

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Abschlussbericht

BIOTEXFUTURE BioBase – Teilprojekt J

Projekttitel: Innovationsraum: BioTexFuture – BioBase – Umsetzungsphase, TP J
Zuwendungsempfänger: adidas AG
Förderkennzeichen: 031B0958J
Datum: 28.08.2024

Das diesem Bericht zugrundeliegende BMBF-Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B0958J gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Beitrag zu den Förderzielen	1
2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	2
2.1	Teilprojekt 1: Entwicklung des Lastenheftes und Potenzialanalyse der Biopolymere ..	3
2.2	Teilprojekt 3: Entwicklung der textilen Prozesse	3
2.2.1	Arbeitspaket 3.1. Nachbildung der Benchmark-Produkte auf Basis fossiler Rohstoffe	3
2.2.2	Arbeitspaket 3.2. Entwicklung biobasierter Chemiefasergarne.....	6
2.2.3	Arbeitspaket 3.3. Entwicklung der Texturierungsprozesse.....	7
2.3	Teilprojekt 4: Skalierung der textilen Prozesse	9
2.3.1	Arbeitspaket 4.2 Skalierung der Chemiefaserproduktion.....	9
3	Fortschreibung des Verwertungsplans	17
4	Änderungen gegenüber des ursprünglichen Projektplanes und Arbeiten ohne Lösung	17
5	Weitere Anschlussmöglichkeiten.....	18

1 Beitrag zu den Förderzielen

Im Rahmen der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Innovationsräume Bioökonomie“ ausgeschrieben. Mit dem innovativen Förderkonzept der Innovationsräume soll die Entwicklung von bioökonomischen Innovationen als Treiber des Strukturwandels hin zu einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft deutlich beschleunigt werden. Ziel der Förderung ist es auch, Forschungsergebnisse umfassender als bisher zu nutzen und gesamtgesellschaftlich wirksame Innovationen anzustoßen.

Vor dem Hintergrund der förderpolitischen Ziele fokussiert sich der Innovationsraum BIOTEXFUTURE auf die Textilindustrie. Die Vision von BIOTEXFUTURE ist es, die gesamte textile Wertschöpfungskette ganzheitlich von erdölbasiert auf biobasiert umzustellen. BIOTEXFUTURE ist damit ein wichtiger Treiber des Strukturwandels hin zu einer biobasierten Wirtschaft in der Textilindustrie.

Im Rahmen von BIOTEXFUTURE konzentriert sich das Teilprojekt J des Projektes Biobase auf die Bewertung biobasierter Alternativen aus verfügbaren Ressourcen für sporttextile Anwendungen mit wettbewerbsfähigen Kosten und Eigenschaften. Ziel des Basisprojekts

BioBase ist es, biobasierte Polymere in der Textilindustrie zu etablieren und ihr volles Potenzial zu demonstrieren. Dazu sollen etablierte erdölbasierte Polymere in textilen Produkten durch optimierte biobasierte Polymere ersetzt werden. Das Potenzial der auf dem Markt verfügbaren biobasierten Polymere wird demonstriert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden für andere Produkte und Branchen aufbereitet.

2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Das Vorhaben BioBase war grundsätzlich in 5 Teilprojekte gegliedert (siehe Abb. 1). Im Rahmen des Teilprojektes J war der Zuwendungsempfänger adidas in die Teilprojekte 1, 3 und 4 involviert. Diese Teilprojekte bzw. die entsprechenden Arbeitspakete mit der Beteiligung von adidas werden im Folgenden detailliert dargestellt.

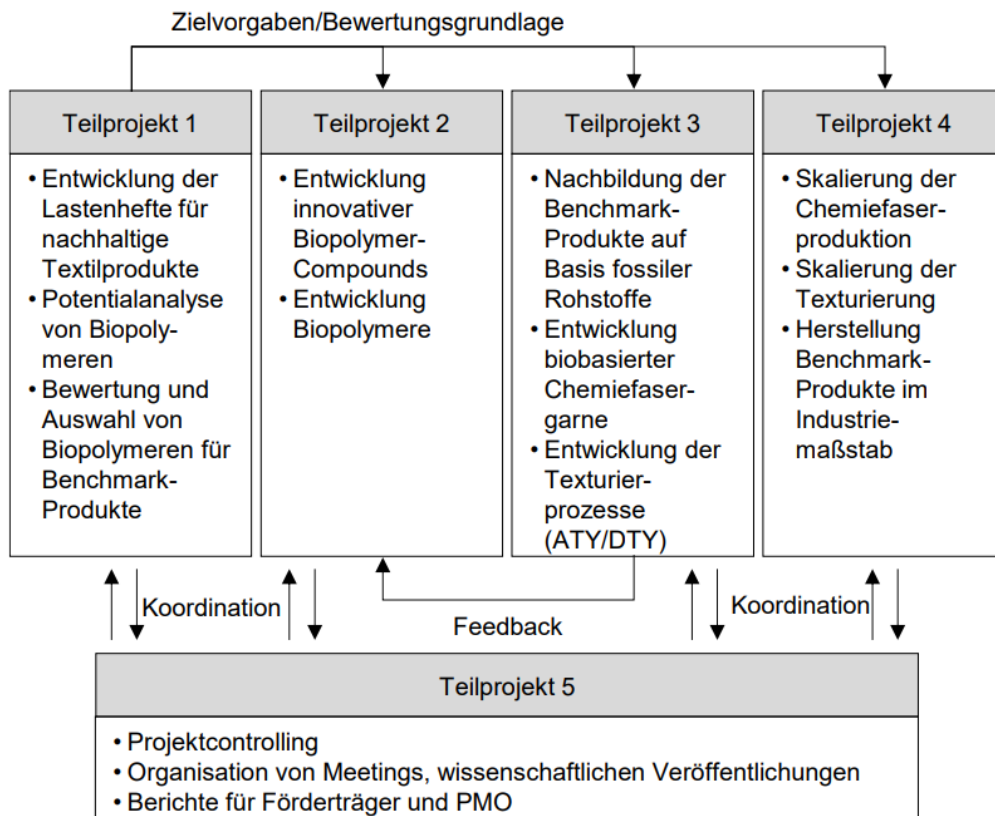


Abbildung 1. Teilprojekte des Projektes BioBase

2.1 Teilprojekt 1: Entwicklung des Lastenheftes und Potenzialanalyse der Biopolymere

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden von adidas Spezifikationen für nachhaltige textile Produkte definiert. Es wurden die Eigenschaften von Garnen und Textilien sowie die Prüfungen zur Qualitätskontrolle vor der Markteinführung festgelegt:

- Es wurden wichtige Kriterien für Garne und Textilien für Sportbekleidung definiert.
- Es wurden prioritäre Produkttypen ausgewählt.
- Es wurden das Garnziel und seine Spezifikation und Eigenschaften für textile Anwendungen (Schuhe und Bekleidung) definiert.
- Priorität 1 war ein Bekleidungsgarn (APP), das die aktuellen recycelten PET-Garne (rPET) in einem typischen Trainingsoberteil ersetzen sollte
- Priorität 2 war ein Schuhgarn (FTW), das die aktuellen recycelten PET-Garne (rPET) in einem gestrickten Schuhobermaterial ersetzen sollte
- Wichtige Biopolymere für Sportbekleidung wurden basierend auf der Materialverfügbarkeit, dem strategischen Potenzial und den wichtigsten Erkenntnissen für adidas für Spinnversuche ausgewählt.

2.2 Teilprojekt 3: Entwicklung der textilen Prozesse

2.2.1 Arbeitspaket 3.1. Nachbildung der Benchmark-Produkte auf Basis fossiler Rohstoffe

2.2.1.1 Herstellung von Benchmark-Nachbildungen; rPET APP und FTW Garn

- Benchmark-Nachbildungen aus demselben Polymer (rPET) wurden schmelzgesponnen, um eine vergleichbare Basis für biobasierte Garne zu haben, die in den nächsten Phasen des Projekts mit denselben Garnspinn- und Texturierungsanlagen gesponnen wurden. Die Spezifikationen der Benchmark-Nachbildungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.
- Die ZUE Zwirnerie Untereggingen GmbH (ZUE) texturierte das FTW rPET-Garn, hatte aber aufgrund von Garn-Unebenheiten Schwierigkeiten mit dem APP-Garn.
- Aufgrund der Unebenheiten der in ITA gesponnenen Garne im Vergleich zu einem kommerziellen Garn und der Schwierigkeiten beim Spinnen von APP-Garnen entschied man sich, für den Rest des Projekts die Schmelzspinnanlage des AMIBM zu nutzen, da die Ergebnisse vielversprechender waren.

Tabelle 1. Spezifikationen der Benchmark-Nachbildungen

Polymer	Probenname	Garntyp	Lineare Dichte (dtex)/ Filamentzahl (f)	Anwendung	Spinnen bei	Texturierung bei
rPET	Benchmark 1	DTY*	165/48	FTW	ITA	ZUE
rPET	Benchmark 2	DTY*	83/72	APP	AMIBM	OTEX

*Draw texturized yarn; gestrecktes texturiertes Garn

2.2.1.2 rPET FTW Benchmark Replika-Garn (Benchmark 1)

- DTY-Spulen von Benchmark 1 (167dtex48f) wurden zur Garnprüfung, zum Stricken und zur Stoffanalyse an adidas geschickt
- Die Benchmark 1-Garne erfüllten die Projektanforderungen an lineare Dichte (167 dtex), Festigkeit (35-36 cN/tex) und Bruchdehnung (25-26 %).
- Drei Strickstrukturen (eng, halboffen und offen) mit progressiver Strickkomplexität wurden aus Benchmark 1-Garnen hergestellt (Abbildung 2). Die Garne konnten in der üblichen Produktionsgeschwindigkeit gestrickt werden.



Abbildung 2. Drei Strickstrukturen aus Benchmark 1. Enge Strickstruktur (links), halboffene Strickstruktur (Mitte) und offene Strickstruktur (rechts).

- Die Qualität der Strickstoffe aus Benchmark 1-Garn wurde bei adidas getestet, um sie mit den Anforderungen von adidas zu vergleichen. Zu den Qualitätstests gehörten unter anderem Hydrolyse, Martindale-Abrieb, Hitzealterung, Courtald-Test, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Schrumpfungstest.
- Die Testergebnisse wurden mit einem Gewebe aus kommerziellem PET-FTW-Garn sowie mit internen adidas-Qualitätsstandards verglichen. Dieser Schritt war wichtig, um eine Benchmark-Qualität zu erhalten, die mit der Qualität der biobasierten Stoffe verglichen werden kann, die später im Projekt hergestellt werden.

2.2.1.3 rPET APP Benchmark Replika-Garn (Benchmark 2)

Das Spinnen von Benchmark 2 (rPET APP-Garn) war eine Herausforderung für ITA. Daher wurde vereinbart, dass AMIBM Benchmark 2 und die folgenden biobasierten Garne spinnen wird. Das Spinnen von Benchmark 2 war jedoch auch für AMIBM eine Herausforderung, und die gesponnenen Garne waren sehr ungleichmäßig, wie bei adidas analysiert.

- Die Festigkeit des POY-Garns (partially oriented yarn; vororientiertes Garn) lag im akzeptablen Bereich und war vergleichbar mit kommerziellem rPET-Garn. Die Bruchdehnung war geringer (116 % gegenüber 145 %) und die Standardabweichung sehr hoch (13 %).
- Otex, die als Ersatzpartei für die Texturierung des Garns fungierte, konnte aufgrund von Schwierigkeiten, die sich aus der Unebenheit des POY-Garns und seiner schlechten Wicklung ergaben, nur eine kleine Menge an rPET-APP-Garnen texturieren. Diese Garne dienten als Benchmark-Nachbildung des Projekts.
- Die Benchmark 2-Garne wiesen die erforderliche lineare Dichte (83dtex) auf, jedoch waren die Festigkeit (32-34 cN/tex) und die Bruchdehnung (17-18%) niedriger als die im Projekt festgelegten Zielwerte, was auf die Unebenheit des POY-Garns und einen ungünstigen Texturierungsprozess zurückzuführen sein könnte.
- Die Strickbarkeit von Benchmark 2-Garnen wurde bei adidas getestet. Auf einer nahtlosen Rundstrickmaschine (24 Gauge) wurden Single-Jersey-Stoffe hergestellt. Es wurden viele Defekte am Gewebe aufgrund von Garnunebenheiten beobachtet (Abbildung 3).
- Die Qualität der Stoffe, die aus rPET-APP-Garnen gestrickt wurden, wurde bei adidas getestet, um ein Benchmark-Qualitätsziel für biobasierte Textilien zu haben, die im Rahmen des Projekts in denselben Produktionsstätten hergestellt wurden.



Abbildung 3. Defekte im Gewebe aus Benchmark 2

2.2.2 Arbeitspaket 3.2. Entwicklung biobasierter Chemiefasergarne

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die experimentelle Entwicklung biobasierter Chemiefasergarne aus ausgewählten Biopolymeren aus Teilprojekt 1 und entwickelten Biopolymer-Compounds aus Teilprojekt 2 durchgeführt. In diesem Arbeitspaket wurde die Spinnbarkeit von Polymeren bei AMIBM untersucht und die Spinn- und Ziehbedingungen für einen stabilen Spinnprozess definiert. Die Eigenschaften der gesponnenen Garne wurden dann bei adidas untersucht, um den Erfolg des Spinnsteps und das Potenzial des biobasierten Garns für weitere Texturierungs- und Textilproduktionsschritte zu verstehen.

- adidas erhielt von AMIBM Spulen aus POY-Garnen für Bekleidungs- und Schuhanwendungen aus biobasierten Polymeren PA 6.9 und PA 4.10 sowie Polymermischungen aus PLA-PBS und PLA-PHB (Abbildung 4). Die Liste der in diesem Arbeitspaket hergestellten Vorproduktions-Probengarne sowie deren Spezifikation sind in Tabelle 2 aufgeführt.

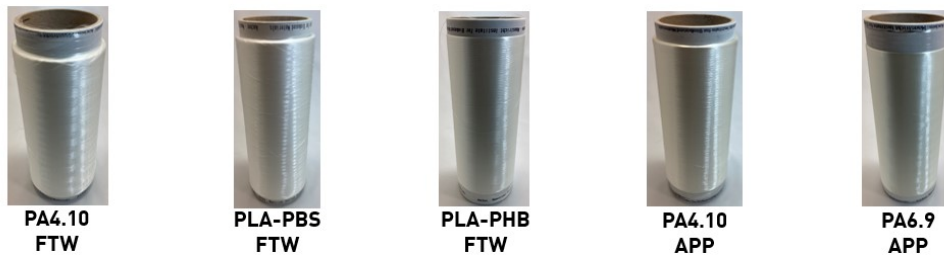


Abbildung 4. Vorproduktions-Probengarne, die vom AMIBM zu adidas geschickt wurden

Tabelle 2. Spezifikationen der Vorproduktions-Probengarne

Probename	Garnname	Anwendung	Spinnen bei
Pre-sample 1	PA 4.10	FTW	AMIBM
Pre-sample 2	PLA-PBS	FTW	AMIBM
Pre-sample 3	PLA-PHB	FTW	AMIBM
Pre-sample 4	PA 4.10	APP	AMIBM
Pre-sample 5	PA 6.9	APP	AMIBM

- Die lineare Dichte, Festigkeit und Bruchdehnung der Garne wurden in adidas getestet (Tabelle 3).

Tabelle 3. Eigenschaften der Pre-sample POY Garne

Garn	Garntyp	Anwendung	Lineare Dichte (dtex)	Filamentzahl	Festigkeit (cN/tex)	Bruchdehnung (%)
Pre-sample 1 (PA 4.10)	POY	FTW	240	48	30,9 ± 1,9	85,8 ± 7
Pre-sample 2 (PLA-PBS)	POY	FTW	285	48	18,5 ± 0,6	47,9 ± 2,7
Pre-sample 3 (PLA-PHB)	POY	FTW	273	24	10,8 ± 0,7	70,1 ± 3,9
Pre-sample 4 (PA 4.10)	POY	APP	135	72	36,6 ± 0,6	45,2 ± 1,8
Pre-sample 5 (PA 6.9)	POY	APP	67	36	28,9 ± 1,9	46,6 ± 5,9
Benchmark 1 (rPET)	POY	FTW	270	48	20,6 ± 2,1	129,6 ± 7,6
Benchmark 2 (rPET)	POY	APP	128,9	72	21,3 ± 1,2	116,7 ± 13

- Die Festigkeit der POY-Garne aus Pre-Sample 2 und Pre-Sample 3 war sehr gering und entsprach nicht den Anforderungen an das rPET-Zielgarn von adidas (Tabelle 3). Darüber hinaus waren die PLA-Compounds wegen der Trennung von Filamenten vom Garnbündel aufgrund statischer Kräfte schwer zu handhaben und zu testen. Daher wurde beschlossen, diese Polymere nicht für Sporttextilanwendungen zu skalieren.
- Die Festigkeit der Pre-Sample 1-POY Garne (30,9 cN/tex) war höher als bei PLA-Verbindungen und auch von Benchmark1-POY-Garnen (20,6 cN/tex), aber die Bruchdehnung war geringer (85,5 % im Vergleich zu 129,6 %), was für Polyamid-POY-Garne zu erwarten ist (Tabelle 3). Es wird erwartet, dass eine erfolgreiche Texturierung die Festigkeit von PA 4.10 auf die gewünschten Werte verbessern kann. Daher wurde PA 4.10 (Pre-Sample 1) als Kandidat für ein weiteres Scale-up ausgewählt.
- Pre-Sample 4 wies eine höhere Festigkeit (36,6 cN/tex) auf als Pre-Sample 5 (28,9 cN/tex) und beide wiesen eine höhere Festigkeit als das Benchmark 2-POY Garn auf. Die Pre-Sample 4- und Pre-Sample 5-POY-Garne hatten eine ähnliche Bruchdehnung (45-46 %) (Tabelle 3). Daher wurde auch PA 6.9 (Pre-Sample 5) als Kandidat für ein weiteres Scale-up ausgewählt.

2.2.3 Arbeitspaket 3.3. Entwicklung der Texturierprozesse

- An einer Texturiermaschine des ITA wurden im Labormaßstab Vorversuche durchgeführt, um die Garne PA 4.10 FTW (Pre-sample 1) und PA 6.9 APP (Pre-sample 5) zu texturieren,

die Texturierungsparameter zu untersuchen und die Eignung der Garne für die Texturierung zu testen.

- Die Ergebnisse zeigten, dass eine hohe Wickelgeschwindigkeit (270 m/min) während des Texturierungsschritts für Pre-Sample 1-Garn zu einer Garnschrumpfung auf der Spule und zu zerdrückten Spulen führt, die sich aufgrund der abgelösten Filamente nur schwer abwickeln lassen (Abbildung 5). Es wurde festgestellt, dass eine niedrigere Wickelgeschwindigkeit (240 m/min) die Garne vor dem Aufwickeln auf die Spule entspannen lässt und die Probleme des Garnschrumpfens und der Abwickelschwierigkeiten so überwunden werden können.

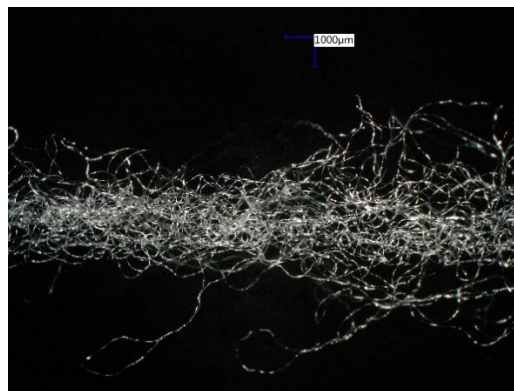


Abbildung 5. Mikroskopiebild eines texturierten Pre-sample 1 Garns mit hoher Wickelgeschwindigkeit

- Die Strickbarkeit von Pre-Sample 1 DTY-Garnen wurde anhand eines engen Strickmusters auf einer Flachstrickmaschine bei adidas untersucht (Abbildung 6). Die Strickbarkeit war nicht sehr gut und es kam zu mehreren Fadenbrüchen beim Stricken aufgrund von losen Fäden und Garnunebenheiten. Außerdem wurde das Garn nicht kontinuierlich aus der Spule gezogen.



Abbildung 6. Engmaschiges Strickmuster aus Pre-sample 1 DTY Garn

- Die Texturierung für das Pre-Sample 5-Garn wurde als herausfordernd eingestuft. ITA konnte das Garn nur durch Zwirnen texturieren. Das fertige texturierte Garn hatte eine höhere Feinheit als das gewünschte APP-Garn. Adidas erhielt Pre-Sample 5 DTY-Garne mit einer Feinheit von 120dtex/68 Filamenten. Die Garne waren ungleichmäßig und das Abwickeln war schwierig, was die Notwendigkeit einer Verbesserung des Spinn- und Wickelschritts in AMIBM und des Texturierungsschritts zeigt.
- Die mechanischen Eigenschaften der DTY-Garne, die bei ITA texturiert wurden, sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Festigkeit der DTY-Garnen aus Pre-Sample 1 und Pre-Sample 5 war jeweils etwas besser als bei den Benchmark-Garnen. Die Bruchdehnung von Pre-sample 1 DTY-Garn war geringer als die des entsprechenden Benchmark-Garns (Benchmark 1).

Tabelle 4. Eigenschaften der Pre-sample DTY Garne

Garn	Garntyp	Anwendung	Lineare Dichte (dtex)	Filamentzahl	Festigkeit (cN/tex)	Bruchdehnung (%)
Pre-sample 1 (PA 4.10)	DTY	FTW	165	48	38,1 ± 1,7	18 ± 2,3
Pre-sample 5 (PA 6.9)	DTY	APP	120	68	34,1 ± 1,2	19,0 ± 2,3
Benchmark 1	DTY	FTW	167	48	35,5 ± 1,2	25,5 ± 0,4
Benchmark 2	DTY	APP	81	72	33,7 ± 1,5	17,4 ± 2,5

Aufgrund von Verzögerungen im Texturierungsschritt wegen des Wechsels des Texturierungspartners und aufgrund von Zeitmangel für die Iteration der Spinn- und Texturierungsschritte wurden die Arbeitspakete 3 und 4 ineinander integriert und die Schritte des Skalierens und Texturierens, der Herstellung von Textilien, der Qualitätsprüfung von Textilien und der Herstellung von Demonstratoren als Kombination beider Arbeitspakete durchgeführt.

2.3 Teilprojekt 4: Skalierung der textilen Prozesse

2.3.1 Arbeitspaket 4.2 Skalierung der Chemiefaserproduktion

In diesem Arbeitspaket wurde die Skalierung des Prozesses durchgeführt und eine höhere Menge der Garne, die in Arbeitspaket 3 (PA 4.10 und PA 6.9) ausgewählt wurden, wurden gesponnen, um Textilien für die Qualitätsprüfung sowie biobasierte Sportprodukte herzustellen.

- Die Skalierung des Spinnprozesses erfolgte bei AMIBM für die PA 6.9 und PA 4.10 Garne.
- Die in diesem Arbeitspaket hergestellten Garne sowie ihre Spezifikationen und Benennungen sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5. Benennung und Spezifikationen der während der Skalierung produzierten Garne

Polymer	Probenname	Garntyp	Lineare Dichte (dtex)/ Filamentzahl	Anwendung	Spinnen bei	Texturierung bei
PA 4.10	Sample 1	POY	200/48	FTW	AMIBM	-
PA 4.10		DTY	165/48			OTEX
PA 4.10	Sample 2	POY	100/72	APP	AMIBM	-
PA 4.10		DTY	83/72			OTEX
PA 6.9	Sample 3	POY	100/72	APP	AMIBM	-
PA 6.9		DTY	83/72			OTEX

2.3.1.1 PA 4.10 Footwear (Sample 1)

Nach den Ergebnissen aus Teilprojekt 3 und in Absprache mit dem Texturierungspartner OTEX wurde beschlossen, für die Texturierung von biobasierten PA-Garnen ein Streckverhältnis von 1,2 statt 1,5 zu verwenden. Aus diesem Grund wurden von AMIBM POY-Garne aus Sample 1 (200dtex/f48) (PA 4.10 FTW) gesponnen.

- Die mechanischen Eigenschaften der Sample 1 POY-Garne wurden bei adidas getestet. Die Festigkeit (25,5 cN/tex) war höher als bei Benchmark 1 POY, das bei ITA (20,6) gesponnen wurde, und auch höher als bei kommerziellen rPET-Garnen. Die Bruchdehnung (87,2%) war jedoch geringer als bei rPET (~140%).
- Der Variationskoeffizient (CV%) für Gleichmäßigkeit, Zugkraft und Reibung des in AMIBM gesponnenen Sample 1 war schlechter als die Industriestandards, aber besser als Benchmark 1 (rPET FTW POY).
- Die Sample 1 POY-Garne wurden bei OTEX texturiert und DTY-Garn an adidas geliefert (Sample 1 DTY). Die Texturierung war nicht optimal und es wurden Probleme wie schlechte Wicklung, Filamentbrüche und Unebenheiten sowie unterschiedliche Dehnung zwischen den verschiedenen Spulen beobachtet.
- Sample 1 DTY-Garne wurden bei adidas getestet. Die Festigkeit war zwischen den verschiedenen Spulen unterschiedlich (von 31 bis 36 cN/tex). Die Bruchdehnung lag zwischen 31 und 38 %. Die Festigkeit des Sample 1 Garnes war nach der Texturierung von 25,5 auf 30-36 cN/tex verbessert und die Bruchdehnung von 87 % auf 31-38 %

verringert. Die Festigkeit bei einigen Spulen von Sample 1 DTY war ähnlich wie bei Benchmark 1 und die Bruchdehnung war höher.

- Die Strickbarkeit von Sample 1 DTY wurde bei adidas auf einer 14-Gauge-Flachstrickmaschine getestet. Drei Muster aus engem Strick, halboffenem und offenem Strick und ein Schuhoberteil wurden gestrickt, wobei die Komplexität des Stricks erhöht wurde, um das Garnverhalten zu verstehen (Abb. 7). Die Stoffe waren hellbraun. Es gab auch Farbunterschiede zwischen den Spulen, was zu Farbunterschieden innerhalb eines Stoffmusters führte. Die Polymertrocknung wurde bei einigen Spinnversuchen in AMIBM bei um 20 °C höheren Temperaturen durchgeführt, was zu dunkleren Garnen führte. Das Polymer hatte eine leuchtend gelbe Farbe. Einige Streifen, die entweder durch Ungleichmäßigkeiten des Garns oder Farbunterschiede entstehen können, sind auf den eng gestrickten Stoffmustern deutlich zu erkennen.



Abbildung 7. Stoffmuster aus Sample 1 DTY

- Die Qualität der Stoffe aus Sample 2 wurde bei adidas getestet. Die Ergebnisse der Wärmealterung, des Courtauld- und des UV-Tests erfüllten alle die adidas Standards. Die Farbveränderung nach der Hydrolyse war nicht wahrnehmbar. Engmaschige und halboffene Gewebe schrumpften nach der Hydrolyse um 2 % in beide Richtungen. Offenes Netz hatte eine Schrumpfung von 4 % in beide Richtungen. Keiner der Stoffe schrumpfte, nachdem er 1 Stunde lang auf 70 °C erhitzt wurde. Nach dem Erhitzen auf 150 °C für 30 min schrumpften engmaschige und halboffene Gewebe um 3,3 % in

Längsrichtung und 2 % in Breitenrichtung. Offenmaschige Gewebe schrumpften in beide Richtungen um 2 %. Alle Stoffe zeigten bei Martindale-Abriebtests unter nassen und trockenen Bedingungen keine Durchschlagskräfte. Beim Vergleich von Benchmark 1 (rPET) und Sample 1 DTY (PA 4.10) war nur die Schrumpfung bei 150 °C und die Hydrolyseschrumpfung in Sample 1 höher. Aber auch andere Ergebnisse sind vergleichbar. Alle Strickstrukturen aus Sample 1 erfüllten die adidas Standards für Reißfestigkeit und Zugfestigkeit. Die Zugfestigkeit nach der Hydrolyse veränderte sich nicht wesentlich. Es gab eine Zunahme oder Abnahme von 5-10 % bei verschiedenen Stoffarten oder -zuständen. Die brechende Dehnung wurde stärker von der Hydrolyse beeinflusst. Bei einigen Gewebetypen nahm die Dehnung nach der Hydrolyse um bis zu 17 % ab. Die mechanischen Eigenschaften von Geweben aus Sample 1 DTY waren viel besser als von Geweben aus Benchmark 1, was das Potenzial von Sample 1 für die Herstellung von Schuhoberteilen zeigt.

- Um Demonstratoren zu erstellen, wurden die Schuhoberteile aus Sample 2 aus adidas hergestellt und die Schuhe wurden unter Verwendung eines der vorhandenen adidas-Modelle hergestellt (Abb. 8). Im Obermaterial wurde kein Elasthan verwendet, um ein Obermaterial zu erhalten, das vollständig aus biobasierten Garnen besteht und das Obermaterial ohne Elasthan bewertet.

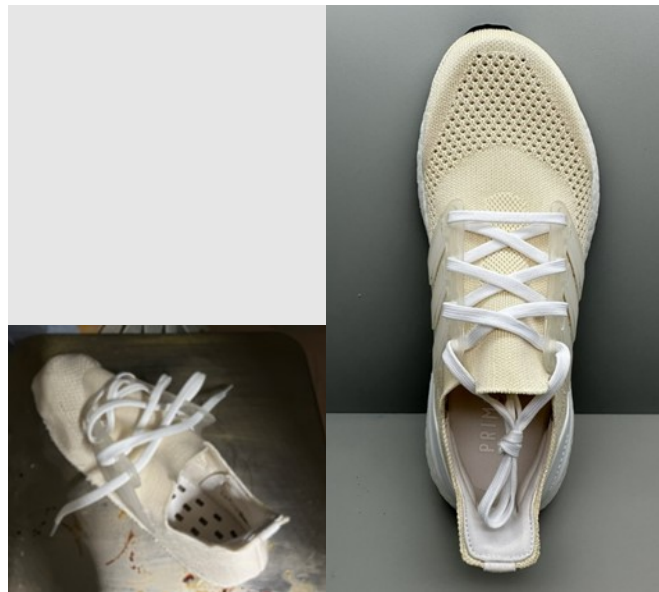


Abbildung 8. Schuh-Demonstrator aus Sample 1 DTY.

- Produkttests, einschließlich Flex (Abbildung 9) und Step-in-Test, wurden bei adidas durchgeführt. Alle Tests bestanden die Normen. Die Stufe war höher als beim gleichen Schuhmodell mit Elasthan, lag aber immer noch innerhalb der Anforderungen von adidas. Nach dem Flex-Test wurden keine Brüche oder Beschädigungen festgestellt.
- Die Tragetests der Schuhe wurden von männlichen Trägern für das Laufen und den täglichen Gebrauch durchgeführt. Die Kommentare waren positiv und die Schuhe wurden von den Testern gut wahrgenommen. Sie kommentierten, dass das Obermaterial genügend Halt bietet und sogar ohne das Käfigstück hergestellt werden kann (was ein geringeres Gewicht und weniger Plastikverbrauch bei der Schuhproduktion bedeutet). Der Schuh fühlte sich leicht und bequem an. Ohne die Zugabe von Elasthan ist das Anziehen der Schuhe etwas schwieriger als bei dem gleichen Schuh mit Elasthan, was sich jedoch nicht negativ auf den Schuhkomfort auswirkte.



Abbildung 9. Flex-Test Aufbau (oben) und Demonstrator-Schuhe nach 50.000 Flex-Test-Zyklen (unten links und rechts). Es wurden keine Brüche oder Schäden festgestellt.

2.3.1.2 PA 4.10 Bekleidung (Sample 2)

- Sample 2 POY-Garne für die APP-Verwendung wurden in AMIBM gesponnen. Die Garne haben eine geringere lineare Dichte (100dtex) im Vergleich zu früheren Versuchen, was auf die Empfehlung von Otex für das Streckverhältnis von PA-Garnen zurückzuführen ist (~1,2 statt ~1,5 in früheren Versuchen).
- Die mechanischen Eigenschaften der POY-Garne aus Sample 2 wurden bei adidas getestet (Abb. 10). Sie wiesen eine höhere Festigkeit (33,6 cN/tex) auf als Benchmark-2-POY-Garn (21,1 cN/tex) und kommerzielles rPET-POY-Garn. Die Festigkeit der POY Garne aus Sample 2 (33,6 cN/tex) war etwas geringer als die des Pre-Sample 4 in der vorherigen Studie (36,6 cN/tex). Die Elongation hatte sich in den neuen Versuchen fast verdoppelt (84,4%). Die Standardabweichung hatte sich jedoch sowohl für die Festigkeit als auch für die Dehnung erhöht, was zeigt, dass die Garne weniger gleichmäßig sind.

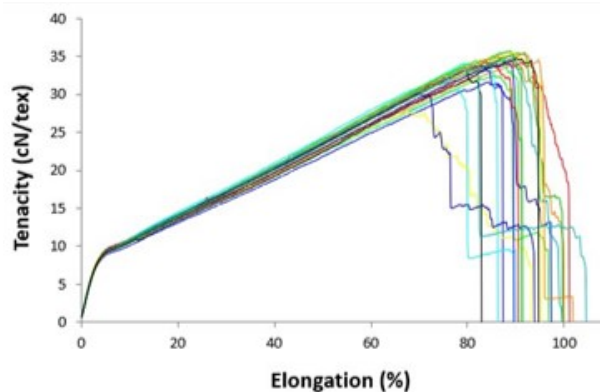


Abbildung 10. Kraft-Dehnungs-Diagramm von Sample 2.

- Die Prüfung von Sample 2 POY auf Gleichmäßigkeit, Zugkraft und Reibungskoeffizient bei adidas zeigte, dass die Gleichmäßigkeit der Garne noch gering war und Schwierigkeiten bei der Texturierung und den nächsten Produktionsschritten zu erwarten waren. Generell erwies sich das Spinnen der Bekleidungsgarne in höherer Feinheit bei AMIBM sowohl für PA 4.10- als auch für rPET-Garn als Herausforderung.
- Die Texturierung von Garnen aus Sample 2 bei Otex war in der Tat eine Herausforderung und es kam häufig zu Schwankungen der Fadenspannung sowie zu Filament- und Fadenbrüchen. Die DTY-Garne aus Sample 2 wurden bei adidas getestet. Die Garneigenschaften waren zwischen den Spulen unterschiedlich, was auf Unebenheiten der POY-Garne oder eine schlechte Texturierung zurückzuführen sein kann. Zwischen den verschiedenen getesteten Spulen variierte die Festigkeit zwischen 32 und 37 cN/tex (ähnlich wie bei Sample 1 DTY). Die Bruchdehnung lag zwischen 29 und 43 %. Einige der

Spulen erfüllten das Festigkeits-/Dehnungsziel des Projekts. Die Festigkeit von Sample 2 DTY war ähnlich wie bei Benchmark 2, während die Bruchdehnung doppelt so hoch war wie bei Benchmark 2.

- Die Prüfung der Schrumpfung von Sample 2 DTY ergab einen bemerkenswert hohen CV%, der auf Probleme in den nächsten Verarbeitungsstufen hindeuten würde.
- Die mechanischen Gesamteigenschaften der im Projekt hergestellten Samples und Benchmarks sind in Tabelle 6 zum Vergleich aufgeführt.

Tabelle 6. Vergleich mechanischer Eigenschaften zwischen Samples und Benchmarks.

Polymer	Probename	Anwendung	Garntyp	Lineare Dichte (dtex)	Filamentzahl	Festigkeit (cN/tex)	Dehnung (%)
PA 4.10	Sample 1	FTW	POY	200	48	25,5 ± 0,5	87,2 ± 2,4
			DTY	165	48	33,39 ± 0,8	34,48 ± 2
PA 4.10	Sample 2	APP	POY	100	72	33,6 ± 2,1	84,4 ± 6,4
			DTY	80	72	34,3 ± 2	38 ± 3,3
rPET	Benchmark 1	FTW	POY	259	48	20,6 ± 2,1	129,6 ± 7,6
			DTY	167	48	35,5 ± 1,2	25,5
rPET	Benchmark 2	APP	POY	129	72	21,3 ± 1,2	116,7 ± 13
			DTY	80	72	32 ± 1,8	18,3 ± 1,3

- Die Garne aus Sample 2 wurden bei adidas auf ihre Strickbarkeit getestet. Die Single-Jersey-Stoffe wurden auf einer 24-Gauge-Rundstrickmaschine ohne Zusatz von Elasthan hergestellt. Es wurde ein Farbunterschied zwischen den Stoffmustern beobachtet, der auf Farbunterschiede in den Spulen zurückzuführen war. Einige Streifen und Löcher waren auf den Stoffen deutlich erkennbar, die durch Unebenheiten des Garns und fehlendes Filament sowie durch Fadenbruch beim Stricken entstehen können.
- Die Qualität der Stoffe aus Sample 2 DTY-Garn wurde bei adidas getestet. Die Martindale Pilling- und Snagging-Tests erfüllten die adidas Standards. Diese Ergebnisse sind besser als bei Stoffen aus Benchmark 2. Die Berstfestigkeit und die Kugel-Burst-Ergebnisse erfüllten die anfänglichen Anforderungen von adidas, jedoch nicht die Norm für Teambekleidung. Die Berstfestigkeit war bei Benchmark-2-Stoffen besser, bei Sample 2-Stoffen jedoch besser. Die Wärmeschrumpfung unter der Wärmeübertragungsplatte bei 170 °C erfüllte die adidas Standards. Die Alterung durch Hydrolyse von Geweben aus Sample 2 entsprach nicht dem Standard und die Gewebe zeigten eine gewisse

Farbveränderung. Bei den Feuchtigkeitsmanagement-Tests, die für Sporttextilien wichtig sind, bestanden die Verdunstungsrate und die Wasseraufnahme nicht die adidas Standards und die Ergebnisse waren schlechter als bei Benchmark 2. Die Ergebnisse der Feuchtigkeitstransporthöhe lagen jedoch im akzeptablen Bereich und waren besser als bei Stoffen aus Benchmark 2.

- Als Demonstrator des Projekts wurden bei adidas Trainingsoberteile für Frauen aus Stoffen aus Sample 2 DTY hergestellt (Abb. 11).



Abbildung 11. Sportoberteil-Demonstrator

- Die Tragetests der Oberteile wurden von weiblichen Trägerinnen für das Training durchgeführt. Die T-Shirts wurden von den Testerinnen gut wahrgenommen und es wurde positives Feedback wie sehr weicher Stoff, kühle Haptik, geringes Gewicht und Bewegungsfreiheit geteilt.
- AMIBM hatte Sample 3 (PA 6.9 APP-Garne) gesponnen und OTEX hatte diese Garne texturiert. Die Rückmeldungen von AMIBM als auch von OTEX zur Garnqualität waren positiv, jedoch wurden die Garne aufgrund der Verzögerungen im Projekt, die darauf zurückzuführen waren, dass über einen langen Zeitraum des Projekts kein Texturierungspartner vorhanden war, viel später als geplant an adidas geliefert. Daher gab es nicht genügend Zeit, um die Garne zu testen und Stoffe und Demonstratoren herzustellen und ihre Qualität vor dem Ende des Projekts zu bewerten.

Adidas arbeitete mit allen Partnern des Projekts in verschiedenen Arbeitsgruppen für Innentextilien, Geotextilien und Automobiltextilien zusammen, um einen finalen Musterkatalog zu

erstellen. Im Rahmen des Projekts plante und erhielt der Zuwendungsempfänger Personalkosten sowie Kosten für die Materialbeschaffung der erforderlichen Polymere und andere direkte Projektkosten im Zusammenhang mit der Texturierung des Materials. Geplant und durchgeführt wurden die Arbeiten von Mitarbeitern mit der jeweiligen Expertise und dem Hintergrund in Chemie, Material und Textiltechnik geplant und durchgeführt.

3 Fortschreibung des Verwertungsplans

3.1 Nutzung der Ergebnisse

Dieses Projekt schlug neue nachhaltige Lösungen vor, die für die Sportindustrie geeignet sein könnten und nicht nur den Verbrauch von erdölbasierten Produkten reduzieren, sondern auch neue Eigenschaften bieten, die von den derzeitigen Materialien in der Industrie nicht erreicht werden. Basierend auf diesen Beobachtungen ist eine weitere Evaluierung und mögliche Skalierung einiger der untersuchten Materialien geplant, da sie ein hohes Potenzial für Sportbekleidungsprodukte zeigten.

3.2 Einsatz in BIOTEXFUTURE-Folgeprojekt

im Rahmen des Innovationsraums BIOTEXFUTURE befasst sich das Projekt ‚BioTexCirc‘ mit der Untersuchung von chemischem Recycling einiger der Materialien, die im Rahmen des Biobase-Projekts untersucht wurden.

4 Änderungen gegenüber des ursprünglichen Projektplanes und Arbeiten ohne Lösung

Aufgrund von Verzögerungen im Texturierungsschritt wegen des Wechsels des Texturierungspartners und aufgrund des Zeitmangels für die Iteration der Spinn- und Texturierungsschritte wurden die Arbeitspakete 3 und 4 ineinander integriert und die Schritte des Skalierens und Texturierens, der Herstellung von Textilien, der Qualitätsprüfung von Textilien und der Herstellung von Demonstratoren als Kombination beider Arbeitspakete durchgeführt. Zusätzlich erhielt das Projekt aufgrund dieser Verzögerungen eine kostenneutrale Verlängerung um drei Monate. Das Projektende war daher der 29.02.2024. Es gab keine Arbeitspakete bzw. Arbeiten, die ohne Lösung blieben.

5 Weitere Anschlussmöglichkeiten

Weitere Studien sind geplant, um die Eigenschaften einiger der Materialien zu untersuchen, die ein hohes Potenzial für einen nachhaltigen Ersatz der Materialien des aktuellen Portfolios aufweisen. Dazu gehört auch die Untersuchung der chemischen Recyclingfähigkeit dieser Materialien, die z.T. im Rahmen des aktuell laufenden Projekts ‚BioTexCirc‘ im Rahmen des Innovationsraums BIOTEXFUTURE untersucht werden. Eine mögliche Skalierung des Produkts wird abhängig von den Ergebnissen der weiteren Evaluierung in Betracht gezogen.

BIOTEXFUTURE BioBase – Umsetzungsphase, Teilprojekt J – adidas AG

Kurzbericht

28.08.2024

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Ein zentrales Problem bei der Kunststoffproduktion ist die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Eine Alternative zur Herstellung von Kunststoffen auf Basis fossiler Rohstoffe ist die Herstellung von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Sogenannte Biopolymere können zum Beispiel aus Getreide synthetisiert werden.

Ziel des Projekts BioBase ist es, biobasierten Chemiefasern in den Bereichen textilbasierter Konsumgüter und technischer Textilien zum Durchbruch zu verhelfen. Derzeit erforschte Chemiefasern auf Basis nachwachsender Rohstoffe sind zu teuer, nicht für technische Anwendungen ausgelegt und in der derzeit etablierten Prozesskette nur eingeschränkt oder nicht zuverlässig und reproduzierbar verarbeitbar. Aktuelle Markteintrittsbarrieren für Biopolymere im Textilbereich sind neben der Verfügbarkeit von Material- und Prozesswissen unzureichende mechanische und/oder thermische Eigenschaften.

Im Projekt BioBase wurde in fünf Teilprojekten entlang der textilen Wertschöpfungskette sukzessiv der technologische Reifegrad für die industrielle Herstellung biobasierter und nachhaltiger Chemiefasern erhöht. Dazu wurden Polymere, Garne und textile Oberflächen anwendungsorientiert und unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen in den Bereichen Automotive, (Sport-)Bekleidung, Interieur und technische Textilien entwickelt. In Zusammenarbeit zwischen den Forschungseinrichtungen und Industriepartnern wurden industriell gefertigte Demonstratoren entwickelt.

Das Projekt BioBase adressiert die drei Kernziele des Innovationsraums BioTexFuture. Es werden ganzheitlich nachhaltige Textilien auf Basis biobasierter Kunststoffe entwickelt. Die gesamte textile Wertschöpfungskette vom Biopolymer bis zum fertigen textilen Produkt wird abgedeckt. Der gesamtgesellschaftliche Wandel hin zu einer Bioökonomie wird aus wirtschaftlichen Perspektive betrachtet.

2. Projektlaufzeit

Das Projekt war ursprünglich für den Zeitraum vom 01.02.2020 - 31.01.2023 geplant. Aufgrund von Verzögerungen wegen der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie und des Fehlens eines Texturierungspartners im Projekt wurde das Projekt kostenneutral bis zum 29.08.2024 verlängert.

3. Zentrale Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Biopolymere getestet, von denen die Polymere PA 4.10 und PA 6.9 ein höheres Potenzial für die Sporttextilindustrie hatten. Es wurde festgestellt, dass das Spinnen feinerer Garne, die für Bekleidungsanwendungen geeignet sind, eine größere Herausforderung für das Forschungszentrum darstellte und dass mehr Aufwand zur Prozessoptimierung und Prozessstabilität erforderlich sind, um Garne mit höherer Gleichmäßigkeit und stabilen Eigenschaften zu erzielen. Der Spinnprozess für gröbere Garne zur Verwendung in Schuhen war jedoch stabiler und es wurden Garne mit besserer Gleichmäßigkeit und einheitlicheren Eigenschaften erzielt.

Trotz allem zeigte die Prüfung der im Rahmen des Projekts entwickelten Garne aus biobasierten Polymeren, dass die mechanischen Eigenschaften mit den weit verbreiteten erdölbasierten Polyester Garnen wettbewerbsfähig sind und in einigen Fällen die Eigenschaften von Polyester übertreffen. Die Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass eine weitere Optimierung des Prozesses und seiner Stabilität sowie der Garngleichmäßigkeit, die Garneigenschaften noch weiter verbessern könnten.

Die entwickelten Garne erwiesen sich als geeignet für die Produktion von Textilgeweben und die Herstellung von Textilprodukten und damit Demonstratoren war möglich. Die Qualität der Gewebe, wie z. B. mechanische Eigenschaften, Abrieb, Fäden- oder Schlingenbildung, Alterung usw., lag in einem für Sportprodukte geeigneten Bereich. Es besteht jedoch noch Verbesserungspotential einiger Feuchtigkeitsmanagement-Eigenschaften dieser Stoffe.

Aus den im Rahmen des Projekts entwickelten Garnen und Geweben wurden Sportprodukte wie Laufschuhe und Trainings-T-Shirts hergestellt, die von den Testpersonen jeweils als positiv bewertet wurden.

4. Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen und Partnern

Während des Projekts war das AMIBM der Hauptpartner von adidas in der Arbeitsgruppe ‚Sporttextilien‘. Die ersten Versuche zum Spinnen und Texturieren von Garnen wurden im ITA durchgeführt, die meisten im AMIBM. Nach dem Ausscheiden des Texturierungspartners ZUE aus dem Projekt arbeiteten adidas und AMIBM für die Texturierung der Garne mit Otex. Tecnaro war ein weiterer Partner in der Bewertung der Eigenschaften von Garnen aus den von adidas entwickelten Biopolymerverbindungen. Die SWOT-Analyse der Polymere, Garne und Produkte wurde in Zusammenarbeit mit dem TFI durchgeführt. Adidas arbeitete mit allen Partnern des Projekts in verschiedenen Arbeitsgruppen für Innentextilien, Geotextilien und Automobiltextilien zusammen, um einen finalen Musterkatalog zu erstellen.