

# Mikrogalvanische Kennzeichnung als Kopierschutz

Torsten Döhler<sup>1\*</sup>, Andrea Böhme<sup>1\*</sup>, Mandy Hofmann<sup>1</sup>, Jens Neumann<sup>2</sup>, Reinhard Boehem<sup>2</sup>,  
Andreas Foitzik<sup>1</sup> und Ute Geißler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Hochschule Wildau

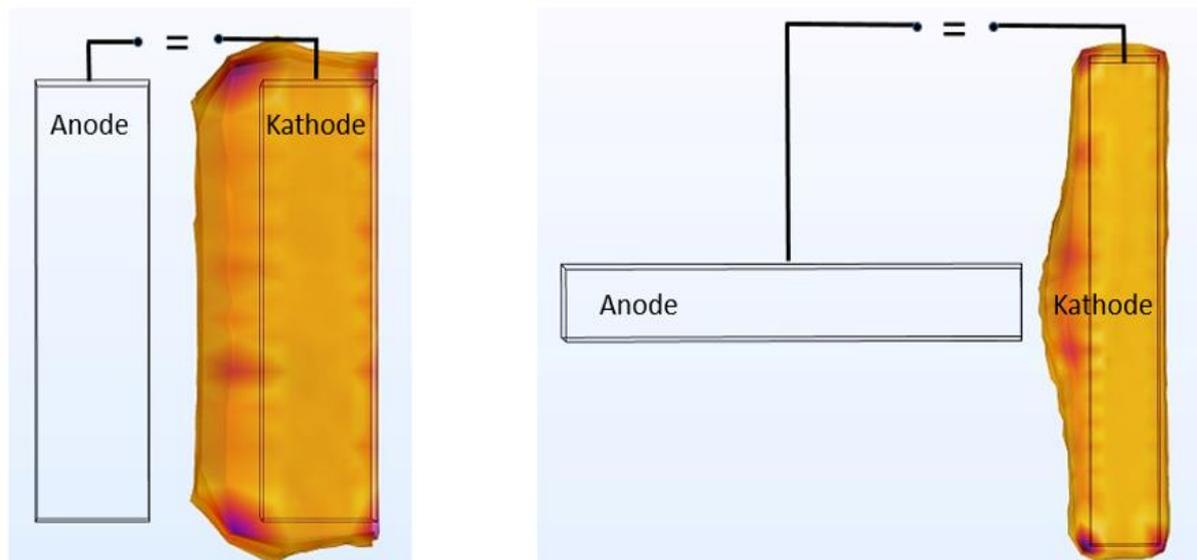
<sup>2</sup> Schiefer & Co. (GmbH & Co.)

\* Korrespondenz: [tdoehler@th-wildau.de](mailto:tdoehler@th-wildau.de), [aboehme@th-wildau.de](mailto:aboehme@th-wildau.de)

**Kurzfassung.** Um eine gute Produktqualität in der Galvanik zu erreichen, müssen Störgrößen wie zum Beispiel der "Hundeknochen"- Effekt vermieden werden. In dieser Arbeit wurde dieser Ansatz genutzt, um eine Methode zur Kennzeichnung als Produktschutz zu entwickeln. Mit definiertem Aufbau und optimalen Parametern ist es möglich, auf geeigneten Substraten, unikale visuell nicht differenzierbare Schichten abzuscheiden. Die abgeschiedenen Schichten und deren lokale Verteilung wurden mit Hilfe konfokaler Lasermikroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse und Laserinterferenzmessungen charakterisiert und qualitativ als auch quantitativ analysiert. Interessenten stellt es damit ein im Grunde traditionelles Verfahren zur Verfügung, das mit dem gewählten Ansatz zu neuen Innovationen führen kann.

## 1. Einleitung

In industriellen Prozessen gibt es Einflussgrößen und inhärente Effekte, die für eine optimale Produktqualität verhindert oder zumindest reduziert werden müssen. In der elektrochemischen Beschichtungstechnik ist der sogenannte „Hundeknocheneffekt“ beispielsweise äußerst unerwünscht [1]. Daher wird in elektrochemischen Aufbauten durch eine gezielte anodenseitige Anordnung von Elektroden oder dem Einbringen von Anodengittern eine Parallelisierung der Feldlinien an der Kathode erzwungen, um diesen Effekt zu verhindern. Im vorgestellten Prozess soll dieser unerwünschte Effekt angewendet werden, um neben der eigentlichen Beschichtung einen Bereich zu prozessieren, der vom Kanteneffekt abhängig ist und somit eine Art der inhomogen verteilten Beschichtung gestattet [1; 3]. Das Ziel des gemeinsamen Forschungsprojekts der Firma Schiefer & Co. und der TH Wildau war die Abscheidung von Submikrometerstrukturen im Sinne einer optisch nicht differenzierbaren Kennzeichnung auf einer metallischen Oberfläche auf Grundlage des Kanteneffektes (Abbildung 1) [4]. Für die Anwendung wurde ein spezieller Testaufbau entwickelt, um prozesstechnische Optimierung an der Beschichtung durchführen zu können.



Normaler Hundeknocheneffekt

Reverser Hundeknocheneffekt

**Abbildung 1:** Stark vereinfachte und überzeichnete Darstellung der Schichtdickenausbildung des „normalen“ (links) und des „reversen“ elektrochemischen Hundeknocheneffektes (rechts), modelliert mit Comsol Multiphysics – Modul Elektrodeposition

## 2. Materialien und Methoden

Für die Versuchsreihen wurde der Abscheidbereich der Kathode (Substrat) auf  $1\text{cm}^2$  festgelegt. Die geplante Schichthöhe ergab sich aus dem Auflösungsvermögen der geplanten Messtechniken sowie aus den Aspektverhältnissen der gefertigten Mikrostrukturierungen. Die Schichtdicken sollten wegen der angestrebten visuellen Unkenntlichkeit unter  $2\ \mu\text{m}$  liegen. Als Versuchsaufbau wurde ein miniaturisiertes galvanisches Labormuster konzipiert, um Prozessführung, Parametrisierung und Elektrodenmuster gezielt anzupassen. Die Strukturierungen auf den prozessbestimmenden Anodenelektroden, wurden mit dem Mikrofertigungszentrum (Kern Micro, Kern, Eschenlohe, Germany) hergestellt. Als Elektrodenmaterial wurden für die Anodenelektroden Platin und für die Kathoden Silber, Gold und Nickel festgelegt. Als Elektrolyt wurde das Haftgoldbad von Wieland (AC 3 SSF (stark sauer mit 3 % Au)  $3,0\ \text{g/l}$ , T:  $20\text{--}30\ ^\circ\text{C}$ , U:  $1,5\text{--}4,0\ \text{V}$ , J:  $0,5\text{--}1,2\ \text{A/dm}^2$ , pH-Wert  $1,5\text{--}1,8$ ,  $\rho$ :  $18,2\ \text{g/cm}^3$ , (110 HV), Schichtdicke:  $< 6\ \mu\text{m}$ ) verwendet. Anodenseitig wurden Probenkörper in verschiedenen Geometrien: Stab (plan ( $2,3 \times 2,3\text{mm} - 5,29\ \text{mm}^2$ ), dachförmig, gelocht, geschlitzt sowie planare Substrate mit Strukturen auf einer Fläche  $10 \times 10 \times 2\text{mm}$ , hergestellt. Die entworfenen CAD-Modelle der Elektroden wurden in eine Simulationssoftware (Comsol Multiphysics, Modul Electrodeposition) übertragen und als Modellbildung für die Abstimmung der Prozessparameter in Abhängigkeit der Geometrien und der kathodenseitigen Schichtverteilung angewendet. Die hergestellten Schichten konnten mit einem Laserkonfokalmikroskop (qualitativ), der Röntgenfluoreszenzanalyse (laterale Schichtdickenmessung) und mittels Interferenzmessung analysiert werden.

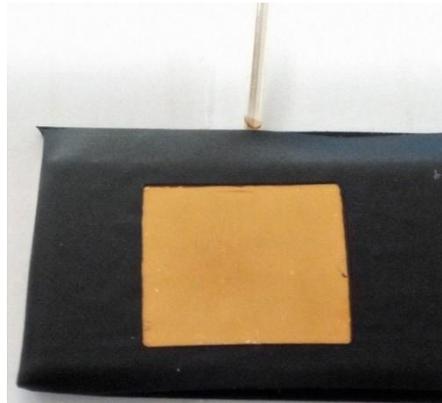
## 3. Ergebnisse und Diskussion

Die Auswahl der verwendeten Elektrolyte wurde durch die Eigenschaften in der Schichtbildung bestimmt. Die Verwendung spezieller Elektrolyte ohne Zusätze (z.B. Glanzbildner, Einebner, Schaumminderer) wurde geprüft, um mögliche Einflüsse festzustellen. Mit einem speziellen

Versuchsaufbau konnten Testreihen mit Galvanikbädern verschiedener Hersteller und den unterschiedlichen Inhaltsstoffen durchgeführt werden. Dabei zeigte das Haftgoldbad AC 3 SSF (stark sauer mit 3 % Au) ohne spezielle Zusätze von der Firma Wieland die besten Ergebnisse.

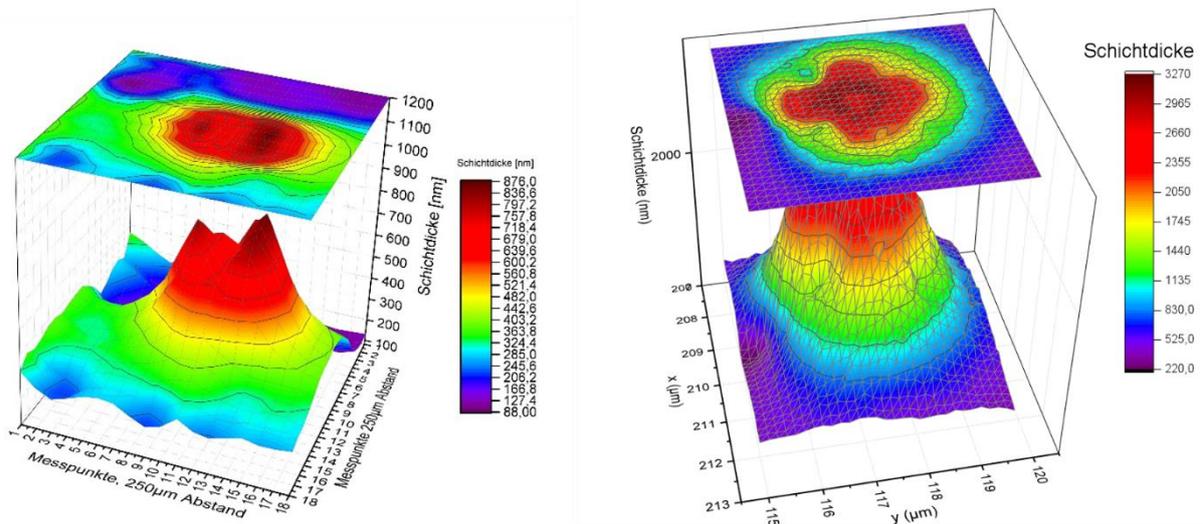
Auch die Elektrodenmaterialien wurden mit potenziellen Elektrolytbädern geprüft. Nach ersten Versuchsreihen und Analysen wurde als Elektrodenmaterial anodenseitig Platin, und kathodenseitig Silber, Gold und Nickel festgelegt. Beschichtetes Titan und Graphit wurden für diese Anwendung nicht weiter betrachtet, da diese Materialien zu Verunreinigungen im Galvanikbad führen können.

Die Konzeption der anodenseitigen Elektrodengeometrie erfolgte mittels Simulationssoftware und Modellbildung der Elektroden sowie einer Auswahl geeigneter Kennzeichnungsmerkmale. Es wurden Rauheits- ( $R_a < 2 \mu\text{m}$ ) und Reinheitsanforderungen an die Substratmaterialien festgelegt, damit der veränderte Abscheid Charakter geregelter und die Verteilung der Feldlinien neben der forcierten Feldverteilung homogener erfolgte. Die in Abbildung 2 dargestellte Probe wurde bei  $T_{\text{Raum}} \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $U = \text{variabel}$ ,  $I = 0,5 \text{ mA}$ ,  $t = 30 \text{ min}$ ,  $d = 700 \mu\text{m}$  mit einem Edelstahlrührwerk hergestellt. Die Probe zeigte in der optischen Analyse und mittels Laserkonfokalmikroskop (VKX-1100) keine sichtbaren Hinweise auf eine Schichtstruktur. Auch die Profilmessungen über die relevanten Schichtbereiche zeigten keine signifikanten Änderungen.



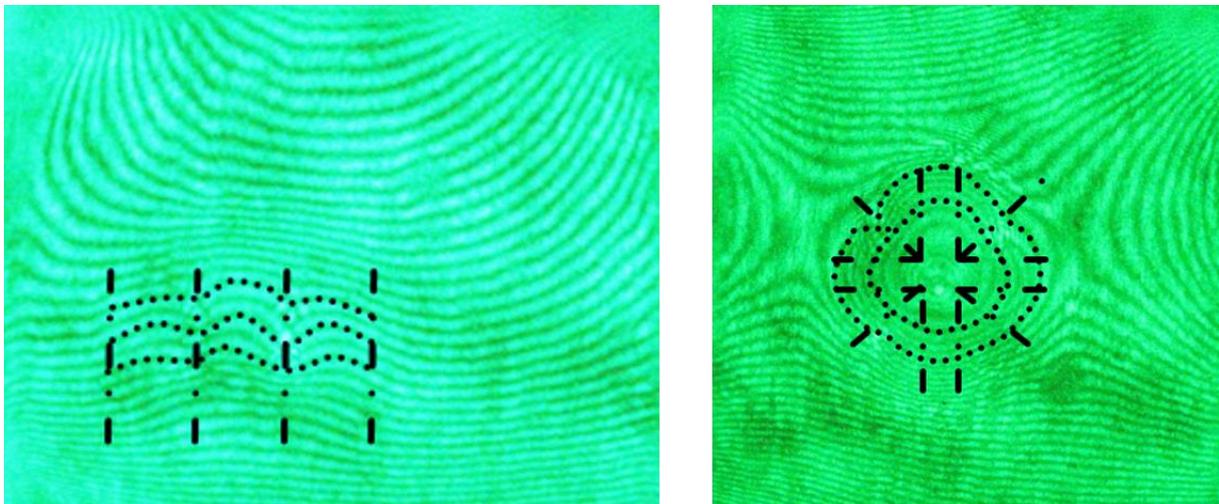
**Abbildung 2:** Beispiel einer Beschichtung mit dem vorgestellten Prozess mit einer visuell nicht erkennbaren Ausbildung eines Schichtdickenunterschiedes.

Um weitere Rückschlüsse über die Schichtstruktur erhalten zu können, wurden an ausgewählten Probensätzen die Gesamtschichtdicken der abgeschiedenen Schichten mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Die Messpunkte sind in einer Matrix so platziert worden, dass sie mindestens die Hälfte der relevanten Geometrien der jeweiligen Fertigungsanode abbilden konnten. Der Messabstandsbereich in XY-Richtung betrug  $250 \mu\text{m}$ . Die in Abbildung 3 gezeigten Grafiken weisen in der 3D Darstellung, sowie der projizierten Flächendarstellung die vermutete und simulierte Schichtdickenverteilung auf. Verursacht wurde die Erhöhung des Schichtdickenwachstums entlang bestimmter Geometriekanten der strukturierten Anode aufgrund der Verdichtung der Feldlinien und dem Anstieg der Stromliniendichte. Abbildung 3 (links) zeigt die Geometrie Nut durch Ausformung von zwei Erhebungen und Abbildung 3 (rechts) durch die kreuzförmige Ausformung der Schichtstruktur.



**Abbildung 3:** Analyse des Beschichtungsergebnisses einer Nut- und Kreuzanodengeometrie mittels RFA, Messbereich 250µm in x- und y-Richtung, Darstellung mit der Originlab Software

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein optisches Modul für die Interferenzmessung entwickelt, um kleineren mittelständigen Unternehmen eine kostengünstige Analysemöglichkeit zur Verfügung zu stellen. Diese qualitative Analyse der Oberfläche ermöglicht eine unmittelbare Visualisierung der Schichtdickenverteilung. In Abbildung 4 werden Interferogramme der Nut- und Kreuzanodengeometrie illustriert. Im Projektverlauf konnte der Effekt des Prozessierens in erster Instanz immer mit Hilfe dieser selbst entwickelten optischen Interferenzerkennungsmethode nachgewiesen werden.



**Abbildung 4:** Interferogramme der unterschiedlichen Anodengeometrien (Nut- und Kreuzanodengeometrie)

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten mittels galvanischer Prozesstechnik unter Anwendung des umgekehrten „Hundeknochen“- Effektes Strukturen auf metallischen Probenkörpern hergestellt werden. Diese sind mit bloßem Auge nicht differenzierbar, bilden eine mikrostrukturierte Anodengeometrie ab und konnten mittels konventioneller Analyseverfahren sowie eines Interferenzerkennungsmoduls detektiert und beschrieben werden. Die Entwicklung ermöglichte, dass die notwendigen Anoden durch eine Kombination von Berechnung, Simulation und Fertigungstechnik hergestellt

werden konnten. Kathodenseitig wurde ein Prozess für die Abscheidung auf einer planaren Oberfläche entwickelt. In zukünftigen Arbeiten soll ein Übertrag der Technologie auf andere Substratmaterialien und Elektrolytsorten erfolgen. Die Anwendung der vorgestellten neuartigen Prozesstechnik kann Applikationen unterstützen, die z.B. in der Leiterplattenindustrie, der Photonik und Optik oder in der praktischen Anwendung in Verbindung mit der Digitalisierung liegen.

## **Datenverfügbarkeit**

Die Autor\*innen bestätigen, dass die Daten, die die Ergebnisse dieser Studie untermauern, im Artikel [und/oder] in den ergänzenden Materialien verfügbar sind.

Die Rohdaten wurden an der TH Wildau erstellt. Abgeleitete Daten, die die Ergebnisse dieser Studie unterstützen, sind auf Anfrage beim Korrespondenz-Autor [TD] erhältlich.

## **Interessenskonflikte**

Die Autor\*innen erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

## **Finanzierung**

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ZIM, AiF) für die finanzielle Unterstützung (Fkz.: ZF4012231DF8).

## **Literaturverzeichnis**

1. Kanani N. Dr. Ing. Dr. habil.: Galvanotechnik Grundlagen, Verfahren, Praxis, 2. erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag 2009
2. CAS, C. I. (29. 04 2015). China Patentnr. CN102766892B.
3. Jelinek, T. W. (2013). Abscheidung von Metall mit äußerer Stromquelle. In T. W. Jelinek, Praktische Galvanotechnik (S. 58). Bad Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag.
4. Offenlegungsschrift DE 10 2020 127 401 A1