

LOVR™ - die
plastikfreie
Lederalternative aus
Agrarreststoffen

revoltech

Abschlussbericht

Revoltech GmbH

LOVR - die plastikfreie Lederalternative aus Agrarreststoffen

Abschlussbericht zu dem Entwicklungsprojekt mit dem AZ 35504/22-21/2

von

Dr.-Ing. Lukas Schell, Montgomery Wagner

Darmstadt
August 2024

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Hauptteil.....	3
2.1	Flexibilität erhöhen.....	3
2.2	Oberfläche Veredeln.....	6
2.3	Färben.....	9
2.4	Faservariation.....	10
2.5	Umformen.....	10
2.6	Prototypen und Anwendungsversuche.....	12
2.7	Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse.....	14
2.8	Ökologische Bewertung.....	14
2.9	Ökonomische Bewertung.....	15
3	Fazit.....	16
4	Literaturverzeichnis.....	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: a) Quer-, Längs- und Schrägwalze, b) Walkprüfstand mit Walzen.....	4
Abbildung 2: a) Kugelwerkzeuge, b) Wirkprinzip der Flexibilitätssteigerung mit Kugelwerkzeugen.....	5
Abbildung 3: Prüfstand zur Flexibilitätsmessung.....	5
Abbildung 4: Eindrücken der Probe in den Spalt.....	5
Abbildung 5: Einfluss des Walkens auf die Flexibilität von LOVR™ am Beispiel des Kraftbedarfs im Biegeversuch.....	6
Abbildung 6: Geprägte LOVR™-Oberflächen mit unterschiedlichen Prägemustern.	7
Abbildung 7: a) Schleifroboter für Laboranwendung, b) Unterschiedliche geschliffene Oberflächen von LOVR™.....	7
Abbildung 8: LOVR™ in regelmäßig gelochter und fein perforierter Ausführung.	8
Abbildung 9: Wassertropfen auf LOVR™ Oberfläche, a) unbeschichtet, b) beschichtet mit DoGa.	9
Abbildung 10: Laborblätter aus gefärbtem LOVR™, a) Pigmentfarbstoffe, b) pflanzliche Farbstoffe.	9
Abbildung 11: Kuppelbildung im Tiefungsversuch bei Raumfeuchte und 15 % Feuchtigkeit.....	11
Abbildung 12: Wirkmedienbasierte Umformung.....	11
Abbildung 13: Umgeformtes LOVR™, a) wirkmedienbasiert, b) mit starrem Werkzeug.....	12
Abbildung 14: Prototypen aus LOVR™ Material (Uhrenarmbänder, Automobilinnenraum, Cardholder, Klamottenlabei, Schuheinlegesohle).....	13
Abbildung 15: Ausgewählte Messestände und öffentliche Auftritte zur Verbreitung der Projektergebnisse.....	14

Zusammenfassung

Im Projekt „LOVR™ - die plastikfreie Lederalternative aus Agrarreststoffen“ wurde ein neuartiges, lederähnliches Material auf Basis von Hanffasern weiterentwickelt, das vollständig biologisch abbaubar, vegan und frei von petrochemischen Bestandteilen ist. Das Ziel ist die Veredelung des Grundmaterials, um seine Einsatzmöglichkeiten in anspruchsvollen Branchen wie der Automobil- und Schuhindustrie zu erweitern. Untersucht wurden Methoden zur Steigerung der Flexibilität, Oberflächenveredelung, Färbung, Faservariationen sowie Umformungsverfahren.

Eine signifikante Steigerung der Flexibilität wird durch die Entwicklung und Umsetzung eines neuen Walkprozesses erreicht. Die Oberfläche des Materials kann erfolgreich durch Schleifen, Prägen und Perforieren veredelt und somit ästhetisch und funktional optimiert werden. Die Färbung mit Pigment- und Pflanzenfarbstoffen ermöglicht die Anpassung des Materials an spezifische Kundenwünsche. Faservariationen führen zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Reißfestigkeit. Die Umformbarkeit des Materials wird durch verschiedene industrielle Verfahren getestet und optimiert.

Für die industrielle Umsetzung sollten weitere Untersuchungen zur Standzeit der Werkzeuge (Walken) und zur Integration der Verfahren in den kontinuierlichen Produktionsprozess durchgeführt werden. Die Entwicklung von flexiblen, nachhaltigen Beschichtungen und von Umformprozessen sollte in zukünftigen Projekten fortgeführt werden.

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industriepartnern durchgeführt und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az: 35504/22-21/2) gefördert.

1 Einleitung

Lederverarbeitende Unternehmen sind auf der Suche nach umweltfreundlichen Alternativen zu Leder, um entsprechenden Kundenwünschen gerecht zu werden. Jedoch wird diese Nachfrage aus dreierlei Gründen nicht erfüllt. Erstens enthalten vermeintlich nachhaltige Lederalternativen (z. B. Kaktus-, Wein-, oder Apfelleder) petrochemische Bestandteile, weshalb sie ökologisch ebenso bedenklich sind wie tierisches Leder: Aufgrund ihres Schichtaufbaus weisen sie die gleichen Recycling-Schwierigkeiten auf wie klassische Kunstleder. Hinzu kommt, dass durch toxikologische Gutachten gesundheitsschädliche Chemikalien nachgewiesen wurden [MDSM21]. Veröffentlichungen unabhängiger Forschungsinstitute bestätigen den Verdacht des Greenwashings [TRNR05]. Zweitens sind jene Alternativen aufgrund ihres Schichtaufbaus, Geruchs und der künstlich wirkenden Oberfläche qualitativ minderwertiger. Drittens weisen Lieferschwierigkeiten der bekannten Hersteller von veganen Lederalternativen auf Probleme in der Skalierung der Produktion hin.

Insgesamt können derzeit verfügbare Materialien die Nachfrage nach nachhaltigen und qualitativ hochwertigen Lederalternativen nicht decken. Gleichzeitig sehen sich textilverarbeitende Unternehmen mit strengen EU-Vorgaben bzgl. Kreislaufwirtschaft, Klimaneutralität und dem Einsatz von Chemikalien bzw. Kunststoffen konfrontiert. Mit der Unterzeichnung der „UN Fashion Industry Charter for Climate Action“ setzen sich mehr als 100 Unternehmen, darunter Konzerne wie Adidas, Decathlon, H&M und LVMH, ambitionierte Ziele zur Reduktion der CO₂-Emissionen [Unfc21]. Ambitionierte Umweltziele gibt es ebenfalls in der Möbel- [Deut16] und der Automobilbranche [Müll23]. Zum Erreichen dieser Ziele sind aus Sicht der Antragsteller umfangreiche Materialentwicklungen notwendig.

Die Revoltech GmbH entwickelt seit ihrer Gründung im Juni 2021 mit LOVR™ ein lederähnliches und nachhaltiges Flächentextil. Dieses basiert auf Hanffasern als Hauptkomponente und ist frei von tierischen und petrochemischen Bestandteilen. LOVR™ ist biologisch abbaubar, vegan, erdölfrei und das erste rein pflanzliche Produkt mit lederähnlichen Eigenschaften. Gegenüber echtem Leder spart es 99 % CO₂ ein: Im Rahmen einer Cradle-to-Cradle Lebenszyklusanalyse (LCA) von LOVR™ wurde ein Erderwärmungspotential von 0,74 kg/m² ermittelt (Echtleder: 73 kg/m² [ChLL14]). Hierbei wurden Beiträge von Inhaltsstoffen (auch Hanfanbau), Logistik, Energieverbrauch in der Produktion sowie das Ende der Lebensdauer (40 % thermische Verwertung, 60 % Recycling) einbezogen.

Zu Beginn des vorliegenden Projektes kann das Grundmaterial LOVR™ im Labormaßstab produziert werden. Ziel des Projektes ist die Veredelung des Grundmaterials und eine öffentlichkeitswirksame Präsentation, um das potenzielle Produktportfolio zu erweitern und perspektivisch den Markteintritt in anspruchsvolle Branchen wie die Schuh- und Automobilindustrie zu ermöglichen. Im Rahmen des Projektes werden unter *Veredelung* im weitesten Sinne die folgenden Verfahren bzw. Verfahrensgruppen verstanden:

1. Millen (auch Walken) bzw. Stollen, um die Flexibilität des Materials zu erhöhen bzw. die Biegesteifigkeit herabzusetzen

2. Prägen, Perforieren, Schleifen und Beschichten, um das Erscheinungsbild bzw. funktionale Eigenschaften zu optimieren
3. Färben, um das Erscheinungsbild kundenspezifisch einzustellen
4. Faservariationen, um die Verwendbarkeit alternativer Fasern zu Hanf zu untersuchen
5. Umformen als grundlegendes Verarbeitungsverfahren
6. Anwendungsversuche zur Realisierung von Prototypen und Demonstratoren

Im Projektantrag wurde eine Einbindung der o.g. Veredelungsverfahren 1 - 4 in den kontinuierlichen Produktionsprozess von LOVR™ angestrebt. Im Laufe des Projektes wurde dies für das Färben und die Faservariationen erreicht. Für das Walken, Prägen, Perforieren, Schleifen und Beschichten hat sich eine Inline-Umsetzung in der Projektlaufzeit als zu ambitioniert herausgestellt, weil hierfür Anlageninvestitionen von mehr als 1 Mio EUR notwendig gewesen wären. Investitionen in dieser Höhe übersteigen das Projektbudget um ein Vielfaches und sind im frühen Entwicklungsstadium von revoltech mit hohem Risiko belegt und daher wenig nachhaltig. In der Projektbearbeitung wurde daher der Fokus auf eine von der kontinuierlichen Produktion unabhängige Umsetzung gelegt, was das Zurückgreifen auf bestehende Anlagen bei Zulieferbetrieben ermöglichte.

2 Hauptteil

Im Hauptteil dieses Abschlussberichtes sind die wesentlichen Projektergebnisse und die Vorgehensweise zu deren Erreichung beschrieben. Die Gliederung orientiert sich in erster Linie an den in der Einleitung aufgelisteten Veredelungsverfahren bzw. Verfahrensgruppen.

2.1 Flexibilität erhöhen

Die Flexibilität bezieht sich im Projekt auf die Fähigkeit von LOVR™, sich leicht biegen zu lassen, ohne zu brechen oder dauerhaft sichtbare Falten zu bilden. Flexibilität ist ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Eignung eines Materials für haptisch anspruchsvolle Anwendungen, z. B. in der Bekleidungsindustrie.

Im Rahmen des Projekts werden mehrere Verfahren zur Erhöhung der Flexibilität von LOVR™ untersucht. Prominente Verfahren aus der Echtlederindustrie sind das Millen (auch Walken) [Graß55] und das Stollen [Lamb25]. Das Millen von einzelnen Materialstücken in Fässern ist prinzipiell umsetzbar und ein manuelles Kneten von LOVR™ führt ebenfalls zu einer erhöhten Flexibilität. Es ist jedoch anzumerken, dass auf diese Weise nur einzelne Materialstücke verarbeitet werden können und der Prozess daher für eine industrielle Umsetzung mit dem Rollenmaterial LOVR™ nicht in Frage kommt.

Beim Stollen wird das Material zwischen einer Lochplatte und einer mit Noppen besetzten Platte bearbeitet. Durch eine Oszillationsbewegung wird das Leder punktuell in die Aussparungen der Lochplatte gedrückt, sodass lokale Erhöhungen von Spannungen und Dehnungen auftreten, die die Faserstruktur auflockern. Das Stollen von LOVR™ erweist sich in industriellen Versuchen bereits in den frühen Projektphasen als ungeeignet. Insbesondere große Materialproben weisen nach dem Stollen Risse auf, was auf eine gegenüber Echtleder geringere Bruchdehnung von LOVR™ zurückzuführen ist. Bei kleinen Materialproben ist ein Randeinzug des Materials möglich, der lokale Spannungs- bzw. Dehnungsspitzen verringert. Mit dem Prozess des Stollens wird eine Steigerung der haptisch empfundenen Flexibilität von LOVR™ nur bei gleichzeitiger Rissbildung erzielt. Hierbei wird das Material jedoch nicht veredelt, sondern mechanisch im makroskopischen Maßstab geschädigt.

Im Projektverlauf werden daher neuartige mechanische Konzepte zur Steigerung der Flexibilität erarbeitet. Vielversprechende Ansätze werden prototypisch umgesetzt, um ihre Wirksamkeit zu untersuchen, gefolgt von ersten Skalierungsversuchen. Die Konzepte werden anhand verschiedener Kriterien bewertet, wobei die maximal erreichbare Flexibilitätssteigerung am wichtigsten ist. Die Effektivität des Verfahrens beschreibt, wie schnell die Flexibilitätssteigerung erreicht wird. Mangelnde Effektivität kann für die Integration in einen kontinuierlichen Prozess problematisch werden. Weiterhin ist wünschenswert, dass der Effekt des Walkens richtungsunabhängig auftritt. Des Weiteren wird bewertet, ob sich prototypische Konzepte auch im industriellen Maßstab umsetzen und im besten Fall direkt in den Fertigungsprozess integrieren lassen. Die Konzepte, die im Kontext dieser Anforderungen weiterhin plausibel sind, werden im Folgenden kurz erläutert.

Aus dem manuellen Kneten von LOVR™ geht hervor, dass der wohl effektivste Mechanismus zur Steigerung der Flexibilität das Biegen des Materials um Enge Radien ist. Schon nach wenigen

Durchläufen in verschiedenen Richtungen lässt sich hier eine deutliche Steigerung der Flexibilität beobachten. Bei der Überführung des Konzepts in einen industriellen Prozess mit Rollenware kommt es allerdings zu Problemen. Das Biegen von Rollenware ist ausschließlich um eine Achse quer zur Laufrichtung möglich, was zu einem anisotropen Ergebnis führt. Auch wenn die Steigerung der Flexibilität quer zur Laufrichtung schon einen positiven Effekt auf die Haptik hat, wäre es wünschenswert einen Prozess zu finden, der die Flexibilität in alle Richtungen erhöht. Hinzu kommt, dass das Biegen der ca. 1.50 m breiten Bahn um enge Radien technisch schwer zu lösen ist. Einfache Umlenkrollen kommen hier nicht in Frage, da sie auf diese Breite nicht genügend Steifigkeit besitzen.

Um den Effekt des Biegens um enge Radien lokal und in verschiedenen Richtungen abzubilden, werden unterschiedliche Walzen konstruiert. In Abbildung 1a sind Walzen in Quer-, Längs- und Schrägrichtung gezeigt. Außerdem werden unterschiedliche Biegeradien untersucht. Getestet werden die verschiedenen Walzen in dem in Abbildung 1b gezeigten Prüfstand.

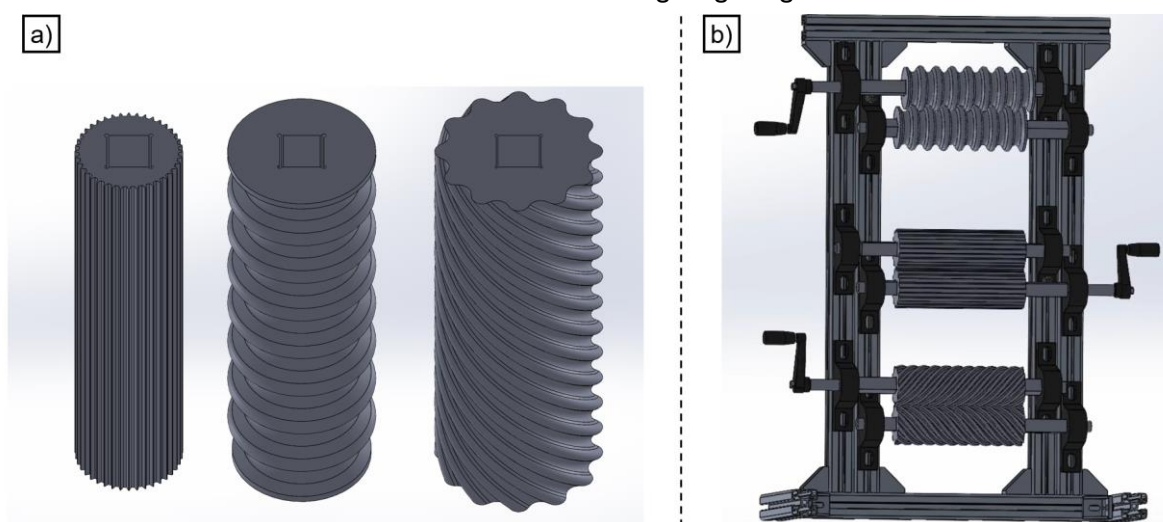


Abbildung 1: a) Quer-, Längs- und Schrägwalze, b) Walkprüfstand mit Walzen.

Die Querwalze mit den kleinsten Biegeradien erzeugt ein enges Riffelmuster, das die Flexibilität des Materials merklich verbessert. Das Muster ist allerdings deutlich sichtbar und nicht erwünscht. Nachdem das Material in einem Heizkalender wieder geglättet wurde, verschwindet auch die zuvor erreichte Steigerung der Flexibilität. Außerdem führt die lokal sehr hohe Beanspruchung des Materials an manchen Stellen zur Delamination. Die beiden anderen Walzen haben deutlich höhere Biegeradien, so dass kein bleibendes Muster entsteht. Allerdings wird das Material hier nur an einigen Stellen verformt, was zu einem inhomogenen Ergebnis führt. Es wäre notwendig eine Vielzahl dieser Walzen in verschiedenen Ausrichtungen hintereinander zu schalten. Die dadurch entstehenden Kosten mindern die Umsetzbarkeit. Außerdem ist das Walkergebnis auch nach zahlreichen Durchgängen nicht so gut, wie das durch Biegen um enge Radien.

Das vielversprechendste Konzept basiert auf einer Bearbeitung von LOVR™ mit Kugelrollen (im Folgenden *Kugelwerkzeug*, siehe Abbildung 2a). Hierbei wird LOVR™ auf einer weichen Unterlage (Widerlager) platziert und mithilfe des Kugelwerkzeugs unter Druck bearbeitet und in einer wechselnden Biegebelastung im Bereich der Kugeln elastisch verformt, siehe Abbildung 2b. Daraus ergibt sich eine effektive und isotrope Steigerung der Flexibilität.

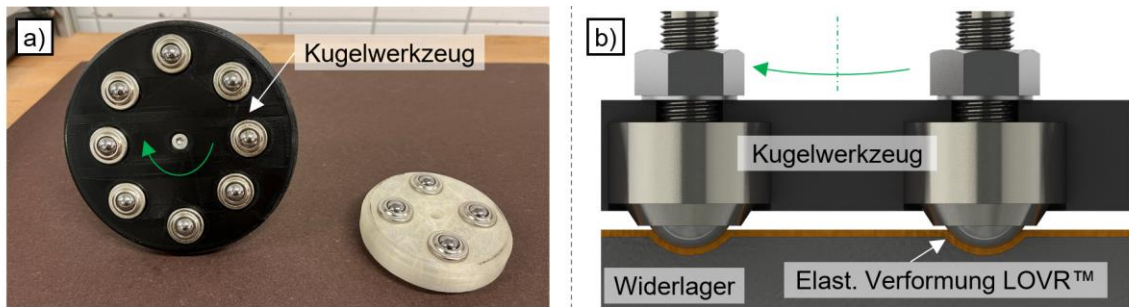


Abbildung 2: a) Kugelwerkzeuge, b) Wirkprinzip der Flexibilitätssteigerung mit Kugelwerkzeugen.

Der Antrieb der Kugelwerkzeuge erfolgt im Labormaßstab mithilfe einer Bohrmaschine. In einem skalierten Versuch im industriellen Maßstab werden Werkzeugantrieb und -zustellung mit stationären Maschinen mit Planetenaggregat umgesetzt. Versuche mit Planetenaggregaten haben gezeigt, dass der Walkprozess grundsätzlich skalierbar ist. Die maschinell gewalkten Materialproben weisen eine deutlich höhere Flexibilität auf als LOVR™ im Ausgangszustand.

Neben der Entwicklung von Verfahren zur Steigerung der Flexibilität von LOVR™ wurde im Projekt ein Prüfverfahren zur Quantifizierung der Flexibilität entwickelt und umgesetzt. Das Verfahren orientiert sich an einem Prüfgerät mit dem Namen „Handle-O-Meter“ von Thwing-Albert, das zur Messung der Griffigkeit bzw. Weichheit von Textilien verwendet wird.

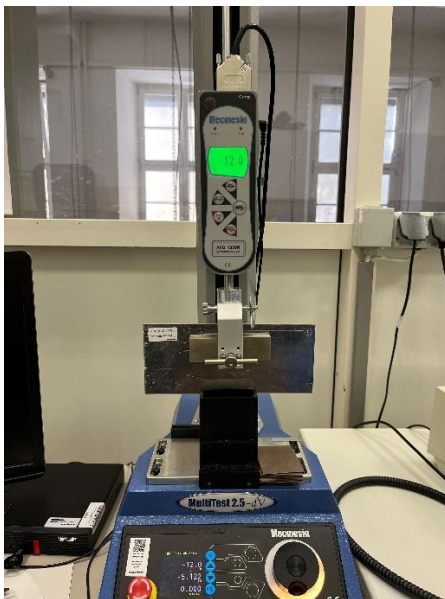


Abbildung 3: Prüfstand zur Flexibilitätsmessung

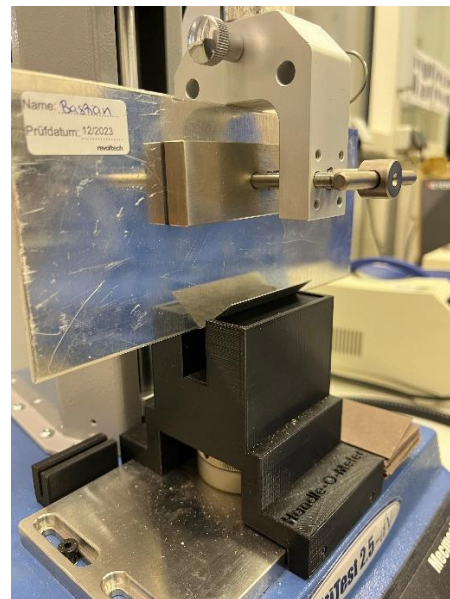


Abbildung 4: Eindrücken der Probe in den Spalt

Die Messgröße sind die Kraft, mit der das Material in den Spalt gedrückt wird und der zugehörige Weg. Als Auswertegröße wurden mehrere Parameter auf deren Korrelation mit der subjektiv empfundenen Flexibilität untersucht. Hierbei hat sich die Maximalkraft als geeignete Auswertegröße herausgestellt. Weitere Auswertegrößen, wie z.B. Arbeitsaufnahme oder anfängliche Steigung des Kraft-Weg-Verlaufs bringen keinen signifikanten Mehrwert. Abbildung 5 zeigt die Kraft-Weg-Verläufe von jeweils vier Messungen des Materials LOVR™ im Ausgangszustand und im gewalkten Zustand, mit einer Steigerung der Flexibilität um 60 %.

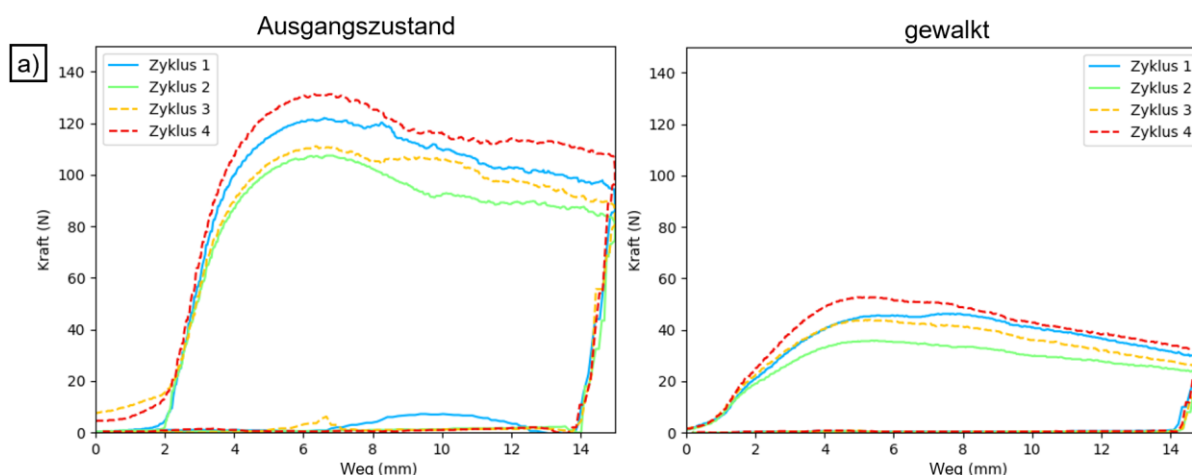


Abbildung 5: Einfluss des Walkens auf die Flexibilität von LOVR™ am Beispiel des Kraftbedarfs im Biegeversuch.

Es ist festzuhalten, dass die technische Machbarkeit des Walkens mit Kugelrollen nachgewiesen wurde. Mit Blick auf einen industriellen Einsatz ist nach Abschluss des Projektes insbesondere die Standzeit der Walkwerkzeuge zu erhöhen und eine Integration in eine Anlage mit kontinuierlichem Materialvorschub umzusetzen.

2.2 Oberfläche Veredeln

Im Bereich der Veredelung von LOVR™ wurden im Rahmen des Projektes das Prägen, das Schleifen, das Perforieren und das Beschichten untersucht.

Beim **Prägen** wird mithilfe von Prägeplatten oder -walzen eine Textur in die Oberfläche von LOVR™ eingebracht. Im Projekt zeigt sich, dass das Prägergebnis maßgeblich durch die Temperatur sowie durch die Wahl des Prägewerkzeuges beeinflusst wird. Eine Beheizung der Werkzeuge auf Temperaturen zwischen 70 und 120 °C (je nach Prägezeit) führt zu einem guten Ergebnis. Die Prägewerkzeuge können je nach gewünschtem Prägemuster ausgesucht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass sehr feine Prägemuster (< 100 µm Gravurtiefe im Werkzeug) auf LOVR™ weniger sichtbar sind als auf Hochglanz-Kunstleder-Oberflächen. Grund hierfür ist die matte, natürlich anmutende Oberfläche von LOVR™. Mit Blick auf eine industrielle Produktion haben sich kontinuierliche Prägeverfahren mit einer Durchlaufgeschwindigkeit von ca. 5 m/s bei einer Linienlast von 450 kg/cm als geeignet herausgestellt. Die Umsetzbarkeit des Prägens im kontinuierlichen Produktionsprozess von LOVR™ ist somit nachgewiesen.



Abbildung 6: Geprägte LOVR™-Oberflächen mit unterschiedlichen Prägemustern.

Durch das Schleifen der Oberfläche von LOVR™ kann die Optik und die Haptik des Materials deutlich aufgewertet werden. Im Rahmen des Projektes wurde ein teilautomatisierter Schleifprozess auf Basis eines Roboterarms umgesetzt, siehe Abbildung 7a.

Für ein optimales Schleifergebnis bei möglichst wenig Materialabtrag ist im Produktionsprozess von LOVR™ auf die Erzeugung einer möglichst ebenen Oberfläche zu achten. Dies wird durch den Einsatz von Glättwerken in der Produktion erreicht. Durch das Schleifen kann somit sowohl das Erscheinungsbild als auch die Haptik signifikant beeinflusst und anforderungsgerecht eingestellt werden, siehe Abbildung 7b.



Abbildung 7: a) Schleifroboter für Laboranwendung, b) Unterschiedliche geschliffene Oberflächen von LOVR™.

Im Bereich der Haptik wird neben der subjektiv empfundenen Weichheit auch der Wärmeübergang eingestellt. Letzterer hat einen Einfluss darauf, wie warm oder kalt der Kontakt mit LOVR™ empfunden wird. Das Erscheinungsbild der Oberfläche ändert sich durch das Schleifen hin zu einer helleren Oberfläche. Dies ist durch das Herauslösen und Aufstellen von Fasern aus der Oberfläche zu erklären. Zum einen sind die somit sichtbar werdenden Fasern etwas Heller als das LOVR™ Material im Verbund; zum anderen streuen die geschliffenen Oberflächen das einfallende Licht in viele verschiedene Richtungen (diffuse Reflexion). Dies führt dazu, dass mehr Licht in Richtung des Betrachters reflektiert wird, wodurch die Oberfläche heller erscheint. Mit Blick auf die Skalierung des Schleifprozesses wurden in Kooperation mit Lohnfertigern aus der Leder- und

Textilindustrie bereits erste Materialmuster bearbeitet. Eine Systematische Untersuchung industrieller Schleifprozesse erfolgt in einem Anschlussprojekt, in dem durch Anpassungen an Rezeptur und Maschinenparametern die Standzeit der verwendeten Schleifmittel erhöht wird.

Durch das Perforieren bzw. Lochen von LOVR™ werden sowohl das Erscheinungsbild und je nach designierter Anwendung auch die Gebrauchseigenschaften des Materials verändert. Im Rahmen des Projekts wurden zwei unterschiedliche Arten untersucht, siehe Abbildung 8.



Abbildung 8: LOVR™ in regelmäßig gelochter und fein perforierter Ausführung.

Das Lochen mit regelmäßiger Anordnung wird beispielsweise im Sitzbereich der Automobilindustrie verwendet. Neben Designaspekten wird die Atmungsaktivität optimiert und die Integration einer aktiven Sitzbelüftung ermöglicht. Im Lochprozess werden (meist kreisförmige) Materialstücke mithilfe von Locheisen aus dem Material herausgetrennt. In entsprechenden Verarbeitungsversuchen auf industriellen Lochmaschinen mit einer Bahnbreite von 1,60 m verhielt sich LOVR™ unauffällig und es wurde kein verstärkter Verschleiß oder sonstige Unregelmäßigkeiten im Vergleich zu Echtleder oder anderen Textilprodukten festgestellt. Die feinere Perforation mit unregelmäßiger Anordnung ermöglicht bei einer dezenteren Designsprache ebenfalls die Steigerung der Atmungsaktivität. In Tragetests von mit LOVR™ bezogenen Schuheinlegesohlen erzeugt das perforierte Material ein deutlich besseres Fußklima als Vergleichsmaterial ohne Perforation. Beim Perforieren selbst werden, im Gegensatz zum Lochen, keine Materialstücke entfernt, sondern es erfolgt ein Durchstechen des Materials mithilfe von Nadelbrettern. Die Perforation wurde im Rahmen des Projekts ebenfalls im industriellen Maßstab mit 1,60 m breiter Rollenware umgesetzt. Analog zum Prägen von LOVR™, ist das Lochen bzw. Perforieren mit am Markt etablierten Maschinenkonzepten direkt in eine kontinuierliche Produktion integrierbar.

Durch die **Beschichtung** mit Ölen und Wachsen konnte im Rahmen des Projekts die Hydrophobizität von LOVR™ geringfügig gesteigert werden. Eine ausgeprägtere Hydrophobierung wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAP durch eine Beschichtung auf Basis von Oxidoreduktasen und Dodecylgallat (DoGa) erzielt. Oxidoreduktasen katalysieren chemische Reaktionen auf der Oberfläche von LOVR™ und schaffen Ankerpunkte für DoGa. DoGa bindet an diese modifizierten Stellen und verleiht der Oberfläche hydrophobe Eigenschaften, die sich beispielhaft in einer Erhöhung des Kontaktwinkels widerspiegeln, siehe Abbildung 9.

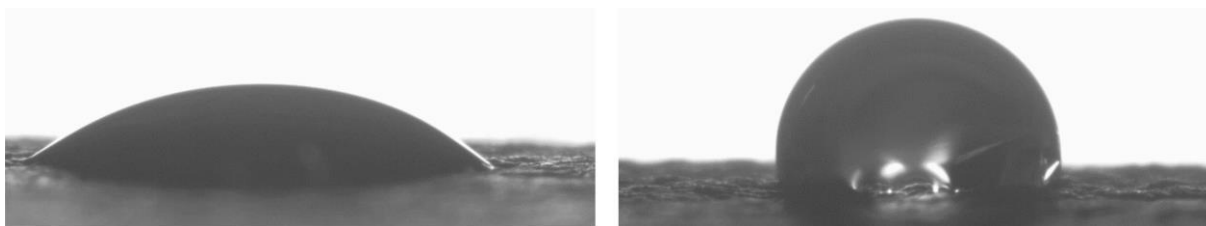


Abbildung 9: Wassertropfen auf LOVR™ Oberfläche, a) unbeschichtet, b) beschichtet mit DoGa.

Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes mehrere Beschichtungslösungen aus der Echt- und Kunstlederindustrie betrachtet. Die technische Umsetzung auf LOVR™ verlief problemlos, jedoch sind diese Beschichtungen aufgrund ihres Erdölanteils strategisch nicht sinnvoll mit LOVR™ zu kombinieren. Arbeiten zur Entwicklung einer flexiblen und nachhaltigen Beschichtung von LOVR™ werden in einem zukünftigen Kooperationsprojekt fortgeführt.

2.3 Färben

Für die Färbung von LOVR™ wurden im Rahmen des Projektes hauptsächlich Pflanzenfarbstoffe und nicht pflanzliche Pigmentfarbstoffe untersucht, die sich durch eine hervorragende Lichtechtheit auszeichnen. In Laborversuchen wurden mehrere Grün-, Orange-, Rot und Brauntöne sowie graues LOVR™ hergestellt, siehe Abbildung 10a. Braunes und graues LOVR™ wurde bereits erfolgreich in kontinuierlichen Produktionsversuchen hergestellt. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf grünes und rotes LOVR™ wird als unproblematisch eingestuft. Laborversuche mit pflanzlichen Farbstoffen zeigen weitere Möglichkeiten der vielfältigen Farbgebung von LOVR™ auf, siehe Abbildung 10b. Bei Verwendung von gebleichten Hanffasern sind auch helle Farbtöne (z. B. Zitronengelb) möglich. Allgemein ist für die untersuchten Pigmentfarbstoffe festzuhalten, dass diese gut dispergiert und im Material fixiert werden müssen, um inhomogene Flecken zu vermeiden.

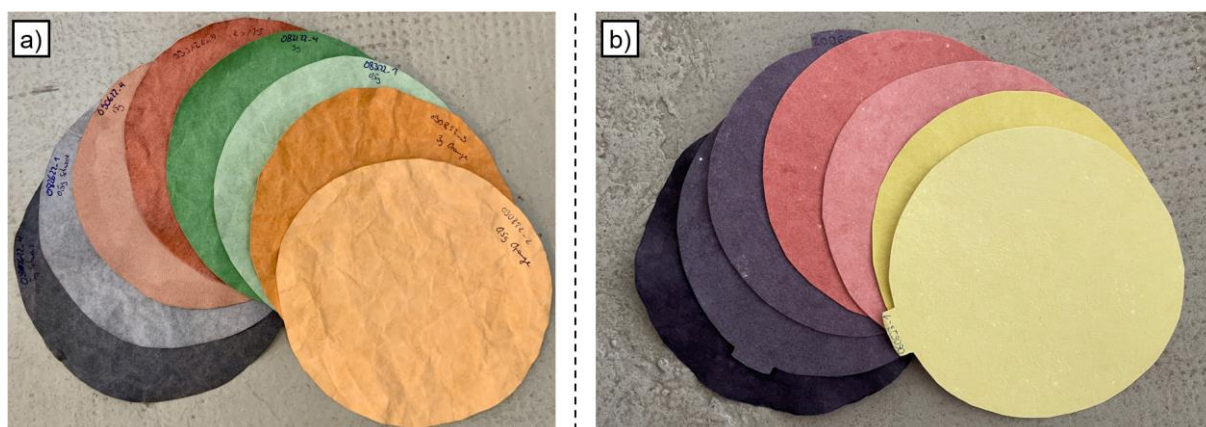


Abbildung 10: Laborblätter aus gefärbtem LOVR™, a) Pigmentfarbstoffe, b) pflanzliche Farbstoffe.

Als Dritte Farbstoffgruppe wurden Direktfarbstoffe untersucht. Diese Farbstoffe liegen als Lösung vor und ziehen direkt auf die Faser auf. Ihre Anwendung brachte im Projekt gegenüber Pigmentfarbstoffen keine signifikanten Vorteile. Ein gravierender Nachteil ist ihre synthetische Herkunft und ihre, im Vergleich zu Pigmenten für dunkle Farben, hohe notwendige Dosierung.

2.4 Faservariation

Fasern sind der Hauptinhaltsstoff von LOVR™. Die Faserart und deren Aufbereitung haben daher einen großen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Materials. Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Varianten von Hanffasern sowie weitere Naturfasern als Zusatzstoffe untersucht. Hierbei hat sich gezeigt, dass Hanffasern ein stabiles, nadeliges Gerüst im Material bilden und daher zu einer hohen Reiß- und Zugfestigkeit beitragen. Lange und dicke Fasern mit ausgeprägten Fibrillen führen zu einer höheren Festigkeit als kurze, dünne und wenig fibrillierte Fasern. Durch die Verwendung langer und dicker Fasern können jedoch Verspinnungen entstehen, die zu Verstopfungen in Produktionsanlagen und zu Inhomogenitäten im Material führen. Im Projekt wurde daher mithilfe von Parametervariationen ein Kompromiss zwischen Festigkeit und Prozessfähigkeit erarbeitet.

Durch die Zugabe von Kiefer- und Fichtenfasern wurde im Rahmen des Projekts die Reißfestigkeit von LOVR™ um 40 % und durch Kiefernulfat um 20 % gegenüber der Verwendung von 100 % Hanffasern gesteigert. Erkauft wird diese Festigkeitssteigerung durch eine haptisch weniger ansprechende / gröbere Oberfläche. Diesem Phänomen wurde durch die Zugabe von weicheren und dünneren Fasern (z.B. Baumwolle) abgeschwächt. Die haptisch empfundene Weichheit der Oberfläche, insbesondere nach einem Schleifvorgang, bei gleichzeitig hoher Reißfestigkeit wurde verbessert.

Im Projekt wurde nachgewiesen, dass sowohl durch das Beimischen verschiedener Fasern als auch durch Parametervariationen in der Faseraufbereitung die Eigenschaften von LOVR™ beeinflusst und gezielt eingestellt werden können. Eine direkte industrielle Umsetzung solcher Maßnahmen ist möglich.

2.5 Umformen

Das Umformen von LOVR™ ist für potenzielle Kunden mehrerer Industriezweige von hoher Relevanz. Um die Umformbarkeit besser bewerten zu können, wurden im Rahmen des Projekts Tiefungsversuche, ähnlich dem Buldge Test nach ISO 16808 durchgeführt. Diese ermöglichen, während einer freien Auslenkung zu einer Kuppe, für jeden Punkt auf der Materialoberfläche eine Bewertung der Dehnung. LOVR™ wurde dabei sowohl bei Raumfeuchtigkeit als auch bei einer erhöhten Materialfeuchtigkeit von 15 % umgeformt. Abbildung 11 zeigt die Auslenkung der Probe im Querschnitt, unmittelbar vor dem Versagen. Die blaue Linie zeigt die Umformung bei Raumfeuchte, während die rote Linie die maximale Dehnung bei erhöhter Feuchte zeigt. Das Dehnungsmaximum für industriell hergestelltes LOVR™ bei Raumfeuchte beträgt im Mittel 2,3 %, während es bei 15 % Feuchtigkeit auf 4,2 % ansteigt. Im Vergleich dazu hat eine neue Rezeptur bei gleicher Herstellung eine Dehnung von 3,9 % bei Raumfeuchte und 7,8 % bei 15 % Feuchtigkeit erreicht. Eine deutliche Dehnungssteigerung konnte bei Laborblättern aus recyceltem Material festgestellt werden. Sie weisen mit 17,7 % Dehnung bei Raumfeuchte und 19,3 % Dehnung bei 15 % Feuchtigkeit die höchsten Dehnungswerte auf. Durch eine gezielte Konditionierung des Materials kann die Umformbarkeit, unabhängig von der Rezeptur, signifikant gesteigert werden.

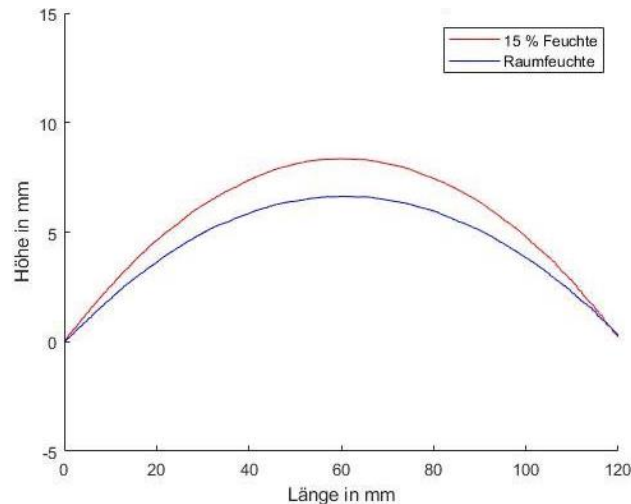


Abbildung 11: Kuppelbildung im Tiefungsversuch bei Raumfeuchte und 15 % Feuchtigkeit

Im Rahmen der Tiefungsversuche fand zudem eine Betrachtung der maximalen Dehnung abhängig von der Materialausrichtung statt, was insbesondere im Fall von industriell hergestellter Rollenware von LOVR™ relevant ist. Die Anisotropie von Rollenware ist in der maximalen Materialdehnung erkennbar. Sowohl bei Raumfeuchte als auch bei 15 % Feuchte ist die maximale Dehnung in Laufrichtung zwischen 0,3 % und 0,6 % geringer als quer zur Laufrichtung. Dadurch ergibt sich eine präferierte Umformrichtung senkrecht zur Rollenrichtung für hohe Umformgrade.

Weiterhin wurden in zwei verschiedenen Umformprozessen an den Maschinen des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) der TU Darmstadt erfolgreiche Umformungen durchgeführt. Der erste betrachtete Umformprozess ist wirkmedienbasiert, wie in Abbildung 12 dargestellt. Eine Probe von LOVR™ (orange) wird durch einen Niederhalter auf der Umformgrundplatte fixiert. Die Kraft ist dabei so hoch, dass das Material nicht Nachfließen kann und jegliche Umformung aus der Materialdehnung resultiert. Anders als im Tiefungsversuch ist die Umformung nicht frei, sondern durch eine Matrize (grün) begrenzt. Der pneumatische Druck wird langsam aufgebaut, bis die Probe sich der Form angepasst hat.

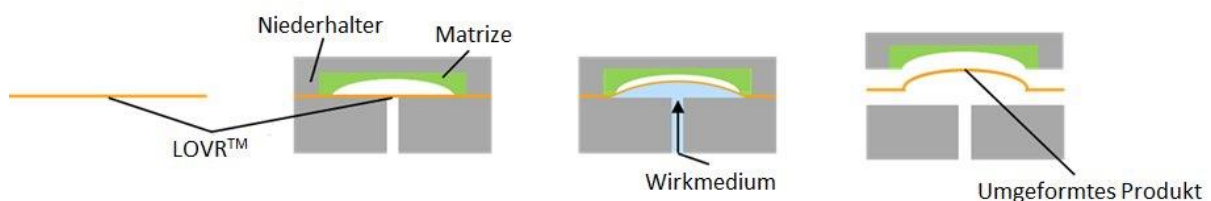


Abbildung 12: Wirkmedienbasierte Umformung

Das Ergebnis eines solchen Versuchs ist in Abbildung 13a gezeigt. Es sind keine Falten im Umformergebnis zu erkennen, da die ausreichend hohe Niederhalterkraft den Materialnachfluss vermeidet. Dies resultiert in einer hohen Formhaltigkeit jedoch auch in einer stark limitierten maximal erreichbaren Umformtiefe.

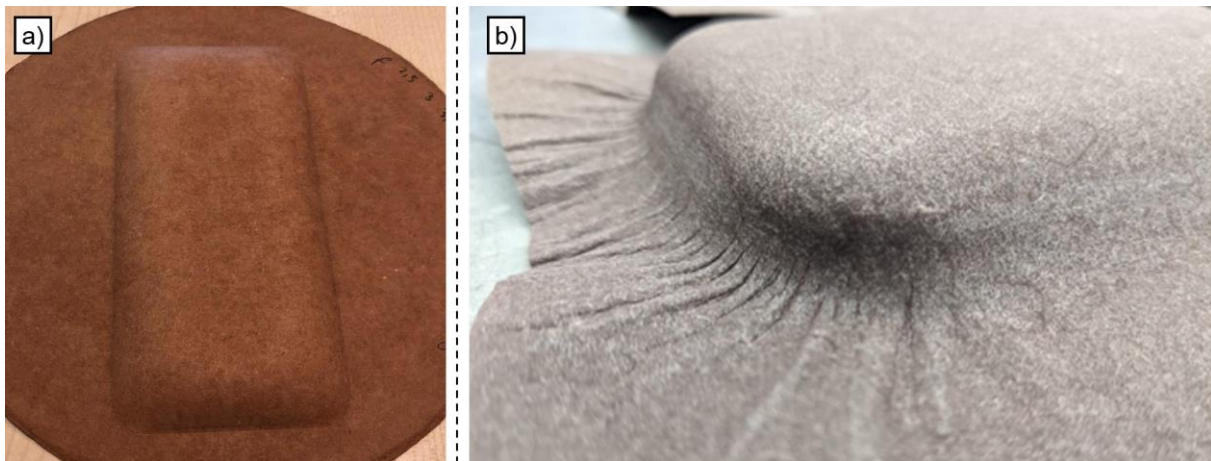


Abbildung 13: Umgeformtes LOVR™, a) wirkmedienbasiert, b) mit starrem Werkzeug.

Eine höhere Umformtiefe ist durch den zweiten Versuchsaufbau, das Tiefziehen mit starrem Werkzeug, erreichbar. Hierbei wird statt des Wirkmediums ein Stempel verwendet, der das Material in eine Matrize hineinzieht. Anders als in der wirkmedienbasierten Umformung ist die Niederhalterkraft in diesem Versuchsaufbau deutlich niedriger, sodass ein Materialnachfluss stattfindet. Durch die Führung des Materials zwischen Stempel und Matrize ist trotzdem eine hohe Formgenauigkeit möglich. In Abbildung 13b ist das Ergebnis eines Tiefziehversuchs zu erkennen. Die Faltenbildung ist ein Resultat des Materialnachflusses und des damit einhergehenden Materialüberschusses. Eine erhöhte maximale Dehnung des Materials würde in beiden Umformprozessen eine erhöhte maximale Tiefe und im Tiefziehen mit starrem Werkzeug einen späteren Eintritt der Faltenbildung ermöglichen. Die Steigerung der maximalen Dehnung stellt daher einen zukünftigen Entwicklungsschwerpunkt dar. Stellschrauben hierbei sind insbesondere die Konfiguration von Fasern und Bindern.

2.6 Prototypen und Anwendungsversuche

Im Rahmen des Projekts wurde eine Vielzahl von Anwendungsversuchen durchgeführt und Prototypen aus bzw. mit LOVR™ realisiert. In diesem Rahmen wurden gezielt unterschiedliche Verarbeitungsverfahren untersucht (Vernähen, Kaschieren, Umformen, Lasergravieren und kombinierte bzw. komplexe Anwendungen) sowie unterschiedliche Märkte abgebildet (Automobil, Accessoires, Mode). Abbildung 14 zeigt beispielhafte Prototypen, die mit LOVR™ umgesetzt wurden.



Abbildung 14: Prototypen aus LOVR™ Material (Uhrenarmbänder, Automobilinnenraum, Cardholder, Klamottenlabel, Schuheinlegesohle).

An Uhrenarmbändern wurde das Kaschieren und Vernähen von geprägtem LOVR™ auf seine Eignung für elastische und biegsame Anwendungen hin geprüft. Entsprechende Tragetests verliefen positiv, sodass das Material nach Projektende in Produkten von ID Watch eingesetzt wird. Als weiteres Accessoire wurden Cardholder aus geschliffenem LOVR™ genäht und mit einer Prägung versehen. Die geschliffene Oberfläche bildet in Gebrauchstests an hochbelasteten Ecken und Kanten ein leicht glänzendes Erscheinungsbild, was dem Material eine natürliche Anmutung verleiht und echtem Leder sehr nahe kommt. Ein ähnliches Verhalten ist bei Schuheinlegesohlen zu erkennen, die in Tragetests über mehrere Monate hohen Belastungen ausgesetzt waren. Im Rahmen von Kundentests wurde ein angenehmes Fußklima attestiert. Im Modebereich wurden Klamottenlabel mit einer Lasergravur versehen und vernäht. Hierfür wurde begleitend zum vorliegenden Projekt eine extra wasserbeständige Variante von LOVR™ entwickelt, die mehrere Waschtests bei 40 °C ohne nennenswerte Schädigung überstanden hat. Der komplexeste Prototyp aus LOVR™ ist ein Kia Concept Car, in dem Armaturenbrett, Mittelkonsole und Türinnenverkleidungen mit LOVR™ kaschiert und vernäht wurden. Bei der Herstellung wurden die Grenzen in komplexen Umformprozessen untersucht und als zukünftiger Entwicklungsschwerpunkt für die maschinelle Verarbeitung festgelegt. Das Concept Car EV4 wurde der Öffentlichkeit in Seoul und Los Angeles vorgestellt.

2.7 Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Projektergebnisse werden über mehrere Kanäle kommuniziert. Zum einen über digitale Kanäle, wie LinkedIn, Instagram, Blog und E-Mail-Newsletter (selbst gemanaged) sowie über journalistische Beiträge, u. a. in FAZ, Handelsblatt, Sourcing Journal und Vegconomist. Des Weiteren wurden die Projektergebnisse durch die Teilnahme an Wettbewerben und das Gewinnen entsprechender Preise verbreitet, u. a. techtextil Innovation Award, Innovations for Tomorrow Award, Green Product Award. Die Präsenz auf Innovations- und industriespezifischen Messen ist ein ebenso ein Teil der Marketingstrategie, die ebenfalls für die Verbreitung der Projektergebnisse genutzt wurde. Abbildung 15 zeigt eine Auswahl von revoltech Messeständen bzw. anderen öffentlichen Auftritten.

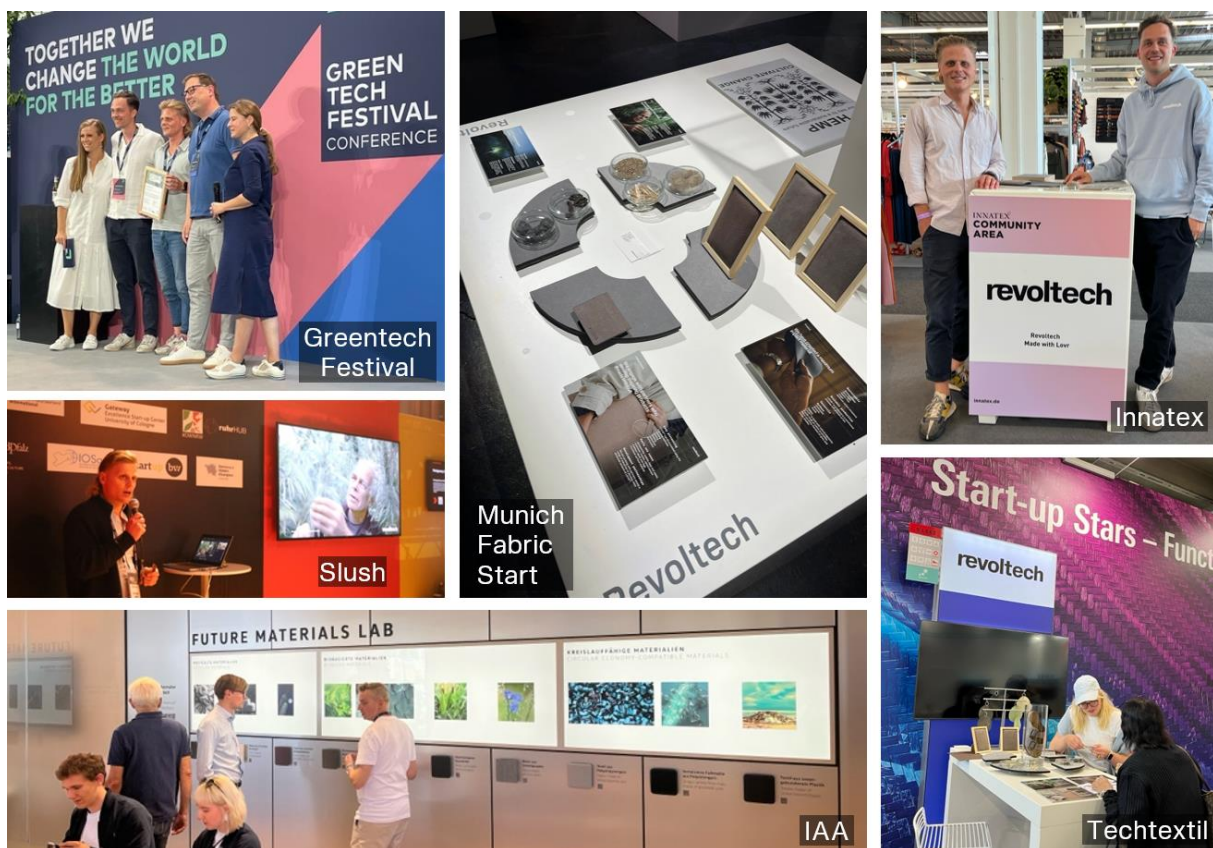


Abbildung 15: Ausgewählte Messestände und öffentliche Auftritte zur Verbreitung der Projektergebnisse.

2.8 Ökologische Bewertung

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes lassen sich als vollumfänglich ökologisch sinnvoll bewerten. Der Grund für diese geradlinigen Feststellung besteht darin, dass LOVR™ von Grund auf mit dem Fokus auf Nachhaltigkeit entwickelt wurde und diese Entwicklungstätigkeiten im Projekt intensiviert wurden. Die Nachhaltigkeit dominiert den Gesamten Lebenszyklus von LOVR™, ausgehend von den Ausgangsstoffen bis hin zu möglichen End-of-Life-Szenarien und wird im Folgenden beschrieben.

Hanf als Hauptbestandteil von LOVR™ wird in Deutschland angebaut und speichert als tiefwurzelnde Pflanze während des Wachstums CO₂ im Boden. Blüten und Blätter werden

typischerweise als Nahrungsmittel oder für die Gewinnung von Ölen verwendet, Schäben kommen als Dämmmaterial zum Einsatz. Die verbleibenden Bastfasern machen ca. 20-30 % der Stängelmasse aus und eignen sich zur Herstellung von Dämmwolle oder eben von LOVR™. Die vielseitige Nutzbarkeit nahezu aller Pflanzenteile macht Hanf zu einer äußerst effizienten und nachhaltigen Kulturpflanze.

Als Inhaltsstoffe von LOVR™ werden ausschließlich natürliche und erdölfreie, meist nachwachsende Rohstoffe verwendet. Als zweiter Hauptbestandteil neben Hanf kommt ein nachwachsender Binder zum Einsatz, der anstelle synthetischer Binder die Nutzung fossiler Rohstoffe vermeidet. Im Vergleich zu tierischem Leder entfällt durch den Verzicht auf tierische Bestandteile der umweltschädliche Aspekt der Nutztierhaltung und -verarbeitung. Die in LOVR™ ergänzend verwendeten Füllstoffe sind natürlich vorkommende Mineralien, die ohne chemische Synthese aus lange verfügbaren Vorkommen gewonnen werden. Sie sind weder toxisch, noch beeinflussen sie den Abbau natürlicher Komponenten oder Recyclingprozesse negativ.

Die Herstellung von LOVR™ erfolgt in etablierten Fertigungsprozessen, die im Rahmen der Herstellung anderer Produkte in den vergangenen Jahrzehnten konsequent hinsichtlich Energie- und Ressourceneffizienz optimiert wurden. Es kann daher auf technische ausgereifte und ressourcenschonende Produktionsanlagen zurückgegriffen werden, was den Aufbau neuer Produktionsanlagen und den damit verbundenen Ressourcenverbrauch vermeidet.

In der Nutzung zeichnet sich LOVR™ im Vergleich zu anderen Materialien dadurch aus, dass kein Mikroplastikabrieb entsteht. Durch seinen einschichtigen homogenen Aufbau lässt es sich darüber hinaus (z.B. im Fall von Oberflächenschäden) leicht reparieren und wieder aufbereiten. Bisherige Untersuchungen mit direktem Hautkontakt geben keinen Anlass zur Vermutung allergischer Reaktionen oder Unverträglichkeiten.

In den End-of-Life-Szenarien profitiert LOVR™ von den sorgfältig mit Blick auf Nachhaltigkeit ausgewählten Inhaltsstoffen. Das Material ist biologisch abbaubar und kompostierbar. Alternativ kann es als einschichtiges Material zerkleinert und vollständig im ursprünglichen Produktionsprozess recycelt werden. Als drittes Szenario ist es unproblematisch im thermischen Recycling.

Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich ökologischer Aspekte bestehen auch nach Projektende in einer weiteren Verbesserung von Gebrauchseigenschaften und Nutzungsdauer von LOVR™. Beides kann durch gezielte Schwerpunktsetzung in der Materialentwicklung erreicht werden. Unabhängig davon sind Strategien für Rückführungs- und Recyclingprozesse zu entwickeln. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit mit verarbeitenden Betrieben notwendig, um beispielsweise trennbare oder in einem Stück recyclebare Materialverbünde aus LOVR™ und anderen Produktkomponenten (z. B. Unterkonstruktionen) zu entwickeln.

2.9 Ökonomische Bewertung

Das vorliegende Projekt hat das Marktpotential von LOVR™ deutlich erhöht. Insbesondere die technischen Nachweise von erfolgreicher Oberflächenveredelung, Steigerung der Flexibilität, Einfärbung und Umformung bieten die Möglichkeit, neue Marktsegmente zu erschließen. Relevant sind diese Nachweise insbesondere für haptisch und visuell anspruchsvolle Marktsegmente in der Mode- und Automobilindustrie. So hat das vorliegende Projekt Geschäftsanbahnungen im

Accessoirebereich, im Schuhbereich und mit Erstausrüstern sowie Zulieferern der Autoindustrie (siehe Abschnitt 2.6) ermöglicht. Durch die Erhöhung der Produktqualität lassen sich darüber hinaus höhere Preise erzielen. Auf Basis von Gesprächen mit potenziellen Kunden lässt sich allein durch die Erhöhung der Flexibilität und eine geschliffene Oberfläche der Verkaufspreis um ca. 10 EUR/m² erhöhen.

Insgesamt wurde im Rahmen der Projektbearbeitung ein starker Fokus auf die Rentabilität und Skalierbarkeit der entwickelten Verfahren gelegt. Einige Verfahren sind bereits direkt auf bestehenden Maschinen industriell und damit effizient umsetzbar (z. B. Prägen, Lochen und Perforieren). Für andere Verfahren wurde eine Grundlage für einen Industrietransfer und zukünftige Entwicklungsschwerpunkte gelegt (z. B. Walken und Umformen). Geplant ist daher ein sukzessiver Markteintritt. Kurzfristig wird mit den ersten Umsätzen aus dem Verkauf des industriell hergestellten Materials an Kunden im Accessoirebereich gerechnet. Parallel hierzu erfolgt die Weiterentwicklung von LOVR™ in Zusammenarbeit mit Großkunden aus der Automobilindustrie. In den kommenden Jahren ist die serielle Anwendung von LOVR™ auf den Hardparts des automobilen Innenraums geplant (Türinnenverkleidung, Dashboard, Dachhimmel).

3 Fazit

Das Forschungsprojekt zur Entwicklung von LOVR™, einer plastikfreien Lederalternative auf Basis von Hanffasern, war in vielerlei Hinsicht erfolgreich. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass LOVR™ durch gezielte Veredelungsverfahren wie das Walken, Schleifen, Prägen und Perforieren sowohl funktional als auch ästhetisch optimiert werden kann. Besonders hervorzuheben ist die signifikante Steigerung der Flexibilität des Materials, die es für anspruchsvolle Anwendungen in der Mode- und Automobilindustrie geeignet macht. Die erfolgreiche Färbung mit umweltfreundlichen Pigmenten und Pflanzenfarbstoffen sowie die positive ökologische Bewertung unterstreichen das Potenzial von LOVR™ als nachhaltige Alternative zu tierischem und synthetischem Leder.

Trotz der positiven Ergebnisse gibt es jedoch noch Herausforderungen, die in zukünftigen Arbeiten adressiert werden müssen. Insbesondere die Standzeit der Walkwerkzeuge und die Integration der Veredelungsverfahren in den kontinuierlichen Produktionsprozess stellen wesentliche Entwicklungsschwerpunkte dar. Zudem besteht weiterer Forschungsbedarf in der Entwicklung einer flexiblen, erdölfreien Beschichtung, um die Hydrophobizität und die Widerstandsfestigkeit des Materials zu verbessern.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass LOVR™ über ein hohes Marktpotenzial verfügt, dessen Ausschöpfung durch gezielte Weiterentwicklungen in den genannten Bereichen vorangetrieben werden sollte.

4 Literaturverzeichnis

- [ChLL14] CHEN, KUO-WEN ; LIN, LUNG-CHIEH ; LEE, WEN-SHING: Analyzing the carbon footprint of the finished bovine leather: A case study of aniline leather. In: *Energy procedia* Bd. 61, Elsevier BV (2014), S. 1063–1066
- [Deut16] DEUTSCHE GÜTEGEMEINSCHAFT MÖBEL E. V.: *Klimapakt Möbelindustrie*. URL <https://www.das-goldene-m.de/de/klimapakt>. - abgerufen am 2024-05-23. — Deutsche Gütegemeinschaft Möbel e.V.
- [Graß55] GRABMANN, W.: *Die Lederarten und deren Herstellung* : Springer Vienna, 1955 — ISBN 9783709180228
- [Lamb25] LAMB, M. C.: *Die Chromlederfabrikation* : Springer Berlin Heidelberg, 1925
- [MDSM21] MEYER, MICHAEL ; DIETRICH, SASCHA ; SCHULZ, HAIKO ; MONDSCHEN, ANKE: Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. In: *Coatings World* Bd. 11, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2021), Nr. 2, S. 226
- [Müll23] MÜLLER, HILDEGARD: *Klimaziele im Verkehrssektor: Worauf es jetzt ankommt*. URL https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/230315_PM_Klimaziele_im_Verkehrssektor_Worauf_es_jetzt_ankommt. - abgerufen am 2024-05-23. — VDA
- [TRNR05] THANIKAVELAN, PALANISAMY ; RAO, JONNALAGADDA RAGHAVA ; NAIR, BALACHANDRAN UNNI ; RAMASAMI, THIRUMALACHARI: Recent Trends in Leather Making: Processes, Problems, and Pathways. In: *Critical reviews in environmental science and technology* Bd. 35, Taylor & Francis (2005), Nr. 1, S. 37–79
- [Unfc21] UNFCCC: *Fashion Industry Charter for Climate Action - Participants*. URL <https://unfccc.int/climate-action/sectoral-engagement-for-climate-action/fashion-charter/participants>. - abgerufen am 2024-05-23