PhotoCatalPlasmaCure

Skalierbare Sol-Gel-Beschichtungen mit Plasma-Curing für sichtbare Photokatalyse und Anti-Biofouling

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertaionen 2024, Industrienahe Dissertationen 2025	**Status**	laufend
Projektstart	01.02.2026	**Projektende**	31.01.2029
Zeitraum	2026 - 2029	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 110.000		
Keywords	Sichtbar-aktive Photokatalyse; Atmosphärendruck-Plasma-Curing; Roll-to-Roll Beschichtungstechnik; Anti-Biofouling Oberflächen; Sol-Gel TiO2–SiO2 Nanokomposite		

Projektbeschreibung

Organische Verschmutzungen, Biofilme und persistente Spurenstoffe stellen wachsende Probleme für technische Oberflächen und Wasseraufbereitung dar. Photokatalytische Oberflächen können diese Verunreinigungen „selbst-reinigend“ zu flüchtigem CO2 und H2O oxidieren. Das derzeit meist genutzte TiO2 ist nur im UV-Bereich aktiv. Im sichtbaren Lichtspektrum aktive alternative Minerale mit auch europäischen Ressourcen (FeS_2, CuO, ZnO) zeigen zwar hohe Photokonversion, unterliegen jedoch Photokorrosion und Ionen-Leaching. Das Projekt adressiert diese Defizite durch ein innovatives material- und prozesstechnisch integriertes Konzept unter Nutzung einer kürzlich patentierten Beschichtungstechnologie.

Das Ziel des Dissertationsprojekts sind umfangreiche, Simulations-unterstützte Studien zu Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen für das Atmosphärendruck-Plasma-Curing (Aushärtung / Vernetzung) von Sol-Gelen. Dadurch soll ein hoch-Photokorrosions-beständiges dünnes (300 nm–5 µm) Sol-Gel-System mit hinsichtlich Ausgangsstoffen nachhaltiger TiO2-SiO2-Matrix und VIS-photokatalytisch aktiven Partikeln entwickelt werden, das Rolle-zu-Rolle-Skalierbarkeit (R2R) auf Polymerfolien und speziell den Erhalt mikrostrukturierter Folientopografien für zukünftige smarte Oberflächen, wie es Riblets oder Hohlfasern darstellen, ermöglicht.
Mikrostrukturell liegt die angestrebte Lösung in der Überdeckung der photokatalytischen Partikel mit ~100 nm dicken Deckkappen mit - durch die ultrarasche Plasma-Vernetzung - oberflächlich sehr hoch vernetzter Sol-Gel-Matrix und - für hohe Schichtzähigkeit und Haftung - graduell abnehmender Vernetzung hin zum Polymersubstrat. Entscheidend ist elektrische Leitfähigkeit der Matrix, realisiert durch Graphen-Dotierung unter Vermeidung von VIS-Transparenzverlust. Die R2R-fähige Prozesskette umfasst zudem Ultraschall-Sprühen für den konformen Auftrag ultradünner Schichten auf Plasma-aktivierten Folien und Fasern, die lagenweise IR-Vortrocknung und hybrides UV- und Plasma-Curing.

Die wissenschaftliche Methodik liegt in der Kombination aus Partikeldesign (Core-Shell, Graphen-Passivierung), Sol-

Formulierung (biobasierte Vorstufen), Prozessentwicklung (Ultraschall-Spray, APP-Parametrisierung) sowie multiskaliger Charakterisierung (AFM, SEM, HR-TEM, OES, ICP-MS, elektrochemische Tests) und CFD/FE-Simulationen zur Parametrisierung des Plasmajets. DoE und physikalisch gestützte AI-Modelle erschließen robuste Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen. Materialbereitstellung zur Testung in zwei Demonstratoren bei wissenschaftlichen Kooperationspartnern (anti-biofouling-Schichten auf Riblets für den Fließwasserkontakt (Schutz vor Veralgung) sowie mit zusätzlicher H2-Generierung für die Abwasserbehandlung (Mikroplastik-Entfernung)) dienen der Validierung.

Operativ wird das Projekt von Frau DI Lara Maierbrugger als Dissertantin betreut, wobei die notwendige Infrastruktur (Pilot-R2R-APP-Linie) und Analytik bei JOANNEUM RESEARCH verfügbar sind.

Erwartete Resultate der industrienah durchgeführten F&E (d.h. mit INOCON als strategischem Partner / Plasma-Jets) sind Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen für sichtbar-photokatalytisch aktive Schichten mit R2R-tauglichen Herstellparametern (TRL 4), Patent- / Lizensierungs-fähiges Know-how sowie die Betrachtung ökologischer Effekte (LCA im Benchmark zu State-of-the-Art-Technologien).

Abstract

Organic contaminants, biofilms, and persistent trace substances pose growing problems for technical surfaces and water treatment. Photocatalytic surfaces can self-clean and oxidize these contaminants to volatile CO2 and H2O. TiO2, currently the most widely used mineral, is only active in the UV range. Alternative minerals active in the visible light spectrum, including European resources (FeS_2, CuO, ZnO), exhibit high photoconversion but are subject to photocorrosion and ion leaching. The project addresses these shortcomings through an innovative, material- and process-integrated concept utilizing a recently patented coating technology.

The goal of this dissertation project is to conduct comprehensive, simulation-supported studies of process-structure-property relationships for atmospheric-pressure plasma curing (curing/crosslinking) of sol-gels. The goal is to develop a highly photocorrosion-resistant, thin (300 nm–5 µm) sol-gel system with a TiO2-SiO2 matrix made from sustainable raw materials and VIS photocatalytically active particles. This enables roll-to-roll scalability on polymer films and, in particular, the creation of microstructured film topographies for future smart surfaces, such as riblets or hollow fibers.
Microstructurally, the desired solution is the covering the photocatalytic particles with ~100 nm thick caps with a very highly cross-linked sol-gel matrix on the surface due to ultra-rapid plasma cross-linking and gradually decreasing cross-linking towards the polymer substrate for high layer toughness and adhesion. The electrical conductivity of the matrix is crucial, achieved through graphene doping while avoiding VIS transparency loss. The R2R-capable process chain also includes ultrasonic spraying for the conformal deposition of ultra-thin layers on plasma-activated films and fibers, layer-by-layer IR pre-drying, and hybrid UV and plasma curing.

The scientific methodology lies in the combination of particle design (core-shell, graphene passivation), sol formulation (bio-based precursors), process development (ultrasonic spraying, APP parameterization), multiscale characterization (AFM, SEM, HR-TEM, OES, ICP-MS, electrochemical tests), and CFD/FE simulations for parameterizing the plasma jet. DoE and physically supported AI models reveal robust process-structure-property relationships. Materials are being provided for testing in two demonstrators at scientific cooperation partners (anti-biofouling on riblets and with additional H2 generation) for validation purposes.

The project is being supervised operationally by Lara Maierbrugger, a doctoral student. The necessary infrastructure (pilot R2R APP line) and analytics are available at JOANNEUM RESEARCH.

Expected results of the R&D conducted in close cooperation with industry (i.e., with INOCON as a strategic partner/plasma jets) include process-structure-property relationships for visible photocatalytically active coatings with R2R-compatible manufacturing parameters (TRL 4), patentable/licensable know-how, and the consideration of ecological effects (LCA as a benchmark against state-of-the-art technologies).

Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH