Faserstoffe – zukünftig nachhaltig?!

von Anne-Marie Grundmeier

Anne-Marie Grundmeier, Professorin für Mode- und Textilwissenschaften und ihre Didaktik, Pädagogische Hochschule Freiburg

Einleitung

Die Textil- und Modeindustrie agiert als eine global organisierte Wertschöpfungskette mit einem weltumspannenden Markt. Trotz coronabedingter Einbußen hat sich der Modehandel seit der Jahrtausendwende mehr als verdoppelt, es werden mehr als hundert Milliarden Kleidungsstücke jährlich produziert. Etwa 60 Kleidungsartikel werden pro Kopf in Deutschland jährlich gekauft und modische Bekleidung ist aufgrund ihrer günstigen Preise zu einer Wegwerfware geworden (Cobbing & Vicaire, 2017). Der damit verbundene hohe Rohstoffbedarf und Ressourcendurchsatz mit seinen Emissionen und anschließender Entsorgung hat zum einen ökologische Folgen durch die Flächennutzung, den Wasserverbrauch sowie Pestizid- und Düngemitteleinsatz, zum anderen sind es der Verbrauch fossiler und die Entsorgung nicht abbaubarer Rohstoffe. Dieser ökologische Impact ist im Kontext der globalen Debatte um den Klimawandel und die sich verschärfende Ressourcenknappheit, nicht zuletzt im Hinblick auf die stetig steigende Weltbevölkerung, immer stärker in das öffentliche Interesse gerückt. Neben ökologischen werden soziale und wirtschaftliche Gesichtspunkte im Sinne des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit fokussiert und diese über eine ganzheitliche Sichtweise miteinander verbunden.

Natur- und Chemiefaserstoffe auf dem Weltmarkt

Der Weltfaserstoffmarkt belief sich im Jahr 2019 auf etwa 111 Millionen Tonnen und soll sich in den nächsten 20 Jahren auf

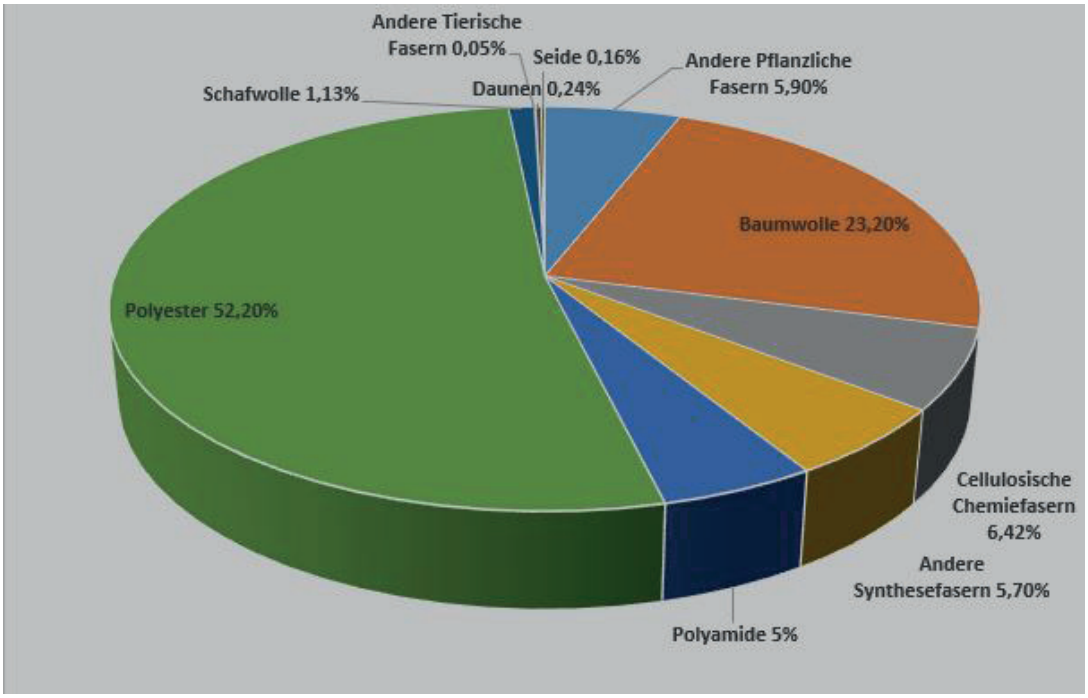

Abb. 1: Weltfaserstoffmarkt inklusive Daunen im Jahr 2019 (Zahlenwerte: Textile Exchange, 2020, S. 6)

etwa 146 Millionen erhöhen (Textile Exchange, 2020, S. 5-6). Textile Rohstoffe werden in Natur- und Chemiefasern unterschieden. Naturfasern haben einen natürlichen Ursprung und unterteilen sich noch einmal in pflanzliche, tierische und mineralische Fasern. Die Naturfasergewinnung geht mit einem hohen Bedarf an Fläche und Wasser und in der konventionellen Produktion auch mit dem Einsatz von Pestiziden und künstlichem Dünger einher. Die Chemiefaserproduktion hat demgegenüber einen hohen Verbrauch an Erdöl, Chemikalien, Energie und Wasser. Chemiefasern werden danach unterteilt, ob sie auf natürlichen oder synthetischen Polymeren basieren oder aus anorganischen Stoffen sind.

Mit etwa 25 bis 26 Millionen Tonnen pro Jahr ist Baumwolle mengenmäßig betrachtet nach wie vor die bedeutendste Naturfaser. Die zentralen Umweltbelastungen des meist in Monokultur erfolgenden Baumwollanbaus sind der Wasserverbrauch durch künstliche Bewässerung und der Einsatz von Pestiziden, Fungiziden, Insektiziden und gegebenenfalls auch Entlaubungsmittel zur Vorbereitung der maschinellen Ernte, die zu den Herbiziden zählen.

Als eines der drastischsten Beispiele der ökologischen Konsequenzen eines falsch gemanagten Baumwollanbaus wird das Austrocknen des Aralsees angesehen. Dieser zwischen Kasachstan und Usbekistan liegende Süßwassersee ist über die Jahrzehnte hinweg auf 20 Prozent seiner ursprünglichen Fläche zurückgegangen. Zudem sind der See und das umliegende Land durch den Einsatz von Pestiziden und künstlichem Dünger kontaminiert und versalzen, was zur Folge hat, dass eine landwirtschaftliche Nutzung der Agrarflächen und Fischfang in dieser Region kaum noch möglich sind. Eine starke gesundheitliche Belastung der dort lebenden Menschen und Tiere ist eine weitere Folge des jahrzehntelangen Pestizid- und Chemikalieneinsatzes.

Rund 45 Prozent des weltweiten Baumwollanbaus erfolgt auf Feldern, die bewässert werden müssen (Bremer Baumwollbörse, 2020). Dafür wird das Wasser überwiegend Oberflächengewässern entnommen oder über Tiefbohrungen aus der Erde gefördert, wodurch es zu einer Übernutzung des Grundwasserreservoirs kommen kann. Mit einer landwirtschaftlich angepassten Bewässerungstechnik lässt sich der Wasserverbrauch entscheidend reduzieren: So wird der Baumwollanbau in Israel mittels Tröpfchenbewässerung und Brauchwasser betrieben.

Als eines der drastischsten Beispiele der ökologischen Konsequenzen eines falsch gemanagten Baumwollanbaus wird das Austrocknen des Aralsees angesehen.

Naturfaserstoffe

Strengere Richtlinien und die verbesserte Zusammenarbeit mit den Baumwollbauern vor Ort machen den ökologischen Anbau von Biobaumwolle zwar zur populärsten Form unter den Anbaualternativen, die weltweite Produktion bleibt aber mengenmäßig mit knapp 1 Prozent Marktanteil hinter allen anderen Alternativen zurück (Textile Exchange, 2020, S. 12). Die wichtigsten Merkmale des Biobaumwollanbaus sind die Einhaltung einer wechselnden Fruchtfolge, der Ausschluss von genverändertem Saatgut, der Einsatz von biologischen Methoden für die Schädlingsbekämpfung und der Verzicht auf Pestizide und künstliche Düngemittel. Es bestehen Grenzwerte bezüglich der Abwasser- und Abluftreinigung sowie Staub- und Lärmbelastung. Biobaumwolle wird handgepflückt, es werden faire Preise und Abnahmekonditionen gefordert und es gibt höhere Anforderungen an den Arbeitsschutz. Gentechnisch veränderte Baumwolle hat als nach-

haltiger propagierte Alternative mengenmäßig deutlich größere Bedeutung erlangt. Ihre Anbauflächen, die vor allem in Indien, den USA, China und Pakistan liegen, machen inzwischen weltweit 75 Prozent aus (Forum Bio- und Gentechnologie, 2021). Andere nachhaltigere Baumwollqualitäten sind auf ein besseres Pestizid- und Wassermanagement und/oder eine faire Bezahlung der in der Baumwollwirtschaft tätigen Menschen ausgerichtet wie bei Fairtrade Cotton. Diese Initiativen konzentrieren sich teilweise auf bestimmte Entwicklungsländer und Regionen wie Cotton Made in Africa (CmiA). Die „2025 Sustainable Cotton Challenge“ soll Mode- und Textilunternehmen ermutigen, sich zu verpflichten, bis 2025 genau 100 Prozent ihrer Baumwolle aus möglichst nachhaltigen Quellen zu beziehen (Textile Exchange, 2021).

Die Menge an Chemikalien, die bei der Viskose- und Modalfaserproduktion verwendet wird, ist sehr hoch und nur ein kleiner Teil kann recycelt werden.

Schafwolle macht mehr als 1,2 Millionen Tonnen der weltweit produzierten Fasern aus und ist damit die bedeutendste tierische Naturfaser. Neben Schafwolle, die meist nur als Wolle bezeichnet wird, gibt es Angora-, Alpaka-, Kamel-, Kaschmir-, Lama- und Mohairwolle, jedoch haben diese im Vergleich zur Schafwolle nur einen sehr geringen Marktanteil. Bei der konventionellen Schafhaltung gibt es einige Praktiken, die als nicht nachhaltig betrachtet werden. Die NGO Textile Exchange hat daher im Jahr 2016 den Responsible Wool Standard (RWS) und vier Jahre später den darauf basierenden Responsible Mohair Standard (RMS) eingeführt, bei dem es um das Tierwohl und den Umgang mit den Weideflächen geht. Ziel ist es, einen nachhaltigen Umgang mit Land, Ressourcen und Tieren zu fördern. Für die RWS-Zertifizierung müssen hohe Standards in der Tierhaltung, dem Landmanagement und den Sozialleistungen eingehalten werden.

Eine weitere Alternative ist recycelte Wolle. Dabei werden Wolltextilien zerrissen und die Fasern zu Garn gesponnen. Durch eine Farbmelange kann der Färbeprozess ausgelassen werden. Dafür muss die Wolle in Feinarbeit nach Farben sortiert werden. Aufgrund ihrer hohen Rücksprungkraft, beruhend auf der bilateralen Struktur der Wollfaser ist sie für ein Faserrecycling nach dem Streichgarnverfahren sehr gut geeignet. Das Wollrecycling hat daher eine lange Tradition und Recyclingfasern werden in den verschiedensten Wollqualitäten wie beispielsweise Tweed eingesetzt.

Der Global Recycled Standard (GRS), der seit 2011 ebenfalls von der NGO Textile Exchange verantwortet wird, zertifiziert Produkte, die aus mindestens 50 Prozent Recyclingfasern bestehen.

Chemiefaserstoffe

Cellulosische Chemiefasern machen etwa 7 Millionen Tonnen der weltweiten Faserproduktion aus. Bei der Zellstoffproduktion werden entrindete und zerkleinerte Holzstücke verwendet, welche in einem Schwefeldioxidbad ausgekocht werden, um Harze und andere Fremdstoffe zu entfernen. Anschließend wird der Zellstoff gebleicht und in Cellulosebögen gepresst. Um diese Platten zu verflüssigen, werden sie in einer wässrigen Natronlauge eingeweicht. Die Cellulose quillt auf und der Molekülverband der Fasern wird gelockert. In einem Schwefelkohlenstoffbad wird sie laugenlöslich und durch Zusatz von Natronlauge entsteht die Spinnlösung. Die Menge an Chemikalien, die bei der Viskose- und Modalfaserproduktion verwendet wird, ist sehr hoch und nur ein kleiner Teil kann recycelt werden (Rana, Pichandi, Parveen & Fangueiro, 2014). Lyocellfasern werden vom Hauptproduzenten, der Lenzing Group, unter dem

Markennamen Tencel™ vertrieben. Die Holzcellulose wird in dem Aminoxid N-Methylmorpholin-N-oxid (NMMO) mit Wasser direkt zu einer Spinnmasse gelöst, anschließend filtriert und im Direkt-Lösemittelverfahren gesponnen. Nachdem die Fasern gewaschen und getrocknet wurden, können über 99 Prozent des NMMO zurückgewonnen und weiterverwendet werden. Lyocell hat damit die höchste Lösemittel-Wiederverwendbarkeit aller Cellulosefasern. Im Vergleich zu anderen Cellulose-Regeneratfasern gilt der Herstellungsprozess wegen des umweltschonenden Lösungsmittels und eines nahezu geschlossenen Stoffkreislaufs als deutlich umweltverträglicher.

Chemiefasern aus synthetischen Polymeren, die vor allem aus dem Erdölderivat Naptha hergestellt werden, deckten im Jahr 2020 mit über 74 Millionen Tonnen (Engelhardt, 2020) einen Großteil der weltweiten Faserproduktion ab. Die Problematik liegt in der Endlichkeit der Ressourcen, auch wenn für ihre Herstellung nur weniger als ein Prozent Rohöl verwendet werden soll (Industrievereinigung Chemiefaser, 2021). Ein weiterer problematischer Faktor sind der erforderliche Energieaufwand und die eingesetzten Chemikalien, die als Hilfsmittel für die Herstellung von synthetischen Chemiefasern notwendig sind. Synthesefasern tragen bei der Produktion, dem Tragen und Waschen zur Umweltverschmutzung mit Mikroplastik bei. In den Produktionsländern mit häufig mangelhafter Abwasseraufbereitung gelangen vor allem Fasern aus der Textilproduktion direkt in die Gewässer. Die Abwasserbelastung durch Mikrosynthesefaserpartikel wird dort daher als deutlich höher eingeschätzt als beispielsweise in Europa, wo Mikroplastik vor allem über

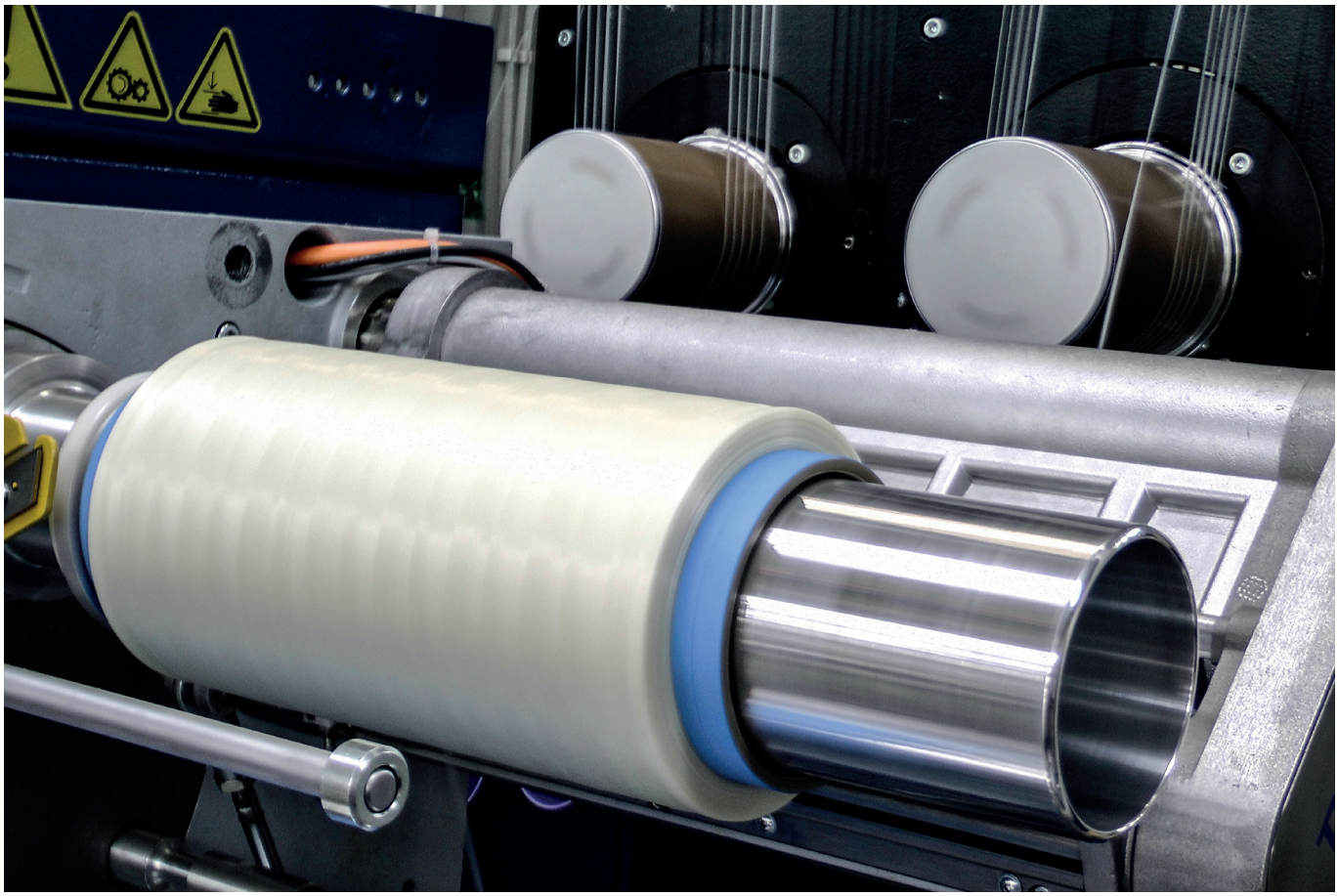

Abb. 2: Produktion von Milchfasern, Foto: Qnature

Haushaltsprodukte in die Umwelt gelangt. Kunststoffe verbleiben dort nicht nur Hunderte von Jahren, an den Mikropartikeln lagern sich auch Schadstoffe an, die dadurch verteilt werden und in die Nahrungskette gelangen können. Faserabrieb bei der Textilwäsche ist nach einer Studie des Fraunhofer-Instituts (Bertling, Bertling & Hamann, 2018, S. 10-11) auf Platz 10 der Quellen für Mikroplastik-Absonderungen in Deutschland.

Alternative Rohstoffe

Auf der Suche nach Lösungen zur Deckung des Weltfaserstoffbedarfs kommt angesichts eines wachsenden Altkleideraufkommens das Recycling von Textilien und Altkleidern in Betracht im Sinne einer Kreislaufwirtschaft. Auf dem Weg zu geschlossenen Stoffkreisläufen erschweren jedoch vor allem Fasermischungen zwischen Fasern auf Basis natürlicher und synthetischer Polymere die Wiederaufbereitung und die Fasern verlieren durch das Recycling erheblich an Qualität, weshalb sie am Ende doch wieder entsorgt werden müssen. Solange diese Problematik nicht gelöst ist, gilt das Prinzip der Sortenreinheit für ein hochwertiges Rohstoffrecycling. Etabliert hat sich vor diesem Hintergrund das Recycling von PET-Flaschen zu Polyesterfasern. Diese haben gegenüber anderen PET-Abfällen den Vorteil, dass sie bereits durch moderne Sortieranlagen gut sortiert vorliegen. Eine Aufbereitung der Kunststoffflaschen kann entweder chemisch über eine Depolymerisation oder physikalisch erfolgen. Beim chemischen Recycling wird das Polyesterpolymer in seine Monomere zerlegt und wieder zu Polyester synthetisiert. Beim kostengünstigeren physikalischen Verfahren wird auf das Aufspalten des zu rezyklierenden PET-Polymers verzichtet. Die PET-Flaschen werden hierbei zu Flocken oder Chips zerkleinert, eingeschmolzen und anschließend wieder neu versponnen. PET büßt während diesen Vorgängen seine Faserqualität nicht ein und kann daher sehr gut weiterverwendet werden.

Das Recycling wird jedoch auch kritisch gesehen, da das Einsammeln beispielsweise auch von Ozeanplastik, das Waschen, Entfärben und Einschmelzen viel Energie und einen hohen Chemikalieneinsatz erfordern. Auch haben viele Recycling-Anlagen ihren Standort in Asien, weshalb PET-Flaschen aus Europa und Amerika über Seefracht angeliefert werden müssen. Mit über 57,7 Millionen Tonnen der weltweiten Faserproduktion ist Polyester die meistproduzierte Faser; der Marktanteil an recyceltem Polyester ist jedoch von 2009 bis 2019 nur um 5 Prozent gestiegen (Textile Exchange, 2020, S. 61). Momentan ist recyceltes PET noch teurer als neugewonnenes, aber dies kann sich bei steigenden Erdölpreisen ändern.

Biobasierte Kunststoffe stellen eine Rohstoffquelle für Textilien dar. Sie können aus Zucker, Stärke, Pflanzenölen oder auch Chitin gefertigt werden. Es wird von Kunststoffen gesprochen, da diese Materialien selten als Faserstoffe vorliegen. Die Bezeichnung Biokunststoff ist dabei kein definierter Begriff, da er teilweise für biologisch abbaubare Kunststoffe verwendet wird, gleichzeitig aber auch für Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die nicht biologisch abbaubar sind. Wenn der Begriff Biokunststoff verwendet wird, kann es sich also um einen biologisch abbaubaren, einen biobasierten oder einen biologisch abbaubaren und biobasierten Kunststoff handeln. Biobasierte Kunststoffe müssen zu 100 Prozent aus einem Rohstoff bestehen, der kein Erdöl ist, wie Zucker,

Biobasierte Kunststoffe müssen zu 100 Prozent aus einem Rohstoff bestehen, der kein Erdöl ist, wie Zucker, Stärke oder Pflanzenöle.

Stärke oder Pflanzenöle. Biologisch abbaubar bedeutet, dass sich der Kunststoff unter bestimmten Bedingungen vollständig in Wasser und CO_2 zersetzt.

Welche Bedingungen dafür vorliegen müssen, die industrielle Kompostierbarkeit, Heim- und Gartenkompostierbarkeit oder die biologische Abbaubarkeit in Boden, Süßwasser oder Meerwasser, ist damit jedoch nicht festgelegt (Endres, Mudersbach & Behnsen, 2020, S. 10). Um einen Kunststoff aus Stärke zu produzieren, muss dieser destrukturiert werden, was meist thermochemisch stattfindet. Wasser und ein Weichmacher wie Glycerin werden zugegeben, um eine bessere Plastifizierbarkeit zu garantieren (Storz & Vorlop, 2013, S. 324).

Das Unternehmen NatureWorks LLC entwickelt biobasierte und biologisch abbaubare Produkte aus Pflanzenstoffen wie unter anderem Maisstärke, Maniok, Zuckerrohr oder Rüben. Das Polylactid (Polymilchsäure) Ingeo™ ist nach dem europäischen Standard EN 13432 zertifiziert, wonach die Produkte innerhalb von maximal 90 Tagen in einer industriellen Kompostierungsanlage zu mindestens 90 Prozent zersetzbar sein müssen. In Form von Fasern wird es zu Hygienetüchern, als Textilverbundstoff und auch zu Kleidungstextlien verarbeitet. Ein Nachteil der pflanzlichen Herkunft ist, dass die Herstellung überwiegend auf Landwirtschaft in Monokulturen mit genverändertem Saatgut beruht und dass der Anbau der benötigen Rohstoffe mit dem Nahrungs- und Futtermittelanbau konkurriert.

Auf der Suche nach Rohstoffen für biobasierte Polymerfasern und Biokunststoffe wird zunehmend die Verwertung von Food Waste in Betracht gezogen. Dabei handelt es sich um aussortierte oder entsorgte Lebensmittel, aber auch ihre nicht zum Verzehr gedachten Bestandteile, die entlang der Nahrungsmittelkette entsorgt werden. Ein Beispiel dafür ist das Unternehmen Orange Fiber, das Fasern aus den Abfallprodukten der Orangensaftindustrie herstellt. Jährlich fallen in Italien mehr als 700.000 Tonnen Abfall in Form von Zitrusschalen an, deren Cellulose extrahiert und zu einem Polymer weiterverarbeitet wird, der als Rohstoff für Fasern dient (Orange Fiber, 2021).

Auf der Suche nach Rohstoffen für biobasierte Polymerfasern und Biokunststoffe wird zunehmend die Verwertung von Food Waste in Betracht gezogen.

Weitere Entwicklungen sind die Wiederentdeckung der Kaseinfasern durch einen umweltverträglichen patentierten Produktionsprozess der Mikrobiologin Anke Domaske. Die für die Milchfasern benötigte Non-Food-Milch entstammt Molkereiabfällen, etwa 2 Millionen Tonnen fallen jährlich in Deutschland an, die ansonsten entsorgt werden müssten (Qnature, 2021). Für Sojafasern werden flüssige Abfallprodukte der Tofu- oder Tempeh-Produktion verwendet. Mittels eines Fermentationsprozesses wird die in der Flüssigkeit enthaltene Glukose in Zellstofffasern umgewandelt. Ananasblätter und Apfeltrester werden als Abfälle der Lebensmittelindustrie zu Ledersatzprodukten verarbeitet.

Weitere Entwicklung des Weltfaserstoffmarktes

Die weltweite Naturfasererzeugung konnte in den letzten Jahrzehnten erheblich gesteigert werden, vor allem wurde die Baumwollfaserproduktion mehr als verdoppelt. Ihre Produktionsmenge wie die der meisten sonstigen Naturfasern wird jedoch auf Dauer eher konstant bleiben, da die Anbau- und Weideflächen nicht weiter ausgedehnt werden können, denn sie konkurrieren mit der Nahrungsmittelgewin-

nung. Die Ertragsteigerungen sind vor allem auf neue Gewinnungsmethoden, Züchtungen, Gentechnik usw. zurückzuführen, es kommt jedoch auch zu deutlichen Ernteeinbußen aufgrund des Klimawandels. Naturfaserstoffe sind damit eine begrenzte Ressource und werden bei steigendem Bedarf immer wertvoller. Schätzungsweise gelangen etwa 5 Prozent der Naturfasern nicht auf den Weltmarkt, sondern werden für den persönlichen Gebrauch genutzt und gehen damit in keine Statistik ein (Schenek, 2002).

Die bislang preiswerteren und in ihrem Eigenschaftsprofil anpassbaren Chemiefasern haben einen immer höheren Marktanteil erzielt und füllen die Bedarfslücke. Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung, die immer mehr in den Mittelstand rückt, und dem damit steigenden Weltfaserstoffbedarf ist der hohe Ressourcendurchsatz das drängendste Problem. Der Trend weg von nicht abbaubaren Synthesefasern oder konventionell angebauter Baumwolle ist zu unterstützen und auch die Forschung an neuen nachwachsenden Rohstoffen, beispielsweise basierend auf Food Waste, kann hilfreiche Erkenntnisse bringen und zur Deckung des Weltfaserstoffbedarfs beitragen. Doch die eigentliche Problematik liegt im Konsum, basierend auf kurzen Modezyklen und einer bislang nicht kreislauffähigen Textilwirtschaft. Die Kreislauffähigkeit textiler Produkte bedingt ein recyclingfähiges und hochwertiges Produktdesign als Voraussetzung für einen nachhaltigen Rohstoffeinsatz.

Für die Etablierung einer kreislauffähigen Textilwirtschaft bedarf es des Zusammenwirkens von Akteuren der textilen Kette und Verbrauchern. Diese müssen über eine kreislauffähige Mode informiert und in deren Entwicklung einbezogen werden – nicht zuletzt durch eine textilbezogene Bildung für nachhaltige Entwicklung und Verbraucherbildung.

Quellen

Bertling, Jürgen; Bertling, Ralf; Hamann, Leandra, Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen, 2018.

Bremer Baumwollbörse, Baumwolle und Wasser – Teil 1: Mit modernen Bewässerungsmethoden zu mehr Wasserersparnis, 2020, https://baumwollboerse.de/2020/11/24/baumwolle-und-wasser-teil-1/ [21.04.2021].

Forum Bio- und Gentechnologie e. V., Gentechnisch veränderte Baumwolle: Anbauflächen weltweit, 2021, https://www.transgen.de/anbau/452.gentechnisch-veraenderte-baumwolle-anbauflaechen-weltweit.html [21.04.2021].

Cobbing, Madeleine; Vicaire, Yannik, Konsumkollaps durch Fast Fashion, 2017, https://greenwire.greenpeace.de/system/files/2019-04/s01951_greenpeace_report_konsumkollaps_fast_fashion.pdf [21.04.2021].

Endres, Hans-Josef; Mudersbach, Marina; Behnsen, Hannah; Spierling, Sebastain (Hrsg.), Biokunststoffe unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit und Kommunikation. Status quo, Möglichkeiten und Herausforderungen, Berlin, Springer, 2020.

Engelhardt, Andreas. Das Faserjahr 2020 – geprägt vom Coronavirus, in: textile network, 2020, https://textile-network.de/de/Technische-Textilien/Fasern-Garne/Das-Faserjahr-2020-gepraegt-vom-Coronavirus [21.04.2021].

Industrievereinigung Chemiefaser e. V., Erdölbedarf, 2021, https://www.ivc-ev.de/de/erd%C3%B6lbedarf [21.04.2021].

Orange Fiber, Sustainable fabrics from citrus juice by-products, 2021, http://orangefiber.it/en/ [21.04.2021].

Qnature, QMILK – Das Material der Zukunft, 2021, unter https://www.qmilkfiber.eu/ [21.04.2021].

Rana, Sohel; Pichandi, Subramani; Parveen, Shama; Fangueiro, Raul, Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability. In: Muthu Subramanian Senthilkannan (Hrsg.), Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. Textile Science and Clothing Technology, Singapore, Springer, 2014, S. 239-276.

Schenek, Anton, Naturfasern – Produktion und Bedeutung, in: International Textile Bulletin, 2002, 2, S. 8-9,10, 12-13,16-17.

Storz, Henning; Vorlop, Klaus-Dieter, Bio-based plastics: status, challenges and trends, in: Applied Agricultural and Forestry Research, 2013, 4, S. 321-332.

Textile Exchange, Preferred Fiber & Materials Market Report 2020, 2020, https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_Preferred-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf [21.04.2021].

Textile Exchange, 2025 Sustainable Cotton Challenge, 2021, https://textileexchange.org/2025-sustainable-cotton-challenge/ [21.04.2021].