



Lederalternativen

der Gesamtüberblick

Sarah Dubs, B.A in Kommunikation, Wissenschaftliche Redaktionsleitung

Kein Naturprodukt	2
Wachsender veganer Ledermarkt	2
Lederalternativen aus pflanzlichen Nebenprodukten	3
Apfelleder	3
Orangetleder	4
Ananasleder	4
Bananenleder	5
Olivenleder	5
Mangoleder	5
Traubenleder	5
Leder aus Biertreber	6
Hanfleder	6
Kaffeeleder	6
Kaktusleder	6
Pilzleder	7
Biotechnologische Herstellungsverfahren von Lederalternativen	8
Latex-/kautschukbasierte Verfahren	8
Kollagenbasierte Verfahren	9
Verfahren mit tierischen Zellen	9
Verfahren mit bakterieller Zellulose/Nanozellulose	9
Weitere Verfahren	10
Myzelbasierte Lederalternativen	11
Leder aus Zellkulturen	12
Weiteres	13
Leaf Leather	13
Korkleder	13
Lederalternative aus Holz	13
Papierleder	13
Zukunftsaussichten	14
Produktliste	14
Quellenverzeichnis	16

Ob Schuhe, Taschen, Autositze oder Sofas: Leder ist in unserem Alltag allgegenwärtig. Die grausamen und umweltschädigenden Praktiken der Lederindustrie werden aber ausgeblendet. Wie Swissveg bereits 2018 in einer Kampagne aufzeigte, ist Leder sowohl aus ethischen, ökologischen als auch gesundheitlichen Gründen ein absolutes No-Go.¹ Der rasante Anstieg pflanzlicher Lederalternativen belegt, dass es auch anders geht. Im vorliegenden Report werden die verschiedenen Alternativen sowie in der Schweiz erhältlichen Produkte näher beleuchtet und vorgestellt.

Kein Naturprodukt

Leder ist nichts anderes als Pelz ohne Fell. Entgegen der landläufigen Meinung, dass es sich dabei um ein Abfallprodukt der Fleischherstellung handelt, ist die Lederfabrikation eine milliardenschwere Industrie.² Bis aus den Tierhäuten Schuhe oder eine hübsche Tasche entstehen, sind zahlreiche umweltschädliche Schritte notwendig.³ Beispielsweise würden Tierhäute ohne Behandlung mit starken Umweltgiften wie etwa Chromsalzen verwesen. Leder ist somit alles andere als das von der Lederindustrie angepriesene reine Naturprodukt.

Wachsender veganer Ledermarkt

Gründe, auf Leder zu verzichten, gibt es somit genug. Die steigende Nachfrage nach Lederalternativen schlägt sich daher auch im Markt nieder: Gemäss dem US-amerikanischen Marktforschungsinstitut «Introspective Market

Research» wurde der Markt für plant-based Leder 2023 auf 73,10 Millionen Dollar geschätzt. Bis 2032 soll er gar auf 140,15 Mio. Dollar anwachsen.⁴ Der pflanzliche Ledermarkt ist im Umbruch, und die Herstellenden erforschen intensiv unterschiedlichste Alternativen. Konventionelles Kunstleder liegt klar nicht mehr im Trend und wird von umweltfreundlichen, innovativen Materialien abgelöst. Diese lassen sich grob in folgende Kategorien einteilen:

1. Lederalternativen aus pflanzlichen Nebenprodukten

- landwirtschaftliche Nebenprodukte
- nachwachsende Rohstoffe

2. Pilzleder

3. Biotechnologische Verfahren

- kautschukbasiert
- kollagenbasiert
- bakterielle Nanozellulose

4. Myzelbasierte Lederalternativen

5. Leder aus Zellkulturen

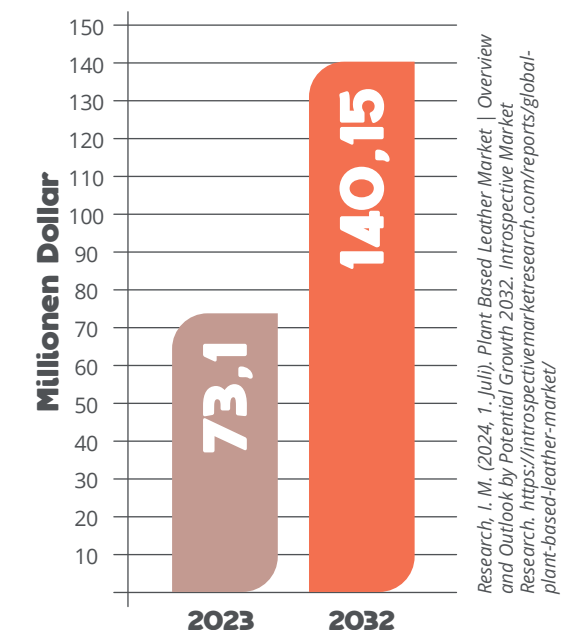
6. Weiteres

Die zurzeit gebräuchlichste Alternative zu Tierleder ist Leder aus Polyurethan (PU), umgangssprachlich Kunstleder genannt. Es findet in der Mode-, Möbel- sowie Autobranche Verwendung. Da es aus Plastik hergestellt wird, hat Kunstleder trotz weltweiter Verbreitung bei den Konsumierenden nicht den besten Ruf. Im Gegensatz zur gängigen Annahme verursacht Kunstleder bei der Herstellung jedoch einen geringeren Umwelt-Fussabdruck als Rindsleder.⁵

Dennoch verfügt es über gewisse Nachteile, da es aus Erdöl besteht, dessen Förderung mit zahlreichen ökologischen Risiken verbunden ist. Neben konventionellem Kunststoff (PVC/PU) verwenden deshalb immer mehr Produzenten sogenannten Biokunststoff (BIO-PE) bzw. Bioplastik: Kunststoff, dessen Produktion auf nachwachsenden Rohstoffen basiert. Stärke und Zellulose aus Pflanzen wie Mais, Zuckerrüben, Weizen oder Kartoffeln dienen dabei als Ausgangsstoffe.⁶ Bio-Kunststoffe sind je nach Zusammensetzung biologisch abbaubar. Auch Kunststoffe aus recyceltem PET (rPET) kommen vermehrt zur Anwendung. Diese haben den Vorteil, dass weniger fossile Rohstoffe gebraucht werden. Immer öfter wird auch der in den Weltmeeren schwimmende Plastikabfall (Ocean Plastic) zu Schuhen oder Taschen verarbeitet.

Nachfolgend werden die Verfahren und Hersteller der verschiedenen Kategorien vorgestellt.

Wachstum des veganen Ledermarkts



1. Lederalternativen aus pflanzlichen Nebenprodukten

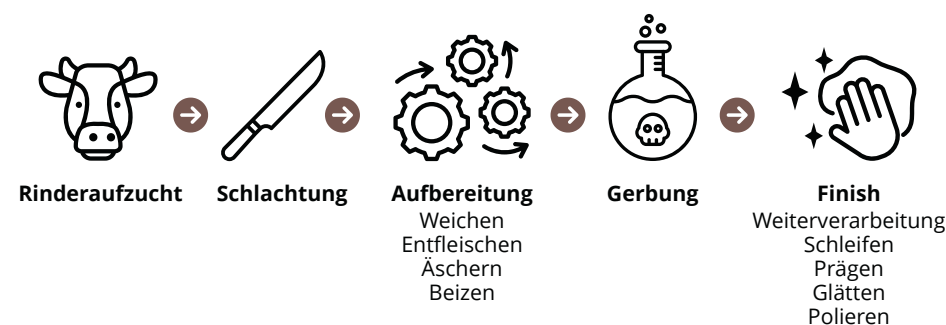
Mittlerweile gibt es zahlreiche Hersteller, die aus pflanzlichen landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Schalen, Stielen oder Blättern von Früchten sowie weiteren Stoffen Lederalternativen herstellen. Üblicherweise wird nach demselben Prinzip vorgegangen:

Fruchtfasern bzw. pflanzliche Rückstände werden zu einem Pulver vermahlen, mit anderen Stoffen (z. B. Polyurethan) vermischt und schlussendlich auf einen zumeist aus Bio- oder recycelter Baumwolle bestehenden Textilträger aufgetragen. Dieser letzte Schritt

Ausgangsmaterialien



Tierische Lederherstellung



ist nötig, um eine lederähnliche Haptik und Optik zu erreichen. Das Endprodukt enthält meistens rund ein Drittel Fruchtfasern, der Rest ist Kunststoff und/oder Baumwolle. Das tönt erstmals nach wenig. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine noch junge Technologie handelt, die laufend verbessert wird. Es liegt auch im Interesse der Produzenten, einen möglichst hohen Anteil an Abfallprodukten zu verarbeiten. Die meisten Hersteller benützen im Übrigen Bio-Polyurethan, welches im Gegensatz zu konventionellem Polyurethan nicht aus Erdöl, sondern aus pflanzlichen Ölen besteht und somit eine umweltfreundlichere Alternative darstellt.⁷

Die Vorteile von Leder aus Fruchtabfällen:

- Einsparung fossiler Ressourcen
- Anteil an neuem Kunststoff kann verringert werden
- Keine umweltschädliche Gerbung
- Upcycling der pflanzlichen Nebenprodukte

Apfelleder

Apfelleder zählt zu den bekanntesten innovativen Lederalternativen. Verwendet werden die bei der Apfelsaftproduktion anfallenden Pressrückstände. Dieser sogenannte Trester stammt grösstenteils aus dem Südtirol. Das Verfahren wurde ursprünglich vom italienischen Unternehmen «Frumat» mit Sitz in Bozen erfunden. Für die Herstellung von Apfelleder wird der Trester getrocknet, fein gemahlen und mit Polyurethan vermischt. Das Endprodukt enthält je nach Hersteller zwischen 30 und 50 Prozent Apfelreste. Unter Markennamen wie Applepeel, Appleskin, Uppeal, Apvelskin Vegatex stellen mittlerweile verschiedene Unternehmen Leder aus der Apfelsaftproduktion her. Auch das dänische Start-up «Beyond Leather Materials» hat 2020 mit der Erforschung einer nachhaltigen Lederalternative aus Äpfeln begonnen und 2024 mit dem Material «Leap» bereits Marktreife erlangt.

Orangenleder

Das italienische Start-up «Ohoskin» produziert seit 2021 eine vegane Lederalternative aus industriellen Nebenprodukten von sizilianischen Orangen und Kakteen. Bei den Orangen fallen diese beispielsweise bei der Saftproduktion, bei den Kakteen in der Kosmetikindustrie an.

Das Unternehmen stellt daraus ein flüssiges Polymer her, welches anschliessend als Überzugsmittel für Textilien dient und diesen das Aussehen sowie die Haptik von Leder verleiht. Ohoskin kommt in der Mode-, Möbel- sowie Automobilindustrie zum Einsatz.

Ananasleder

Unter den Markennamen «Pinatex» und «Pinyarn» stellt die Firma «Ananas-Anam» seit 2010 Leder aus den Fasern von Ananasblättern her. Diese sind Abfallprodukte der Ananasernte und würden ansonsten verbrannt. Eine Besonderheit von Pinatex ist, dass das Material gut zwei Drittel Ananasfasern und nur 5 Prozent Polyurethan enthält. Nebst Designer-Labels sowie veganer Marken nutzen mittlerweile auch grosse Unternehmen wie H&M oder Boss das innovative Material für Taschen, Schuhe und Accessoires. Eine Liste mit Brands findet sich hier:

www.ananas-anam.com/products-2

Auch das 2021 gegründete japanische B2B Start-up «PEEL Lab» produziert eine Lederalternative aus Ananasfasern.

Bananenleder

Das Schweizer Taschenlabel «QWSTION» hat in Zusammenarbeit mit einem Garnspezialisten aus Tawain «Bananatex» (2018), eine innovative Lederalternative erschaffen:⁸ Der Betrieb produziert Garn aus Abacá-Bananenstauden und stellt daraus Taschen her. Die Abacá-Bananenstaude hat den Vorteil, dass sie in einem natürlichen Ökosystem ohne Pestizide und zusätzliches Wasser gedeiht und somit auch zur Wiederaufforstung abgeholzter Gebiete eingesetzt werden kann.⁹ Bananenleder ist robust, langlebig und plastikfrei. Für die Wachsbeschichtung der Taschen nutzt QWSTION derzeit noch Bienenwachs sowie teilweise auch Wolle oder Kleinteile aus Tierleder. Ihre vegane Produktlinie umfasst Taschen aus Bio-Baumwolle. Das Unternehmen plant, langfristig komplett pflanzlich zu produzieren. Wie es auf Anfrage schreibt, setzt es diesen Schritt jedoch erst um,

wenn die tierischen Bestandteile durch nachhaltige, plastikfreie Alternativen ersetzt werden können. Bananatex wird von verschiedenen Labels wie etwa Stella McCartney oder H&M verwendet.

Olivenleder

Das 2020 gegründete türkische Start-up «Oleago» verarbeitet unter dem Namen «Oleatex» die Rückstände der Olivenproduktion (Oliventrester) zu einer 100 Prozent veganen Lederalternative und erlangte damit 2022 Marktreife. Das Unternehmen ist mit dem V-Label zertifiziert und hat den V-Label-Award 2023 gewonnen.¹⁰ Oleatex ist laut den Herstellern äusserst strapazierfähig und eignet sich für die Verwendung in Kleidern, Schuhen, Taschen, der Buchbindung sowie Automobilbranche. Zurzeit setzt die deutsche Marke «Souleway» das Olivenleder für Rucksäcke ein.

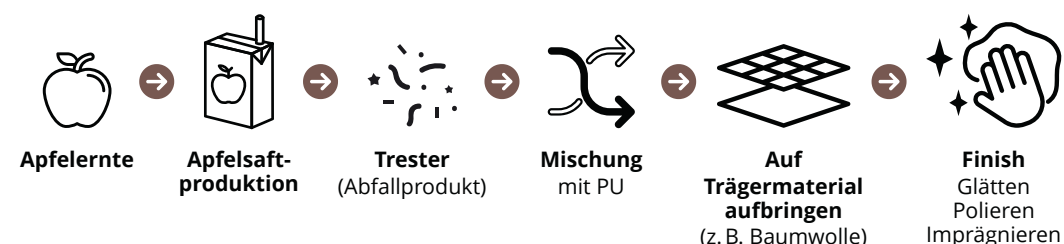
Mangoleder

Das holländische Kollektiv «Fruitleather Rotterdam» produziert veganes Leder aus Mangos, die ansonsten als Food-Waste enden würden. Dazu werden die Früchte püriert und mit nicht näher genannten Zusätzen vermischt. Anschliessend wird das Material getrocknet und in Stücke geschnitten. Den letzten Schliff erhält es von einem Lederwerker, der es mit einer Schutzglasur überzieht.¹¹ Auf eine Gerbung kann dadurch verzichtet werden. Das Start-up wurde 2016 von zwei Studenten als Universitäts-Projekt gegründet. Zurzeit ist das Material noch nicht skalierbar, langfristig soll die Produktionskapazität jedoch erweitert werden. Das Start-up zählt mittlerweile verschiedene Marken aus der Fashion- und Möbelbranche zu seinen Kunden.

Traubenleder

Seit 2016 stellt das italienische Biotech-Unternehmen «Vegea» unter dem Namen «Grape-skin» veganes Leder aus den Rückständen der Weinproduktion (z. B. Traubenschalen, Stiele, Kerne) her. Vegea setzt sich aus Veg (Vegan)

Herstellungsverfahren aus pflanzlichen Nebenprodukten, Beispiel Apfelleder



und Gea (Mutter Erde) zusammen. Das Endprodukt besteht rund zur Hälfte aus Traubentrester, beim Rest handelt es sich um Polyurethan auf Wasserbasis sowie recyceltes Polyester. Grapeskin wird unter anderem von den Designer-Labels Stella MC Cartney, Tommy Hilfiger, Bentley und Calvin Klein genutzt.¹² Zudem verwenden es mittlerweile zahlreiche nachhaltige Fashion-Brands.

Leder aus Biertreber

Auch beim Bierbrauen fallen Rückstände (Treber) an. Sie sind reich an Nahrungsfasern und Protein, was ein formbares Material ergibt. Diese Eigenschaft macht sich das britische Start-up «Arda Biomaterials» zunutze und produziert unter dem Namen «New Grain» Lederalternativen. Laut dem 2022 gegründeten Start-up fallen pro 100 l Bier rund 20 kg Treber an,¹³ welchen das Unternehmen zu veganem Leder in verschiedensten Farben und Texturen verarbeitet. Die Alternative ist komplett plastikfrei, zudem muss sie nicht gegerbt werden. Gemeinsam mit dem Label «Been London» hat Arda Biomaterials eine vegane Handtasche im Schlangenlederlook kreiert.¹⁴ Derzeit befindet sich das Start-up noch in der Finanzierungsphase, es sind daher noch keine Produkte marktreif.

Hanfleder

Das deutsche Start-up «Revoltech» forscht seit 2021 intensiv an der aus inländischen Hanfabfällen bestehenden Lederalternative «LOVR». Die Abkürzung bedeutet lederfrei, ölfrei, vegan und reststoffbasiert. Laut den Herstellern kann das Produktionsverfahren auch auf andere regionale Stoffe ausgeweitet werden. Noch ist das Material nicht marktreif, die Gründer haben jedoch bereits ein siebenstelliges Seed-Investment erhalten.¹⁵ In Zusammenarbeit mit VW forscht Revoltech zudem an einer Lederalternative für die Autobranche. 2028 könnte das Material bereits erstmals in Volkswagen Modellen zum Einsatz kommen.¹⁶

Kaffeeleder

Die Erzeugung von Kaffeeleder ähnelt derjenigen aus Fruchtabfällen. Dafür wird recycelter Kaffeesatz als Überzugsmittel (Coating) für einen Textilträger verwendet. Die schwedische Designerin Alice Genberg entwickelte 2019 in Eigeninitiative ein Kaffeeleder, um ein Bewusstsein für das Thema zu schaffen.¹⁷ Das britische Einzelhandelsunternehmen «Culthread» bietet Jacken und Schuhe aus Kaffeeleder an; das eingesetzte Material besteht zu rund einem Drittel aus recyceltem Kaffeesatz, der Rest aus recyceltem Plastik. Laut dem Unternehmen enthält eine Jacke dadurch 180 g recycelten Kaffeesatz.¹⁸ 2022 entwarf der Kaffeehersteller Nespresso in Zusammenarbeit mit dem Fashionlabel «Zèta» einen limitierten Schuh, der zu 80 Prozent aus recyceltem Material sowie recyceltem Kaffeesatz von 12 Tassen Nespresso-Kaffee gefertigt wird.¹⁹

Kaktusleder

2019 gründeten die beiden Mexikaner Adrián López Velarde und Marte Cázarez Duarte die Firma «Desserto». Diese produziert Lederalternativen aus Kakteen, respektive dem Nopal-Kaktus, welcher sehr genügsam ist und nur wenig Wasser benötigt. Mittlerweile ist das Unternehmen stark gewachsen und produziert unter dem Brand «Dessertex» zusätzlich veganes Leder für die Automobilbranche. Als diesbezügliche Vorreiter nutzen die beiden Autohersteller Mercedes-Benz und BMW das Kaktusleder bereits im grossen Stil für die Innenausstattung ihrer Fahrzeuge. Den Anteil tierischer Stoffe konnten sie dadurch auf weniger als einen Prozent senken.²⁰ Auch weitere grosse Marken wie Michael Kors, H&M oder Adidas nutzen das Material, letztere z. B. für einen komplett veganen Boxhandschuh.²¹ Auch Desserto ist mit dem V-Label zertifiziert und gewann 2023 den V-Label-Award.²²

2. Pilzleder

Im Gegensatz zu den myzelbasierten Alternativen, bei welchen die Sporen/Zellen für die Lederherstellung verwendet werden, kommt bei diesem Verfahren die Kappe (Fruchtkörper) des Pilzes zum Einsatz. Dabei werden auf Bäumen wachsende parasitäre Pilze nach der Ernte zugeschnitten und von Hand in die gewünschte Grösse gezogen. Pilzleder ist für industrielle Zwecke weniger geeignet, da es sich um ein natürliches Material handelt und somit jedes Stück ein Unikat ist. Es bewährt sich bei der Herstellung von kleinen Accessoires wie Portemonnaies.

Vorteile von Pilzleder:

- Biologisch abbaubar
- Frei von Chemikalien
- Schnelles Wachstum
- Antiseptische Eigenschaften
- Einzigartige Textur
- Flexibel

Muskin

Bei Muskin handelt es sich um Leder aus dem riesigen parasitären Pilz *Phellinus ellipsoideus*, der natürlicherweise in subtropischen Wäldern gedeiht. Das italienische Material-Forschungsunternehmen «Pangaia Grado Zero Srl» sowie das italienische Einzelhandelsunternehmen «Life Materials» produzieren daraus das Pilzleder «Muskin».

Fungiskin

Der Zunderschwamm ist ein Parasit und wächst als Baumpilz auf alten Laubbäumen. Ursprünglich wurden seine Fasern genutzt, um Feuer zu entfachen. Später wurden seine Vorteile als Textil erkannt. Bereits im 18. Jahrhundert entstand in Deutschland ein Handwerk der Zunderherstellung, das mit dem Aufkommen der Industrialisierung jedoch wieder verschwand. Das 2017 gegründete Berliner Unternehmen «ZVNDER» stellt mit modernster Technologie und unter Einbezug traditioneller Verarbeitungsweisen veganes Leder aus dem Zunderschwamm her. Die Lederalternative «Fungiskin» erinnert optisch an Wildleder und wird vom Unternehmen zu Portemonnaies verarbeitet. Das Pilzleder besteht bei allen Produkten zu 95 bis 100 Prozent aus Zunderschwammmaterial, der Rest ist Baumwolle, Polyurethan und teilweise Imprägniermittel.²³

Herstellungsverfahren von Pilzleder



3. Biotechnologische Herstellungsverfahren von Lederalternativen

Verfahren, bei welchen Mikroben für die Herstellung leder-identischer Stoffe genutzt werden, erleben zurzeit einen regelrechten Boom. Viele biotechnologische Ansätze basieren auf der Fermentation durch Mikroben, die Zellulose, Myzelium oder andere biobasierte Polymere produzieren.

Die Technik gilt als zukunftsweisend, die Vorteile dieser Alternativen sind im Vergleich zu Tierleder zahlreich:

- Ressourcenschonend
- Zeitsparend: Sporen/Mikroben wachsen innert Tagen bis wenige Wochen, während Tiere über Monate oder Jahre aufgezogen werden müssen
- Platzsparend: Oftmals kommen Verfahren wie «Vertical Farming» zum Einsatz
- Keine / weniger Chemikalien im Vergleich zu Tierleder
- Upcycling von organischen Abfallprodukten beziehungsweise Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen

Biotechnologischen Verfahren können grob in folgende Kategorien unterteilt werden:

- Latex-/kautschukbasiert (Mirum)
- Kollagenbasiert (Modern Meadow, PACT, tomtex)
- Bakterielle Nanozellulose (Modern Synthesis), Polybion, Le Qara, ScobyTec by SCTM, Polybion)
- Anderes (Uncaged Innovations)

Latex-/kautschukbasierte Verfahren

Mirum

Der «Mirum»-Hersteller, das amerikanische Biotech-Unternehmen NFW (Natural Fiber Welding), arbeitet nach dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft und hat sich zum Ziel gesetzt, die erste plastikfreie und nachhaltige Lederalternative zu schaffen. Mirum besteht zu 100 Prozent aus biobasierten Materialien wie Naturkautschuk, Kork, Pflanzenölen sowie natürlichen Pigmenten und Mineralien. Es ist somit komplett plastikfrei und kann nicht nur recycelt, sondern gar weiterverwendet werden: Fein gemahlen und mit anderen landwirtschaftlichen Nebenprodukten kombiniert, wird es dem Sand auf Reitplätzen beigemischt und ersetzt so die üblichen Plastikfasern.²⁴ Eine vom Unternehmen in Auftrag gegebene Lebenszyklusanalyse zeigt, dass der CO₂-Fussabdruck von Mirum 95 Prozent kleiner als jener von tierischem Leder ist und 30 bis 40 Prozent unter demjenigen von klassi-

chem Kunstleder liegt.²⁵ Mirum hat viel Potenzial, grosse Unternehmen wie etwa BMW oder Stella McCartney testen bzw. verwenden es bereits. Bei der veganen Designer-Taschenmarke «Melina Bucher» sind Luxustaschen aus Mirum auf Vorbestellung erhältlich.²⁶

Kollagenbasierte Verfahren

Modern Meadow

Grob umschrieben wendet das amerikanische Biotechnologie-Unternehmen «Modern Meadow» ein Verfahren an, bei welchem tierfreies Kollagen mithilfe von DNA-Editierwerkzeug durch Hefezellen produziert wird.²⁷ Die Firma wurde 2011 gegründet und stellt mittlerweile verschiedene Materialien her. Beispielsweise sind die beiden Lederalternativen «Bio-Vera» und «Bio-Tex» Tierleder zum Verwechseln ähnlich. Laut Unternehmen verfügen sie über die gleichen Eigenschaften wie Tierleder, die Produktion verbraucht aber 95 Prozent bzw. 83 Prozent weniger Wasser. Bio-Vera soll sogar doppelt so stabil wie Leder sein.²⁸

Verfahren mit tierischen Zellen

PACT Biomaterials

Das britische Unternehmen «PACT Biomaterials» produziert seit 2019 eine Lederalternative aus Kollagen, das es aus Schuppen, Haut und weiteren bei der Süswasserfischproduktion anfallenden Fischabfällen isoliert. Mittels eines enzymatischen und chemischen Prozesses wird daraus ein Proteinnetzwerk aufgebaut, dem laut Hersteller Farbstoffe beigegeben werden können, wodurch die umweltschädliche Gerbung hinfällig wird.²⁹ Die «Oval» genannte Lederalternative kommt in der Möbel- und Autobranche zum Einsatz, ist aufgrund der verwendeten tierischen Stoffe jedoch nicht vegan.

TômTex

Das 2020 gegründete Start-up «TômTex» produziert eine Lederalternative aus Pilzen sowie Abfällen von Meeresfrüchten und anderen

Krustentieren, wobei ein gerbfreies Verfahren zur Anwendung kommt. Aufgrund der tierischen Überreste ist diese Lederalternative nicht vegan, jedoch zu 100 Prozent biologisch abbaubar und plastikfrei.

Verfahren mit bakterieller Zellulose/ Nanozellulose

Eine von Bakterien produzierte Lederalternative? Das soll schon bald Realität sein. Verschiedene Wissenschaftler tüfteln an Fermentationsverfahren, bei welchen Bakterien die Hauptrolle spielen. Dabei werden hauptsächlich die zwei zur Gattung der Essigsäurebakterien gehörenden Arten Acetobacter und Gluconacetobacter verwendet. Der Prozess beginnt mit der Kultivierung der Bakterien in einer Nährlösung, die Zucker enthält. Die Bakterien verstoffwechseln Zucker, daraus resultiert als Nebenprodukt Nanozellulose. Z. B. produzierten Forschende des Imperial College London ein leder-identisches Material, das mit dem Bakterium Komagataeibacter rhaeticus gezüchtet wurde.³⁰ Auf diese Weise hergestelltes Leder soll sich selbst färben, indem der Mischung Farbpigmente beigegeben werden. Die Technik ist sehr neu, und die Herstellung befindet sich noch in der Forschungs- beziehungsweise Entwicklungsphase.

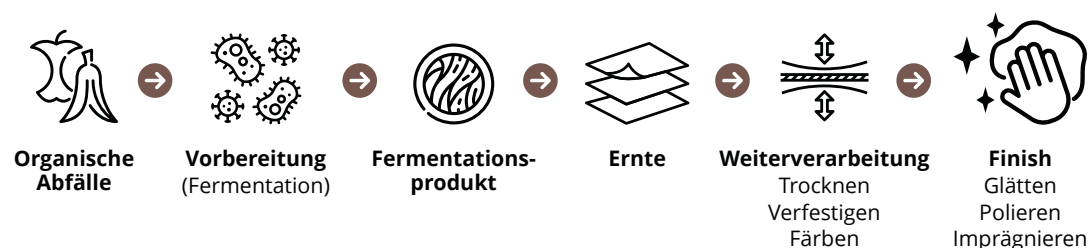
Vorteile von Leder aus Nanozellulose:

- Schnell wachsend
- Plastikfrei
- Die krebserregenden Auswirkungen der Lederherstellung können um das Tausend-fache reduziert werden.³¹
- Wachstum in kontrollierter Umgebung
- Geringer Wasserverbrauch

Modern Synthesis

Das Londoner Biotech-Start-up «Modern Synthesis» wurde 2019 mit dem Ziel gegründet, die Materialbranche zu revolutionieren. Das Unternehmen forscht u. a. an diversen Herstellungsverfahren mit mikrobieller Zellulose.

Biotechnologische Herstellungsverfahren von Lederalternativen



ScobyTec by SCTM

2023 gegründet erforscht das deutsche Start-up ScobyTec vegane und nachhaltige Lederalternativen für die Automobil- und Modeindustrie. Das Unternehmen erprobt dabei verschiedene Materialien sowie Herstellungsverfahren mit mikrobiellen Zellulosefasern.

Le Qara

«Le Qara», ein peruanisches Biotech-Unternehmen, forscht an einer durch Mikroorganismen hergestellten Lederalternative.

Polybion

Das mexikanische Biotechnologie-Unternehmen «Polybion» produziert aus bakterieller Zellulose die Lederalternative «Celium». Für die Herstellung des Materials werden Bakterien mit Obstabfällen aus der Agrarindustrie gefüttert. 2022 hat Polybion die weltweit erste bakterielle Zelluloseproduktionsanlage in Betrieb genommen. Auf einer Fläche von 14 000 m² sollen jährlich 1,1 Millionen Quadratmeter Celium produziert werden.³² Aktuell fokussiert sich das Unternehmen auf die Automatisierung seiner Prozesse. Noch ist das Material nicht serienreif, das Unternehmen kündigt aber eine Zusammenarbeit mit der dänischen Marke «GANNI» an, die in der Kollektion 2025 Produkte anbietet, die aus Celium gefertigt werden.

Weitere Verfahren

Uncaged Innovations

Das Biotech-Start-up «Uncaged Innovations» wurde 2020 gegründet und hat sich zum Ziel gesetzt, tierfreies und nachhaltiges Leder im grossen Stil zu produzieren. Die Zahlen sprechen für sich: Uncaged soll im Vergleich zu Tierleder 95 Prozent weniger Treibhausgase ausstossen, 93 Prozent weniger Wasser und 72 Prozent weniger Energie verbrauchen.³³ Ein grosser Vorteil ist zudem, dass das Material nicht gegerbt werden muss. Für die Herstellung kombiniert das Unternehmen Struktur-

proteine aus Getreide mit anderen biobasierten Materialien und erzeugt so Fasernetzwerke, welche tierisches Kollagen in Leder ersetzen können. Weitere Details zum genauen Verfahren nennt das Unternehmen nicht, in der Branche gilt die Technologie jedoch als zukunftsweisend. Dies sehen auch Investoren so: Im Juni 2024 hat Uncaged Innovations ein Seed-Investment in Millionenhöhe erhalten.³⁴ Das Material ist indessen noch nicht marktreif.

4. Myzelbasierte Lederalternativen

Ein zentraler Bestandteil vieler Pilze ist das Myzel, ein unterirdisches Netzwerk aus feinen, fadenförmigen Strukturen (Hyphen), welche die Wurzeln der Pilze bilden. Dieses Myzel nutzen die Hersteller von Myzelium-Lederalternativen: Zunächst werden die Sporen in einem nährstoffreichen, meist aus organischen Abfällen bestehenden Substrat kultiviert. Damit sich das Leder in der gewünschten Form entwickelt, nehmen die Hersteller zum Teil auch ein Trägermaterial aus biologisch abbaubaren Polymeren oder Baumwolle. Das Myzelium wächst durch das Substrat und bildet so ein dichtes Netzwerk von Fäden. Hat es die gewünschte Grösse erreicht, wird es geerntet, getrocknet und haltbar gemacht. Sowohl haptisch als auch optisch erinnert das Endprodukt stark an Tierleder. Obwohl es Tausende Pilzarten gibt, werden zurzeit hauptsächlich drei zur veganen Lederherstellung genutzt. Dies liegt daran, dass bisher nur wenige Arten genauer erforscht worden sind.³⁵

Neue Verfahren für die Herstellung von Lederalternativen aus Pilzen haben im Vergleich zu anderen folgende Vorteile:³⁶

- Einfache Kultivierung der Biomasse
- Geringerer Kohlenstoff-Fussabdruck
- Kurze Wachstumszeit der Pilze: Je nach Art/Stamm, wachsen diese sagenhafte 12 bis 245 mm² pro Tag.³⁷

- Geringer Platzverbrauch, da sie oftmals in «Vertical Farming»-Anlagen oder in Bioreaktoren gezüchtet werden.
- Upcycling von organischen Abfallprodukten
- Plastikfreies Endprodukt

MycoWorks

Das Biotechnologie-Unternehmen «MycoWorks» produziert aus Myzelien (*Ganoderma lucidum*) eine nachhaltige Lederalternative. Bereits seit den frühen 2000er Jahren forscht der Betrieb an einem Material aus Pilzen und hat schliesslich 2023 die Marke «Reishi» auf den Markt gebracht. Bei der Herstellung der pilzbasierten Lederalternative kommt ein spezielles Verfahren zum Einsatz, das während der Zucht die genaue Steuerung von Merkmalen wie Stärke oder Oberflächenstruktur erlaubt.³⁸ Bezüglich Haptik und Optik ist Myzelleder praktisch nicht von tierischem Leder zu unterscheiden. In einer Lebenszyklusanalyse haben Forschende herausgefunden, dass der CO₂-Fussabdruck von Reishi nur 2,76 kg CO₂-Äquivalente pro m² beträgt, was lediglich 8 Prozent des im Labor berechneten Wertes von Rindsleder entspricht.³⁹ Reishi kommt in der Mode- sowie Automobilbranche zum Einsatz. MycoWorks arbeitet z. B. bereits mit dem Autohersteller Cadillac und der Luxus-Taschenmarke Hermès zusammen.

Herstellung von myzelbasierten Lederalternativen



Bolt Threads

Auch «Bolt Threads» setzt auf die Kraft der Pilze. Das 2009 gegründete kalifornische Unternehmen lässt das Myzel auf einer kompostierbaren Unterlage, z. B. aus Stroh oder Maisabfällen, gedeihen. Die Pilzkolonien wachsen innert zwei Wochen heran und können anschliessend weiterverarbeitet werden.⁴⁰ Die Kultur entwickelt sich in ressourcenschonendem «Vertical Farming» (vertikaler Landwirtschaft), was als sehr platzsparend gilt.⁴¹ Das fertige Material «Mylo» kann anschliessend für Schuhe und Accessoires verwendet werden. Bolt Threads arbeitet unter anderem mit Adidas, Stella McCartney und lululemon zusammen. Mylo ist als komplett tierfrei zertifiziert.⁴²

Ecovative

Das New Yorker Biotechnologie-Unternehmen «Ecovative» tüftelt seit 2019 an einer 100 Prozent veganen, myzeliumbasierten Lederalternative. Zurzeit baut die Firma ihre Produktion aus. Ziel ist es, die Myzelien in einer riesigen vertikalen

Zuchtfarm anzubauen und sie auf einem Substrat aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten gedeihen zu lassen. Das «Forager» genannte Material ist plastikfrei, soll vollständig biologisch abbaubar sein und in nur neun Tagen heranwachsen. 2022 hatte die Lederalternative den offiziellen Launch, sie ist jedoch noch nicht marktreif. Das Unternehmen konnte aber bereits erste Partnerschaften mit führenden Marken eingehen.⁴³ Laut eigenen Angaben handelt es sich bei Ecovative um die weltweit grösste Myzeliumzucht.

SQIM

Unter den beiden Marken «Mogu» und «Ephea» produziert das italienische Biotechnologie-Unternehmen «SQIM» eine Lederalternative aus Myzelium. Die erste Markteinführung von Ephea fand am 6. März 2022 anlässlich der Pariser Modewoche statt. Im Rahmen der Balenciaga-Laufstegshow präsentierte die Marke einen aus Ephea gefertigten Mantel⁴⁴. Zurzeit ist das Material noch nicht serienreif.

5. Leder aus Zellkulturen

Die Herstellung von kultiviertem Leder erfolgt ähnlich wie jene von kultiviertem Fleisch. Einer lebenden Kuh bzw. einem Rind werden mittels Biopsie Zellen entnommen, welche in einem Bioreaktor in einer Nährlösung heranwachsen, bis das Leder geerntet werden kann. Ein Unternehmen, das an der Herstellung von kultiviertem Leder forscht, ist das 2016 gegründete

Start-up «Vitrolabs» aus San Francisco/USA. Zurzeit ist das Produkt noch in der Pilotphase, hat jedoch bereits finanzielle Unterstützung in Millionenhöhe erhalten.⁴⁵

Herstellung von Lederalternativen aus Zellkulturen



6. Weiteres

Leaf Leather

Leder aus Laub? Genau das produziert das Londoner Start-up «Biophilicia». Aus Grüngut öffentlicher Parks, landwirtschaftlichen Abfällen sowie einem Bindemittel aus Algen stellt es die innovative Lederalternative «Treekind» her. Diese ist völlig kunststofffrei, recycelbar und soll sogar privat kompostierbar sein. Laut dem Unternehmen wird bei der Herstellung nur 0,1 Prozent des Wassers verbraucht, das für die Verarbeitung von Leder benötigt wird.⁴⁶ Treekind eignet sich für Uhrenarmbänder, Schmuck sowie Modeaccessoires. Anwendungsmöglichkeiten in der Möbel-, Schuh- sowie Automobilbranche befinden sich noch in der Entwicklung.

Korkleder

Korkleder wird aus der Rinde der Korceiche hergestellt. Diese bildet eine 3 bis 5 cm dicke Rinde, welche nach der Ernte wieder nachwächst. Bis zur ersten Ernte vergehen rund 25 Jahre, die nächste folgt nach ca. neun bis zwölf Jahren. Die Bäume wachsen für viele europäische Produzenten in der Algarve/Portugal. Für die Korklederherstellung ist nur die innere Schicht der Rinde verwendbar; diese wird mit pflanzlichen Klebstoffen zu grösseren Platten verbunden und anschliessend dünn geschnitten. Zum Schluss wird die Masse auf ein Trägermaterial aufgetragen und versiegelt.⁴⁷

Korkleder produzieren mittlerweile zahlreiche Unternehmen (Liste nicht abschliessend):

- Oak + Cork
- KorkundKulör
- Korkeria
- Bleed
- Artipel
- Corklane
- Corkor
- Montad

Lederalternative aus Holz

Das deutsche Unternehmen «NUO» produziert seit 2012 aus Holz veganes Leder. Es ist mit dem V-Label zertifiziert und verwendet für seine Produkte ausschliesslich Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft. Die Lederalternative wird in der Möbel-, Mode- sowie Automobilindustrie eingesetzt.

Papierleder

Aus einer Mischung aus Zellulose und Latex lässt sich sogenanntes Papierleder herstellen. Der bekannteste Produzent in diesem Bereich ist die «Snaply GmbH» mit Sitz in Deutschland. Seit 2015 produziert das Unternehmen «Snap-Pap», ein waschbares Papier mit Lederoptik. Es eignet sich laut der Firma besonders für die Näh- und DIY-Szene. Das Produkt ist 100 Prozent vegan und soll besonders reissfest sein. Zudem kann es gewaschen, getrocknet und sogar gebügelt werden. Ein weiterer Hersteller ist «KORKundKULÖR», welcher für die Produktion seines farbigen Papierleders FSC-zertifizierten Zellstoff verwendet.⁴⁸ Je nach Unternehmen besteht Papierleder aus rund 60 Prozent Zellulose, der Rest setzt sich aus Latex und Farbpigmenten zusammen.

Zukunftsansichten

Der vorliegende Report zeigt auf, dass der vegane Ledermarkt zurzeit massgeblich von Produktionsverfahren geprägt wird, die auf pflanzlichen Nebenprodukten basieren. Dies belegen auch die zahlreichen Brands, welche Schuhe und Accessoires aus innovativen Materialien anbieten. Besonders hervorzuheben sind Apfel- und Kaktusleder, die zurzeit vermutlich zu den am häufigsten verwendeten Alternativen zählen. Auch die Technik mit Mycelium ist weit fortgeschritten. Diese bietet zahlreiche Vorteile; beispielsweise besteht das Endprodukt komplett aus bio-basierten Rohstoffen und ist dadurch vollständig biologisch abbaubar. Wie halt- und belastbar das Material ist, wird sich in den kommenden Jahren zeigen. Eine weitere zukunftsweisende Technik ist jene mit Nanozellulose, die äusserst schnell wächst, plastikfrei und biologisch abbaubar ist. Die Entwicklung steckt jedoch noch in den Kinderschuhen, bisher ist noch kein Produkt marktreif. Alternativen aus tierischem Kollagen werden voraussichtlich weniger Erfolg haben, zumal sie extrem teuer sind und zurzeit nur ein Unternehmen intensiv daran forscht. Es ist davon auszugehen, dass der plant-based Ledermarkt in den nächsten Jahren weiter stark wächst und bestehende Unternehmen serienreife Produkte hervorbringen.

Produktliste

Heute bieten die meisten Unternehmen auch Produkte aus Kunstleder an. Dies gilt sowohl für die Fashionbranche als auch die Möbel- und Autoindustrie. In der Produktliste beschränken wir uns deshalb auf Marken, die für ihre Produkte neue bzw. innovative Lederalternativen einsetzen. Alle aufgeführten Marken verwenden Leder aus pflanzlichen Nebenprodukten mit Ausnahme der Amsterdamer «O My Bag», die zusätzlich «Mirum» einbindet.

Sneakers

Sashay, vegane Schuhe aus Apfelleider, unter fairen Bedingungen in Portugal hergestellt. Zürcher Label, gegründet von Sibylle Oetiker.

VLACE, vegane Sneakers aus Fruchtleider, fair hergestellt in Portugal. Im Herbst 2024 lanciert das Unternehmen zusammen mit dem bekannten Saftproduzenten Innocent eine limitierte Edition. Die bei Innocent anfallenden Orangentrester werden zu einer Lederalternative verarbeitet, woraus anschliessend ein Wintersneaker entsteht.⁴⁹

Flamingos Life, vegane Sneakers, hergestellt in Spanien und Portugal. Für die Schuhherstellung werden verschiedene Materialien wie Hanf, Bambus, Maisabfälle, recyceltes Polyester sowie biologische Baumwolle verwendet.

VEJA, vegane Sneakerlinie aus Bio-Baumwolle und Kautschuk (aus dem Amazonas sowie synthetisch). Die Herstellung erfolgt in Brasilien und Portugal.

MoEa, komplett veganes Sortiment. Die Marke hat eine sehr grosse Auswahl an Sneakers, die aus verschiedenen innovativen veganen Lederalternativen gefertigt werden: Apfel-, Kaktus-, Mais-, Trauben-, Orangen- sowie Ananasleder.

Genesis Footwear, vegane Sneaker-Linie, unter fairen Bedingungen in Portugal hergestellt. Es werden Bananenleder, eine Lederalternative aus Maisabfällen, Natur-Kautschuk, Bambus sowie weitere Materialien eingesetzt.

SAYE, vegane Sneakers, in Portugal und Spanien unter fairen Bedingungen produziert. Verwendet werden Kaktusleder, recycelte Materialien sowie Baumwolle.

beflamboyant, komplett veganes Sortiment (Sneakers, Schuhe, Stiefel). Es werden recycelte Materialien sowie eine Lederalternative aus Maisabfällen verwendet.

Business Schuhe, Halbschuhe/Stiefel

Solari Milano, durchwegs veganes Sortiment an Businesschuhen für Damen und Herren. Verwendet werden Recycling-Materialien sowie Maisleder und Bambusfaser.

BOHEMA, komplett veganes Sortiment für Damen und Herren (Stiefel, Halbschuhe, Highheels, Sneakers, Businesschuhe) aus Kaktus-, Apfel- und Maisleder sowie Grapeskin.

Wanderschuhe

Grand Steps Shoes, vegane Wanderschuhe, verwendet werden Maisleder, Hanf, Recycling-Material sowie Apfelleider.

Vegane Autos

- BMW (Dessertex, Mirum)
- Mercedes (Dessertex)
- Tesla (Model Y und Model 3 komplett vegan)
- Cadillac⁵⁰ (MycoWorks)

Taschen/Accessoires

Sohotree, Zürcher Unternehmen, gegründet von den Brüdern Lucas und Claudius Knecht. Diverse Accessoires wie Schlüsselanhänger oder Portemonnaies aus Apfelleider. Verwendet wird ApplePeel, eine Lederalternative aus Apfeltrester.

Moleskin, vegane Notizbücher. Als Einband wird Grapeskin, die Lederalternative aus Traubentrester, verwendet.

O my Bag Amsterdam, vegane Linie (Taschen, Geldbeutel) aus Amsterdam. Es werden Mirum, Apfelleider sowie Bio- und Recycling-Baumwolle eingesetzt.

Rohstoffe

Nuo.Holztextil, Rohstofflieferant mit ausschliesslich veganem Sortiment, zertifiziert mit dem V-Label.

Quellenverzeichnis

1 Swissveg. (o. D.). In wessen Haut stecken Sie? Swissveg. www.swissveg.ch/pelzohnehaare

2 www.fortunebusinessinsights.com/leather-goods-market-104405

3 Swissveg. (o. D.). In wessen Haut stecken Sie? Swissveg. www.swissveg.ch/pelzohnehaare

4 Research, I. M. (2024, 1. Juli). Plant Based Leather Market | Overview and Outlook by Potential Growth 2032. Introspective Market Research. <https://introspectivemarketresearch.com/reports/global-plant-based-leather-market/>

5 Williams, E., Cenian, K., Golsteijn, L., Morris, B. & Scullin, M. L. (2022b). Life cycle assessment of MycoWorks' ReishiTM: the first low-carbon and biodegradable alternative leather. Environmental Sciences Europe, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00689-x>

6 European Bioplastics. (o. D.). Fact Sheet European Bioplastics: Begriffe, Werkstofftypen und Technologien – eine Einführung. In European Bioplastics [Fact sheet]. www.petroplast.ch/fileadmin/pdf/HOI_Biokunststoffe_120911.pdf

7 Cordis, C. (2015, 10. Juli). Bio-Polyurethane aus natürlichen Quellen. CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/165099-biopolyurethanes-from-natural-resources/de#:~:text=Neue%20biobasierte>

8 Axminenکو, A. (o. D.). BANANATEX®. www.bananatex.info/index.html#manufacturing

9 Axminenکو, A. (o. D.-b). BANANATEX®. www.bananatex.info/responsibility_EN.html

10 V-Label Awards. (2023b, November 3). Winners 2023 - V-Label Awards. <https://awards.v-label.com/winners-2023>

11 Business Insider India. (2021, 5. September). How vegan leather is made from mangoes | World wide waste [Video]. YouTube. www.youtube.com/watch?v=gAu0XGHpqco

12 Srl, S. (2019, 11. Juni). News. VEGEA. www.vegeacompany.com/news

13 New Grain — Arda Biomaterials. (o. D.). Arda Biomaterials. www.arda.bio/new-grain

14 Wagner, T. (2024, 19. Juli). Arda Biomaterials und BEEN London entwickeln Mode-Accessories auf Basis von Lederalternativen aus Biertreber. Vegconomist. <https://vegconomist.de/fashion-und-beauty/lederalternativen/handtasche-schlangenhaut-arda-been>

15 Klotz, N. A. (2024, 15. Januar). Lovr: Vegane Alternative zu Leder bekommt Millionen-Investment. Business Insider. www.businessinsider.de/gruenderszene/business/lovr-vegane-lederalternative-millionen-invest/

16 Leder aus Industriehanf: Innovatives und nachhaltiges Material für zukünftige Fahrzeuginterieurs. (o. D.). Volkswagen Newsroom. www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/leder-aus-industriehanf-innovatives-und-nachhaltiges-material-fuer-zukuenftige-fahrzeuginterieurs-18665

17 Coffee Leather – Alice Genberg. (o. D.). <https://alicegenberg.se/work/curve-handles-duplicate>

18 Cogné, C. (2023, 27. April). Coffee-Cycled Vegan Leather: Introducing vegan leather made from coffee. cultthread. www.cultthread.com/blogs/sustainability/coffee-cycled-vegan-leather-introducing-vegan-leather-made-from-coffee

19 RE:GROUND | The first sneakers made with coffee | Nespresso. (o. D.). www.nespresso.com/ch/en/zeta-sneaker

20 Nachhaltigkeit in der Fahrzeugproduktion durch innovative biobasierte Materialien anstelle von tierischen Ausgangsstoffen: Verzicht auf Leder reduziert CO2e-Emissionen um 85 Prozent +++. (o. D.). BMW Group PressClub. www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0403389DE/ab-2023-auf-dem-markt-bmw-und-mini-modelle-mit-veganem-innenraum

21 <https://vegconomist.com/fashion-design-and-beauty/leather-alternatives/mexicos-desserto-cactus-alt-leather-gets-v-label-certification-launches-boxing-gloves-with-adidas/>

22 V-Label Awards. (2023, 3. November). Winners 2023 - V-Label Awards. <https://awards.v-label.com/winners-2023>

23 ZVNDER vegane und nachhaltige Produkte aus dem Zunderschwammbaum-pilz-FUNGISKIN. (o. D.). <https://zvnder.com/#:~:text=Der%20Zunderschwamm%20%E2%80%93>

24 NFW_ImpactReport_2024. (o. D.). <https://online.fliphtml5.com/hpmqh/ofct/#p=36>

25 NFW_ImpactReport_2024. (Seite 30). <https://online.fliphtml5.com/hpmqh/ofct/#p=30>

26 Melina Bucher. (o. D.). MELINA BUCHER - Money Moves campaign. <https://melinabucher.com/de/pages/money-moves-campaign>

27 Rathinamoorthy, R. & Kiruba, T. (2020). Bacterial Cellulose—A Sustainable Alternative Material for Footwear and Leather Products. In Textile science and clothing technology (S. 76). https://doi.org/10.1007/978-981-15-6296-9_5

28 Modern Meadow | Biomaterials. (2024, 25. Januar). Modern Meadow. <https://modernmeadow.com/biomaterials>

29 Waltz, E. & Biotechnology, N. (2024, 20. Februar). This Mushroom Leather Is Being Made into Hermès Handbags. Scientific American. www.scientificamerican.com/article/this-mushroom-leather-is-being-made-into-hermes-handbags

30 Isbrecht, S. (2024a, April 8). Forscher nutzen Bakterien zur Herstellung von Lederalternativen - vegconomist: Das vegane Wirtschafts-magazin. Vegconomist. <https://vegconomist.de/fashion-und-beauty/lederalternativen/forscher-bakterien-herstellung-von-lederalternativen>

31 Schiros, T. N., Antrobus, R., Fariás, D., Chiu, Y., Joseph, C. T., Esdaille, S., Sanchirico, G. K., Miquelon, G., An, D., Russell, S. T., Chitu, A. M., Goetz, S., Chassé, A. M. V., Nuckolls, C., Kumar, S. K. & Lu, H. H. (2022). Microbial nanocellulose biotextiles for a circular materials economy. Environmental Science Advances, 1(3), 276–284. <https://doi.org/10.1039/d2va00050d>

32 Performance. (o. D.). www.polybion.bio

33 Wagner, T. (2024a, Juli 4). UNCAGED Innovations erhält 5,6 Mio. Dollar für nachhaltiges Leder aus Getreide - vegconomist: Das vegane. Vegconomist. <https://vegconomist.de/fashion-und-beauty/lederalternativen/uncaged-5-mio-vegan-leder-getreide>

34 Wagner, T. (2024b, Juli 4). UNCAGED Innovations erhält 5,6 Mio. Dollar für nachhaltiges Leder aus Getreide - vegconomist: Das vegane Wirtschafts-magazin. Vegconomist. <https://vegconomist.de/fashion-und-beauty/lederalternativen/uncaged-5-mio-vegan-leder-getreide/>

35 Amobonye, A., Lalung, J., Awasthi, M. K. & Pillai, S. (2023). Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. Sustainable Materials And Technologies, 38, e00724. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00724>

36 Amobonye, A., Lalung, J., Awasthi, M. K. & Pillai, S. (2023b). Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. Sustainable Materials And Technologies, 38, e00724. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00724>

37 J. Bustillos, A. Loganathan, R. Agrawal, B.A. Gonzalez, M.G. Perez, S. Ramaswamy, B. Boesl, A. Agarwal, Uncovering the mechanical, thermal, and chemical characteristics of biodegradable mushroom leather with intrinsic antifungal and antibacterial properties, ACS Appl. Bio Mater. 3 (5) (2020) 3145–3156, <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c00164>.

38 MycoWorks. (2024, 31. Mai). An advanced materials platform. MycoWorks. www.mycoworks.com/fine-mycelium-an-advanced-materials-platform

39 Williams, E., Cenian, K., Golsteijn, L., Morris, B. & Scullin, M. L. (2022). Life cycle assessment of MycoWorks' ReishiTM: the first low-carbon and biodegradable alternative leather. Environmental Sciences Europe, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00689-x>

40 Rathinamoorthy, R. & Kiruba, T. (2020). Bacterial Cellulose—A Sustainable Alternative Material for Footwear and Leather Products. In Textile science and clothing technology (S. 77). https://doi.org/10.1007/978-981-15-6296-9_5

41 Weber, M. (2024, 16. Januar). Vorteile von Vertical Farming: ein umfassender Überblick. Vertical Farming. <https://vertical-farming.info/vor-und-nachteile/vorteile-vertical-farming>

42 Isbrecht, S. (2022, 11. Februar). Die Materialinnovation Mylo™ von Bolt Threads wurde mit dem Eurofins Vegan Verification Mark. Vegconomist. <https://vegconomist.de/maschinen-anlagen-verfahrenstechnik/die-materialinnovation-mylo-von-bolt-threads-wurde-mit-dem-eurofins-vegan-verification-mark-ausgezeichnet/>

43 ersaydwordpress. (2023, 22. Mai). Ecovative kündigt neuen Geschäftsbereich an, um lederähnliche Produkte aus Pilzen zu entwickeln. Vegconomist. <https://vegconomist.de/materialalternativen/ecovative-geschaefsbereich-forager/>

44 SQIM. (2024, 3. September). Home - SQIM. www.sqim.bio

45 <https://vegconomist.com/fashion-design-and-beauty/leather-alternatives/vitrolabs-appoints-industry-figures-for-worlds-first-cultivated-leather>

46 Biophilica. (o. D.). Treekind. <https://biophilica.co.uk/pages/treekind>

47 (2023, 11. Februar). Wie wird Korkleder Korkstoff hergestellt – vegane Alternative zu Leder. KORKundKULÖR der Onlineshop für Korkstoff, Kulörtexx und Pinatex. <https://korkundkuloer.de/korkstoff-korkleder>