

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**RWTH Aachen University, Institut für Textiltechnik und Lehrstuhl für
Biotechnologie**

**Bio4MatPro: BoostLab5-4 – BioFlaT, Biohybride FlammSchutzAusrüstung für
Textilien,**

Verantwortliche Autoren: Rahel Heesemann, Lilin Feng

031B1158A

**„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des
Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1213B
gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der
Autorin/beim Autor.“**

TEIL II – Schlussbericht - Eingehende Darstellung

Zuwendungsempfänger: RWTH Aachen, Institut für Textiltechnik und Lehrstuhl für Biotechnologie	Förderkennzeichen: 031B1158A
Vorhabenbezeichnung: Modellregion, Phase 1, Bio4MatPro: BoostLab5-4 – BioFlaT, Biohybride FlammSchutzAusrüstung für Textilien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 – 31.03.2024	
Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 31.03.2024	

1. Was sind die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten?

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung entsprachen und die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewandt werden. Die erzielten Ergebnisse des Vorhabens und die bei der Projektbearbeitung gewonnenen Methoden und Erkenntnisse bieten dem ITA im Bereich der Forschung und Qualifizierung die Möglichkeit weitere Projektideen zu generieren und im Rahmen von Schulungen, Weiterbildung und direkten Industrieprojekten die Ergebnisse in andere Produktbereich zu transferieren. Die Zuwendung wurde entsprechend dem Verwertungsplan verwendet, um die geplanten Ergebnisse zu erzielen.

Die Zuwendung wurde wirtschaftlich und sparsam verwendet. Es wurden nur Ausgaben getätigt, die für die Erreichung der Zielsetzung des Vorhabens notwendig waren. Die Komplexität der Entwicklung einer biohybriden Ausrüstung für FlammSchutztextilien nur durch die Zusammenarbeiten der beiden Forschungsstellen zusammen mit dem Industriepartner möglich. Dies spiegelt sich im Besonderen dadurch wider, dass fachliche Kompetenzen für die Herstellung von Ankerpeptiden, der Ausrüstung von Textilien, dem Anlagenbau und den Anwendungsanforderungen besteht.

2. Was sind der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse?

Die Entwicklungen im BioFlaT Projekt haben gezeigt, dass es mit Hilfe von Ankerpeptiden möglich ist, FlammSchutzmittel auf Glasgewebe zu applizieren ohne die FlammSchutzzeigenschaften zu beeinträchtigen. Dies führt nicht nur zu einer Kosten- und Energieeinsparung, sondern reduziert auch die Menge der zu verwendeten FlammSchutzmittel. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die Appretur aus Ankerpeptiden und FlammSchutzmittel mittels Foulardverfahren aufgebracht werden können. Die obgenannten Entwicklungen sind eine Voraussetzung für zukünftigen nachhaltigere und umweltfreundlichere FlammSchutzmittel, gemäß der REACH-Verrordnung. Die Verwendung von biohybriden FlammSchutzmittel trägt zur Reduzierung der Umweltbelastungen bei und stärkt somit das Marktpotenzial.

Zudem plant das Konsortiums ein Folgeprojekt, um den Veredlungsprozess sowie die Herstellung von Ankerpeptiden industriell zu ermöglichen. Ziel dieses Projekts ist es, die bisherigen Forschungsergebnisse in die Praxis umzusetzen und die Produktionsprozesse so zu optimieren, dass eine großskalige Herstellung wirtschaftlich und effizient durchgeführt werden kann. Dies umfasst die Entwicklung und Verbesserung von Verfahren zur Synthese und Veredelung der Ankerpeptide, um

deren Qualität und Funktionalität zu maximieren. Durch die Industrialisierung dieser Prozesse sollen neue Anwendungen in verschiedenen Bereichen erschlossen werden.

3. Was sind die Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens, die während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen sind?

Eine in der Endphase des Projektes durchgeführte Recherche hat ergeben, dass keine vergleichbaren Entwicklungen im Bereich der biohybriden Flammschutzmittel für Textilien stattgefunden haben, die mit den im Projekt verfolgten Zielen übereinstimmen.

4. Was sind die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF?

- Krause, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Kampas, L
Presenting possibilities for non-toxic textile flame retardants
Clotech Conference 2022, 22.09.2022, Gdynia, Polen
- Krause, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Kampas, L
Development of a Process for Flame Retardant Coating of Textiles with Bio-Based Anchor Peptides
PacSurf Conference 2022, 22.12.2022, Hawaii, Big Island, Waikoloa, USA
- Krause, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Feng, L.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Kampas, L.
BoostLab5-4 : BioFlaT : biobasierte Flammschutzausrüstung für Textilien
1. Jahresversammlung des Kompetenzzentrum Bio4MatPro, Aachen 05.-06. Oktober 2022
- Krause, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Feng, L.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Kampas, L.
BoostLab5-4 : BioFlaT : biobasierte Flammschutzausrüstung für Textilien
1. Jahresversammlung des Kompetenzzentrum Bio4MatPro, Düsseldorf 25.-26. Mai 2023
- Heesemann, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Feng, L.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Kampas, L.
Reduction of the amount of flame retardants used for fire protection textiles through a bio-based finish using anchor peptides
PPE Seminar 2023, 14 - 16 June, 2023, Rixensart, Belgium
- Heesemann, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Rey, M.; Gries, T.; Feng, L.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.
Development of a process for flame retardant coating of textiles with bio-hybrid anchor peptides
Journal of Vacuum Science and Technology, A: Vacuum, Surfaces, and Films 41 (2023), H. 5, Art. 053110, doi: 10.1116/6.0002776
- Heesemann, R.; Bettermann, I.; Paul, R.; Gries, T.; Feng, L.; Nöth, M.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Danielsiek, D.
BoostLab5-4 : BioFlaT : biobasierte Flammschutzausrüstung für Textilien
1. Jahresversammlung des Kompetenzzentrum Bio4MatPro, Düsseldorf 06.-07. Mai 2024
- Heesemann, R.; Sanders, M.; Paul, R.; Bettermann, I.; Gries, T.; Feng, L.; Schwaneberg, U.; Hummelsheim, C.; Danielsiek, D.
Development of a finishing process for imbuing flame retardancy into materials using biohybrid anchor peptides
Applied Sciences 14 (2024), Art. 6107, doi: 10.3390/app14146107

Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

AP1: Präzisierung des Anforderungsprofils mit Bezug zu textilen Substraten, Flammenschutzadditiven und Prozessbedingungen

- **Alle Projektpartner**

Im Rahmen des AP 1 veranstalteten das Institut für Textiltechnik (ITA) und die Klevers GmbH & Co. KG einen gemeinsamen Workshop zur Anforderungsermittlung von Chemikalien und Textilien. Der Fokus des Workshops lag auf der Identifikation möglicher Flammenschutzmittel und geeigneter Textilien für verschiedene Anwendungen. Durch die Anwendung der Brainstorming-Methode wurden zahlreiche potenzielle Materialien und Substanzen identifiziert, die den Anforderungen an Sicherheit und Funktionalität gerecht werden können. Die erste Phase des Workshops konzentrierte sich auf die Identifikation möglicher Flammenschutzmittel. Das Ziel war es, eine Liste von Substanzen zusammenzustellen, die in verschiedenen Anwendungen verwendet werden können, um die Entflammbarkeit von Textilien zu reduzieren. Die folgenden Flammenschutzmittel wurden identifiziert:

- Compound: Roter Phosphor und Melamin Zyanorat
- Phosphonsäure Ester „SR 15“
- Melamin Zyanorat
- Compound: Ammoniumpolyphosphat
- Synergistische Antimonmischung
- Aluminiumtrihydroxid (ATH)
- Magnesiumhydroxid
- Blähgraphit
- Titandioxid mit Platin (als Flammenschutz nur für Silikone)
- Schwefelbasierte Flammenschutzmittel (neue Typen)

Um den Einsatz von den Flammenschutz-Chemikalien in Textilien optimal zu gestalten, müssen verschiedene Anforderungen berücksichtigt werden. Diese umfassen die Lieferkette und -zeit, Hochskalierbarkeit, Gefahrstoffrisiko, Zertifizierung, Erfahrung, Flammenschutz, Preis, Farbe, chemische Wechselwirkung, Garnausstattungsfähigkeit, Härte (Verarbeitung Weben), Beeinflussung der Reißfestigkeit und Staubentwicklung im Prozess. Im Folgenden wird eine detaillierte Betrachtung dieser Anforderungen vorgestellt

Im zweiten Teil des Workshops lag der Fokus auf der Bestimmung möglicher Textilien, die für verschiedene Anwendungen geeignet sind:

- Aramide
 - Preox (Regenerat)
 - Para-Aramid (Filament)
- Glas
 - Glasfaser glatt
 - Glasfaser texturiert
 - Glasfaser V4H

- Mischgewebe
 - Poly-Cotton
- Naturfasern
 - Hanf
 - Flachs

Die Anforderungen an die Textilien sind die folgenden:

- Nachhaltigkeit
- Potenzial 2 Linien / Hochskalierung
- Erfahrung
- Lieferfähigkeit
- Konfektionierbarkeit
- Beschichtbarkeit
- Gleichmäßigkeit (Qualität)
- Brandverhalten
- Verarbeitbarkeit

Mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs und einer Nutzwertanalyse werden die wichtigsten Anforderungen an die Chemikalien und die Textilien erarbeitet. Die fünf wichtigsten Anforderungen an die Chemikalien sind: 1. Gefahrstoffrisiko, 2. Flammschutz, 3. Chemische Wechselwirkung, 4. Garnausrüstbarkeit, 5. Beeinflussung der Reißfestigkeit

Für die Textilien sind die fünf wichtigsten Anforderungen folgende: 1. Ausrüstbarkeit, 2. Brandverhalten, 3. Verarbeitbarkeit, 4. Nachhaltigkeit, 5. Erfahrung

Mit Hilfe der wichtigsten Anforderungen werden gemeinsam folgende Textilien und Flammschutz Chemikalien aus dem Portfolio von dem Partner Klevers gewählt (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Untersuchte Textilien und Flammschutzmittel

Textilien	Flammschutzmittel
1. KlevoGlass 320-3 RL	1. Addiflam S1MCP 5050/500
2. KlevoGlass 332-1 KK	2. Addiflam Slurry DE 100/700
3. KlevoGlass Itex 450-1 L	3. Blähgraphit ES100 C10
4. KlevoGlass 550 V4A-1 L	4. ATH Alfrinat 104
5. KlevoGlass Texo 640-1 L	5. Addiflam Slurry APP F2 MF-500
6. KlevoGlass 660 V4A-2 Karo	6. Addiflam POW MCH Eco
7. KlevoGlass Texo 1260 V4A-1 P	
8. KlevoMid 290-3 L	
9. Optisyn 220	

Als Zielprodukt wie ein Feuerschutzvorhang aus drahtverstärktem Glasgewebe gewählt.

Nach der Definition der Textilien und der Flammschutzmittel sowie des Zielprodukts werden gemeinsam mit dem Partner Klevers die Anforderungen für den Veredelungsprozess aufgestellt (siehe Tabelle 2).

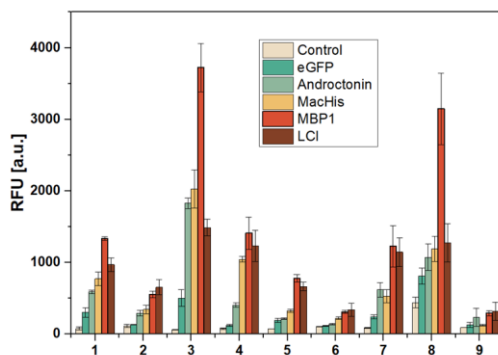
Tabelle 2: Anforderungsprofil an das Veredlungssystem

Anforderungsprofil an das Veredlungssystem:	
Viskosität der Beschichtungsmasse:	Geringe Viskosität Kein Beschichtungsauftrag als Paste möglich – nur als Lösungsmittel
Auftragdicke:	Geringe Dicke Keine wesentliche Beeinträchtigung der Funktionalität des Textils zulässig – angestrebtes Flächengewicht: 20 g/m ² (bisher verwendetes zusätzliches Flächengewicht)
Menge Flammschutzadditive:	Geringe Menge Flammschutzadditive Ziel: möglichst ressourcenschonendes Beschichtungssystem und weniger als 30 % Gewichtsauflage zur Erhaltung der textilen Eigenschaften
Verlust der Menge an Flammschutzadditiven:	Minimal mögliche Verlustmenge an Flammschutzadditiven
Beschichtungsauftrag einseitig/beidseitig:	beidseitig
Eigenschaft der Beschichtung	permanent
Verarbeitbarkeit des verwendeten Materials:	Verarbeitbarkeit von Optisyn 220 und KlevoGlass 660 als Textil gewährleistet
Temperaturführung des Beschichtungssystems:	Beschichtung bei Raumtemperatur
Potential Hochskalierung:	Anwendbarkeit auf industriellen Maßstab Etabliertes Verfahren notwendig
Gleichmäßigkeit Beschichtung:	Hohe Qualität der Beschichtung Sichere Flammschutzausrüstung hat hohe Priorität
Verfahrenskosten:	Wettbewerbsfähige Verfahrenskosten
Verfahrensgeschwindigkeit:	Min. 6 – 8 m/min Durchschnittliche Produktionsgeschwindigkeit zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit
Zugspannung:	1200 – 1500 N/m
Walzendurchmesser:	140 – 180 mm
Abstand zwischen den Quetschwalzen:	Variabel einstellbar unterschiedliche Dicke der verwendeten Materialien, Abstand der Walzen muss flexibel einstellbar sein
pH-Wert Lösungsmittel:	8 Der PH-Wert des Lösungsmittels ist durch die Wahl der Ankerpeptide und Flammschutzmittel festgelegt auf 8
Aufbereitung des Lösungsmittels:	Lösungsmittel muss kontinuierlich durchmischt werden Flammschutzmittel setzt sich ohne kontinuierliche Durchmischung nach etwas fünf Minuten am Boden ab
Einwirkdauer Lösungsmittel:	Min. 3 Minuten

AP 2: Identifizierung weiterer Ankerpeptiden und Performancevergleich für textile Substrate

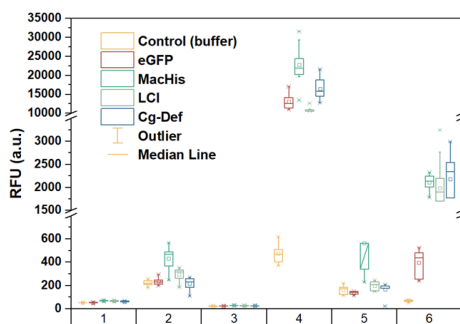
- Durchführung von Partner BioTec

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 wurde die Identifizierung von Ankerpeptiden für textile Flächen und Flammenschutzmittel durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden sieben Peptide aus der BIOTEC-Ankerpeptid-Bibliothek auf der Grundlage bekannter Materialbindungseigenschaften ausgewählt. Nach dem Pre-Screening wurden die vier Peptide, die am besten an Textilien und Flammenschutzmittel gebunden haben, gereinigt und erneut auf die Bindung an Textilien und Flammenschutzmittel untersucht. Dabei wurden die folgenden Peptide identifiziert, die eine wirksame Funktionalisierung der entsprechenden Textilien und Flammenschutzmittel zeigten (Abbildung 1 und Abbildung 2). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde der erste Meilenstein des BioFlaT-Projekts erreicht. Von den untersuchten Textilien konnten bis zu drei, aber mindestens ein bindendes Verankerungspeptid identifiziert werden (>30% Belegungsdichte für jedes ausgewählte Textil, verifiziert durch Fluoreszenzmikroskopie). Bei den Flammenschutzadditiven konnten bis auf zwei Flammenschutzadditive (Addiflam S1MCP5050/500 und Blähgraphit ES100 C10) bis zu drei, aber mindestens ein gebundenes Verankerungspeptid identifiziert werden. In Absprache mit dem Projektpartner Klevers stellt dies jedoch keine Bedrohung für den Projekterfolg dar, da die verbleibenden Flammenschutzadditive eine vielfältige und anwendungsrelevante flammhemmende Ausrüstung ermöglichen.



	Textil	Ankerpeptide
1	KlevoGlass 320-3 RL	MBP1, MacHis, LCI
2	KlevoGlass 332-1 KK	MBP1, LCI
3	KlevoGlass Itex 450-1 L	MBP1, MacHis
4	KlevoGlass 550 V4A-1 L	MBP1, MacHis, LCI
5	KlevoGlass Texo 640-1 L	MBP1, LCI
6	KlevoGlass 660 V4A-2 Karo	MBP1, MacHis, LCI
7	KlevoGlass Texo 1260 V4A-1 P	MBP1, LCI
8	KlevoMid 290-3 L	MBP1
9	Optisyn 220	MBP1, LCI

Abbildung 1: Bindungseigenschaften von Peptiden auf Textilien (links) und Überblick über Textilien und ausgewählte Bindungsankerpeptide (rechts)



	Flammenschutzmittel	Ankerpeptide
1	Addiflam S1MCP5050/500 (N19)	-
2	Addiflam Slurry DE 100/700	MacHis
3	Blähgraphit ES100 C10	-
4	ATH Alfrimat 104	MacHis, Cg-Def
5	Addiflam Slurry APP F2 MF-500	MacHis
6	Addiflam Pow MCA Eco	MacHis, LCI, Cg-Def

Abbildung 2: Bindungseigenschaften von Peptiden auf Flammenschutzmittel (links) und Überblick von Flammenschutzmittel und ausgewählte bindende Ankerpeptide (rechts)

AP 3: Ausrüsten von Ankerpeptiden mit Flammschutzadditiven

- Durchführung von Partner BioTec

In Arbeitspaket 3 wurden die identifizierten Ankerpeptide zu bifunktionellen Peptiden kombiniert und die Anwendung des flammhemmenden Zusatzstoffes in Textilien untersucht. Die möglichen

Kombinationen sind in Abbildung 3 aufgeführt. Alle bifunktionellen Peptide wurden gensynthetisiert und erfolgreich im *E. coli*-Wirtstamm exprimiert. Die Expressionsstärke der bifunktionellen Peptide wurde durch SDS-PAGE bestätigt. Das Molekulargewicht der bifunktionellen Peptide liegt bei 16-18 kDa. Wie aus der SDS-PAGE (Abbildung 4) hervorgeht, wurden alle bifunktionellen Peptide erfolgreich in *E. coli* exprimiert, da in allen Proben eine markante Bande im Bereich zwischen 16 und 18 kDa zu sehen war.

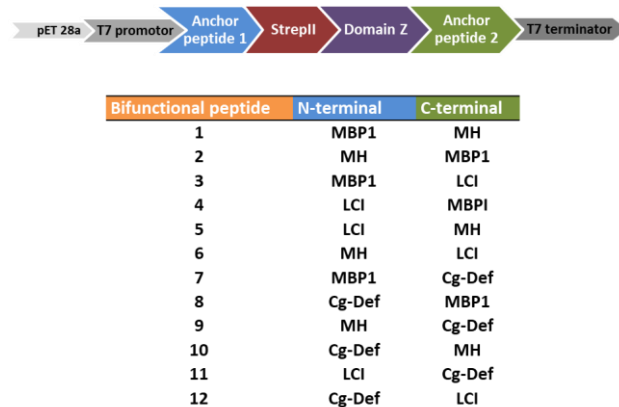


Abbildung 3: Mögliche Kombinationen für bifunktionale Peptide

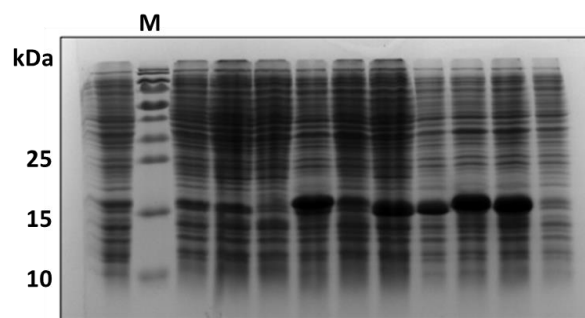


Abbildung 4: SDS-PAGE von bifunktionalen Peptiden nach Induktion

Vor der Reinigung und dem individuellen Screening der verschiedenen bifunktionellen Peptide mit den verschiedenen Flammschutzmitteln und Textilien wurden die Rohextrakte der bifunktionellen Peptide an alle verfügbaren Flammschutzmitteladditive gebunden und auf Fluoreszenz getestet, um ihre Bindungsstärke an die Flammschutzmitteladditive zu bewerten (Abbildung 5). Das Ergebnis zeigt, dass die Flammschutzmittel S1MCP, APP F2 MF-500 und Blähgraphit nur sehr geringe Fluoreszenzwerte aufwiesen, was darauf hindeutet, dass die Bindungsstärke der bifunktionellen Peptide an diese Flammschutzmittel gering war. Aus diesem Grund wurden sie von der weiteren Arbeit ausgeschlossen. Addiflam MCA, ATH Alfrimat und DE 100/700 wiesen hohe Fluoreszenzwerte auf, was bedeutet, dass die Bindungsaffinität der rohen bifunktionellen Peptide vergleichsweise höher war als die der anderen drei Flammschutzmitteladditive. Die Arbeit wurde mit den drei vielversprechenden Flammschutzmittelzusätzen fortgesetzt. Mehrere bifunktionelle Peptide wiesen eine hohe Bindungsstärke an die Flammschutzmitteladditive auf. Bei der Analyse von Addiflam MCA, ATH Alfrimat und DE 100/700 zeigten bifunktionelle Peptide wie LCI-MH, Cgdef-MH, LCI-MBP1, MBP1-LCI, MBP1-MH und MH-MBP1 die vielversprechendsten Ergebnisse mit Fluoreszenzwerten zwischen 2.500 und 20000 RFU (Relativer Fluoreszenzwert).

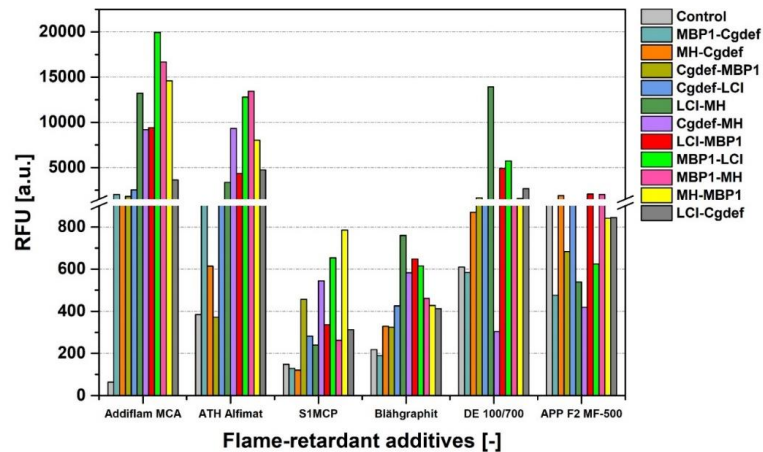


Abbildung 5: Bindungstest von bifunktionellen Peptiden (Rohextrakt) an Flammenschutzadditive

Zusätzlich wurden die gebundenen Flammenschutzmittel unter dem Licht-/Fluoreszenzmikroskop untersucht, um das Vorhandensein von bifunktionellen Peptiden zu bestätigen. Die Bilder von gebundenem Addiflam MCA wurden als Beispiel genommen. Nach der Bindung der bifunktionellen Peptide an die Flammenschutzmittel wurde der Konjugationsfarbstoff Strep-Tactin Chromeo™ 549 zum Nachweis der bifunktionellen Peptide verwendet, da er sich spezifisch mit dem StrepII-Tag auf bifunktionellen Peptiden verbinden kann. Wie in den Mikroskopiebildern (Abbildung 6) zu sehen ist, bestätigt die rote Farbe des Farbstoffs das Vorhandensein von bifunktionellen Peptiden auf den Flammenschutzmitteln.

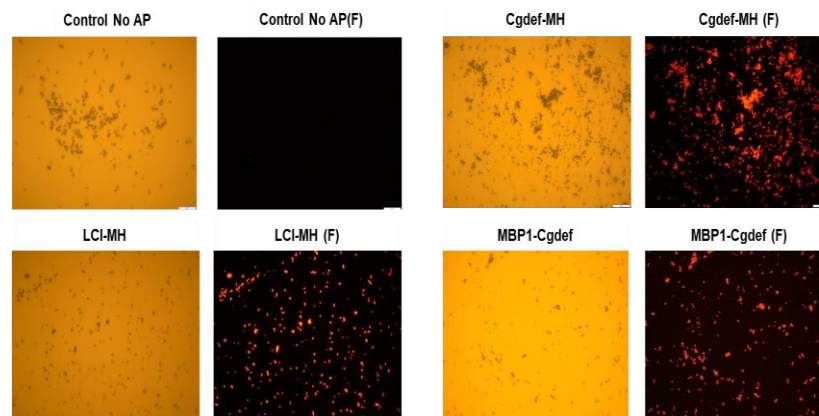


Abbildung 6: Mikroskopische Aufnahmen der Bindungsleistung von bifunktionellen Peptiden an Flammenschutzmittel

AP 4: Durchführung von Veredlungsvorgängen im Labormaßstab

- Durchführung vom Partner ITA und Biotech

In Arbeitspaket 4 wurden alle Kombinationen von Flammenschutzmitteln und Textilien getestet. Die vielversprechenden Kombinationen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Für das Flammenschutzmittel DE 100/700 konnte kein geeignetes bifunktionelles Peptid gefunden werden, das die Beschichtung auf allen ausgewählten Textilien vermittelt. Für Alfrimat ATH wurde festgestellt, dass LCI-MH und LCI-CgDef die Beschichtung auf Optisyn, KlevoGlass 550 V4A-IL bzw. KlevoMid 290-3L vermitteln können. Addiflam MCA ist ein recht vielversprechendes Flammenschutzmittel, da viele vielversprechende Kombinationen dafür beobachtet wurden. Die vielversprechendsten Ergebnisse wurden für Optisyn und KlevoGlass 550 V4A-IL erzielt, da MBP1-CgDef bzw. CgDef-MH eine sehr gute Beschichtung von Addiflam MCA auf diesen Materialien ermöglichen. Die detaillierte Analyse der Beschichtungs-ergebnisse wurde mit Hilfe der

Mikroskopie durchgeführt. Die Mikroskopieergebnisse (Abbildung 7 und Abbildung 8) bestätigten, dass MBPI-CgDef die erfolgreiche Bindung von Addiflam Pow MCA an Optisyn 220 und CgDef-MH die erfolgreiche Bindung von Addiflam Pow MCA an KlevoGlass 550 V4A-IL vermittelte.

Tabelle 3: Alle Kombinationen von Flammschutzmittel und Textilien

	Addiflam MCA	Alfrimat ATH	DE 100/700
Optisyn (wasserabweisend)	MBP1-Cgdef	LCI-MH	-
Optisyn (nicht wasserabweisend)	MBP1-Cgdef	-	-
KlevoGlass Itex 450-IL	MH-Cgdef Cgdef-MH	-	-
KlevoGlass 550 V4A-IL	MH-Cgdef Cgdef-MH	LCI-Cgdef	-
KlevoMid 290-3L	-	LCI-Cgdef	-

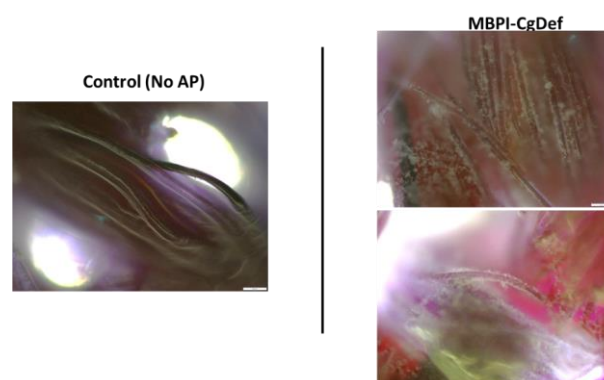


Abbildung 7: Bindungstest von Addiflam Pow MCA auf Optisyn 220

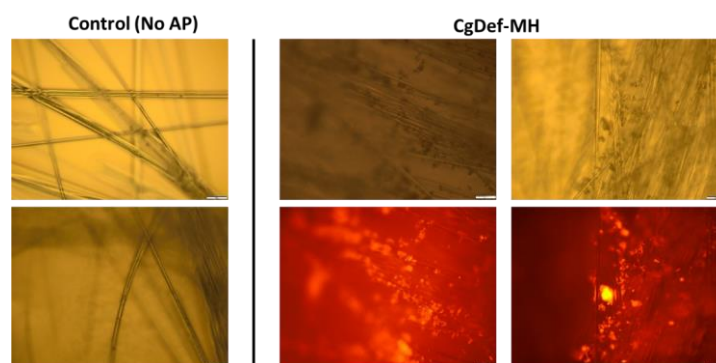


Abbildung 8: Bindungstest von Addiflam Pow MCA Eco auf KlevoGlass 550

Nachdem die Formalitäten des Screenings für das Hauptwerk abgeschlossen waren, wurde ein Upscale der Veredelung der Textilien unternommen. Um dies zu ermöglichen, arbeitete BIOTEC mit dem ITA zusammen, um diesen Versuch zu realisieren. Ein Prozess zur kontinuierlichen Veredelung des Textils mit bifunktionaler peptidgebundener flammhemmender Lösung wurde vom ITA konstruiert und gebaut. Für die Bindung des Flammschutzmittels wurde für den ersten Versuch das bifunktionelle Peptid Cgdef-MH an Addiflam MCA gebunden. Die Testmuster wurden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Zeiten durch den Prozessor laufen gelassen, um zu beobachten, wie diese Faktoren die durch Cgdef-MH vermittelte Beschichtungseffizienz von Addiflam MCA auf dem Textil verändern können.

Zur Veredelung im Labormaßstab wird ein Prozess zusammen mit dem Partner Klevers entwickelt. Zur Festlegung geeigneter Prozessparameter für den Veredelungsprozess im Labormaßstab erfolgt zunächst eine Literatur- und Marktrecherche bzgl. herkömmlicher Textilveredelungsverfahren für Gewebe. Zu

diesen Verfahren gehören Rakelauftrag, Foulard und Walzenauftrag. In einem gemeinsamen Workshop werden Anforderungen an den Beschichtungsprozess festgelegt. Mittels der Methode des paarweisen Vergleichs werden die Anforderungen gewichtet und ein Verfahren zur Ausrüstung ausgewählt (Tabelle 4):

Tabelle 4: Bewertung und paarweiser Vergleich der verschiedenen Verfahren

	Gewichtung	Rakelauftrag	Foulard	Walzenauftrag
Beidseitige Beschichtung	0,17	3	9	3
Dosierbare Auftragsmenge	0,33	6	9	9
Homogenität	0,5	3	6	6
Resultat	-	3,99	7,5	6,48

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Tabelle wird sich für ein Veredelungsverfahren mit Foulard entschieden. Die Anforderungen an den Foulard werden gemeinsam von den Projektpartnern wie folgt definiert:

- Einstellbarer Anpressdruck
- Einstellbare Aufwicklungsgeschwindigkeit
- Leicht zu reinigen

Zusätzlich werden die Anforderungen an die Anpresswalzen des Foulards wie folgt definiert:

- Sehr glatt
- Weich (verschiedene Weichheitsgrade müssen getestet werden)
- Gummiert
- Keine Absorption von Flüssigkeit
- Beständigkeit gegen Säuren und Laugen

Für die Laborbeschichtung wird ein Foulard konstruiert und gefertigt. Um die Geschwindigkeit mit der das Textil beschichtet wird zu variieren, wird ein Stirnradgetriebemotor und ein Frequenzumrichter für die Konstruktion gewählt. Als Material für die Walzenoberfläche werden auf Grund ihrer chemischen Eigenschaften und Resistenzen Polyurethan (PU) und Polyvinylchlorid (PVC) gewählt.

Im Rahmen eines gemeinsamen Meilensteinworkshops werden die Anforderungen für den Textilveredelungsprozess präzisiert:

- Durch die Versuche am Biotech-Lehrstuhl ist bekannt, dass sich die Ankerpeptide samt Flammschutzmittel am Boden der Beschichtungswanne absetzen. Aus diesem Grund wird Beschichtungslösung bei den Versuchen am Biotech-Lehrstuhl geschüttelt.
 - Um das Schütteln auf den Foulard zu übertragen wird die Konstruktion des Laborfoulards um einen Magnetrührer angepasst. Durch den Magnetrührer wird die Veredelungslösung vermischt und die Ankerpeptide mit Flammschutzmittel setzen sich nicht am Boden ab. Darüber hinaus ergaben sich weitere Ergebnisse aus den Beschichtungsversuchen.
- Das Textil muss min. für 3 Minuten in die Lösung getränkt werden
 - Die Konstruktion des Foulards wird um eine Möglichkeit der Batch-Veredelung erweitert
- pH-Wert der Lösung: 8

- Keine Konstruktionsanpassung an den Foulard notwendig.

- Konstruktion Foulards

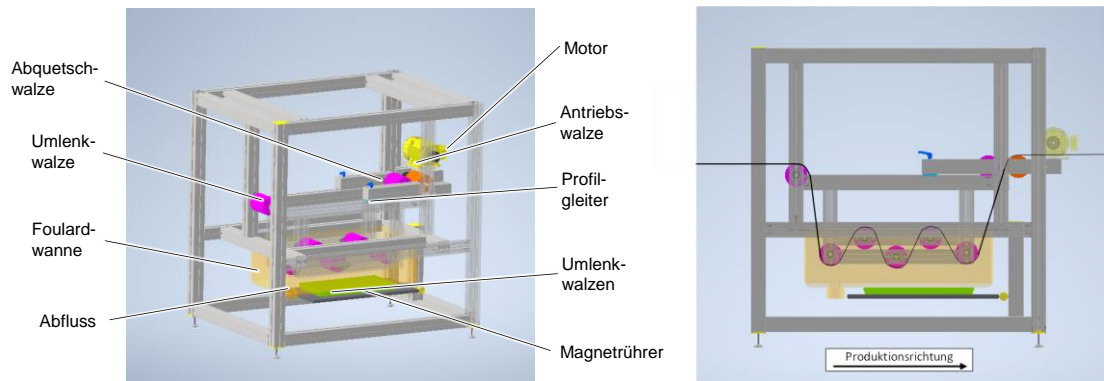


Abbildung 9: CAD-Zeichnung Labor-Foulard

Abquetschwalzen

Bei der Installation beider Abquetschwalzen wird eine horizontale Anordnung verwendet. Grund dafür ist eine einfachere Handhabung bei der Abstands- und Druckeinstellung gegenüber einer Anordnung mit Winkel. Die außenliegende Walze dient dabei als Antriebswalze und ist nicht verschiebbar. Die innenliegende Walze kann durch den Einsatz von Profilleitern axial verschoben werden. Die Abquetschwalze ist fest an das obere Aluminiumprofil montiert. Das Aluminiumprofil ist auf dem untenliegenden Profil horizontal verschiebbar. Zur exakten Einstellung des Anpressdrucks werden bei Initialversuchen Dehnungsmessstreifen für transiente Druckmessungen verwendet. Nach Einstellung des gewünschten Anpressdrucks werden diese Positionen auf dem Aluminiumprofil für beide Zieltextilien markiert. Hierdurch sind vergleichbare Versuchsreihen auch nach mehrmaligem verschieben der Profilleiter möglich.

Durchmischung Veredlungsappretur

Das eingesetzte Lösungsmittel besteht aus einer Pufferlösung, Ankerpeptiden und einem Flammschutzmittel. Es muss kontinuierlich durchmischt werden, um eine dauerhafte Homogenität der Flüssigkeit zu gewährleisten. Der Grund hierfür ist, dass die Moleküle des Flammschutzmittels wesentlich schwerer sind als die Ankerpeptide und deshalb nach etwa fünf Minuten auf den Boden absinken. Das Flammschutzmittel muss folglich dauerhaft in Schwebelage gehalten werden. Die Mischwirkung wird im Anwendungsfall im Labor durch zwei einstellbare Magnetrührer erreicht.

Prozessgeschwindigkeit

Aus experimentellen Versuchen geht hervor, dass das Lösungsmittel mindestens drei Minuten Einwirkzeit auf dem textilen Substrat benötigt, um eine permanente Bindung zwischen Ankerpeptiden und Textil zu garantieren. Durchschnittliche Produktionsgeschwindigkeiten sind, wie in der Anforderungsliste bereits beschrieben, mit herkömmlichen Flammschutzmitteln 6 – 8 m/min. Diese Geschwindigkeiten sind mit der Nutzung von biohybriden Ankerpeptiden, ohne Modifikationen eines konventionellen Foulards, nicht möglich. Eine Möglichkeit, um diesem Defizit entgegenzuwirken, ist die Maximierung der zurückzuliegenden Strecke im Tauchbecken.

Der konstruierte Foulard für den Labormaßstab wurde montiert, siehe Abbildung 10. Der Foulard besteht aus einem Tauchbecken, einer Umlenkrolle im Tauchbecken, einer Umlenkrolle auf der Einzugsseite und zwei Walzen zum Abquetschen an der Abzugsseite. Die Untere der Abquetschwalzen ist so gelagert, dass der Achsabstand flexibel eingestellt werden kann.

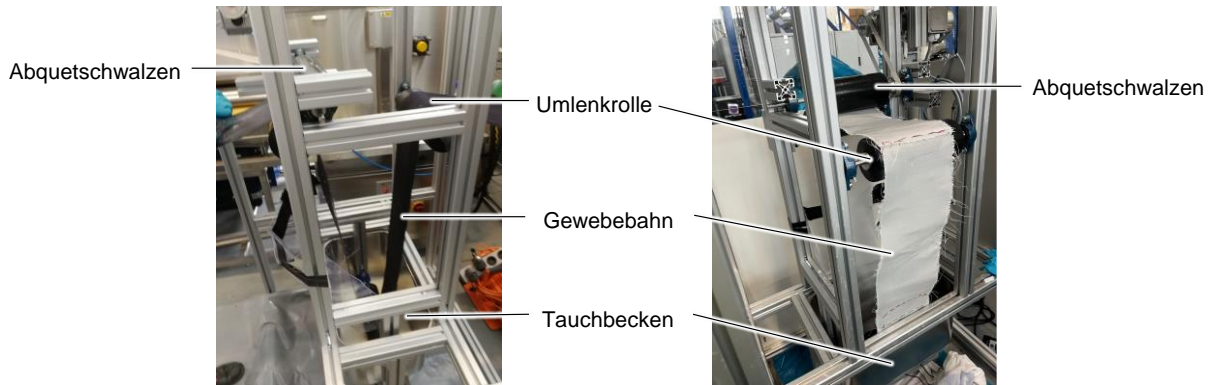


Abbildung 10: Veredlungsversuche im Labormaßstab

In der ersten Versuchsreihe zur Bestimmung der Parameter für den Versuchsplan werden die Textilien manuell abgezogen. In dieser Versuchsreihe werden Erkenntnisse über das Verhalten der unterschiedlichen Materialien sowie der signifikanten Einflussgrößen, also den Faktoren und Parametern, gewonnen.

Es werden vier verschiedene Textilien für die Versuche zur Bestimmung der Parameter verwendet:

- Optisyn (Aramidgewebe, Gewebeprobe 1)
- KlevoGlass 660 V4A-2 Karo (Glasfasergewebe, Gewebeprobe 2)
- KlevoGlass 550 V4A-1 L (Glasfasergewebe, Gewebeprobe 3)
- KlevoGlass 660 V4A-2 Karo Gw 2 grau (Glasfasergewebe mit Aluminiumbeschichtung, Gewebeprobe 4)

Zunächst wird das Becken des Foulards mit einem Liter einer konzentrierten Lösung von funktionalisierten Ankerpeptiden, Cgdef-MH, befüllt. Die Konzentration des Flammschutzmittels (Ankerpeptid mit Flammschutzmittel) beträgt $c_{FR} = 40 \text{ g/l}$. Aus der konzentrierten Lösung wird durch Zugabe von drei Litern Tris-HCl-Pufferlösung (Tris(hydroxymethyl)aminomethan Hydrochlorid) mit einem pH-Wert von 8 die Veredelungsappretur hergestellt. Die Versuchseinstellungen sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Im Becken des Foulards befinden sich Magnetrührer, um ein Absetzen der Ankerpeptide im Becken zu verhindern und die Ankerpeptide in Lösung zu halten.

Tabelle 5: Versuch zur Bestimmung von Parametern und Faktoren

Ankerpeptid	Cgdef-MH
Flammschutzmittel	Addiflam Pow MCA
Volumen Flammschutzmittel V_{FR} [l]	1
Konzentration Flammschutzmittel c_{FR} [g/l]	40
Volumen Pufferlösung V_P [l]	3
pH (Puffer)	8,0
Gesamtvolumen V_{ges} [l]	4
Konzentration Ankerpeptid in Appretur C_{ges} [g/l]	10

Die jeweiligen Textilien werden durch den Foulard gezogen und nach jedem Abzugsvorgang auf eine gleichmäßige Durchtränkung überprüft sowie gegebenenfalls einem weiteren Vorgang zugeführt. Nachdem die Textilien den Prozess durchlaufen haben, werden diese getrocknet.

Im Anschluss an den Veredlungs- und Trocknungsprozess werden Flammversuche nach DIN EN ISO 15025:2016 bei dem Partner Klevers durchgeführt. Die Ergebnisse sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Zudem werden die Textilien unter einem Lichtmikroskop untersucht. Aus den in diesen Versuchen zur Bestimmung der Einflussgrößen gewonnen Erkenntnissen werden die relevanten Faktoren, Parameter und Zielgrößen abgeleitet.

Tabelle 6: Auswertung der Versuche zur Parameterbestimmung nach DIN EN ISO 15025:2016. Jeweils drei Proben, 0 = kein Schaden, 1 = Schaden

Gewebeprobe	Lochbildung	Entflammen
1 (Optisyn)	1/1/1	0/0/0
2 (KlevoGlass 660 V4A-2 Karo)	0/0/0	0/0/0
3 (KlevoGlass 550 V4A-1 L)	0/0/0	0/0/0
4 (KlevoGlass 660 V4A-2 Karo Gw 2 grau)	0/0/0	0/0/0

Während der Beobachtung des Abziehvorgangs ist zu erkennen, dass die Textilien in der Mitte der Walzen weniger stark ausgequetscht werden. Somit ist eine konstruktive Veränderung am Foulard notwendig. Die Position der Walzen soll schnell und einfach veränderbar sein. Daher werden die Walzen für die weiteren Versuche so gelagert, dass ein schnelles Einstellen der Position mithilfe von Gleitsteinen in Aluminiumprofilen möglich ist. Die Lager sind über Feststellhebel zu befestigen.

Zusammen mit den Partnern wird für die Veredlungsversuche das Material KlevoGlass 550 V4A-1 L festgelegt. Der Grund für die Entscheidung zur Verwendung des Glasfasergewebes KlevoGlass 550 V4A-1 L ist, dass dieses Material für den Flammenschutz eine sehr große Relevanz besitzt und das zu verwendende Ankerpeptid die höchste Affinität zu Glasfaser aufweist. Als Parameter für den Versuchsplan werden die folgenden Einflussgrößen gewählt:

- Verweildauer im Prozess
- Anpressdruck der Rollen
- Eintauchfrequenz
- Konzentration des Flammenschutzadditives

Der Prozess wird hinsichtlich der Textilführung im Kreisprozess angepasst. Die Anpassung der Textilführung besteht daraus, dass das Textil vernäht wird, sodass es an den Enden verbunden ist. Das so an den Enden verbundene Textil wird kontinuierlich mit variabler Abzugsgeschwindigkeit durch den Prozess geführt. Die Reihenfolge der Versuche ist der nachfolgenden Abbildung 11 zu entnehmen.

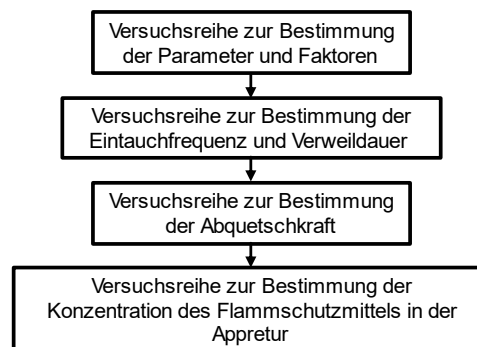


Abbildung 11: Abfolge der Versuchsreihen

Zunächst wird die Versuchsreihe zur Bestimmung der Faktoren und Parameter ausgewertet. Die

Auswertung der Versuchsreihe zur Bestimmung der Parameter erfolgt unter dem Lichtmikroskop. Bei der Bewertung der Textilien unter dem Lichtmikroskop wird die Gestalt der Veredlung beurteilt. Bei der Betrachtung der Gestalt der Veredlung wird die Anzahl an Flammenschutzpartikel sowie die räumliche Nähe der Flammenschutzpartikel zu den Fasern der Textilien betrachtet.

Die Textilien brennen im Flammversuch nicht. Auch entstehen durch die Beflammung keine Löcher oder sonstige Beschädigungen in den Geweben. Exemplarisch ist in Abbildung 12 eine beflamte Probe des veredelten „KlevoGlass 550 V4A-1 L“ dargestellt. Die anderen Proben weisen eine ähnliche Brandmarke auf. Außerdem ist während der Beflammung zu sehen, dass die Flammschutzveredlung, bestehend aus Flammenschutzmittel und Ankerpeptiden, nicht brennbar ist.



Abbildung 12: Brandmarke auf mit Flammschutzappretur veredeltem „KlevoGlass 550 V4A-1 L“ ohne Lochbildung

Verweildauer im Prozess

Das funktionalisierte Ankerpeptid, MH-CgDef, wird wie in der vorangegangenen Versuchsreihe „zur Bestimmung der Parameter“ vorbereitet, sodass die Konzentration des Flammschutzmittels in der Appretur bei 10 g/l liegt. Die Veredelungsappretur besteht aus einem Liter funktionalisiertem Ankerpeptid und drei Litern Tris-HCl-Pufferlösung. Das Gesamtvolumen der Veredelungsappretur beträgt vier Liter. Der Spaltabstand zwischen den Abquetschwalzen wird zunächst so eingestellt, dass sich die Abquetschwalzen berühren. Der Versuchsplan der Versuchsreihe bezüglich Abzugsgeschwindigkeit und Gesamtdauer des Prozesses ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Versuchsplan bezüglich Abzugsgeschwindigkeit und Gesamtdauer

Bezeichnung	(A) Eintauchfrequenz [Hz]/ Drehzahl [1/min]	(C) Gesamtdauer des Prozesses [min]
1	0,14/1,33	- (einfach abgezogen)
2	0,14/1,33	30
3	0,14/1,33	60
4	0,56/5,32	30
5	0,56/5,32	60

Mit Hilfe von Mikroskopieaufnahme ist zu erkennen, dass die Menge an Ankerpeptiden bei einer Prozessdauer von 60 Minuten größer als bei den geringeren Prozesszeiten ist. Eine Abhängigkeit bezüglich der Frequenz ist nicht zu erkennen. Die Beurteilung der Textilveredlungen erfolgt im Vergleich der veredelten Textilien untereinander.

Anpressdruck der Walzen

Zur Durchführung der Versuchsreihe zur Bestimmung der Abquetschkraft wird der Foulard konstruktiv verändert. Die untere der beiden Abquetschwalzen des Foulards wird mithilfe von Federn gespannt,

sodass eine einstellbare Abquetschkraft auf das Textil wirkt. Die Federkraft ist in einem Bereich von 0-170 N je Feder, also insgesamt von 0-340 N frei einstellbar. Der Versuchsplan bezüglich der Federkraft ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Versuchsplan zur Bestimmung der Abquetschkraft

Bezeichnung	(A) Eintauchfrequenz [Hz]/ Drehzahl [1/min]	(B) Federlänge [cm]/Abquetschkraft [N/cm]	(C) Gesamtdauer des Prozesses [min]	Trockenmasse m_0 [g]
1	0,14 /1,33	25/0,35	30	340
2	0,14 /1,33	30/2,9	30	328
3	0,56/5,32	30/2,9	30	342
4	0,56/5,32	30/2,9	10	342
5	0,14 /1,33	30/2,9	10	346
6	0,56/5,32	25/0,35	30	338
7	0,56/5,32	25/0,35	10	342
8	0,14 /1,33	25/0,35	10	328

In

Tabelle 9 erfolgt die Auswertung der Proben in Bezug auf die aufgeprägte Federkraft der anpressenden Federn. Es werden zwei Proben je Faktorstufe überprüft. Die Versuchsreihen werden mit Wasser durchgeführt. Die Parameter sind:

- Eintauchfrequenz
- Abquetschkraft (Federlänge)
- Verweildauer

Die Auswertung erfolgt durch Bestimmen der Beladung der Textilproben. Dazu wird die Masse Δm des Wassers im Textil auf die Masse des trockenen Textils bezogen. In

Tabelle 9 ist die Auswertung zu sehen.

Tabelle 9: Auswertung der Versuchsreihe bezüglich der Abquetschkraft

Versuchsreihe bezüglich der Abquetschkraft				
KlevoGlass 550 V4A-1 L, Wasser,				
Bezeichnung	m_0 [g]	m_1 [g]	Δm [g]	Beladung[g/g]
1	340/338	422/428	82/90	0,24/0,27
2	328/328	410/408	82/80	0,25/0,24
3	342/340	426/432	84/92	0,25/0,27
4	342/338	446/434	104/96	0,3/0,28
5	346/346	438/432	92/88	0,27/0,25
6	338/338	424/436	86/98	0,25/0,29
7	342/338	444/428	102/90	0,3/0,27
8	328/328	412/414	84/86	0,26/0,26

Die aufgenommenen Werte werden gemittelt und anschließend in Bezug auf Effekt und Wechselwirkungen der Faktoren ausgewertet. Aus der Auswertung der Effekte ist zu erkennen, dass keiner der in den Versuchen eingestellten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Tränkung des

Textils hat. Im nächsten Schritt werden eventuelle Wechselwirkungen zwischen den Faktoren untersucht. Es liegen keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren vor. Während der Durchführung der Versuche ist zu erkennen, dass eine größere Federkraft dazu führt, dass das Textil wesentlich besser durch den Foulard gezogen wird. Die Reibkraft zwischen Textil und angetriebener Abquetschwalze ist durch die größere Federkraft ebenfalls größer. Daraus resultiert, dass die Textilführung durch den Prozess störungsarm erfolgt. Daher ist es für die Stabilität der Prozessführung notwendig, eine möglichst hohe Abquetschkraft zu realisieren.

Konzentration Flammenschutzmittel

Es wird untersucht welche Konzentration des Flammenschutzmittel sich für die Veredlung am besten eignet. In Tabelle 10 ist der Versuchsplan dargestellt.

Tabelle 10: Versuchsplan zur Veredlung der Textilien bei unterschiedlicher Konzentration des Flammenschutzmittels

Bezeichnung	(D) Konzentration des Flammenschutzmittels c_{ges} [g/l]	(C) Gesamtdauer des Prozesses [min]	m_0 des Textils
1	40	30	336
2	40	60	326
3	28,6	30	334
4	28,6	60	338

In Tabelle 11 wird die Beladung der Textilien mit Flammenschutzmitteln und Ankerpeptiden ausgewertet. Es ist zu erkennen, dass das Flächengewicht der Textilien durch die Variierung der Zeit und der Konzentration an Flammenschutzmittel in der Appretur nicht signifikant beeinflusst wird. Daher werden die Konzentration des Flammenschutzmittels und die Prozesszeit gering gewählt, um die Kosten des Prozesses gering zu halten.

Tabelle 11: Auswertung der abschließenden Versuchsreihe ohne Kleber, Auswertung der Veredlung mit Ankerpeptiden

Bezeichnung (im Versuchsplan)	Flächengewicht [g/m ²]	Gemittelttes Flächengewicht [g/m ²] (inkl. Flammenschutz)	Menge Ankerpeptid pro Flächeneinheit [g/m ²]
1 (d)	583/590/598	590	40
2 (dc)	600/586/591	592	42
3 (1)	590/595/587	590	40
4 (c)	602/585/580	589	39
5 (-)	Nicht veredelt	550	0

In Abbildung 13 sind die Mikroskopieaufnahmen der veredelten Textilien zu sehen.

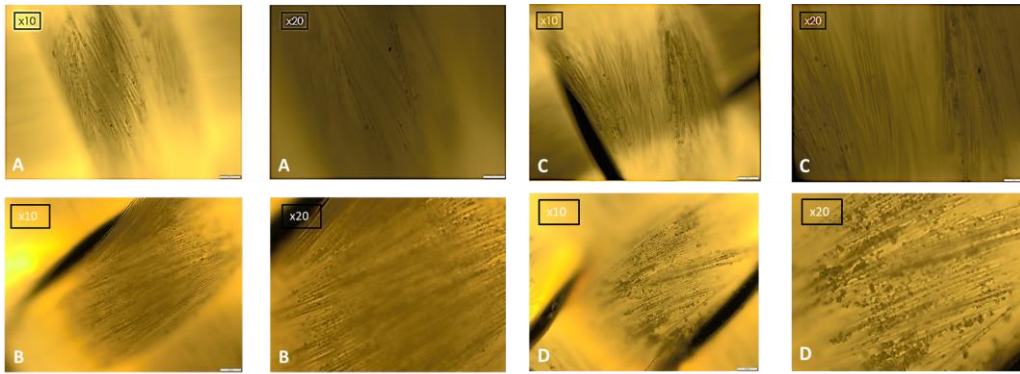


Abbildung 13: Mikroskopische Darstellung der Effizienz der Textilbeschichtung bei unterschiedlichen Parametern. A. KlevoGlass 550 V4A-IL beschichtet mit Addiflam MCA bei 20 Hz für 30 Minuten; B. KlevoGlass 550 V4A-IL beschichtet mit Addiflam MCA bei 20 Hz für 60 Minuten; C. KlevoGlass 550 V4A-IL beschichtet mit Addiflam MCA bei 5 Hz für 30 Minuten; D. KlevoGlass 550 V4A-IL beschichtet mit Addiflam MCA bei 5 Hz für 60 Minuten

Auf Basis der Ergebnisse werden abschließende Flammversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 15025:2016 beim Partner Klevers durchgeführt. Die mit Flammenschutzmittel behandelten Proben wurden durch die Beflammung nicht beschädigt. Da keine der Proben in diesem Flammtest beschädigt wurde, wird auf eine statistische Auswertung der Ergebnisse verzichtet.

Zusammenfassung

Die Prüfung der Textilien erfolgte durch Wiegen, Mikroskopie und normierte Flächenbeflammung. Basierend auf den jeweiligen Prüfungsergebnissen wurde der Prozess angepasst und eine neue Iteration begonnen

Als zentrale Ergebnisse stehen Einstellparameter für den Imprägnierungsprozess bezüglich:

- Verweildauer des Textils im Prozess (60 min)
- Eintauchfrequenz des Textils in die Appretur (0,14 Hz)
- Abquetschkraft (2,9 N/cm)
- Konzentration des Flammschutzmittels in der Veredlungsappretur (40g/l)

Das Konzept zur Lagerung der Flammschutzappretur berücksichtigt die Lagerungstemperatur und -dauer. Eine Lagerung der Ankerpeptide ist bei einer Temperatur von 4°C für eine Woche möglich. Die Ankerpeptide sind lichtgeschützt zu lagern.

Flammschutz für die Oberfläche der textilen Beschichtung

Um die optimale Wirkung des Flammschutzes für KlevoGlass 550 V4A-IL zu erreichen, wurde auch der flammhemmende Schutz von Textiloberflächenbeschichtungen durchgeführt (Abbildung 14). Dazu wurde zunächst die Schicht auf die Textiloberfläche aufgetragen und dann das Ankerpeptid mit der Bindungsstärke zur Beschichtung bzw. zum Flammschutzmittel identifiziert. Anschließend wurde das bifunktionelle Peptid konstruiert und als Flammschutzmittel auf die Beschichtung aufgebracht, um die Flammfestigkeit zu gewährleisten. Das Screening der Ankerpeptide für die Beschichtungsfläche wurde von der Biotec-Gruppe durchgeführt. Die Liste der in Frage kommenden Ankerpeptide ist in Tabelle 12 aufgeführt. In diese Ankerpeptide wurde das Reporterprotein eGFP (enhanced green fluorescent protein) zur direkten Identifizierung der Bindungsstärke in die Struktur integriert. Von den getesteten Ankerpeptiden erwies sich Androctonin als das beste Ankerpeptid für die Bindung an die

Beschichtungsoberfläche, wie in Abbildung 14 dargestellt. Das Fluoreszenzmikroskopie-Bild zeigt, dass Androctonin eine gute Bindungsstärke an die Beschichtungsoberfläche hat, da die Beschichtung im Vergleich zur Kontrolle (nur eGFP) mit grüner Floreszenz dekoriert war.

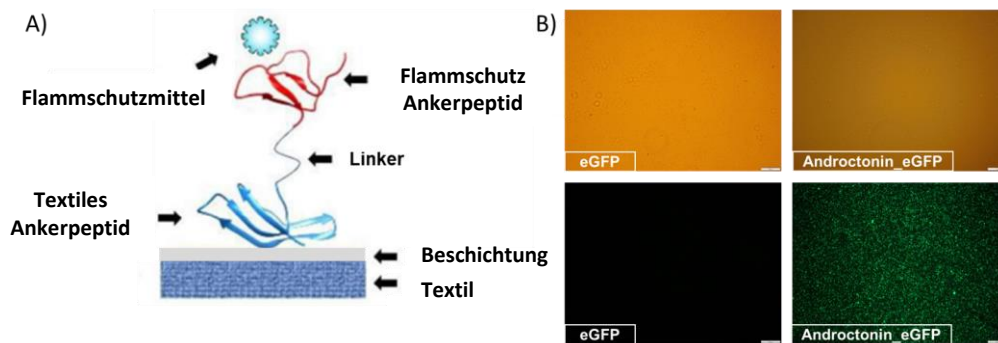


Abbildung 14: **A) Schematische Darstellung des flammhemmenden Schutzes** der Textiloberflächenbeschichtung. Die Beschichtung wurde zunächst auf die Textiloberfläche aufgetragen, und dann wurde das Ankerpeptid mit Bindungsstärke an die Beschichtung bzw. das Flammschutzmittel identifiziert. Anschließend wurde das bifunktionelle Peptid konstruiert und als Flammschutzmittel auf die Beschichtung aufgebracht, um die Flammfestigkeit zu gewährleisten. **B) Fluoreszenzmikroskopisches Bild der Bindungseigenschaften** von Androctonin auf der Beschichtungsoberfläche. Das Fluoreszenzmikroskopie-Bild zeigte, dass Androctonin eine gute Bindungsstärke an die Beschichtungsoberfläche hat, da die Beschichtung im Vergleich zur Kontrolle (nur eGFP) mit grüner Floreszenz dekoriert war.

Tabelle 12: Die Liste der Ankerpeptid-Kandidaten für das Screening der Beschichtung

Getestete Ankerpeptide	
1	LCIKR2-eGFP
2	Derma-eGFP
3	Thanatin-eGFP
4	Snakin-eGFP
5	MBP1-eGFP
6	Cgdef-eGFP
7	LCI-eGFP
8	Androctonin-eGFP
9	MH-eGFP
10	TA2-eGFP

Nachdem festgestellt wurde, dass das Ankerpeptid Androctonin eine starke Bindung an die Beschichtungsoberfläche aufweist, wurde das bifunktionelle Peptid: Androctonin_Strep-Tag II_Domain Z_MH wurde konstruiert. Das MH wurde, wie bereits erwähnt, für die Bindung von Addiflam MCA verwendet. Dann wurde die Ausrüstung von flammhemmendem Addiflam MCA auf KlevoGlass 550 V4A-IL mit Beschichtung auf der Oberseite durch das bifunktionelle Peptid Androctonin-MH durchgeführt. Das Endergebnis ist in Abbildung 15 dargestellt. Es zeigte sich, dass Androctonin-MH die Veredelung von Addiflam MCA auf Textilien mit Beschichtung auf der Oberseite leicht beeinflusste. Anschließend wurde der Flammtest durchgeführt, um zu prüfen, ob das Flammschutzmittel die Beschichtungsoberfläche schützen kann. Der Flammtest wurde jedoch nicht bestanden, da es keinen Unterschied zwischen den Proben mit und ohne Flammschutzmittel gab.

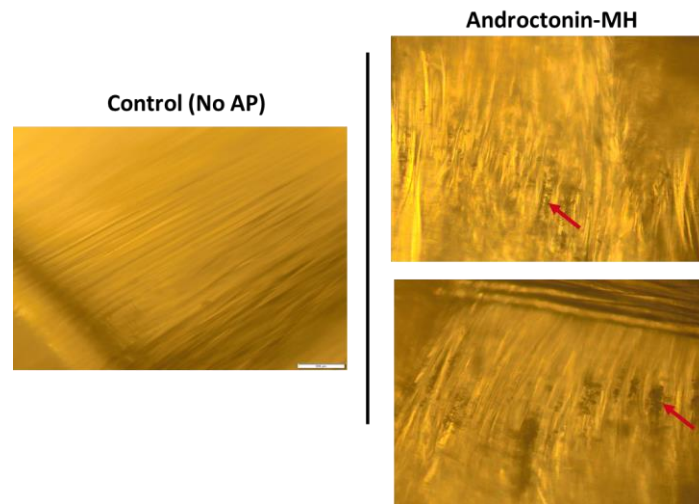


Abbildung 15: Die Veredelung von flammhemmendem Addiflam MCA auf KlevoGlass 550 V4A-IL mit Beschichtung auf der Oberseite durch bifunktionelles Peptid. Links: Der Ausrüstungsprozess ohne Zusatz von bifunktionellem Peptid; Rechts: Der Veredelungsprozess mit Zusatz von bifunktionellem Peptid.