

## 3Dadditive2D

Mikro-3D-Druck von 2D-Materialien mit Aerosol Jet Printing für neuartige Wasserstoff-(Photo-)Elektrokatalyse-Elektroden

|                                 |   |                        |            |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschung 8. Ausschreibung                       | <b>Status</b>          | laufend    |
| <b>Projektstart</b>             | 03.10.2022  | <b>Projektende</b>     | 02.10.2026 |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2022 - 2026   | <b>Projektlaufzeit</b> | 49 Monate  |
| <b>Keywords</b>                 | Grüner Wasserstoff, Elektrokatalyse, Photoelektrokatalyse, 3D Druck, 2D Materialien, Additive Fertigung |                        |            |

### Projektbeschreibung

Nachhaltig produzierter „grüner“ Wasserstoff (H<sub>2</sub>) wird als zentraler Energieträger für eine fossile-Brennstoff-freie Zukunft dringend benötigt. Schlüsseltechnologien für die Produktion von grünem H<sub>2</sub> sind die nachhaltige Wasserspaltung auf elektrochemischem (EC) und photoelektrochemischem (PEC) Weg. Sowohl EC als auch PEC sind entscheidend auf die Verfügbarkeit geeigneter Katalysatorelektroden angewiesen. Insbesondere müssen EC/PEC-Katalysatorelektroden eine makroskopische, komplex geformte dreidimensionale (3D) Form und die Funktionalität nanoskopischer katalytischer Materialien verbinden, was mit herkömmlichen Herstellungsverfahren schwer zu erreichen ist. Ein alternativer Fertigungsansatz, der möglicherweise besser für die Herstellung von 3D-EC/PEC-Katalysatorelektroden geeignet ist, ist dreidimensionaler (3D-)Druck, auch bekannt als additive Fertigung. Alle derzeit verfügbaren 3D-Drucktechniken sind jedoch für die 3D-EC/PEC-Elektrodenherstellung in Bezug auf heterogene Materialintegration, hierarchische Strukturierung von cm- bis nm-Längenskalen und Druck auf beliebigen, selbst komplex geformten Substraten begrenzt. In dem hier vorgeschlagenen Projekt „3Dadditive2D“ identifizieren wir Aerosol Jet Printing (AJP) in Form des neuartigen „Micro-3D-AJP“ als einen spannenden Newcomer auf dem Gebiet des 3D-Drucks, der ideal geeignet ist, den unerfüllten Bedarf an 3D-EC/PEC-Elektroden zu decken. Wir werden erstmals neuartiges Micro-3D-AJP mit hochfunktionellen zweidimensionalen (2D) Material-Bausteinen inkl. 2D-Graphen und 2D-MoS<sub>2</sub> entwickeln, um hierarchisch strukturierte, multifunktionale 3D-Katalysatorelektroden für die effiziente H<sub>2</sub>-Produktion in EC- und PEC-Wasserspaltung herzustellen. 2D-Materialien sind ideal für EC/PEC-Katalysatorelektroden geeignet, insbesondere da 2D-Materialien zwei Größenordnungen billiger sind als derzeit verwendete Edelmetallkatalysatoren (z. B. Pt) in EC/PEC. Wir werden zum ersten Mal Mikro-3D-AJP von 2D-Materialbausteinen mit Zielstrukturen von 3D-Säulenrastern und 3D-Mikrogittern mit hierarchischer cm- bis nm-Strukturierung demonstrieren. Bisher wurden keine solchen Strukturen aus 2D-Bausteinen mittels Mikro-3D-AJP hergestellt. Dann werden wir das neu eingeführte Mikro-3D-AJP von 2D-Materialien nutzen, um EC/PEC-3D-Elektroden mit angestrebten Leistungswerten herzustellen, die um >40% über dem derzeitigen Stand der Technik liegen. Diese anspruchsvollen Ziele werden durch ein einzigartiges Konsortium erreicht werden, das weltweit führende Erfahrung in 2D-Materialien und EC/PEC (Technische Universität Wien) und AJP (Joanneum Research) vereint. Aufgrund der Vielseitigkeit der entwickelten Mikro-3D-AJP-Technologie erwarten wir, dass „3Dadditive2D“ nicht nur die Herstellung von EC/PEC-Wasserspaltелеktroden nachhaltig beeinflussen wird, sondern auch auf viele andere energierelevante Bereiche erweitert werden kann inkl. 3D-Druck von

Elektroden in Superkondensatoren/Batterien, 3D-Verbindungen in energieeffizienten (opto-)elektronischen Schaltungen und elektrochemische Umweltschadstoffsensorik, wie auch die verschiedenen Interessenbekundungen österreichischer Unternehmen zu „3Dadditive2D“ belegen.

## **Abstract**

Sustainably produced “green” hydrogen (H<sub>2</sub>) is urgently needed as a key energy carrier for a fossil-fuel free future. Key technologies for green H<sub>2</sub> production are sustainable water splitting by electrochemical (EC) and photoelectrochemical (PEC) routes. Both EC and PEC critically rely on the availability of suitable catalyst electrodes. Most importantly, EC/PEC catalyst electrodes must bridge macroscopic, complex-shaped three-dimensional (3D) form with nanoscopic, catalytic materials functionality, which is hard to achieve with traditional fabrication methods. An alternative manufacturing approach that is potentially better suited for 3D EC/PEC catalyst electrode manufacture is three-dimensional (3D) printing, also known as additive manufacturing. All currently available 3D printing techniques are however limited for 3D EC/PEC electrode manufacture with respect to heterogenous materials integration, hierarchical structuring from cm to nm length-scales and deposition onto arbitrary, itself complex shaped substrates. In the here proposed project “3Dadditive2D” we identify Aerosol Jet Printing (AJP) in the form of novel “micro-3D-AJP” as an exciting newcomer to the field of 3D printing, that is ideally suited to fulfil the unmet needs for 3D EC/PEC manufacture. We will for the first time combine novel micro-3D-AJP with highly functional two-dimensional (2D) materials building blocks incl. 2D graphene and 2D MoS<sub>2</sub> to create hierarchically structured, multifunctional 3D catalyst electrodes for efficient H<sub>2</sub> production in EC and PEC water splitting. 2D materials are ideally suited for EC/PEC catalyst electrodes, in particular since 2D materials are two orders of magnitude cheaper than currently used noble-metal catalysts (e.g., Pt) in EC/PEC. We will demonstrate for the first time micro-3D-AJP of 2D materials building blocks with target structures of 3D pillar arrays and 3D microlattices with hierarchical cm to nm structuring. No such structures have to date been micro-3D-AJPed with 2D building blocks. Then we will utilize the newly introduced micro-3D-AJP of 2D materials to fabricate EC/PEC 3D electrodes with target performance values that are by >40% beyond the state-of-the-art. These challenging goals will be achieved by a unique consortium that brings together globally leading experience in 2D materials and EC/PEC (Technische Universität Wien) and AJP (Joanneum Research). Because of the versatility of the developed micro-3D-AJP technology, we expect that “3Dadditive2D” will not only have a lasting impact on manufacturing of EC/PEC water splitting electrodes, but also will be readily extendable to many other energy-relevant fields incl. 3D printing of electrodes in supercapacitors/batteries, 3D interconnects in energy-efficient (opto-)electronics packaging and electrochemical environmental pollutant sensing, as well evidenced by the various letters-of-interest from Austrian companies accompanying “3Dadditive2D”.

## **Projektkoordinator**

- Technische Universität Wien

## **Projektpartner**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH