

BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

Zum Vorhaben

„Neuartiger Prozess zur Herstellung von fluorfreien Hydrophobierungsmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen für die Textilindustrie“

NKa3-003616

Zuwendungsempfänger

Rudolf GmbH

Umweltbereich

Ressourcen

Laufzeit des Vorhabens

Von 31.03.2021 bis 02.08.2022

Autor

Dr. Dirk Sielemann

-Datum der Erstellung

22.06.2023

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.



Abschlussbericht im Rahmen des Umweltinno- vationsprogramms

**Herstellung von fluorcarbonfreien Hydrophobierungsmittel
für die Textilindustrie aus nachwachsenden Rohstoffen**

Rudolf GmbH

Altvaterstraße 58 - 64 | 82538 Geretsried

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen des UBA:	Projekt-Nr.: Nka3 - 003616
Titel des Vorhabens: „Neuartiger Prozess zur Herstellung von fluorfreien Hydrophobierungsmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen für die Textilindustrie“	
Autoren: Dr. Dirk Sielemann	Vorhabenbeginn: 31.03.2021
	Vorhabenende: 02.08.2022
Zuwendungsempfänger: Rudolf GmbH Altvaterstr. 58-64 82538 Geretsried	Veröffentlichungsdatum: 01.07.2023
	Seitenzahl: 26
Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz	
Kurzfassung: Ziel des Vorhabens war die Errichtung einer innovativen Anlage zur Herstellung von fluorfreien Hydrophobierungsmitteln auf Basis von mindestens 90 Prozent nachwachsender Rohstoffe. Am Beispiel des Reisschalenwachs, welches als Abfallstoff der Lebensmittelindustrie anfällt, konnte der neuartige Prozess erfolgreich umgesetzt werden. Mit der angestrebten Vollauslastung von jährlich 3.000 t wird der Eintrag von ca. 300 t der äußerst umweltschädlichen Perfluorhexansäure in die Umwelt sicher vermieden.	
Schlagwörter: Hydrophobierungsmittel – Fluorfrei – Nachwachsende Rohstoffe	
Anzahl der gelieferten Berichte: Papierform:	

Elektronischer Datenträger: 1	
-------------------------------	--

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environmental Agency:	Project-No.: NKa3 - 003616
Report Title: „Novel process for the production of fluorine-free hydrophobizing agents from renewable raw materials for the textile industry“	
Author: Dr. Dirk Sielemann	Start of project: 31.03.2021
	End of project: 02.08.2022
Performing Organisation: Rudolf GmbH Altwaterstr. 58-64 82538 Geretsried	Publication Date: 01.07.2023
	No. of Pages: 26
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary: The aim of the project was to set up an innovative plant for the production of fluorine-free water repellents based on at least 90 percent renewable raw materials. Using the example of rice husk wax, which is a waste material from the food industry, the innovative process was successfully implemented. With the targeted full capacity utilization of 3,000 t per year, the discharge of approx. 300 t of the extremely environmentally harmful perfluorohexanoic acid into the environment is safely avoided.	
Keywords: Hydrophobizing agent - Fluorine-free - Renewable raw materials	

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1 Kurzbeschreibung des Antragsstellers	6
1.2 Ausgangslage	6
2. Vorhabenumsetzung	9
2.1 Ziel des Vorhabens	9
2.2 Technische Lösung und Leistungsdaten	10
2.3 Umsetzung des Vorhabens.....	12
2.4 Behördliche Anforderungen	13
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	14
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	15
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung.....	15
3.2 Stoff- und Energiebilanz	15
3.3 Umweltbilanz.....	18
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	20
3.5 Technische Vergleichbarkeit zu konventionellen Verfahren	21
4. Übertragbarkeit	23
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	23
4.2 Modelcharakter und Übertragbarkeit.....	24
4.3 Kommunikation der Projektergebnisse.....	25
5. Zusammenfassung/Summary	26
5.1 Zusammenfassung.....	26
5.2 Summary	28

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Antragsstellers

Wir sind eine international operierende Unternehmensgruppe mit eigenen Unternehmen und Vertretungen in über 50 Ländern auf allen Kontinenten. Als Familienunternehmen mit einer über 100-jährigen Firmengeschichte sind wir mit dem Stammwerk in Geretsried südlich von München ansässig und als führendes Unternehmen im Bereich der Spezialchemie vorwiegend für die Textilindustrie tätig. Hierbei werden Textilhilfsmittel zur Vorbehandlung (z. B. Waschen, Bleichen) und Ausrüstung (z. B. Weichgriff, Wasser- oder Schmutzabweisung) wie auch Wirkstoffe für die Textilpflege (Haushaltsprodukte oder Produkte für Industriegewaschereien) hergestellt. Mit insgesamt über 700 Produkten besitzen wir weltweit eine starke Marktposition. Dabei ist eine nachhaltige, schonende Produktion und die damit verbundene Ressourcenschonung ein fester Bestandteil unseres Unternehmensleitbildes. Hierbei steht vor allem der Schutz von Menschen und Umwelt bei der kontinuierlichen, kundengerechten Entwicklung von neuen Spezialchemikalien sowie deren Umweltverträglichkeit bei der Anwendung, aber auch bei der Entsorgung im Vordergrund.

1.2 Ausgangslage

Textile Materialien werden für eine Vielzahl an Anwendungen eingesetzt. Um die textilen Rohstoffe wie Natur- oder Chemiefasern bei bspw. Arbeits- und Outdoorbekleidung einsetzen zu können, werden diese mit einem wasserabweisenden Mittel (Hydrophobierungsmittel) imprägniert bzw. beschichtet. Hierzu haben sich über lange Zeit Fluorcarbonpolymere bewährt, da die Behandlung der Textiloberfläche mit fluorhaltigen Systemen nicht nur zu hydrophoben, sondern auch oleophoben und schmutzabweisenden Effekten führt. In der Regel werden diese aus monomeren perfluorierten C₆-Methacrylsäureestern synthetisiert, die nach der Polymerisation für die oleo- und hydrophoben Eigenschaften verantwortlich sind. Aufgrund der chemischen Struktur besitzen diese Moleküle eine sehr hohe thermische wie auch chemische Stabilität. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass Fluorpolymere bei der Herstellung und insbesondere beim Gebrauch und der Wäsche von imprägnierten Textilien in die Umwelt gelangen. Weiter kann auch bei einer nicht fachgerechten Entsorgung der ausgerüsteten Textilien am Ende ihrer Nutzungszeit ein Eintrag der Fluorpolymeren über verschiedene Wege in die Umwelt stattfinden. Dabei können die Polymere potenziell über mehrstufige Prozesse zu Perfluorhexansäure (Abbildung 2) abgebaut werden.

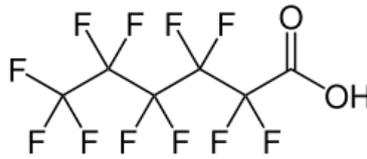


Abbildung 1: Perfluorhexansäure (C₆HF₁₁O₂)

Viele der bekannten niedermolekularen perfluorierten Verbindungen, wie Perfluorhexansäure gelten als persistent¹ sowie bioakkumulativ². Zudem besteht aufgrund der hohen Mobilität in der aquatischen Umwelt die Gefahr der Kontamination von Trinkwasser, das Potential für Ferntransport wie auch die Anreicherung in Pflanzen. Mit steigenden Konzentrationen besteht im Hinblick auf ungewisse Langzeitriskien eine Gefahr auch für die menschliche Gesundheit.

Da uns als verantwortungsbewusster Hersteller von Spezialchemikalien die Problematik schon seit Jahren bekannt ist, haben wir durch intensive Forschungen und innovative Ansätze als einer der ersten Hersteller im Jahr 2005 ein fluorfreies Hydrophobierungsmittel auf dem Markt präsentiert. Mittlerweile bieten wir unter dem Markennamen „BIONIC-FINISH® ECO“, „RUCO-DRY ECO“ und „RUCO-DRY ECO PLUS“ mehrere patentierte fluorfreie Hydrophobierungsmittel mit einer permanenten Wasserabweisung an. Diese enthalten bereits einen gewissen Anteil biogener Rohstoffe (ca. 40 %), welcher über eine 14C-Radiocarbonmethode gemessen werden können. Primär handelt es sich bei diesen Anteilen um Bausteine, die aus natürlichen pflanzlichen Fetten gewonnen und anschließend noch chemisch modifiziert werden. Der überwiegende Anteil basiert jedoch auf Polyurethanen (PU), Polysiloxanen und Polyacrylaten, welche über viele Syntheseschritte letztendlich hauptsächlich aus Erdöl basierenden Rohstoffen energieintensiv hergestellt werden. Neben Polyurethan basierten fluorfreien Hydrophobierungsmitteln werden häufig auch Polysiloxanverbindungen verwendet. Diese werden jedoch aus umwelttechnischen Gründen teilweise kritisch diskutiert.

Weiterhin werden im kleineren Umfang auch Wachse und Paraffine aufgrund ihrer wasserabweisenden Eigenschaften als Hydrophobierungsmittel eingesetzt. Derzeit sind Produkte auf Basis von synthetischen Paraffinen und anderen Wachsen oder Kombinationen aus beiden verfügbar. Dabei besitzen die Paraffin- und Wachsprodukte bei der Anwendung im Textilbereich erhebliche Nachteile: So können bspw. Verschmutzungen auf Fett- oder Ölbasis auf den Textilien schlecht verhindert werden und vor allem dickere Wachsschichten, die notwendig sind, um gute Effekte zu erzielen, werden bei niedrigen Temperaturen fest und brüchig. Zusätzlich führt eine starke Beanspruchung der Textilien

¹ Biologisch nicht abbaubar.

² Anreichern der Substanzen in der Umwelt.

zum Abtragen der hydrophoben Schicht, wodurch die Schutzwirkung gegenüber Wasser verloren geht. Diese Produkte besitzen aufgrund der dargestellten Nachteile lediglich einen kleinen Marktanteil und sind keine Alternative, die vom Markt angenommen wird. Zudem werden Paraffine wie auch die mineralischen und synthetischen Wachse hauptsächlich aus Erdöl hergestellt. Die Gefährdung von Umwelt, Klima und Menschen im Zusammenhang mit fossilen Rohstoffen werden in Wissenschaft und Öffentlichkeit kritisch diskutiert. Damit stellen die am Markt erhältlichen fluorfreien Hydrophobierungsmittel in einigen Fällen aus umwelttechnischer Sicht keine uneingeschränkte Alternative dar oder sind in ihrer Performance als Hydrophobierungsmittel nicht bei allen Textilien universell einsetzbar. Aufgrund dessen haben wir ein nachhaltiges Hydrophobierungsmittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt und im Rahmen des UIP die erste großtechnische Anlage erfolgreich errichtet. Auf die Umsetzung, Ergebnisse und Übertragbarkeit wird in nachfolgenden Kapiteln detailliert eingegangen.

2. Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Da viele der üblichen fluorfreien Hydrophobierungsmittel die Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit nicht komplett erfüllen, zielte das Vorhaben darauf ab ein umweltverträgliches fluorfreies Hydrophobierungsmittel am Markt zu platzieren. Der zentrale Fokus lag darauf, dass die hydrophobe Wirkkomponente aus nachwachsenden Quellen stammte und nicht auf Erdöl basierenden Rohstoffen beruhte. Als Rohstoffe dienten natürliche pflanzliche Wachse, wie beispielsweise Reisschalenwachs, welches primär als Abfallstoff der Lebensmittelindustrie anfällt und in Form von Wachsprills verfügbar ist. Reisschalenwachs entsteht als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Reisöl aus Reiskleie. Da das Wachs für die weitere Verwertung in der Nahrungsmittelindustrie ungeeignet ist, konkurrierte dieses nicht mit der Lebensmittelproduktion. Für die erstmalige großtechnische Herstellung von Hydrophobierungsmitteln auf der Basis neuer nachwachsender Rohstoffe war die Entwicklung und Umsetzung eines innovativen Verfahrens erforderlich. Hierfür wurden bekannte Produktions- und Prozesskomponenten erstmalig so verschalten, dass die Herstellung der angestrebten nachhaltigen Hydrophobierungsmittel auf der Basis von verschiedenen Ausgangsstoffen realisierbar werden konnte.

Mit dem Vorhaben wurde folgende Zielstellung verfolgt:

- Substitution von fluorhaltigen, umweltbelastenden Materialien
- Reduktion von auf Erdöl basierenden hydrophoben Wirkstoffen
- Erreichen eines Anteils an nachwachsenden Rohstoffen von mindestens jedoch von 90 %
- Realisierung vergleichbarer Eigenschaften wie konventionelle Hydrophobierungsmittel, um eine Nutzung in bestehenden Textilveredelungsprozessen³ zu erlauben
- Erfüllen der technischen Anforderungen der textilen Endkunden entsprechend der Einsatzbereiche
- Umsetzung einer vollumfänglich abgestimmten Anlagen- und Prozesstechnik zwingend erforderlich.

³ In dem Textilveredelungsprozess werden die Textilien häufig als Flächenware durch ein Tauchbad mit einer wässrigen Verdünnung des Hydrophobierungsmittels geleitet und im Anschluss durch zwei Walzen abgequetscht. Dabei wird die überschüssige Flüssigkeit entfernt und anschließend getrocknet, so dass nur eine definierte Menge der wasserabweisenden, unlöslichen Chemikalien an der Textiloberfläche aufgebracht wird.

2.2 Technische Lösung und Leistungsdaten

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine innovative Anlage konzeptioniert, die diese Anforderungen gemäß Zielstellung für verschiedene natürliche Wachse als Ausgangsstoff erfüllt. Der komplexe und anspruchsvolle Herstellungsprozess wird nachfolgend am Beispiel des Reisschalenwachses genauer erläutert. Dabei besteht die innovative Anlage generell aus den folgenden Hauptanlagenkomponenten:

- zwei druckfeste Reaktionskessel mit 16 m³ Nutzvolumen und Rührer für niedrigviskose Flüssigkeiten
- Temperiergerät zur stufenlosen Temperierung beider Reaktionskessel
- Destillationsanlage an Reaktionskessel 1
- Pulvertransfersystem (Dosiersystem) bzw. Dosierbehälter an Reaktionskessel 2
- ein high-shear Durchflussmischer (Durchfluss ca. 10 m³/h)
- ein Hochdruckhomogenisator (Durchfluss ca. 8 m³/h bei 400 bar)
- einen Wide-Gap Wärmetauscher (schnelles Abkühlen der Reaktionsmischung)
- eine umfangreiche Sensorik bzw. Steuer- und Regelungstechnik

Das Verfahren wird diskontinuierlich betrieben, ein sogenannter Batchprozess. Damit kann das Hydrophobierungsmittel in Chargen mit ca. 13 bis 15 t pro Ansatz nacheinander produziert werden. Hieraus ergibt sich eine max. mögliche Jahresproduktionsmenge von ca. 3.000 t auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen. Das Produkt wird unter dem Markennamen RUCO-DRY BIO CGR in unserem Portfolio geführt.

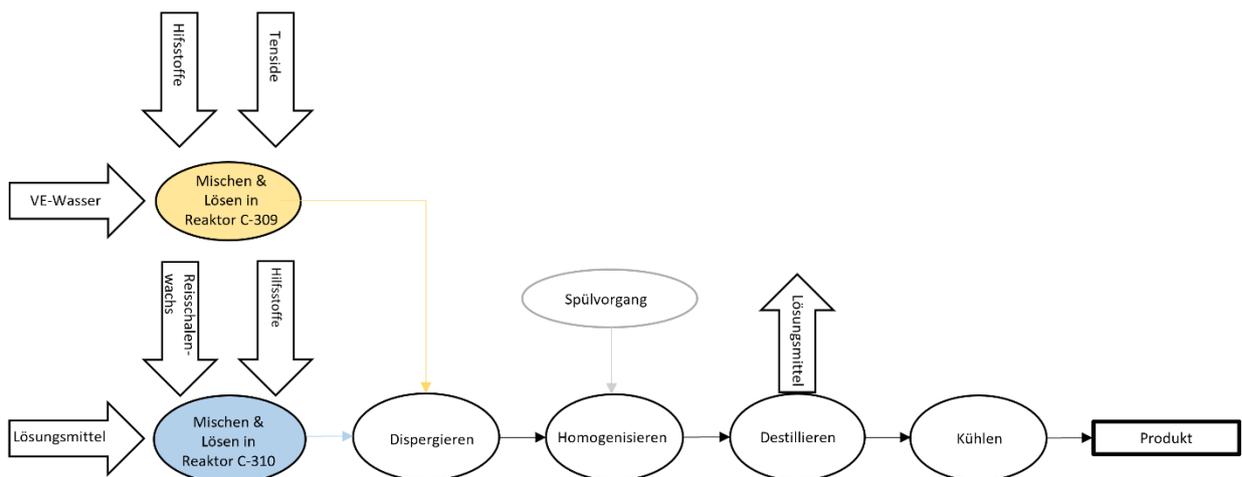


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prozesses

Zu Beginn des Prozesses wird das Reisschalenwachs in den *Reaktionskessel 2* gegeben, dort aufgeschmolzen, mit Lösungsmittel und Hilfsstoffe versetzt und auf die nötige Prozesstemperatur erhitzt. Parallel dazu werden in den *Reaktionskessel 1* demineralisiertes Wasser (VE-Wasser) und Hilfsstoffe vermischt und ebenfalls erhitzt. Die Reaktionskessel 1 und 2 sind dabei maximal zu 50 % gefüllt, so dass die Mischung beider Komponenten in beide Reaktionskessel überführt werden kann. Im Anschluss werden die Flüssigkeiten aus beiden Reaktoren über einen sogenannten *Dispax* (high shear Durchflussmischer) zusammengeführt und so eine Dispersion hergestellt. Hierfür wird ein Rotor-Stator-System eingesetzt, welche die organische Lösung durch hohe Scherkräfte zu kleinen Tropfen mit einem engen Verteilungsspektrum in der wässrigen Lösung dispergiert. Die noch instabile Dispersion wird im nächsten Schritt über einen Hochdruckhomogenisator geführt. Dabei durchströmt das Fluid einen Homogenisierspalt und prallt gegen einen Prallring. Der verengte Querschnitt führt nach dem Homogenisierspalt zu einer Erhöhung der Fluidgeschwindigkeit und hat auch einen Druckverlust zur Folge. Die Zerteilung der Tröpfchen basiert somit auf der Scherung durch die Geschwindigkeitsänderung des Fluids und der Prallbeanspruchung am Prallring. Um die erforderliche Teilchengröße zu erzielen, sind jedoch mehrere Homogenisierschritte erforderlich, in denen die Dispersion abwechselnd von Reaktionskessel 1 in Reaktionskessel 2 bzw. umgekehrt homogenisiert wird. Um Prozess-Störungen durch sedimentiertes Wachs zu vermeiden, finden zwischen den Homogenisierschritten, während die Dispersion in den Reaktorkesseln verweilt, inline Spülvorgänge mit VE-Wasser statt. Dieses Wasser wird dem Zwischenprodukt zugeführt, so dass Prozessabwasser vermieden werden kann.

Um die neue Anlage so ressourcenoptimiert wie möglich betreiben zu können, wurde in der verfahrenstechnischen Auslegung eine Lösemittelrückgewinnung integriert. Hierfür wird nach dem Erreichen der Dispersionspartikelgröße das Lösungsmittel im Reaktionskessel 1 unter Vakuum abdestilliert. Ein geringer Anteil an Wasser im Lösungsmitteldestillat stellt kein Problem dar, so dass das eingesetzte Lösungsmittel zu 90 % im Kreislauf geführt werden kann. Die gesamte Anlage ist mit den erforderlichen technischen Ex-Schutzsystemen ausgestattet und erlaubt so den Einsatz von brennbaren Lösungsmitteln bzw. Lösungsmittelgemischen.

Nachdem das Lösungsmittel vollständig aus dem Produkt durch Destillation entfernt wurde, wird es zur Abkühlung über einen Plattenwärmetauscher geführt. Dabei kristallisieren die fein dispergierten Wirkstoffpartikel und es entsteht das fertige Produkt in Form einer stabilen Dispersion.

Die innovative Anlage kann entsprechend nachfolgender Auslegungsdaten betrieben werden. Diese wurden pro Charge mit einer Menge von 14,5 t und auf die max. Jahresproduktionsmenge von 3.000 t betrachtet. Um ein stabiles Produkt zu erhalten werden Hilfsstoffe zugefügt. Diese werde in nachfolgender Tabelle als erdölbasierte Rohstoffe berücksichtigt (10 %).

Hydrophobierungsmittel	Charge	Jahresproduktionsmenge
	®RUCO-DRY BIO CGR	®RUCO-DRY BIO CGR
Produktionsmenge [t]	14,571	3.000
Wirkstoff Hydrophobierungsmittel	Natürliche Wachse (am Beispiel Reisschalenwachs)	Natürliche Wachse (am Beispiel Reisschalenwachs)
Wirkstoffgehalt [%]	20	20
Wirkstoffmenge [t]	2,9	600
Anteil Fluororganische Verbindungen Endprodukt [%]	0	0
Anteil Erdöl-basierender Rohstoffe bezogen auf Feststoffgehalt [%]	10	10
Erdöl-basierende Rohstoffe pro Jahr [t]	1,45	300

Tabelle 1: Leistungsdaten der umgesetzten Anlage

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Vorhabens wurde zu Beginn das Basic Engineering und Detail Planung durchgeführt und abgeschlossen. Parallel dazu wurden erste Bestellungen für die Hauptanlagenkomponenten ausgelöst und vorbereitende bauliche Maßnahmen, wie die Installation der Bodenwaage und Rohrleitungsanschlüsse, erbracht. Die Bodenwaage ist für das Abfüllen der Produkte in Gebinde erforderlich. Nach der Bestellung aller weiteren Komponenten und der Planung des Stahl- und Rohrleitungsbaus, wurde mit der Umsetzung des Stahlbaus begonnen. In diesem Zuge konnten die ersten Hauptanlagenkomponenten eingebracht und installiert werden. Nach der Fertigstellung des Stahlbaus erfolgte die Rohrleitungsmontage. Anschließend wurden die Armaturen, Feldgeräte und Kabeltrassen montiert. In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind die implementierten Reaktoren aufgezeigt. Aufgrund der vorherrschenden Lieferengpässe einzelner Komponenten im Zuge der Corona-Pandemie und dem Ukrainekrieg kam es zu geringfügigen Verzögerungen bei der Umsetzung des Vorhabens. Die finale Inbetriebnahme erfolgte im Juli 2022 und startete mit der Produktion des fluorfreien Produktes RUCO-DRY ECO PLUS. Dies war notwendig, um die Prozessführung zunächst an einem etablierten Produkt auszuarbeiten und zu optimieren. Konkret betraf dies die Prozessschrittketten, alle Pro-

zessparameter, die Steuerung und die allgemeine Herstellvorschrift. Im weiteren Verlauf der Inbetriebnahme wurden dann das nachhaltige fluorfreie Hydrophobierungsmittel RUCO-DRY BIO CGR (Reisschalenwachs basiert) produziert. In der Testphase lagen die Ergebnisse aller relevanten analytischen Zwischen- und Endprüfungen, die zur Prozess- und Qualitätskontrolle durchgeführt werden, innerhalb der festgelegten Grenzwerte. Auf die dabei erzielten Ergebnisse wird in den nachfolgenden Abschnitten detailliert eingegangen.



Abbildung 3: Destillatsammelbehälter und Reaktor C309 (Rückansicht; Bauphase)



Abbildung 4: Reaktor C310 (Ansicht unten) mit Temperiergerät (Bauphase)



Abbildung 5: Reaktor C309 mit Dispax und Homogenisator



Abbildung 6: Vakuumpumpe, Behälter und Filter

2.4 Behördliche Anforderungen

Für das Vorhaben wurde im Rahmen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) ein Antrag nach § 15 BImSchG – Änderung genehmigungsbedürftiger Anlagen gestellt und von der zuständigen Stelle auch genehmigt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Erfassung der Betriebsdaten erfolgt über das vorhandene Prozessleitsystem, in dem die neue Anlage eingebunden ist. Da der Herstellprozess als diskontinuierlichen Betrieb (Batch-Betrieb) ausgeführt ist, wurden die Betriebsdaten pro Charge mit 14.571 kg ausgewertet. Die Dosierung folgender Rohstoffe wird entsprechend der Herstellformulierung vorgenommen:

- Reisschalenwachs
- Lösungsmittel (aus Kreislaufführung)
- Hilfsstoffe

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben konnte mit einer geringfügigen zeitlichen Verzögerung erfolgreich umgesetzt werden. Schwierigkeiten stellten dabei sehr lange Lieferzeiten einzelner Anlagenkomponenten und personelle Engpässe bei den beauftragten Dienstleistern dar. Letzteres konnte durch den Einsatz von eigenem Personal bei bspw. der Planung und Inbetriebnahme kompensiert werden, sodass der Zeitplan mit einer Abweichung von etwa einem Monat eingehalten werden konnte.

Kostenseitig kam es aufgrund der Neuartigkeit und Komplexität des Vorhabens zu teilweise größeren Abweichungen im Vergleich zur Planung. Um die Kostenrisiken zu minimieren und eine Wirtschaftlichkeit des Vorhabens zu gewährleisten, wurde bei der Planung ein konservativerer Ansatz mit höheren Preisauflagen gewählt. Bei der Umsetzung resultierte eine Reduzierung der Gesamtausgaben um ca. 270 TEUR. Aufgrund der stärkeren Abweichungen zu den einzelnen Teilvorhaben hat sich gezeigt, dass das Vorhaben nur schwer kalkulierbar war. An dieser Stelle ist jedoch hervorzuheben, dass das Vorhaben trotz mehrerer globalen Herausforderungen (Corona-Krise, Rohstoffmangel, Ukraine-Krieg) nicht nur technisch wie beantragt und nahezu im angesetzten Zeitplan, sondern darüber hinaus im kostengünstigeren Rahmen umgesetzt werden konnte.

Mit der Umsetzung des neuartigen Verfahrens konnte ein erheblicher Knowhow-Zuwachs beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen für die Herstellung von textiler Ausrüstungschemikalien verzeichnet werden. Dabei hat sich auch gezeigt, dass entgegen der ursprünglichen Planung, die Transferpumpe für den Betrieb nicht erforderlich ist. Darüber hinaus waren keine weiteren technischen Änderungen erforderlich.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Zur Ermittlung der Stoff- und Energiebilanz wurden im Zuge der Inbetriebnahme und des Testbetriebs verschiedene Batches gefahren. Wie bereits beschrieben, ist die Inbetriebnahme anhand eines bestehenden fluorfreien Produktes RUCO-DRY ECO PLUS⁴ erfolgt, um die entwickelte Prozessführung zu verifizieren. Diese wurde anschließend auf die Herstellung des Reisschalenwachs-basierenden Produkt RUCO-DRY BIO CGR übertragen und optimiert. In nachfolgender Abbildung 7 sind die ein- und ausgehenden Stoffströme mit der Darstellung des erforderlichen Kühl- und Heizbedarfs aufgeführt.

⁴ Damit das Produkt RUCO-DRY ECO PLUS auf der neuen Anlage überhaupt produziert werden konnte, war im Vorfeld eine Änderung des Herstellverfahren erforderlich.

Diese wurden im Rahmen des Testbetriebs rechnerisch ermittelt. Die eingesetzten Stoffe (Reisschalenwachs, VE-Wasser, Lösemittel, etc.) und Mengen wurden entsprechend der Herstellvorschrift dosiert, sodass die Produktmenge pro Batch ca. 14.571 kg entspricht.

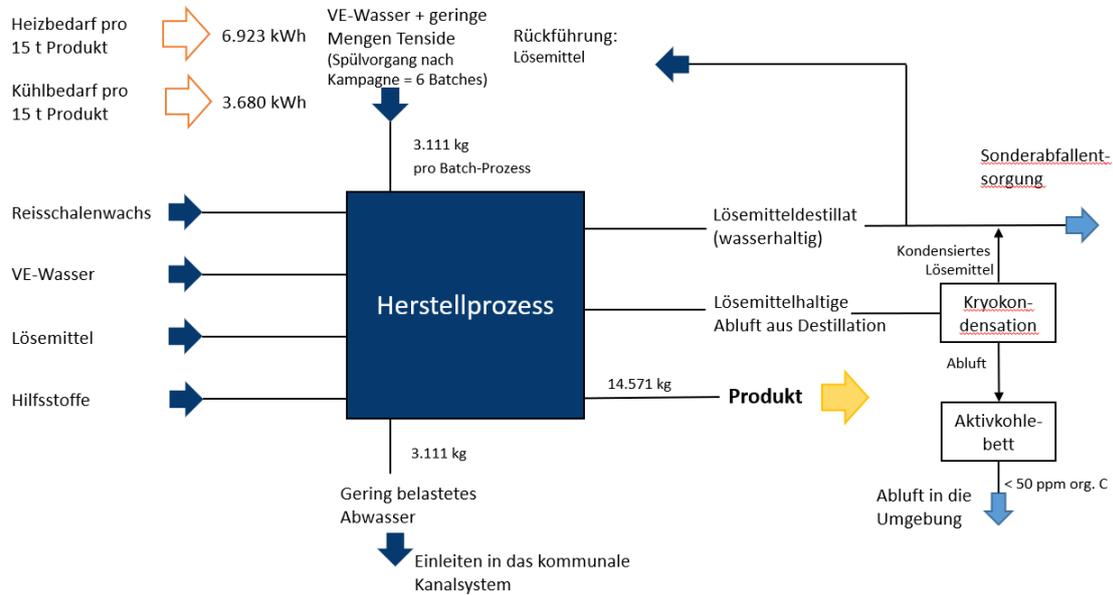


Abbildung 7: Ein- und Ausgehende Stoffströme mit Heiz- und Kühlbedarf pro Charge

Das Lösemittel dient als Prozesshilfsmittel, welches nach der Herstellung der Emulsion wieder vollständig abdestilliert wird, um so eine Kreislaufführung zu realisieren. So fallen über den gesamten Prozess lediglich 10 % des Lösemittels als Abfallstoff (Abfallschlüssel: 070104*) an, der über einen Sonderabfall Entsorgungsbetrieb abgeholt und entsprechend verwertet wird. Betrachtet auf die angestrebte Jahresproduktionsmenge von 3.000 Tonnen stehen entsprechend aktueller Abschätzung lediglich ca. 38 Tonnen pro Jahr an Lösemittel zur Entsorgung an.

Das im Prozess anfallende Abwasser beschränkt sich auf die Reinigungszyklen nach einer Kampagnenproduktion, bei der etwa über 5 bis 6 Chargen hergestellt werden. Mit diesem Konzept werden Reinigungsvorgänge zwischen den Chargen vermieden. Weiter wird das Spülmedium (VE-Wasser) während eines Batchprozesses (eine Charge) dem Produkt zugeführt, um einem Wirkstoffaustrag so gering wie möglich zu gestalten und auch das Anfallen von zusätzlichem Prozesswasser zu vermeiden. Hervorzuheben ist, dass das anfallende Prozessabwasser in die kommunale Kläranlage behandelt wird. Hierfür sind folgende Grenzwerte für den Standort einzuhalten:

Abwasserparameter	Grenzwerte
pH-Wert	6,5-9,5
AOX (qualifizierte Halbstundenprobe)	39 mg/l
Zink	< 2 mg/l
Zinn	< 2 mg/l

Tabelle 2: Grenzwerte Abwasser zur Einleitung in die kommunale Kläranlage

Bei Überschreitung von CSB-Frachten von 3.000 mg/l ist zudem eine BSB-Bestimmung vorgeschrieben.

Zudem fällt bei dem Destillationsprozess lösemittelhaltige Abluft an. Dieser Abluftstrom wird über die bereits vorhandene Abluftreinigungsanlage bestehend aus einer Kryokondensation und drei Aktivkohlebetten geleitet, welche hinsichtlich der Aufbereitung des zusätzlichen Abluftstroms über eine ausreichende Kapazität verfügt. Die Reinigungsleistung der Abluftanlage wird online über einen FID-Sensor permanent überwacht, so dass Emissionen über den zugelassenen Wert verhindert werden. In der Kryokondensationsanlage, die dem Aktivkohlebett vorgeschaltet ist, wird pro Batch eine maximale Menge von ca. 100 kg Isopropylacetat aus dem Abluftstrom der Anlage für Reisschalenwachs auskondensiert.

Da an dieser Anlage die Reinigung der Abluft von fast allen weiteren Produktionsanlagen am Standort erfolgt, gelten hier die Grenzwerte entsprechend der Genehmigung nach dem BImSchG für den darin berücksichtigten Anlagenkomplex. Hierbei ist festzuhalten, dass die Emissionen der geplanten Anlage weit unterhalb dieser Grenzwerte liegen.

Stoffe	Grenzwerte
Gasförmige anorganische Stoffe nach Nr. 5.2.4 TA-Luft	
Dampf- und gasförmige anorganische Chlorverbindungen, angegeben als Chlorwasserstoff	30 mg/m ³
Ammoniak	30 mg/m ³
Organische Stoffe nach 5.2.5 TA-Luft	
Organische Stoffe angegeben als Gesamtkohlenwasserstoff	50 mg/m ³
Stoffe der Nr. 5.2.5 Klasse II TA Luft (wie Essigsäure)	0,10 g/m ³
Stoffe der Nr. 5.2.5 Klasse I TA Luft (wie Ameisensäure, Dichlorethen, Acrylsäure, Allylglycidether, Methanol, etc.)	20 mg/m ³

Tabelle 3: Grenzwerte Abluftanlage entsprechend TA-Luft

3.3 Umweltbilanz

Die angestrebte Umweltentlastung resultiert aus der Substitution von fluorhaltigen Ausgangsstoffen. Da es sich bei den fluororganischen Substanzen um persistente wie auch bioakkumulative Verbindungen handelt, die zudem unter Verdacht stehen, kanzerogene wie auch reproduktionstoxische Eigenschaften zu besitzen, kann durch den Ersatz dieser Stoffe ein beträchtlich positiver Effekt für Mensch und Umwelt erzielt werden. Für einen vergleichbaren Abperleffekt auf Textilien ist häufig bis zu zweimal so viel des nachhaltigen Hydrophobierungsmittels im Vergleich zum fluorhaltigen Hydrophobierungsmittel erforderlich. Somit kann bei einer Jahresproduktion von ca. 3.000 t Hydrophobierungsmittel aus Reisschalenwachs ca. 1.500 t fluorbasierendes Hydrophobierungsmittel ersetzt werden. Die am Markt erhältlichen Hydrophobierungsmittel weisen einen Massenanteil der perfluorierten Bausteine von ca. 15 bis 20 % auf. Aus den ca. 300 t⁵ verwendeten perfluorierten Monomeren können potenziell die äußerst umweltgefährdende Perfluorhexansäure entstehen.

Fluorfreie Hydrophobierungsmittel werden am Markt bereits als Alternative zu den fluorhaltigen Produkten angeboten, jedoch besteht auch hier aus ökologischer Sicht noch erheblicher Optimierungsbedarf, um die damit einhergehenden Umweltbelastungen zu minimieren. Aktuell sind am Markt noch verschiedenste Technologien auf Basis von Polyurethanen, Polysiloxanen, Polyacrylaten, Melaminharzen, Paraffinen etc. verfügbar. Diese Substanzklassen beruhen jeweils zu einem hohen Anteil auf Erdöl basierenden Rohstoffen. Hier streben wir eine zukünftige Substitution durch biobasierte Rohstoffe an, da diese bezüglich ihrer CO₂-Bilanz und ihrer Umweltverträglichkeit deutliche Vorteile aufweisen. Wir setzen bereits seit Jahren auf nachhaltige Produkte. Das von uns bereits am Markt etablierte fluorfreie Hydrophobierungsmittel [®]RUCO-DRY ECO PLUS besteht bereits aus ca. 40 Gewichtsprozent biobasierten Materialien. Allerdings basiert der Wirkstoff des Produkts immer noch zu 60 % auf nicht natürlichen Rohstoffen. Dieser Anteil kann mit unserer neuen Technologie auf 10 % reduziert werden. Auch hier ist für einen vergleichbaren Abperleffekt auf dem Textil doppelt so viel des nachhaltigen Hydrophobierungsmittels auf Basis des Reisschalenwachses im Vergleich zu einem fluorhaltigen Produkt erforderlich. RUCO-DRY ECO PLUS besitzt einen Wirkstoffgehalt von ca. 20 % und einen Anteil Erdöl-basierender Rohstoffe von 60 %, d.h. bei einer Produktionsmenge von 3.000 t pro Jahr wären ca. 360 t Wirkstoff aus petrochemischen Quellen, während bei den neuen Hydrophobierungsmitteln dieser Wert bei 60 t liegt.

⁵ 1.500 t_{Hydrophobiermittel} X 20 %_{Wirkstoff} = 300 t_{perfluorierte Bausteine}

Zusammenfassend kann also mit der neuen Technologie der Einsatz von ca. 300 t perfluorierten Substanzen verhindert und zusätzlich der Einsatz von Erdöl-basierenden Rohstoffen auf 60 t reduziert werden. Dies ist zur besseren Übersicht in nachfolgender Tabelle 4 dargestellt.

Hydrophobierungsmittel	Fluorhaltige Produkte	Pro-	Fluorfreie Produkte (Beispiel [®] RUCO-DRY PLUS)	ECO	Neues Produkt (Reisschalenschalenwachs)	nachhaltiges (Reisschalenschalenwachs)
Produktionsmenge pro Jahr [t]	1.500		3.000		3.000	
Hydrophob-Wirkstoff	C ₆ -basiertes Poly(meth)acrylat		Polyurethan/Polysiloxan		Natürliche Wachse (Reisschalenschalenwachs)	
Wirkstoffgehalt [%]	27		20		20	
Wirkstoffmenge pro Jahr [t]	405		600		600	
Anteil Fluororganische Verbindungen Endprodukt [%]	15 - 20		0		0	
Fluororganische Verbindungen pro Jahr [t]	300		0		0	
Anteil Erdöl-basierender Rohstoffe [%]	unbekannt		60		10	
Erdöl-basierende Rohstoffe pro Jahr [t]	unbekannt		360		60	

Tabelle 4: Einsparung durch nachhaltige Hydrophobierungsmittel

Weitere Umweltentlastungen ergeben sich aufgrund des vollautomatisierten Prozesses und der daraus resultierenden hocheffizienten Anlage, wie im Abschnitt 3.2 bereits beschrieben. Diese sind nachfolgend nochmals aufgeführt:

- Erhöhung der Prozesssicherheit durch innovative Prozessverschaltung und hoher Automatisierungsgrad sowie Vermeidung von nicht zwingend erforderlichen Anlagenkomponenten (weitere Homogenisatoren).

- Vermeidung von hochbelasteten Prozessabwässern aufgrund der Kampagnenproduktion und der inline Spülvorgänge, dessen Spülmedium dem Produkt zugeführt werden kann.
- Effiziente Nutzung des Wirkstoffs, ebenfalls durch die innovativen inline Spülvorgänge
- Geringerer Kühlwasserverbrauch durch bedarfsgerechte Regelung.

Da für eine gleichbleibende Hydrophobierungswirkung auf dem Textil die doppelte Wirkstoffmenge des nachhaltigen Hydrophobierungsmittels erforderlich ist, ist eine größere Anlage erforderlich. Aufgrund des innovativen Prozesses kann zwar die Menge an Prozesswasser, Energiebedarf, Kühlwasserbedarf, etc. entscheidend reduziert werden, jedoch resultiert infolge der größeren Anlagentechnik sehr ähnliche Verbrauchswerte. Daher können keine weiteren Umweltentlastungen im Vergleich zum konventionellen fluorhaltigen Produkt aufgezeigt werden. Da zum aktuellen Zeitpunkt noch keine CO₂-Faktoren für die Ausgangsstoffe verfügbar sind, kann keine belastbare CO₂-Einsparung aufgezeigt werden.

Bei dem Vorhaben wurde neben dem Ersatz von fluorhaltige Wirkkomponenten auch die Toxizität und Persistenz des Endprodukts betrachtet. Da Reisschalenwachs weder wassergefährdend noch toxisch oder persistent und zudem biologisch abbaubar ist, ist nach CLP keine Einstufung notwendig. Die Einstufung des Endproduktes, das neben dem Reisschalenwachs Tenside enthält, erfolgt über standardisierte allgemeingültige Verfahren⁶. In diesem Zuge wurde auch die Eliminierbarkeit des Produktes in der Kläranlage berechnet. Aufgrund der kationischen Ladung des Endproduktes ist diese gut einzustufen. Zudem sind die Hauptkomponenten laut Sicherheitsdaten alle leicht biologisch abbaubar, so dass keine Indikatoren vorhanden sind, die zusätzliche Untersuchungen erfordern.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Investitionskosten für die Anlage belaufen sich auf insgesamt 3.910.547,53 €; die Gesamtförder-summe belief sich auf 779.973,08. Bei der nachfolgenden Berechnung wurde die geplante stufenweise und länderweise Vermarktung unseres Produktes herangezogen. Hierbei gehen wir von einer maximalen Kapazitätsauslastung der neuen Anlage von 3.000 t im Jahr 2026 aus.

Aufgrund der verzögerten Inbetriebnahme und Optimierung musste die geplante stufenweise Vermarktung aktualisiert werden. Zudem war bisher eine zögerliche Reaktion des Marktes auf das neue Produkt zu verzeichnen. Dies wird im nachfolgenden Kapitel 4.1 detaillierter erörtert.

⁶ Da es sich bei dem innovativen Hydrophobierungsmittel um kein Synthesprodukt handelt (nicht REACH-pflichtig), erfolgt die Bewertung über gängige Softwarelösungen (ChemGes).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung			
Jahre	Produktionsmenge [t]	Komm. Kapitalwert [-]	mit 20% Zuschuss [-]
2022	-	-3.919.548	-3.135.638
2023	200	-3.856.748	-3.272.480
2024	1.000	-3.536.468	-2.925.680
2025	2.500	-2.719.754	-2.041.340
2026	3.000	-1.720.096	-958.908
2027	3.000	-700.444	145.173
2028	3.000	339.600	
Amortisationszeit [a]		6,67	5,86

Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Aus der Tabelle 5 geht hervor, dass sich die Amortisationszeit mit dem erhaltenen Investitionszuschuss von 6,7 Jahren auf 5,9 Jahre verkürzt.

3.5 Technische Vergleichbarkeit zu konventionellen Verfahren

Bei der nachfolgend beschriebenen Referenzanlage zur Herstellung von fluorhaltigem Hydrophobierungsmittel handelt es sich um eine Anlage, die in dieser Anlagenkonstellation auch so betrieben wird und folgende Hauptausrüstungskomponenten umfasst:

- Multipurpose-Kessel mit Rührwerk und Temperierung, druckfest, 10 m³
- Behälter, nicht druckfest, 10 m³
- Multipurpose-Hochdruckhomogenisator mit Vorpumpe

Dabei sind der Reaktionskessel, Behälter und Homogenisator über Schlauchleitungen und Handventile miteinander verbunden. Im ersten Schritt wird im drucklosen Behälter die wässrige Phase (warmes Wasser und Hilfsstoffe) vorgelegt, während im Reaktionskessel die Vorbereitung und Temperierung der fluorhaltigen Monomermischung erfolgt. Die beiden Phasen aus wässriger Lösung und Monomermischung werden im nächsten Schritt zu einer Präemulsion zusammengeführt – eine Dosierkontrolle ist dafür nicht erforderlich. Zur Erzeugung einer stabilen Emulsion wird die Präemulsion mehrmals über einen 400 bar Hochdruckhomogenisator geführt, bis die notwendige Teilchengröße erreicht wird. Anschließend kann die stabile Emulsion in den Reaktorkessel befördert werden, in dem durch die Zugabe eines Initiators die Emulsionspolymerisation gestartet wird. Für eine vollständige Umsetzung der Monomere ist die Zugabe weiterer Initiator-Portionen in bestimmten Zeitabständen

notwendig. Nachfolgend wird das Produkt abgekühlt und die Produktqualität überprüft. Nach der bestandenen Qualitätsprüfung wird das fluorhaltige Hydrophobierungsmittel in Fässer oder IBCs abgefüllt.

Basis für diese Betrachtung bildet der resultierende vergleichbare Abperleffekt beim Imprägnieren der Textilien. Wie beschrieben, ist für das nachhaltige Hydrophobierungsmitteln die doppelte Menge im Vergleich zu den fluorhaltigen Chemikalien erforderlich. Dies stellt das maßgebliche Kriterium für eine vergleichbare Anlagenkapazität dar. Folglich resultiert eine jährliche Kapazität von 1.500 t. Um das nachhaltige Hydrophobierungsmittel herstellen zu können, besteht im Gegensatz zu der Referenzanlage eine prozessbedingte Notwendigkeit eines deutlich höheren Automatisierungsgrades von ca. 20 bis 25 % in Bezug auf Sensorik, Aktorik und Prozessleitsystem. Zusammengefasst unterscheidet sich die umgesetzte nachhaltige Anlage in den erforderlichen Automatisierungsgrad, Anlagenkomponenten und -kapazität.

4. Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Hersteller von Spezialchemie für die Textilindustrie haben schon vor einiger Zeit auf die Regulierung der C₈-basierenden perfluorierten Verbindungen durch die ECHA reagiert und auf alternative C₆-basierende Produkte umgestellt. Hierbei sind bereits weitere Regulierungen von Seiten der ECHA in Prüfung, wodurch zukünftig der Einsatz der letzten wirksamen fluorbasierenden Hydrophobierungsmittel drastisch eingeschränkt werden soll. Dies hat einen erheblichen Umbruch in der Textilindustrie zur Folge und erfordert die großtechnische Umstellung auf alternative fluorfreie Hydrophobierungsmittel. Am Markt befinden sich bereits verschiedene fluorfreie Produkte, welche den gewünschten wasserabweisenden Effekt auf den Textilien erzeugen können. Diese basieren jedoch, wie in der Ausgangssituation bereits erläutert, zu einem erheblichen Teil auf Erdöl basierenden Rohstoffen. Mit der Entwicklung und Umsetzung von Hydrophobierungsmitteln aus überwiegend nachwachsenden Abfallrohstoffen konnten wir eine nachhaltige Alternative am Markt vorstellen.

Neben der möglichen gesetzlichen Notwendigkeit der Umstellung, auf alternative fluorfreie Hydrophobierungsmittel, sind führende Textilhersteller speziell in der Bekleidungsbranche, aber auch im Bereich der technischen Textilien, Heim- und Haustextilien, mit einer wachsenden Nachfrage von ganzheitlich nachhaltigen Textilien konfrontiert. Insbesondere das Segment der Outdoorbekleidung sieht sich mit seinem häufig naturverbundenen Image und der zunehmend unter öffentlicher Kritik stehenden Verwendung von umweltbelastenden, wasserabweisenden Imprägnierungen zum Handeln gezwungen. Mit unseren fluorfreien und darüber hinaus nachhaltigen Hydrophobierungsmitteln können wir eine entscheidende Komponente für ökologisch unbedenkliche Textilien anbieten.

Trotz des starken Interesses an innovativen Hydrophobierungsmitteln auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen, war marktseitig bisher eine zögerliche Reaktion beim Kauf und Einsatz dieser neuartigen Produkte zu verzeichnen. Rückmeldungen von Kunden ergaben, dass diese zum Teil mit erhöhten Einsatzmengen arbeiten müssen, um das gewünschte Effektniveau zu erreichen. Im Zuge der Testphase konnten wir die Wirksamkeit des Produktes nachweisen, jedoch sind Schwankungen im Hydrophob-Effekt bei einzelnen textilen Artikeln zu beobachten. Dies ist aufgrund der Vielzahl an Materialien (Polyester, Polyamid, Baumwolle, Elasthan etc.) nicht auszuschließen. Des Weiteren können Substanzen aus vorhergehenden Prozessschritten einen stark negativen Einfluss auf die Wirkung des Produktes haben. Unbeständige Ergebnisse können auch auf die verschiedenen Ausrüstungsverfahren und unterschiedlichen Prozessparameter zurückzuführen sein, die bei in den textilen Produktionsbetrieben verwendet werden. Einen möglichen Ansatz sehen wir darin, das nachhaltige Produkt

(RUCO-DRY BIO CGR) mit bestehenden etablierten fluorfreien Produkten zu kombinieren. Dadurch sollen Referenzen geschaffen und die Unsicherheit reduziert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Etablierung neuartiger Produktkonzepte in der Textilindustrie häufig eine gewisse Zeit benötigt. Dennoch sind wir der Überzeugung, dass bio-basierte Hydrophobierungsmittel zukünftig eine größere Bedeutung bei Textilien erlangen werden.

4.2 Modelcharakter und Übertragbarkeit

Mit dem fluorfreien Hydrophobierungsmittel aus nachwachsenden Rohstoffen geht eine erhebliche Multiplikatorwirkung einher. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dieses Verfahren im breiten Feld der Ausrüstungschemie für die Textilindustrie zu adaptieren, wodurch sich der Einsatz von bedenklichen Rohstoffen deutlich reduzieren würde. Das Hydrophobierungsmittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe, wie bspw. Reisschalenwachs kann für folgende Textilien als wirksame wasserabweisende Imprägnierung eingesetzt werden:

Technische Textilien

- Automobil: Teppiche, Dachhimmel, Dämmungsmaterial
- Bau: Wärmeisolation, Dachunterspannbahnen,
- Landschaftsbau und Geotextilien
- Filtermaterialien

Bekleidungstextilien

- Outdoorbekleidung, Outdoorausrüstung
- Medizinische Schutzbekleidung
- Arbeitsschutzbekleidung
- Schuhmaterial

Heim- und Haustextilien

- Teppiche
- Markisen
- Möbelbezugsstoffe

Der Umsatz der Textil- und Bekleidungsindustrie in Deutschland betrug 2022 ca. 19,58 Mrd. EUR⁷ und diese ist eine der wichtigsten Konsumgüterbranchen in Deutschland. Somit kann bei erfolgreicher

⁷ [Textil- Bekleidungsindustrie: Umsatz bis 2022 | Statista](#)

Markteinführung eine weitreichende Multiplikatorwirkung erzielt werden, die maßgebliche Umweltentlastungen ermöglicht. Eine Übertragung auf die weiteren Branchen sehen wir in den nächsten Jahren als realistisch an.

4.3 Kommunikation der Projektergebnisse

Um das nachhaltige Hydrophobierungsmittel am Markt zu platzieren, wurden unterschiedliche Kommunikationswege genutzt. Nachfolgend sind die Kommunikationsmaßnahmen dargestellt, welche bereits erfolgt sind:

- Direktansprache bzw. Vorstellung bei bestehenden Kunden und Zielkunden (erfolgt)
- Information der Fach- und Lokalpresse über das innovative Verfahren (erfolgt)
- Besuch von Fachtagungen sowie Haus- und Fachmessen (erfolgt)
- Platzierung von Artikeln in Fachzeitschriften sowie auf Internetseiten (erfolgt)
- Vorstellung des innovativen und umweltrelevanten Verfahrens auf unserer Internetseite (erfolgt) sowie
- Vorstellung des innovativen Verfahrens auf der Homepage des Umweltbundesamts (erfolgt)

Im Rahmen von Fachmessen wurde das neue Produkt erstmals im Juni 2023 auf der ITMA (International Textile & Garment Technology Exhibition) beworben und war am Messestand Teil des Firmenauftritts. Ebenfalls ist im August 2023 die Präsentation des Produktkonzepts auf der Fachmesse „Interdye Asia“ in China erfolgt. Die neue Technologie wurde zudem auf Fachtagungen wie z.B. auf einem Meeting der AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorants) im Juli 2023, Durham, USA vorgestellt.

Das neue Produkt wird auf der [Unternehmenshomepage](#) wie auch auf der Seite „[BioSourced](#)“ aufgeführt. Weiter ist die Veröffentlichung eines Artikels (Ausgabe 05/06 2021) in der Zeitschrift „[TEXTIL-plus](#)“ erfolgt.

5. Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Einleitung

Die Rudolf GmbH ist ein mittelständisch geprägtes, international tätiges Familienunternehmen mit Sitz in Geretsried/Bayern, das vorwiegend Produkte für die Textilindustrie produziert und vertreibt. Unser Produktportfolio mit ca. 700 Produkten umfasst u. a. Textilhilfsmittel zur Vorbehandlung und Ausrüstung, wie auch Wirkstoffe für die Textilpflege. Eine wichtige Anwendung stellt dabei die Imprägnierung von Textilien mit Hydrophobierungsmitteln dar. Aufgrund ihrer schmutzabweisenden, hydro- und oleophoben Effekte werden in diesem Bereich häufig Fluorcarbonpolymere eingesetzt. Da diese persistenten sowie bioakkumulativen Verbindungen eine potenzielle Gefahr für Umwelt und Gesundheit darstellen, forschen wir bereits seit Jahren an fluorfreien Hydrophobierungsmitteln und konnten als Vorreiter der Branche 2005 ein Produkt auf am Markt platzieren, dessen Wirkkomponente zu einem großen Anteil auf petrochemischen Ausgangsrohstoffen basierte. Dem folgten weitere Wettbewerbsprodukte, welche ebenfalls entweder auf fossilen Rohstoffen basieren oder hinsichtlich ihrer Performance stark eingeschränkt sind. Aufgrund dieser signifikanten Nachteile haben wir in den letzten Jahren an fluorfreien Hydrophobierungsmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe geforscht und entwickelt. Mit der Umsetzung des neuartigen und effizienten Verfahrens mit hochautomatisierter Anlagentechnik ist es uns als erstes Unternehmen in der Branche gelungen, aus dem Abfallstoff Reisschalenwachs ein Hydrophobierungsmittel herzustellen.

Vorhabenumsetzung

Das Vorhaben wurde im Zeitraum vom 31.03.2021 bis zum 02.08.2022 am Standort in Geretsried umgesetzt. Dabei konnte die Planung, bauliche Maßnahmen, Beschaffung, Montage und Inbetriebnahme mit geringen zeitlichen Verzögerungen erfolgreich durchgeführt werden. Im Zuge der detaillierten Planung wurde das Anlagenkonzept weiter optimiert. Kleinere Schwierigkeiten stellten dabei sehr lange Lieferzeiten einzelner Anlagenkomponenten und personelle Engpässe bei den beauftragten Dienstleistern infolge globaler Herausforderungen (Corona-Pandemie, Rohstoffmangel, Ukraine-Krieg) dar. Die Anlage wurde im Sommer 2022 in Betrieb genommen und darauf aufbauend im Testbetrieb optimiert.

Ergebnisse

Das im Umweltinnovationsprogramm geförderte Vorhaben konnte erfolgreich durchgeführt werden und derzeit erfolgen Maßnahmen zur Markteinführung. Mit dem Hydrophobierungsmittel aus nachwachsenden Rohstoffen können umweltbelastende Ausrüstungschemikalien, die auf Fluorverbindungen basieren, substituiert werden. Ebenso ersetzen die alternativ verwendeten Ausgangsmaterialien auch existierende fluorfreie Hydrophobierungsmittel, bei deren Herstellung aktuell ein hoher Anteil Erdöl basierender Rohstoffe eingesetzt werden.

Die angestrebten Umweltentlastungen resultieren daraus, dass bei der angestrebten Vollauslastung 3.000 t eines auf Reisschalenwachs basierenden Hydrophobierungsmittels ca. 1.500 t eines fluorhaltigen oder ca. 3.000 t eines fluorfreien z.B. auf Polyurethan/Silicon o.ä. basierenden Ausrüstungsmittels ersetzt werden können. Fluorhaltige Hydrophobierungsmittel bestehen zu ca. 15 - 20 Gewichtsprozent aus perfluorierten organischen C₆-Verbindungen, die potenziell bei der Herstellung, beim Gebrauch und bei der Wäsche aber auch bei der nicht fachgerechten Entsorgung der Textilien über viele Abbauschritte in Form von Perfluorhexansäure in die Umwelt gelangen können.

Auf Basis der eingesetzten Wirkstoffe bedeutet dies, dass der potenziell maximale Eintrag von ca. 300 t der umweltschädlichen Perfluorhexansäure in die Umwelt sicher vermieden werden kann. Ersetzt man mit den neuen auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Hydrophobierungsmitteln bereits im Markt etablierte fluorfreie Hydrophobierungsmittel, ergeben sich ebenfalls positive Umweltaspekte. Insbesondere der Ersatz von üblichem Erdöl basierenden Rohstoffen durch nachwachsende Rohstoffe ist im Hinblick auf die CO₂-Bilanz vorteilhaft zu bewerten.

Ausblick

Bei der Vorstellung des neuen nachhaltigen Hydrophobierungsmittels war eine zögerliche Reaktion am Markt zu verzeichnen. Dies ist laut Kunden zum einen in der höheren erforderlichen Wirkstoffmenge und zum anderen in Schwankungen des Effektniveaus auf unterschiedlichen textilen Materialien begründet. Für eine bessere Wirksamkeit wird aktuell in einem Entwicklungsprojekt versucht, das Reisschalenwachs basierte Produkt noch weiter zu optimieren. Des Weiteren prüfen wir die Möglichkeit, das Hydrophobierungsmittel mit bestehenden etablierten fluorfreien Produkten zu mischen. Dadurch kann das Effektniveau eventuell angehoben werden, so dass die Performance Schwankungen in der Anwendung reduziert werden können. Mit diesem Ansatz können trotzdem Hydrophobierungsmittel mit einem sehr hohen Anteil an bio-basierten Rohstoffen hergestellt werden, die als Referenz für neuartige Technologien im Bereich der fluorfreien Hydrophobierung dienen können.

5.2 Summary

Summary

Introduction

Rudolf GmbH is a medium-sized, internationally active family owned company based in Geretsried/Bavaria, which mainly produces and sells products for the textile industry. Our product portfolio with about 700 products includes textile auxiliaries for pre-treatment and finishing, as well as active products for textile care. An important application is the treatment of textiles with hydrophobizing agents. Fluorocarbon polymers are often used in this area due to their dirt-repellent, hydrophobic and oleophobic effects. Since these persistent and bioaccumulative compounds pose a potential risk to the environment and health, we have been developing fluorine-free hydrophobing agents for years. As a pioneer in the industry, we were able to place a product on the market in 2005 whose active component was largely based on petrochemical raw materials. This was followed by other competitive products, which are also either based on fossil raw materials or are limited in their performance. Due to these significant disadvantages, in recent years we have conducted research and developed fluorine-free hydrophobing agents based on renewable raw materials. With the implementation of a with highly automated production technology and an innovative and efficient process, we have as the first company in the industry succeeded to produce a hydrophobizing agent from the waste material rice husk wax.

Project implementation

The project was implemented at the Geretsried site between March 31, 2021 and August 2, 2022. The planning, construction, procurement, installation and commissioning were successfully completed with only minor delays. In the course of detailed planning, the plant concept was further optimized. Minor difficulties included very long delivery times for individual plant components and personnel bottlenecks at the contracted service providers as a result of global challenges (Corona pandemic, shortage of raw materials, Ukraine war). The plant was commissioned in the summer of 2022 and optimized during the test phase.

Results

The project funded in the environmental innovation program was carried out successfully and actions are currently being taken to launch the product on the market. With the hydrophobizing agent made from renewable raw materials, environmentally harmful finishing chemicals based on fluorine compounds can be substituted. The alternatively used starting materials also replace existing fluorine-

free hydrophobizing agents, in the manufacture of which a high proportion of crude oil-based raw materials are currently used.

The desired environmental relief results from the fact that at the desired full capacity, 3.000 t of a hydrophobizing agent based on rice husk wax can replace around 1.500 t of a fluorine-containing or around 3.000 t of a fluorine-free finishing agent, e.g. based on polyurethane/silicone or similar chemistry. Fluorine-containing hydrophobizing agents consist of approx. 15 - 20 percent by weight of perfluorinated organic C₆ compounds, which can potentially be released into the environment in the form of perfluorohexanoic acid during production, use and washing, but also if the textiles are not disposed of properly.

Based on the active ingredients used, this means that the potentially maximum emission of around 300 t of the environmentally harmful perfluorohexanoic acid into the environment can be safely avoided. If you replace fluorine-free hydrophobizing agents that are already established on the market with the new hydrophobizing agents based on renewable raw materials, there are also positive environmental aspects. In particular, the replacement of conventional petroleum-based raw materials with renewable raw materials is to be rated as advantageous with regard to the CO₂ balance.

Outlook

When the new, sustainable hydrophobizing agent was launched, there was a hesitant reaction on the market. According to customers, this is due on the one hand to the higher amount of active ingredient required and on the other hand to fluctuations in the effect level on different textile materials. For better effectiveness, a development project is currently trying to further optimize the rice husk wax-based product. We are also examining the possibility of mixing the hydrophobizing agent with existing established fluorine-free products. As a result, the effect level can possibly be increased, so that the performance fluctuations in the application can be reduced. With this approach, hydrophobizing agents with a very high proportion of bio-based raw materials can still be produced, which can serve as a reference for new technologies in the field of fluorine-free hydrophobizing.