Eurostars is a joint programme between more than 30 EUREKA member countries and the European Union

Schlussbericht zum Vorhaben

„Entwicklung, Konstruktion und Bau einer Versuchsanlage zur Spritzbeschichtung von Metallteilen mit schnell UV härtenden Beschichtungsmitteln“

im Rahmen des Eurostars Projekts

E!1021 METALCOAT

„Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Beschichtung von Stahlprodukten“

Steffen Zimmermann, Martin Zimmermann

Werkzeug- & Metallbau / OL GmbH & Co KG
Beiersdorfer Straße 69a, 02708 Schönbach

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: **01QE1634A**
Projektlaufzeit: 01.07.2016 – 31.03.2019

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung Seite 3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde Seite 3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens Seite 3
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde Seite 4
5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen Seite 5
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse Seite 6
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen Seite 6

II. Eingehende Darstellung Seite 7

II.1 Erzielte Ergebnisse Seite 7

II.1.1 Zielstellung Seite 7

II.1.2 Aufgabenstellung für die Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH Seite 7

II.1.3 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen Seite 7

II.1.4 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele mit den Ergebnissen Seite 16

II.1.5 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises Seite 17

II.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit Seite 17

II.3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans Seite 17

II.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen Seite 18

II.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11. Seite 20

III. Erfolgskontrollbericht Seite 21

III.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen Seite 21

III.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und gesammelte Erfahrungen Seite 22

III.3 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen Seite 22

IV. Fortschreibung des Verwertungsplans Seite 24

Es wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse des Vorhabens noch nicht abschließend auf Schutzfähigkeit geprüft bzw. Schutzrechtsanmeldungen in Vorbereitung sind. Dieser Bericht ist demzufolge vertraulich zu behandeln, um die Anmeldung von einem oder mehreren Schutzrechten nicht zu stören oder zu gefährden.

Sperrfrist für die Veröffentlichung des Berichts: 31. 12. 2023 wegen der derzeit in Planung befindlichen Schutzrechtsanmeldungen

1. Aufgabenstellung

Die Aufgaben des Vorhabens bestanden in der Entwicklung neuer Materialien und Verfahren zur Beschichtung von Stahlprodukten einschließlich galvanisierter oder durch Metalle beschichteter Stahlprodukte durch ein lösungsmittelfreies Beschichtungssystem unter Verwendung eines polymeren Beschichtungsmaterials ohne Verwendung eines Primers, das durch eine Rotationsspritzbeschichtungs-Technologie mit unmittelbar folgendem UV-Härtungsprozess gekennzeichnet ist, wodurch hochglatte Metallprodukte mit einer elastischen Schicht, die chemisch an das Metall gebunden ist, in einer speziell dafür konstruierten Beschichtungsanlage unter Nutzung des Dual-Härtungs-Mechanismus hergestellt werden und die sehr niedrige Werte für Wasser- und Sauerstoffdurchlässigkeit aufweisen, so dass eine Korrosion des Metalls über sehr lange Zeiträume verhindert wird. Die technische Aufgabe war die Entwicklung der Herstellung der Systeme als spritzfähige Zwei-Komponenten-Systeme, die Entwicklung des Spritz- und Härtungs-Verfahrens in einer neu zu konstruierenden Anlage sowie die Anwendung unter unterschiedlichen Bedingungen einschließlich der Demonstration der Funktionsfähigkeit von System und Verfahren in der dazu konstruierten und gebauten Beschichtungsanlage.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Von der Werkzeug und Metallbau Oberlausitz GmbH werden seit über 25 Jahren Anlagen, Anlagenteile und Werkzeuge für viele Industriebereiche aus verschiedenen Metallen und mit den verschiedensten Verfahren der Metallbe- und -verarbeitung hergestellt. Dazu stehen die Metallbearbeitungsmaschinen, Schweißanlagen, Test- und Prüffelder zur Verfügung. Diese Anlagen wurden innerhalb des Vorhabens genutzt. Im Rahmen des Vorhabens wurde ein zusätzliches Prüffeld zum Spritzen von Systemen zur Erzeugung von Beschichtungen auf Metalloberflächen eingerichtet und während der Projektlaufzeit kontinuierlich zur Testung der übergebenen Systeme und zur Justierung der Spritzanlagen, der Härtungsmodule und der Transportvorrichtungen genutzt.

In den vergangenen 15 Jahren wurden mehrere nationale Projekte zur Entwicklung neuer Konstruktionen von Beschichtungsanlagen für verschiedene Arten von Beschichtungs-Systemen und Werkzeuge für die kunststoffverarbeitende Industrie durchgeführt und dabei ein nationales und internationales Netzwerk an Partnern aufgebaut. Die Erfahrungen aus diesen Vorhaben in Bezug auf effektive Konsortien-Zusammensetzung und Management sowohl der Projekte als auch der internen Zusammenarbeit wurden im gerade abgeschlossenen Vorhaben genutzt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde entsprechend der Durchführung von größeren Entwicklungsvorhaben geplant (siehe Arbeitspakete im Antrag). Zur Durchführung des Vorhabens wurden nach der Bewilligung alle Aufgaben innerhalb eines Projekt-Management-Plans unter Nutzung des Programms Microsoft Project aufgeschlüsselt und Eckdaten für die Bearbeitung sowie für Meilensteine und der Inhalte einschließlich des Vergleichs der erwarteten und der erreichten Ergebnisse festgelegt. Ein abschließender Workshop wurde im Rahmen der Wildauer Duromer-Tagung durchgeführt.

Der Ablauf des Vorhabens ergibt sich aus den Arbeitspaketen, die im Antrag formuliert wurden, und beinhaltet:

(1) Entwicklung der Grundlagen der Konstruktion der Anlage für die Verarbeitung der vorgesehenen Formulierungen, Aufbau des Projekt-Managements

(2) Entwicklung der Konstruktion der Anlage für die Verfahrenstechnologie und Erarbeitung der Bauzeichnungen,

(3) Entwicklung der Geräte zur UV-Bestrahlung

(4) Planung und Konstruktion der UV-Beschichtungsanlage, Entwicklung der Prozesstechnologie und Durchführung von Testläufen

(5) Weiterentwicklung der Prozesstechnologie basierend auf den Ergebnissen der Testläufe und deren Charakterisierung

(6) Kleinserienproduktion der Systeme und erste Beschichtungen von Bauteilen und deren Charakterisierung

(7) Dissemination – Zusammenstellung der Ergebnisse, Prüfung auf Schutzrechtsfähigkeit durch das Konsortium und Bekanntmachung der Ergebnisse

Im Verlauf des Vorhabens wurden die Auftakt-Veranstaltung (Kick-off-meeting), drei Meilenstein-Diskussionen (nach 8, 15 und 24 Monaten) sowie die Abschluss-Diskussion mit einem Vortrag auf der Wildauer Duromer-Tagung durchgeführt. Im Ergebnis wurde bisher eine Erfindungsbeschreibung erarbeitet, die gegenwärtig in der Prüfung durch die Mitglieder des Konsortiums ist, eine weitere ist angedacht und soll bis Ende des Jahres erarbeitet werden.

4. **Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Die umfassende Recherche von Patenten und wissenschaftlicher Literatur vor Beginn des Vorhabens hat auf massive Probleme im Bereich der Beschichtungsmittel für den Korrosionsschutz und Angriffe durch Organismen sowohl in der üblichen Umwelt als auch in mariner Umgebung hingewiesen [1]. Die Diskussion um die Eliminierung von bioziden, auslaugungsfähigen Verbindungen und Metallen hat sich zum Ende der Projektlaufzeit weiter verstärkt, siehe z. B. [8].

Zur Synthese von Thiole enthaltenden Polyurethanacrylaten wurde nur eine Arbeit ermittelt [2]. Zur Herstellung von Acrylat- bzw. Urethanacrylat-Beschichtungen wurden mehrere Arbeiten ermittelt und ausgewertet, z. B. [3]. Weiterhin wurde der Einfluss nanoskaliger, jedoch in der Regel anorganischer Additive in mehreren Arbeiten beschrieben, siehe z. B. [4].

Die Patent-Recherche wurde unter Depatisnet (DPMA) in 8 Ordnungseinheiten für die Fonds DE, EP, US, WO durchgeführt, wobei ca. 7000 EB durchgesehen wurden. Es wurden zwei EB in der Anwendung von UV-härtenden Beschichtungen als Sicherheitspapier ermittelt:

DE 10 2012 004 127 A1 (Giesecke & Devrient GmbH, R. Liebler, D. Otto, P. Schiffmann, 01. 03. 2012 / 05. 09. 2013): eine schmutzabweisende, antimikrobielle Beschichtung auf der Basis wasserbasierter, UV-härtender Lacke.

DE 10 2012 004 195 A1 (Giesecke & Devrient GmbH, K. Habik, D. Otto, P. Schiffmann, 01. 03. 2012 / 05. 09. 2013): Verfahren zur Herstellung von Wertdokumenten durch das Aufbringen einer Beschichtungszusammensetzung, die zur Erzeugung einer Primärschicht geeignet ist und aus einem Hybridlack besteht, der physikalisch trocknet und durch Strahlung vernetzbar ist.

Weitere, die eigenen Arbeiten nicht tangierenden Patente betreffen die Herstellung von UV-härtbaren Acrylatbeschichtungen, jedoch ohne dass darin Thiole oder Oligoharnstoffe mit biozider Funktion mit verwendete oder in irgendeiner Form einbezogen werden, siehe z. B. DE 197 41 554 A1 (BASF AG, E. Sapper, S. Schwarte): Härtbare Beschichtungszusammensetzungen in Form einer Poly(meth)acrylatdispersion und eines mit Isocyanaten reaktionsfähigen Poly(meth)acrylats.

Die vor Einreichung des Vorhabens durchgeführte Recherche ergab demzufolge, dass zwar eine Reihe von Einzelproblemen, die auch im vorliegenden Projekt beschrieben und gelöst werden sollen, beschrieben sind, dass aber die Lösung sowohl des speziellen Beschichtungsmaterials mit den vier wirksamen Komponenten, der Technologie für deren Anwendung sowie der Anlage zur Durchführung der Beschichtung nicht in der Form einer komplexen technischen Lösung ermittelt werden konnten und der beschriebene Ansatz daher neu und innovativ ist.

Literaturauswahl

[1] Shuo Liu, Weiwei Guo, Antibiofouling and Healable Materials: Preparation, Mechanisms, and Biomedical Applications, Adv. Funct. Materials https://doi.org/10.1002/adfm.201800596, Sean Milmo, Anti microbial Coatings Could Provide Opportunities for SMEs in Europe, Coatings World, 19. 03. 2018

[2] Norio Nakayama, Toyoharu Hayashi, Synthesis of novel UV-curable difunctional thiourethane methacrylate and studies on organic – inorganic nanocomposite hard coatings for high refractive index plastic lenses, Progress in Organic Coatings, 62, Issue 3, 274–284 (2008)

[3] Anon., Radiation-Curable Components and Their Use in Corrosion-Resistant Applications, Paint & Coatings Industry, Feb. 8, 2013

[4] Ki-Ho Nam, Kwangwon Seo, Jongchul Seo, Sher Bahadar Khan, Haksoo Han, UV-härtende Polyurethanacrylat-Beschichtungsmittel mit speziell gefällten Calciumcarbonat-Additiven Progress in Organic Coatings 85, 22-30 (2015)

Während der Durchführung des Vorhabens wurden keine Schutzrechte, Verfahren oder Konstruktionen Dritter und keine anderen Informationen, als die im Rahmen der Recherche gewonnen Erkenntnisse genutzt. An Fachliteratur wurde über die oben zitierten Arbeiten und Patente hinaus eine Vielzahl weiterer Arbeiten gelesen und deren Ergebnisse hinsichtlich der im Rahmen der eigenen Arbeiten auftretenden Probleme bewertet und damit über eine Nutzung entschieden. Insgesamt wurden 366 wissenschaftliche oder von der Industrie in Fachzeitschriften veröffentlichte Arbeiten gelesen und über 200 Patente im Rahmen der Vorbereitung der Anmeldung eines eigenen Schutzrechts ausgewertet. Zur Literaturrecherche wurden verschiedene Internet-Dienste (European Coatings News, Omnexus, SpecialChem, Coatings alert, Adv. Sci. News etc., Farbe & Lack Info), zur Patentrecherche die Datenbank des DPMA depatisnet genutzt.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Antifouling- und Antikorrions-Beschichtungssysteme, die durch laufende Recherchen während der Projektlaufzeit ermittelt wurden, nutzen generell andere Ansätze zur Erzielung dieser Ziele. Die Situation wird in Europa dadurch kompliziert, dass eine ganze Reihe biozid wirkender Additive (einschließlich nanoskaliger Metalle wie Kupfer oder Silber) nicht mehr zugelassen werden und dadurch andere Wege beschritten werden müssen. Die bekannt gewordenen technischen Lösungen mit Nickeloxid, Ceroxid, polyfluorierten Verbindungen oder an anoskalige Doppelmetallhydroxide adsorbierte biozid wirksame polyquarternäre Ammoniumverbindungen sind bisher nicht technisch umgesetzt worden, da auch in diesen Fällen oftmals weitere, nicht zulassungsfähige Stoffe eingesetzt wurden. Einige Literaturbeispiele sind im Folgenden aufgelistet:

[5] Romina A. Arreche, Katerine Igal, Natalia Bellotti, Cecilia Deyá, Patricia G. Vázquez, Functionalized zirconia compounds as antifungal additives for hygienic waterborne coatings Progress in Organic Coatings 128, 1-10 (2019)

[6] Chandrashekhar K. Patil, Harishchandra D. Jirimali, Jayasinh S. Paradeshi, Bhushan L. Chaudhari, Vikas V. Gite, Functional antimicrobial and anticorrosive polyurethane composite coatings from algae oil and silver doped egg shell hydroxyapatite for sustainable development, Progress in Organic Coatings **128**, 127-136 (2019)

[7] Chunfang Zhang, Kaifang Wei, Wenhai Zhang, Yunxiang Bai, Yuping Sun, and Jin Gu, Graphene Oxide Quantum Dots Incorporated into a Thin Film Nanocomposite Membrane with High Flux and Antifouling Properties for Low-Pressure Nanofiltration, ACS Appl. Mater. Interfaces, 9 (12), 11082–11094 (2017)

[8] D. Zilm, In absehbarer Zeit vermutlich keine neuen Biozide, F&L, 18. 02. 2019

Der Kampf gegen Mikroorganismen wird nicht leichter. Die Anzahl verfügbarer Biozide nimmt ab, auch da vermutlich keine neuen entwickelt werden. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen werden immer strenger und schränken die Anzahl der am Markt verfügbaren Biozide ein. Besondere Herausforderungen kommen auf die Druckfarben- und Klebstoffhersteller, die die Normen für indirekten Lebensmittelkontakt erfüllen müssen – Stichwort Methylisothiazolinon (MIT) – zu [8].

Demzufolge wird der globale Markt für Beschichtungen mit Antifouling-Eigenschaften in den Jahren bis 2021 um ca. 13 % jährlich wachsen [9].

[9] WiseGuyRerports.com “Global Antifouling Coatings Market 2017-2021”, Pune (India), March 28, 2018

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Während der Projektlaufzeit erfolgte eine Veröffentlichung:

Martin Spitzer, Entwicklung und Konstruktion einer Versuchsanlage zur Spritzbeschichtung von Metallteilen mit schnell UV-härtenden Beschichtungsmitteln, Techniker-Arbeit, eingereicht Bautzen 29. 04. 2017

Weiterhin ist gegenwärtig die Anmeldung eines Schutzrechts geplant:

W. Klockemann, V. Stoycheva, M. Zimmermann, Neue inhärent biozid und antikorrosiv wirkende Beschichtungssysteme und deren Verarbeitung

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit im Rahmen des EUROSTARS-Projekts erfolgte im Rahmen des dafür gebildeten Konsortiums bestehend aus

Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH als Konsortialführer und Produzent der Anlagen,

Performance Chemicals HGmbH für die Entwicklung und Produktion der Systemkomponenten,

26 Mai als Partner für die Entwicklung und Konstruktion der Außenhüllen und als Anwender

und den Hochschuleinrichtungen

Technische Hochschule Wildau als Partner für die Grundlagenforschung und Charakterisierung der Produkte sowie

Universität für Chemische Technologie und Metallurgie Sofia

Während der Projektlaufzeit arbeitete der bulgarische Partner 26 Mai mit der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie zusammen, um bestimmte Fragestellungen detaillierter zu untersuchen.

Weitere Stellen wurden in das Vorhaben nicht eingebunden.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Erzielte Ergebnisse

II.1.1 Zielstellung

Das Ziel des Vorhabens war es, neue Materialien und Verfahren zur Beschichtung von Stahlprodukten einschließlich galvanisierter oder durch Metalle beschichteter Stahlprodukte durch ein lösungsmittelfreies Beschichtungssystem unter Verwendung eines polymeren Beschichtungsmaterials ohne Verwendung eines Primers, das durch eine Rotationsspritzbeschichtungs-Technologie mit unmittelbar folgendem UV-Härtungsprozess gekennzeichnet ist, wodurch hochglatte Metallprodukte mit einer elastischen Schicht, die chemisch an das Metall gebunden ist zu entwickeln, die in einer speziell dafür konstruierten Beschichtungsanlage unter Nutzung des Dual-Härtungs-Mechanismus hergestellt werden und die sehr niedrige Werte für Wasser- und Sauerstoffdurchlässigkeit aufweisen, so dass eine Korrosion des Metalls über sehr lange Zeiträume verhindert wird. Die technische Aufgabe war die Entwicklung der Herstellung der Systeme als spritzfähige Zwei-Komponenten-Systeme, die Entwicklung des Spritz- und Härtungs-Verfahrens in einer neu zu konstruierenden Anlage sowie die Anwendung unter unterschiedlichen Bedingungen einschließlich der Demonstration der Funktionsfähigkeit von System und Verfahren in der dazu konstruierten und gebauten Beschichtungsanlage.

II.1.2 Aufgabenstellung für die Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH

Das Ziel des Verbundprojektes ist die Entwicklung von neuen Materialien und Verfahren zur Beschichtung von Stahlprodukten einschließlich galvanisierter oder durch Metalle beschichteter Stahlprodukte durch ein lösungsmittelfreies Beschichtungssystem unter Verwendung eines polymeren Beschichtungsmaterials ohne Verwendung eines Primers in einer dazu geeigneten Anlage. Die Aufgabe der Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH bestand in der Entwicklung, Konstruktion und im Bau einer geeigneten Anlage zur Durchführung der Beschichtung und zu deren energetisch effizienter Härtung unter Nutzung des dualen Härtungsmechanismus und schließlich der LED-UV-Technik.

Die Ergebnisse werden im Folgenden detailliert beschrieben.

II.1.3 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

*Arbeitspaket 1: Projektmanagement und Formulierung und Entwicklung der System**e***

Zielstellung

Aufbau des Projektmanagement-Systems und Entwicklung des Projektmanagement-Plans für das Gesamtprojekt über die Laufzeit mit Festlegung der Meilensteine, der Abrechnungszeitpunkte und –räume sowie der Kostenkontrolle; Beginn der Untersuchungen zur Konstruktion der UV-Härtungsanlage, Untersuchungen zu geeigneten Frequenzen in Abhängigkeit von der Struktur der verwendeten Verbindungen, Untersuchungen zur Art der UV-Strahlung und der darauf basierenden Härtung, Organisation und Durchführung des Kick-off-meetings

Ergebnis:

Das Projektmanagement wurde von der Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH als Konsortialführer durchgeführt und alle erforderlichen Aktivitäten abgearbeitet. Es wurden im Rahmen des Vorhabens die Auftakt-Veranstaltung (Kick-off-meeting) am 14. Sept. 2016, vier Meilenstein-Treffen (nach 8, 15, 24 und 27 Monaten) sowie die Abschluss-Diskussion mit Vorträgen auf der Wildauer Duromer-Tagung durchgeführt. Die Ergebnisse der Meilenstein-Diskussionen wurden in Protokollen festgehalten, die weiteren Arbeiten festgelegt und die Details der Formulierungs-, System- und Technologieentwicklung beschlossen sowie danach in das Rahmenprogramm aufgenommen.

Die UV-Härtung sollte mit Strahlern unterschiedlicher Wellenlänge, die auf die erfolgreich eingesetzten Katalysatoren des Beschichtungssystems abgestimmt sind, in einem von Licht

und Umwelteinflüssen abgeschirmten Kompartiment erfolgen. Die Konstruktion dieses speziellen Kompartiments für die lineare Durchführung von langen Metallteilen wurde begonnen und eine erste mögliche Lösung mit Schleusen den Partnern zur Diskussion übermittelt. Dazu wurde ein weiteres Treffen auf Bearbeiterebene im Januar 2017 durchgeführt.

Von den Partnern wurde mitgeteilt, dass für die Beschichtungsmaterialien verschiedene kommerzielle Katalysatoren zur Verfügung stehen, durch die Härtung bei unterschiedlichen Wellenlängen zwischen 250 und 400 nm erfolgen kann. Die Partner entschieden, dass zunächst nur kommerziell verfügbare Katalysatoren eingesetzt werden sollen und auf der Basis der Wellenlängen mit der größten Intensität die Strahler ausgewählt werden. Es wurden UV-Strahler für die Wellenlängen 254 nm, 320 nm und 420 nm ausgewählt.

Erste Untersuchungen zur Härtung mit den UV-Strahlern wurden an einem einfachen System aus handelsüblichen Komponenten durchgeführt. Dazu wurde mit den drei Strahlern bei jeweils anderer Katalyse im Abstand von 15 cm unter Stickstoff bei 45°C 30 s bestrahlt und die Aushärtung durch DSC bestimmt. Der Härtungsgrad war bei Verwendung des UV-Strahlers im Wellenzahlenbereich (nach Herstellerangaben) von 395 bis 430 nm am besten bei Verwendung des Katalysators Genocure® RTX. Auf Grund dieser Auswertung wurde mit dem LED-UV-Strahler bei 420 nm das beste Härtungsergebnis in Gegenwart von Genocure® RTX erzielt.

Die Arbeiten zur Ermittlung der Parameter der weiteren Anlagenteile wurden auf der Basis der bisher gefundenen Härtungsbedingungen durchgeführt. Es wurde festgelegt, dass die Anlage dabei mit einem thermischen Vorhärtungssystem ausgerüstet wird, durch das eine optimale Temperatur während der Bestrahlung eingehalten werden kann, um die Systeme nach den zwei unterschiedlichen Härtungsmechanismen optimal auszuhärten. Die bisher ermittelte Temperatur kann sich bei den später zur Verfügung stehenden Beschichtungsmitteln noch ändern, so dass das thermische Härtungskompartiment mit einer Temperatur-Steuerung ausgerüstet wurde. Die Temperatur der Härtung bestimmt wesentlich die Leistungsaufnahme der Anlage, die gefundene Lösung mit LED-UV-Strahlern ist dagegen energetisch ausgesprochen günstig mit einer Leistungsaufnahme von 16 W.

Ein weiteres Modul ist die Transportvorrichtung. Dazu wurden zwei technische Lösungen erarbeitet und den Partnern vorgestellt: die Durchführung der Teile durch die Beschichtungsanlage oder die lineare Bewegung der Beschichtungsanlage über die Teile, wenn diese lang und schwer sein sollten. Für beide Varianten wird derzeit eine technische Konzeption erarbeitet. Nach Ausarbeitung der Konzeption und einer ersten ökonomischen Berechnung sollen diese Varianten auf dem Meilenstein mit den Partnern ausführlich diskutiert und entschieden werden.

Arbeitspaket 2: Entwicklung der Geräte zur UV-Bestrahlung

Zielstellung

Bestimmung der optischen, elektrischen und thermischen Parameter sowie der Betriebserfordernisse der Spritzbeschichtungs- und Härtungs-Module der geplanten Anlage. Dabei sind die Erfordernisse einer flüssigen Schicht auf den zu beschichtenden Teilen während des UV-Härtungsprozesses und auf den Transportvorgang der Teile zu berücksichtigen. Es soll ein Entwurf für die Konstruktion einer Experimentalanlage erarbeitet werden, der diese Faktoren berücksichtigt

Aufbauend auf der Diskussion anlässlich des Meilensteins im Januar 2017 wurde die Konzeption der Anlage in folgender Hinsicht geplant und darauf basierend die Konstruktionsunterlagen erarbeitet:

- Vorschalten einer Temperieranlage vor dem Bestrahlungskompartiment, um eine optimale Temperatur bei der UV-Bestrahlung zu erhalten, so dass ein duales Härtungskonzept realisierbar wird; als Temperiereinheit wurde eine induktionsgesteuerte Röhre vorgeschlagen, konstruiert und zur Diskussion mit den Partnern die Konzeption in Form einer ersten Konstruktionszeichnung vorgestellt und diskutiert; die Partner waren

von der Konzeption überzeugt, so dass diese in die Gesamtkonstruktion aufgenommen wird.

- Die UV-Bestrahlung wird vollständig auf LED umgestellt, da die Wirkungsgrade der Standard-UV-Lampen mit 20 bis 30 % zu gering sind und bei jedem Katalysatorwechsel die Lampen durch auf diesen neuen Katalysator abgestimmt und ausgetauscht werden müssten, während bei der LED-Härtung immer nur ein sehr enger Wellenlängenbereich zur Anwendung kommt, so dass ein Wechsel der Strahler nicht erforderlich wird.
- Die bisher von den Partnern übergebenen Muster ließen sich bei UV-Lampen und LED-Strahlern in der vorgesehenen Schichtdicke nur innerhalb vergleichsweise langer Zeiträume von bis zu 8 Minuten so weit härten, dass die Oberfläche klebfrei ist, die darunter liegenden Schichten bei 25 µm Schichtstärke aber nur unvollständig aushärteten; als Ursachen wurden von den Partnern zwei Faktoren genannt: Anwesenheit von Hydroxyl- und Ethergruppenkomponenten in den Beschichtungsmaterialien, durch die eine Inaktivierung von radikalischen Katalysatoren erfolgen kann und der verwendete Katalysator selbst, der nicht optimal auf die Wellenlänge von 420 nm der LED eingestellt ist.
- Auf Grund der aufgetretenen Probleme mit der Härtung (Katalyse, Störfaktoren, Wellenlänge, Strahlerart) wurden die optischen, elektrischen und thermischen Parameter der Eingangs-, Beschichtungs- und Bestrahlungskompartimente nur vorläufig auf der Basis der bisher eingesetzten Modellsysteme ermittelt und auf dieser Basis die Konzeption der Gesamtanlage sowie der Durchsatzbedingungen (Transportgeschwindigkeiten) ermittelt; die Transporteinheit wurde als ein Schrägrollensystem mit über Stahlbänder gesteuertem Vortrieb und Antrieb der Endlosbänder über Synchronmotoren konzipiert und die Konstruktion begonnen, da diese Einheit quasi unabhängig von der Beschichtungstechnik nur die Geschwindigkeit des Durchlaufs der Teile steuern und Teile bis zu 1500 kp Gewicht aufnehmen soll.
- Ursprünglich wurde von einem Einsatz eines Spritzroboters mit Mehrfachdüsen in der Anlagenkonzeption ausgegangen; auf Grund des nun beschlossenen Einsatzes von LED-Strahlern macht sich auch hier eine Umkonstruktion erforderlich; es wurden anlässlich der Beratungen am 13. Juli 2017 in Blagoevgrad und in einer Beratung des Konsortiums am 12. September 2017 in Bischofswerda beschlossen, dass auf Grund der neueren Entwicklungen mit Ultraschallverstäubung gearbeitet werden soll, wodurch eine wesentliche Verbesserung in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Sauberkeit, Langzeitsicherheit und Qualität der Beschichtungen erreicht werden soll.
- Die ursprünglich konstruierte und in wesentlichen Teilen gebaute Experimentalanlage wurde basierend auf den neuen Erkenntnissen umgebaut, erste Versuche mit Spritzbeschichtungen noch mit der Düsentechnik verliefen nach vielen Justierungen zufriedenstellend, jedoch noch nicht optimal, was im wesentlichen auf das Beschichtungsmaterial und die Katalyse zurückgeführt werden; die Experimentalanlage wird nun nochmals umgebaut und an die Härtungs-Module angeschlossen; die Konzeption der geplanten Pilot-Anlage wurde gründlich überarbeitet, um die bisher gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen und die Anlage den neuesten internationalen Erkenntnissen gemäß zu gestalten und dabei die Erkenntnisse der Beschichtungssystem-Entwicklung sowie der Katalyse zu berücksichtigen.
- Das Kick-off-meeting wurde am 14. Sept. 2016 in Wildau an der TH Wildau, der 1. Meilenstein am 13. Juli 2017 in Blagoevgrad und eine weitere Beratung des Konsortiums am 12. September 2017 in Bischofswerda durchgeführt.

Das Ergebnis war schließlich die Konstruktion einer Beschichtungsanlage unter Einbeziehung aller bis zu diesem Zeitpunkt erzielten Ergebnisse insbesondere der Bedingungen für die duale Härtung, so dass bei der Weiterentwicklung der Systeme nur noch Feinjustierungen durchzuführen sein sollten.

Arbeitspaket 3: Planung und Konstruktion der UV-Beschichtungsanlage, Entwicklung der Prozesstechnologie und Durchführung von Testläufen

Zielstellung

Entwicklung der Maschine zur Spritzbeschichtung unter Einsatz eines industriell verfügbaren und einsetzbaren Spritzroboters mit einem unteren und oberen Spritzkopf oder alternativ mit einem rotierenden Spritzkopf. Die Konstruktion erfolgt in Abhängigkeit von der Leistung der automatischen Oberflächen-Spritzbeschichtungs-Maschine, die in die Experimentalanlage eingebaut werden soll, Ermittlung des Zusammenhangs zwischen der Spritzgeschwindigkeit und der Vorschubgeschwindigkeit der Anlage

Das weiter entwickelte Versuchsmodell der Beschichtungsanlage wurde bei der WuM GmbH aufgebaut und mit Versuchssystemen, die von der Performance Chemicals HGmbH zur Verfügung gestellt wurden, getestet, um einen störungsfreien Beschichtungs- und Härtungsablauf zu gewährleisten. Bei diesen Versuchen zeigten sich Probleme im Spritzsystem und in der Geschwindigkeit der Aushärtung. Folglich wurde die Konstruktion der Anlage nochmals überarbeitet und auf die für die Systeme ermittelten Bedingungen eingestellt.

- Die Konstruktion der Anlage wurde auf Grund der Versuche der Probeläufe bei der WuM GmbH nochmals verändert, um die Steuerung bei den Versuchen in Bulgarien sowohl manuell als auch automatisch durchführen zu können, um die Bestrahlungsleistung der nun eingebauten LED-Strahler in einem größeren Bereich steuern zu können, um die Abstände der LED-Strahler zur Substratoberfläche in einem größeren Bereich einstellen zu können.
- Die Beschichtung erfolgte mit einem Ein-Komponenten- und einem Zwei-Komponenten System. Das Ein-Komponenten-System erforderte eine Vormischung der nicht lagerstabilen Komponenten in einer dazu aufgebauten Mischanlage und der sofortigen Überführung des vorgemischten Systems in die Spritzvorrichtung. Für dieses System wurde eine Airless-Druck-Spritzpistole verwendet, die mit einer speziellen Feinvernebelungsdüse ausgestattet war.
- Entscheidend für die Arbeit mit dem Ein-Komponenten-System war die Katalyse der zwei parallel ablaufenden Reaktionen durch eine die Thiol-Isocyanat-Reaktion katalysierende Verbindung und durch eine die Radikalreaktion katalysierende Verbindung, die sich nicht gegenseitig beeinflussen durften; dazu wurden Serienversuche mit unterschiedlichen Katalysatoren durchgeführt (deren Typ ist derzeit noch nicht durch ein Schutzrecht gesichert und wird hier nicht offengelegt), die schließlich zu einer erfolgreichen Beschichtung führten. Bei einer Konzentration von 0,45 Gew.-% des Thiol-Katalysators und 4,35 Gew.-% der die Radikalreaktion katalysierenden Verbindung und 40 mm Abstand wurde die Klebfreiheit nach 155 s erreicht.
- Bei den Zwei-Komponenten-Systemen wurde die Spritzvorrichtung mit einer 2K-Mischmaschine kombiniert; dazu wurde der Mischkopf der 2K-Maschine über eine kurze Flex-Schlauch-Verbindung aus Metall mit der Spritzpistole verbunden und die Leistung der beiden Anlagenteile so aufeinander abgestimmt, dass der Austrag aus der Spritzpistole der Auftragsstärke auf die Metallteile und der Vorschubgeschwindigkeit der Transportvorrichtung in Bezug zur Härtungsgeschwindigkeit entsprachen.
- Durch Weiterentwicklung der Katalysator-Systeme wurde eine Verkürzung der Aushärtungszeiten (insbesondere durch die schnellere Thiol-Isocyanat-Reaktion bei etwas erhöhter Temperatur) erreicht, so dass die UV-LED-Härtung ebenfalls thermisch beschleunigt und der gesamte Härtungsprozess damit innerhalb unter 15 Sekunden bis zur Klebfreiheit durchgeführt wird, wozu der Abstand der LED-Strahler von der Substratoberfläche auf 5 cm verkürzt, der Bestrahlungsprozess unter Stickstoff durchgeführt und der Temperaturgradient nach dem Ausschleusen des beschichteten Materials durch Einhausung flach gehalten werden mussten.
- In weiteren Versuchen wurde der Einfluss von Pigment-Additiven auf die Härtung und damit auf die mögliche Transportgeschwindigkeit der Anlage untersucht. Dazu wurden jeweils 10 Gew.-% von Metalloxiden (Titandioxid, Eisenoxidpigmenten, Ni-

ckeloxid) bzw. 0,2 bis 0,4 Gew.-% Aerosil® R 380 in die A-Komponente der Systeme eingearbeitet und die Systeme mittels der Ein-Komponenten-Technik mit der dazu gebauten Spritzvorrichtung verarbeitet; im Ergebnis zeigte sich, dass das Aerosil und das Titandioxid ohne nachweisbaren Einfluss auf die Geschwindigkeit der Härtung waren, während die Eisenoxidpigmente z. T. zu einer Verzögerung der Härtung (Eisenoxidbeige, Eisenoxidrot), z. T. zu einer Beschleunigung (Eisenoxidschwarz) führten.

- Der Spritzkopf, der für beide Systemarten verwendet wurde, wurde in einer weiteren Veränderung der Anlage an einem Gelenk installiert, so dass er auf unterschiedliche Spritzwinkel einstellbar war; weiterhin wurde versucht, den Spritzkopf drehbar zu installieren. Diese Veränderungen an der Spritzvorrichtung brachten jedoch keine wesentlichen Vorteile in Bezug auf die Gleichmäßigkeit der Schichtstärke und –oberfläche sowie hinsichtlich des Materialverlusts, so dass die Versuche mit beweglich aufgebauten oder rotierenden Mischköpfen nicht weiter verfolgt wurden.

Arbeitspaket 4: Weiterentwicklung der Prozesstechnologie basierend auf den Ergebnissen der Testläufe und deren Charakterisierung

Zielstellung

Erarbeitung der Konzeption zur Pilotanlage und deren erforderlicher Größe für den geplanten Durchsatz an Metallteilen und deren Form und Größe, Bestimmung und Festlegung in Bezug auf die Arbeitshöhe und der Zulaufgeschwindigkeit; Erarbeitung der endgültigen Konstruktionsunterlagen für die Experimentalanlage und die Pilotanlage; Untersuchung der Erfordernisse in Bezug auf die Austauschgeschwindigkeit des Schutzgases und der in der Spritzkammer befindlichen Luft; Konstruktion der Verbindungsmoduln und der Verbindungsschleusen für die einzelnen Module

Das weiter entwickelte Versuchsmodell der Beschichtungsanlage, das bei der WuM GmbH aufgebaut worden war, wurde auf der Basis der bis zu diesem Zeitpunkt erzielten Ergebnisse weiter modifiziert und mit neu eingestellten Versuchssystemen, die von der Performance Chemicals HGmbH zur Verfügung gestellt wurden, getestet. Aufbauend auf den neuen Konstruktionsbestandteilen der Anlage sollte die Versuchsanlage, die beim Partner 26 Mai aufgebaut werden sollte, schließlich konstruiert und gebaut werden (siehe AP 5). Im einzelnen wurden folgende Anlagenteile noch einmal konstruiert und in die Versuchsanlage der WuM GmbH eingebaut:

- Die Antriebseinheit zählt als eine Baugruppe und findet in der gesamten Anlage dreimal baugleiche Verwendung. Die Funktion der Baugruppe ist, die vom Antriebsmotor auf den Antriebsriemen übertragene Translationsbewegung an die einzelnen Stationen weiterzugeben. Sie dient als Verbindungsstück oder auch als Kupplung zwischen dem Motor und den einzelnen Stationen im Beschichtungsmodul.
- Eine kleine Schweißbaugruppe dient als Halterung der Einheit. Sie besteht aus der Grundplatte, einer Aufnahme und der Abstützung. Alle Bauteile sind aus S235JR gefertigt. Die Teile sind mittels MAG-Schweißverfahren verbunden. In der unteren Führung Pos.1 befindet sich der Lagersitz für das Schwenkkugellager für die Spritzpistole. Für die Verbindung zwischen dem Schwenkkugellager Pos. 3 und der Achse Pos. 4 ist eine Übergangspassung H5/js6 gewählt. Zur Fixierung des Schwenkkugellagers Pos. 3 in axialer Richtung dient ein Sicherungsring Pos. 5. Für das Schwenklager Pos. 3 wurde das Toleranzfeld H7 gewählt, um eine einfache Montage zu ermöglichen. Der Sicherungsring Pos. 7 verhindert das Herauswandern des Lagers nach oben. Die obere Führung Pos. 2 führt die Achse Pos. 4 in einem mittig über dem unteren Schwenklager eingebrachten Durchbruch, welcher in der Breite 14 und in der Länge 18 mm beträgt. Daraus resultiert in der Breite eine Spielpassung H8/f7 zwischen der Führung Pos. 2 und der Achse Pos. 4.
- In Längsrichtung entsteht ein Spiel von 4 mm. Per Druckbolzen Pos. 9 und einer dahinter liegenden Feder Pos. 16 in der oberen Führung ist ein unkontrolliertes Hin- und

Herschwenken der Achse unterbunden. Die Feder Pos. 16 drückt den Druckbolzen Pos. 9, aus Messing bestehend, gegen die Achse Pos. 4 und drückt diese wiederum an das vordere Ende des Durchbruchs. Die Führung Pos. 2 wurde aus Messing gefertigt, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. Das Schwenken der Achse Pos. 4 in der oberen Führung um maximal 4 mm ist notwendig, um das am Ende der Achse angebrachte Reibrad Pos. 6 an das Antriebsrad der einzelnen Stationen zu drücken und somit eventuelle Fertigungstoleranzen auszugleichen.

- Das am oberen Ende der Welle aufgesteckte Reibrad Pos. 6 besitzt einen Grundköper aus Stahl, auf dem ein Gummi aufgeschrumpft ist. Durch eine formschlüssige Verbindung zwischen Reibrad Pos. 6 und Achse Pos. 4, kann die Translationsbewegung von Bauteil zu Bauteil übertragen werden.
- Um das zu beschichtende Teil Pos. 4 während des kompletten Beschichtungs- und Trocknungsvorganges sicher auf Position zu halten, wurde die Formteilaufnahme mit einer Formschräge von 0,5° versehen, die den gleichen Winkel wie das Teil besitzt. Somit entsteht ein Formschluss zwischen den beiden Bauteilen.
- Der Transport erfolgt mit einer Drehbewegung des Antriebsrades von je 60° von Station zu Station. Angetrieben wird diese drehbar gelagerte Einheit über ein Kettenrad, das über einen Winkeltrieb von außen bedient wird. Die Bedienung erfolgte in der Erprobungsphase manuell und wurde auf eine automatische Steuerung nach Abschluss der Prinzipversuche und der Festlegung der Technologie umgestellt. Eine genaue Positionierung an den einzelnen Stationen erfolgt über eine an der Außenseite angebrachte Rastung an der Rotationsplatte.
- Die einzelnen Antriebseinheiten sind über einen Zahnriemen mit einem Antriebsmotor verbunden und werden von diesem angetrieben. Der verwendete Antriebsmotor besitzt durch ein vorgeschaltetes Getriebe eine Abgangsdrehzahl von 30 min^{-1}. An der Abgangswelle des Antriebmotors wurde ein baugleiches Riemenrad, wie bei den Antriebseinheiten verwendet, montiert. Dadurch änderte sich das Übersetzungsverhältnis zwischen dem Motor und den Antriebseinheiten nicht.
- Es war notwendig, die mit Hilfe des Inventors ermittelten Abstände der Antriebseinheiten in das Tool zu übertragen. Das Antriebrad wurde auf die ungefähre Endposition geschoben und die momentane Länge des Riemens vom Tool ermittelt. Die Riemenlänge wurde auf 2000 mm eingestellt. Dadurch verschob sich das Antriebrad und gab gleichzeitig dessen Endposition an.
- Die Kabine dient als Einhausung der Stationen für die einzelnen Prozessschritte. Sie besteht aus drei theoretischen einzelnen Kammern. Eine für die Beschichtungsstation, eine für die UV Bestrahlung und –Härtung und die dritte für die „Warmlufteinspeisung“, die tatsächlich mit Stickstoff erfolgt. Die Kabine wird über einen Hebel nach oben geliftet, damit die Grundplatte mit den einzelnen Stationen von Station zu Station weiter geführt werden kann. Während die einzelnen Prozesse ablaufen, ist die Kabine geschlossen und auf der Führungsplatte abgesetzt.
- Die Kabine ist im Wesentlichen aus 1 mm Stahlblech gefertigt. Die Einzelteile wurden durch das WIG- Schweißverfahren zusammengefügt. Damit Schweißspannungen und ein draus folgender Verzug im Bauteil vermieden werden, wurden alle Einzelteile mit dem Schrittschweißverfahren auf der Kabineninnenseite verbunden. Es wurden Nahtlängen von 20 mm mit Zwischenabständen von 20 mm gewählt. Die Wände Pos. 1 bis 6 dienen zur vertikalen Einteilung der Kammern. Der Deckel Pos. 1 bildet den horizontalen Abschluss nach oben. Der Aufsatz Pos. 7 sowie die abgewinkelten Wandelemente von Pos. 2 u. 3 fungieren als Leitelemente des Sprühnebels und als Übergangsstücke zur angrenzenden Kabine. Alle Metallteile wurden mit speziellen Antihaftbeschichtungen versehen.
- Die Abstandsstücke Pos. 13 dienen nicht nur zur Sicherung der Lage der Kugellager, sie funktionieren zusätzlich als Gleit- und Führungselemente. So wird im späteren Zusammenbau die Kabine mittig über der Arbeitsplatte gehalten. Bei der Bewegung

der Kabine wird diese gerade und ohne zu verkanten geführt. Die Länge dieser Abstandsstücke wird bei der Montage angepasst.

- Die Kabine für die Spritzpistole dient zu ihrer Umschließung. Über eine eingearbeitete Öffnung ragt die Düse der Spritzpistole in die Kabine hinein. Sie bildet dabei mit der Kabine und der Arbeitsplatte eine geschlossen Einheit und soll das Austreten des Sprühnebels nach außen während des Spritzprozesses verhindern.
- Der Spritz- und damit Beschichtungsvorgang erfolgt von der seitlich angeordneten Spritzpistole, wobei die Düse der Pistole über eine eingearbeitete Öffnung in diese Kabine hineinragt. Sie bildet dabei mit der Kabine und der Arbeitsplatte eine geschlossen Einheit und soll das Austreten von Sprühnebel nach außen während des Spritzprozesses verhindern.
- Weiterhin ist in diesem Kompartiment ein Bodenablass vorgesehen und die Arbeitsplatte zum Bodenablass geneigt, so dass überschüssiges System (Overspray) ablaufen und gesammelt werden kann. Durch diese Konstruktion und die Vermeidung mehrerer Spritzvorrichtungen, auch basierend auf einem System, das alle Anforderungen, die ansonsten an zwei Systeme gestellt würden, erfüllt, wird eine einfachere Konstruktion möglich.
- Nach dem Spritzvorgang werden die beschichteten Formteile über die Transportvorrichtung in das Härtungskompartiment überführt, wobei die Wandung zur Hälfte geliftet wird. In der Härtungskammer werden bei der über die Warmluft eingestellten Temperatur mittels 40 W UV-LED während der Taktzeit die thermische und in einer konkurrierenden Folgereaktion die radikalische Härtung durchgeführt. Dazu wurden zunächst an der oberen Wandung mehrere Spiegel vorgesehen, durch die erreicht werden sollte, dass jeder Punkt der beschichteten Formteile mit UV-Licht bestrahlt wird. Diese Lösung hat sich in den Tests nicht bewährt, so dass die LED geneigt und drehbar angeordnet wurden, wodurch eine gleichmäßige Bestahlung erreicht wurde.
- Das vierte Kompartiment ist zum Bedienfeld offen, so dass durch die Bediener die Teile entnommen werden können.

Die Konstruktion der Anlage wurde nach den Testläufen bei der WuM GmbH und einer weiteren Diskussion mit den Partnern nochmals überarbeitet. Folgende Konstruktionselemente wurden dabei gegenüber dem ursprünglichen Zusammenbau verändert:

- Damit der Sprühnebel nicht durch den Spalt zwischen den beiden Kabinen entweichen kann, wurden die Seitenbleche um ca. 10 mm verlängert und entsprechend des Öffnungswinkels an der Kabine angelegt.
- Nach dem Einsetzen der Kabine in die Kabinenführung war festzustellen, dass ein einfaches Gleiten der Kabine in den Führungen nicht möglich war. Die Ursache, war ein zu eng gewähltes Toleranzfeld der Kabinenführung mit 30 +0,1/+0,05 mm. Es wurde die Toleranz auf 30 +0,2/+0,4 mm erweitert und die Funktion war gegeben.
- Nach dem Zusammenfügen der Kabinenführung und der darin geführten Kabine wurde festgestellt, dass beim Betätigen des Hebels die Kabine zuerst auf der Hebelarmseite nach oben zu gleiten begann. Erst nach ca. 5 mm Hub hob sich die Kabine auf der gegenüberliegenden Seite. Dies hatte zur Folge, dass die Kabine verkantete. Es wurde festgestellt, dass sich die Verbindungsstange mit d = 15 mm in sich verdrehte. Um die auftretende Torsion in der Verbindungstange zu minimieren, wurde ein Rohr 25 x 5 auf einer Länge von 1000 mm mittig aufgeschoben und verschweißt. Dadurch reduzierte sich die auftretende Torsion auf ein Minimum und hatte keinen weiteren Einfluss mehr auf die Funktion.

Weitere konstruktive Veränderungen waren nach der Auslieferung der Anlage an den Partner 26 Mai wegen der nun wiederum veränderten Zusammensetzungen der Beschichtungs-Systeme erforderlich (siehe folgendes AP 5). Da diese Systeme der Beschleunigung der Metallprofil-Durchführung durch die Anlage dienen sollten, war eine größere Geschwindigkeit im Getriebe und bei den Führungsrollen erforderlich.

Arbeitspaket 5: Kleinserienproduktion der Systeme und erste Beschichtungen von Bauteilen und deren Charakterisierung

Zielstellung

Entwurf und Konstruktion der Pilotanlage zur Durchführung der Spritzbeschichtung, der Härtungs- und Transportvorrichtungen in einen Stand, der den Bau und die Durchführung der abschließenden Versuche mit den Systemen erlaubt, Bestimmung der erforderlichen Prozessparameter und Einstellung der Arbeitsgeschwindigkeit der Anlage und Zusammenführung der Module, Durchführung von Versuchsfahrten auf der Anlage

Auf der Grundlage der vielfältigen Untersuchungen und Testläufe der Versuchsanlage bei der WuM GmbH wurde die Pilotanlage konstruiert. Dieser Konstruktion ging eine Meilenstein-Diskussion am 14. Juni 2018 beim Partner 26 Mai voraus, in der die Bedingungen zum Aufbau der Anlage und die Anforderungen für die als erstes Modell vorgesehenen Metallteile festgelegt wurden. Weiterhin wurde noch einmal die Einstellung der Systeme für die Verhältnisse in diesem Unternehmen und deren spezielle Bedingungen diskutiert und über die Beteiligung der Wissenschaftler der HTMU aus den von der Performance Chemicals HGmbH zur Verfügung gestellten Systeme eines ausgewählt. Folgende Ergebnisse wurden innerhalb dieses Arbeitspakets erzielt:

- Eine Beschichtungsanlage zur Beschichtung von Stahl- und Messingteilen wurde an den Partner 26 Mai in Bulgarien geliefert, dort aufgebaut, eingerichtet und erste Probeläufe von Mitarbeitern des Partners zusammen mit Wissenschaftlern der HTMU durchgeführt. Die Konstruktion der Anlage wurde auf Grund der Versuche der Probeläufe bei der WuM GmbH nochmals verändert, um die Steuerung bei den Versuchen in Bulgarien sowohl manuell als auch automatisch durchführen zu können, um die Bestrahlungsleistung der nun eingebauten LED-Strahler in einem größeren Bereich steuern zu können, um die Abstände der LED-Strahler zur Substratoberfläche in einem größeren Bereich einstellen zu können.
- Beim Probelauf der Anlage am 13./14. November beim Partner 26 Mai zeigte sich, dass trotz der Möglichkeit der manuellen Einstellung der oben beschriebenen Parameter bei den ersten Versuchen die Schichten nicht aushärteten. Als mögliche Ursachen wurden dabei genannt: möglicherweise nicht gut geeignete Katalysatoren (da diese noch auf die ursprünglichen UV-Lampen abgestimmt waren), Temperatur der Schichten, Stärke der Schichten mit den Beschichtungsmitteln, Bestrahlungszeit. Demzufolge wurden die Beschichtungs-Systeme nochmals überarbeitet; dazu fand am 14. Dezember 2018 eine Diskussion bei der Performance Chemicals HGmbH in Hamburg statt, auf der die einzelnen Parameter diskutiert und die endgültige Zusammensetzung des Beschichtungssystems festgelegt wurde (diese Zusammensetzung soll Gegenstand der Anmeldung des Schutzrechts sein und wir nicht offengelegt).
- Es wurde ein weiteres Beschichtungsmaterial von den deutschen Partnern hergestellt und an den Partner 26 Mai gesandt, dort in einem weiteren Probelauf getestet. Die Abstände der UV-Strahler zur Substratoberfläche wurden dazu neu justiert (verringert), die Temperatur in der Beschichtungskammer wurde auf 40 – 47°C und in einem weiteren Schritt bis auf 55°C (Stickstoffstrom-Temperatur 65°C) erhöht. Mit einem weiteren Ein-Komponenten-Beschichtungs-System, das vor Ort aus zwei Komponenten gemischt wurde, wurden Schichten von 30 bis 60 µm auf Stahl und Aluminium aufgetragen. Bei Einsatz von ca. 3 Gew.-% Irgacure 500 im System wurde bei einem Abstand der Strahler von der Substratoberfläche von 50 mm innerhalb von 8 Minuten eine klebfreie Oberfläche erhalten.
- Die Beschichtungsversuche wurden mit dem Ein-Komponenten-System mit höherer Katalysatorkonzentration und noch weiter verringertem Abstand der Strahler zur Substratoberfläche wiederholt. Bei einer Konzentration von 4,35 Gew.-% und 40 mm Abstand wurde die Klebfreiheit nach 155 s erreicht.
- Eine Beschichtung mit einem Zwei-Komponenten-System über die mit dem Mischkopf

verbundene Spritzpistole wurde im März 2019 realisiert, wobei das Katalysatorsystem auf die höhere Temperatur in der Beschichtungskammer und die Wellenlänge der LED exakt abgestimmt wurde. Mit dem Beschichtungssystem, das auf der Grundlage der Diskussion anlässlich des Meilensteins am 14. 12. 2018 in Hamburg entwickelt wurde und nicht nur das veränderte Katalysatorsystem sondern auch ein nach verbesserter Synthesevorschrift hergestelltes Oligoharnstoff-methacrylat enthält, wurde erreicht, dass die Beschichtungen bei 20 µm Schichtstärke in einer Zeit von 25 bis 15 Sekunden klebfrei aushärten. Die Beschichtungsversuche wurden im Februar 2019 beim Partner 26 Mai wiederholt und führten zu sehr guten Ergebnissen.

- Die weiteren Versuche wurden mit einem weiter auf die Bedingungen der automatischen Mischung der zwei Komponenten über die 2K-Mischmaschine und deren Kopplung an die Spritzvorrichtung eingestellten System durchgeführt. Dazu wurde die Viskosität der A-Komponente mit 0,45 Gew.-% Aerosil® R 380 versetzt und dadurch ein Thixotropie-Effekt erzielt, der ein Ablaufen der Flüssigkeit vom Substrat verhindert. Durch diesen Zusatz kann weiterhin eine zweite Beschichtung auf die noch nicht gehärtete Schicht aufgebracht werden („green coating“). Eine zweite Beschichtung wird dann erforderlich, wenn Schichtstärken über 35 µm erzielt werden sollen, da die Härtungsdauer auch eine Funktion der Schichtstärke ist (Energieabsorption durch die in der Schicht befindlichen Stoffe).
- Die Mischung der Komponenten wurde für die bisherigen Versuche vor Ort vorgenommen, so dass ein Ein-Komponenten-System über die dazu ausgelegte Airless-Spritzpistole verarbeitet werden kann. Das neu aufzubauende System, auch unter Berücksichtigung der Umstellung der Katalyse, wurde als Zwei-Komponenten-System über die Kopplung des Mischkopfes der 2K-Maschine an die Spritzpistole verarbeitet.
- Die Spritzpistole wurde nochmals überarbeitet, um das mit dem Additiv Aerosil® R 380 versetzte Zwei-Komponenten-Systeme verarbeiten zu können.
- Die Vormischung der zwei Komponenten vor Ort und die Dosierung der Katalysatoren bzw. Additive einschließlich Pigmente wurde verbessert, indem eine weitere genaue Waage aufgestellt und das Personal in der Herstellung der Mischungen unter Beteiligung von Vertretern der HTMU Sofia geschult wurde.
- Mit dieser Konfiguration aus Anlage und Beschichtungs-System wurden erfolgreiche Beschichtungsversuche durchgeführt, die Beschichtungen wiesen nach dem Auslaufen aus der Anlage bereits eine hohe Festigkeit („green strength“) auf, so dass die Teile ohne Schädigung der Schicht gestapelt werden konnten. Die Eigenschaften der Schichten auf den Metallteilen wurden von den Partnern der TH Wildau und der HTMU bestimmt.
- In Korrosionsversuchen wurde festgestellt, dass die beschichteten Teile im Gegensatz zu der unbeschichteten Fläche nicht korrodierten und dass bei Lagerung in Wasser bzw. Salzwasser (3,5 % Salzgehalt) eine Unterschichtung nicht stattfindet und nach 30 Tagen die beschichteten Teile bzw. Flächenabschnitte unverändert sind. Damit wurde eine wesentliche Zielstellung mit dem optimierten System erreicht.

Arbeitspaket 6: Ergebniszusammenfassung und Bekanntmachung

Zielstellung

Zusammenstellung der Ergebnisse mit einer Parameterliste für die Industrieanlage auf der Basis der Pilotanlage, Bewertung der Ergebnisse der Beschichtungen und der Eigenschaften der beschichteten Teile, Bewertung der Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt von deren Schutz (IPR), Erarbeitung eines vorläufigen Prozesshandbuches, Erarbeitung von Unterlagen zur Demonstration und zur Bekanntmachung der Ergebnisse, Erarbeitung einer Präsentation für den abschließenden Workshop

Auf Grund der Verzögerungen im Projektablauf durch Lieferengpässe bei Materialien und Einzelteilen für die beiden Anlagen erfolgten die Zusammenstellung der Ergebnisse, einige

Untersuchungen der Qualität der Beschichtungen und die Diskussionen zur Anmeldung von Schutzrechten nach dem offiziellen Projektende. Der abschließende Workshop fand im Zusammenhang mit der Wildauer Duromer-Tagung im März 2019 statt. Folgende Ergebnisse wurden dabei erzielt:

- auf der Basis der Testläufe beim Partner 26 Mai wurde ein vorläufiges Prozesshandbuch mit dem zuletzt erfolgreich verwendeten Zwei-Komponenten-Beschichtungs-System erarbeitet; dieses befindet sich derzeit (Mai 2019) in der Redaktion bei den Partnern zur abschließenden Fertigstellung.
- Von den Partnern wurde ein Entwurf einer Schutzrechtsanmeldung erarbeitet, der sich derzeit (Mai 2019) in der Diskussion befindet: W. Klockemann, V. Stoycheva, M. Zimmermann, Neue inhärent biozid und antikorrosiv wirkende Beschichtungssysteme und deren Verarbeitung; ein weiteres Schutzrecht wird von den Partnern gegenwärtig diskutiert (dazu fand am 24. April eine Telefonkonferenz der deutschen Partner statt).
- Es wurde von den Partnern festgelegt, bis zum Abschluss der Diskussion zu den Schutzrechten und der Anmeldung der Schutzrechte sowie der darauf folgenden Prioritätsfrist keine Veröffentlichungen zu den Ergebnissen des Vorhabens vorzunehmen.
- Die mit dem zuletzt genutzten System hergestellten beschichteten Teile hatten eine so gute Qualität, dass sie ausgewählten Kunden auf der European Coatings Show im März in Nürnberg vorgestellt wurden und dort ein hohes Interesse hervorriefen.
- Die Untersuchungen von beschichteten Schwarzeisen-Platten wurden fortgesetzt und diese Platten in einem Gewässer der Wildauer Umgebung einen Monat dieser Umwelt ausgesetzt; nach 30 Tagen waren die unbeschichteten Rückseiten stark korrodiert, die beschichtete Seite war unverändert, auch fand sich keine Veränderung der Eisenoberfläche unterhalb der Beschichtung, die Beschichtung selbst nimmt nur eine sehr geringe Menge Wasser in der Oberflächenschicht auf (Gesamtschicht 0,135 Gew.-%).
- Präsentationen der Ergebnisse an der TH Wildau bzw. der HTMU Sofia wurden bisher auf Grund der Festlegungen des Konsortiums nicht vorgenommen.

II.1.4 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele mit den Ergebnissen

Die Ziele waren im EUROSTARS-Antrag definiert worden; sie werden in der folgenden Tabelle mit den erreichten Ergebnissen verglichen:

Parameter	Dimension	Zielwert	Ist-Wert
Klebfreiheit der Schicht	Sekunden	60	55 - 62
Schichtstärke	mm	5 - 120	25 - 55
UV-Wellenlänge	nm	365 - 420	420
Durchsatz auf der Anlage	m/min	1 – 60	5 - 22
System Partikelgröße	nm	10 - 120	16 - 88
System Iodzahl	mg/100 g	50	115 - 156
Viskosität (25°C)	mPas	< 3000	1200 - 2800

Alle Zielparameter wurden erfüllt und Systeme und Verfahren in einem relativ breiten Toleranzbereich entwickelt.

II.1.5 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Zur Durchführung des Vorhabens waren beträchtliche Aufwendungen in Höhe von ca. 337.000 € bei der WuM GmbH erforderlich. Die wichtigsten Positionen:

Personalkosten: tatsächliche Aufwendungen: 134.675 €, Förderung: 67.337 €

Materialkosten: tatsächliche Aufwendungen: 34.780 €, Förderung: 17.390 €

Sonstige Kosten: tatsächliche Aufwendungen: 597 €, Förderung: 0 €

Reisekosten: tatsächliche Kosten: 6.400 €, Förderung: 3.200 €

Abschreibungen auf Maschinen: tatsächliche Aufwendungen: 46.430 €, Förderung: 0 €

Zur Durchführung des aufwändigen Programms der Anlagenentwicklung, -konstruktion und –bau sowie der Erprobungen der Formulierungen, der Systeme und der Verfahrensentwicklung war ein hohes Maß an Personaleinsatz erforderlich. Die Materialkosten wären effektiv höher gewesen, es wurde jedoch auf die Kooperation mit der Performance Chemicals HGmbH, Hamburg, zurückgegriffen, von denen eine Reihe von Einsatzstoffen und Systemen ohne Kosten erhalten wurden.

Die Abschreibungen auf Maschinen, hier insbesondere die WIG-Schweißmaschine und der Werkzeugmaschinen belief sich auf 46.430 €.

II.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Komplexität der Aufgaben war während der Bearbeitungszeit wesentlich größer als ursprünglich im Antrag angenommen und erforderte einen deutlich höheren Personal- und Materialeinsatz.

Die durchgeführten Arbeiten entsprachen vollinhaltlich der Aufgabenstellung, die in den Arbeitspaketen des Antrages beschrieben waren und die in diesem Maße durchgeführt wurden, um die geplanten Ergebnisse zu erreichen und die Zielvorgaben in Bezug auf die Anlagen, die Materialien und die Verarbeitungseigenschaften zu erfüllen. Es wurden außer den beantragten und genehmigten Arbeiten weitere zur Erzielung eines optimalen Ergebnisses durchgeführt, was zu einer Verlängerung der Laufzeit des Vorhabens um drei Monate führte, die beantragt und bewilligt wurden. Auch nach dem offiziellen Projektende arbeiten die Konsortialpartner weiter zusammen, insbesondere um die Anmeldung von Schutzrechten zu realisieren und damit die Voraussetzungen für die Verbreitung der Ergebnisse zu schaffen.

Die Aufwendungen gemäß den Nachweisen innerhalb des Vorhabens zur Erreichung der Ziele sind nicht alle, die im Rahmen des Vorhabens aufgewendet wurden, und die kostenwirksam dargestellten Kosten sind im Verhältnis zu den vielfältigen, wirtschaftlich nutzbaren Ergebnissen gering.

II.3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Auswahl der verfügbaren bioziden Wirkstoffen hat sich durch die Biozidverordnung verknappt, was insbesondere wasserbasierter Formulierungen und im Holzschutz zu Problemen führt. Die gleiche Aussage trifft auf den Korrosionsschutz zu. In beiden Bereichen der Beschichtungstechnik wird folglich intensiv nach neuen Materialien und Ansätzen zur Lösung der bestehenden Probleme gesucht. Die Verknappung entsteht durch die Kopplungen und Automatismen zwischen der gefahrenbasierten Einstufung (CLH-Verfahren) und dem Genehmigungsprozess der BPR in Verbindung mit der isolierten Betrachtung der Wirkstoffe. Die Industrie fordert seit langem einen gesamtheitlichen Ansatz, der den Nutzen der Wirkstoffe und die Konsequenzen ihres Wegfalls berücksichtigt.

Die in der Projektlaufzeit bekannt gewordenen technischen Lösungen anderer Forschungseinrichtungen, z. B. der Einsatz von Cer- oder Nickeloxiden als Additive, der Einsatz von Wachsen, Hybridbeschichtungen mittels Sol-Gel-Technik, der Einsatz nanoskaliger polyfluorierter Verbindungen etc., haben bisher nicht zum Erfolg geführt. Da der Einsatz von biozid wirkenden, auslaugungsfähigen Stoffen auf Grund der gesetzlichen Bestimmungen immer weiter eingeschränkt wird und diese Systeme in ihrer Wirkung auch zeitlichen Grenzen unterliegen, sind neue Ansätze zu multifunktionalen Beschichtungssystemen stark nachgefragt, wie auch die Diskussionen auf der European Coatings Show am Stand der Performance Chemicals HGmbH gezeigt haben.

Die entwickelten neuen Beschichtungs-Systeme erfüllen diese Forderungen in bisher nicht bekanntem Maße, indem sie sowohl die Korrosion auch bei fehlender Vorbehandlung der Metalle inhibieren und darüber hinaus eine Biokorrosion bzw. einen Bewuchs mit Mikroorganismen über ihre Struktur verhindern. Die neuen Beschichtungs-Systeme, die sowohl maschinell als auch manuell verarbeitet werden können, weisen weitere, für die Anwendung wesentliche Eigenschaften auf: schnelle Aushärtung auch unter ungünstigen Bedingungen, hohe mechanische Eigenschaften wie Elastizität und Härte, einstellbare Einsatztemperaturbereiche bis zu 110°C, hoher Glanz usw. Diese Kombination von wichtigen Eigenschaften in einem oberen Bereich des verfügbaren Spektrums stellt für die Anwender einen wesentlichen hohen Nutzen dar. Hinzu kommt, dass die neuen Beschichtungs-Systeme auf einer dazu speziell entwickelten Anlage mit wenig Energieeinsatz eingesetzt werden können und dabei zu hochwertigen Beschichtungen führen.

Die neu entwickelten Systeme, Anlagen und Verfahren eignen sich prinzipiell zum Einsatz in allen Bereichen, in denen unter verschärften Umweltbedingungen Metalle eingesetzt werden, die vor Korrosion und/oder Biokorrosion bzw. Bewuchs durch Mikroorganismen geschützt werden sollen. Diese Bereiche sind nicht nur die Außenbereiche von Bauwerken, aus Metallen bzw. Metall-Werkstoff-Kombinationen gefertigten Gegenständen für den Außenbereich, sondern auch aus Metall oder Kunststoffen gefertigte Anlagen oder Gegenstände im marinen Bereich oder dem der alternativen Energien, insbesondere von Windkraftanlagen auf dem Festland oder im Off-Shore-Bereich.

Nach Abschluss der Schutzrechtsarbeit wird es Aufgabe der Konsortialmitglieder sein, in diesen Bereichen mit Mustern aktiv zu werben, um dadurch die Einsatzmöglichkeiten der neuen Anlagen und Systeme zu erweitern.

II.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Antifouling- und Antikorrions-Beschichtungssysteme, die durch laufende Recherchen während der Projektlaufzeit ermittelt wurden, nutzen generell andere Ansätze zur Erzielung dieser Ziele. Die Situation wird in Europa dadurch kompliziert, dass eine ganze Reihe biozid wirkender Additive (einschließlich nanoskaliger Metalle wie Kupfer oder Silber) nicht mehr zugelassen werden und dadurch andere Wege beschritten werden müssen. Die bekannt gewordenen technischen Lösungen mit Nickeloxid, Ceroxid, polyfluorierten Verbindungen oder an anoskalige Doppelmetallhydroxide adsorbierte biozid wirksame polyquarternäre Ammoniumverbindungen sind bisher nicht technisch umgesetzt worden, da auch in diesen Fällen oftmals weitere, nicht zulassungsfähige Stoffe eingesetzt wurden. Einige Literaturbeispiele sind im Folgenden aufgelistet:

[5] Romina A. Arreche, Katerine Igal, Natalia Bellotti, Cecilia Deyá, Patricia G. Vázquez, Functionalized zirconia compounds as antifungal additives for hygienic waterborne coatings Progress in Organic Coatings 128, 1-10 (2019)

[6] Chandrashekhar K. Patil, Harishchandra D. Jirimali, Jayasinh S. Paradeshi, Bhushan L. Chaudhari, Vikas V. Gite, Functional antimicrobial and anticorrosive polyurethane composite coatings from algae oil and silver doped egg shell hydroxyapatite for sustainable development, Progress in Organic Coatings **128**, 127-136 (2019)

[7] Chunfang Zhang, Kaifang Wei, Wenhai Zhang, Yunxiang Bai, Yuping Sun, and Jin Gu, Graphene Oxide Quantum Dots Incorporated into a Thin Film Nanocomposite Membrane with High Flux and Antifouling Properties for Low-Pressure Nanofiltration, ACS Appl. Mater. Interfaces, 9 (12), 11082–11094 (2017)

[8] Bin Wang, Fawei Wang, Yandi Kong, Zhanmin Wu, Rong-Min Wang,https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775718302826?via%3Dihub - !Pengfei Song, Yufeng He, *Polyurea crosslinked cationic acrylate copolymer for antibacterial coating,* Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects Volume 549, 20 July 2018, Pages 122-129

[9] D. Zilm, In absehbarer Zeit vermutlich keine neuen Biozide, F&L, Montag, 18. 02. 2019

Der Kampf gegen Mikroorganismen wird nicht leichter. Die Anzahl verfügbarer Biozide nimmt ab, auch da vermutlich keine neuen entwickelt werden. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen werden immer strenger und schränken die Anzahl der am Markt verfügbaren Biozide ein. Besondere Herausforderungen kommen auf die Druckfarben- und Klebstoffhersteller, die die Normen für indirekten Lebensmittelkontakt erfüllen müssen – Stichwort Methylisothiazolinon (MIT) – zu [9].

Über die wissenschaftlichen oder Patentveröffentlichungen hinaus sind einige technische Lösungen aus Firmenschriften oder Veröffentlichungen von Unternehmen bekannt geworden, die jedoch insgesamt nur die Suche nach zulassungsfähigen Beschichtungssystemen dokumentieren. Einige Beispiele:

Durch die Nano-Care Deutschland AG wurde ein keramisches, selbstreinigendes System von superhydrophoben Beschichtungen, die selbst-desinfizierend sein sollen, als Alternative zu PTFE oder anderen Fluorverbindungen entwickelt (Eur. Coatings News, 20 Feb 2019).

Das australische Unternehmen Talga Resources Ltd. hat mit dem britischen Polymerhersteller Biomer Technology Ltd. eine Vereinbarung zur gemeinsamen Entwicklung von graphenverstärkten Thermoplasten (TPU) für die mögliche Vermarktung im Beschichtungsmarkt unterzeichnet. Die gemeinsam entwickelten Polyurethanprodukte sollen unter anderem in Marine Antifouling Beschichtungen zur Anwendung kommen (F&L, 20. September 2018).

Nippon Paint Marine gibt an, mit dem Produkt Aquaterras das global erste biozidfreie Copolymer mit niedrigerer Reibung und selbst-polierenden Eigenschaften auf den Markt gebracht zu haben (Coatings World, 09.11.18).

Die Christian Albrecht Universität Kiel und die Mechanische Netzfabrik Walter Kremmin GmbH & Co. KG, Oldenburg, haben auf der Basis von Thiourethanen ein Beschichtungssystem entwickelt, das vom BMWi gefördert wurde und in der Erprobung ist (SpecialChem, 2019-04-08).

Der US-amerikanische Farbenhersteller Wearlon in der Plastic Maritime Corp. und I-Tech AB (Schweden) haben Epoxy-Silicon-Beschichtungen mit Antifouling-Eigenschaften durch Zusatz des Bio-Repellents Selektope® entwickelt (Dan Isaksson, Catherine Austin, Oliver Weigenand, and John Smith, New Application Success for Silicone-Epoxy Coatings Containing Bio-Repellent Ingredient, Mater. Today June 1, 2018)

Lonzas Copper Omadine® Producte bieten andauernde Antifouling-Eigenschaften in Anwendungen bei Aquakulturen, jedoch wird darauf hingewiesen, dass die Produkte nicht in jedem Staat oder in jeder Region zugelassen sind (Lonza AG).

Jotun hat das NORSOK compliant system 1 zur Anwendung per Bürste oder Roller auf mechanisch hergestellten Stahlwaren eingeführt und ist nun für 20 Anwendungen zugelassen worden. Bei dem Produkt handelt es sich um ein mit Zinkoxid hochgefülltes Epoxydharz (SpecialChem, 01. 05. 2018)

Die "Renolit Dolphin S" ist eine biozidfreie Antifoulingfolie, die nach DNVGL-CP-0110 IMO-zertifiziert ist. Damit entspricht sie der IMO AFS Konvention International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships (2001). Antifoulingbeschichtungen basieren vorrangig auf giftigen Zusatzstoffen. Als Fouling Release System wird eine silikonbasier-

te Beschichtung bezeichnet, die sich durch Biozidfreiheit auszeichnet (R. Heckel, F&L, 15. Oktober 2018).

Über diese hinaus wurden Forschungsergebnisse aus vielen Staaten bekannt, die Lösungen für biozidfreie Beschichtungen bzw. Multifunktions-Beschichtungen darstellen sollen, aber bisher keine Anwendung gefunden haben. Dazu zählen auch drei Projekte des BMWi, der EU und der IMO.

II.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.

Während der Projektlaufzeit erfolgte eine Veröffentlichung:

Martin Spitzer, Entwicklung und Konstruktion einer Versuchsanlage zur Spritzbeschichtung von Metallteilen mit schnell UV-härtenden Beschichtungsmitteln, Techniker-Arbeit, eingereicht Bautzen 29. 04. 2017

Weiterhin ist gegenwärtig die Anmeldung eines Schutzrechts geplant:

W. Klockemann, V. Stoycheva, M. Zimmermann, Neue inhärent biozid und antikorrosiv wirkende Beschichtungssysteme und deren Verarbeitung

III. Erfolgskontrollbericht

III.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Eurostars richtet sich insbesondere an forschungsintensive KMU. Gefördert wird die marktnahe Entwicklung eines innovativen Produktes, Verfahrens oder einer Dienstleistung. Bei einer maximalen Projektlaufzeit von drei Jahren sollten die Projektergebnisse spätestens zwei Jahre nach Projektabschluss auf den Markt kommen. Ziel ist es, das in Europa vorhandene Potenzial an fachlichem Know-how und Ressourcen in Kooperationsprojekten zu bündeln und somit effektiver zu nutzen. Ziele sind:

- Stärkung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt
- Stärkung des europäischen Binnenmarktes
- Lösung länderübergreifender Probleme

Im Rahmen des Vorhabens wurde

- eine Reihe neuer Beschichtungs-Systeme entwickelt, die neu auf dem Markt sind und über ein hohes Innovationspotential und neue, bisher nicht erreichte Eigenschaften bzw. Eigenschafts-Kombinationen verfügen, so dass damit die Chance für die KMU besteht, ihre Position und Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt nachhaltig zu verbessern,
- durch die KMU nicht nur eine Prozesstechnik zur Verarbeitung von Mehrkomponentensystemen mit Maschinen- und manueller Technik entwickelt, sondern auch die dazu erforderlichen System-Komponenten und Anlagen, die die Anforderungen an die europäischen Standards erfüllen und daher im gesamten EU-Markt einsetzbar sind,
- ein Konsortium aus drei KMU und zwei universitären Einrichtungen gebildet, das die komplexen Aufgaben, die sich im Vorhaben ergeben und zur Lösung geführt haben, erfolgreich bearbeitet hat und auch zukünftig mit weiteren Partnern, die in nationalen Netzwerken mit Partnern zusammenarbeiten, zu einem europäischen Netzwerk weiterentwickelt werden kann,
- mehrere neue Produkte entwickelt, die neuartig auf dem Markt sind und über ein hohes Innovationspotential und neue, bisher nicht erreichte Eigenschaften verfügen, so dass damit die Chance für die KMU besteht, ihre Position und Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt nachhaltig zu verbessern,
- durch die KMU nicht nur eine Prozesstechnik zur simultanen Härtung von Dual-Curing Multifunktionsbeschichtungen entwickelt, sondern auch die dazu erforderlichen System-Komponenten, die Anlagen und die Verarbeitungstechnologie, die Anforderungen an die europäischen Standards in Bezug auf Biozidfreiheit erfüllen und daher im gesamten EU-Markt einsetzbar sind,
- ein Konsortium aus drei KMU und zwei universitären Einrichtungen gebildet, das die komplexen Aufgaben, die sich im Vorhaben ergeben und zur Lösung geführt haben, erfolgreich bearbeitet hat und auch zukünftig mit weiteren Partnern, die in nationalen Netzwerken mit Partnern zusammenarbeiten, zu einem europäischen Netzwerk weiterentwickelt werden kann.

Damit wurde den Zielen des EUROSTARS-Programms vollinhaltlich entsprochen und durch europäische Kooperation ein neues Produkt und wissenschaftlich-technischer Fortschritt zum Nutzen der Umwelt generiert.

III.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und gesammelte Erfahrungen

Im Rahmen des Vorhabens wurden (eine ausführliche Beschreibung siehe Teil II.2)

- die Synthesen für die Grundstoffe der Formulierungen von Antifouling-/Antikorrosions-Beschichtungen entwickelt und bis zum kleintechnischen Maßstab als erste Stufe der Maßstabsvergrößerung geführt,
- auf der Basis der neuen Grundstoffe – Polythiole, Oligoharnstoffe mit endständigen Aminogruppen, Methacrylat-substituierte Oligoharnstoffe – wurden Formulierungen als lösungsmittelfreie Beschichtungssysteme entwickelt,
- die Beschichtungssysteme wurden im Labor getestet und einige davon zur Erprobung der Beschichtungsanlage ausgewählt, charakterisiert und auf der neu konstruierten und gebauten Anlage erprobt,
- eine neue Anlage zur Beschichtung mit den nach zwei verschiedenen Mechanismen härtenden Systemen konstruiert, gebaut und mit den neuen Systemen erfolgreich erprobt,
- die Härtung der Beschichtungssysteme in der neu konstruierten Anlage über eine thermische Aktivierung und eine UV-Härtung eingestellt,
- die Härtungsbedingungen durch eine neue Katalysator-Kombination auf ein energiearmes Härten eingestellt und damit gute, gleichmäßige Beschichtungen erhalten,
- die UV-Härtung mit LED-Strahlern energiearm durchgeführt,
- die Beschichtungssysteme zur Beschichtung von Metallen – Stahl, Schwarzeisen, verzinkter Stahl, Messing, Aluminium – eingesetzt und sehr gut haftende Beschichtungen erhalten,
- die beschichteten Stahlteile in Teichwasser unter Umgebungsbedingungen einen Monat gelagert und keine Veränderungen der Schicht, keine Ablösung vom Metall, kein Bewuchs mit Mikroorganismen und auf der beschichteten Seite keine Korrosion festgestellt.
- neue Monomer- und Oligomer-Komponenten für Beschichtungssysteme nach einem dualen Härtungsmechanismus entwickelt, die jedoch in Beschichtungs-Systemen mit singulären Härtungsmechanismen eingesetzt werden können,
- neue oligomere Komponenten auf der Basis von Oligoharnstoffen aus Recyclingprozessen von Polyurethan-Schaumstoffen (weitere Produkte, z. B. Elastomere, sind denkbar) durch Substitution mit Methacrylsäure (Acrylsäure ist ebenso möglich) entwickelt und in neuen Beschichtungs-Systemen formuliert,
- mehrere Beschichtungs-Systeme für Metalle (aber auch Kunststoffe oder andere Materialien) mit mehreren Funktionen, von denen Wirkungen gegen Korrosion, Biokorrosion und Bewuchs durch Mikroorganismen im Mittelpunkt des Interesses standen, maschinell und manuell erprobt und charakterisiert,
- eine Anlage zur kontinuierlichen Beschichtung von Metallprofilen oder Metallteilen entwickelt, konstruiert, gebaut und erprobt, die auf Grund der eingebauten Anlagenteile besonders energieeffizient arbeitet,
- die mittels der Anlage beschichteten Metallteile nachweislich mindestens 30 Tage gegenüber aggressiver Umgebung absolut stabil sind und nicht mit Mikroorganismen bewachsen,

Als Nebenergebnisse sind die Erkenntnisse zur Katalyse der dual härtenden Beschichtungs-Systeme sowie der Umsetzung von Oligoharnstoffen mit Aminoendgruppen mit Acryl- bzw. Methacrylsäure zu sehen, die auch im Rahmen von weiteren wissenschaftlichen Arbeiten (z. B. Master oder Dissertationen) untersucht werden sollen.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis des Vorhabens ist, dass Multifunktionsbeschichtungen zu einem wesentlichen Teil (hier zwischen 50 und 75 Gew.-% des Gesamtsystems) aus Recyclaten gewonnen werden können, so dass mit diesem Ansatz ein echtes Upcycling erfolgt, d. h. ansonsten der Verbrennung zugeführte Reststoffe chemisch gezielt umgesetzt und die Umsetzungsprodukte in einem völlig anderen Bereich mit hohem Eigenschaftsniveau eingesetzt werden können.

IV. Fortschreibung des Verwertungsplans

(Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten

(**Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden**)

IV.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Es ist gegenwärtig die Anmeldung eines Schutzrechts geplant:

W. Klockemann, V. Stoycheva, M. Zimmermann, Neue inhärent biozid und antikorrosiv wirkende Beschichtungssysteme und deren Verarbeitung

Weiterhin bestehen Überlegungen der Konsortialpartner, ein weiteres Schutzrecht zur Beschichtungs- und Härtungsanlage zu beantragen. Darüber sollen die Konsortialpartner bis Ende 2019 entscheiden.

Es wurden von den Partnern keine Schutzrechte Dritter in Anspruch genommen.

Über weitere Verwertungsmöglichkeiten oder die Vergabe von Lizenzen ohne oder nach Erteilung von Schutzrechten beraten die Partner im Rahmen der Telefonkonferenzen und weiterer darauf folgender Treffen.

IV.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Durch die längere Projektlaufzeit verschieben sich auch alle im Antrag genannten Termine für die wirtschaftliche Nutzung der Beschichtungs-Systeme und Anlagen um mindestens sechs Monate.

Die wirtschaftliche Nutzung der Ergebnisse des Vorhabens erfolgt durch die Unternehmen, die dazu unterschiedliche Bereiche bedienen:

- - die Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH wird die von ihr neu entwickelten und nachweislich funktionsfähigen Anlagen über den Partner 26 Mai auf dem Markt anbieten sowohl zur Beschichtung mit den neu entwickelten Beschichtungs-Systemen als auch für den Einsatz fremder UV-härtender Systeme;
- die Performance Chemicals HGmbH wird die neu entwickelten reaktiven Oligomere und Systeme in ihr Programm aufnehmen und die Produkte nach Abschluss der Schutzrechtstätigkeit auch weiteren Kunden mit dem Bedarf an funktionellen Beschichtungen anbieten;
- die 26 Mai wird mit der vorhandenen Pilotanlage weitere Muster für ausgewählte Kunden herstellen, bei dem vorausgesehenen Bedarf eine größere Produktionsanlage gemeinsam mit der WuM GmbH bauen und diese sowie die damit hergestellten beschichteten Metallprodukte als Neuheiten auf dem Markt anbieten;

In Bezug auf die wirtschaftliche Nutzung der Ergebnisse wurde von den Konsortialpartnern folgender Plan auf Grund des dringenden Bedarfs auf dem Markt erarbeitet und eine wirtschaftliche Nutzung der Ergebnisse nach ca. 18 Monaten nach Projektende geplant:

Projektende: März 2019

Beginn der Bemusterung von potentiellen Kunden: Ende 2019/Beginn 2020

Kleinmengen-Herstellung: Beginn ca. Mitte 2020 (erwartet: Stahlprofilbeschichtung), Vorstellung der Prototypen auf Messen: 2. Hälfte 2020 und folgende Jahre

Kleinserien-Produktion: Beginn ca. Januar 2021

Serienproduktion: Beginn ca. September 2022

Beschichtung von mehreren Profiltypen in Serie: Beginn ca. Mai 2022

Weitergehende Einstellung von Eigenschaften für neue Typen: parallel mit der Serienproduktion 2022 bis 2024.

Es wird erwartet, dass auf Grund des hohen Bedarfs an Beschichtungs-Systemen mit antikorrosiven und Antifouling-Eigenschaften im gesamten Bereich der metallverarbeitenden Industrie und zusätzlich im marinen Bereich eine zügige Vermarktung der Ergebnisse durch die Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH und die Performance Chemicals HGmbH durchgeführt werden kann. Die Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH wird in diesem Zusammenhang prüfen, ob an andere Partner Lizenzen vergeben werden können.

Durch die Aufnahme der neuen Produkte in das Portfolio der Partner-Unternehmen wird eine Steigerung von deren Umsatz ab 2022 um ca. 1 Mio. € erwartet. Die Herstellung neuer Typen von Beschichtungssystemen mit antikorrosiven und Antifouling-Eigenschaften erfordert in der Zukunft eine kontinuierliche Weiterarbeit zum Halten und zur Verbesserung der Qualität (Produktpflege), was in der Zukunft angepasste Projekte der Unternehmen bedeutet.

Die weitergehende Nutzung der erwarteten wissenschaftlichen Ergebnisse betrifft in erster Linie die Weiterentwicklung der Ausgangs-Produkte, d. h. in erster Linie der acryl-substituierten Oligoharnstoffe und der Polythiol-Isocyanat-Komplexe hinsichtlich von Formulierungen mit Bestandteilen ohne Kennzeichnungspflicht, die mittels geeigneter Komponenten, und zusätzlich nanoskaliger Stoffe, bestimmte Eigenschaften erzielen. In diesem Zusammenhang sind umfassende Untersuchungen zur Ermittlung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erforderlich sowie völlig neue Zusammensetzungen der Systeme zu untersuchen, auch in Hinblick auf andere Ausgangsstoffe mit einem anderen Funktionslitätsspektrum und chemische Reaktionen zwischen diesen. Die entwickelten Formulierungen sollen vorzugsweise in der metallverarbeitenden Industrie und im marinen Bereich eingesetzt werden, so dass durch Kooperation der Hochschulen bei den Beziehungen zwischen Struktur der Materialien (Morphologien) und den Umwelt-Eigenschaften ermittelt werden sollen.

IV.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Durchführung der Arbeiten zum Vorhaben war aus wissenschaftlicher Sicht sehr anspruchsvoll und hat zu einer Vielzahl neuer Erkenntnisse geführt, die wissenschaftlich weiter untersucht oder vertieft untersucht werden können und sollen. Dazu gehören u. a.

- die Frage der Phasentrennung in den Polythiourethan-Polyacrylat-Systemen in Abhängigkeit von den weiteren Systemkomponenten und Fragen der Strukturbildungskinetik in den Polymeren,
- die Frage der Kinetik der Umsetzung von Polythiolen mit Isocyanaten als konkurrierende Folgereaktion in Acrylatsystemen bei simultaner Härtung und unterschiedlicher Katalyse zur Bildung unterschiedlicher Strukturen und Untersuchung des Zusammenhangs von chemischer Kinetik und Ausbildung der Morphologien der Produkte in Abhängigkeit von der Zusammensetzung,
- Untersuchung zu Systemen mit anderen Komponenten zur Erzeugung von Partialladungen auf der Oberfläche der Filme, durch die der Antifouling-Effekt erzeugt wird, parallel zum Einsatz von Polythiolen als inhärentes Korrosionsschutzmittel,
- Untersuchung der Steuerung der Eigenschaften durch die Art und Funktionalität von Komponenten mit unterschiedlicher, ggf. höherer Funktionalität, entweder der Isocyanate (Di- und/oder Triisocyanate) oder von Thiolen/Polythiolen und des Einflusses der Art und Menge der Vernetzungen auf die elastischen Eigenschaften der Produkte.

Die Liste der aus den bisherigen Ergebnissen ableitbaren wissenschaftlichen Aufgaben ließe sich aus heutiger Sicht beliebig verlängern. Es wäre möglich, einige davon im Rahmen von Promotionsverfahren zu bearbeiten. In diesem Zusammenhang sei auf die Kooperation des Partners TH Wildau mit der HTMU Sofia und der Technischen Universität Kosice verwiesen, die in diese Arbeiten durch Entsendung von Doktoranden eingebunden werden könnten.

Gegenwärtig wird vom Partner TH Wildau in einem weiteren EUROSTARS-Projekt an der Entwicklung isocyanatfreier Beschichtungssysteme mitgearbeitet. Die Ergebnisse aus diesem Projekt könnten in die weitere Gestaltung der zukünftigen wissenschaftlichen Arbeit einfließen, aber auch im Rahmen reiner Forschungsarbeit in Kooperation mit den genannten universitären Einrichtungen zur Beantragung weiterer Projekte genutzt werden.

IV.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wie unter Punkt 1.3 dargestellt, bieten die Erkenntnisse aus den umfangreichen Synthesearbeiten innerhalb dieses Vorhabens ebenso wie die Erkenntnisse aus dem Anlagenbau zur Durchführung der Beschichtungen vielfältige Möglichkeiten, auf diesen aufbauend weitere wissenschaftliche oder Kooperationsprojekte mit Unternehmen zur Verbreiterung der Nutzung der Ergebnisse in wirtschaftlicher Hinsicht durchzuführen. Einige Ideen dazu seien hier als Schlagworte angeführt:

- Untersuchungen zu anderen Verhältnissen der Thiol-Isocyanat-Reaktion parallel zu der radikalischen Reaktion durch UV-Initiierung sowie deren Unterstützung durch Zusätze von bestimmten linearen Bisacrylaten unterschiedlicher Struktur,
- Entwicklung von Verfahren zur Verbreiterung des Einsatzgebietes der Acrylat-Thiol-Systeme, z. B. im Bereich der Holzbeschichtungen oder von Bauwerksbeschichtungen, insbesondere von Beton,
- Entwicklung von Anlagen mit Sprühtechnologie zum Außeneinsatz, die z. B. bestehende Wände mit den Systemen beschichten können,
- Entwicklung von thixotropen Systemen zur Innenbeschichtung von Metallbehältern einschließlich Rohren und der Möglichkeit von deren Härtung durch radikalische Initiierung…

Auch diese Liste ließe sich beliebig verlängern. Gegenwärtig besteht die Möglichkeit, diese Beschichtungssysteme im Bereich der Off-Shore-Windkraftanlagen anzuwenden; um dieses tun zu können, wäre jedoch ein Anschlussprojekt mit den Partnern und einem (bekannten) Partner aus dem Bereich der Windkraftanlagen erforderlich.

IV.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Innerhalb des Vorhabens wurden keine Arbeiten durchgeführt, die nicht zu einer Lösung geführt oder zur Lösung des Gesamtproblems beigetragen haben.

IV.7 Präsentationsmöglichkeiten

Die Präsentation der Ergebnisse in Form der wirtschaftlichen oder wissenschaftlichen Verwertung soll erst nach der Entscheidung über die Anmeldung von Schutzrechten sowie deren Anmeldung in Angriff genommen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt werden nur seit langem bekannte und mit den Unternehmen kooperierende Kunden über die Eigenschaften der neuen Systeme und Materialien informiert.

Nach erfolgten Schutzrechtsanmeldungen und nach Ablauf der Prioritätsfrist sollen weitere Präsentationen erfolgen, u. a.

- Vorträge auf den Wildauer Duromer-Tagungen und den Wissenschaftstagen der HTMU Sofia,
- Vorträge auf Fachkonferenzen,
- Veröffentlichungen in wissenschaftlichen und fachbezogenen Zeitschriften bzw. in elektronischen Medien.

Sperrfrist für die Veröffentlichung des Berichts: 31. 12. 2023 wegen der derzeit in Planung befindlichen Schutzrechtsanmeldungen

IV.8 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Zeitplanung wurde eingehalten, einige Nacharbeiten werden nach Beendigung des Vorhabens durch die Partner durchgeführt.

Von Seiten der Werkzeug- und Metallbau Oberlausitz GmbH wurden die zur Verfügung stehenden Fördermittel nicht ausgeschöpft und viele Ausgaben aus eigenen Mitteln bestritten.

Anhang

Mit dem System beschichte Schwarzeisenplatte vor und nach Lagerung

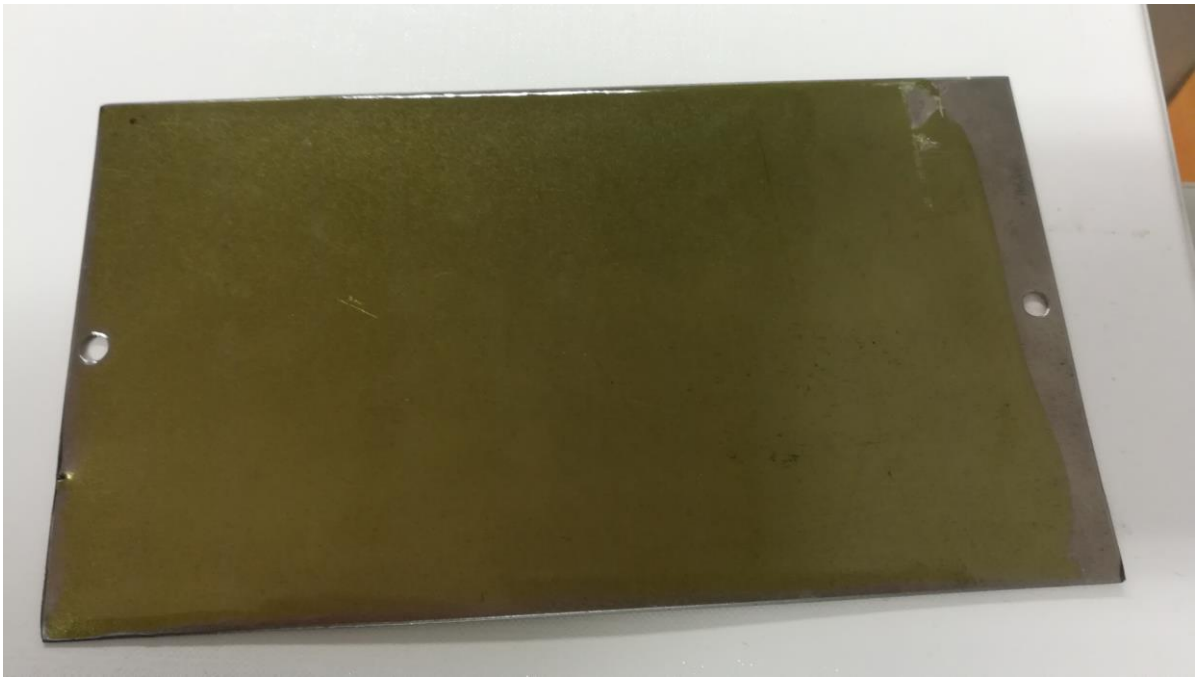

Bild 1: Beschichtete Platte nach der Herstellung

Bild 2: Beschichtete Platte nach 30 Tagen Wasserlagerung (offenes Gewässer), Originalzustand

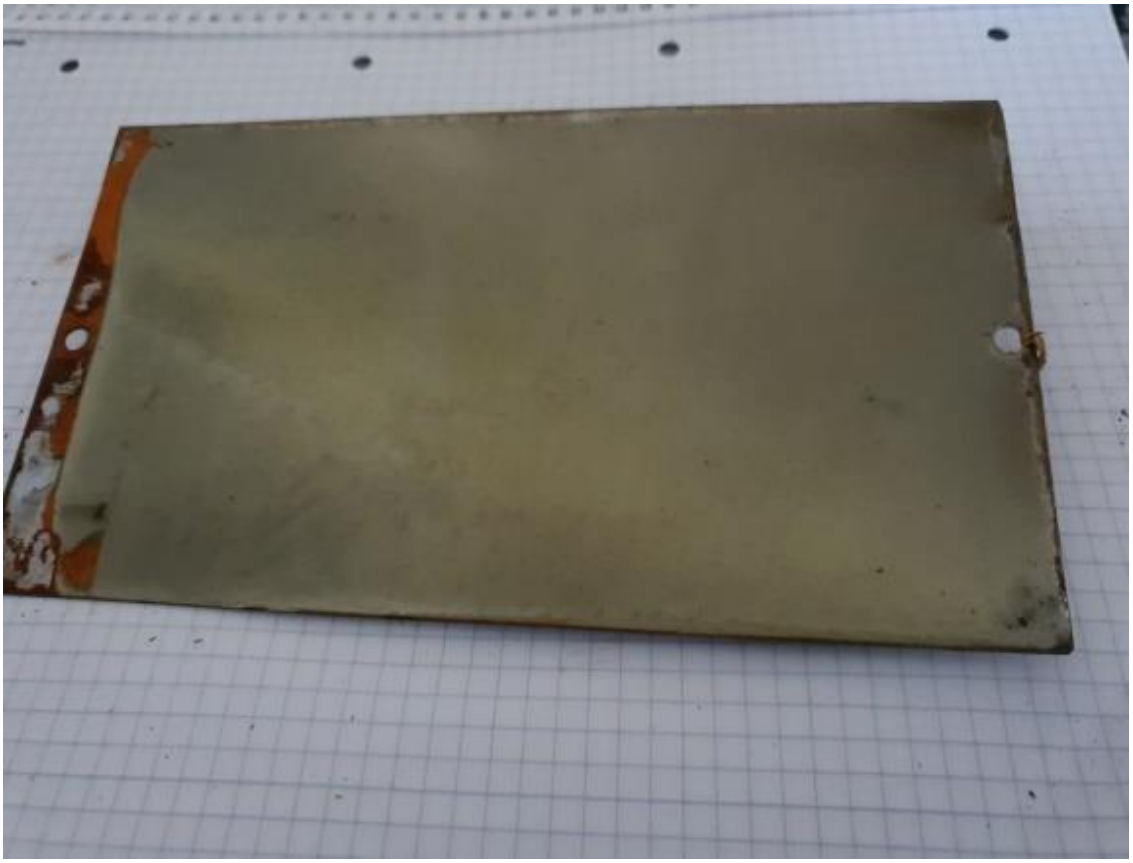

Bild 3: Beschichtete Platte nach 30 Tagen, nach Abspülen des Oberflächenschmutzes

Bild 4: Rückseite der beschichteten Platte nach 30 Tagen Wasserlagerung