

Regionales unternehmerisches Bündnis zum Aufbau von Wertschöpfungsketten für
technische Biokunststoffe in Mitteldeutschland „RUBIO“

Abschlussbericht Teil I - Kurzbericht

zum Vorhaben

VP 4: „Verarbeitungsverfahren für bio-basierte PBS-Werkstoffe“

TP4.4: „Erforschung der Verarbeitung von PBS-Werkstoffen zu
Geotextilien“

Akronym

„RUBIO-4-4“

im Rahmen des Förderprogramms „RUBIN -Regionale unternehmerische Bündnisse für
Innovation „des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Antragsteller

NAUE GmbH & Co. KG
Markneukirchner Str. 4
08626 Adorf/Vogtland

Teilprojektleiter

Dr. Martin Tazl

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03RU1U024D
Projektlaufzeit:	01.09.2021 bis 31.08.2024
Berichtslaufzeit:	01.01.2023 bis 30.06.2025

Teil I: Kurzbericht

Zielsetzung des RUBIO TP4-4 für Naue war zum einen der Schluss der Lücke zwischen den schnell abbauenden (Stroh, Kokos, Hanf usw.) und den dauerhaften (PP, PE, PA o.ä.) Erosionsschutzprodukten durch die Verwendung des biologisch abbaubaren Polymers PBS mit einer erwarteten Funktionsdauer von ca. 5-7 Jahren. Zum zweiten sollte auf Basis einer bereits bei Naue entwickelten Geosynthetischen Tondichtungsbahn (GTD), welche aus ausschließliche biologischen bzw. biologisch abbaubaren Materialien besteht, eine einseitig mit einer gas- und wasserundurchlässigen Schicht versehene Variante entwickelt und erprobt werden.

Im Berichtszeitraum wurden dazu nach kleinmaßstäblichen Tastversuchen auf einem eigenen Versuchsextruder zur groben Ermittlung der Verarbeitungseigenschaften sowie Rezepturen, die neben PBS auch andere biologisch abbaubare Polymere enthielten, erste Versuche eines Scale-Up der Erosionsschutzmatte in der Größenordnung eines typischen zu erwartenden Kleinauftrages durchgeführt. Die Scale-Up Versuche haben bestätigt, dass das zur Verfügung stehende PBS-Material noch nicht den Ansprüchen einer Produktion im industriellen Maßstab genügt. Insbesondere die Siegelfähigkeit, welche die maßgebliche Voraussetzung für eine hinreichende Verbindung der extrudierten Filamente darstellt, war nicht auf ein ausreichendes Niveau zu bringen.

Des Weiteren wurden mit Unterstützung des Fraunhofer IAP kleinmaßstäbliche Versuche zur Kaschierung einer Tondichtungsbahn durchgeführt und verschiedenen PBS-Blends auf ihre Eignung und technischen Eigenschaften überprüft. Naue hat für die Erstellung der Demonstratoren durch das Fraunhofer IMWS die benötigten Grundkomponenten in drei verschiedenen Ausprägungen zur Verfügung gestellt. Beginnend beim reinen Gewebe, welches die Kontaktfläche zur PBS Beschichtung darstellt, über eine Vliesstoff-/Gewebekombination bis zur kompletten GTD ohne Beschichtung. Eine Verifikation der Ergebnisse des Fraunhofer Instituts konnten, trotz vielversprechender Ergebnisse, hauptsächlich aufgrund der Schmelzfließigenschaften (MFR) der zur Verfügung stehenden PBS-Varianten nicht auf der Industrieanlage durchgeführt werden.

Regionales unternehmerisches Bündnis zum Aufbau von Wertschöpfungsketten für
technische Biokunststoffe in Mitteldeutschland „RUBIO“

Abschlussbericht Teil II – Ausführlicher Sachbericht

zum Vorhaben

VP 4: „Verarbeitungsverfahren für bio-basierte PBS-Werkstoffe“

TP4.4: „Erforschung der Verarbeitung von PBS-Werkstoffen zu
Geotextilien“

Akronym

„RUBIO-4-4“

im Rahmen des Förderprogramms „RUBIN -Regionale unternehmerische Bündnisse für
Innovation „des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Antragsteller

NAUE GmbH & Co. KG
Markneukirchner Str. 4
08626 Adorf/Vogtland

Teilprojektleiter

Dr. Martin Tazl

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03RU1U024D
Projektlaufzeit:	01.09.2021 bis 31.08.2024
Berichtslaufzeit:	01.01.2023 bis 30.06.2025

Teil II: Ausführlicher Sachbericht

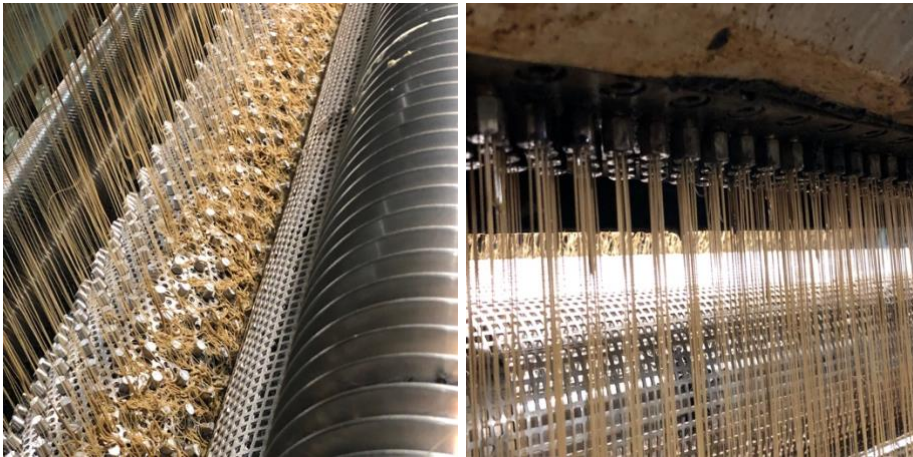
Prozessierung Wirrgelege Scale-Up

In Folge der Tatsache, dass auch bis zum Projektende kein regionales PBS mit, für die Herstellung des geplanten Wirrgeleges geeigneten Eigenschaften aus dem VP3 bzw. VP2 zur Verfügung stand, mussten sich die durchgeführten Verarbeitungsversuche auf eine Optimierung der Blendzusammensetzung unter Zuhilfenahme von kommerziell erhältlichen PBS-Typen beschränken.

Für die Durchführung der Scale-Up Versuche zur Herstellung von biologisch abbaubaren Erosionsschutzmatten wurde zunächst von der zuvor ermittelten Rezeptur R3 (48% Luminy L105 + 50% BioPBS FZ71PM + 2% Farbbatch auf PLA-Basis) ausgegangen. Die Versuche dienten zum einen der Herstellung von Material zur weiteren Erprobung in der späteren Anwendung und zum zweiten der Überprüfung, ob unter den gegebenen Umständen eine Produktion über einen längeren Zeitraum möglich ist. Dabei wurde sowohl die Qualität des Produktes als auch der Zustand der Produktionsanlage kontinuierlich überwacht. Im Ergebnis musste leider festgestellt werden, dass es mit den zur Verfügung stehenden Rohstoffen zurzeit noch nicht möglich ist ein marktfähiges Produkt sicher herzustellen. Im Detail zeigte sich hierbei, dass die sogenannte Siegelfähigkeit an den Verbindungspunkten der einzelnen Filamente nicht ausreichend ist, um einen flächigen Verbund und damit ein sicheres Auf- und Abspulen des Produktes zu gewährleisten. Die Auswirkung des mangelnden Verbundes zeigte sich bereits nach einer kurzen Lagerzeit des aufgerollten Produktes (40lfm pro Rolle) dadurch, dass ein Abrollen des Produktes nicht mehr möglich war, ohne dass sich die Filamente in Längsrichtung voneinander lösten und eine Verlegung und Verankerung auf der Baustelle unmöglich wurde.

Eine weitere Einschränkung neben der ungenügenden inneren Stabilität der Erosionsschutzmatte stellte sich in den Produktionsprozessen heraus, dass aus verschiedenen Gründen keine zufriedenstellende Produktdicke bzw. Produkthöhe erreichen ließ. Während das nicht biologisch abbaubare Referenzprodukt dicken von 20mm und mehr erreicht, konnte ohne eine Anpassung der Produktionsanlage

zunächst nur eine Produkthöhe von 1-2mm (entspricht etwa doppelter Filamentdicke) erreicht werden. Ursache dafür ist die, im Vergleich zu PP usw., etwa 30% höhere Dichte von ca. 1,2-1,3 g/cm³. Während der Extrusion der einzelnen Filamente aus senkrecht angebrachten Düsen, aus denen das Material im freien Fall austritt und in einem Wasserbad zwischen zwei Abstandswalzen erstarrt, bilden sich bei PP kontinuierlich Schlaufen, die sich miteinander verbinden (siegeln). Dieses Verhalten ist beim höher dichten PBS bzw. PBS-Blend kaum zu beobachten. Durch die hohe Dichte ist zunächst eine deutlich geringere Verwirbelung der Filamente im Fall und später auf der Wasseroberfläche zu beobachten. Im Gegenteil ist es sogar so, dass die Filamente nahezu gerade im Wasserbad erstarren.



Um dennoch eine Mindestproduktstärke gewährleisten zu können, wurde eine Formwalze mit gleichmäßig angeordneten, 10mm hohen Stollen angefertigt. Die Formwalze ersetzte in den späteren Versuchen eine der beiden Abstandswalzen. Durch geschicktes Ausrichten der Formwalze im Verhältnis zu den herabfallenden Filamenten konnte eine Erhöhung der Produktdicke auf ca. 9-11mm erreicht werden. Allerdings wurde durch die Formgebung der Zusammenhalt des Produkts in Querrichtung zusätzlich negativ beeinflusst, da an den Noppenflanken kein Material abgelegt wurde. Des Weiteren erfolgt bei dieser Variante eine Materialakkumulation zwischen den Stollen.

Da mit einer Produkthöhe von 10mm eine zumindest grundlegende Wirksamkeit als Erosionsschutzmatte gegeben sein würde, wurde die weitere Optimierung der Produkthöhe an dieser Stelle zurückgestellt. Insbesondere, da dafür nennenswerte Umbauten und Investitionen an der Produktionsanlage nötig würden. Es wurde daher beschlossen den Fokus auf die Verarbeitbarkeit und vor allem die Siegelfähigkeit des PBS-Blend zu legen.



Ausgehend von den vorgenannten Erkenntnissen erfolgten bei dem Projektpartner Fraunhofer IAP zunächst verschiedene Untersuchungen zur Quantifizierung der Siegelfähigkeit verschiedener PBS Varianten sowie die Entwicklung eines dahingehend optimierten Blends unter Verwendung eines weiteren biologisch abbaubaren Polymers (vergl. Abschlussbericht Fraunhofer IMW AP 4.1.10 und AP 4.1.20). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass PBS und PLA im Vergleich zu PP ein deutlich anderes, ungünstigeres Abkühlverhalten haben. Durch eine schnelle Abkühlung der Oberfläche entsteht eine Art Haut, was die Bildung von Siegelpunkten erschwert bzw. verhindert. In enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IMWS wurden Kleinmengen mehrerer Compounds aus PBS, PLA und verschiedenen Modifikatoren hergestellt und auf dem Versuchsextruder der Naue extrudiert. Bei der Auswahl der Modifikatoren musste darauf geachtet werden, dass die andere Eigenschaften wie z.B. der MFR nicht derart verändert werden, dass anderweitige Probleme bei der Produktion auftreten.

Ergebnisse der biologischen Abbauprobungen des PBS-PLA Blend

Die Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit und Bedingungen der industriellen Kompostierung erfolgte im Auftrag im Labor von Normec OWS nv.

Die Zersetzung des Wirrgeleges, das in 5 cm große Stücke geschnitten wurde, verlief gut. Am Ende des Kompostierungstests (nach 12 Wochen) wurde der Inhalt des Testbehälters gesiebt, sortiert, weiter isoliert und analysiert. Als Zersetzung wird eine Verringerung der Größe auf < 2 mm definiert. Nur einige kleine Stücke des Testmaterials wurden in den verschiedenen Siebfractionen (2–5mm, 5–10mm, > 10mm) gefunden. Der weitaus größte Teil des Wirrgeleges war verschwunden. Weniger als 10 % des Materials können nach 12 Wochen Kompostierung noch nachgewiesen werden. Für das Wirrgelege wurde, wie aus untenstehender Tabelle ersichtlich, ein Abbau von 94,1 % dokumentiert.

Material	Filamentdicke (mm)	Abbau (%)	Anforderung (%)
Wirrgelege PBS/PLA	Dünner Teil: 0,52 Dicker Teil: 0,94	94,1	≥ 90%

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das vorliegende Wirrgelege (Dicke: 0,52 mm (dünner Teil), 0,94 mm (dicker Teil)) die 90 %ige Zerfallungsanforderung erfüllt, die festgelegt ist in:

- Europäische Norm EN 13432 Anforderungen an Verpackungen, die durch Kompostierung und biologische Abbaubarkeit verwertbar sind – Prüfverfahren und Bewertungskriterien für die endgültige Abnahme von Verpackungen (2000);
- Australischer Standard AS 4736 Biologisch abbaubare Kunststoffe – Biologisch abbaubare Kunststoffe, geeignet für die Kompostierung und andere mikrobielle Behandlung (2006);
- amerikanischer Standard ASTM D6400 Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities (2023);
- internationaler Standard ISO 17088 Specifications for compostable plastics (2021);
- Internationale Norm ISO 18606 Verpackungen und Umwelt – Organisches Recycling (2013).

Beschichtete Tondichtungsbahn

Im Berichtszeitraum wurde planmäßig mit der Entwicklung und Untersuchung von geeigneten Blends für die Beschichtung einer Tondichtungsbahn (Bentofix © X Green) gestartet. Untersucht wurden am Fraunhofer IMWS mehrere Varianten von Blends aus 2 PBS (Exipnos Bio-ELAN A105 HS2, Bio ELAN A005) und 3 PLA Typen (Nature Works MFI190/2,16 6 (N6) und Corbion MFI190/2,16 8 (C8) und 6 (C6)). Neben der Variation der Komponenten wurde ebenfalls die mengenmäßige Zusammensetzung zwischen PBS und PLA variiert (60/40, 50/50, 40/60). Im weiteren Verlauf wurde ein Modifier hinzugefügt, der die starke Verzweigungsneigung des PBS reduzieren soll.

Die Versuche zur Beschichtung wurden am Fraunhofer IAP/IMWS auf einen kleinmaßstäblichen Laborextruder mit nachgeschalteten Kalandrierwalzen durchgeführt. Naue hat dafür zunächst das geplante PLA Gewebe und dann eine Kombination aus PLA-Vliesstoff und PLA-Gewebe geliefert.



(1) PLA-Bändchengewebe NAUE



(2) PLA-Gewebe / Vlies vernadelt
NAUE

Die Charakterisierung der stoffschlüssigen Verbindung, welche im Beschichtungsprozess im Labormaßstab am Fraunhofer IAP erreicht werden soll, wurden durch Peeltests bei Naue durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft ein beschichtetes Gewebe (PLA-Gewebe/Vlies vernadelt).



PLA-Gewebe/Vlies vernadelt nach dem Coatingprozess

Die Peeltests, welche bei Naue durchgeführt wurden, zeigten tendenziell etwas höhere Verbundfestigkeiten unter Verwendung des vernadelten Vlieses, da hier eine höhere

Verbundoberfläche verfügbar ist. Auch zeigten sich Kennwertverbesserungen durch eine Erhöhung der Extrusionstemperatur verbunden mit einer erhöhten stoffschlüssigen Verbindung zwischen Coatingmaterial und Vliesstoff. Höhere Verbundfestigkeiten konnten zudem mit der Materialkombination PBS/PLA im Vergleich zu reinem PBS (Coatingschicht und Gewebe) erzielt werden. Ein Einfluss der PLA-Type auf die Verbundfestigkeit zeigte sich nicht. Ausgewählte Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

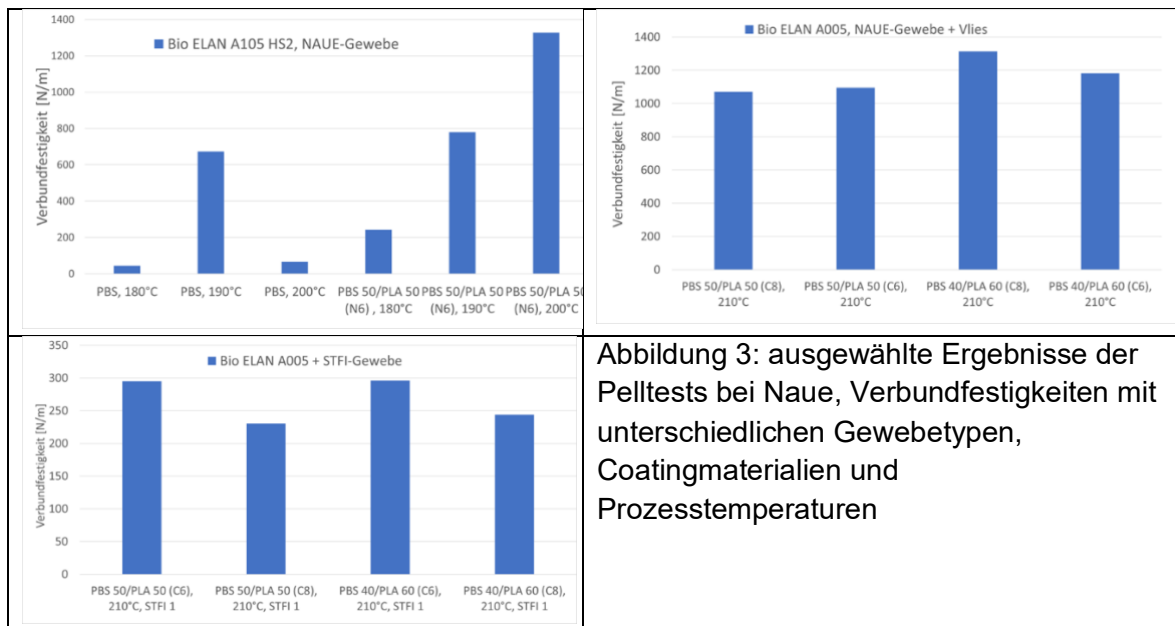


Abbildung 3: ausgewählte Ergebnisse der Pelltests bei Naue, Verbundfestigkeiten mit unterschiedlichen Gewebetypen, Coatingmaterialien und Prozesstemperaturen

Zum Ende der Projektlaufzeit konnten an kleine Mengen regionalen PBS (PAZ_29, Fraunhofer IAP/PAZ) einige Grundsatzuntersuchungen durchgeführt werden. Für detaillierte Informationen siehe Abschlussbericht vom Fraunhofer IMWS. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass ein ausreichender Verbund zwischen Gewebe und PBS-Beschichtung erreichbar ist.

Zum Ende des Projektes wurden durch Naue auch komplette Bentonitmatten zur Verfügung gestellt und am Fraunhofer IMWS, abweichend vom eigentlich geplanten Produktionsverfahren (inline Extrusion auf die Bentonitmatte), mit Hilfe einer Doppelbandpresse zu einem vollständigen Demonstrator zusammengefügt.



Ein großmaßstäblicher Versuch auf der Produktionsanlage bei Naue konnte aufgrund des deutlich zu hohen MFR der PBS-Compounds nicht durchgeführt werden. Die Produktionsanlage ist lediglich in der Lage Thermoplaste bis zum einem MFR von ca. 3g/10min (190/5) sicher zu verarbeiten. Das verfügbare PBS mit einem MFR von 15g/10m (190/2,16) liegt um Größenordnungen außerhalb dieser Anforderung. Aus diesem Grund konnte ein Scale-Up nicht wie geplant ausgeführt werden.

Recycling von PBS

Die Produktionsabfälle sowie die produzierten und nicht für weitere Untersuchungen verwendeten Wirrgelegematten wurden dem Konsortium (VP5-1) für Recyclingversuche zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich um eine Menge von ca. 700kg PBS/PLA Blend, welches mit einem Farbbatch eingefärbt war. Die Ergebnisse sind dem entsprechenden Abschlussbericht des VP5-1 zu entnehmen.