

Dresden, 03.09.2025
Autoren: Dr. Justin Albers
Dr. Christian Bernäcker

Kurzbericht zum Teilprojekt

„Elektroden und Katalysatoren - Beschichtung, pH-abhängige Aktivität und Langlebigkeit“

„Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Forschung
Winterbergstraße 28
01277 Dresden
Projektleiter: Dipl.-Ing. Justin Albers
Telefon +49 (0)351/ 2537-397
Fax: +49 (0)351/ 2537-399
E-Mail: justin.albers@ifam-dd.fraunhofer.de“

im Projekt

„H2Meer: Effiziente, selektive und flexible Erzeugung von Wasserstoff aus Meerwasser“

Förderkennzeichen: 03SF0611B

Laufzeit: 01.03.2021 – 31.12.2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichungen liegt bei den Autoren

Inhalt

1	Kurzbericht	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Ablauf des Vorhabens	4
1.3	Wesentliche Ergebnisse und ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen	4
	Quellen	5

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Verbundprojektes H2Meer war eine ganzheitliche Betrachtung, Erforschung und Entwicklung der Elektrolyse von Meerwasser, um dieses Verfahren für die effiziente, selektive und zuverlässige Erzeugung von grünem Wasserstoff zu qualifizieren. Insbesondere im Hinblick auf ein Vorgesehenes durchschnittliches Wachstum von 3,4 GW/a installierte Elektrolyseleistung bis zum Jahr 2030, wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff direkt aus Meerwasser oder salzhaltigen Gewässern immer relevanter[1]. Zukünftig könnte die Bundesrepublik Deutschland (BRD) bei einer weiteren Entwicklung direkt an Offshore-Windparks erneuerbaren Wasserstoff erzeugen und speichern.

Dafür sollten im Projekt kostengünstigen Komponenten wie Katalysatoren, porösen Elektroden und neue Membranmaterialien entwickelt werden. Der optimierte Betrieb von Meerwasserelektrolyseuren sollte erforscht und dafür eine umfassende chemische Analytik rund um den Meerwasserelektrolyseur entworfen, aufgebaut, getestet und eingesetzt werden. Langzeittests mit Zellen im Labormaßstab (5-10 cm² aktiver Fläche) in Kombination mit simulierten Offshore-Elektrizitätsvorschüben sollten die Robustheit und Tauglichkeit des neuen Systems überprüfen.

Dabei waren die Ziele des Teilprojektes:

- die stabile und reproduzierbare Beschichtung von porösen Substraten mit Katalysatoren für die Wasserstoffentwicklung (hydrogen evolution reaction, HER) und die Sauerstoffentwicklung (oxygen evolution reaction, OER),
- die Bewertung der Elektroden hinsichtlich ihrer Aktivität für die Meerwasserelektrolyse bei verschiedenen pH-Werten (OER + HER, pH 7-14),
- die Skalierung dieser Elektroden auf eine Größe von bis zu 100 cm² mit Fokus auf das catalyst coated substrate-Verfahren (CCS) ohne nennenswerte Einbußen in der Qualität der Beschichtung und der Aktivität der Elektroden,
- die Testung der hergestellten Elektroden in einer Einzelzelle für mindestens 100 h bei verschiedenen Betriebsweisen (bis 1000 h geplant), TRL 5; damit verbunden ist die Entwicklung einer entsprechenden Testumgebung im Labor,
- eine techno-ökonomische Bewertung der Meerwasserelektrolyse auf Basis der im Projekt gesammelten Erfahrungen mit Fokus auf die Elektrodenfertigung und der technischen Übertragbarkeit der optimierten Fahrweise

Ausgangspunkt für das Projekt waren zum einen die Arbeiten an der TU Berlin zur Entwicklung von NiFe-LDH Katalysatoren und die Untersuchung verschiedener Betriebsweisen von AEM-Elektrolyseuren mit alkalischem Meerwasser [2–4] sowie Arbeiten am IFAM zum Thema Edelmetall-freier Elektroden am IFAM [5] und zum anderen Veröffentlichungen zu stabilen Anodenmaterialien und Grundlagen der Korrosion in meerwasserhaltigen Elektrolyten [6,7] Im Laufe des Projekts gab es viel Forschungsaktivität auf dem Gebiet der alkalischen Meerwasserelektrolyse, die in der eingehenden Darstellung erörtert wird bzw. in einschlägigen Review-Artikeln gefunden werden kann. [8–10]

1.2 Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war in mehreren wissenschaftlichen Arbeitspaketen unterteilt, die in dem Zeitraum 01.03.2021 – 31.12.2024 bearbeitet wurden, inklusiver zweier kostenneutrale Verlängerung um insgesamt 8 Monate. Grund für die Verlängerungen waren Verzögerungen in der Anlieferung des Teststandes im Technikumsmaßstabes für den Betrieb einer 100 cm² Zelle. Zusätzlich verzögerte sich die Inbetriebnahme durch technische Mängel am Teststand im Lieferzustand. Daher konnte der Teststand nur für einen Test mit begrenzter Aussagekraft genutzt werden. Die Kooperation zwischen den Projektpartner wurde durch regelmäßige Online-Meetings sowie physische Projekttreffen gestärkt.

Es konnten bis zum Projektende nicht alle Arbeitspakete erfolgreich abgeschlossen werden, da Aufgrund der Verzögerungen im Betrieb des Teststandes Informationen für die Betrachtung der Skalierung in den MW-Bereich nicht bis zum Projektende vorlagen. Ein Abschluss dieser Arbeiten wird nach Projektende angestrebt.

1.3 Wesentliche Ergebnisse und ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Im Rahmen des Projekts konnten wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung und Qualifizierung von Materialien für die alkalische Meerwasserelektrolyse erzielt werden.

In enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Alantum gelang die erfolgreiche Herstellung von legierten Metallschäumen mit einer Vielzahl von Legierungselementen und deren elektrochemisch Untersuchung in Anwesenheit von Chlorid-Ionen.

Die im Projekt eingesetzten porösen Substrate ließen sich erfolgreich und wiederholbar mit den entwickelten Katalysatoren beschichten. In Kooperation mit der TU Berlin war es möglich, die Beschichtung mit Katalysatoren CoP/C (Kathode) und NiFe-LDH (Anode) im catalyst-coated-substrate-Verfahren (CCS) von kleinformatischen Proben (wenige cm²) erfolgreich auf Elektroden mit bis zu 100 cm² zu skalieren. Damit wurde ein entscheidender Schritt in Richtung Technikumsmaßstab realisiert.

Zelltests mit „künstlichem“ Meerwasser, das alle relevanten Kationen und Anionen enthält, ermöglichten die Untersuchung der elektrochemischen Stabilität unter realitätsnahen Bedingungen. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass Sulfat-Ionen einen positiven Einfluss auf die Anodenstabilität von Nickel- als auch für 316L-Schaumsubstraten in Gegenwart von Chlorid-Ionen ausüben.

Die Langzeittests in der Einzelzelle bestätigten eine Materiallebensdauer von über 300 Stunden. Initial wurde bei einer Zellspannung von 1,8 V eine Stromdichte von über 800 mA/cm² erreicht, nach 300 Stunden lag die Stromdichte bei über 900 mA/cm² bei 1,9 V. Ergänzend konnte die Stabilität der vom HI-ERN entwickelten Membranen auch im künstlichen Meerwasser mit 3 M KOH über 300 Stunden demonstriert werden, womit deren Einsatzpotenzial unter verschärften Bedingungen bestätigt wurde. Mit Schutzbeschichtung der Substrate (Anode: NiS_x, Kathode: NiP_x) konnte an der TU Berlin auch ein Betrieb in künstlichem Meerwasser mit 1M KOH realisiert werden. Insgesamt konnte so ein belastbarer Nachweis der Funktionsfähigkeit und Stabilität neuartiger Materialkombinationen für die alkalische Meerwasserelektrolyse erbracht werden. Die enge Zusammenarbeit der beteiligten Forschungseinrichtungen trug entscheidend dazu bei, die Ergebnisse vom Labormaßstab in Richtung technischer Anwendung zu überführen.

Quellen

- [1] T. Smolinka, N. Wiebe, P. Sterchele, A. Palzer, F. Lehner, M. Jansen, S. Kiemel, R. Mieke, S. Wahren, F. Zimmermann, Studie IndWEDE: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, Berlin, 2018.
- [2] S. Dresp, F. Dionigi, S. Loos, J. Ferreira de Araujo, C. Spöri, M. Gliech, H. Dau, P. Strasser, *Adv. Energy Mater.* 8 (2018). <https://doi.org/10.1002/aenm.201800338>.
- [3] F. Dionigi, T. Reier, Z. Pawolek, M. Gliech, P. Strasser, *ChemSusChem* 9 (2016) 962–972. <https://doi.org/10.1002/cssc.201501581>.
- [4] S. Dresp, T. Ngo Thanh, M. Klingenhof, S. Brückner, P. Hauke, P. Strasser, *Energy Environ. Sci.* 13 (2020) 1725–1729. <https://doi.org/10.1039/d0ee01125h>.
- [5] C.I. Bernäcker, T. Rauscher, T. Büttner, B. Kieback, L. Röntzsch, *J. Electrochem. Soc.* 166 (2019) F357-F363. <https://doi.org/10.1149/2.0851904jes>.
- [6] Y. Kuang, M.J. Kenney, Y. Meng, W.-H. Hung, Y. Liu, J.E. Huang, R. Prasanna, P. Li, Y. Li, L. Wang, M.-C. Lin, M.D. McGehee, X. Sun, H. Dai, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116 (2019) 6624–6629. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900556116>.
- [7] L. Yu, L. Wu, B. McElhenny, S. Song, D. Luo, F. Zhang, Y. Yu, S. Chen, Z. Ren, *Energy Environ. Sci.* 13 (2020) 3439–3446. <https://doi.org/10.1039/d0ee00921k>.
- [8] L. Yu, M. Ning, Y. Wang, C. Yuan, Z. Ren, *Nat Rev Mater* (2025). <https://doi.org/10.1038/s41578-025-00826-x>.
- [9] J. Li, G. Fu, X. Sheng, G. Li, H. Chen, K. Shu, Y. Dong, T. Wang, Y. Deng, *Advanced Powder Materials* 3 (2024) 100227. <https://doi.org/10.1016/j.apmate.2024.100227>.
- [10] R. Zhang, T. Zhai, H. Wang, S. Lu, *Adv Energy and Sustain Res* (2024). <https://doi.org/10.1002/aesr.202400085>.