



Evaluationsbericht zur BMBF-Förderinitiative Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien - InnoEMat

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

INNOeMAT 

*Innovative Elektrochemie
mit neuen Materialien*

Autoren

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

DGO

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

0 Zusammenfassung	4
1 InnoEMat-Förderprogramm und Ziele der Evaluation	5
1.1 Hintergrund	5
1.2 Beschreibung InnoEMat-Förderprogramm	5
1.3 Ziele der Evaluation	6
2 InnoEMat-Verbundprojekte	8
2.1 Art und Umfang der bewilligten Projekte	8
2.2 Branchen	9
2.3 Regionale Verteilung der Verbundpartner	9
2.4 Übersicht bewilligter Projekte	10
2.5 Projektlaufzeiten und Laufzeitverlängerungen	11
3 Umsetzung des Förderprogramms	13
3.1 Wissenschaftliche Begleitmaßnahme	13
3.2 Statusseminare	14
3.3 Themenkreise	15
3.4 Kongresse, Messen und Ausstellungen	17
3.5 Parallele Aktivitäten außerhalb von InnoEMat	18
4 Zielerreichung innerhalb der Verbundprojekte	19
4.1 Standardisierte Befragung	19
4.2 Umfrageergebnisse	20
4.3 Publikationen und Patente	24
5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	25
5.1 Zielerreichung der Fördermaßnahme	25
5.2 Weiterer Forschungsbedarf	26
Anhang	27
Wissenschaftliche Publikationen der InnoEMat-Verbundprojekte	27
Angemeldete Schutzrechte	32
Impressum	33

0 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der abschließenden Evaluation des BMBF-Förderprogramms „Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien – InnoEMat“ zusammen, das im Zeitraum von 2016 bis 2021 umgesetzt wurde.

Das Förderprogramm ist Bestandteil des BMBF-Förderprogramms „Vom Material zur Innovation“. Letzteres ist bis zum Jahr 2025 angelegt und mit rund 100 Millionen Euro Fördermittel pro Jahr ausgestattet. Ziel ist, neue Impulse für die Produktforschung zu generieren und dabei aktuelle Entwicklungen zu berücksichtigen. Das speziell auf die Belange der Elektrochemie zugeschnittene InnoEMat-Förderprogramm umfasste ein Fördermittelvolumen von insgesamt 32,5 Millionen Euro, womit 17 Verbundprojekte aus unterschiedlichen Disziplinen der Elektrochemie gefördert beziehungsweise umgesetzt wurden. Die Verbundprojekte wurden von einer wissenschaftlichen Begleitmaßnahme flankiert.

Im Rahmen des InnoEMat-Förderprogramms konnte eine hohe und KMU-geprägte Industriebeteiligung realisiert werden. Auch erreichte das

Förderprogramm mehrere von elektrochemischen Prozessen geprägte Branchen innerhalb Deutschlands. Auf Basis eines hohen Zielerreichungsgrades innerhalb der Verbundprojekte und des durchweg guten Transferpotenzials der Forschungsergebnisse auf nationaler sowie internationaler Ebene wurden durch das Förderprogramm wichtige wissenschaftlich-technische Fortschritte innerhalb der Elektrochemie erreicht. Einige Forschungsergebnisse befinden sich bereits in der industriellen Umsetzung oder bildeten die Grundlage für erfolgreiche Unternehmensgründungen. Da eine innovative Idee im Durchschnitt 10 Jahre bis zu einem marktfähigen Produkt benötigt, kann somit auch von einer langfristig positiven Wirksamkeit der Fördermaßnahme ausgegangen werden. Auch wirken die stattgefundenen fachliche Vernetzung und die so offengelegten Synergiepotenziale mittel- und langfristig positiv nach und können zu strukturbildenden Effekten in unterschiedlichen Ausmaßen beitragen.

1 InnoEMat-Förderprogramm und Ziele der Evaluation

1.1 Hintergrund

Elektrochemische Prozesse sind essentiell für die Herstellung von neuen Materialien und Produktinnovationen und damit in fast allen Industriezweigen der deutschen Wirtschaft präsent. Durch die enorme Vielseitigkeit haben sich elektrochemische Prozesse im Spannungsfeld von stetig steigenden Anforderungen an Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit in den primären Anwendungsfeldern

- Elektrochemische Synthese
- Elektrochemische Oberflächentechnik
- Analytik und Sensorik
- Energiespeicher

zunehmend etabliert. Sie bieten ideale Voraussetzungen für die Herstellung neuer Materialien, die wiederum die Grundlage für die Produktinnovationen von Morgen sind. Zudem gelten elektrochemische Prozesse als entscheidende Schlüsseltechnologie, um den Herausforderungen des Klimawandels und der Energiewende zu begegnen.

Elektrochemische Prozesse kommen in den Bereichen Materialwissenschaften, in den Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie in der Medizintechnik zur Anwendung. Daher ist ihnen auch eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung beizumessen. Im Allgemeinen geht es dabei immer um den Austausch von Ladungen an der Phasengrenze zwischen einer Elektrode (Elektronenleiter) und einem Elektrolyten (Ionenleiter). Die ablaufenden elektrochemischen Reaktionen werden dabei von den beteiligten Werkstoffen sowie insbesondere von deren Oberfläche maßgeblich bestimmt. So eröffnen Stellgrößen wie Zusammensetzung, Morphologie und Aktivität ein breites Parameterfeld für die Auslegung elektrochemischer Prozesse.

Ein detailliertes Verständnis der elementaren Vorgänge an den Phasengrenzen sowie der Dynamik von Transportprozessen innerhalb der beteiligten Phasen ist für die Auslegung von elektrochemischen Prozessen jedoch von zentraler Bedeutung. Erst dieses Verständnis ermöglicht eine Optimierung etablierter elektrochemischer Prozesse hin-

sichtlich der verwendeten Materialien, der Verfahrensauslegung und Prozessführung sowie die Entwicklung gänzlich neuer Prozesse und Anwendungen.

Mit dem Förderprogramm **„Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien - InnoEMat“** wurde von 2016 bis 2021 der Bedeutung elektrochemischer Prozesse entsprechend eine intensive Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen im universitären und außeruniversitären Bereich auf unterschiedlich Gebieten der Elektrochemie unterstützt. Dabei kam in den Verbundprojekten der Einbindung von KMU und der industriellen Verwertung der Projektergebnisse eine besondere Bedeutung zu.

1.2 Beschreibung InnoEMat-Förderprogramm

Die Förderinitiative **„Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien - InnoEMat“** ist Bestandteil der Hightech-Strategie 2020 (HTS) der Bundesregierung, die verschiedene Schlüsseltechnologien adressiert, um Lösungsbeiträge zu globalen Herausforderungen zu leisten und Innovationen für zukünftige Märkte zu fördern. Die Förderinitiative ist eingebettet in das BMBF-Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“, die sich am Leitbild der Nachhaltigkeit mit ihren ressourcensparenden Effekten orientiert.

InnoEMat richtete sich an die deutschen Kernbranchen Automobilindustrie, Medizintechnik, Luft- und Raumfahrttechnik sowie die chemische Industrie und zielte auf die nachhaltige Unterstützung mittelständischer Unternehmen bei der Erforschung und Weiterentwicklung innovativer elektrochemischer Prozesse. Im Rahmen von Verbundvorhaben sollte vertieftes Wissen systematisch aufgebaut und in die technische Anwendung überführt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken und die Positionierung der deutschen Industrie im internationalen Vergleich weiter auszubauen.

Gefördert wurden risikoreiche und anwendungsorientierte industrielle Verbundprojekte, die ein arbeitsteiliges und multidisziplinäres Zusammen-

wirken von Unternehmen mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen erforderten. Unter Einbezug assoziierter Unternehmen wurden im Einzelfall auch reine Forscherverbände gefördert, bei denen grundlegende wissenschaftliche, aber industriell relevante Fragestellungen aufgegriffen oder neue Lösungen für kritische Substanzen zur Einhaltung regulatorischer Rahmenbedingungen angestrebt wurden.

Im Rahmen der Förderinitiative wurden vorrangig Verbundvorhaben aus den Themenschwerpunkten

- **Elektrochemische Synthese**
- **Elektrochemische Oberflächentechnik**
- **Elektrochemische Sensorik und**
- **Elektrochemische Energiespeicher für stationäre Anwendungen**

gefördert, die inhaltlich wie folgt näher zu spezifizieren sind:

Elektrochemische Synthese

Die elektrochemische Herstellung spezieller Substanzen ist verfahrenstechnisch aufwendig und oftmals unwirtschaftlich. Somit bietet z.B. das Überführen klassischer vielstufiger Synthesen in deutlich kompaktere und komplexere Prozesse große wirtschaftliche Potenziale. Innerhalb der InnoEMat-Verbundprojekte wurden zu dieser Herausforderung innovative Szenarien und Reaktionen zu folgenden Fachbereichen erforscht:

- neue Anoden- / Kathodenreaktionen
- verbesserte elektrochemische Aufbereitung von industriellen und urbanen Abwässern
- reduzierende Reaktionen

Elektrochemische Oberflächentechnik

Aktuelle und neue Verfahren der Oberflächentechnik stehen stetig steigenden Kundenanforderungen sowie Beschränkungen durch die REACH-Direktive gegenüber. Im Rahmen der InnoEMat-Förderinitiative wurden deshalb Verbundprojekte unterstützt, die auf Neu- und Weiterentwicklungen in folgenden Bereichen abzielen:

- Abscheidereaktionen von Schichten
- verbesserte Schadenstoleranz und optimierter Korrosionsschutz

- Elektrolytzusammensetzungen
- Oberflächenstrukturierung, -aktivierung, -modifizierung und -funktionalisierung

Elektrochemische Sensorik

Neue Entwicklungen bei elektrochemischen Prozessen gehen nahezu zwangsläufig mit neuen Methoden und weiterentwickelten Sensoren zur Überwachung und Steuerung dieser Prozesse einher. Einige InnoEMat-Verbundprojekte adressierten demnach auch folgende Bereiche der industriellen Elektrochemie:

- Sensorik und Analytik
- Simulation von Prozessen
- Geräte und Anlagen
- Prozessführung

Elektrochemische Energiespeicher für stationäre Anwendungen

Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix nimmt auch die Bedeutung von dezentralen, stationären Energiespeichern hierzulande stetig zu. Aufgrund der perspektivisch begrenzten Ressourcen von Lithium-Ionen-Systemen werden zukünftig weitere elektrochemische Speichertechnologien an Bedeutung gewinnen. Das InnoEMat-Förderprogramm adressierte deshalb auch Verbundvorhaben, die sich mit folgenden Speichersystemen auseinandersetzen:

- Natrium-Ionen-Batterien
- Redox-Flow-Batterien
- Metall-Sauerstoff-Batterien
- Blei-Säure-Batterien

Zum Gesamtförderanteil des Bundes von rund 32,5 Mio. Euro kamen noch ca. 15 Mio. Euro aus der deutschen Industrie. Innerhalb der Fördermaßnahme wurden 17 Verbundprojekte mit 84 Projektpartnern gefördert. Die bewilligte Projektlaufzeit betrug in der Regel 36 Monate.

1.3 Ziele der Evaluation

Die durchgeführte Evaluation ist darauf ausgerichtet, den Status Quo der Elektrochemie zu Beginn der Fördermaßnahme zu erfassen und am Ende dem erreichten Niveau gegenüberzustellen, um die Hebelwirkung der Fördermaßnahme auf die wissenschaftlich-technische bzw. industrielle An-

wendung elektrochemischer Prozesse und das damit einhergehende gesamtwirtschaftliche Potenzial zu bewerten. Aufgrund der ausgeprägten Exportorientierung der deutschen Wirtschaft soll das Verwertungspotenzial auch im europäischen bzw. internationalen Kontext abgeschätzt werden. Basierend auf den Ergebnissen der Statuskonferenzen, Themenkreise und der Arbeitstreffen mit den Projektverbänden, zudem auf einer Bewertung des Bearbeitungsstandes sowie simultaner nationaler und internationaler Entwicklungen erfolgte eine fachliche Bewertung der Zielerreichung der Verbundprojekte sowie der gesamten Fördermaßnahme. Neben dem Abgleich der Forschungsergebnisse wurden dabei auch Aspekte der Ergebnisverwertung, der weitere Forschungs-

und Innovationsbedarf sowie mögliche Innovationshemmnisse untersucht.

Die direkten und indirekten Wirkungen der Fördermaßnahme wurde anhand von Dokumenten- und Literaturanalysen, Internet- und Datenbankrecherchen, einer Analyse der Förderdaten, einer standardisierten Befragung der beteiligten Unternehmen und Forschungseinrichtungen, anhand mehrerer Themenkreise (Workshops) sowie eigenen Datenerhebungen ermittelt. Mit diesen Methoden wurde eine ganzheitliche Bewertung der Fördermaßnahme realisiert, deren Ergebnisse im vorliegenden Evaluationsbericht übersichtlich zusammengefasst wurden.



2 InnoEMat-Verbundprojekte

2.1 Art und Umfang der bewilligten Projekte

Insgesamt wurden 17 Verbundprojekte im Rahmen der InnoEMat-Förderinitiative bewilligt. Hiervon wurden 13 Verbundprojekte als industriegeführte Konsortien – mehrheitlich bestehend aus Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und einer oder mehreren Forschungseinrichtungen – gefördert. Weitere 4 Verbundprojekte sind als reine Forscherverbände, d.h. einer Kooperation mehrerer Hochschulen bzw. Forschungseinrichtungen, gestartet.

Die InnoEMat-Verbundprojekte wurden i.d.R. mit einer Laufzeit von 36 Monaten und mit drei bis sieben multidisziplinär ausgerichteten Teilprojekten bewilligt. Die durchschnittliche Förderquote der industriegeführten Verbundprojekte lag bei 60%, jene der reinen Forscherverbände bei 100%.

Die Anzahl der bewilligten Verbundprojekte nach gefördertem Themenschwerpunkt zeigt Abb. 1 (links). Demnach wurden in den Förderschwerpunkten elektrochemische Oberflächentechnik

und elektrochemische Synthese mit 7 bzw. 5 die meisten Vorhaben bewilligt. Es folgen die Bereiche Energiespeicher und Sensorik mit 3 bzw. 2 bewilligten Vorhaben. Die Anzahl der Projekte innerhalb eines Förderschwerpunktes korreliert im Wesentlichen auch mit dem jeweils dafür aufgebrauchten Fördermittelanteil der gesamten Förderinitiative, Abb. 1, rechts, woraus sich ausgewogene Projektvolumina ableiten lassen. Lediglich der Förderschwerpunkt Sensorik ist nach seinem Fördermittelanteil etwas unterrepräsentiert, was auf vergleichsweise wenige Teilprojekte innerhalb der Verbundprojekte mit zum Teil geringerer Projektlaufzeit zurückzuführen ist. Auch wurde im Bereich Sensorik kein Forscherverbund bewilligt.

Grundsätzlich zeichnet sich die InnoEMat-Fördermaßnahme mit 53% durch eine starke, überwiegend KMU-geprägte Industriebeteiligung aus, Abb. 2, links. Werden die vier Forscherverbände aus dieser Bewertung ausgenommen, liegt der Industrieanteil bei den industriegeführten Konsor-

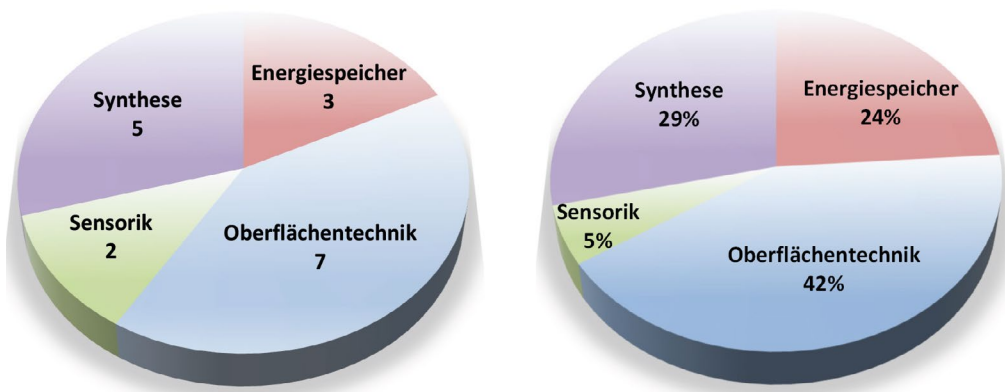


Abb. 1. Anzahl der bewilligten Verbundprojekte (links) und Anteil der Fördermittel (rechts) jeweils aufgeteilt nach den InnoEMat-Förderschwerpunkten

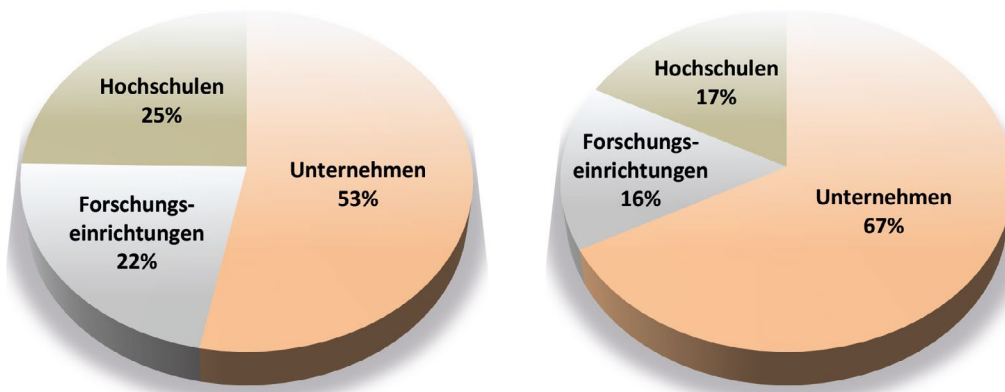
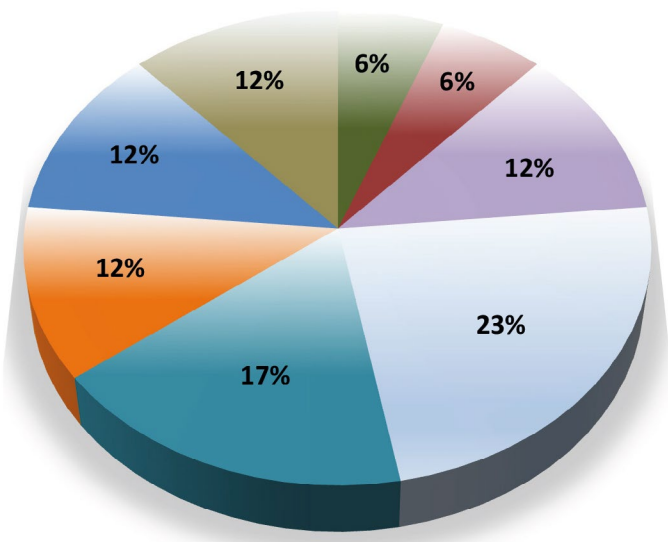


Abb. 2. Verteilung der InnoEMat-Projektpartner (links: insgesamt; rechts: ausschließlich industriegeführte Konsortien)

tien sogar bei 67%. Damit wird auch belegt, dass im KMU-Segment erhebliche FuE-Leistungen erbracht werden und die Fördermaßnahme hierzu einen wichtigen Beitrag leistet.

2.2 Branchen

Eine Klassifizierung der bewilligten Verbundprojekte nach Branchen beziehungsweise Technologiefeldern kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. In dieser Evaluation wurden alle Forscherverbünde als branchenneutral zusammengefasst, da diese überwiegend im Bereich der Grundlagenforschung tätig waren und eine Ergebnisverwertung in verschiedenen Industriezweigen möglich ist. Unter den industriegeführten Verbundprojekten ist der Maschinen- und Anlagenbau der am stärksten vertretene Bereich. Es folgen die Branchen Mikroelektronik, Spezialchemie sowie Medizin- und Batterietechnik mit jeweils gleichen Anteilen. Die Bereiche Automobilindustrie und Abwassertechnik haben den geringsten Anteil. Weitere Branchen wie beispielsweise die Luft- und Raumfahrttechnik waren indes nicht durch entsprechende Verbundprojekte repräsentiert.



- Abwassertechnik
- Maschinen- und Anlagenbau
- Automobilindustrie
- Medizintechnik
- Batterietechnik
- Mikroelektronik
- Forscherverbund
- Spezialchemie

Abb.3. Aufteilung der geförderten InnoEMat-Verbundprojekte nach Branchen

2.3 Regionale Verteilung der Verbundpartner

Die räumliche Verteilung der InnoEMat-Verbundpartner in Deutschland spiegelt näherungsweise auch die von Elektrochemie geprägten Regionen und Branchen in Deutschland wieder, Abb. 3. So wurden die meisten InnoEMat-Teilprojekte an Industrie- und Forschungsstandorten in Nordrhein-Westfalen (19), Baden-Württemberg (14), Sachsen (14), Bayern (9) und Hessen (8) bewilligt. Es folgen Niedersachsen (6, einschl. Bremen), Thüringen (4), Berlin (3), Schleswig-Holstein (2), Sachsen-Anhalt (1) und Mecklenburg-Vorpommern (1). In Rheinland-Pfalz, Hamburg, Brandenburg sowie im Saarland wurden indes keine Vorhaben gestartet.



Abb. 4. Regionale Verteilung der geförderten Projektpartner innerhalb Deutschlands

2.4 Übersicht bewilligter Projekte

Synthese	
ElektroWirbel	Schließung industrieller Stoffkreisläufe durch neue elektrochemische Wirbelbettreaktoren
EPSYLON	Elektrochemische Biphenolsynthese durch direkte Kupplung an modernen Kohlenstoffanoden
S3kapel	Skalenübergreifende Simulation von Separationsverfahren mit kapazitiven Elektroden
Sonektro	Integrierte hochstabile Materialverbundsysteme für die sono-elektrochemische Behandlung REACH-relevanter anthropogener Spurenstoffe sowie für elektrochemische Synthesen
ZellCoDia	Neue Zellkombination aus Diamant-Elektrode und Sauerstoffverzehr-Kathode
Elektrochemische Oberflächentechnik	
ElisA	Elektrochemische Abscheidung von reaktiven Materialsystemen für neue Raumtemperatur-Fügeverfahren
ELOBEV	Erforschung von elektrolytischen Beschichtungssystemen für Verbindungselemente aus höchstfesten Werkstoffen
GALACTIF	Neue galvanotechnische Beschichtungsprozesse aus ionischen Flüssigkeiten
ReKoPP	REACH-konformer Korrosionsschutz durch Pulse-Plating
SwitchECM	Ressourceneffiziente Endbearbeitung durch elektrochemisches Abtragen mit prozesszustandsabhängiger Kathodenbestromung
TailoredZA	Maßgeschneiderter Aufbau mehrlagiger Zinklegierungsschichten zur Verbesserung der Umform- und Korrosionsschutzeigenschaften
VEProSi	Vereinfachter ECD-Prozess für die Systemintegration von Halbleiter- und MEMS-Bauelementen
Energiespeicher	
AddESun	Innovative Materialien für stationäre Blei-Säure-Batterien
GEP	Grundlagen elektrochemischer Phasengrenzen
PrintEnergy	Erforschung von neuartigen Materialien und Rezepturen für gedruckte, wieder aufladbare Zink/Luft-Zellen
Sensorik	
eDx	Automatisiertes elektrochemisches Verfahren zur Detektion von miRNA und SNPs
FluorousSens	Biostabile ionenselektive elektrochemische Sensoren aus fluorierten Polymeren, Ionophoren und Leitsalzen für Anwendungen in Bioprosess-technik und Medizin

2.5 Projektlaufzeiten und Laufzeitverlängerungen

Die Verbundprojekte wurden zumeist auf eine Laufzeit von 36 Monaten ausgelegt, Abb. 5. Ausnahmen bildeten das industriegeführte Verbundprojekt eDx (24 Monate) sowie der Forscherverbund im Rahmen des Projekts GEP (48 Monate). Der Start aller 17 Verbundprojekte erfolgte im Zeitraum von Februar 2016 bis Oktober 2017, Abb. 5. Bis Mitte 2019 folgte eine etwa 2 Jahre andauernde Phase, in der alle Verbundprojekte (mit Ausnahme von eDx) gleichzeitig bearbeitet wurden. Bei 11

der 17 geförderten Verbundprojekte wurden vor dem offiziellen Projektende entsprechende Laufzeitverlängerungen beantragt und bewilligt. Diese Laufzeitverlängerungen waren in der Regel durch noch nicht abgeschlossenen Arbeitspakete – wie beispielsweise die Herstellung und die Inbetriebnahme von Demonstratoren – begründet. Insbesondere ab 2020 sind diese Verzögerungen aber auch auf die Auswirkungen der Coronapandemie zurückzuführen. Die durchschnittlich bewilligte Laufzeitverlängerung betrug ca. 6 Monate



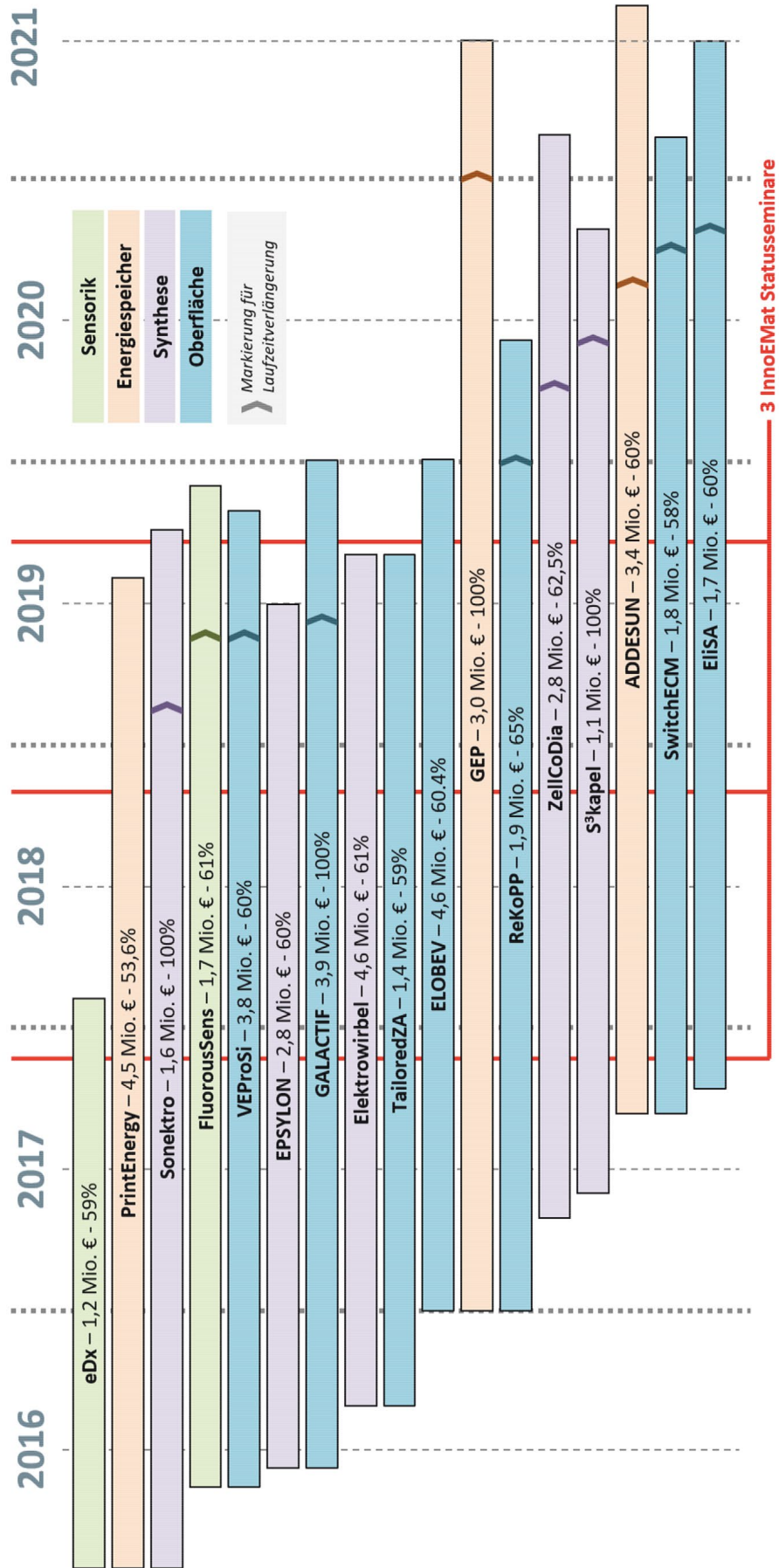


Abb. 5. Projektlaufzeiten und Laufzeitverlängerungen

3 Umsetzung des Förderprogramms

3.1 Wissenschaftliche Begleitmaßnahme

Die Förderinitiative InnoEMat wurde ab Mai 2017 von der wissenschaftlichen Begleitmaßnahme InnoEMatplus flankiert. Inhaltlich umgesetzt wurde das Begleitprojekt durch eine Konsortialpartnerschaft zwischen der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM), der Deutschen Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik (DGO) und der Gesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA). Die Aufgabe der Begleitmaßnahme bestand darin, die bewilligten Projektverbände bei der Öffentlichkeitsarbeit, der Vernetzung, dem fachlichen Austausch sowie dem Ergebnis- und Technologietransfer fachlich und organisatorisch zu unterstützen.

Begleitung und Vernetzung der Forschungsverbände

Durch die wissenschaftliche Begleitmaßnahme wurde eine intensive Begleitung aller 17 Verbundprojekte der Fördermaßnahme gewährleistet. Hierzu nahmen die Partner DECHEMA, DGO und DGM entsprechend ihrer jeweiligen fachlichen Ausrichtung regelmäßig an den internen Verbundtreffen der Projekte teil. Bei Projektlaufzeiten von 3 Jahren erfolgten i.d.R. 2 Teilnahmen (zur Laufzeitmitte sowie am Projektende). Die Anwesenheit bei diesen Projekttreffen diente dem direkten Informationsabgleich mit den verschiedenen Teilprojekten, der Identifizierung von Synergien zu anderen Verbänden und projektübergreifenden Themen für inhaltlich fokussierte Themenkreise, sowie zur Beurteilung der erzielten Ergebnisse bezüglich einer industriellen Umsetzung. Auf diese Weise konnten zudem die von der Begleitmaßnahme geplanten Aktivitäten unmittelbar mit allen an den Verbundvorhaben beteiligten Partnern erörtert werden. Die Analyse und die Bewertung des Bearbeitungsstands der Projekte diente außerdem der Beurteilung des Stands der gesamten Fördermaßnahme.

Öffentlichkeitsarbeit

Eine intensive Öffentlichkeitsarbeit gewährleistete die Wahrnehmung der Fördermaßnahme bei Fachleuten sowie bei einer breiten, technisch-wissenschaftlich interessierten Öffentlichkeit. Zur Steigerung des Wiedererkennungswertes der För-

dermaßnahme sowie für ein möglichst hohes Identifikationsmaß bei allen an der Fördermaßnahme beteiligten Akteuren wurde zu Beginn ein eigenes Corporate Design entwickelt und etabliert. Regelmäßige Pressemitteilungen, die über verschiedene mediale Kanäle veröffentlicht sowie über geeignete Verteilersysteme verbreitet wurden, informierten zu allen Entwicklungen im Rahmen der Förderinitiative. Diverse Informationsmaterialien (Flyer, Roll-Ups) ergänzten die Aktivitäten und zielten auf eine nachhaltige Unterstützung des Ergebnis- und Technologietransfers.

Internetpräsenz

Für eine möglichst hohe öffentliche Sichtbarkeit der Forschungsaktivitäten wurde von der Begleitmaßnahme ein zentraler Internetauftritt für die Fördermaßnahme eingerichtet (www.innoemat.de). Das Online-Angebot umfasste Informationen zur Fördermaßnahme und zu den einzelnen Verbundvorhaben einschließlich jeweiliger Projektsteckbriefe und Ansprechpartner. Mit einem Veranstaltungskalender wurde regelmäßig über aktuelle Termine der Fördermaßnahme und thematisch relevante Veranstaltungen im In- und Ausland informiert. In einem eigenen Downloadbereich konnten zudem alle erarbeiteten Dokumente und Ergebnisprotokolle abgerufen werden. Im passwortgeschützten Bereich der Website standen zudem alle Präsentationen der durchgeführten Statusseminare zum Download bereit. Online-Besucher konnten sich mithilfe einer Linksammlung einen schnellen Überblick zu allen im Rahmen der Fördermaßnahme entstandenen wissenschaftlichen Publikationen verschaffen. Regelmäßige Berichte über vergangene Statusseminare, Themenkreise, Messebeteiligungen und sonstige Aktivitäten rundeten das Online-Angebot ab.

Projektband

Eine weitere Aufgabe der Begleitmaßnahme bestand in der Erstellung eines umfangreichen Projektbandes. Dieser wurde für alle Projektverantwortlichen und interessierten Besuchern im Rahmen des 3. Statusseminars direkt vor Ort bereitgestellt (s. Abschnitt 3.2.). In dieser über 100 Seiten umfassenden Broschüre stellten alle 17

Forscherverbände ihre Forschungsschwerpunkte, die wissenschaftliche Vorgehensweise und erste Ergebnisse mit Projektsteckbriefen und einer ausführlichen Projektbeschreibung vor. Für den Projektband haben die Projektbeteiligten in enger Abstimmung mit der Begleitmaßnahme die Beschreibungen und Ergebnisse geliefert. Diese wurden durch DGO, DGM und DECHEMA redaktionell bearbeitet und zusammengestellt.

3.2 Statusseminare

InnoEMat-Statusseminare bildeten zentrale Veranstaltungen innerhalb der gesamten Fördermaßnahme. Insgesamt 3 Statusseminare wurden unter Einbezug aller Verbundprojekte von der wissenschaftlichen Begleitmaßnahme jeweils in den Jahren 2017, 2018 und 2019, s. Abb. 5, organisiert und umgesetzt. Außerdem wurden die Veranstaltungen genutzt, um die inhaltliche Fokussierung von Themenkreisen (Workshops) bedarfsgerecht auszurichten. Nachfolgende Zusammenfassungen vermitteln einen konkreten Überblick zum Ablauf der Statusseminare.

Erstes Statusseminar

Am 23. und 24. November 2017 fand das erste Statusseminar der Förderinitiative InnoEMat im Pentahotel in Leipzig statt. Der fachliche Austausch sowie das Knüpfen neuer Kontakte zwischen allen 17 Verbundprojekten standen dabei im Mittelpunkt.

Für die meisten der insgesamt 85 Teilnehmer war das Format des Statusseminars ein Novum: Aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen der Elektrochemie kamen Fachleute zusammen, um sich über die Inhalte aller InnoEMat-Verbundprojekte zu informieren und auch eigene Zwischenergebnisse zu präsentieren. So ermöglichte die Veranstaltung wertvolle Blicke über den fachlichen Tellerrand hinaus, um nicht zuletzt Impulse und Synergien für das eigene Projekt zu gewinnen. Jedes der 17 Verbundprojekte beteiligte sich mit einem eigenen Übersichtsvortrag sowie mit einem Poster. Die Teilnehmer aus Industrie und Forschung begegneten dem fachlich breit gefächerten Vortragsprogramm sowie der begleitenden Posterausstellung mit großer Neugier und regem Interesse, so dass sich die zweitägige, nicht öffentliche Veranstaltung zu einer Plattform für den interdisziplinären Austausch entwickelte.

Als besonderes Highlight erwartete die Teilnehmer eine anregende Podiumsdiskussion zum Thema „Elektrochemie und Energiewende: auf Kollisionskurs?“, die mit einem Impulsvortrag mit dem Titel „Innovative Elektrochemie in der Energiewende: Herausforderungen und Chancen“ von Prof. Kai Sundmacher (Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg) eingeleitet wurde. In seinem Vortrag griff Prof. Sundmacher u.a. verschiedene elektrochemische Prozesse auf und bewertete deren Potenzial im Kontext zu den Herausforderungen der Energiewende. Die anschließende Podiumsdiskussion knüpfte an die Inhalte des Impulsvortrages an und wurde vom Auditorium rege für Diskussionsbeiträge genutzt.

Zweites Statusseminar

Am 29. und 30. Oktober 2018 fand das zweite Statusseminar im DECHEMA-Haus in Frankfurt a.M. statt. Die Veranstaltung bildete den Halbzeitmeilenstein der Förderinitiative und zugleich eine Plattform für den interdisziplinären Austausch sowie für eine noch intensivere fachliche Vernetzung zwischen allen beteiligten Akteuren. Dabei wurde erstmalig der Schwerpunkt auf verschiedene Möglichkeiten zur Überführung von Forschungsergebnissen in die industrielle Praxis gelegt.

Das Statusseminar zählte 96 Teilnehmer einschließlich 26 Referenten aus allen 17 Verbundprojekten. Der erste Tag widmete sich – analog dem 1. Statusseminar – der Vorstellung der bisherigen Forschungsergebnisse aus den einzelnen Verbänden. In den Pausen und im Rahmen der Abendveranstaltung fanden eine Posterschau mit 26 Postern und eine Ausstellung von 5 repräsentativen Exponaten statt.

Auf ebenfalls großes Interesse stieß das Programm des zweiten Veranstaltungstages. Nach Vorstellung der Aktivitäten des wissenschaftlichen Begleitvorhabens InnoEMatplus widmeten sich zunächst zwei Beiträge der Hessenagentur und der ZENIT GmbH unterschiedlichen Fördermöglichkeiten für Gründungswillige. Zwei anschließende Beiträge der Start-ups Biconex und Galvano Pro vermittelten einen vertieften Einblick in die Gründerhistorie dieser beiden Unternehmen, d.h. ihren Weg von der Idee bis hin zur erfolgreichen Unternehmensgründung und stellten damit einen sehr

realen Bezug zur praktischen Umsetzung von Forschungsergebnissen her, was die positiven Reaktionen des Auditoriums bestätigten. Abgerundet wurde die Veranstaltung mit Übersichtsvorträgen zu drei fachlich relevanten Förderinitiativen des BMBF. Insgesamt wurden durch das zweite Statusseminar wichtige Impulse für den Ergebnis- und Technologietransfer gesetzt.

Drittes Statusseminar

Am 18. und 19. September 2019 folgten ca. 80 Teilnehmer aus Industrie und Forschung der Einladung für das dritte Statusseminar in die Messe Dresden. Eingebettet in die Konferenz WerkstoffWoche hatten erstmalig auch externe Interessierte die Möglichkeit, sich über aktuelle Forschungsergebnisse der InnoEMat-Verbundprojekte zu informieren. Insbesondere durch die Präsentation verschiedener Exponate und Demonstratoren sowie erklärender und projektbezogener Poster wurde ein umfassender fachlicher Einblick ermöglicht und Anknüpfungspunkte für fachlichen Austausch und Vernetzung generiert.

Die sehr gute Resonanz belegten das anhaltend hohe Interesse an den InnoEMat-Forschungsthemen. Auch wurde die große fachliche Bandbreite aller geförderten InnoEMat-Forschungsthemen erneut deutlich. So reicht diese von rein akademischer Grundlagenforschung – mit z.B. atomistischen Betrachtungen der Vorgänge in elektrochemischen Phasengrenzen – bis hin zu anwendungsnahen Entwicklungen wie bspw. neuen Multilagenschichtsystemen für Korrosionsschutzzwecke. Trotz dieser Bandbreite ergaben sich dennoch immer wieder neue thematische Schnittmengen zwischen den Verbundprojekten. Prof. Dr. Wolfram Jaegermann (TU Darmstadt, Koordinator Verbundprojekt GEP) nutzte bspw. die Gelegenheit und bot die in seiner Projektgruppe generierte Expertise bei der Analyse der elektronischen Zustände an unterschiedlichen Phasengrenzen für eine Übertragung auf Szenarien der übrigen Verbundprojekte an.

Im Anschluss an die Statusberichte wurde ELEC-TRA – ein weiteres national agierendes Netzwerk mit Fokus auf Elektrochemie – vorgestellt (siehe Abschnitt 3.4).

Das Highlight des 3. Statusseminars war die sogenannte Call-for-Problems Session. Hier wurden die

Verbundprojekte im Vorfeld kontaktiert und gebeten, ihre „Herausforderungen“ zu schildern und im Rahmen der Session vorzustellen. Dieses zunächst sehr zurückhaltend angenommene Angebot wurde in der Umsetzung sehr positiv aufgenommen und führte zu zahlreichen Lösungsansätzen und auch neuen Kontakten für die Verbundprojekte. Seitens der Begleitmaßnahme wurden Experten eingeladen, die Lösungsvorschläge im Rahmen der Call-for-Problems Session darlegten und im Nachgang der Veranstaltung mit den jeweiligen Fragestellern vernetzt wurden.

3.3 Themenkreise

Weitere zentrale Veranstaltungen innerhalb der Fördermaßnahme bildeten sog. Themenkreise. Die Themenkreise stellten für die Verbundprojekte ein unterstützendes Werkzeug dar, um die erhaltenen Forschungsergebnisse zu bewerten und in den Kontext zu aktuellen wissenschaftlich-technischen oder gesellschaftlichen Diskussionen und Entwicklungen zu stellen. Dabei wurden gezielt Querschnittsthemen adressiert, die einen fachlichen Austausch über die Themenschwerpunkte der Förderinitiative „InnoEMat“ hinaus ermöglichen. Die jeweiligen Themen wurden dabei stets mit dem Projektträger sowie dem zuständigen BMBF-Referat abgestimmt. Insgesamt wurden drei Themenkreise erfolgreich organisiert und durchgeführt, zu denen nachfolgende Zusammenfassungen einen inhaltlichen Überblick vermitteln.

Erster Themenkreis:

Digitalisierung elektrochemischer Prozesse

Knapp 40 Vertreter aus Industrie und Wissenschaft kamen am 28. Mai 2019 zum Workshop „Digitalisierung elektrochemischer Prozesse“ in Frankfurt a.M. zusammen. Die Diskussionsveranstaltung zielte darauf ab, das Thema Digitalisierung noch näher an mittelständische Unternehmen heranzubringen und gemeinsam konkrete Herausforderungen zu beleuchten. Das Workshop-Thema wurde in enger Abstimmung mit dem BMBF festgelegt und orientierte sich am neuen BMBF-Förderansatz „MaterialDigital“, der im Rahmen der WerkstoffWoche 2019 am 18.09.2019 vorgestellt wurde.

Grundsätzlich ist das Thema Digitalisierung bei vielen mittelständischen Unternehmen zwar mittlerweile angekommen, jedoch wird dieses in sei-

ner langfristigen Bedeutung noch immer unterschätzt bzw. die Tragweite nicht erkannt. Hinter allem steht oftmals die Frage, welchen konkreten Nutzen das Unternehmen hat. Begleitet wird dieser Aspekt meist von der Befürchtung, dass den zum Teil erheblichen Investitionen mittelfristig kein planbarer Ertrag gegenübersteht. Dies führt dazu, dass zu wenige Investitionsentscheidungen getroffen oder einzelne Projekte zu langsam vorangetrieben werden. Zwar sind Branchen wie die chemische Prozessindustrie oder der Maschinen- und Anlagenbau etwas schwächer digitalen Transformationsprozessen ausgesetzt als beispielsweise Handel oder Telekommunikation. Eine intensivere Auseinandersetzung mit diesem Thema ist für mittelständische Unternehmen jedoch unerlässlich, um mittel- und langfristige Wettbewerbsnachteile zu vermeiden.

Zu Beginn des Workshops referierten daher drei renommierte Fachexperten, Luisa Brée (RWTH Aachen), Karl Morgenstern (ZVO) und Sebastian Thiede (TU Braunschweig), zu unterschiedlichen Aspekten der Digitalisierung mit Bezug zu elektrochemischen Prozessen und bildeten damit die fachliche Basis für die folgende Diskussion. Dabei wurde unter anderem auf digitale Assistenzsysteme für eine optimale Prozess- und Ablaufplanung in einem Galvanikbetrieb eingegangen. Ebenso wurden die Potenziale einer sich am Strommarkt orientierenden und somit flexibilisierten Produktion aufgezeigt, um Stromerzeugung und betriebliche Stromverbräuche aufeinander abzustimmen und als betriebliches Geschäftsmodell zu etablieren.

In einem anschließenden „World-Café“ erörterten die Teilnehmer in kleinen Gruppen die Potenziale, Voraussetzungen aber auch Risiken der folgenden vier Aspekte, die mit einer voranschreitenden Digitalisierung immer mehr an Bedeutung gewinnen:

- **Flexibilisierung:** Vernetzung mit externen Systemen, Demand-Side-Management
- **Prozessführung:** Prozesssimulation, Prozessüberwachung und -steuerung in Echtzeit
- **Prozessoptimierung:** Ressourcen- und Energiemanagement
- **Produkt- und Materialentwicklung:** Digitaler Zwilling, Qualitätssicherung, Lebenszyklusbeachtung

In den intensiv geführten Diskussionen wurden vielseitige und auch pragmatische Betrachtungsweisen debattiert. So wurde zum Beispiel klargestellt, dass zunächst die Erarbeitung einer individuellen und betriebswirtschaftlich sinnvollen Digitalisierungsstrategie im Unternehmen unerlässlich ist: Vorhandene Rahmenbedingungen müssen analysiert und bewertet werden, um anschließend anhand der technischen Möglichkeiten einen sinnvollen, nach Prioritäten gestaffelten Umsetzungsplan aufstellen zu können. Dabei ist unter anderem konkretes Fachwissen hinsichtlich Digitalisierung (Kenntnis von konkreten Anwendungsmöglichkeiten) in den unterschiedlichen Abteilungen (Technologie und IT) eine wichtige Voraussetzung für eine zielführende interdisziplinäre Zusammenarbeit. Weiter müsse dabei klar der Mensch und nicht die Technologie im Mittelpunkt aller Aktivitäten stehen.

Im Nachgang der Veranstaltung wurden die Ergebnisse aufbereitet, ausgewertet und in Form eines Ergebnispapiers auf der zentralen Internetpräsenz publiziert.

Zweiter Themenkreis: Mittel- und langfristiger Forschungsbedarf in der Elektrochemie

Aufgrund der Corona-Pandemie fand der zweite Themenkreis am 6. Juli 2020 als Online-Veranstaltung statt und verzeichnete mehr als 60 Anmeldungen von Vertretern aus Industrie und Wissenschaft. 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 InnoMat-Verbundprojekte, sondern im Speziellen auch bei Industriepartnern und Forschungseinrichtungen außerhalb der Förderinitiative. Diese Gruppe stellte drei Viertel der Anmelder und dokumentierte so den äußerst hohen mittel- und langfristigen Bedarf an FuE-Projekten im Bereich der Elektrochemie.

Der Programmablauf und die Moderationstechniken wurden speziell auf das Format einer Online-Veranstaltung abgestimmt, so dass am Ende aufgrund der hohen Teilnehmerzahl ein breiter Fundus an Ergebnissen erarbeitet werden konnte.

Zu Beginn des Workshops skizzierten renommierte Experten mit zwei Impulsvorträgen zunächst aktu-

elle 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) und Dr. Klaus Wojczykowski (CTO bei der Coventya GmbH). 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 individuellen 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 wurden ebenfalls in einem Ergebnispapier aufbereitet und über die zentrale Internetpräsenz einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Dritter Themenkreis: Alternative Technologien für stationäre Energiespeicher als Beitrag zur Energiewende

Der dritte und letzte Themenkreis der BMBF-Förderinitiative „InnoEMat – Innovative Elektrochemie mit neuen Materialien“ fand am 05. Juli 2021 als Online-Veranstaltung statt. Mit drei Fachvorträgen, einer Podiumsdiskussion sowie einem Meet-the-Experts-Format erhielten die rund 40 Teilnehmer einen umfassenden Einblick in den Entwicklungsstand verschiedener Batteriespeichertechnologien.

Aufgrund der perspektivisch begrenzten Ressourcen für Lithium-Ionen-Batterien ist zu erwarten, dass die Bedeutung alternativer Speichertechnologien mittel- und langfristig zunehmen wird. Dazu trägt auch der wachsende Bedarf an stationären Energiespeichern hierzulande bei, um den steigenden Anteil regenerativ erzeugter Energie für Indus-

trie und Privathaushalte bis zu seiner Verwendung bevorraten zu können. Als alternative Technologien kommen verschiedene Systeme infrage, die im Rahmen des Themenkreises durch interessante Fachvorträge näher beleuchtet wurden.

So referierten Prof. Daniel Schröder (TU Braunschweig) über Metall-Sauerstoff-Systeme, Prof. Philipp Adelhelm (Humboldt-Universität-Berlin) über Natrium-Ionen-Batterien sowie Dr. Peter Fischer (Fraunhofer ICT, Pfinztal) über die Redox-Flow-Technologie. Die Referenten zeigten aktuelle Trends und Forschungsbedarfe auf und gingen zudem auf Stärken und Schwächen der jeweiligen Systeme ein.

In einer anschließenden Podiumsdiskussion wurden mit den Referenten verschiedene Aspekte wie z.B. Ressourcenverfügbarkeit, Effizienz, Energiedichte, Langzeitstabilität sowie potenzielle Anwendungsgebiete erörtert. Zudem wurde über produktionstechnische Rahmenbedingungen und den Carbon-Footprint debattiert. Dabei wurde u.a. deutlich gemacht, dass die Effizienz der Systeme zwar eine wichtige Größe sei, viel entscheidender sei jedoch die Skalierbarkeit gepaart mit niedrigen Produktionskosten. Ebenso müsse die CO₂-Bilanz bei der Rohstoffgewinnung sowie der Batterieherstellung auf globaler Ebene betrachtet werden.

3.4 Kongresse, Messen und Ausstellungen

Als weitere Ergänzung zu Statusseminaren und Themenkreisen wurde die Fördermaßnahme kontinuierlich auf einschlägigen Konferenzen, Fachtagungen sowie in relevanten Gremien der wissenschaftlichen Gesellschaften vorgestellt. Außerdem wurden unter Einbezug der Verbundprojekte mehrere Fachsessions zu InnoEMat-Themen bei einschlägigen Kongressen organisiert. Gemeinschaftsstände auf Messen, bei denen u.a. Demonstratoren aus den Verbundprojekten ausgestellt wurden, unterstützten zudem den initiierten Ergebnis- und Technologietransfer. Ebenfalls wurden auf diesem Weg fachliche Synergien offengelegt und Anknüpfungspunkte für mögliche Folgeprojekte identifiziert.

Eine sehr hohe Sichtbarkeit wurde zum Beispiel mit einem InnoEMat-Gemeinschaftsstand im Rahmen der Industrieausstellung der ZVO-Oberflächentage 2018 – ein renommierter Kongress

innerhalb der Branche – erreicht. Hier präsentierten sich insgesamt fünf Teilprojekte mit ihren Innovationen im Bereich Oberflächentechnik. Eigens dafür angefertigte Roll-Ups informierten zudem über aktuelle Forschungsergebnisse und sorgten für ein einheitliches Gesamtbild der Förderinitiative. Des Weiteren wurde mit der Durchführung des dritten Statusseminars im Rahmen der DGM-WerkstoffWoche 2019 und der damit verbundenen Ausstellung weitere Synergien und Schnittmengen zu fachlichen Bereichen außerhalb von InnoEMat generiert. Mit einer Ergebnispräsentation auf der DGO-Veranstaltung Leipziger Fachseminar 2019 wurde zudem der Ergebnistransfer im Bereich Oberflächentechnik in mittelständische Unternehmen unterstützt. Weitere für das Jahr 2020 geplante Transferaktivitäten konnten aufgrund der Corona-Pandemie nicht durchgeführt werden.

Liste der Kongress- und Messebeteiligungen:

- InnoEMat-Vortragssession auf den **ZVO-Oberflächentagen 2018** in Leipzig
- InnoEMat- Vortragssession auf der **ACHEMA 2018** in Frankfurt
- InnoEMat- Vortragssession auf der **Hannover Messe 2018**
- öffentliches Statusseminar, Call-for-Problems Session und Exponate-Ausstellung auf der **Werkstoffwoche 2019** in Dresden
- InnoEMat-Gemeinschaftsstand auf den **ZVO-Oberflächentagen 2019** in Berlin
- InnoEMat-Präsentation auf dem **Werkstoff-technischen Kolloquium 2019** in Chemnitz
- InnoEMat-Gemeinschaftsstand auf dem **Leipziger Fachseminar der DGO 2019**

3.5 Parallele Aktivitäten außerhalb von InnoEMat

Zur forschungsseitigen Orientierung und zum Abgleich der InnoEMat-Technologieentwicklungen wurden relevante Initiativen, Netzwerke und Projekte außerhalb der InnoEMat-Förderinitiative identifiziert und für die InnoEMat-Verbundvorhaben entsprechende Anknüpfungspunkte bzw. Schnittstellen generiert. Hier wird exemplarisch auf das Kompetenzzentrum Industrielle Elektrochemie ELECTRA verwiesen. ELECTRA ist eine gemeinsame Initiative des Lehrstuhls für Chemische Verfahrenstechnik (Prof. Matthias Wessling) an der RWTH und dem Institut für Energie- und Klimaforschung, Grundlagen der Elektrochemie (Prof. Rüdiger Eichel) am Forschungszentrum Jülich und zielt darauf ab, aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen im Bereich der Elektrochemie zu identifizieren und gemeinsame Forschungsvorhaben in folgenden, zu InnoEMat äquivalenten Fachbereichen zu realisieren:

- Energiespeichersysteme
- Materialien für elektrochemische Prozesse
- elektrochemische Synthese und
- elektrochemische Trennprozesse

Im Rahmen des 3. InnoEMat-Statusseminars wurde das ELECTRA-Netzwerk aktiv eingebunden und den InnoEMat-Verbundprojekten u.a. Know-how bei der Skalierung elektrochemischer Prozesse auf Industriemaßstab angeboten. Innerhalb der Laufzeit der InnoEMat-Förderinitiative fanden zudem zwei ELECTRA-Symposien statt.

4 Zielerreichung innerhalb der Verbundprojekte

4.1 Standardisierte Befragung

Für die Bewertung der Zielerreichung innerhalb der Verbundvorhaben sowie des wirtschaftlichen Verwertungspotenzials der Projektergebnisse wurde von der wissenschaftlichen Begleitmaßnahme InnoEMatplus eine standardisierte Befragung durchgeführt, um die erzielten Beiträge, Fortschritte und Verbesserungen in verschiedenen Bereichen zu erfassen und zu bewerten. Der zugehörige Fragebogen wurde den Verbundpartnern jeweils zu den Projektabschlussstreifen erläutert und im Nachgang durch die Projektbeteiligten bearbeitet. Von den 17 InnoEMat-Verbundprojekten haben sich 13 an der Befragung beteiligt.

Inhalt der Befragung:

Der erste Teil der Befragung erforderte eine ganzheitliche Bewertung der Zielerreichung des Verbundprojekts, die Benennung der wichtigsten Forschungsergebnisse einschließlich assoziierter Publikationen und Patente sowie die Skizzierung weiterer Forschungsbedarfe. Im zweiten Teil der Befragung wurden verschiedene Bewertungskriterien entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines elektrochemischen Prozesses bzw. Produkts adressiert.

Die volkswirtschaftliche Wertschöpfungskette wurde dazu in Adaption auf die Elektrochemie in die Teilbereiche

- Rohstoffe und Energie (Primärsektor)
- Elektrochemischer Prozess/Elektrochemisches Produkt (Sekundärsektor)
- Markt (Tertiärsektor)

unterteilt. Diesen Teilbereichen wurden jeweils technologieseitige Bewertungskriterien mit weiteren Unteraspekten hinzugefügt, welche in unten stehender Tabelle zusammengefasst sind.

Abschließend wurde das wirtschaftliche Verwertungspotenzial – kategorisiert nach örtlichen und zeitlichen Aspekten – abgefragt, um die marktseitigen Effekte bzw. die zu erwartenden Vermarktungschancen zu bewerten:

Regionale Verwertung:

- Innerhalb eines Unternehmens
- Deutschland
- EU
- weltweit

Zeithorizont:

- kurzfristig (bis 2 Jahre)
- mittelfristig (bis 6 Jahre)
- langfristig (mehr als 6 Jahre)

	Rohstoffe und Energie	Elektrochemischer Prozess/ Elektrochemisches Produkt	Markt
Kosten und Effizienz	Reduzierte Energie- oder Rohstoffkosten	Kosten- und Rohstoffeffizienz des Prozesses/ Produktes	Günstigere Marktpreise/ höhere Gewinne
Potential	Zugänglichkeit der Ressourcen	Anwendungspotential	Time to Market
Innovation: Neue Anwendungen und Produkte	Ressourcenunabhängigkeit	Ermöglicht bisher Unmögliches	Marktpotential
Kontext zur Regulierung	Kritische Materialien und Ressourcen/REACH	Verwaltungsaufwand	Adressiert neue Märkte
Verbesserung oder Substitution von Prozessen und Produkten	Gesamtbewertung des Ressourceneinsatzes	Gesamtbewertung der Verbesserung	regionales Transferpotential

4.2 Umfrageergebnisse

Zielerreichung

Von den 13 Verbundpartnern, die an der Befragung teilnahmen, gaben 11 an, die vorher gesetzten Ziele entweder in vollem Umfang oder zumindest zum Großteil erreicht zu haben, Abb. 6. Nach umgekehrter Betrachtung ist ebenfalls festzustellen, dass 10 Verbundvorhaben die ursprünglichen Ziele nicht in vollem Umfang erreichen konnten. In der Regel sind ambitionierte Forschungsprojekte jedoch stets an erhebliche technische und/oder wirtschaftliche Risiken gebunden, die einer vollumfänglichen Zielerreichung entgegenwirken. Zudem wurden bei nicht vollständigem Erreichen der Projektziele zumindest substantielle Fortschritte im jeweiligen Forschungsgebiet angegeben. Damit ist der im Rahmen der Fördermaßnahme erlangte Zielerreichungsgrad insgesamt als sehr positiv zu bewerten.

zentrale Rolle zur Minimierung des Ressourceneinsatzes. Gerade auch im Bereich der kritischen Materialien mit problematischer Umweltwirkung, begrenzter Verfügbarkeit, volatilen Preisen oder aus politisch problematischen Lieferländern wurden im Rahmen der InnoEMat-Fördermaßnahme einige wichtige Substitutionspotenziale offengelegt.

Weiter wurden bei 10 Verbundprojekten signifikante Verbesserungen im Bereich der Energie- und Rohstoffkosten erzielt. Als konkrete Beispiele können ein Verzicht auf Platinmetalle oder die Optimierung der Atomökonomie bei der elektrochemischen Synthese genannt werden. Auch konnten Abhängigkeiten zu bestimmten Rohstoffen verringert bzw. die Zugänglichkeit zu anderen Materialien verbessert werden (z.B. durch den Einsatz inländisch verfügbarer Rohmaterialien).

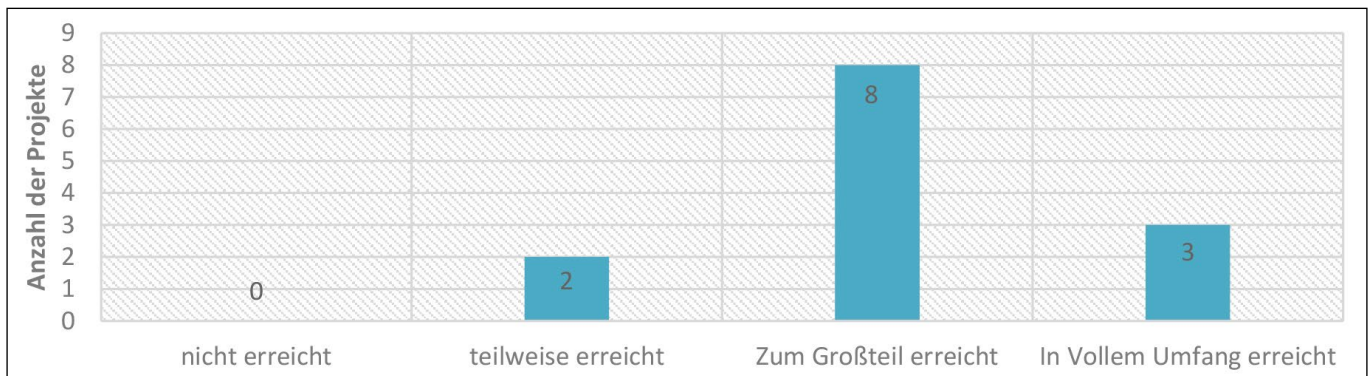


Abb. 6. Einschätzung der Zielerreichung durch die Verbundpartner

Rohstoffe und Energie

Da sich die Förderinitiative InnoEMat am Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert, kamen in den meisten Verbundprojekten dem für elektrochemische Prozesse sehr bedeutsamen Energie- und Rohstoffeinsatz eine wichtige Bedeutung zu.

Insgesamt wurden bei 11 der 13 befragten Verbundprojekte allgemeine Verbesserungen bezüglich des Ressourceneinsatzes erreicht, Abb. 7 (rechts). Diese Effekte wurden zum Beispiel über einen reduzierten Energie- und Materialeinsatz u.a. über gesteigerte Wirkungsgrade der elektrochemischen Prozesse oder verbesserte Anlagen- und/oder Produktdesigns erzeugt. Auch spielte hierbei die Schließung von Energie- und Stoffkreisläufen (z.B. Energierückgewinnung und Verwertung von Abfällen und Nebenprodukten) eine

Immerhin die Hälfte der befragten Verbundprojekte konnte Verbesserungen beim Einsatz von kritischen Materialien (im Sinne von REACH) erreichen. Entweder wurden REACH-relevante Substanzen durch unkritische Stoffe substituiert oder die entwickelte Technologie ist geeignet, um kritische Substanzen in Stoffströmen (u.a. Abwässern) zu eliminieren.

Elektrochemischer Prozess und elektrochemisches Produkt

Bezüglich des eigentlichen elektrochemischen Prozesses oder des elektrochemischen Produkts wurden bei 11 Verbundprojekten Verbesserungen in der Gesamtbewertung genannt, Abb. 8. Diese Verbesserungen gehen bei insgesamt 9 Verbundprojekten mehrheitlich auf direkte Steigerungen der Energie- und Materialeffizienz zurück (s. auch Ab-

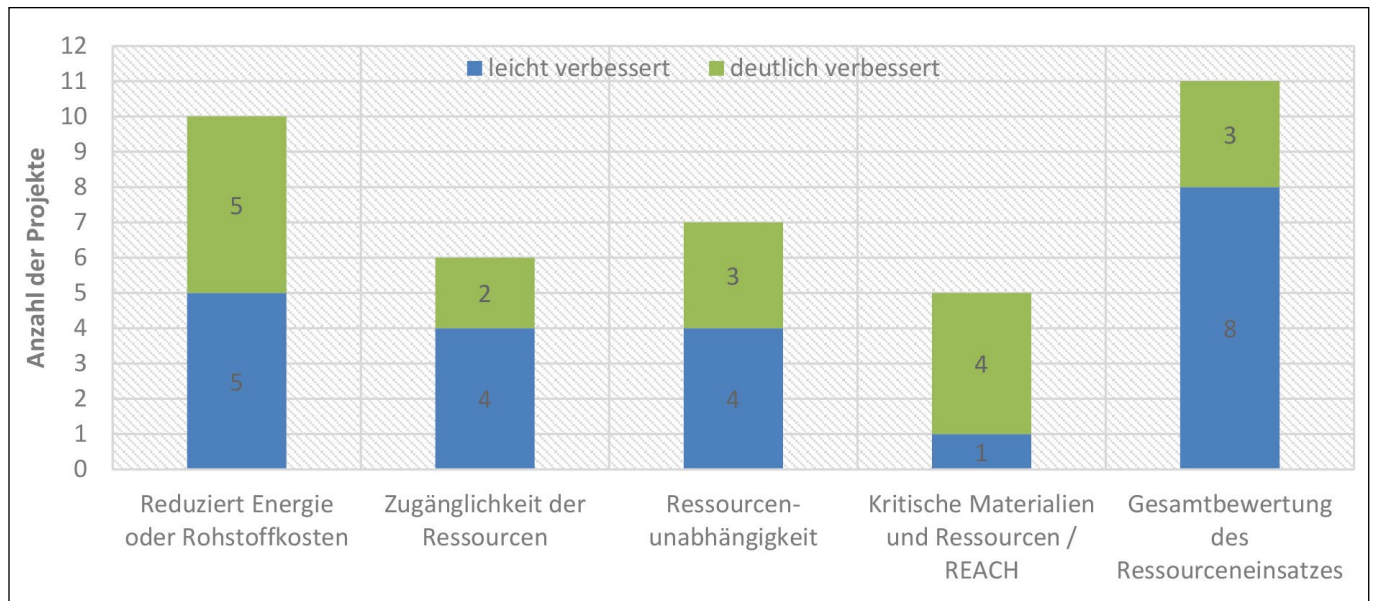


Abb. 7. Umfrageergebnis im Bereich „Rohstoffe und Energie“

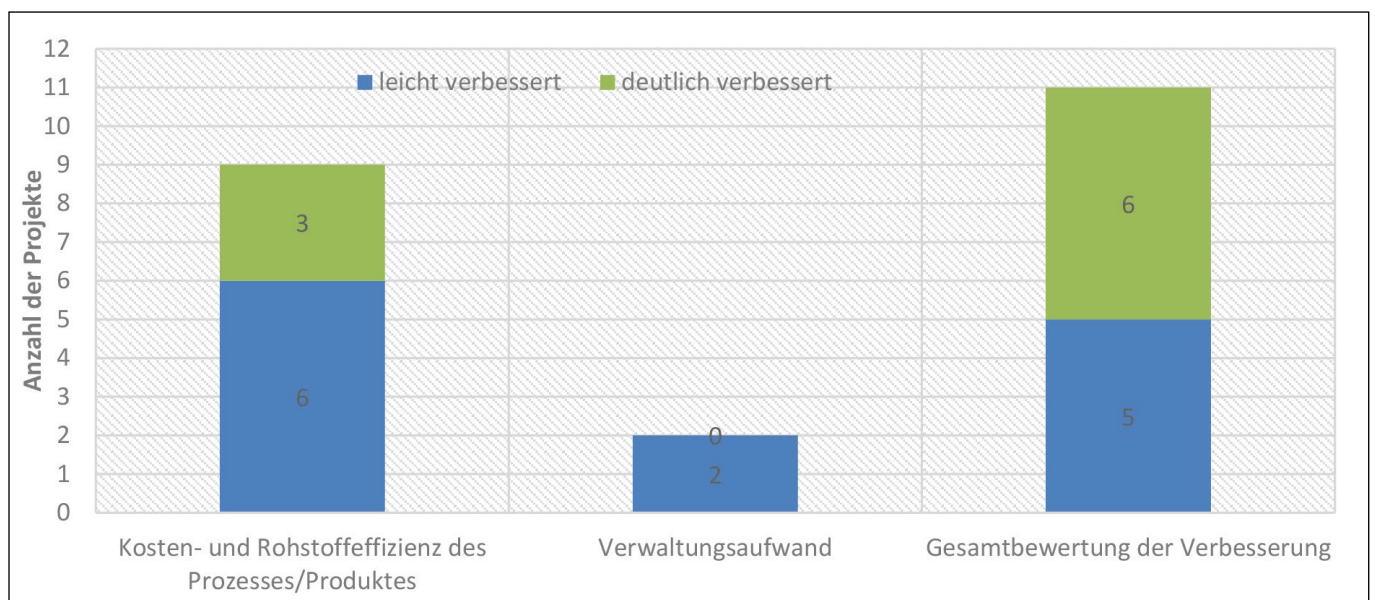


Abb. 8. Umfrageergebnis im Bereich „Elektrochemischer Prozess / Elektrochemisches Produkt“

schnitt Rohstoffe und Energie). Darüber hinaus tragen Verbesserungen in verschiedenen peripheren Prozessen – zum Beispiel diverse Automatisierungsstrategien für einen reduzierten Personaleinsatz – ebenfalls zu einer Steigerung der Kosteneffizienz von elektrochemischen Prozessen bei.

Eine optimierte Produktion oder die Vermeidung kritischer Substanzen im Sinne von REACH kann auch zu verringertem Verwaltungsaufwand innerhalb eines Unternehmens beitragen, was bei immerhin 2 Verbundprojekten realisiert werden konnte.

Insgesamt 8 der 13 befragten Verbünde gaben an, dass im Rahmen des jeweiligen InnoEMat-Verbundprojekts auch bisher Unmögliches realisiert werden konnte. Daraus lässt sich ableiten, dass durch die Forschungsaktivitäten technische Risiken überwunden und Innovationspotenziale erschlossen werden konnten.

Absatzmärkte und Einschätzung zur Markteinführung

Mit Blick auf die industrielle Umsetzung der Forschungsergebnisse erzielten 11 der 13 befragten

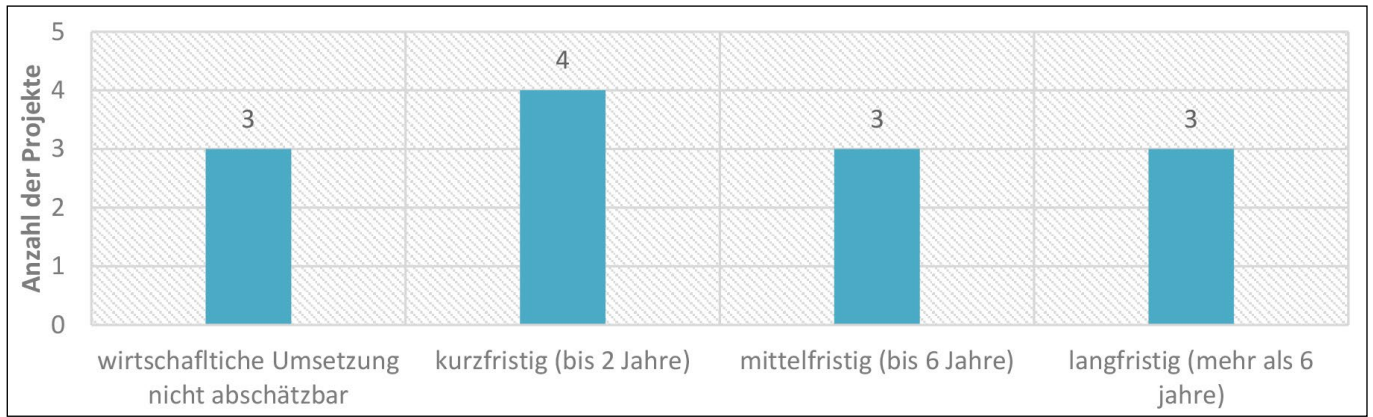


Abb. 9. Umfrageergebnis im Bereich „Markt“, insbesondere Time to Market

Verbundprojekte ein großes Anwendungspotential, teilweise sogar auf World-Scale-Niveau (Massenmarkt). Die Ergebnisse weiterer zweier Verbundprojekte bedienen Spezial- beziehungsweise Nischenanwendungen. Grundsätzlich ist bei allen Verbundprojekten ein weltweites Transferpotential der Forschungsergebnisse zu erwarten. 9 Verbundprojekte adressieren hierbei neue Märkte und 4 Verbundprojekte liefern Verbesserungen für existierende Lösungen. Bei der Abschätzung der Markteinführungszeit glauben 4 Verbundprojekte an eine kurzfristige Umsetzung, 3 weitere sehen dies mittelfristig als wahrscheinlich und 4 Verbundprojekte schätzen die Markteinführung eher langfristig ein, Abb. 9. Bei 3 Verbundprojekten ist die wirtschaftliche Umsetzung nicht abschätzbar, da weiterer Forschungsbedarf besteht und die Bewältigung bestehender wissenschaftlich-technologischer Herausforderung notwendig ist.

Abschließend wurde die Abschätzung zur Markteinführungszeit bezogen auf Marktregionen aufge-

schlüsselt. Hierzu bewerteten die teilnehmenden 13 Verbundprojekte die Umsetzungswahrscheinlichkeit binnen unterschiedlicher Zeiträume (kurz-, mittel-, langfristig) von lokaler (z.B. im Unternehmen) bis hin zu globaler Umsetzung.

So erfolgt bei einem Verbundprojekt das Up-Scaling beziehungsweise die Nutzung der erforschten Technologien innerhalb der beteiligten Unternehmen fast sicher binnen der nächsten 2 Jahre, Abb. 10 (links). Entsprechende Maßnahmen für die industriellen Umsetzung sind bereits gestartet. Bei einem weiteren Verbundprojekt ist die Umsetzung der Forschungsergebnisse innerhalb einer Implementierungszeit von zwei Jahren sehr wahrscheinlich und binnen der nächsten 6 Jahre fast sicher. Zwei weitere Verbundprojekte sehen eine Markteinführung mittelfristig als sehr wahrscheinlich an. Insgesamt sehen 8 Verbundprojekte eine Umsetzung innerhalb eines Unternehmens mindestens langfristig als fast sicher oder sehr wahrscheinlich an, Abb. 10 (rechts).

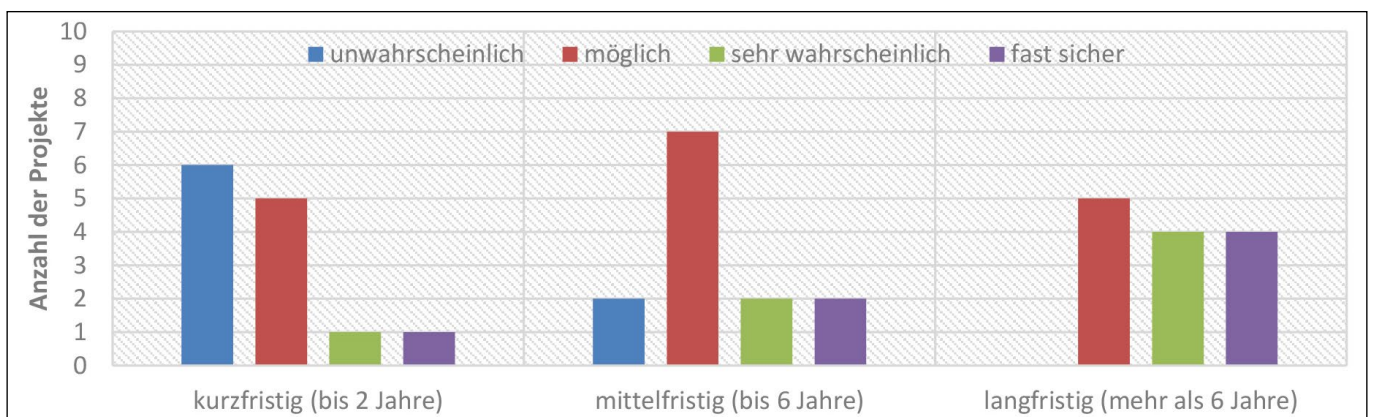


Abb. 10. Umsetzungshorizont innerhalb eines Unternehmens

Für den Einsatz bei weiteren Kunden innerhalb Deutschlands und über die Grenzen hinaus innerhalb der EU und weltweit verschieben sich die Zeitskalen und Wahrscheinlichkeiten leicht, Abb. 11 bis 13. Eine kurzfristige Markteinführung wird in Deutschland und der EU von einem Projekt als sehr wahrscheinlich gesehen, mittelfristig ist die Umsetzung fast sicher. Insgesamt gibt es 6 Projekte, die eine Markteinführung bei mehr als einem Kunden

den in Deutschland als sehr wahrscheinlich oder fast sicher einschätzen, Abb. 11. Beim EU-weiten Markt betrifft dies noch 5 Projekte, Abb. 12. Die Ausweitung auf den weltweiten Markt wird etwas verhaltener eingeschätzt. Diese sehen zwei Projekte mittelfristig als sehr wahrscheinlich an. Langfristig halten diesen Schritt 4 Verbundprojekte für sehr wahrscheinlich oder fast sicher, Abb. 13.

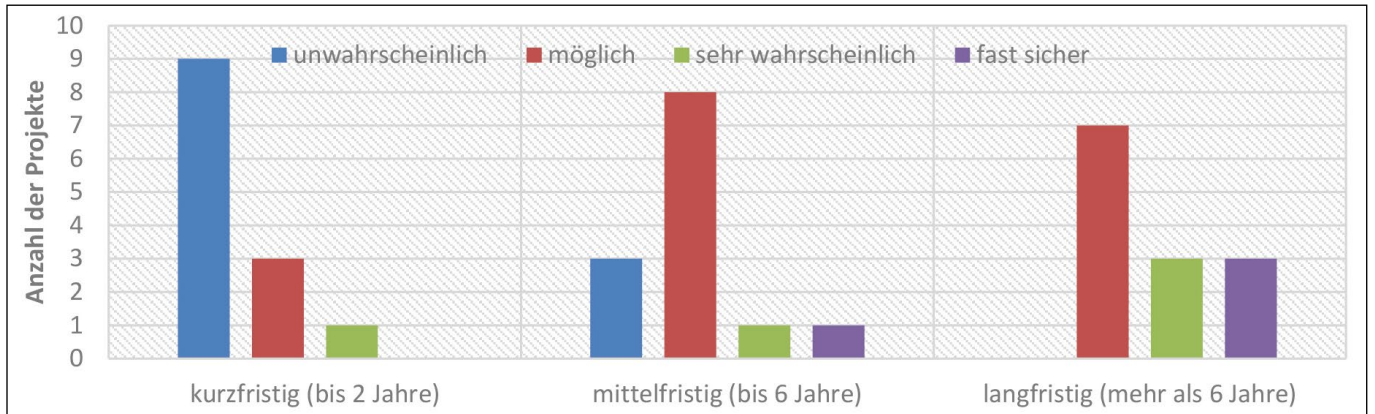


Abb. 11. Umsetzungshorizont national (Deutschland)

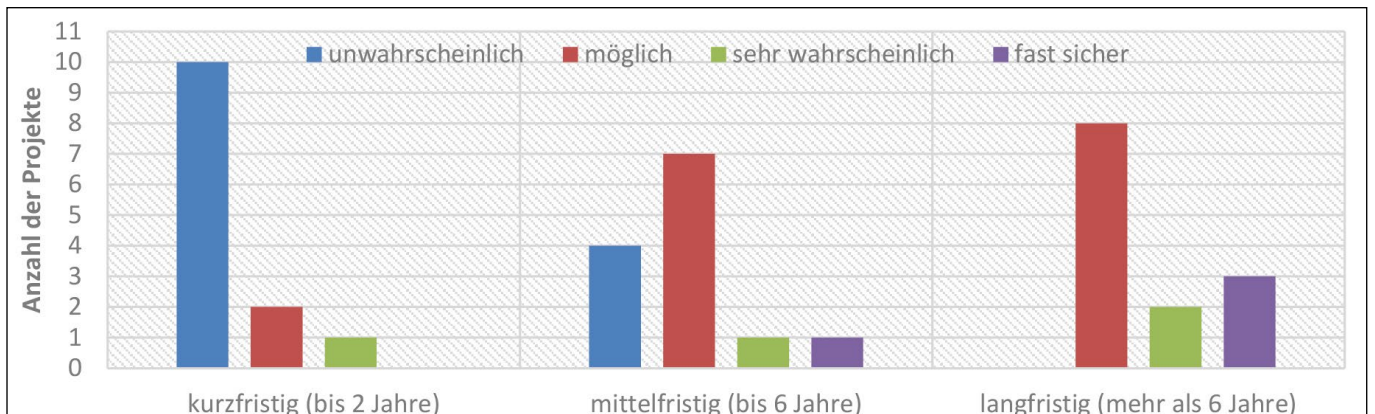


Abb. 12. Umsetzungshorizont in der EU

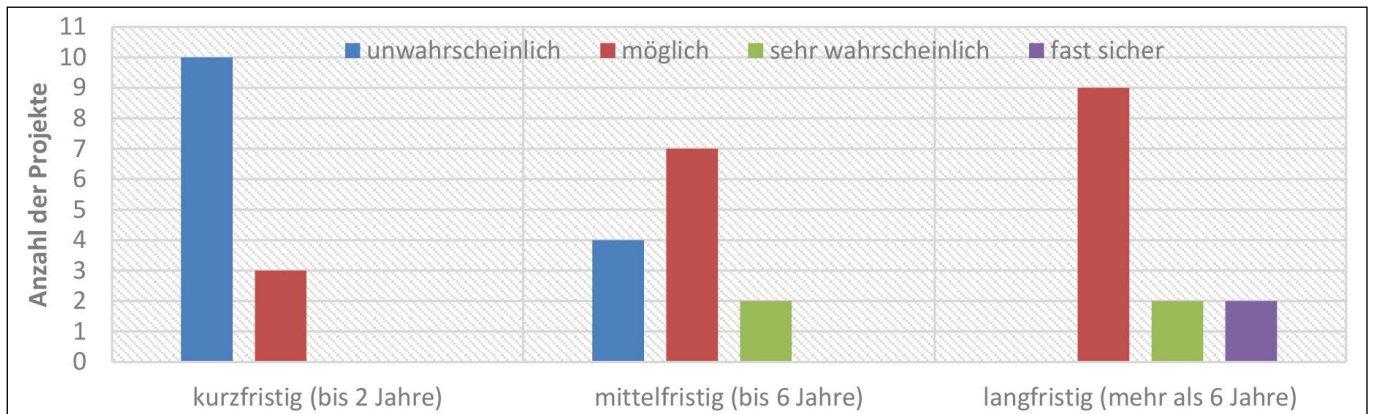


Abb. 13. Umsetzungshorizont weltweit

4.3 Publikationen und Patente

Neben der durchgeführten Befragung sind die erstellten wissenschaftlichen Publikationen und angemeldeten Patente ein wichtiger Indikator zur Bewertung der Zielerreichung innerhalb der Verbundprojekte. So wurden im Rahmen der InnoEMat-Fördermaßnahme bis zur Veröffentlichung des vorliegenden Evaluationsberichts insgesamt 77 wissenschaftlichen Publikationen verfasst und 6 Patente angemeldet. Diese sind im Anhang des Evaluationsberichts zusammengefasst und verlinkt. Die zahlreichen Vorträge und Posterbeiträge der Verbundprojekte auf einschlägigen nationalen und internationalen Konferenzen und Tagungen sind nicht Bestandteil dieser Auflistung.

Erwartungsgemäß wurden mit 35 Publikationen die meisten innerhalb der 4 Forscherverbände

erstellt. Innerhalb der 13 industriegeführten Verbundprojekte wurden demnach 42 Veröffentlichung – meist unter Federführung der beteiligten Forschungseinrichtungen – erstellt und publiziert. Eingereicht wurden die Beiträge bei renommierten internationalen Journalen (u.a. *Electrochimica Acta*, *Journal of The Electrochemical Society*) sowie auch über verschiedenen Open-Access-Formate. Auf nationaler Ebene publizierten die Verbände in anerkannten, deutschsprachigen Fachzeitschriften, was den Ergebnis- und Technologietransfer stark unterstützte.

Die insgesamt 6 Patentanmeldungen gingen aus 3 industriegeführten Verbänden hervor. Hiervon wurden 5 als europäische und davon 3 zusätzlich als weltweite Patente registriert.



5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Mit den im Rahmen von InnoEMat gesetzten Forschungsschwerpunkten haben sich mehrere exzellente Projektgruppen gebildet und sich durch vielversprechende Forschungsergebnisse mittlerweile in der wissenschaftlich-technischen Fachwelt etabliert. Zudem wurde eine Vielzahl neuer Anknüpfungspunkte für weitere industrienaher FuE-Themen generiert. Die geförderten Verbundprojekte adressierten dabei Anwendungsfelder im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau, in der chemischen Industrie, in der Bio- und Medizintechnik sowie auch im Bereich Energiespeicherung.

5.1 Zielerreichung der Fördermaßnahme Industriebeteiligung

Um einen effizienten Ergebnistransfer zu gewährleisten, sah die Förderbekanntmachung die Koordination aller Verbundprojekte durch ein Industrieunternehmen vor. Ausnahmen waren für reine Forscherverbünde vorgesehen, die grundlegende Fragestellungen bearbeiteten.

Dreiviertel der bewilligten InnoEMat-Verbundprojekte waren industriegeführt, was sich auch in den Verwertungszahlen der Evaluation niederschlägt. Zudem waren bei den 13 industriegeführten Verbänden 7 unterschiedliche Branchen vertreten. Diese heterogene Verteilung zeigt einerseits, wie universell elektrochemische Verfahren für industrielle Anwendungen zum Einsatz kommen. Andererseits ist dies Beleg dafür, dass die Fördermaßnahme in vielen Branchen wirksam wurde und zu entsprechenden Impulsen beitragen konnte.

Die 4 Forscherverbünde in der Fördermaßnahme wurden durch assoziierte Industriepartner begleitet. Umgesetzt wurde dies z.B. in Form eines Beirates, um die industrielle Relevanz der Forschungsaktivitäten und den Ergebnistransfer in den deutschen Mittelstand zu unterstützen. Der Beirat bildete damit ein wichtiges Bindeglied zwischen akademischer Grundlagenforschung und der mittelständisch geprägten Industrielandschaft in der Elektrochemie, wodurch der Ergebnis- und Technologietransfer nachhaltig verbessert werden konnte.

Thematische Ausrichtung

Die Fördermaßnahme InnoEMat adressierte explizit keine Forschungsvorhaben im Kontext zu Energiespeichern für mobile Anwendungen (Elektromobilität), da hierfür eigene Förderformate vom Bund bereitgestellt wurden. Durch dieses Ausschlusskriterium konnte eine sehr ausgewogene Verteilung der Projektmittel auf alle InnoEMat-Förderschwerpunkte (Oberflächentechnik, Synthese, Energiespeicher und Sensorik) erreicht werden. Dies zeigt, dass die Fördermaßnahme in allen Bereichen der Elektrochemie wichtige Impulse generieren konnte und dabei auch in der Förderpolitik ansonsten eher unterrepräsentierte Forschungsthemen berücksichtigt wurden.

Vernetzung und Synergien

Wichtige Elemente für die fachliche Vernetzung innerhalb und außerhalb der Fördermaßnahme bildeten die Statusseminare und Themenkreise, zu denen ein reger Austausch zwischen den verschiedenen Akteuren in der Elektrochemie stattfand. Insbesondere Formate wie die Call-for-Problems Session im Rahmen des dritten Statusseminars haben dazu beigetragen, dass intensive fachliche Diskussionen mit Experten aus unterschiedlichen Themengebieten geführt und Lösungsansätze zu den präsentierten Fragestellungen aus den verschiedensten Fachgebieten angetragen wurden. Auch die gemeinsame Organisation einer Messepräsenz wie bei der Werkstoffwoche 2019 bot Gelegenheit zur Vernetzung, was im sonstigen Projektalltag nicht zustande gekommen wäre. Zudem wurde durch die Begleitmaßnahme der fachliche Austausch mit parallelen Aktivitäten im Bereich Elektrochemie realisiert, wodurch erhebliche Synergiepotenziale offengelegt werden konnten.

Fachlicher Fortschritt und Ergebnisverwertung

In allen bewilligten InnoEMat-Verbundprojekten konnten substanzielle wissenschaftlich-technische Fortschritte realisiert werden. Damit ist belegt, dass die Fördermaßnahme InnoEMat zu wichtigen Impulsen innerhalb der geförderten Themengebiete beigetragen hat. Unterstützt wurde dieses positive Ergebnis u.a. auch durch die Maßgabe, dass die federführende Verbundkoordination jeweils durch ein

Industrieunternehmen wahrgenommen wurde. Die Forschungsaktivitäten waren so von einer sehr hohen Anwendungsorientierung geprägt. Dies wurde u.a. auch anhand einer Vielzahl von entwickelten Demonstratoren deutlich. Zudem kam es mit dem Start-Up ESy-Labs aus dem Umfeld der InnoEMat-Verbundprojekte ZellCoDia und EPSYLON zu einer erfolgreichen Ausgründung. Erfreulicherweise gelangte das junge Unternehmen in die Finalrunde des AICHEMIA-Gründerpreises, dessen Sieger im April 2022 bekanntgegeben wird.

Durch die Begleitung der Forscherverbünde durch mehrere Industrieunternehmen konnte auch deren Ergebnisfortschritt kontinuierlich mit der industriellen Praxis abgeglichen werden. Die Ergebnisverwertung in der Industrie erfolgt über unterschiedliche Zeitskalen. Auch wurden die Forschungsergebnisse umfassend kommuniziert und auch dokumentiert. Insgesamt ist sowohl die Anzahl als auch die nationale und internationale Reichweite der wissenschaftlichen Publikationen und angemeldeten Schutzrechte als sehr positiv zu bewerten.

5.2 Weiterer Forschungsbedarf

Der am 06. Juli 2020 durchgeführte Themenkreis „Mittel- und langfristiger Forschungsbedarf in der Elektrochemie“ (s. Abschnitt 3.3) widmete sich gezielt dem über die InnoEMat-Verbundvorhaben hinausgehenden Forschungsbedarf. Die Ergebnisse sind in einem eigenen Ergebnispapier zusammengefasst und auf der Website der InnoEMat-Förderinitiative abrufbar. Die außerdem im Rahmen der standardisierten Befragung ermittelten Forschungsbedarfe adressieren zumeist spezielle Problemstellungen bezüglich der Material-, Prozess- und Anlagenstabilität. Zudem sind die Skalierbarkeit und die Integration der neuen Verfahren in vorhandene Prozessketten häufig genannte Herausforderungen. Mittel- und langfristig ist zu erwarten, dass die Forschungsaktivitäten innerhalb der Elektrochemie auf die weitere Minimierung des Energie- und Ressourceneinsatzes, auf die Schließung von industriellen Stoffkreisläufen sowie auf die Sicherstellung einer optimalen Umweltverträglichkeit ausgerichtet sein werden.



ANHANG

Wissenschaftliche Publikationen der InnoEMat-Verbundprojekte

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
eDx	ChemElektroChem	2016	Potential-Pulse-Assisted Formation of Thiol Monolayers within Minutes for Fast and Controlled Electrode Surface Modification
eDx	ChemPlusChem	2016	DNA Intercalators for Detection of DNA Hybridisation: SCS(MI)-MP2 Calculations and Electrochemical Impedance Spectroscopy
eDx	ChemPlusChem	2017	Amperometric Detection of dsDNA Using an Acridine-Orange-Modified Glucose Oxidase
eDx	Current Opinion in Electrochemistry	2017	Bioelectrochemistry for miRNA detection
eDx	Electrochimica Acta	2018	Potential-pulse assisted thiol chemisorption minimizes non-specific adsorptions in DNA assays
eDx	Electroanalysis	2018	Nanostructured DNA Microarrays for Dual SERS and Electrochemical Read-out
eDx	Electroanalysis	2019	Controlling DNA/Surface Interactions for Potential Pulse-Assisted Preparation of Multi-Probe DNA Microarrays
PrintEnergy	Batteries	2018	Mechanical Coating of Zinc Particles with Bi₂O₃-Li₂O-ZnO Glasses as Anode Material for Rechargeable Zinc-Based Batteries
PrintEnergy	Printed Batteries: Materials, Technologies and Applications	2018	Industrial Perspective on Printed Batteries
PrintEnergy	Flexible and Printed Electronics	2018	Parameter evaluation of printed primary Zn/MnO₂ batteries with nonwoven and hydrogel separators
PrintEnergy	Flexible and Printed Electronics	2019	The effect of electrode calendaring on the performance of fully printed Zn MnO₂ batteries
PrintEnergy	Batteries	2019	Improved Discharge Capacity of Zinc Particles by Applying Bismuth-Doped Silica Coating for Zinc-Based Batteries
Fluorous-Sens	Analytical and Bioanalytical Chemistry	2017	Introduction to polymer-based solid-contact ion-selective electrodes—basic concepts, practical considerations, and current research topics
Fluorous-Sens	AMA Conferences 2017	2017	Solid contact ion selective electrodes (ISE) for applications in life sciences, biotechnology and environmental monitoring- Technology an Performance

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
VEProSi	IEEE	2017	Approaches for wafer level packaging and heterogeneous system integration for CMOS and MEMS sensors
VEProSi	Microsystems Technology in Germany	2018	Pulse Current Electrochemical Deposition of Copper for Through Silicon Vias in MEMS: Experiment and Simulation
VEProSi	Microelectronic Engineering	2019	Co-MOCVD processed seed layer for through silicon via copper metallization
VEProSi	Nanomaterials	2019	ToF-SIMS 3D Analysis of Thin Films Deposited in High Aspect Ratio Structures via Atomic Layer Deposition and Chemical Vapor Deposition
EPSYLON	Science Advances	2017	Unexpected high robustness of electrochemical cross-coupling for a broad range of current density
EPSYLON	ChemElektroChem	2018	Leaded Bronze: An Innovative Lead Substitute for Cathodic Electrosynthesis
EPSYLON	ChemElektroChem	2019	Influence of the Nature of Boron-Doped Diamond Anodes on the Dehydrogenative Phenol-Phenol Cross-Coupling
EPSYLON	Synlett	2019	Solvent Control in Electro-Organic Synthesis
EPSYLON	Synlett	2019	Selective and Scalable Dehydrogenative Electrochemical Synthesis of 3,3',5,5'-Tetramethyl-2,2'-biphenol
GALACTIF	ECS Transactions	2016	Influence of Fluid Dynamics on the Electrochemical Deposition of Tantalum
GALACTIF	Galvanotechnik	2017	Abscheidung unedler Metalle aus ionischen Flüssigkeiten für den Korrosionsschutz
GALACTIF	Galvanotechnik	2017	Elektrochemische Abscheidung von Refraktärmetallen aus ionischen Flüssigkeiten
GALACTIF	Galvanotechnik	2017	Polarisationseffekte während der Palladiumabscheidung aus ionischer Flüssigkeit
GALACTIF	ECS Transactions	2018	Ultrasound Application and Multi-Step Reactions in Electrodeposition of Refractory Metals
GALACTIF	Transactions of the IMF	2018	Electrodeposition of Pd from a deep eutectic solvent system: effect of additives and hydrodynamic conditions
GALACTIF	Materials Science and Engineering	2018	Electrodeposition and characterisation of Al-W alloy films from ionic liquid
GALACTIF	Journal of The Electrochemical Society	2018	On the Electrodeposition of Titanium from TiCl₄ in 1-butyl-1-methylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl) amide: In Situ AFM and Spectroscopic Investigations

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
GALACTIF	small methods	2019	Electrochemical Scanning Probe Microscopies in Electrocatalysis
GALACTIF	WOMAG	2019	Neue galvanotechnische Beschichtungsprozesse aus ionischen Flüssigkeiten
GALACTIF	Surface Engineering	2019	Pulse plating of Pd-Ag alloy films from deep eutectic solvents
GALACTIF	Electrochimica Acta	2019	Electrochemical reduction mechanism of NbF5 and NbCl5 in the ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethanesulfonate
GALACTIF	Galvanotechnik	2019	Untersuchungen zur Palladiumabscheidung im nicht-wässrigen Elektrolytssystem Cholinchlorid-Harnstoff-PdCl2 (Teil 1)
GALACTIF	Galvanotechnik	2019	Untersuchungen zur Palladiumabscheidung im nicht-wässrigen Elektrolytssystem Cholinchlorid-Harnstoff-PdCl2 (Teil 2)
GALACTIF	Electrochimica Acta	2020	On the failure mechanism of Nb electrodeposition from NbCl5 in alkylmethylpyrrolidinium TFSI ionic liquids
Elektrowirbel	Sustainable Chemistry & Engineering	2018	Energy recovery and process design in continuous flow-electrode capacitive deionization processes
Elektrowirbel	Journal of Membrane Science	2018	Modeling continuous flow-electrode capacitive deionization processes with ion-exchange membranes
Elektrowirbel	Particle & Particle Systems Characterization	2019	Magnetic Carbon Composite Particles for Dye Adsorption from Water and their Electrochemical Regeneration
Elektrowirbel	Carbon	2019	Unravelling charge transport in carbon flow-electrodes: Performance prediction for desalination applications
Elektrowirbel	Chemical Engineering Journal	2020	A Magnetically Induced Fluidized-bed Reactor for Intensification of Electrochemical Reactions
Elektrowirbel	Particle & Particle Systems Characterization	2020	Adsorber Particles with Magnetically-Supported Improved Electrochemical Conversion Behavior for Waste Water Treatment Processes. Particle & Particle Systems Characterization
Elektrowirbel	Chemical Engineering Journal	2020	Electrical Conductivity of Magnetically Stabilized Fluidized-Bed Electrodes - Chronoamperometric and Impedance Studies
ELOBEV	Materials Testing	2018	Testmethode zur Bewertung von Fügeelementen hinsichtlich der Gefahr einer wasserstoffunterstützten Kaltrissbildung (HACC-Prüfung)

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
ELOBEV	Metals	2019	Determination of Hydrogen Transport Behaviour in Boron-Manganese Steels Using Different Methods and Boundary Conditions
GEP	ACS Catalysis	2017	Ultrasmall CoO(OH)_x Nanoparticles As a Highly Efficient “True” Cocatalyst in Porous Photoanodes for Water Splitting
GEP	Journal of The Electrochemical Society	2018	Water Interaction with Sputter-Deposited Nickel Oxide on n-Si Photoanode: Cryo Photoelectron Spectroscopy on Adsorbed Water in the Frozen Electrolyte Approach
GEP	Journal of The Electrochemical Society	2018	The Impact of Different Si Surface Terminations in the (001) n-Si/NiO_x Heterojunction on the Oxygen Evolution Reaction (OER) by XPS and Electrochemical Methods
GEP	The Journal of Physical Chemistry C	2018	Chemical, Structural, and Electronic Characterization of the (010) Surface of Single Crystalline Bismuth Vanadate
GEP	The Journal of Chemical Physics	2019	High resolution transmission electron microscopy and electronic structure theory investigation of platinum nanoparticles on carbon black
GEP	Surfaces	2019	Interface Science Using Ambient Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
GEP	Journal of Materials Chemistry C	2019	Photoanodic pyramid texturization of n-Ge(100) in HCl solution: unexpected anisotropy in the surface chemistry of etching
GEP	ChemPhysChem	2019	Adsorption of Acetate on Au(111): An in-situ Scanning Tunnelling Microscopy Study and Implications on Formic Acid Electrooxidation
GEP	Journal of Chemical Theory and Computation	2019	Grand Canonical ReaxFF Molecular Dynamics Simulations for Catalytic Reactions
GEP	Journal of Catalysis	2019	Oxygen-terminated BiXenes and derived single atom catalysts for the hydrogen evolution reaction
GEP	Small	2020	Simulations of the Oxidation and Degradation of Platinum Electrocatalysts
GEP	Topics in Catalysis	2020	Exploring the Structure–Activity Relationship on Platinum Nanoparticles
GEP	Surfaces	2021	Reactive Dual Magnetron Sputtering: A Fast Method for Preparing Stoichiometric Microcrystalline ZnWO₄ Thin Films

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
GEP	Adv. Mater. Interfaces	2021	Interaction of Water with Atomic Layer Deposited Titanium Dioxide on p-Si Photocathode: Modelling of Photoelectrochemical Interfaces in Ultrahigh Vacuum with Cryo-Photoelectron Spectroscopy
GEP	The Journal of Physical Chemistry	2021	Structure and Reactivity of IrO_x Nanoparticles for the Oxygen Evolution Reaction in Electrocatalysis: An Electronic Structure Theory Study
ReKoPP	WOMag	2020	Erfolgreiche Digitalisierung in der Galvanotechnik – Der neue Kollege im Beschichtungslabor
ReKoPP	Galvanotechnik	2020	Elektrolytentwicklung 4.0 am Beispiel ternärer Zinklegierungen, Teil 1: Grundsätzliche Vorgehensweise
ReKoPP	Galvanotechnik	2021	Elektrolytentwicklung 4.0 am Beispiel ternärer Zinklegierungen, Teil 2: Experimentelle Ergebnisse
S3kapel	Applied Sciences	2020	A Carbon Nanotube Packed Bed Electrode for Small Molecule Electrosorption: An Electrochemical and Chromatographic Approach for Process Description
S3kapel	Front. Chem. Eng.,	2020	Object-Oriented Modeling of a Capacitive Deionization Process
S3kapel	Front. Mater.	2020	New Approach for Investigating Diffusion Kinetics Within Capacitive Deionization Electrodes Using Electrochemical Impedance Spectroscopy
S3kapel	Journal of Colloid and Interface Science	2021	Adsorption of organic molecules on carbon surfaces: Experimental data and molecular dynamics simulation considering multiple protonation states
S3kapel	Engineering in Life Sciences	2021	Predicting the potential of capacitive deionization for the separation of pH-dependent organic molecules
ADDESUN	Journal of The Electrochemical Society	2021	A New In Situ and Operando Measurement Method to Determine the Electrical Conductivity of the Negative Active Material in Lead-Acid Batteries during Operation
ADDESUN	Journal of Energy Storage	2021	Influence of the specific surface area of Stöber silica additives on the electrochemical properties of negative electrodes in lead-acid batteries
SwitchECM	COMSOL Conference Proceedings	2018	Numerical Investigation of Electrolyte Flow in a Multi-cathode System for Electrochemical Machining
SwitchECM	INSECT – International Symposium on Electrochemical Machining Technology	2018	Experimental Derivation of Process Input Parameters for Electrochemical Machining with Differentially Switched Currents

Verbundprojekt	Journal	Jahr	Titel
SwitchECM	INSECT – International Symposium on Electrochemical Machining Technology	2019	Deburring and Edge Shaping by Electro-chemical Machining with Differentially Switched Currents
SwitchECM	INSECT – International Symposium on Electrochemical Machining Technology	2019	Hole widening by a static cathode arrangement by means of ECM with several equally or differently powered cathodes
SwitchECM	COMA – Conference on Competitive Manufacturing	2019	Simulation-based Design of an Electrolyte System for Electrochemical Machining with Differentially Switched Currents

Angemeldete Schutzrechte

Verbundprojekt	Veröffentlichungsnummer	Titel
eDx	DE102015001998 B3, EP3259063 A1, WO2016131538 A1	Mikrofluidische Kartuschen für den Nachweis von Biomolekülen
eDx	DE102015001999 B3, EP2016070807 A1, WO2016131537 A1	Doppelspritze für die Zuführung einer Flüssigkeit in ein Mikrofluidsystem
eDx	DE102015002000 B3, EP3259061 A1, WO2016131536 A1	Mikrofluidische Vorrichtung zur temperaturgesteuerten Verarbeitung einer Probenlösung
VEProSi	DE102017208910 A1	Elektrochemisches Verfahren zur Kreuzkupplung aromatischer Verbindungen unter Verwendung hoher Stromdichten
VEProSi	EP3305752 A1	Verfahren zur Isolierung von Biphenolen unter Einsatz von Essigsäure und Eis
Elektrowirbel	EP18204376.0	Flexible, one-sided membrane-electrode assemblies for use in electrochemical processes, electrochemical modules comprising the same, and methods for liquid desalination, ion separation and concentration

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

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13XP5028A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

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

Erschienen im Dezember 2021

Gestaltung:

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

Copyright:

Cover Titelseite: FOTOGRIN/shutterstock