Ergebnispapier

zum Online-Workshop „Mittel- und langfristiger Forschungsbedarf in der Elektrochemie“

06. Juli 2020

Erarbeitet innerhalb der Förderinitiative des BMBF „InnoEMat - Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien“

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

INNOeMAT

Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien

Autoren

Daniel Meyer Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.
Stefan Klein Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.
Alexander Möller DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.
www.dgo-online.de

DECHEMA
Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
www.dechema.de

DGM
Erfahrung · Kompetenz · Wissen
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.
www.dgm.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 4

1 Profil der Veranstaltung 5

2 Diskussionsergebnis 6
2.1 Forschungsbedarf im Bereich Oberflächentechnik 6
2.2 Forschungsbedarf im Bereich Elektrosynthese 7

3 Fazit 9

4 Impressum 9

Vorwort

Das vorliegende Manuskript fasst die Diskussionsergebnisse des Online-Workshops zum Thema „Mittel- und langfristiger Forschungsbedarf in der Elektrochemie“ der Förderinitiative des BMBF „InnoEMat – Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien“ vom 06. Juli 2020 zusammen.

Mit dem Start der Förderinitiative InnoEMat im Jahr 2016 wurde die Grundlage für insgesamt 17 bewilligte Verbundprojekte geschaffen, in denen mittlerweile vielversprechende Forschungsergebnisse in unterschiedlichen Disziplinen der Elektrochemie erarbeitet wurden. Ebenso wurde eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten für weitere wissenschaftliche sowie industrienahe FuE-Themen generiert, woraus sich weiterer essenziell notwendiger Forschungsbedarf ergibt. Ziel des Workshops war es daher, diesen Forschungsbedarf zu bündeln und hieraus Impulse für zukünftige Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet zu generieren. Organisiert wurde die Veranstaltung von der wissenschaftlichen Begleitmaßnahme InnoEMatplus (vertreten durch DECHEMA, DGO und DGM).

Mit der Förderinitiative InnoEMat fördert das BMBF FuE-Verbundprojekte zu den Themenfeldern „Elektrochemische Synthese“, „Elektrochemische Oberflächentechnik“ sowie „Elektrochemische Anlagen, Komponenten, Hilfsmittel, Verfahren“. Der durchgeführte Online-Workshop „Mittel- und langfristiger Forschungsbedarf in der Elektrochemie“ ist Bestandteil einer Reihe von Veranstaltungen, um dem Förderschwerpunkt übergeordnete Querschnittsthemen aufzugreifen, Vernetzungen zu schaffen und Synergien offen zu legen.

In diesem Sinne wünschen wir Ihnen eine informative Lektüre, die Sie zu eigenen spannenden FuE-Fragestellungen im Bereich der Elektrochemie führen soll.

Ihr Team vom wissenschaftlichen Begleitvorhaben InnoEMatplus

Daniel Meyer, Stefan Klein und Alexander Möller

1 Profil der Veranstaltung

Der zweite Workshop der BMBF-Förderinitiative „InnoEMat – Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien“ fand am 6. Juli 2020 als Online-Veranstaltung statt und verzeichnete mehr als 60 Teilnehmer. Die Veranstaltung richtete sich an Fachleute aus allen Bereichen der Elektrochemie. Der für ein öffentliches Publikum zugängliche Workshop fand nicht nur reges Interesse bei den Vertretern der InnoEMat-Verbundprojekte, sondern im Speziellen auch bei Industriepartnern und Forschungseinrichtungen außerhalb der Förderinitiative. Diese Gruppe stellte gleich dreiviertel der Teilnehmer und dokumentierte so den äußerst hohen mittel- und langfristigen Bedarf an FuE-Projekten im Bereich der Elektrochemie.

Zu Beginn des Workshops skizzierten renommierte Experten mit zwei Impulsvorträgen zunächst aktuelle Entwicklungen und Trends in unterschiedlichen Bereichen der Elektrochemie. Die Vorträge orientierten sich an den Förderschwerpunkten der InnoEMat-Förderinitiative elektrochemische Synthese und elektrochemische Oberflächentechnik. Die Referenten waren Dr. Nicola Christiane Aust (Leiterin Forschungsteam Elektrosynthese bei BASF SE, Ludwigshafen) und Dr. Klaus Wojczykowski (CTO bei der Coventya GmbH, Gütersloh). Beide berichteten über aktuell stattfindende industrielle Wandlungsprozesse als Reaktion auf ein sich sehr dynamisch veränderndes Umfeld im Bereich Elektrosynthese bzw. der Oberflächentechnik.

Nach den Impulsvorträgen wurden alle Teilnehmer auf vier sogenannte Breakout-Sessions aufgeteilt. Alle Teilnehmer hatten darin die Möglichkeit, in moderierter Kleingruppenarbeit ihre individuelle Forschungsbedarfe darzulegen und mit anderen Teilnehmern zu erörtern. Dabei wurden Aspekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette betrachtet – angefangen bei der Rohstoffverfügbarkeit, über verschiedene elektrochemische Prozesse bis hin zum Einsatz des Endprodukts sowie dessen Rückführung in den Stoffkreislauf.

Die Diskussionsergebnisse sind in nachfolgenden Kapiteln dokumentiert und spiegeln die individuellen Einschätzungen der anwesenden Teilnehmer aus Wissenschaft und Industrie wieder. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Allgemeingültigkeit. Vielmehr sollen die Ausführungen dem Leser wichtige Impulse für die Initiierung eigener FuE-Themen geben.

2 Diskussionsergebnis

2.1 Forschungsbedarf im Bereich Oberflächentechnik

Die Anforderungen an technische Oberflächen verändern sich seit einigen Jahren dahingehend, dass neben den klassischen Funktionen der Oberfläche wie Korrosions- und Verschleißschutz sowie Dekoration für verschiedene Endanwendungen zunehmend multifunktionale Eigenschaften in den Fokus rücken. Entsprechende Beispiele sind antimikrobielle Beschichtungen in der Medizintechnik, haptisch aktive bzw. auch optisch variable, smarte Oberflächen im Bereich des Fahrzeuginterieurs oder selbstheilende Schichten für z.B. Brillengläser oder Smartphone-Displays. Die Oberflächentechnik im Allgemeinen begegnet diesem Trend in der Regel mit 3 probaten Herangehensweisen:

- Entwicklung und Abscheidung von neuen oder modifizierten Beschichtungsmaterialien
- Kombination von unterschiedlichen Beschichtungsmaterialien miteinander (Abscheidung von Schichtsystemen)
- Einsatz neuer Methoden zur Modifizierung und/oder Strukturierung von Substrat- und Beschichtungsmaterialien

Für die elektrochemische Oberflächentechnik bzw. für die Galvanotechnik bedeutet dies in erster Linie die Entwicklung von neuen, umweltschonenden galvanischen Prozessen, um neue Materialien (z.B. Legierungen, Dispersions-, keramische oder halbleitende Schichten) auf möglichst vielen industriell eingesetzten Substratwerkstoffen abscheiden zu können. Bei der Identifizierung neuer Beschichtungsmaterialen ist das Augenmerk jedoch nicht nur auf neue Elektrolytformulierungen, sondern auch auf speziell darauf abgestimmte alternative Anodenmaterialien zu richten. So ist z.B. die Abscheidung neuer Legierungen durch den Einsatz von mehreren Anoden mit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen oder mit neuen Legierungsanoden ein möglicher Ansatz. In diesem Zusammenhang könnten auch alternative Anoden-Herstellungsverfahren betrachtet werden, um u.a. die Standzeit und die Dimensionsstabilität der Elektroden zu erhöhen.

Prozessentwicklung

Neben der reinen Materialabscheidung sind im Entwicklungsprozess weitere Prozesscharakteristika wie z.B. eine optimierte Streufähigkeit und die Skalierbarkeit auf industrielle Maßstäbe von besonderer Bedeutung. Für eine Verkürzung von Entwicklungszeiten und zur Steigerung der Produktperformance wird erwartet, dass zukünftig auch der modellgestützten Versuchsplanung und der automatisierten Versuchsdurchführung eine stärkere Bedeutung zukommen werden. Im Rahmen des InnoEMat-Verbundprojekts „ReKoPP - REACH-konformer Korrosionsschutz durch Pulse-Plating“ konnten bereits entsprechende Methoden demonstriert werden.

Prozessführung

Grundsätzlich werden zukünftig auch neue Strategien für eine optimierte Prozessführung zum Tragen kommen. Im Zuge der stetig voranschreitenden Digitalisierung werden Beschichtungsprozesse zunehmend mittels In-situ-Analytik überwacht, um z.B. über eine Echtzeitbadpflege deutlich engere Prozessfenster für ein optimiertes Beschichtungsergebnis realisieren zu können. Die Verfügbarkeit von geeigneter Sensorik und Software zur Datenerfassung und -auswertung ist dafür eine wesentliche Voraussetzung. Es sind intelligente Algorithmen zu entwickeln, die individuell auf die jeweiligen Beschichtungsprozesse angepasst sind (Stichworte machine learning & predictive maintenance).

Charakterisierung

Auch bei den Testmethoden zur Charakterisierung der Schichteigenschaften besteht nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer hoher Forschungsbedarf: So sollten diese die tatsächlichen Einsatzbedingungen besser abbilden, um genauere Aussagen bzgl. der Standzeit von Beschichtungen ableiten und den Materialeinsatz minimieren zu können. Diese Forderung geht jedoch auch mit der Notwendigkeit einer stärkeren Diversifikation bisher angewandter Testmethoden einher, was sich nachteilig auf Kosten und allgemeiner Vergleichbarkeit auswirken dürfte.

Nachhaltigkeit

Die Themen Umweltverträglichkeit, Energie- bzw. Ressourceneffizienz sowie Recycling spielen in der Oberflächentechnik ebenfalls seit vielen Jahren eine wichtige Rolle, woraus sich nach wie vor entsprechender Forschungsbedarf ableiten lässt. Vor allem getrieben durch die REACH-Verordnung besteht seit vielen Jahren ein hoher Bedarf an alternativen Prozessen, um REACH-relevante Stoffe wie bspw. hexavalentes Chrom substituieren zu können. Zwar etablieren sich Verfahren auf Basis dreiwertigen Chroms zunehmend am Markt. Diese unterliegen jedoch immer noch gewissen Einschränkungen bzgl. Prozessstabilität und der erzielbaren Schichteigenschaften.

Zur Minimierung des Ressourceneinsatzes ist die Aufarbeitung von Galvanikbädern – einerseits zur Verlängerung der Standzeiten, andererseits zur Rohstoffrückgewinnung – durch weiterentwickelte Methoden ein vielversprechendes Betätigungsfeld. Auch ist die Rückgewinnung von abgeschiedenen Schichtmaterialen ein wichtiges Thema, was beispielsweise durch elektrochemisches Auslösen bzw. De-alloying von Legierungsbestandteilen realisiert werden könnte. Für einen ganzheitlichen Ansatz sollte bei der Verfahrensentwicklung aber grundsätzlich immer die Verfügbarkeit entsprechender Recyclingprozesse sichergestellt sein, was insbesondere auch für die Einführung von Life-Cycle-Managementsystemen von Bedeutung ist.

Allgemein könnten elektrochemische Beschichtungsprozesse außerdem dahingehend modifiziert werden, dass bestimmte Nebenprodukte simultan synthetisiert werden und als Edukte für andere Prozesse zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang ist auch die Nutzung von prozessbedingt entstehendem Wasserstoff als Energieträger ein möglicher Forschungsansatz.

Neue Anwendungsfelder

Weitere Forschungsbedarfe werden in der Oberflächenbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen gesehen. Im Allgemeinen können je nach Druckverfahren unterschiedlichste Materialien verarbeitet werden, was auch mit sehr divergierenden Oberflächengüten (u.a. Rauheit, Porosität) einhergeht. Besondere Anforderungen werden deshalb an die zur Anwendung kommenden Vorbehandlungsprozesse gestellt (Stichworte Einebnung & Verschleppung). Außerdem sind durch die große Vielfalt druckbarer Materialien (Kunststoffe, Kunstharze, Metalle und auch Keramiken) auch komplexe Mehrkomponentenbauteile mit entsprechenden Funktionalisierungen möglich. Hier besteht die Herausforderung in der Entwicklung von Beschichtungsprozessen, die für mehrere Materialsysteme simultan anwendbar sind.

Ein weiterer Forschungsansatz liegt in der Übertragung natürlicher Oberflächeneigenschaften auf technische Oberflächen durch elektrochemische Prozesse (Stichwort Biomimetik). Entsprechende Beispiele sind selbstheilende und selbstreinigende Oberflächen oder besondere optische oder haptische Eigenschaften durch die Erzeugung neuer mikro- und nanoskaliger Oberflächenstrukturen.

2.2 Forschungsbedarf im Bereich Elektrosynthese

Elektrochemische Synthesen ermöglichen Reaktionswege, die sich grundlegend von den klassischen chemischen Routen unterscheiden. Dadurch können Reaktionen effizienter geführt werden, weil z.B. der Bedarf an reaktiven Chemikalien reduziert wird (Elektronen sind hier einer der Reaktanden). Durch die neuen Reaktionsrouten werden auch Produkte möglich, die über klassische Syntheseverfahren nicht zugänglich sind. Um das volle Potential dieser Technik ausschöpfen zu können, gibt es mehrere Ansatzpunkte:

- Effizienzverbesserung
- Prozessbedingungen
- Prozessverständnis
- Skalierbarkeit

Zudem wurde als wichtiger Punkt der Aufbau einer Austauschplattform zur Elektrosyntheseentwicklung in Deutschland geäußert. Hier könnten Pilotanlagen die Überwindung des „Tals des Todes“ für neue Entwicklungen ermöglichen, ohne diese Infrastruktur dezentral mehrfach aufbauen zu müssen. Zudem würde eine solche Plattform den Austausch der verschiedenen Forschungsgruppen ermöglichen.
Im Folgenden werden die technischen Ansatzpunkte wiedergegeben.

Effizienzverbesserung

Eine hohe Steigerung der Effizienz elektrochemischer Synthesen bieten gekoppelte Prozesse. Dabei werden sowohl an der Kathode als auch an der Anode verwertbare Produkte erzeugt (200 %-Reaktionen). Ein Spezialfall dieser Kopplung kann auch durch die Verwertung von entstehendem Wasserstoff erreicht werden. Je nach Reaktionsführung kann auch die Vermeidung von Wasserstoffbildung die geeignete Strategie zur Effizienzsteigerung sein.
Wichtige Kenngrößen für die Effizienz einer elektrochemischen Synthese sind Überspannung und Stromausbeute. Erstere hängt mit der Reaktionskinetik und zweitere mit der Selektivität zusammen. Beide Faktoren lassen sich also durch geeignete Materialauswahl und Elektrodendesigns beeinflussen. Ein weiterer Ansatzpunkt zur Verbesserung der Selektivität sind maßgeschneiderte Membranen, insbesondere mit auf den Elektrolyten angepasstem Quellverhalten und Überführungszahlen der mobilen Spezies. Große Potentiale werden hier bei der CO_2-Elektrolyse, der elektrochemischen Synthese von Ammoniak und der Elektroorganik gesehen.
Weitere Effizienzsteigerungen lassen sich durch verbessertes Recycling von Lösemitteln erreichen, z.B. beim Einsatz ionischer Flüssigkeiten.

Prozessbedingungen

Die Erweiterung des Parameterraumes für elektrochemische Synthesen ermöglicht neue Reaktions-

wege aber auch für die Effizienzsteigerung etablierter Reaktionen können neue Prozessbedingungen hilfreich sein. Zudem erfordert der variable Betrieb von Anlagen, wie er für den Einsatz volatiler Energiequellen nötig ist, angepasste Konzepte und Materialien.
Die meisten elektrochemischen Reaktoren laufen bei Atmosphärendruck und Raumtemperatur. Gerade bei Reaktionen mit einer gasförmigen Komponente kann die Reaktion durch Druckveränderung stark beeinflusst werden. Insbesondere der Betrieb von GDL-Setups unter Druck wird hier als vielversprechender Ansatz gesehen. Auch eine Erhöhung der Reaktionstemperatur ist eine wichtige Stellschraube. Membranen und Separatoren aus Polymermaterialien begrenzen die möglichen Temperaturen, keramische Materialien können hier zu einer höheren möglichen Reaktionstemperatur führen. Auch die Katalysatoren müssen entsprechend angepasst werden. Zudem ist ein angepasstes Zelldesign nötig, um die Möglichkeit der Temperierung zu schaffen. Bei erhöhten Temperaturen ist auch das Thema Korrosionsschutz der Elektroden wichtig, wobei diese Herausforderung auch bei Raumtemperatur Aufmerksamkeit fordert.
Wie bereits bei den Maßnahmen zur Effizienzsteigerung erwähnt, hat das Elektrodendesign großen Einfluss auf die Reaktionskinetik. Somit ist hierdurch auch die Entwicklung neuer Reaktionswege möglich, die bisher unzugängliche Synthesen ermöglichen. Auch Katalysatoren spielen hier eine entscheidende Rolle. Eine weitere Möglichkeit für neue Reaktionswege sind leitsalzfreie Reaktionen in Mikroreaktoren.
Für die Sektorkopplung ist die Einführung von Prozessen mit der Möglichkeit für einen variablen Betrieb entscheidend. Dazu sind angepasste Materialien für Lastwechsel erforderlich, damit die Variabilität nicht auf Kosten der Anlagenlebensdauer geht. Es gibt bereits erste Ergebnisse zu biologischen Katalysatoren, die extreme Lastwechsel vertragen. Die Aktivität dieser Systeme ist allerdings noch nicht ausreichend. Bei den Betriebskonzepten besteht bei Lastwechseln die Wahl zwischen Stromdichteänderung und Elektrodenflächenänderung. Bei ersterem wird bei Lastreduktion die komplette Anlage unter Teillast gefahren, während bei letzterem ein Teil der Stacks vollständig abgeschaltet wird und der andere Teil unter Volllast weiter läuft. Für beide Konzepte ist ein Verständnis der Vorgänge und des Verhaltens beim Prozessan- und -ablauf essenziell.

Prozessverständnis
Prozessverständnis ist für alle hier genannten Punkte von entscheidender Bedeutung. Dies erfordert die Entwicklung von Methoden zur (in situ) Prozessanalyse z.B. durch IR-Spektroskopie der Adsorptionsprodukte oder Raman-Spektroskopie der Elektrodenmaterialien. Auch die Porenstruktur der Materialien ist ein wichtiger Einflussfaktor. Mit dem Verständnis dieser Größen können verbesserte Prozessmodelle entwickelt werden, die wiederum zu verkürzten Entwicklungszeiten führen.

Skalierbarkeit
Ziel der Anstrengungen um bessere Effizienz, neue Reaktionswege und flexible Prozessbedingungen ist der Einsatz in großskaligen Anlagen. Dies erfordert an das Zelldesign angepasste Produktionsprozesse und Modellierungen der Prozesse in große Anlagen.
In diesem Punkt spielen alle vorher genannten Punkte zusammen und ermöglichen die Entwicklung industriell einsatzfähiger Anlagen.

3 Fazit

Die in den vorherigen Kapiteln skizzierten Forschungsbedarfe dokumentieren die Einschätzungen von Fachleuten aus dem Bereich der Elektrochemie und vermitteln einen groben Eindruck von den zukünftig zu erwartenden Betätigungsfeldern in deutschen Forschungseinrichtungen und Entwicklungsabteilungen. Die Schwerpunkte sind im Allgemeinen zunehmend geprägt vom Streben nach energie- und ressourceneffizienteren Technologien und erfordern z.T. völlig neue Herangehensweisen im Entwicklungsprozess. Deutlich wird, dass Forschungsarbeit einen fundamentalen Beitrag zur Sicherung unserer mittel- und langfristigen Wettbewerbsfähigkeit leistet und die Grundlage für neue Materialien und Produktinnovationen von Morgen schafft.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Umsetzung Ihrer zukünftigen Forschungsvorhaben und mit vielen innovativen Entwicklungen eine unternehmerisch erfolgreiche Zukunft.

Ihr Team vom wissenschaftlichen Begleitvorhaben InnoEMatplus

Impressum

Herausgeber:
Die Partner des Begleitvorhabens InnoEMatplus zur Fördermaßnahme InnEMat:
DGO - Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.
DECHEMA - Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt
DGM - Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Berlin

Ansprechpartner:
Dr. Daniel Meyer
DGO Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.
Itterpark 4
40724 Hilden
Tel.: + 49 (0) 2103 - 2556-35
E-Mail: d.meyer@dgo-online.de

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 13XP5028

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme
InnoEMat – Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien:
Beim BMBF:
Dr. Peter Zimmer
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat 523 – Neue Materialien; Batterie; KIT, HZG
53175 Bonn

Beim Projektträger:
Dr. Stefan Pieper
VDI Technologiezentrum GmbH
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf
Tel.: +49 (0) 211 - 6214 - 548
E-Mail: pieper@vdi.de

Gestaltung:
Wölfer Druck+Media
Schallbruch 22-24
42781 Haan/Rhld.

Copyright:
Cover Titelseite: fotohunter/istock