

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

zum Vorhaben

Thema:

Vorhabenbezeichnung:

Modellregion, Bio4MatPro: BoostLab 1-3 – Bio4Clean, Funktionale Diole und Diamine als Baustein neuer nachhaltiger Funktionspolymere für die Anwendung in Wasch- und Reinigungsmittel, TP A

Zuwendungsempfänger:

Henkel AG&Co. KGaA

Förderkennzeichen:

031B1141A

Laufzeit:

01.01.2022 bis 31.12.2024

Monat der Erstellung:

06/2025

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Teil I: Kurzbericht (wird veröffentlicht, max. 2 Seiten)	3
1.1. Aufgabenstellung	3
1.2. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
1.3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse (sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen) 4	
1.3.1. Arbeitspakete und Meilensteine	4
1.3.2. Zusammenfassung	4
Teil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse (wird veröffentlicht).....	5
2.1. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	5
2.2. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	5
2.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses	5
2.4. Erkenntnisse von Dritten	6
2.5. Veröffentlichungen des Ergebnisses	6
Teil III: Erfolgskontrollbericht (ausschließlich interne Verwendung durch BMBF, wird nicht veröffentlicht).....	7
3.1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens	7
3.2. Fortschreibung des Verwertungsplans.	11
3.2.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	11
3.2.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	11
3.2.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	11
3.2.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	11
3.4. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	11
3.5. Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung	13

Teil 1: Kurzbericht (wird veröffentlicht)

1.1. Aufgabenstellung

Der Fokus des Projekts Bio4MatPro: Boost-Lab1-3 – Bio4Clean ist die Herstellung von nachhaltigen Funktionspolymeren, die die Leistungsfähigkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln verbessern. Polymere sind Makromoleküle, die aus einzelnen Bausteinen (Monomeren) aufgebaut sind. Als überwiegende Rohstoffbasis für diese Monomere dienen aktuell erdölbasierte Grundstoffe. Diese sind weder nachhaltig noch zukunftsweisend. In Bio4Clean soll das Potential von nachwachsenden Rohstoffen und/oder Kunststoff-Recyclingströmen als erneuerbare Rohstoffquellen für die Herstellung von Funktionspolymeren untersucht werden. Es sollen ausschließlich regionale Rohstoffe wie z.B. Zuckerrüben oder Raps verwendet werden. Hiermit soll ein Beitrag zur Ressourcenwende, sowie zur Etablierung einer wettbewerbsfähigen Bioökonomie geleistet werden.

Diolen, Disäuren und Diamine stellen äußerst interessante Klassen von Polymerbausteinen dar, da sie die Herstellung von nachhaltigen und bioabbaubaren wasserlöslichen Polymeren ermöglichen. Damit die Polymere als Zusatzstoff zur Leistungssteigerung von Waschmitteln eingesetzt werden können, müssen sie zusätzliche chemische Funktionsgruppen tragen. Problematisch ist jedoch, dass diese Funktionsgruppen schon während der Herstellung der Polymere reagieren können und ihre Funktionalität dann im fertigen Polymer nicht mehr zur Verfügung steht.

Die Zielsetzung des Projektes ist es daher, Bausteine mit einer möglichst universellen Kupplungsgruppe (z.B. geschützte Amin-, Carboxyl- oder Hydroxyl-Gruppen) zu entwickeln, die während der Polymerherstellung nicht reagiert, sondern als Kupplungsgruppe erhalten bleibt. In einer anschließenden Folgereaktion kann diese Kupplungsgruppe dann genutzt werden, um gezielt die chemischen Funktionsgruppen, die für die Waschaktivität benötigt werden, an das Polymer zu binden. Dieser neue Herstellungsansatz ermöglicht einen universellen Einsatz des Polymers als Ausgangsverbindung für maßgeschneiderte Waschmittelzusätze für spezifische Anwendungen wie z.B. leichteres Auswaschen von Flecken, Farbschutz, Vermeidung von Verfärbung oder Vergrauung, Erhalt von Weichheit und Form und/oder ein angenehmes Tragegefühl der Textilien.

Im Rahmen des Projekts wird die gesamte Wertschöpfungskette angefangen von der Erzeugung funktionaler Bausteine aus erneuerbaren Rohstoffen über die Entwicklung des universell funktionalisierbaren Polymers, die Bindung waschaktiver Funktionsgruppen an das Polymer bis hin zur anwendungsnahen Bewertung dieser Funktionspolymere für den potenziellen Einsatz in Waschmitteln abgebildet.

1.2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde von drei Kooperationspartnern Professorin Palkovits (RWTH), Professor Pich (RWTH) und Henkel AG & Co KGaA durchgeführt, die Ihre jeweiligen Fachkenntnisse für ein erfolgreiches Projekt bündeln.

Die drei Projektpartner befinden sich entlang der Wertschöpfungskette dieser Funktionspolymere: Synthese von funktionalen Bausteinen aus nachhaltigen Ressourcen, Verwendung dieser funktionalen Bausteine als Monomere für die Entwicklung von Precursor-Polymeren mit Kupplungsgruppen, Einführung der funktionalen Seitengruppen/Seitenketten ins Polymer und Anwendung der Funktionspolymere in Wasch- und Reinigungsmitteln. Ziel war es bis zum Ende des Projektes geeignete funktionale Bausteine, universelle Precursor-Polymere und anwendungstechnisch interessante Funktionspolymere für ein zukünftiges Upscaling zu definieren.

Professorin Palkovits leitet an der RWTH Aachen den Lehrstuhl für Heterogene Katalyse und Technische Chemie und ist Vorsitzende der Fachgruppe Nachhaltige Chemie der GDCh. Sie hat weitreichende Erfahrungen in der heterogen katalysierten Umwandlung und Nutzung erneuerbarer Rohstoffe aus vielfältigen Quellen. Professorin Palkovits und ihr Team haben sich im Rahmen des Projekts auf die Identifikation und Herstellung von geeigneten Bausteinen konzentriert und die Option eines regionalen Upscalings bewertet.

Professor Pich leitet den Lehrstuhl für Funktionale und Interaktive Polymere der RWTH Aachen und ist Mitglied des DWI - Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V. Er ist Experte auf dem Gebiet des Polymerdesigns und der Polymersynthese. Professor Pich und sein Team haben die funktionalen

Bausteine auf ihre Eignung für die Synthese von nachhaltigen Funktionspolymeren untersucht sowie bewertet. Die Polymerisationsprozesse werden optimiert, um funktionale Polymere mit maßgeschneiderten Eigenschaften zu synthetisieren. Kontrollierte Postmodifizierung von erhaltenen Precursor-Polymeren durch gezielte Integration von waschaktiven ionischen Seitengruppen oder hydrophoben Seitenketten wurden systematisch untersucht.

Henkel ist weltweit mit führenden Marken und Technologien in den zwei Geschäftsfeldern Adhesive Technologies sowie Consumer Brands tätig. Das 1876 gegründete Familienunternehmen hält mit bekannten Marken wie Persil, Schwarzkopf oder Loctite global führende Marktpositionen im Konsumenten- und im Industriegeschäft. Henkel ist mit dem rheinischen Revier eng verbunden, da sowohl die Konzernzentrale als auch der zweitgrößte Produktionsstandort von Henkel in Düsseldorf liegt. Henkel ist ein leistungsorientiertes Unternehmen und steht zu ihrem Anspruch, nachhaltig Werte zu schaffen sowie exzellente wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen. Eine Möglichkeit hierzu bieten nachhaltige Funktionspolymere. Um für Wasch- und Reinigungsmittel geeignete Funktionspolymere zu entwickeln, brachte Henkel ihr Know-how als weltweit agierendes Unternehmen im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel und die weitreichende Erfahrung in der Entwicklung von Inhaltsstoffen für solche Produkte ein. Henkel wirkte bei der Auswahl geeigneter funktionaler Kupplungsgruppen für die Bausteine, wie auch beim Design und der Synthese der entsprechenden nachhaltigen Funktionspolymere mit. Diese wurden für die potenzielle Anwendung in der Wasch- und Reinigungsmittelindustrie bei Henkel getestet und bewertet.

1.3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse (sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen)

1.3.1. Arbeitspakete und Meilensteine

Im Rahmen des Projekts wird die gesamte Wertschöpfungskette angefangen von der Erzeugung funktionale Bausteine aus erneuerbaren Rohstoffen über die Entwicklung des universell funktionalisierbaren Polymers, die Bindung waschaktiver Funktionsgruppen an das Polymer bis hin zur anwendungsnahen Bewertung dieser Funktionspolymere für den potenziellen Einsatz in Waschmitteln abgebildet. Die Arbeitspakete und Meilensteine sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Arbeitspakete und Meilensteine von Bio4Clean (PA = Palkovits, PI = Pich, H = Henkel)

Arbeitspakete	Projektpartner
AP1: Auswahl der Zielstrukturen der funktionalen Dirole und Diamine mit Kupplungsgruppe	PA, PI, H
AP2: Synthese der Zielstrukturen funktionaler Dirole und Diamine mit Kupplungsgruppe (Meilenstein 1)	PA
AP3: Design der Funktionspolymere	PA, PI, H
AP4: Entwicklung der Funktionspolymere (Meilenstein 2)	PI, H
AP5: Testung der Polymereigenschaften (Meilenstein 3)	PI, H
AP6: Technische Routen ausgewählter funktionaler Dirole und Diamine mit Kupplungsgruppe	PA
AP7: Technische Routen für Funktionspolymere (Meilenstein 4)	PI

1.3.2. Zusammenfassung

Im Projekt wurde eine Bibliothek von mehr als 15 funktionalen Monomer Bausteinen hergestellt, die potenziell aus nachhaltigen Rohstoffen synthetisiert werden können. Diese Bausteine wurden verwendet, um waschaktive Polymere herzustellen. Die Reaktionsparameter z.B. Einfluss der Temperatur, Reaktionszeit und Katalysatormenge wurden intensiv studiert sowie optimiert. Alle Substanzen (Monomere sowie Polymere) wurden analytisch charakterisiert.

Die wasserlöslichen bzw. waschmittellöslichen Substanzen wurden in industriellen Leistungstests untersucht. Es wurden Parameter wie Kalkbindung als auch die Inhibierung von Farbübertragung auf Textilien untersucht. Leider konnte keine Substanz das bisherige Leistungsprofil eines Waschmittelinhaltsstoff erreichen oder die biologische Abbaubarkeit war nicht gegeben.

Teil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse (wird veröffentlicht)

2.1. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Henkel beschäftigte mehrere wissenschaftliche Mitarbeiter und Laboringenieure aus verschiedenen Abteilungen (innerhalb von Henkel), um seine Aufgaben im Bio4Clean-Projekt zu erfüllen. Die Projektkosten setzten sich hauptsächlich aus den Personalkosten zusammen. Das nahezu gesamte Personalkostenbudget wurde effizient eingesetzt, um die (in diesem Bericht) beschriebenen Ergebnisse zu erzielen.

Hinweis: Die genauen Kosten (Zahlen) sind in Teil III (Erfolgskontrollbericht) aufgeführt.

2.2. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Das Projekt „Bio4Clean“ stellt ein hoch exploratives, interdisziplinäres, systematisches und anwendungsbezogenes Forschungs- und Entwicklungsprojekt dar, das mehrere Stufen entlang der Wertschöpfungskette abdeckt. Für dieses Projekt wird sowohl die Fachexpertise von Wissenschaftlern also auch ein starker industrieller Partner benötigt. Das Projekt hat unterschiedliche Risiken, die von einem Industriepartner nicht getragen werden können. Ein Risikofaktor liegt in den Laborsynthesen, da sowohl die Herstellung der Monomere, der Precursor-Polymere wie auch die Funktionalisierung der Polymere noch nicht ausreichend erforscht sind. Auch das Anwendungspotenzial der Funktionspolymere in Wasch- und Reinigungsmittel ist ein ungewisser Faktor und muss im Rahmen dieses Projekts bewertet werden. Zusätzlich besteht das Risiko, dass die erhaltenen Polymere nicht ausreichend bioabbaubar sind. Die wirtschaftliche Analyse des technischen Prozesses der einzelnen Intermediate wie auch des Funktionspolymers ergibt einen weiteren Risikofaktor. Dieses explorative Projekt kann von keinem Projektpartner aus eigenem Antrieb erforscht werden. Für die Durchführung des Projektes wurde das gemeinsame Konsortium und eine Förderung benötigt.

2.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die wirtschaftliche Nutzung und Verwertung der Ergebnisse des Projektes Bio4Clean werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Wirtschaftlicher Verwertungsplan von Bio4Clean mit Zeithorizont

Verzahnung von Forschungs- und Funktionstechnologien	Entwicklung neuer Herstellungsverfahren für Funktionspolymere unter besonderer Berücksichtigung der technischen Anschlussfähigkeit	schon während der Projektlaufzeit
	Brückenschlag zwischen laborbasierter Grundlagenforschung und industrieller Anwendungsnähe	schon während der Projektlaufzeit
	Spiegelung der industriellen Anwendbarkeit für akademische Partner / Forschungsgruppen	schon während der Projektlaufzeit

Die technische Nutzung und Verwertung der Ergebnisse des Projektes Bio4Clean werden in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Technischer Verwertungsplan von Bio4Clean mit Zeithorizont

Steigerung der wissenschaftlichen Konkurrenzfähigkeit	Erhöhte Konkurrenzfähigkeit im Feld der nachhaltigen Performance-Polymere	schon während der Projektlaufzeit
Schaffung von Know-how zur Kompetenzerhaltung	Patente	schon während der Projektlaufzeit
Transfer zu Nutzergruppen	Publikationen in renommierten Fachzeitschriften	Siehe 2.5
	Verbreitung der Ergebnisse über soziale Medien und Pressemitteilungen	schon während der Projektlaufzeit
Erweiterter wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn /Nutzung von Synergien	Netzwerkbildung innerhalb von Bio4Clean, von Bio4MatPro und darüber hinaus z.B. andere regionalen Projekten, Verknüpfung mit Technologieplattformen	schon während der Projektlaufzeit

2.4. Erkenntnisse von Dritten

Es gibt keine Erkenntnisse von Dritten.

2.5. Veröffentlichungen des Ergebnisses

Wissenschaftliche Veröffentlichungen:

Leon Klug, Rebecca Sebers, Kira Neubauer, Regina Palkovits, and Andrij Pich

ACS Sustainable Chemistry & Engineering **2025** 13 (18), 6623-6633

DOI: 10.1021/acssuschemeng.5c00846

Patent-Anmeldungen:

Tab. 4: Patentanmeldungen der RWTH des Bio4Clean Projekts

	Beantragt	Erteilt
PCT/EP2024/071120: Pyrrolidon-basierte Diole		x
DE102025111719.5: Imidazole-Pyrrolidone-based Dicarboxylic acid	x	
DE102025111680.6: Sulfur based Caprolactam	x	