

Verfahren zur Funktionalisierung von Textilien mittels laserbasierter Pulverbeschichtung

Michael Seiler¹, Julia Ullrich², Sarath Chandra Meda¹, Annika Gambke², Andrea Barz¹,
Andreas Neudeck², Jens Bliedtner¹

¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Jena, Deutschland

²Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz, Deutschland

Kurzfassung

Anwendungen im Bereich smarte Textilien gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Häufig ist die elektrische Leitfähigkeit der textilen Strukturen die Grundvoraussetzung für sensorische und aktuatorische Aufgaben. Leitende Strukturen, die mit momentan existierenden Technologien erzeugt werden, erfüllen jedoch nicht das hohe textile Anforderungsprofil an Widerstandsfähigkeit wie Waschbarkeit und Flexibilität. Bisherigen Lösungen, wie leitfähigen Garnen mangelt es an Knickbruchbeständigkeit und bei der Verwendung von leitfähigen Tinten ist die elektrische Leitfähigkeit zu gering. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Generierung elektrisch leitfähiger Strukturen mit Hilfe einer laserbasierten Pulverbeschichtungstechnologie. Dabei werden zwei möglich industriell einsetzbare Varianten vorgestellt und bewertet. Für die Beschichtung wird ein Gemisch aus TPU Pulver und Silberpartikeln verwendet. Dieses wird durch CO₂-Laserstrahlung auf dem Textil fixiert. Die entstehenden Strukturen werden mit analytischen und mikroskopischen Methoden ausgewertet.

During the last years the applications of smart textiles have increasingly important in industry. The electrical conductivity of textile structures is often the basic requirement for sensor and actuator tasks. However, conductive structures produced with currently existing technologies do not meet the high textile requirement profile for resistance, washability and flexibility. Previous solutions, such as conductive yarns, show a lack of break resistance and applying conductive inks, the electrical conductivity is too low. This work deals with the generation of electrically conductive structures using a laser-based powder coating technology. Two possible industrially applicable variants are presented and evaluated. A mixture of TPU powder and silver particles is used for the coating, which is deposited to the textile by CO₂ laser radiation. The resulting structures are evaluated by analytical and microscopic methods.

1. Einleitung

Der Alltag des Menschen im 21. Jahrhundert ist durch eine fortschreitende Digitalisierung geprägt. Dies spiegelt sich bspw. in einer wachsenden Vernetzung zwischen Bedienern und Geräten. Dafür werden sensorische Daten aufgenommen, verarbeitet und visuell aufbereitet. Gegenwertig werden die Endgeräte, wie smarte Uhren oder Brustgurte, separat am Körper getragen. Seit vielen Jahren beschäftigen sich nationale und internationale Hersteller und Institute mit der Umsetzung bekannter und neuer Techniken für textile Produkte. Vorrangiges Ziel ist die Funktionalisierung textiler flächiger Waren zur Herstellung sogenannte „E-Textiles“ oder „Smart Textiles“. Grundlegende Voraussetzungen dafür sind textilintegrierte leitfähige Strukturen mit hoher Designfreiheit. Jedoch erfüllen bestehende Systeme nicht vollständig die Anforderungen des Marktes vor allem hinsichtlich Widerstandsfähigkeit und notwendiger individueller Fertigung [1,2]. Mit bestehenden Technologien lassen sich keine Produkte anfertigen, die eine hohe Flexibilität aufweisen sowie an das textile Anforderungsprofil v.a. in Bezug auf Waschbarkeit, Abrieb- und Knickbruchbeständigkeit angepasst sind und trotzdem hohe und homogene leitfähige Eigenschaften garantieren. Ein

aktueller Überblick im Bereich der Smart Textiles für Produkte und Entwicklungen ist in [3–5] einzusehen. Ein Überblick zur Erzeugung von Textilsubstraten mit integrierten, leitfähigen Eigenschaften ist in Abbildung 1 dargestellt.

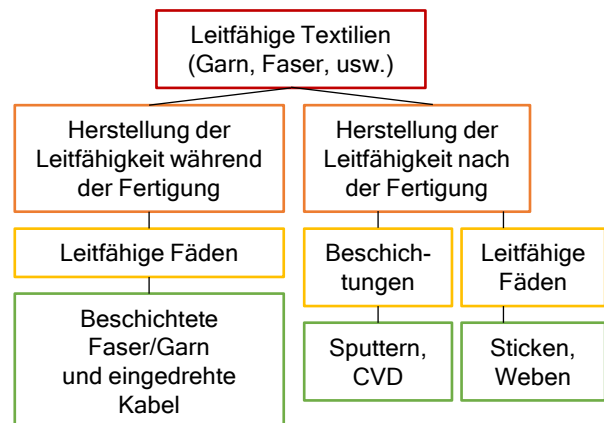


Abbildung 1: Überblick zur Erzeugung von Textilsubstraten mit integrierten, leitfähigen Eigenschaften, in Anlehnung an [2]

Eine Möglichkeit der Realisierung von leitfähigen Strukturen ist die Integration leitfähiger Garne, Drähte und Litzen. Nach wie vor mangelt es den Strukturen an

Knickbruchbeständigkeit und zuverlässigen Kontaktstellen. Der Einsatz von leitfähigen Polymeren und Tinten, die digital appliziert werden können, erhält die textile Haptik, scheitert jedoch meist an der geforderten Leitfähigkeit [6].

2. Zielstellung und Motivation

Das TITV Greiz entwickelte in den letzten Jahren eine Technologie zur Herstellung von textilen Substraten mittels Funktionspulver. Dieser neue Ansatz verbindet Grundlagen aus der elektrostatischen Pulverbeschichtung und dem additiven Verfahren des elektiven Lasersinterns von Polymeren. Die Pulverbeschichtungstechnologie des TITV Greiz zeigt in bisherigen Arbeiten vielversprechende Ergebnisse zur Erzeugung hochfunktionalisierter Beschichtungen, die sehr flexibel und knickbruchbeständig sind sowie Waschbeständigkeit aufzeigen [7]. Die bisher verwendete, manuelle Pulverapplikation mittels Rakel und Schablone mit flächiger Fixierung ist zeit- und kostenintensiv und für die Industrie wenig relevant. Die Designfreiheit ist durch Herstellung der Schablonen eingeschränkt und keine individualisierte Fertigung möglich.

Das Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines digitalen und selektiven Auftrags- und Fixierverfahrens für eine reproduzierbare Fertigung und den Einsatz in der Industrie. Im Vordergrund steht die Generierung filigraner, flexibel gestaltbarer Strukturen und elektrischer Widerständen mit einer lateralen Auflösung < 1500 µm. Zur Realisierung werden zwei Lösungsansätze verfolgt. Das TITV Greiz untersucht einen zweistufigen Prozess, bei dem ein Pulvergemisch auf das textile Substrat aufgebracht und anschließend mit Laserstrahlung fixiert wird. Vorteilhaft ist in diesem Fall, dass ein homogenes Pulvergemisch eingesetzt wird, welches als solches auch auf der Textiloberfläche appliziert werden kann. Die EAH Jena entwickelt einen einstufigen Prozess, bei dem die verwendeten Pulver in einem Laserkopf mit Düse vereint werden. Die Fixierung des Pulvergemisches erfolgt simultan mit dem Auftrag. Der Vorteil dieser Prozessführung besteht zum einen in der Möglichkeit das Verhältnis der Pulver während des Prozesses zu variieren und zum anderen in einer erwarteten höheren Haftfestigkeit der Funktionsschicht. Die Abbildung 2 zeigt schematisch beide zu entwickelnden Prozessvarianten.

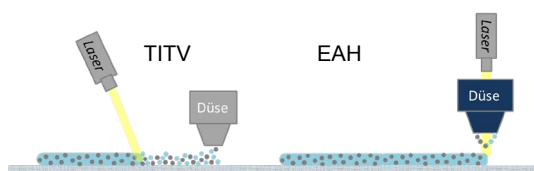


Abbildung 2: Schematische Darstellung beider Lösungsansätze (links: einstufig am TITV, rechts: zweistufig an der EAH)

3. Vorstellung der verwendeten Pulver

Für die Entwicklung des Verfahrens werden verschiedene Kunststoffpulver und Funktionspigmente auf ihre

Eignung untersucht. Die Auswahl umfasst folgende Pulver:

Ausgewählte Pulverbinder:

- Thermoplastisches Polyurethan (TPU), Luvosint, Fa. Lehmann & Voss GmbH
- Thermoplastisches Polyurethan (TPU), Rowalit, Fa. Rowak AG

Ausgewählte leitfähige Funktionspigmente:

- Silber Flakes, ES-4, DODUCO GmbH
- Versilberte Aluminiumpigmente, eConduct Al 202000, Eckart GmbH
- Silberpulver, AGP, DODUCO GmbH

Beide Gruppen umfassen ein TPU Trägermaterial, dass in verschiedenen Masseprozenten mit leitfähigen Funktionspartikeln gemischt werden kann. Zum gegenwertigen Stand ist das Gemisch hochgefüllt mit einem Massenanteil von 60-80 % an Funktionspigmenten, um eine ausreichende Leitfähigkeit zu gewährleisten.

Durch verschiedene Analysemethoden konnten über die Datenblätter hinaus die Eigenschaften der Pulver geprüft bzw. verifiziert werden. In Tabelle 1 sind die relevanten Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 1: Relevante Eigenschaften der verwendeten Pulver

Bezeichnung	Rowalit	Luvosint	ES-4	202000	AGP
Schüttdichte in g/cm ³ (gemessen)	0,440	0,517	2,719	1,445	2,921
D50 in µm (Hersteller)	-	50	15-25	15-21	20-40
D50 in µm (gemessen)	67,7	89,1	-	21,6	30,1
förderbar mit GTV	-	✓	✓	✓	✓

Die Schüttdichte (DIN EN ISO 60) und die Rieselfähigkeiten (DIN EN ISO 6186) konnten an der EAH Jena mit zwei an die jeweilige DIN Norm angelehnten Aufbauten bestimmt werden [8,9]. Die Messungen zur Partikelgrößenverteilung wurden mit dem Mastersizer 2000 der Firma Malvern durchgeführt. Die allgemeine Möglichkeit der Förderung der gewählten Pulver konnte mit dem Pulverförderer PF2/2 der Firma GTV Verschleißtechnik untersucht werden.

4. Entwicklung und Aufbau der Anlagentechnik

In diesem Kapitel soll die Umsetzung beider Prozesse in Form der entwickelten Anlagentechnik dargestellt werden.

Zweistufiger Prozess am TITV Greiz

Die Entwicklung des zweistufigen Prozesses (Abbildung 2 links) bedient sich des Prinzips des selektiven Lasersinterns (SLS). Dabei wird die Energie der Laserstrahlung lokal begrenzt durch die zuvor aufgebraute Partikel des Pulvers absorbiert, wodurch diese gezielt verschmelzen. Die Herstellung der Pulvermischungen erfolgt im Vorfeld durch gezielte Dosierung der Komponenten und

anschließende Durchmischung in einem Labormischer. Im ersten Schritt wird ein vorher hergestelltes Pulvergemisch aus leitfähigen Funktionspigmenten und polymeren Pulverbinder (3) auf das textile Substrat (2) über Bewegung der Portalachsen (4) aufgebracht. Dies erfolgt mittels einer vibrationsgesteuerten Pulverdüse (1), die in Abbildung 3 dargestellt ist.

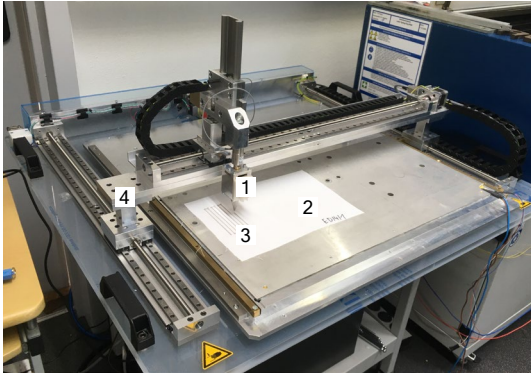


Abbildung 3 Anlage zur Applikation feiner Strukturen mittels vibrationsgesteuerter Pulverdüse

Im Anschluss erfolgt in einem separaten Schritt die selektive Fixierung des Pulvergemisches mittels eines CO₂-Lasers ZING 10000 der Firma EPILOG (Abbildung 4).



Abbildung 4: CO₂-Lasers EPILOG ZING Modell 10000 zur Fixierung der Pulverstruktur

Die Herausforderung des zweistufigen Prozesses liegt zum einen in der Erarbeitung geeigneter Parameter zum Aufbringen feiner Pulverbahnen mit der Pulverdüse und zum anderen in der Abstimmung der Laserparameter auf die verschiedenen Pulvermischungen und Textilsubstrate. Darüber hinaus sind Optimierungen der angestrebten Layouts für die digitale Applikation notwendig.

Einstufiger Prozess an der EAH Jena

Die Entwicklung des einstufigen laserbasierten Prozesses basiert auf dem Prozess und der Anlagentechnik des Laserauftragschweißens (LAS), dessen Grundprinzip in Abbildung 3 zu sehen ist.

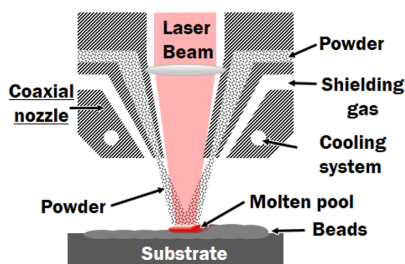


Abbildung 5: Grundprinzip des Laserauftragschweißens nach [10]

Der Verfahrensunterschied ist, dass beim LAS die Laserstrahlung auf die metallische Werkstoffoberseite fokussiert ist, um dort ein Schmelzbad zu Erzeugung in das Pulvermaterial eingebracht wird. In dieser Arbeit soll das Textilsubstrat weder umgeschmolzen oder zerstört werden, daher wird zusätzlich zur Laserleistung die Fokusslage oberhalb des Substrats variiert, um das geförderte Pulvergemisch anzuschmelzen mit dem Ziel, dass es auf dem Textilsubstrat anhaftet. Der Aufbau ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

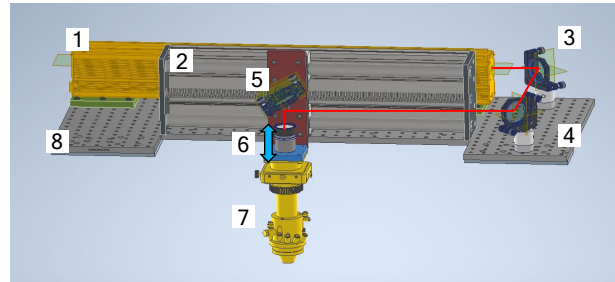


Abbildung 6: Schematischer Aufbau des einstufigen Laserprozesses an der EAH Jena

Ausgehend von der CO₂-Laserquelle der Firma Synrad (1) wird die Strahlung über drei Spiegelelemente (3, 4, 5) in eine Meniskuslinse (6) geleitet. Diese ist beweglich gelagert und die der Einstellung der Fokusebene hinter der Pulverdüse der Firma GTV Verschleißtechnik GmbH (7). Alle Komponenten sowie die x-Achse (2) sind auf einem angepassten Breadboard (8) aufgebaut, dass sich auf der y- und z-Achse befindet, um die nötigen Zustellbewegungen durchzuführen. Der Düsenkopf bietet drei Einstellgrößen, um den Pulverfokus zu variieren. Über die Verstellmöglichkeit der Meniskuslinse (2) kann dieser zum Substrat sowie zum Laserstrahl optimiert werden. Für die gewünschte Einstellung des Pulvergemischs wird der Pulverförderer PF2/2 der Firma GTV Verschleißtechnik GmbH verwendet. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich sind vier der 5 Pulver förderbar. Die ermittelten Förderparameter sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Parameter der Pulverförderung

Pulver	Drehzahl	Rührer	Trärgas
Rowalit	1 U/min	80%	8 l/min
Luvosint	2 U/min	30%	5 l/min
Eckart	2,5 U/min	30%	5 l/min
ES-4	1,7 U/min	80%	5 l/min
AGP	1,3 U/min	30%	4 l/min

5. Zusammenfassung und Ausblick

Nach dem erfolgreichen Aufbau und der Inbetriebnahme der Anlagentechnik erfolgt nun die systematische Parametruntersuchung zum Auftrag und der Laserfixierung des Pulvers. Am Beispiel der Abbildung 7 sind die bisher umgesetzten Verfahrensbewegungen für den Pulverauftrag erkennbar.

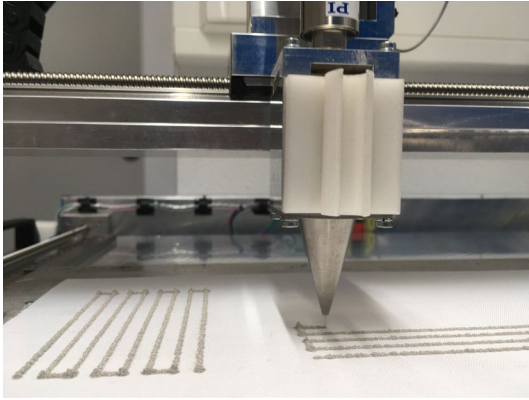


Abbildung 7: Separater Pulverauftrag mittels Vibrationsdüse am TITV Greiz

Durch die kontinuierliche Pulverförderung entstehen an den Start- und Umkehrpunkten momentan Anhäufungen des Pulvers, was weiter optimiert werden muss bevor es zu Fixierung kommt. Die finalen Leiterbahnen werden mit Prüftechnik am TITV auf ihre Zielparameter, wie Widerstand und Haftfestigkeit, geprüft.

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern

Die Autoren bedanken sich für die Förderung des Vorhabens (IGF Vorhabens Nummer 22558 BR) bei der

Literaturverzeichnis

- [1] Perenzoni, Matteo, Lucio Pancheri, und David Stoppa (2014): Compact SPAD-based pixel architectures for time-resolved image sensors. *Sensors*, 14, 11957-11992.
- [2] Castano, Lina M., und Alison B. Flatau (2014): Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Materials and structures*, 23, 053001.
- [3] Dias, Tilak (2015): *Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology*. Woodhead Publishing.
- [4] Gehrke, Inga, et al. (2019): *Smart textiles production: Overview of materials, sensor and production technologies for industrial smart textiles*. MDPI-Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [5] Kirstein, Tünde (2013): *Multidisciplinary know-how for smart-textiles developers*. Elsevier.
- [6] Neudeck, Andreas, Zimmermann, Yvonne und Möhring, Uwe (2017): *Digital Printed InteractiveTextiles*, Proceedings of the Techtexil Symposium, Frankfurt a. M..
- [7] Gambke, Annika: (2022): *New and promising technologies to combine textile structures with LEDs*, ICM – International Congress Center Messe München, Poster.
- [8] DIN EN ISO 60:2000-01: *Kunststoffe - Bestimmung der scheinbaren Dichte von Formmassen, die durch einen genormten Trichter abfließen können (Schüttdichte)*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [9] DIN EN ISO 6186:2023-10: *Kunststoffe - Bestimmung der Rieselfähigkeit*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [10] Ahn, Dong-Gyu (2021): Directed energy deposition (DED) process: State of the art. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 8, 703-742.

Industriellen Gemeinschaftsforschung aus dem Bundeshaushalt. Zusätzlich möchten wir den Partner/innen aus dem Industriebereich für die bisherige Unterstützungen und für die inhaltlichen Diskussionen danken.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kontaktdaten

Ernst-Abbe-Hochschule Jena
 Carl-Zeiss-Promenade 2
 07745 Jena
 Michael Seiler
 michael.seiler@eah-jena.de

Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V.
 Zeulenrodaer Straße 42
 07973 Greiz
 Julia Ullrich
 j.ullrich@titv-greiz.de