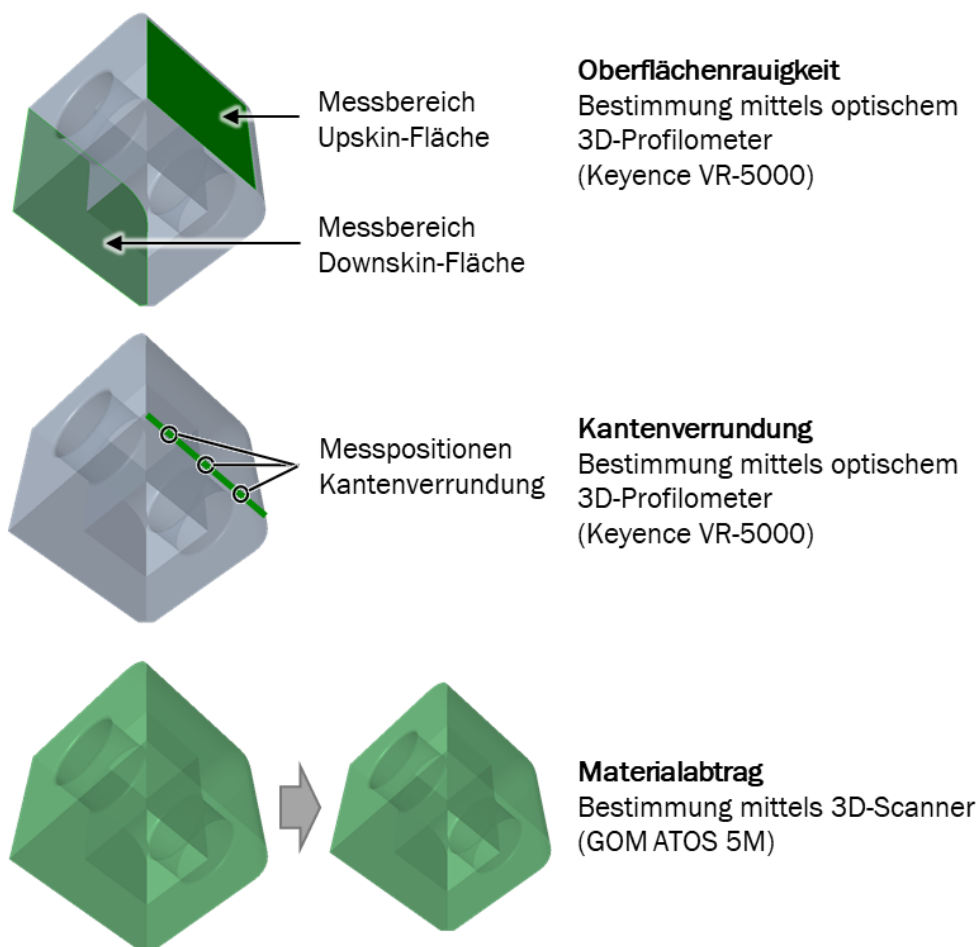


Abbildung 2: Untersuchte Prüfkörpereigenschaften zum Vergleich von verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren

Zum aktuellen Zeitpunkt wurden folgende Nachbearbeitungsverfahren durch verschiedene Anbieter (A1–A7) durchgeführt und die Prüfkörper analysiert:

- Mikrostrahlen mit verschiedenen Strahlmedien (A1–A2)

Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken

Universität Bayreuth | Universitätsstraße 30 | 95447 Bayreuth

www.3dfranken.de

Projektleitung: Christian Bay | 0921 78516-226 | christian.bay@uni-bayreuth.de

- Plasmapolieren (A3)
- Gleitschleifen mit verschiedenen Schleifparametern (A4–A7)

Den Anbietern wurde zuvor mitgeteilt, welche Eigenschaften untersucht sowie wie und an welchen Positionen diese messtechnisch erfasst werden. Die Nachbearbeitungsverfahren der einzelnen Anbieter wurden jeweils bei drei Prüfkörpern angewandt und daraus ein arithmetischer Mittelwert gebildet.

Ergebnisse der Benchmark-Analyse

Die durch die Nachbearbeitungsverfahren der jeweiligen Anbieter beeinflussten Eigenschaften Oberflächenrauigkeit, Kantenverrundung und Materialabtrag sind in Abbildung 3 abgebildet.

Durch die beim Fertigungsprozess gewählte, vergleichsweise geringe Schichtstärke von 20 µm besitzen die Prüfkörper im Ausgangszustand einen $S_a = 7,8 - 8,3$ µm und eine Kantenverrundung von ca. 120 µm.

Durch das Mikrostrahlen der Prüfkörper konnte die Oberflächenrauigkeit um durchschnittlich 46 % reduziert werden. Beim Einsatz eines abrasiven Strahlmittels (A1) wurden geringfügig bessere Werte erreicht. Dafür fiel bei diesem Strahlmedium die Kantenverrundung und der Materialabtrag auch geringfügiger höher aus. Durch das Mikrostrahlen mit einem sphärischen Strahlmedium (A2) konnte sogar die Kantenverrundung im Vergleich zum Ausgangszustand verbessert werden. Dies wird auf ein gezieltes senkrecht Strahlen auf die Außenflächen zurückgeführt, wodurch die Kanten schärfer abgebildet werden.

Die beim Plasmapolieren erzielte Oberflächenrauigkeit liegt im Bereich des Mikrostrahlens. Bei der Messung des entsprechenden Materialabtrags wurde mit ca. 110 µm die geringste Form- und Maßhaltigkeit detektiert. Besonders auffallend ist die hohe Standardabweichung von 60 µm.

Durch die Anwendung des Gleitschleifens bei den Anbieter A4 bis A7 wurden stark unterschiedliche Oberflächenrauigkeiten erzielt. Beispielsweise wurde S_a durch den Anbieter A4 um durchschnittlich 5 % und durch den Anbieter A7 um durchschnittlich 92 % im Vergleich zum Ausgangszustand gesenkt. Gleichzeitig fiel durch das längere und intensivere Gleitschleifen bei Anbieter A7 im Vergleich zu Anbieter A4 die Kantenverrundung und der Materialabtrag auch um das 4,6- bzw. 3,6-fache höher aus. Dieser gegensätzliche Zusammenhang zwischen Oberflächenrauigkeit sowie Kantenverrundung und Materialabtrag ist auch bei den anderen Anbietern des Gleitschleifens A5 und A6 festzustellen.

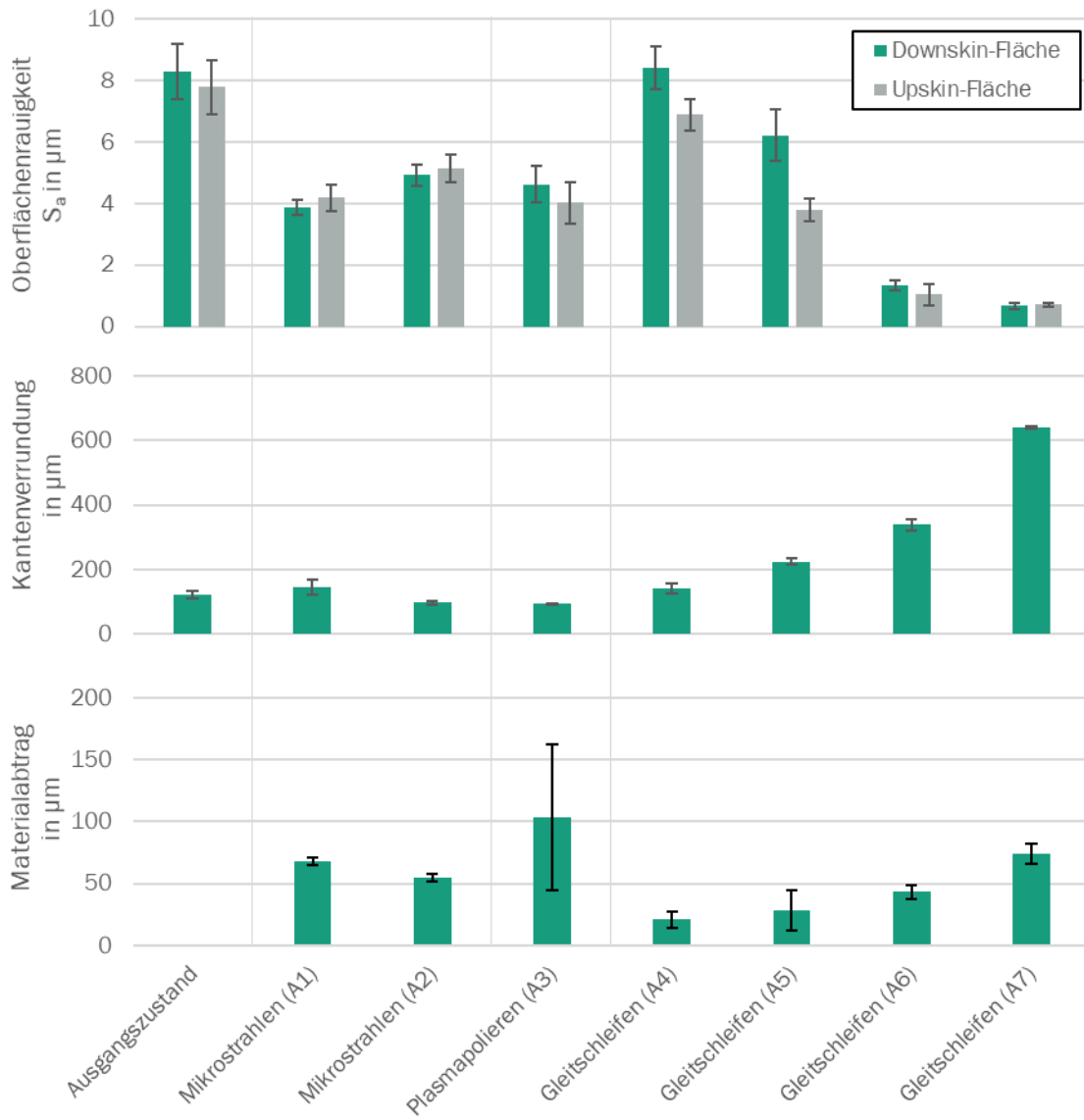


Abbildung 2: Ergebnisse der Benchmark-Analyse: Oberflächenrauigkeit, Kantenverrundung und Materialabtrag in Abhängigkeit der durch die verschiedenen Anbieter durchgeführten Nachbearbeitungsverfahren

Im Gegensatz zu dem elektrochemischen Nachbearbeitungsverfahren Plasmapolieren werden bei den mechanischen Nachbearbeitungsverfahren Gleitschleifen und Mikrostrahlen insbesondere die Spitzen im Rauigkeitsprofil abgetragen, wohingegen die Täler bestehen bleiben. Dadurch kann bei ausreichendem Materialabtrag eine sehr geringe Oberflächenrauigkeit erzielt werden. Gleichzeitig resultiert hieraus eine hohe Kantenverrundung. Bei elektrochemischen Nachbearbeitungsverfahren, bei denen Material annähernd homogen über dem gesamten Rauigkeitsprofil abgetragen wird, bleibt die Form des Bauteils nahezu erhalten. Dies ist an den geringen Werten für die Kantenverrundung zu erkennen. Allerdings

bleibt auch bei einem vergleichsweise großen Materialabtrag das Rauigkeitsprofil weitestgehend bestehen. Demnach spielt die Ausgangsrauigkeit bei elektrochemischen Nachbearbeitungsverfahren eine größere Rolle als bei mechanischen Nachbearbeitungsverfahren.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Benchmark-Analyse verdeutlicht, dass eine Bewertung und ein Vergleich verschiedener Nachbearbeitungsverfahren neben wirtschaftlichen Aspekten nicht alleine durch die erzielbare Oberflächenrauigkeit sinnvoll sind. Dies liegt daran, dass durch eine längere oder intensivere Anwendung eines Nachbearbeitungsverfahrens häufig deutlich geringere Oberflächenrauigkeiten erzielt werden können – dabei allerdings die Form- und Maßhaltigkeit der Bauteile enorm negativ beeinflusst wird. Diese Zusammenhänge müssen bei der Auswahl eines Nachbearbeitungsverfahrens bekannt sein. Aus diesem Grund plant der Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth in Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Prozessinnovation des Fraunhofer IPA die vorliegende Benchmark-Analyse um weitere Nachbearbeitungsverfahren zu erweitern. Zudem sollen die bei Prüfkörperinnenflächen erzielbaren Eigenschaften in Abhängigkeit verschiedener Nachbearbeitungsverfahren und im Vergleich zu den Prüfkörperaußenflächen analysiert werden.