

Kreislaufwirtschaft

Textile Kreisläufe schaffen, Zukunft gestalten



Refuse.
Rethink.
Reduce.
Reuse.
Recycle.
Recover.



Textil ist der Werkstoff, aus dem die Zukunft ist. Das stellen die deutschen Textilunternehmen und die Textilforschung jeden Tag unter Beweis. Immer neue Ideen finden ihren Weg in die Anwendung und in neue Textilien, ob es sich um Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen oder andere biobasierte Materialien handelt. Auch Bekleidung, die sich am Ende ihres Einsatzes kompostieren lässt, ist längst keine Zukunftsmusik mehr. Anstatt all diese Entwicklungen und Trends beherzt aufzugreifen, verengt sich die öffentliche Diskussion auf Fast Fashion-Kleiderberge und die Frage, ob weniger Modekonsum nicht der beste Weg in Sachen Klimaschutz ist. Dazu eines vorneweg: Ja, weniger ist mehr! Vor allem, wenn es um qualitativ hochwertige und langlebige Textilien geht, also den Markenkern der deutschen Textil- und Modeindustrie, die sich zusammen mit einer exzellenten Textilforschung in unserem Land innovativ für das 21. Jahrhundert aufgestellt hat. Jetzt ist es allerdings an der Zeit, all die bereits existierenden guten Ideen und Forschungen konsequent in die Praxis umzusetzen.

»Wir betrachten die Kreislaufwirtschaft vor allem als Chance.«

Johannes Diebel leitet seit dem Jahr 2017 den Bereich Forschung des FKT. Er ist unter anderem für die Koordinierung der vorwettbewerblichen Forschungsförderung, die Öffentlichkeitsarbeit und den Technologietransfer verantwortlich. Zuvor leitete der Wirtschaftsingenieur für Maschinenbau den Bereich »Fördermittelmanagement und Patente« bei der Berlin Industrial Group mit dem Schwerpunkt Laserfügen und 3D-Druck.

Dabei ist es entscheidend, ein Produkt bereits vom Ursprung her zu denken und den kompletten Kreislauf vom Rohstoff über die Faser bis hin zur Entsorgung nach möglichst langer Zeit der Nutzung umfassend in den Blick zu nehmen. Das gilt genauso für Technische Textilien und Heimtextilien, die bisher viel zu lange aus der Kreislaufdiskussion ausgeklammert wurden.

Mit unserer Studie wollen wir einen umfassenden Rundumblick auf die Kreislaufwirtschaft in der Textil- und Modeindustrie werfen. Dafür haben wir in einem ersten Schritt den Status quo in der Forschung und bei den Unternehmen analysiert. In Anlehnung an die Zukunftsstudie »Perspektiven 2035« wurde eine Technologie-Roadmap entwickelt, aus der sich konkrete Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Die Ergebnisse der Studie wurden darüber hinaus in einem Zwischenschritt von Kreislaufwirtschafts-Experten bewertet. Wir wollen mit dieser Studie Orientierungshilfe geben und dazu ermutigen, die Herausforderungen, die die künftige Kreislaufwirtschaft mit sich bringt, anzunehmen. Klar ist, dass die Industrie allein die Hürden nicht überwinden kann. Gefordert sind auch die Politik und die gesamte Gesellschaft. Die Politik muss entsprechende Zeichen setzen und wirkungsvolle Regularien schaffen. Die Verbraucher wiederum können durch ein bewusstes Kaufverhalten erheblich dazu beitragen, die textilen Wertschöpfungsketten und den Wertstoffkreislauf nachhaltiger zu gestalten.

Unsere Studie zeigt auf, wie wir mit einer umfassend verstandenen Kreislaufwirtschaft den Durchbruch zu einer nachhaltigen Textilindustrie schaffen. Dabei wird klar: Wer frühzeitig in nachhaltige Technologien einsteigt oder diese entwickelt, verschafft sich Wettbewerbsvorteile. Nicht zuletzt kann der Export fortschrittlicher Recycling-Technologien neue Märkte eröffnen. Begeben Sie sich mit uns auf den Weg und gestalten Sie die textile Kreislaufwirtschaft aktiv mit. Das Forschungskuratorium und sein Netzwerk freuen sich auf Ihre Unterstützung. Wir stehen schon jetzt mit zahlreichen Innovationen für die anstehenden Veränderungen bereit.



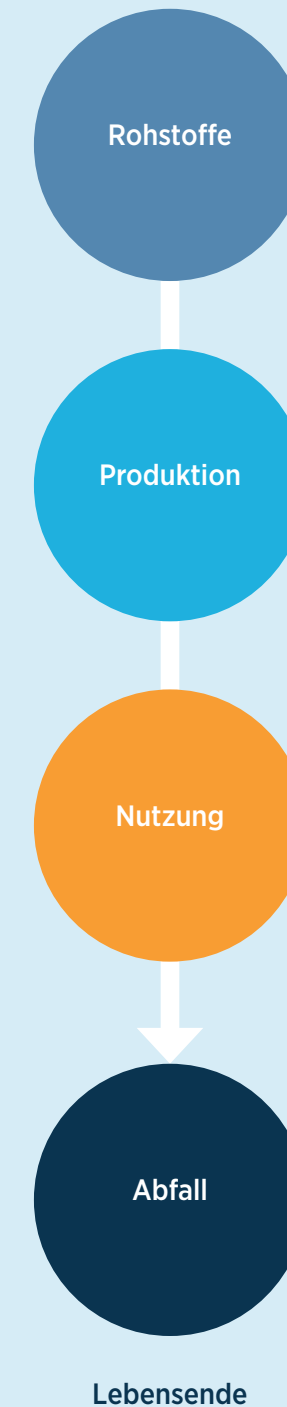
Ihr
Johannes Diebel

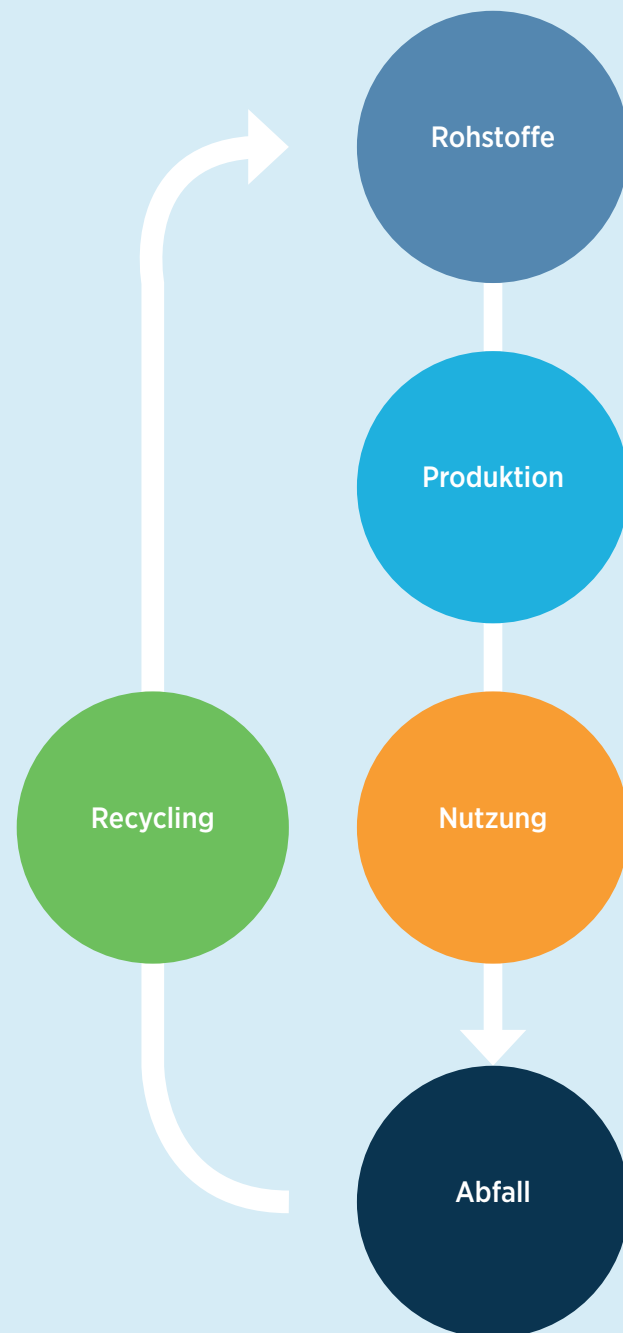
Textilien werden heute oftmals als Abfall entsorgt, wenn sie alt oder abgenutzt sind. Dadurch gehen große Mengen an Rohstoffen verloren. In der Kreislaufwirtschaft hingegen werden diese Rohstoffe immer wieder genutzt. Dieser Ansatz ist nicht nur nachhaltig, er bietet den Unternehmen der Textilbranche auch die Chance, neue Technologien und Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Textile Kreisläufe schaffen

Nachhaltigkeit ist heute eines der großen Themen unserer Gesellschaft. Das Wissen darum, dass es nötig ist, Energie und Rohstoffe zu sparen, ist in der Mitte der Gesellschaft angekommen.

Ein wichtiger Schritt dahin ist, Produkte am Ende ihres Lebens möglichst vollständig wiederzuverwerten. Bislang werden viele Konsumgüter als Abfall entsorgt, wenn sie abgenutzt oder defekt sind. Dieses klassische **lineare System** vom Rohstoff über die Verwertung bis zum Wegwerfen führt dazu, dass Ressourcen nicht zurückgewonnen werden und verloren gehen. Für bestimmte Produkte wurden in den vergangenen Jahrzehnten Recycling-Systeme entwickelt. Altkleider und gebrauchte Textilien etwa werden heute in Deutschland in Altkleidercontainern entsorgt und damit einer geregelten Verwertung zugeführt. Ein Teil wird in Secondhandläden weiterverkauft oder von karitativen Einrichtungen an Bedürftige in Deutschland oder in Entwicklungsländern weitergegeben — beispielsweise Schuhe, T-Shirts und Jacken, aber auch Bettwäsche und Tischdecken. Andererseits gibt es Alttextilien, die aufgrund von Schäden oder geringerer Qualität nicht direkt wiederverwendet werden können. Sie werden zumeist zu Malervliesen oder Lappen verarbeitet, die in der Öffentlichkeit als weniger wertige Produkte wahrgenommen werden. Diese Art des Recyclings, die in die sogenannte Kategorie des Down-Cyclings fällt, steht zunehmend in der Kritik.





Vom Produkt her denken

Bei den heutigen **Recycling-Systemen** wird bislang nur ein kleiner Teil der Wertstoffe in Kreisläufen geführt. Fasst man alle Arten von Textilien zusammen, liegt die Recyclingquote in Deutschland derzeit nur etwa bei 12 Prozent. Ob überhaupt recycelt wird, hängt unter anderem davon ab, ob eine geeignete Erfassungs-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur zur Verfügung steht. Zudem spielt hier eher die Abfallperspektive eine Rolle. Die Frage lautet: »Was kann aus Abfällen gewonnen werden?« Dass nicht mehr davon verwertet wird, liegt insbesondere an der schlechten Qualität, etwa der Mischung von Rohstoffen in Fast Fashion-Produkten. Einen neuen Ansatz verfolgt die Kreislaufwirtschaft — die Circular Economy — mit ihren **zirkulären Systemen**. Hier wird vom Produkt her gedacht und bereits bei der Herstellung überlegt, wie sich der Kreislauf zum Lebensende des Produktes schließen lässt. Um künftig solche zirkulären Systeme aufzubauen, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Der Rohstofftyp und seine spezifischen Eigenschaften werden so gewählt, dass sie einen Kreislauf ermöglichen.
- Die Produkte werden so designed und entwickelt, dass sie einen Kreislauf ermöglichen.
- Die Produkte werden so gestaltet, dass sie langlebiger sind und sich — wenn möglich — leicht reparieren lassen oder nach einer Auffrischung direkt wiederverwendet werden können.
- Produkte und Materialien werden als künftige Rohstoffe betrachtet und entsprechend wertgeschätzt. Statt Produkte zu besitzen, können diese künftig gemietet oder geleast werden. Man spricht von »Product as a Service«. Dadurch werden sie zum einen intensiver und häufiger genutzt. Zum anderen können sie später leichter erfasst, sortiert und dem richtigen Wertstoffkreislauf zugeführt werden, weil die Service-Dienstleister sie zentral sammeln.
- Neue Verfahren werden entwickelt, mit denen Produkte entweder mit weniger Aufwand technisch wiederverwertet oder in Kreisläufe zurückgeführt werden, sofern sie biologisch abbaubar sind oder sich stofflich recyceln lassen.

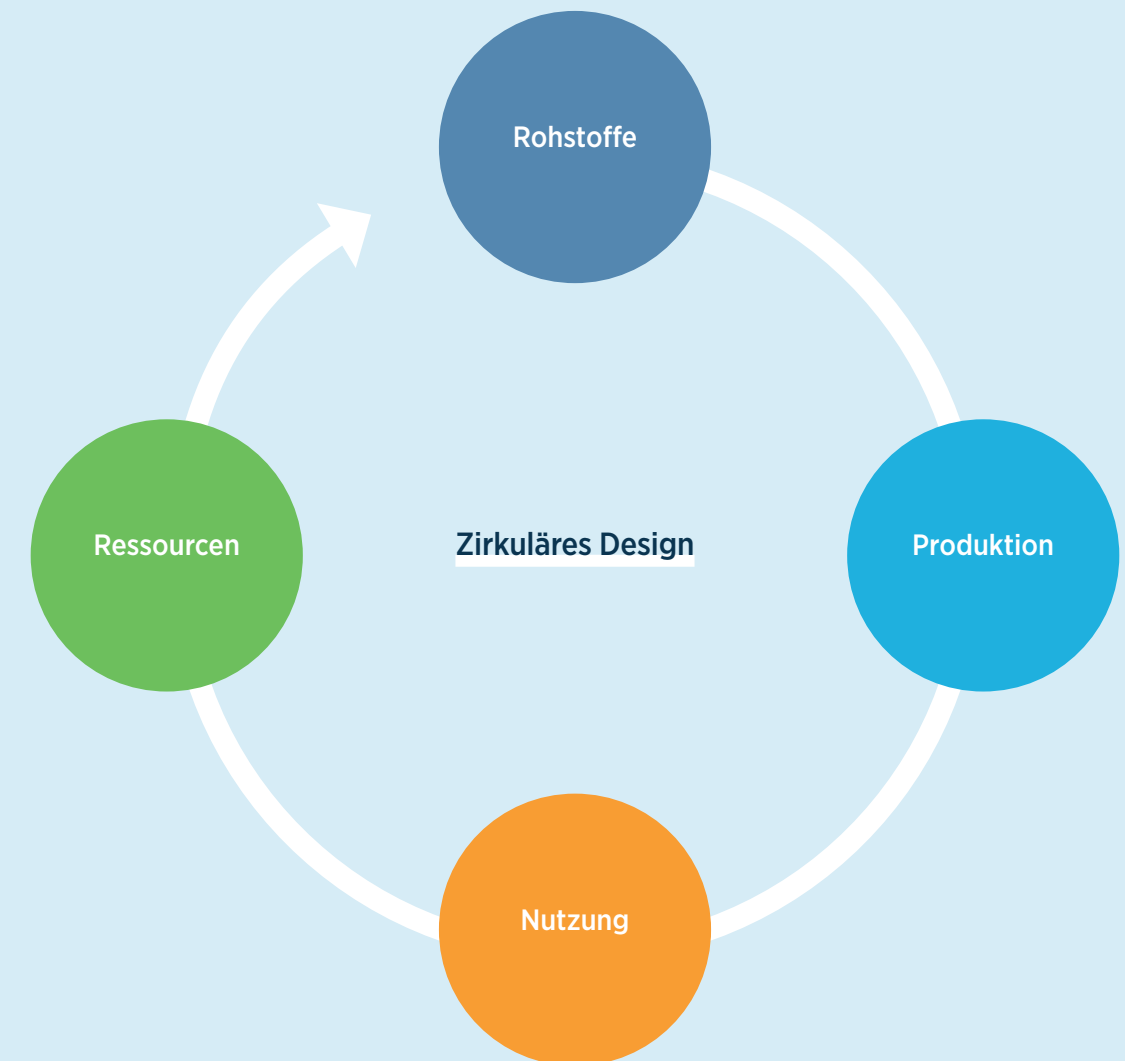
Individuelle Lösungsansätze

Die Textilindustrie ist eine Branche, die eine Fülle von Materialien zu ganz unterschiedlichen Produkten verarbeitet. Das heißt auch, dass es keine Standardlösungen für zirkuläre Systeme geben wird. Verschiedene Produktgruppen werden ganz unterschiedlich behandelt werden müssen. Beispiele für die Vielfalt sind Schutzbekleidung mit verschiedenen Beschichtungen oder medizinische Textilien für Implantate oder Bandagen. Hinzu kommen faserverstärkte Kunststoffe für den Leichtbau in der Flugzeug- und Automobilindustrie sowie der Windkraftbranche oder in Textilbeton. Rund 61 Prozent der in Deutschland produzierten Fasern werden heute zu Technischen Textilien, 26 Prozent zu Heimtextilien und 13 Prozent zu Bekleidung verarbeitet. Auch das unterstreicht die Diversität des Textilmarktes. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft werden für die verschiedenen Produktgruppen künftig ganz eigene technische Lösungen zur Wiederverwertung entwickelt werden müssen. Erfreulicherweise werden viele dieser Lösungen bereits in Forschungsprojekten untersucht und als Prototypen getestet.

Rundum nachhaltige Produkte

Die künftigen zirkulären Systeme müssen neben der konsequent ganzheitlichen Produktentwicklung und bewussten Materialwahl noch weitere Nachhaltigkeitsaspekte umfassen, wie etwa faire und transparente Lieferketten. Idealerweise sind diese Kreislaufwirtschaftslösungen in dreifacher Hinsicht nachhaltig: ökologisch, ökonomisch und sozial. Die zügige Entwicklung zirkulärer Systeme bietet den deutschen Textilunternehmen nicht zuletzt die Möglichkeit, im Bereich nachhaltiger Konzepte weltweit die Technologieführerschaft zu übernehmen.

Beispiele für zirkuläre Systeme mit großem Marktpotenzial gibt es bereits. So lassen sich Mund-Nasen-Masken aus biobasierten Materialien herstellen, nach Gebrauch reinigen und zu neuem Fasermaterial verarbeiten. Robuste Schutzbekleidung für Feuerwehrleute, ausgediente Jacken und Hosen etwa, werden für hochwertige Design- und Kreativprodukte verwendet. Darüber hinaus widmet sich eine ganze Reihe von Forschungsinstituten und Textilunternehmen der Wiederverwertung von Produktionsresten. Diese sind für eine Kreislaufwirtschaft besonders geeignet, da es sich dabei um sortenreine Materialien handelt. Noch aber sind Hürden zu überwinden. Verschnittreste von Carbonfasern etwa lassen sich nicht einfach zu neuwertigen Produkten verarbeiten, weil sie andere Eigenschaften haben als die ursprünglichen langen Fasern. Inzwischen aber haben die deutschen Textilforschungsinstitute und -unternehmen Verfahren und Anlagen entwickelt, um diese Recycling-Fasern zu hochwertigen Produkten zu verarbeiten.



Ein Rückblick

Dass Experten aus der Textilindustrie der künftigen Kreislaufwirtschaft eine große Bedeutung beimessen, zeigte schon die im Jahr 2020 erschienene Broschüre »Perspektiven 2035«. Die befragten Fachleute kamen damals zu dem Schluss, dass das steigende Interesse an nachhaltigen Produkten bis zum Jahr 2025 dazu führen wird, dass sich Textilunternehmen bereits während der Produktentwicklung mit der Gestaltung nachhaltiger Lösungen befassen werden. So dürften Prinzipien wie »Design for Recycling« und »Design for 2nd/3rd Use Phase« zum Ausgangspunkt der Produktentwicklung werden. Vor allem die Verwendung von Natur- und Recyclingfasern und die Optimierung ihrer Eigenschaften dürften in den kommenden fünf Jahren wesentliche Fortschritte machen. In den »Perspektiven 2035« wurde auch diskutiert, dass die weltweit vorhandenen Ackerflächen zur Herstellung von Biomasseprodukten begrenzt seien. Deshalb sei es auch bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe wichtig, Stoffkreisläufe bereits bei der Produktentwicklung mit zu bedenken.

International hat sich der Begriff des »Design for Recycling« etabliert. Deshalb verwenden wir ihn auch in dieser Broschüre. Dieser besagt, dass Produkte zum Lebensende wiederverwertet werden können. Allerdings betrachtet das Recycling ausgediente Produkte als Abfall, der oftmals nur teilweise wiederverwertet wird. Im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft ist dieser Begriff daher nicht ganz passend. Sinnvoll wäre es, künftig vom »Design for circular economy« zu sprechen, da ausgediente Produkte in der Kreislaufwirtschaft als Rohstoff betrachtet werden.



Die wachsende Bedeutung des Entfügens

Ein Hindernis für die Wiederverwertung von Textilien ist heute noch, dass es an Technologien fehlt, um Mischungen von Textilien und Materialkombinationen voneinander zu trennen — zu entfügen. Die Experten der Studie »Perspektiven 2035« erwarten bis zum Jahr 2025, dass vermehrt neue Technologien zum Entfügen textiler Systeme und textilbasierter Verbundwerkstoffe die Marktreife erreichen und eingeführt werden.

Für die erste Hälfte der 2030er Jahre gehen sie zudem davon aus, dass sich nahezu alle textilen Systeme wieder trennen lassen werden. Eine solche Recyclingkompetenz aufzubauen, werde sich lohnen, weil sich entsprechende Technologien für komplexe Verbundwerkstoffe auch auf nicht-textile Materialien und andere Branchen übertragen lassen dürften. Der technologische Fortschritt beim textilen Recycling im Allgemeinen und bei den Entfügeverfahren im Speziellen werde in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre erlauben, die Trennung als Zusatznutzen im B2B-Geschäft anzubieten und mit diesem Prozess-Know-how neue Services zu entwickeln. Auch jenseits des Bekleidungssektors halten 75 Prozent der Befragten in den kommenden fünf bis zehn Jahren die Entwicklung von Entfügetechnologien bis zur Marktreife für wahrscheinlich.

Als sicher gilt den Experten, dass sich Recyclingprodukte insbesondere im Bereich der Bekleidung einer zunehmenden Nachfrage erfreuen werden. Für Produkte aus teilweise recycelten Fasern entwickelt sich bereits jetzt ein Massenmarkt im Sinne einer »Pull-Strategie«. Auf Dauer wird dies dazu führen, dass viele Kunden künftig den Grad der Nachhaltigkeit von Produkten verstärkt als Verkaufsargument akzeptieren werden. Wichtig ist, dass die Kunden ausreichend informiert werden, um zum Beispiel auch Biowerkstoffe und recycelte Rohstoffe miteinander vergleichen zu können. So sind recycelte Produkte solchen aus nachwachsenden Rohstoffen im Hinblick auf den Ausstoß von Kohlendioxid mitunter überlegen, weil Transporte reduziert werden. Insgesamt dürfte die Recyclingfähigkeit auch bei den technischen Textilien zu einem am Markt gefragten Zusatznutzen werden.

Die vorliegende Studie ergänzt die Broschüre »Perspektiven 2035«, die vor zwei Jahren erschienen ist. Beide sind kostenlos online abrufbar unter textil-mode.de/perspektiven oder in Papierform zu bestellen unter info@textil-mode.de.

Vollständig recyclingfähig

Mit rund 93 Prozent waren sich die Fachleute in der Studie »Perspektiven 2035« darin einig, dass vollständig recyclingfähige Bekleidung ein großes Marktvolumen erreichen könne. Mehr als zwei Drittel der Befragten meint, das entsprechende Marktvolumen werde zumindest innerhalb der nächsten zehn Jahre realisiert. Kurzfristig halten die Befragten vor allem recyclingfähige beziehungsweise wiederverwendbare Komponenten für den Fahrzeuginnenraum für ein potenziell massenmarkttaugliches textiles Anwendungsgebiet, dessen Potenzial jedoch erst in einem Zeitraum von fünf bis zehn Jahren stärker ausgereizt werde. Ende der 2020er Jahre werde zudem mit einer steigenden Nachfrage nach sortenreinen textilen Systemen gerechnet.

Eine Befragung von Studenten zeigte, dass sie die Kreislaufwirtschaft für die Zukunft als selbstverständlich erachten. Dazu gehörten Ansätze wie »from cradle to cradle« (»von der Wiege zur Wiege«, »von Ursprung zu Ursprung«), womit ein geschlossener Stoffkreislauf bezeichnet wird, der ohne Abfälle auskommt. Erreicht ein Produkt das Ende seiner Lebenszeit, werden die Rohstoffe zu 100 Prozent in neue Produkte umgesetzt. In dieser Hinsicht müsse sich die Branche noch deutlich weiterentwickeln, forderten die Studenten. Denkbar seien zudem gebührenpflichtige Services, um gebrauchte Textilien gegen neue zu tauschen.

Druck durch Richtlinien

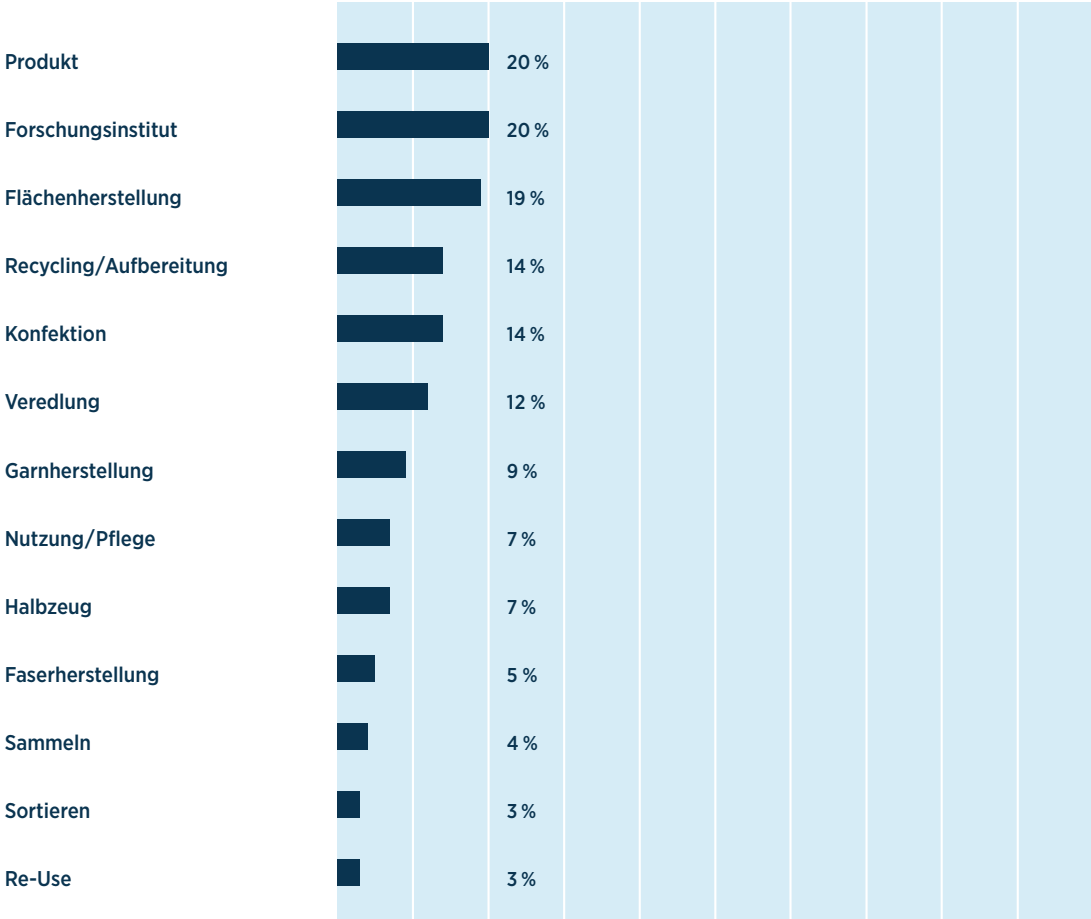
Die befragten Experten der Studie »Perspektiven 2035« betonten ferner, dass die Zeit bis 2025 durch eine Reihe neuer Umweltrichtlinien geprägt sein werde, die in Kraft treten oder neu auf die Agenda kommen. Vom Jahr 2025 an wird gemäß der Abfallrahmenrichtlinie der EU die sortenreine Sammlung von Alttextilien zur Pflicht. Diese dürfen dann nicht mehr mit dem Hausmüll entsorgt werden. Vorgeschrieben ist, dass 55 Gewichtsprozent der Textilien dem Recycling zugeführt und wiederverwertet werden. Entsprechend werde sich in den kommenden fünf Jahren der Druck auf die Textilhersteller und den Einzelhandel erhöhen, neue recyclingfähige Produkte auf den Markt zu bringen, so die Experten. Es sei daher nötig, stärker in die Erforschung alternativer Materialien und Produkte wie Naturfasern zu investieren, die sich leicht recyceln lassen.

Im Dialog mit den Experten

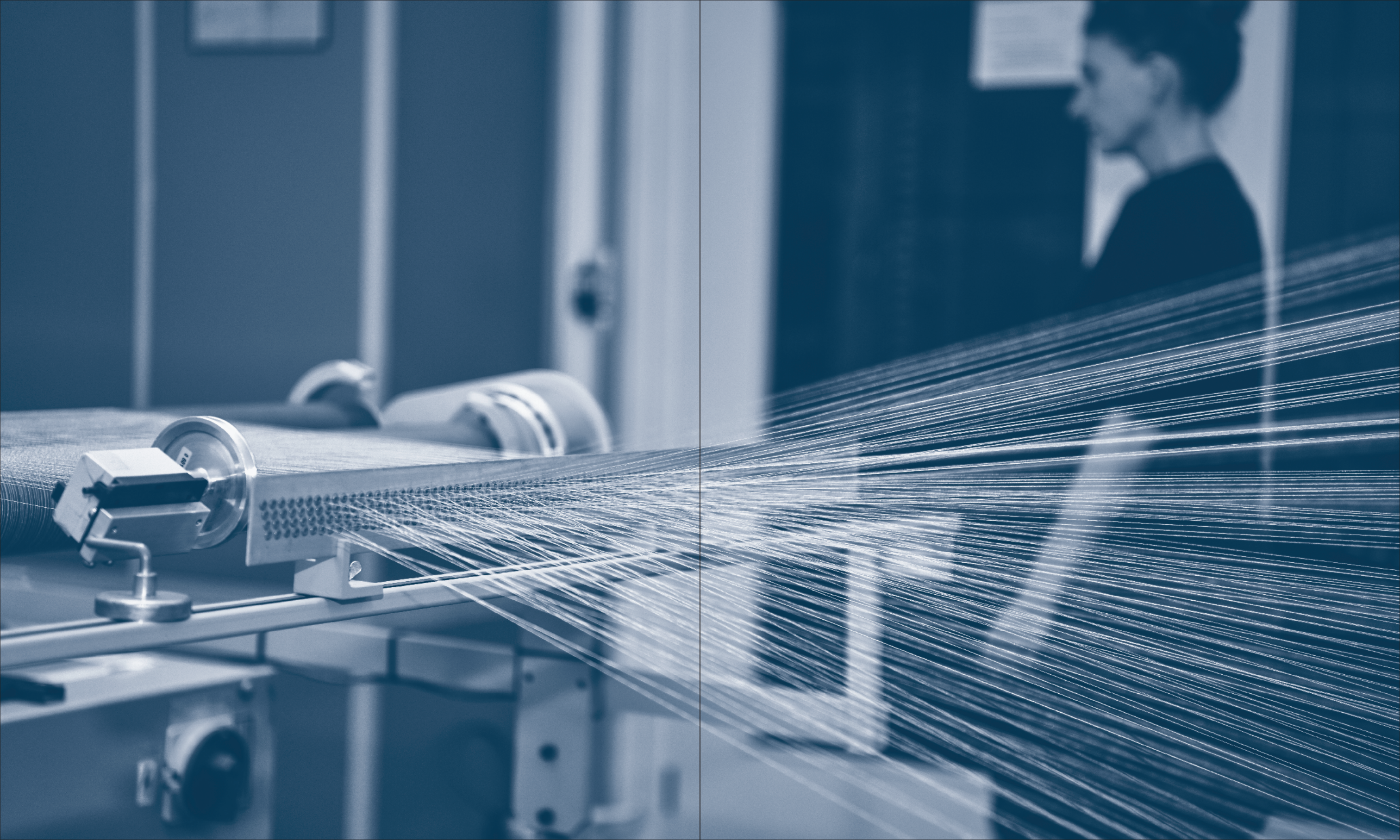
Um einen genaueren Eindruck davon zu bekommen, welche Herausforderungen Experten für die Transformation der Textil- und Bekleidungsindustrie erwarten, hat das Forschungskuratorium Textil (FKT) gemeinsam mit dem Institut für Innovation und Technik (iit) vier Workshops mit jeweils 50 Teilnehmern aus der Textilindustrie, dem Maschinenbau und der Wissenschaft durchgeführt. Gefragt wurde während der Workshops auch, welche Perspektiven die Experten sehen. Die aufbereiteten Workshop-Ergebnisse sind auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

Aus den Workshop-Ergebnissen wurde eine Roadmap entwickelt, die einen Überblick darüber gibt, welche Maßnahmen die Branche bis zum Jahr 2035 vollziehen sollte, damit die Textilindustrie künftig in einem Kreislauf wirtschaften kann. Diese Roadmap wird ebenfalls in dieser Studie präsentiert. Ausgehend von den Ergebnissen des Workshops und des Roadmap-Prozesses führte das iit ferner eine Online-Befragung mit insgesamt 101 Experten durch. Die Befragungsergebnisse waren wichtig, um die in den Workshops und im Roadmap-Prozess erarbeiteten Ergebnisse zu validieren und daraus finale Handlungsempfehlungen ableiten zu können.

Hinweis: Für alle hier verwendeten Quellen gilt, dass sie Datenlücken aufweisen. Nutzer, wie zum Beispiel das iit, haben darauf grundsätzlich keinen Einfluss. Dies ist bei der Bewertung der Analyseergebnisse generell zu berücksichtigen.



Die Grafik zeigt, welcher Wertschöpfungsstufe sich die Experten zugeordnet haben. Darüber hinaus konnten sie angeben, ob sie für Institute arbeiten. Das war wichtig, da Institute meist mehrere Wertschöpfungsstufen abdecken. Zudem verdeutlicht diese Zusatzinformation, wie stark die Beteiligung der Industrievertreter war.



Die dreifache Herausforderung der Kreislaufwirtschaft

Die Wandlung der Textilbranche vom linearen zum zirkulären System ist eine große Aufgabe, weil zugleich ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Aspekte beachtet werden müssen.

Ökonomische Herausforderungen

Ökologische Herausforderungen

Gesellschaftliche Herausforderungen

Es zeigte sich, dass die Branche aktuell noch eine Reihe von vielschichtigen Hindernissen sieht, die die Entwicklung von Kreislaufprozessen erschweren. Beispielsweise müssen grundlegende Veränderungen innerhalb der Branche angestoßen werden. Dabei ist noch offen, mit welchen Produkten und Services die Unternehmen in einer künftigen Kreislaufwirtschaft Geld verdienen können. Wie ist Wertschöpfung organisiert? Welche Technologien werden entwickelt? Solche zentralen Fragen tauchten während der Workshops immer wieder auf. Des Weiteren gibt es Einflüsse, die von außen auf die Branche einwirken. So ist teils noch ungewiss, wie gesellschaftliche Werte künftig das Konsumverhalten beeinflussen. Werden die Kunden beispielsweise bereit sein, für nachhaltige Produkte mehr Geld auszugeben? Entscheidend ist auch, welche ordnungs- und förderpolitischen Maßnahmen in den kommenden Jahren in Kraft treten.

Während der Workshops wurden die Herausforderungen und Hindernisse auf die drei Säulen »ökonomisch«, »ökologisch« und »gesellschaftlich« aufgeteilt und von den Teilnehmern diskutiert.

Die Ergebnisse der Workshops sowie der Online-Umfrage werden im Folgenden aufgeteilt nach den drei Säulen vorgestellt und in Grafiken übersichtlich präsentiert.

Die Workshop-Teilnehmer waren sich einig, dass das Recycling künftig hochwertigere sekundäre Rohstoffe hervorbringen muss. Das ist Voraussetzung dafür, dass Produkte aus Rezyklaten sowie aus primären Rohstoffen (Virgins) gleichwertig sind und letztere ersetzt werden können. Verschiedene Arten von Textilien werden unterschiedliche Recycling-Technologien benötigen. Es ist nach Ansicht der Teilnehmer erstrebenswert, Lösungen zu entwickeln, die skalierbar sind und sich flexibel an möglichst viele textile und nicht-textile Werkstoffe sowie Verbundsysteme anpassen lassen. Die Attraktivität von Rezyklaten lässt sich ferner über den Preis erhöhen. So ließen sich Virgins durch entsprechende ordnungspolitische Maßnahmen verteuern. Umgekehrt ließen sich Rezyklate, die zu nächst noch teurer als marktübliche Neuware sind, durch Subventionen oder Steuervergünstigungen fördern. Auch höhere Kosten für die Entsorgung von Abfällen würden die Wiederverwertung von Alttextilien attraktiver machen. Auf Dauer lasse sich eine Kreislaufwirtschaft aber nur realisieren, wenn die Lieferkette insgesamt wertschöpfend sei.

Darüber hinaus müssen sich nach Ansicht der Expertinnen und Experten bestehende Marktstrukturen grundsätzlich verändern. Dazu gehört insbesondere die Abkehr vom Fast Fashion-Prinzip. Eine Lösung wäre, die Zahl der neuen Kollektionen pro Jahr zu verringern und wieder stärker nach der Saison auszurichten. Damit ließe sich die Menge der Textilabfälle deutlich reduzieren. Der Markt lässt sich in dieser Hinsicht aber nur dann verändern, wenn die Kundschaft ihr Kaufverhalten entsprechend anpasst und auf Fast Fashion verzichtet. Hochwertige und langlebige Kleidung zu güns-

tigen Preisen könnte eine Alternative sein. Eine wichtige Voraussetzung für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft sei es auch, die Lieferketten zu digitalisieren, durchgehend transparent zu machen und einen offenen Datenaustausch zu ermöglichen. Auf diese Weise ließen sich Informationen über die Ströme von Recyclingware und über die Zusammensetzung der Textilien entlang der gesamten Wertschöpfungskette sammeln und teilen. Der Datenaustausch sei die Voraussetzung, um entsprechende Logistikketten zu etablieren. Zudem ließen sich dadurch große Massenströme erreichen, mit denen sich Kreisläufe wirtschaftlich betreiben lassen. Erleichtert würde der Informationsfluss insbesondere auch, wenn man künftig die Transportwege verkürze, so die Fachleute. Dazu beitragen könne unter anderem eine On-Demand-Produktion vor Ort.

Ergebnisse der Online-Befragung

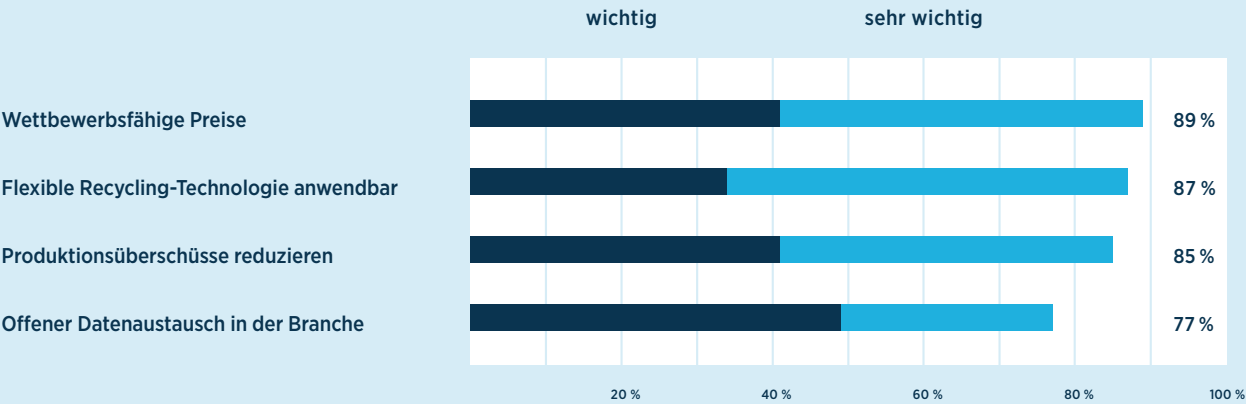
Die Resultate der Online-Befragung bestätigen die Ergebnisse der Workshops. Um die textilen Kreisläufe zu schließen, sind nach Ansicht der befragten Experten wettbewerbsfähige Preise für nachhaltig hergestellte Textilien entscheidend. 89 Prozent der Befragten geben an, dieser Faktor habe einen hohen oder sehr hohen Einfluss. Der Preisunterschied zwischen konventionellen und nachhaltig hergestellten, kreislauffähigen Textilien ließe sich unter anderem dadurch verringern, dass primäre Ausgangsmaterialien wie etwa Virgins und Primärrohstoffe verteuert werden. 66 Prozent der Befragten geben an, dass das einen hohen oder sehr hohen Einfluss auf die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft hätte. Ferner

geben die Befragten an, dass höhere Entsorgungskosten (66 Prozent) und die Subventionierung von recyclingbasiertem Ausgangsmaterial (52 Prozent) einen hohen oder sehr hohen Einfluss hätten. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Online-Befragung machen deutlich, dass sich die Struktur des Marktes grundsätzlich verändern müsse: Die Abkehr vom Fast Fashion-Markt ist für 76 Prozent der Befragten von hoher oder sehr hoher Relevanz. Demnach müssten die Modehersteller und Retailer verstärkt auf Qualitätsprodukte setzen. 74 Prozent der Befragten halten es in diesem Sinne auch für erforderlich, die Zahl der Kollektionen pro Jahr zu verringern. Gerade bei funktionalisierten Textilien habe auch die Langlebigkeit der Funktion einen hohen oder sehr hohen Einfluss, sagen 76 Prozent der Befragten.

Um die Recyclingquote zu erhöhen, sind zwei Dinge besonders wichtig – zum einen bedarf es neuer Recyclingtechnologien, zum anderen muss die gesam-

te Lieferkette transparenter werden. Entsprechend ist die Verfügbarkeit von Recycling-Lösungen, die bei Bedarf auch für nicht-textile Verbundwerkstoffe eingesetzt werden können, von hoher oder sehr hoher Relevanz. Diese Technologien können ihr Potenzial aber nur dann entfalten, wenn entsprechend hohe Massenflüsse erreicht werden. Dafür sind detaillierte Informationen über die Herstellung, die Zusammensetzung und die Nutzung der zu recycelnden textilen Produkte nötig. Einen hohen oder sehr hohen Einfluss hat daher nach Ansicht der Befragten der Datenaustausch sowohl innerhalb der textilen Wertschöpfungskette (77 Prozent) als auch über die Textilindustrie hinaus (73 Prozent) – also insbesondere bei den Abnehmern textiler Erzeugnisse. Darüber hinaus muss die Logistik optimiert werden, um die Materialien dem Recycling zuzuführen und die daraus erzeugten Sekundärrohstoffe wieder in den Produktionszyklus einzuspeisen. Für 57 Prozent der Befragten hat die Logistik eine hohe oder sehr hohe Relevanz.

Ökonomische Kriterien mit dem höchstem Einfluss auf die Schließung textiler Kreisläufe



Um die ökologischen Herausforderungen zu meistern, sind nach Ansicht der Workshop-Teilnehmerinnen und -teilnehmer umfassende Veränderungen auf der technischen und auf der organisatorischen Ebene nötig. Hinzu kommt, dass die Textilunternehmen nicht nur intern Veränderungen durchführen müssen. Auch unternehmensübergreifend müssen Strukturen angepasst werden, so die Fachleute. Es sei wichtig, die Kreislaufwirtschaft bereits in das Design der Textilien einzubeziehen. Dafür müsse sich in der Branche grundsätzlich das Prinzip des »Design for Recycling« durchsetzen. Es sieht unter anderem vor, Produkte so zu gestalten, dass man die Materialien zum Ende der Lebenszeit leichter wiederverwerten kann, indem sie sich zum Beispiel besser voneinander trennen lassen. Das »Design for Recycling« sollte aber nicht nur die Recyclingfähigkeit der Produkte im Blick haben, sondern grundsätzlich dafür sorgen, dass Produkte langlebiger werden.

Insofern sollte auch die Reparaturfähigkeit im Designprozess bedacht werden. Besonders wichtig sei dieser Aspekt bei hochwertigen Produkten wie der Persönlichen Schutzausrüstung für Feuerwehrleute und für Arbeiten in extremen Umgebungen. Was die Produktion neuer Produkte angehe, müsse es langfristig das Ziel sein, den Anteil von Sekundärrohstoffen auf nahezu 100 Prozent zu erhöhen. Das gelingt, indem hochwertige Restmaterialien umfassend zurückgeführt werden. Parallel sollte die Menge von Fasermischungen zugunsten sortenreiner Textilien, soweit möglich, verringert werden. Eine Herausforderung bestehe darin, aus Sekundärrohstoffen Textilien von hoher und vor allem

gleichbleibender Qualität herzustellen. Produktion und Qualität müssen technisch reproduzierbar sein, betonen die Expertinnen und Experten.

Darüber hinaus weisen sie darauf hin, dass das Recycling und die Herstellung von Rezyklaten grundsätzlich nur dann sinnvoll seien, wenn die Ökobilanz deutlich besser als bei der Produktion von Textilien aus Primärrohstoffen ist. Recycling- und Kreislaufsysteme sollten beispielsweise so ausgelegt werden, dass sie weniger Kohlendioxid emittieren oder gänzlich klimaneutral arbeiten. Wünschenswert sei es etwa, durch die Kreislaufprozesse auch die Zahl der Transporte auf dem Weg vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt zu verringern. Ein Hebel wären hier optimierte Sammel- und Sortierverfahren. Auch die verstärkte Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen kann ihren Teil zu einer besseren Ökobilanz beitragen; insbesondere, wenn sie vor Ort produziert werden. Dabei sei darauf zu achten, dass der Anbau von Nutzpflanzen nicht zu Lasten der Nahrungsmittelproduktion geht oder schützenswerte Landflächen zerstört. Zu mehr Nachhaltigkeit trage auch der Verzicht auf **Gefahrgutchemikalien** bei.

Unter **Gefahrgutchemikalien** versteht man Stoffe, von denen eine Gefährdung für Umwelt und Gesundheit ausgeht. Hierzu gehören zum Beispiel Gefahrstoffe oder Chemikalien, welche nach der REACH-Verordnung als besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC, Substance of Very High Concern) gelten.

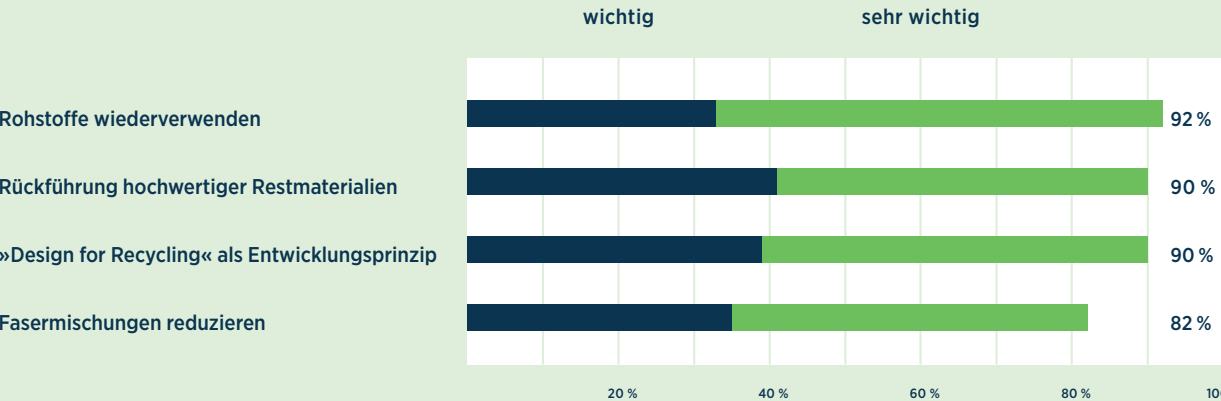
Ergebnisse der Online-Befragung

Auch im Hinblick auf die ökologischen Herausforderungen stimmen die Ergebnisse der Experten-Befragung weitgehend mit den Resultaten der Workshops überein. Für die Mehrheit der Befragten ist ein Paradigmenwechsel beim Design essenziell, um die textilen Kreisläufe zu schließen: Für 90 Prozent hat das künftige »Design for Recycling« einen hohen oder sehr hohen Einfluss. Dabei zeigt die Befragung, welche Aspekte besonders relevant sind. So sind die Erhöhung des Anteils von Sekundärrohstoffen (77 Prozent) und speziell des Anteils biobasierter Sekundärrohstoffe (57 Prozent) sowie die Vermeidung von Gefahrgutchemikalien im Herstellungsprozess (57 Prozent) von hoher oder sehr hoher Bedeutung. Darüber hinaus halten es die Befragten für wichtig, künftig auf Fasermischungen zu verzichten und stattdessen sortenreine Textilien herzustellen. Für 82 Prozent ist dies von hoher oder sehr hoher Relevanz. Deutlich wurde auch, dass der Designprozess künftig den gesamten Lebenszyklus des Produktes einbeziehen muss. Dabei ist es für

70 Prozent der Befragten von hoher oder sehr hoher Bedeutung, Ökobilanzen zu etablieren. Für solche Ökobilanzen sind nach Ansicht von 67 Prozent der Befragten eine erhöhte Transparenz entlang der Lieferkette und umweltfreundliche Wasch- und Reinigungsverfahren (52 Prozent) in der Nutzungsphase nötig.

Mit Ökobilanzen allein lässt sich aber noch keine Kreislaufwirtschaft verwirklichen. Für die Expertinnen und Experten ist es daher essenziell, dass Rohstoffe tatsächlich wiederverwertet werden (92 Prozent) und dass insbesondere hochwertige Restmaterialien (90 Prozent) zurückgeführt werden. Dass auch minderwertige Restmaterialien zurückgeführt werden, ist für 54 Prozent der Befragten von hoher oder sehr hoher Relevanz. Damit wird das Potenzial speziell von Upcycling-Ansätzen deutlich. Selbstverständlich müssen Sammel- und Sortiersysteme für die unterschiedlichen Textilklassen bereitgestellt werden. Für 78 Prozent der Befragten ist es wichtig, diese Systeme künftig in internationalen Normen zu vereinheitlichen.

Ökologische Kriterien mit dem höchstem Einfluss auf die Schließung textiler Kreisläufe



Eine Kreislaufwirtschaft kann sich nur dann etablieren, wenn sich das Verbraucher-Verhalten ändert, davon sind die Fachleute überzeugt. Dazu müssen die Konsumentinnen und Konsumenten stärker als bisher für ökologische Belange sensibilisiert werden. Zunächst müsse sich das Bewusstsein durchsetzen, dass es sinnvoll sei, beim Kauf nach nachhaltigen Produkten zu greifen. Verbraucherinnen und Verbraucher dürften sich von nachhaltiger Kleidung vor allem dann überzeugen lassen, wenn sie haltbar ist oder gar bessere Funktionen aufweist als herkömmliche Textilien.

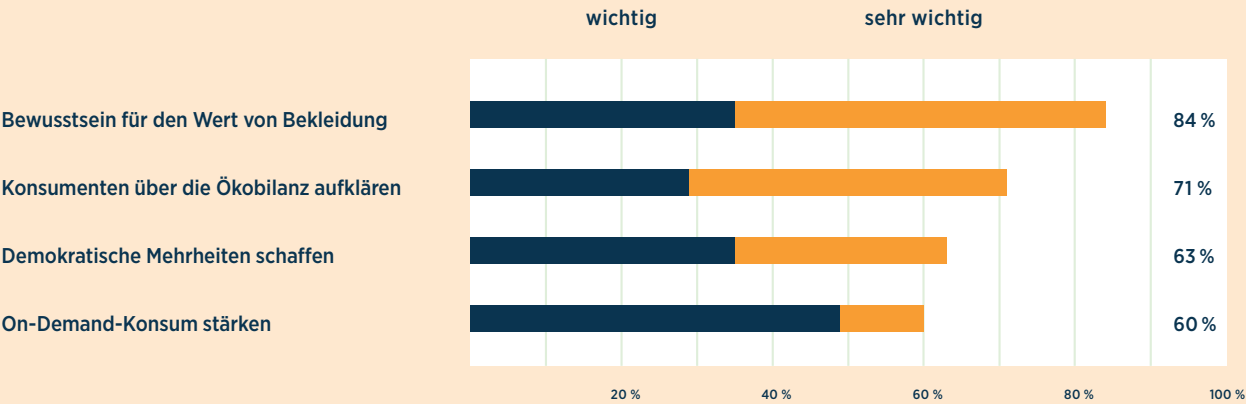
Um eine ökonomische Kreislaufwirtschaft realisieren zu können, müssten Kundinnen und Kunden darüber hinaus künftig auch stärker spezielle Pflegehinweise beachten und gewissenhaft an den verschiedenen Rückführsystemen teilnehmen. Nur dann werden Sekundärrohstoffe tatsächlich zu annähernd 100 Prozent wiederverwertet werden können. Damit die Bevölkerung mitmacht, bedarf es umfangreicher Aufklärung. Aufklärung sei ferner wichtig, um demokratische Mehrheiten zu erlangen, die dann die nötigen politischen Instrumente für eine künftige Kreislaufwirtschaft durchsetzen.

Konsens im Expertenkreis ist, dass die nachhaltige Kreislaufwirtschaft auch die Menschen in jenen Ländern im Blick haben müsse, in denen die Textilien produziert werden. So müssten die Arbeitsbedingungen verbessert werden. Eine Voraussetzung dafür sei es, dass sich die verschiedenen Interessenvertreter stärker miteinander vernetzen und austauschen, um Probleme zu identifizieren und gemeinsam Lösungen zu finden. Höhere Löhne ließen sich beispielsweise erreichen, indem verstärkt höherwertige, haltbare Kleidung produziert werde. Mit dieser ließen sich höhere Verkaufspreise erzielen. Darüber hinaus müsse die künftige Kreislaufwirtschaft bei der Verarbeitung von Rezyklaten und der Produktion von Textilien gesundheitsgefährdende Substanzen deutlich reduzieren, um die Gesundheit der Arbeiterinnen und Arbeiter zu schützen.

Ergebnisse der Online-Befragung

Dass ein Bewusstseinswandel in der Gesellschaft eine der wichtigsten Voraussetzungen für die künftige Kreislaufwirtschaft ist, ist im Expertenkreis unbestritten. Dass die Konsumentinnen und Konsumenten ein stärkeres Bewusstsein für den ökonomischen und ökologischen Wert speziell von Bekleidungstextilien entwickeln, hat für 84 Prozent einen hohen oder sehr hohen Einfluss. In dieser Hinsicht halten es 71 Prozent der Befragten für relevant, gezielt über die Ökobilanz verschiedener textiler Produkte aufzuklären. Perspektivisch messen 60 Prozent der Befragten einem erhöhten individualisierten On-Demand-Konsum im Textilsektor eine hohe oder sehr hohe Bedeutung bei. Darüber hinaus lässt sich die Kreislaufwirtschaft stärken, wenn entsprechende politische Maßnahmen umgesetzt werden. 63 Prozent der Befragten sehen es als sehr relevant an, dafür demokratische Mehrheiten zu schaffen.

Gesellschaftliche Kriterien mit dem höchstem Einfluss auf die Schließung textiler Kreisläufe



Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette

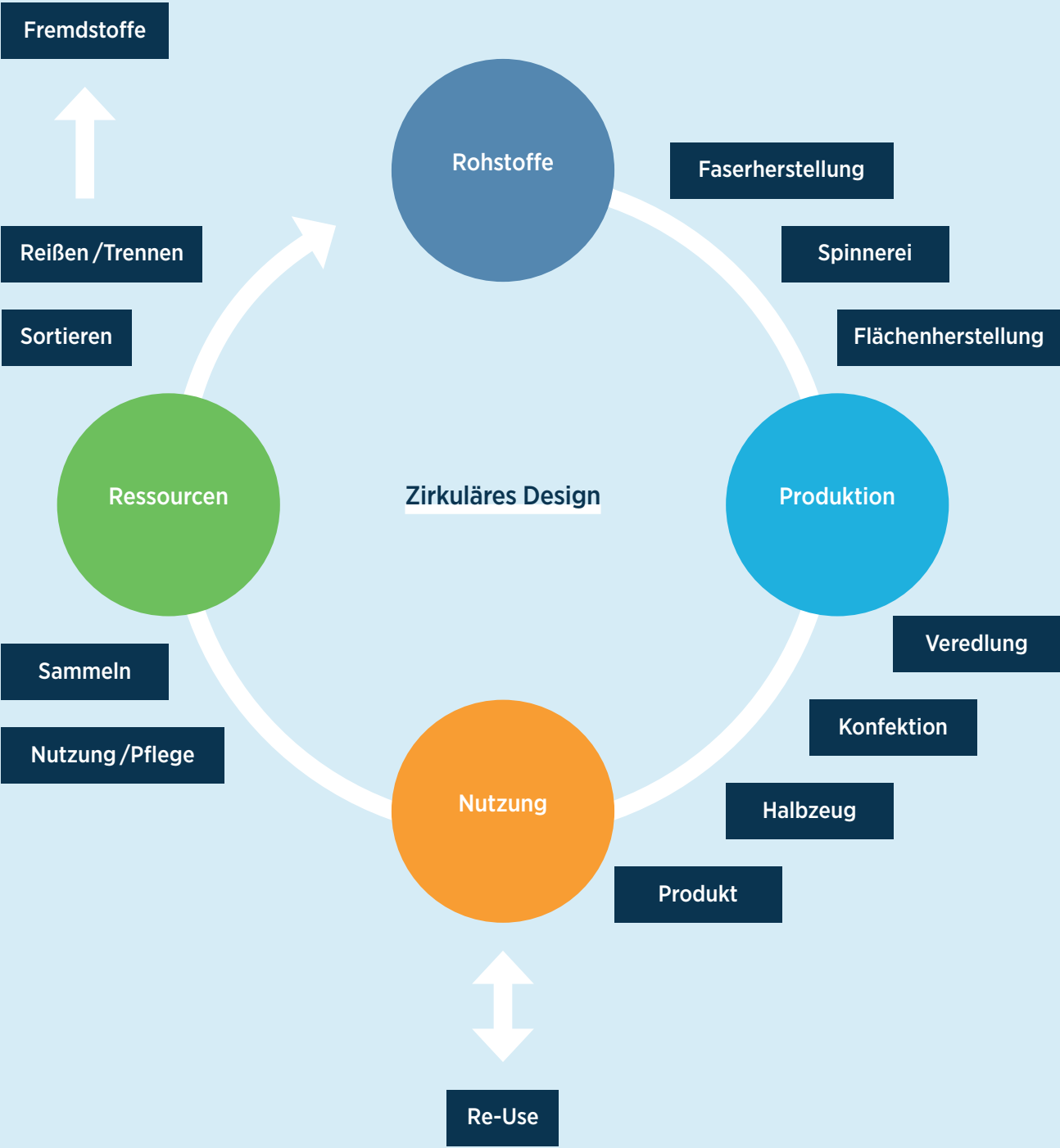
Um künftig eine vollständige Kreislaufwirtschaft für Textilien zu realisieren, muss zunächst die gesamte Prozesskette analysiert werden. Sicher ist, dass auf allen Ebenen dieser Wertschöpfungskette Veränderungen stattfinden müssen und dass dafür neue technische Lösungen nötig sind. Im Folgenden werden die Herausforderungen und Probleme nach Wertschöpfungsstufen geordnet aufgeführt. Dargestellt werden auch ausgewählte Ergebnisse der Expertenbefragung. Diese sind blau unterlegt.

Wertschöpfungsstufen

Die Produktion von Textilien ist ein komplexer Vorgang, der sich über viele Wertschöpfungsstufen von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum fertigen Produkt erstreckt. Eine Kreislaufwirtschaft lässt sich nur verwirklichen, wenn all diese Wertschöpfungsstufen berücksichtigt werden. Das ist möglich, wenn man schon beim Design eines Produktes das Lebensende und die Wiederverwertung mit bedenkt. Dieses »Design for Recycling« ist das zentrale Element künftiger zirkulärer Systeme.

Wertschöpfungskette

Herausforderungen



Zirkuläres Design

Konsens im Workshop war, dass das Design von Produkten eine entscheidende Rolle bei der Transformation hin zu einer textilen Kreislaufwirtschaft spielt. Im Designprozess werden letztlich die zentralen Entscheidungen getroffen, von denen abhängt, ob sich ein Produkt für den textilen Kreislauf eignet und vollständig wiederverwertet werden kann. Dabei müssen vor allem die Recyclingeigenschaften eines Materials berücksichtigt werden. Noch aber steht die Branche vor einem Henne-Ei-Problem: Wie kann man etwas recyclinggerecht gestalten, wenn man noch keine genaue Kenntnis über den Recyclingprozess hat? Diese Frage muss beantwortet werden, ehe man neue Technologien für die Kreislaufwirtschaft auf den Weg bringen kann.

Die größte Herausforderung ist für 90 Prozent der Befragten, dass das Prinzip »Design for Recycling« nicht ausreichend umgesetzt wird. Insbesondere Halbzeughersteller können diesen Paradigmenwechsel nur gemeinsam mit den Abnehmern ihrer Erzeugnisse meistern. Auch deshalb geben 84 Prozent der Befragten an, dass die mangelnde Vernetzung und Zusammenarbeit entlang der textilen Wertschöpfungskette eine relevante Herausforderung ist.

Beim Thema Design hatten die Workshop-Teilnehmerinnen und Teilnehmer insbesondere Textilien für Bekleidung im Blick. Sie waren sich darin einig, dass es derzeit zu viele Kollektionen mit zu vielen unterschiedlichen Materialien gibt. Ausstattungen wie Reißverschlüsse erschweren die Wiederverwertung zusätzlich. Hinzu kommt, dass Textil und Garn häufig aus verschiedenen Rohstoffen bestehen. Der Verzicht auf einen Materialmix würde dieses Problem entschärfen. Es gab allerdings auch Hinweise, dass die Funktion potenzieller Single-Material-Produkte erhalten bleiben muss. Jeans ohne Lycra-Beimischung etwa wären weniger dehnbar und damit unbequemer. Auch das muss beim Design berücksichtigt werden.

Nach Ansicht der Workshop-Teilnehmerinnen und Teilnehmer müssen in den nächsten Jahren geeignete Materialkombinationen entwickelt werden. Hier sei vor allem die Kooperation mit den Textilforschungsinstituten wichtig, da diese über das entsprechende Fachwissen verfügen.

Neue Rohstoffe, eine neue Auswahl recyclingfähiger beziehungsweise biologisch abbaubarer Materialien sowie Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen müssten stärker erforscht werden. Die Komplexität des Themas setzt unterstützende Drittmittel voraus, damit Unternehmen in der Lage sind, sich diesem ausgiebig zu widmen. Ein Engagement bei der Erforschung recyclingfähiger Materialien böte die Chance, solche erfolgreich einwerben zu können.

Die Fachleute sehen ferner die Maschinenhersteller in Sachen Technik als Schrittmacher der Textilbranche. Diese hätten eine besondere Kompetenz, Verfahren zum Recycling komplexer Materialmischungen und Verbünde von der Forschung in die industrielle Anwendung zu bringen. Gefragt seien unter anderem Lösungen, mit denen auch qualitativ minderwertige Rezyklate zu hochwertigen Produkten verarbeitet werden können.

Das Design sollte darüber hinaus künftig stärker auf Materialien setzen, mit denen sich reparaturfähige Textilien herstellen lassen. Auch Garn- und Flächenhersteller können dazu beitragen, die Lebenszyklen zu verlängern und die Recyclingfähigkeit textiler Systeme zu steigern; etwa indem sie die Fasern und deren Oberflächeneigenschaften gezielt optimieren.

Eine entscheidende Voraussetzung für das künftige »Design for Recycling« ist die Weiterbildung im Design-Bereich. Um ein Design für das Upcycling umsetzen zu können, braucht es Wissen über Design for Recycling-Technologien, über die Kreislauffähigkeit von Fasern und Materialien und über Schnittstellen zwischen den verschiedenen Wertschöpfungsstufen. Designer müssen die Komplexität von Produkten, Materialkombinationen und Funktionalitäten kennen und beim Design verstärkt auf die Digitalisierung setzen. Mit der Entwicklung technischer Lösungen muss in den kommenden Jahren die Aus- und Fortbildung von Fachkräften einhergehen. Nur dann kann die Kreislaufwirtschaft funktionieren.

Faserherstellung

Für 63 Prozent der Befragten sind die fehlenden Verfahren zur Verarbeitung von Sekundärrohstoffen eine Herausforderung mit großem Einfluss auf die gesamte Produktionskette in der Textil- und Bekleidungsindustrie.

Die Faserherstellung stellt nach Ansicht der Expertinnen und Experten vor allem deshalb eine Herausforderung dar, weil sie sich zu einem großen Teil der Kontrolle durch deutsche Unternehmen entzieht. Der Grund: Viele Fasern werden im außereuropäischen Ausland hergestellt. Daraus ergibt sich außerdem das Problem, dass nur selten alle relevanten Informationen über Recyclingeigenschaften der Fasern und Fasermischungen vorliegen.

Das Recycling wird zusätzlich durch Mischungen aus Naturfasern und synthetischen Fasern erschwert. Zwar gibt es bereits heute technische Möglichkeiten, um bestimmte Fasermischungen zu trennen, jedoch stecken diese Technologien noch oft in den Kinderschuhen. Andere sind noch nicht im großen Maßstab verfügbar oder bringen in der ökologischen Gesamtbilanz andere Herausforderungen mit sich. So kann der Energieverbrauch noch zu hoch oder die Produktausbeute zu gering sein.

Für 61 Prozent der Befragten ist die mangelnde Zusammenarbeit und Vernetzung mit Rohstoffherzeugern und Landwirten eine wesentliche Herausforderung.

Hinzu kommen weitere Stolpersteine, die sich aus dem Ausgangsmaterial der Fasern ergeben:

Naturfasern

Will man künftig rundum nachhaltige Stoffkreisläufe realisieren, dann müssen vor allem auch beim Anbau der nachwachsenden Rohstoffe hohe Umweltstandards eingehalten werden – etwa was den Einsatz von Pestiziden oder den Wasserverbrauch angeht. Da die Fasern oft im außereuropäischen Ausland angebaut werden, ist die Kontrolle jedoch schwierig. Hier muss verhindert werden, dass es zu einem Greenwashing kommt. Ein weiteres Problem besteht darin, dass Naturfasern chemisch veredelt werden müssen – unter anderem wegen ihrer hydrophilen Eigenschaften. Das kann das Recycling der Fasern erschweren. Das gilt nicht nur für den textilen Werkstoff selbst, sondern insbesondere auch für die Beschichtung, die sogenannte Ausrüstung der Textilien. Vorhänge für den Heimbedarf müssen nicht unbedingt mit Flammschutz ausgestattet werden, solche für Flugzeuge sehr wohl.

Ein nachhaltiger Kreislauf erfordert natürlich, dass umweltfreundliche Chemikalien zum Einsatz kommen. Auch für diese Anwendungen und Ausrüstungen gilt es, Alternativen für bisher eingesetzte Stoffe zu finden. Bedacht werden muss auch, dass recycelte Fasern nachhaltiger sein können als Naturfasern, weil sie den Bedarf an Neuware deutlich verringern können.

Synthetische Fasern

Kunststoffe können altern, wenn sie mehrfach eingeschmolzen und wieder zu Fasern versponnen werden. Die Spinnbarkeit von Rezyklaten ist also endlich – insbesondere, wenn die Rezyklate verunreinigt sind. Stellt man also aus recycelten Ausgangsmaterialien neue Fasern her, kann es passieren, dass das daraus erzeugte Produkt nicht mehr in den Kreislauf zurückgeführt werden kann. Insofern stellt sich die Frage, wie man textile Kreisläufe künftig schließen kann, wenn die Fasern das Ende der Wiederverwendbarkeit erreicht haben. Bedacht werden muss künftig auch, dass aus Sekundärrohstoffen gewonnene Fasern nicht per se recyclingfähig sind. Hier bedarf es neuer Materialkonzepte. Geschlossene Kreisläufe bieten aber auch die Chance, dass sich das Image der Chemiefaser verbessert, da die petrochemisch erzeugten Rohstoffe dann mehrfach genutzt werden. Und wenn es dann noch gelingt, diese künftig durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen, dürfte sich das Image weiter verbessern. Da synthetische Fasern auch in den kommenden Jahrzehnten der dominierende Fasertyp sein werden, sind diese Aspekte besonders wichtig.

Fasern werden heute zu einem großen Teil außerhalb von Europa und unter schlechten Produktionsbedingungen hergestellt. Für 57 Prozent der Befragten ist das eine große Herausforderung beim Übergang in die Kreislaufwirtschaft.

Spinnerei

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen stellt im Spinnprozess bestehende Technologien vor eine Herausforderung: So muss die Spinnbarkeit von Rezyklatfasern gegeben sein. Insbesondere beim Ringspinnen erschwert der Einsatz mechanischer Recyclingverfahren die Verwendung von Recyclingfasern. Da das mechanische Recycling an Grenzen stößt, empfehlen Fachleute, verstärkt auf Verfahren des chemischen Recyclings zu setzen, um künftig Rezyklate von besserer Qualität herstellen zu können. Denkbar ist auch der Einsatz alternativer Methoden, mit denen sich Komponenten aus verschiedenen Materialien voneinander lösen lassen. Eine Herausforderung bleiben Rezyklate aus Wollfasern, die bislang qualitativ minderwertiger als Virgin-Wool sind. Insofern sei es nötig, auch Spinnverfahren weiterzuentwickeln.

Wenn Rezyklatfasern in die textile Herstellungskette eingespeist werden sollen, braucht es dafür einen Markt. 72 Prozent der Befragten sehen in der notwendigen Verteilung zwischen Anbietern und Abnehmern von Rezyklaten eine große Herausforderung.

Da Garne zum großen Teil in außereuropäischen Ländern gesponnen werden, ist es schwierig, Spinnprozesse zu kontrollieren. Das wird anfangs aber nötig sein, wenn man auf Fasern aus Rezyklaten umsteigt. Auch eine bessere Rückverfolgbarkeit der Chargen kann dazu beitragen, hochwertige Rezyklate mit reproduzierbaren Eigenschaften herzustellen. Für die verarbeitende Industrie in Europa gibt es bislang indes kaum Anreize, das Spinnen in Richtung Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln, weil die Spinnkapazitäten zum großen Teil im

außereuropäischen Ausland liegen. Insofern könne es sinnvoll sein, in Europa neue Kapazitäten für das Spinnen von Rezyklatfasern aufzubauen, so die Expertinnen und Experten. Es sei wenig sinnvoll, Alttextilien in Europa einzusammeln, zum Spinnen zu exportieren, um dann die gesponnene Ware und Flächentextilien wieder zu importieren.

Dass eine solche Fertigung von Rezyklatfasern und -garnen auch in Europa möglich ist, zeigt die Firma Gebrüder Otto aus Dietenheim. Mit ihrem Projekt Recot2 verfolgt sie das Ziel, die Ökobilanz von Baumwolltextilien zu verbessern. Hierzu werden recycelte Baumwollfasern aus aufbereiteten Produktionsabfällen gewonnen. Die Abfälle bestehen zum Beispiel aus Fadenresten, die in der Spinnerei entstehen, und aus Verschnittkanten, die beim Stricken und Weben der Textilien anfallen. Darüber hinaus hat das Unternehmen ein neues Spinnverfahren entwickelt, mit dem aus 75 Prozent Bio-Baumwolle und 25 Prozent recycelter Baumwolle das recot2-Garn hergestellt werden kann. Ein Kilogramm recot2-Textilien spart gegenüber herkömmlichen Textilien etwa 5000 Liter virtuelles Wasser ein. Je nach Mischverhältnis zwischen recycelten und herkömmlichen Baumwollanteilen verbrauchen recot2-Textilien zudem 10 bis 20 Prozent weniger Energie gegenüber klassischen Textilien. Zudem werden Rohstoffe und Chemikalien eingespart.

Der Begriff »virtuelles Wasser« beschreibt, welche Menge Wasser zur Herstellung eines Produktes – egal ob industriell oder landwirtschaftlich – verbraucht wurde.

Flächenherstellung

Für alle Flächenherstellungsverfahren gilt, dass sich gegenwärtig produktionsbedingte Abfälle — wie der **Kettabfall** beim Weben — nicht vermeiden lassen. Hier bedarf es neuer Verfahren. Eine Kreislaufwirtschaft wird bislang auch dadurch erschwert, dass heute vielfach Materialmischungen verarbeitet werden; beispielsweise elastische Waren. Insgesamt braucht es Neukonstruktionen von mehrlagigen Geweben, die sich gut recyceln lassen.

Gewebte Textilien entstehen, indem man zwei Fadentypen, den Kett- und den Schussfaden, miteinander verwebt. Nach Fertigstellung des Textils verbleiben Fadenreste in der Maschine. Diese werden als Kettabfall bezeichnet.

Wirkerei und Strickerei

Mit Wirk- und Strickverfahren werden oft feine Textilien verarbeitet. Insofern ist es eine Herausforderung, Reparaturfähigkeit zu gewährleisten. Noch ist offen, wie das im Wirk- und Strickprozess umgesetzt werden kann.

Flechtere

Im Workshop kam auch zur Sprache, dass die Preise von Recycling-Garnen derzeit noch deutlich zu hoch sind. Vor allem auch, weil der Markt es kaum erlaubt, die höheren Kosten auf die geflochtene Ware aufzuschlagen und höhere Verkaufspreise anzusetzen. Erschwerend komme hinzu, dass neue Garne für die Flechtere grundsätzlich eher langsamer entwickelt werden, als bei anderen Flächenherstellungsverfahren. Daher kommen recycling-basierte Garne mit attraktiven Eigenschaften und niedrigeren Preisen eher schleppend auf den Markt.

Weberei

Für die Weberei sind Garne erforderlich, die besonders reißfest sind. Recycling-Garne, die aus Fasern bestehen, welche durch Reißen aus Alttextilien gewonnen wurden, erfüllen diese Anforderung bislang nicht wirklich. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Weberei Garnreste produziert — den Kettabfall. Für diesen müssen zunächst noch Lösungen gefunden werden, um ihn hochwertig wiederzuverwerten. Wie bei der Flechtere erschweren derzeit die hohen Preise der Rezyklate den Umstieg auf Recycling-Garne. Zudem kommen neue Garne auch hier eher langsam auf den Markt.

Gelege

Carbonfasern werden heute besonders häufig zu Gelegen verarbeitet. Bislang ist das Recycling noch eine Herausforderung — insbesondere der Verschnittreste, die bei der Produktion anfallen. Um Gelege künftig in textilen Kreisläufen wiederzuverwerten zu können, bedarf es alternativer Stoffe zu herkömmlichem Carbon. So ist es möglich, grünes Carbon aus Algen, Bioglycerin und Lignin zu erzeugen.

Vliesstoffe

Vliesstoffe können bereits heute sehr gut aus recycelten Fasern hergestellt werden. Die Herausforderung besteht darin, die vielen Einweg-Produkte im Vliesstoffbereich — etwa Hygieneprodukte — im Sinne einer Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln.

Veredlung

Um die Eigenschaften von textilen Stoffen, Garnen und Fasern zu optimieren, werden diese in unterschiedlicher Weise veredelt. Häufig spricht man statt von Veredlung auch von Ausrüstung. Dazu gehören das Färben, die Beschichtung sowie die sogenannte Appretur, mit der man Garnen und Fasern noch zusätzliche Eigenschaften wie etwa Glanz oder Geschmeidigkeit verleiht. Textilien können entweder chemisch, mechanisch oder durch eine Kombination dieser beiden Methoden veredelt werden. Textilveredler nutzen dabei Chemikalien, die in die Fasern eindringen oder Beschichtungen, die auf diese aufgebracht werden. Beides stellt für Recyclingprozesse eine besondere Herausforderung dar, weil die Qualität der Rezyklate durch die Veredlung gemindert wird. Denn nicht immer sind die verwendeten Chemikalien recycelbar. Auch lassen sich die Beschichtungen nicht ohne weiteres wieder von den Fasern trennen. Ein Beispiel ist gefärbte Kleidung aus reiner Wolle. Reine Wolle ist kompostierbar, gefärbte Wolle hingegen meist nicht. Insgesamt erschwert die Veredlung das Recycling bislang. Eine Alternative wären Veredlungen, die sich zum Ende des Lebenszyklus wieder vom Textil lösen lassen (trennbares Veredeln). Vielversprechend sind auch Kleidungsstücke, deren farbige Aufdrucke kompostierbar sind. Erste Textilien dieser Art sind bereits auf dem Markt.

Fehlende Alternativen zu schädlichen Chemikalien sind laut 63 Prozent der Befragten eine erhebliche Herausforderung für die Branche. Vor allem für die Veredlung ist das ein Problem.

Färben und Drucken

Textilien werden aus vielerlei Gründen gefärbt und bedruckt — nicht nur wegen der Ästhetik, sondern auch für mehr Sicherheit, etwa bei der Persönlichen Schutzausrüstung. Dafür werden beispielsweise Reflexstreifen aufgebracht. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, das geltende Sicherheitsnormen erfüllt werden. Die Frage der Rezyklierbarkeit war dabei bis heute eher zweitrangig. Insofern ist es schwierig, aus gefärbten oder bedruckten Textilien hochwertige Rezyklate herzustellen. Wie erwähnt, werden Recyclingprozesse gestört oder die Qualität der Rezyklate gemindert. Eine weitere Herausforderung für die Veredlungsbranche besteht darin, dass bestimmte Chemikalien im Zuge der REACH-Verordnung verboten werden. Damit müssen neue nachhaltige Rezepturen entwickelt werden.

Beschichten

Ähnlich wie beim Färben und Drucken lassen sich Beschichtungen heute nur bedingt von Textilien abtrennen. Ein Beispiel sind Embleme oder Reflexstreifen, die fest mit dem Textil verbunden werden. Oftmals ist der Materialmix gar nicht trennbar. Für ein geschlossenes Kreislaufsystem müssen künftig Beschichtungen entwickelt werden, die einfach wieder zu entfernen sind.

Ausrüsten durch Nassappretur

Viele Textilien werden veredelt, indem man die Substanzen in Bädern, durch Walken oder auch durch Sprühen auf die Fasern und das Garn aufbringt. Dazu gehören Substanzen die antibakteriell oder flammenhemmend wirken. Diese Veredlungsmethode wird als Nassappretur bezeichnet. Wirtschaftliche Recyclingverfahren für derart veredelte Textilien gibt es bislang nicht. Alternative Substanzen, die sich recyceln oder vor dem Recycling vom Textil abtrennen lassen, müssen zunächst noch entwickelt werden. Dabei ist zu beachten, dass die alternativen Materialien strenge Industrienormen im Hinblick auf Gesundheit oder Sicherheit erfüllen müssen. Für die Nassappretur wird in der Textilbranche oftmals der Begriff »Ausrüstung« synonym verwendet. Entsprechend bezieht sich der Begriff Ausrüstung auch auf den folgenden Seiten auf die Nassappretur.

Konsolidieren

Bei der Konsolidierung gibt es, was das Recycling angeht, einen Zielkonflikt: Faserverbundwerkstoffe sind leicht und helfen Material einzusparen — etwa beim Carbonbeton. Das verbessert die Ökobilanz. Andererseits lassen sich Faserverbünde nur schwer entfügen. Das macht es schwierig, zirkuläre Systeme aufzubauen. Benötigt werden ganz neue Trennverfahren, an die auch die Verbundkomponenten künftig entsprechend angepasst werden müssten.

Konfektion

Auch im Bereich der Konfektion sind heute noch einige Herausforderungen zu überwinden, die einer Kreislaufwirtschaft im Wege stehen. Während der Produktion etwa geht durch Verschnitt viel Material verloren. Auch auf der Seite der Käuferinnen und Käufer fallen größere Mengen an Textilabfall an. Das Problem: Die Passform von Kleidungsstücken variiert heute zwischen verschiedenen Anbietern und sogar innerhalb einer Marke so stark, dass die Kleidung oftmals nicht richtig sitzt. Vielfach ist sie nur bedingt an den tatsächlichen Körpermaßen der Kundinnen und Kunden ausgerichtet. Das führt zu Über- und Fehlproduktion und dem Verlust von Material, weil von Verbraucherseite nach kurzer Nutzung ein Entsorgung erfolgt. Hier gibt es noch erheblichen Verbesserungsbedarf. Da die Konfektion gewissermaßen die direkte Schnittstelle zu den Kundinnen und Kunden ist, besteht die Chance, künftig etwa durch On-Demand-Produktion stärker auf die Kundenwünsche einzugehen und Kleidung wieder stärker individuell anzupassen. Bislang werden diese Potenziale kaum genutzt.

Halbzeuge

Herausfordernd ist es nach Ansicht der Workshop-Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch, die Fertigung von Halbzeugen im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft zu optimieren. Grundsätzlich haben deren Hersteller kaum einen Einfluss darauf, für welches Endprodukt das Halbzeug eingesetzt wird. Insofern können sie auch nicht beeinflussen, wo und in welchem Maße Textilabfälle entstehen. Dafür sind die Halbzeughersteller zu weit von den Endanwendern entfernt.

Nutzung und Pflege

Rohstoffe lassen sich in großen Mengen einsparen, wenn Produkte langlebiger sind und länger genutzt werden können. Wann ein Textil das Ende seines Lebenszyklus’ erreicht, hängt aber nicht nur vom Design und der Produktion ab, sondern auch davon, wie es genutzt und gepflegt wurde. Insofern spielt das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer auf dieser Ebene des Stoffkreislaufs eine entscheidende Rolle. Das beginnt bereits beim Kauf. Wichtig ist es künftig, der Kundschaft die Entscheidung zwischen nachhaltigen und weniger nachhaltigen Produkten zu erleichtern. Insofern muss auch deutlich erkennbar sein, ob ein Produkt recyclingfähig ist oder nicht. Produkte müssen klar und verlässlich deklariert sein. Wichtig ist es auch, für eine einheitliche Deklaration mit Wiedererkennungswert zu sorgen. Der Textilindustrie komme hier die Aufgabe zu, die Konsumenten-Seite entsprechend aufzuklären, so ein weiteres Workshop-Fazit. Dazu zähle auch, über die erforderliche Zahl an Waschzyklen, über textilschonende Waschverfahren und über chemische, mechanische und thermische Einflussfaktoren zu informieren.

84 Prozent der Befragten halten das fehlende Bewusstsein der Kunden für den Zusammenhang zwischen nachhaltigen Textilien und den damit verbundenen höheren Preisen für eine zentrale Herausforderung.

Die Lebenszeit eines Produktes lässt sich ferner durch Reparaturen verlängern. Hier bietet sich die Möglichkeit, neue Geschäftsmodelle aufzubauen. Auch das Vermieten von Textilien wäre ein solches nachhaltiges Geschäftsmodell. Darüber hinaus kann die Textilindustrie zur Langlebigkeit von Produkten beitragen, indem sie diese unempfindlich gegenüber Wasser, Bleich- und Desinfektionsmitteln macht.

Re-Use

Eine weitere Herausforderung stellt die Frage dar, wie und unter welchen Umständen künftig eine Wiederverwendung von Textilien durch den Second-hand-Verkauf (Re-Use) möglich ist.

Recycling

Das Recycling spielt bei der Transformation der Textilindustrie in eine zirkuläre Wirtschaft eine entscheidende Rolle. Recycling wird immer dann relevant, wenn der Lebenszyklus eines Produktes endet und das Textil nicht durch Re-Use wiederverwendet werden kann. Je nach Art des Produktes und des Materials sind unterschiedliche Herausforderungen zu meistern.

68 Prozent der Befragten halten die mangelnde Kennzeichnung von Materialien und Komponenten textiler Erzeugnisse für eine relevante Herausforderung.

Sammeln

Damit man gebrauchte Textilien recyceln kann, müssen diese zunächst zurückgeführt werden. Dies stellt insofern eine Herausforderung dar, als eine Sammelinfrastruktur und -logistik für die meisten Erzeugnisse heute noch fehlen.

Eine geeignete Recyclinglogistik und Sammelinfrastruktur halten 86 Prozent der Befragten für eine zentrale Herausforderung; Platz 2 in dieser Befragung.

Für 80 Prozent zählen dazu auch geeignete Logistiksysteme für die Rücknahme von Waren zum Ende ihres Lebenszyklus'. Laut Befragung ist dabei die heute noch unzureichende Zusammenarbeit und Vernetzung mit den Abnehmern textiler Abfälle, wie zum Beispiel Recyclingunternehmen, eine große Herausforderung.

Künftig müssen Textilien zudem so eingesammelt werden, dass Verunreinigungen vermieden werden, wie sie heute bei den etablierten Alttextilcontainern vorkommen. Auch müssen die Nutzer darüber informiert werden, dass es nachhaltig ist, alle Textilien wieder zurückzugeben, nicht nur gebrauchte Bekleidung, sondern auch die alte Markise oder den ausrangierten Teppich. Die Entwicklung neuer attraktiver Sammelsysteme wäre dafür nötig. Im Zuge einer Aufklärung zum richtigen Sammeln der Textilien wäre es sinnvoll, deren Inhaltsstoffe klarer zu kennzeichnen, damit Verbraucherinnen und Verbraucher sie schneller den richtigen Abfallströmen zuordnen können. Ein Hauptproblem der Sammlung besteht heute darin, dass sie sich für viele

Erzeugnisse und Materialien nicht rechnet. Dazu tragen auch die Transportwege bei. Sammelsysteme werden sich künftig also nur dann etablieren, wenn sie wirtschaftlich arbeiten und die Recyclingprodukte entsprechend hochwertig sind. Derzeit ist oftmals noch das Verbrennen die wirtschaftlichste Art der Verwertung. Außerhalb der textilen Wertschöpfungskette sind vor allem IT-Experten und Softwarehersteller gefragt, um Werkzeuge zu entwickeln, mit denen sich relevante Daten über die verwendeten Materialien erfassen lassen. Diese Daten sollten über die gesamte Wertschöpfungskette nahtlos zur Verfügung stehen, um Alttextilien vollständig erfassen und gezielt wiederverwerten zu können.

Sortieren

Beim Sortieren besteht die Herausforderung darin, verschiedene Materialien und Komponenten zu identifizieren und voneinander zu trennen. Dafür müssen zunächst noch verlässliche Verfahren für die Kennzeichnung der Textilien entwickelt werden, die Informationen über die verwendeten Rohstoffe und Hilfsstoffe liefern. Wichtig ist es auch, das Sortieren zu automatisieren, um hohe Massenströme zu erreichen, die wirtschaftlich sind. Die Fachleute schlagen vor, auch in anderen Branchen nach Sortier- und Trenntechnologien zu suchen und diese für Textilien zu adaptieren.

Für 77 Prozent der Befragten ist es eine relevante Herausforderung, so große Stoffströme und kritische Massen zu erreichen, dass Recyclingverfahren wirtschaftlich werden.

Reißen und Trennen

Mechanisch

Aus bestimmten Textilien werden heute die Fasern durch das Reißen mechanisch herausgelöst. Da die Fasern dabei kürzer werden, als sie es ursprünglich waren, verringert das jedoch ihre Qualität. Das macht es schwierig, daraus hochwertige Rezyklate zu gewinnen und so haben auch die Garne schlechtere Eigenschaften. Dadurch kann sich etwa die Lebensdauer des neuen Textils verringern. Die Mischung mit Neumaterial kann hier eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative sein.

Auch lassen sich durch das Reißen Materialmischungen kaum voneinander trennen. Probleme bereiten ferner Applikationen, Knöpfe und Reißverschlüsse. Diese können die Maschinen blockieren oder beschädigen. Sofern die Applikationen mit zerkleinert werden, kann es schwierig werden, sie nach dem Reißen von den textilen Bestandteilen abzutrennen. Während sich Metall noch relativ einfach aussortieren ließe, gestaltet sich das bei Plastik oder Gummi schwieriger. Ähnlich schwierig ist die Verarbeitung von Verbundstoffen.

Chemisch

Chemische Verfahren sind gut geeignet, um hochwertige Rezyklate herzustellen. Dabei werden insbesondere Kunststofffasern chemisch in ihre Bestandteile zerlegt und daraus anschließend neue Kunststoffe gewonnen.

Dass es an Recyclingtechnologien im industriellen Maßstab fehlt, halten 85 Prozent der Befragten für eine große Herausforderung auf dem Weg in eine Kreislaufwirtschaft.

Es lassen sich aber auch verschiedene Stoffe voneinander trennen. So lassen sich Baumwoll-Polyester-Gemische auftrennen, indem man zunächst das Polyester chemisch auflöst und dann die Baumwolle wiedergewinnt. Allerdings gibt es Materialgemische, die auch die chemischen Verfahren an ihre Grenzen bringen. Zudem kann eine Verunreinigung durch Metalle störend wirken. Zu bedenken ist, dass bei herkömmlichen chemischen Verfahren vielfach potenziell umweltschädliche Hilfsstoffe wie Lösungsmittel verwendet werden. Das ist bei der Entwicklung von Kreislaufprozessen zu berücksichtigen. Im Idealfall kommen die künftigen Stoffkreisläufe ganz ohne problematische Chemikalien aus. Erforscht werden muss derzeit auch, wie sich der Energieverbrauch des chemischen Recyclings verringern lässt, um wirtschaftlich zu sein. Zudem ist bislang noch unklar, wie Textilien für das chemische Recycling vorbereitet werden sollten.

Chemische Verfahren benötigen größere beziehungsweise berechenbarere Mengen. Daher ist hier die Hochskalierung innovativer chemischer Recycling-Technologien besonders wichtig.

Wichtige Ergebnisse der Online-Befragung

Eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft lässt sich nur erreichen, wenn sich alle Beteiligten miteinander vernetzen und alle Teile des Systems von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Wiederverwertung der Produkte nahtlos ineinandergreifen. Folgende Aspekte sind nach Ansicht der befragten Expertinnen und Experten für das Funktionieren der Kreislaufwirtschaft besonders wichtig:

- Circular Economy beginnt in den Köpfen. 60 Prozent der Befragten sagen, dass in der Textil- und Bekleidungsindustrie ein zu geringes Bewusstsein dafür herrscht, wie wichtig es ist, Stoffkreisläufe zu schließen. Das ist eine erhebliche Herausforderung.
- 80 Prozent der Befragten meinen, dass die Transformation der Textil- und Bekleidungsindustrie eine erhebliche finanzielle Herausforderung ist.
- Das wirtschaftliche Potenzial der textilen Kreislaufwirtschaft bleibt bislang ungenutzt. 75 Prozent der Befragten bemängeln, dass es an Geschäftsmodellen für die Kreislaufwirtschaft fehlt.
- 66 Prozent der Befragten sagen, dass es an Fachkräften und Know-how fehlt, um die Transformation zu vollziehen.
- Die Transformation kann nur gemeinsam gelingen: 62 Prozent der Befragten halten es für ein großes Hindernis, wenn nicht alle Partner in einem zirkulären Produktionscluster kooperieren.

Laufende Aktivitäten: Die Vielfalt der Nachhaltigkeit

Die deutsche Textilindustrie und Textilforschung haben in den vergangenen Jahren eine Fülle an Initiativen und Projekten gestartet, um die gesamte Kette der Kreislaufwirtschaft vom recyclingfreundlichen Design bis zur Produktion und Wiederverwertung von Fasern nachhaltiger zu gestalten. Im Folgenden werden die verschiedenen Initiativen und Forschungsprojekte im Detail vorgestellt. Die Projekte sind in der Rubrik »Forschung« den entsprechenden Wertschöpfungsstufen zugeordnet.

Dem Thema Recycling widmet sich eine Vielzahl von Initiativen. Im April 2021 ist die **Circular-Economy-Initiative** des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) gestartet. Der Gesamtverband textil+mode ist — mit Unterstützung durch den Textilverband Nordwest — von Beginn an mit dabei. Die Initiative will eine Plattform für den Austausch der Wirtschaft mit Politik, Wissenschaft und Gesellschaft sein, um gemeinsam Instrumente zur Förderung des Recyclingrohstoffmarkts zu entwickeln und Abfälle zu vermindern. Als Gründungsmitglied macht sich der Gesamtverband textil+mode stellvertretend für die Hersteller von Textil und Bekleidung in der BDI-Initiative stark. Schon jetzt werden in den Unternehmen etablierte Strategien ausgeweitet und innovative Konzepte erprobt. Arbeitsbekleidung und Hygienetextilien in Leasingssystemen, die Nutzung von rezyklierten Carbonfasern (rCF) und Geotextilien aus Agrarreststoffen stehen beispielhaft für die Ideen-Vielfalt der Bündnis-Partner.

Auch das ZIM-Netzwerk **RE4TEX** fokussiert sich auf Aktivitäten rund um das Thema Recycling textiler Produktionsabfälle. Die beteiligten Partner entwickeln neue Technologien, um Rohstoffe aus den Abfällen zurückzugewinnen, widmen sich aber auch der Weiterentwicklung bestehender Technologien. Die Ergebnisse werden dazu beitragen, die Recyclingquote in der Textilwirtschaft spürbar zu erhöhen. Neben branchenübergreifenden Lösungsansätzen sollen auf die Netzwerkpartner

zugeschnittene Lösungen erarbeitet werden. Um die Technik an die neuen Anforderungen anzupassen, sind Unternehmen aus dem Maschinenbau in das Konsortium eingebunden. Letztlich verfolgt das Netzwerk zwei große Ziele: zum einen bessere Verwertungsprozesse für Abfälle, für die es bereits Wertstoffkreisläufe gibt. Zum anderen sollen neue Prozesse für Abfälle entwickelt werden, die noch nicht nachhaltig verwertet werden.

Im europaweiten Projekt **ENTeR** haben Firmen und Forschungsinstitute anhand von neun Fallstudien Lösungen für die künftige Kreislaufwirtschaft erarbeitet. Themen waren der Aufbau eines Inhouse-Logistik-Systems für Recyclingabfälle, die Behandlung von Woll-Abfällen oder die Verringerung von Abfällen durch längere Haltbarkeit der Textilien. Beteiligt waren Partner aus Deutschland, Italien, Polen, Ungarn und Tschechien. Ein wesentlicher Inhalt des Projektes war auch, die Materialien und Abfälle zu charakterisieren und zu klassifizieren.

Der Deutsche Boots- und Schiffbauer-Verband wiederum will mit der **Cleen-Sailing-Initiative** (»Cleen« setzt sich aus den englischen Ausdrücken »clean« und »green« zusammen) die umweltfreundliche Produktion von Wassersport-Equipment und die Wiederverwertung gebrauchter Textilien fördern — etwa von Segeln oder Tauen. Dazu bringt die Initiative Umweltaktivisten, Recycling- und Textil-Experten mit Segelmachern sowie Boots- und Schiffbauern zusammen. Die Initiative

will durch Aufklärung und Kommunikation das Bewusstsein für nachhaltigen Segelsport schärfen. Zudem begleitet sie Projekte, in denen innovative Prozesse und Produkte entwickelt werden. Die Mitglieder der Initiative verpflichten sich, ökologische und soziale Mindeststandards einzuhalten und Lieferketten offenzulegen.

In der **Industry Research Group »Polymer Recycling«** arbeiten zehn Unternehmen aus sieben Ländern und das Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen gemeinsam an Lösungen, um Textilabfälle künftig zu 100 Prozent zu recyceln. In dem Konsortium wird industriell ausgerichtete Grundlagenforschung mit technologischem, wirtschaftlichem und strategischem Schwerpunkt betrieben. Das Konsortium analysiert, inwieweit sich die relevanten Materialströme in der Textilindustrie wiederverwerten lassen. Zunächst wird ein Konzept erarbeitet, um in einer Abfallmenge unterschiedliche Fasermaterialien zu detektieren und zu trennen. Langfristig sollen so mithilfe des **chemischen Recyclings** gemischte Textilabfälle, zum Beispiel aus Baumwolle und Polyester recycelt und zu hochwertigen Garnen weiterverarbeitet werden.

Beim chemischen Recycling werden die Kunststoffe, aus denen die Textilien bestehen, durch chemische Prozesse in ihre Bestandteile zerlegt, um aus diesen Rohstoffen dann erneut Kunststoffe herzustellen. Weil die Qualität des recycelten Kunststoffs dann der neuer Ware entspricht, wird ein Upcycling möglich.

Das **ReNewTex-Netzwerk** mit 19 Partnern aus ganz Europa hat das Ziel, das Recycling von Textilien aus Polymerfasern auf eine ganz neue Stufe zu heben. Bislang fehlt ein systematisches Sammelsystem, das diese Materialien in großen Mengen erfasst. Das führt dazu, dass ein hochwertiges Recycling dieser Materialien derzeit kaum wirtschaftlich ist. Im Konsortium soll eine entsprechende Logistikkette aufgebaut werden, an deren Ende das chemische Recycling gebrauchter Polymere zu neuwertigen Produkten steht. Diese Ketten sollen zunächst exemplarisch am Beispiel von Schutzkleidung und textilen Bodenbelägen aufgebaut werden. Die Lösungen sollen so konzipiert sein, dass sie sich auf möglichst viele andere Bereiche faserbasierter Produkte übertragen lassen, darunter Mode, Heimtextilien, Smart Textiles oder Composites.

Ein Schwerpunkt beim Recycling von Textilien ist zunehmend die Wiederverwertung von recycelten Carbonfasern (rCF). Diese werden künftig in immer größeren Mengen anfallen, weil die Nutzung von Leichtbau-Strukturen aus faserverstärkten Kunststoffen in der Automobilindustrie, in der Luftfahrt- oder der Windkraftbranche wächst. Da die Qualität der rCF noch nicht mit der von neuen Fasern mithalten kann, werden in vielen Initiativen Verfahren für die Bewertung und Aufbereitung der rCF entwickelt. Das Netzwerk **Composites United** etwa, ein weltweiter Branchenverband für faserbasierten Leichtbau, hat gleich mehrere Projekte aufgesetzt, die sich dem Recycling von Leichtbau-Komponen-

ten und insbesondere Carbonfasern widmen. In diesen geht es unter anderem darum, rCF umfassend zu bewerten, um bestehende Hemmnisse beim industriellen Einsatz zu überwinden – etwa Unsicherheiten hinsichtlich der Bauteilqualitäten und möglicher Qualitätsschwankungen. Des Weiteren arbeiten die Partner an der Entwicklung ganz neuer Prozesslinien für das Carbonfaser-Recycling und die Produktion von rCF-Tapes. Dazu gehört auch, die Tapes im industriellen Rahmen zu validieren.

Auch die Initiative **Ressourcetex** geht das Thema der Wiederverwertung von Carbonfasern, aber auch von Mineralfasern, umfassend an. In der Initiative arbeiten 13 Unternehmen und vier Forschungseinrichtungen daran, die Leichtbaumaterialien möglichst vollständig zu verwerten. Das beginnt bereits bei der Produktion. So arbeitet das Team an Lösungen, um bei der Produktion Verschnitt und Abfälle zu reduzieren, beziehungsweise um Produktionsabfälle auf qualitativ hohem Wertschöpfungsniveau weiterzuverwenden. Am anderen Ende des Materialkreislaufs geht es darum, »end-of-life«-Fasern wieder effizient in den Wertschöpfungsprozess zu integrieren.

Die Initiative Smart Composites Erzgebirge **Smart ERZ** arbeitet daran, das Erzgebirge zum Wirtschaftsstandort für die Entwicklung und Produktion von Verbundmaterialien (Composites) für den Leichtbau zu machen. Dem Technologiebündnis gehören viele Partner aus der Forschung und der Industrie an – darunter aus dem Maschinenbau, der Elektrotechnik, der Kunststoffverarbeitung, der Oberflächentechnik und der Textiltechnik.

Im Kooperationsprojekt Tricycle erarbeiten acht Partner derzeit ein Konzept für ein Composites-Recycling-Center. Im Laufe der nächsten zwei Jahre sollen darin Technologien und Prozessketten für das Recycling von Smart Composites entstehen. Als Basis für die Entwicklungsarbeit dienen bereits vorhandene Beispiele aus der Textilbranche, Kunststoff- und Elektrotechnik, für die Smart Composites qualifiziert werden.

Regional aufgestellt ist auch die Initiative **Wir recyceln Fasern**, in der sich Firmen, Forschungsinstitute und Verbände zusammengetan haben, um die Wiederverwertung von Faserverbundmaterialien zu einem wirtschaftlichen Schwerpunkt in der Elbtalregion Sachsens zu machen. Auf dem Programm steht die Optimierung der Materialien, die Erfassung und Bündelung von Abfallströmen, die sortenreine Sammlung und Aufbereitung sowie die Entwicklung neuer Produkte. Die Initiative hat unter anderem das Ziel, bis zum Jahr 2025 erste konkrete zirkuläre Wertschöpfungsketten aufzubauen und Arbeitsplätze zu schaffen. Zugrunde liegt die Idee, vor Ort vorhandene Prozesse aus zirkulären Wertschöpfungsketten zu komplettieren und neue Entwicklungen anzustoßen, ehe sie aus der Region ausgelagert werden.

Die Initiative **CycleTex BW** setzt auf das Wirtschaften im Kreislaufmodell. Entwickelt werden passgenaue Lösungen für die Realisierung einer kreislauforientierten Wirtschaftsform in der baden-württembergischen Textilindustrie – über alle Wertschöpfungsstufen hinweg von der Abfallvermeidung, Wiederverwertung und Wiederauf-

arbeitung bis zum Recycling. Da die Textilindustrie typischerweise eine mehrstufige Verarbeitungsabfolge hat, werden viele Akteure mit einbezogen – vom Halbzeug über das Produkt, den Handel und alle Partner bei der Wiederverwertung.

Wenn es darum geht, Textilien nachhaltiger zu machen, spielen künftig auch nachwachsende Rohstoffe eine große Rolle. Im Unternehmens- und Forschungsnetzwerk **NAFATECH** haben Firmen und Forschungseinrichtungen gemeinsam untersucht, wie sich eine Wertschöpfungskette für rein pflanzliche Faserrohstoffe in Deutschland aufbauen lässt. Betrachtet wurden dabei Erntetechnologien, Aufbereitungsverfahren und die Herstellung von Naturfaserhalbzeugen. Untersucht wurden auch wenig bekannte und technisch bisher nicht in Erscheinung getretene Faserrohstoffe sowie Technologien für die Aufbereitung und Verarbeitung.

Ein gutes Beispiel für eine ausgesprochen vielseitig nutzbare Pflanze ist der Hanf. Im **Netzwerk Hanf-Loycell** werden Entwicklungen für eine ganzheitliche und vor allem wirtschaftliche Verwendung der Pflanze vorangetrieben. Die Samen sollen für Nahrungsmittel genutzt werden, die Stängel und das Blattwerk für die Textilindustrie. In dem Netzwerk sind Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette aktiv – darunter Spezialisten für den Anbau oder den Faseraufschluss. Schwerpunkte sind die Entwicklung eines neuartigen Aufschlussverfahrens – die biogene Degummierung – mit dem textil verarbeitbare hochwertige Hanffasern gewonnen werden

sollen. Zudem wird ein Verfahren zur Zellstoffgewinnung aus dem zerstoßenen Weichholz der Stängel entwickelt. Dieses Weichholz, sogenannte Schäben, soll als Rohstoff für **Regeneratfasern** (Lyocell-Verfahren) genutzt werden. Weitere Aspekte sind die Garnherstellung und die Garnfunktionalisierung.

Am Institut für Textiltechnik hat sich 2021 ein neues Partner-Netzwerk für das mechanische Recycling gegründet: das **Recycling-Atelier Augsburg**. In diesem Forschungs- und Entwicklungsverbund mit Forschungsinstituten und Technologiepartnern aus der Industrie wird eine Modellwerkstatt für das textile Recycling aufgebaut, indem zunächst modellhaft neue werthaltige Produkte aus Rezyklaten hergestellt werden, bevor der Prozess industriell hochskaliert wird. Im Modellmaßstab wird die ökonomische, technische und ökologische Sinnhaftigkeit der Prozesse geprüft, um sicherzustellen, dass Downcycling verhindert wird und die Aspekte von Design for Recycling berücksichtigt werden. Das Angebot richtet sich an Anwender aus dem Konfektionsbereich und textilen Bekleidungshandel sowie an Mietwäscheanbieter, Hersteller von Technischen Textilien und Markenartikler.

Regeneratfasern sind Fasern, die aus natürlich vorkommenden, nachwachsenden Rohstoffen über chemische Prozesse hergestellt werden. Aufgrund dieser chemischen Wandlung werden sie zu den Chemiefasern gezählt.

Zirkuläres Design

Das Projekt **NaTex** arbeitet daran, den gesamten Lebenszyklus vom Bezug der Rohstoffe, über das fertige Produkt, das Sammeln und Schreddern bis zum rezyklierten Textil digital zu erfassen, um die Stoffströme transparenter zu machen. Im Idealfall soll künftig ein digitaler Zwilling des Textils entstehen, der alle Wertschöpfungsstufen abbildet – eine Grundvoraussetzung für ein hochwertiges Recycling. Das System wird unter anderem darüber Auskunft geben können, woher ein Produkt stammt, was darin verarbeitet und wie es hergestellt wurde. Die Daten werden dann in einer Cloud bereitgestellt und können von den Unternehmen abgerufen werden.

Am Institut für Textiltechnik Augsburg wird derzeit eine **Modellwerkstatt für Textilrecycling** aufgebaut, die hochwertige Produkte und innovative Verfahren für ein ganzheitliches Textilrecycling entwickelt – insbesondere auch, um künftig Mischtextilien aus verschiedenen Rohstoffen besser nutzen zu können. Im Sinne des Upcyclings sollen aus dem wiederverwendeten Material neue hochwertige Textilien entstehen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Gestaltung von Produkten, damit sich diese künftig leichter recyceln lassen. Dieses Design for Recycling liegt allgemein im Trend.

Schon bei der Fertigung an die Wiederverwertung zu denken, ist auch das Ziel des Projektes **Dissolving on Demand**. In diesem Projekt wird ein Nähgarn entwickelt, das sich auf Befehl auflöst, sodass Kleidungsstücke von selbst in ihre Einzelteile zerfallen. Bislang ist die Trennung verschiedener Materialien eines Kleidungsstücks oder eines anderen textilen Verbundes technisch kaum möglich oder unwirtschaftlich. Im Projekt wird ein Polymergarn mit Mikrokapseln entwickelt, die eine Substanz enthalten, welche das Polymer auflöst. Die Mikrokapseln werden erst beim Recycling-Unternehmen durch Mikrowellenstrahlung aufgebrochen. Damit wird die Zerstörung des Verbundes aktiviert. Das Projekt erfüllt damit auch eine Forderung der Workshop-Teilnehmer, die die Trennung von Materialmischungen als eine wesentliche Herausforderung für die Kreislaufwirtschaft identifiziert haben.

Das Projektteam des FKT hebt im Folgenden exemplarisch besonders zukunftsrelevante Aspekte als Kernaussagen hervor. Diese ergänzen die wichtigsten Ergebnisse der Workshops und der Experten-Befragung.

Das Design spielt in der Kreislaufwirtschaft eine entscheidende Rolle. Ein Nutzen lässt sich daraus aber nur ziehen, wenn die Produkte zum Lebensende in den Kreislauf zurückgeführt werden.

Ein Schwerpunkt vieler aktueller Projekte im Bereich des Design for Recycling sind die faserverstärkten Kunststoffe. Das Ziel des Projektes **DiDe4Rec** beispielsweise ist es, einen ganzheitlichen Ansatz für kreislauffähige Leichtbauprodukte aus faserverstärkten Polymeren zu erarbeiten und zu validieren. In das Design soll Wissen über Materialeigenschaften, Umwelteinflüsse sowie über den Prozess der Materialtrennung, Aufbereitung und Wiederverarbeitung einfließen. Auch während der Workshops wurde ein solcher Aufbau an Expertise als besonders relevant erkannt. In DiDe4Rec stehen neben dem eigentlichen Design for Recycling die Produkt- und Qualitätsanforderungen und eine umfassende Datenerfassung im Fokus. Im Projekt werden thermoplastische Leichtbauprodukte im Hybrid-Molding-Verfahren hergestellt und anschließend validiert. Berücksichtigt werden aber sowohl thermoplastische als auch duromere Vorprodukte, weil die meisten hochwertigen und energieintensiv hergestellten Kohlenstofffasern zwar zu duromerbasierten Bauteilen verarbeitet, beim Recycling aber vor allem in Thermoplasten weiterverwendet werden.

Vor allem auch in der Windkraftbranche werden heute große Mengen an Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt. Ein hochwertiges Recycling der Komponenten ist bislang aber nicht etabliert. Im Forschungsprojekt **GReTa** sollen künftig entsprechende Lösungen entwickelt werden. Das Projekt besteht aus zwei Teilen: Zum einen soll ein neuartiges Rotorblattdesign nach dem Design for Recycling-Prinzip entwickelt werden. Zum anderen soll das Recycling durch Pyrolyse zu einem geschlossenen Materialkreislauf im industriellen Maßstab weiterentwickelt werden.

Wie die Windkraft gilt der Wasserstoff als ein nachhaltiger Energielieferant der Zukunft. Mit dem Ausbau der Wasserstoffwirtschaft und der wachsenden Produktion von Wasserstoffautos wird in den kommenden Jahren der Bedarf an leichten und stabilen Wasserstoff-Drucktanks aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen deutlich steigen. Das ITA Augsburg analysiert bereits heute gemeinsam mit der Firma AMAC, einem Industrie- und Unternehmensberater, wie sich diese Tanks so designen lassen, dass man die in ihnen enthaltenen Carbonfasern künftig werterhaltend recyceln kann. Da die Fasern bei der Tank-Produktion um den Hohlkörper gewickelt werden, ließen sich durch ein entsprechendes Recycling hochwertige Endlosfasern zurückgewinnen. Die **Recyclingstudie** soll Empfehlungen für eine entsprechende recyclinggerechte Konstruktion liefern. In einem weiteren Projekt entwickeln die beiden Partner neue Wege zum Recycling von Batteriegehäusen aus Elektroautos. Die Elektromobilität ist längst ein Wachstumsmarkt. Es ist abzusehen, dass mit dem Boom in den kommenden Jahren viele Tausend Altbatterien anfallen werden. Typisch für Batteriegehäuse ist das multifunktionale Multimaterialdesign. Batterien bestehen aus vielen verschiedenen Werkstoffen und kommen am Markt in unterschiedlichen Bauweisen vor. Das macht das Recycling zu einer Herausforderung. Im Sinne des Design for Recycling-Ansatzes werden in der Studie Wege hin zu einer echten Kreislaufwirtschaft im Bereich der Batteriegehäuse aufgezeigt.

Sammeln und Sortieren

Das Sammeln und Sortieren ist heute noch in erster Linie Aufgabe der Entsorger und gehört nicht zu den Kernkompetenzen der Textilindustrie und -forschung. Inwieweit sich hier im Zuge der künftigen Circular Economy Potenziale für die Textilindustrie ergeben, ist noch offen.

Eine erste moderne Anlage zur Sortierung haben die Firmen Stadler Anlagenbau und Tomra Sorting bei der südschwedischen Sysav Industri installiert. Die Anlage beleuchtet Textilien mit nahem Infrarot-Licht (NIR) und kann damit verschiedene Arten identifizieren. Damit erleichtert sie die bisherige manuelle Sortierung deutlich. Sie hat eine Kapazität von bis zu 4,5 Tonnen pro Stunde in einer Sortierlinie. Das Material wird in 350 und 500 Kilogramm schweren Ballen geliefert und besteht aus Pre- und Post-Consumer-Textilabfällen. Da die Textilien im Ganzen sortiert werden, kann das Material Knöpfe, Reißverschlüsse und sonstige nicht-textile Anteile enthalten.

Für Bekleidung gibt es bereits Sammel- und Sortiersysteme. Diese werden künftig an ihre Grenzen stoßen, wenn die Rückführung ausgeweitet wird. Insbesondere für Heimtextilien und technische Textilien bedarf es neuer Sammelsysteme.

Reißen und Trennen

Das Sächsische Textilforschungsinstitut (STFI) hat im Projekt **CarbonWasteCycle** ein Recycling-konzept für Carbonfaserabfälle entwickelt. Das Projektziel war es, Carbonfasern aus Verschnitt-abfällen und aus Fehlchargen zu recyceln und für den Leichtbau nutzbar zu machen. Dem Team ist es gelungen, Carbonfasern, die frei von Kunststoffhar-zen sind, zu Carbonfaser-Vliesstoffen weiterzuver-arbeiten. Diese sind wiederum Ausgangsmaterial für Leichtbauteile im nichttragenden Bereich.

Um rezyklierte Carbonfasern nutzen zu können, müssen diese zunächst von Fremdstoffen wie etwa Polymerfasern getrennt werden. Dieses Prozedere ist aufwendig. Daher wurde am STFI im **CF 100** eine neue Methode entwickelt, die Fremdfasern mithilfe von Lasertechnik vergleichsweise einfach von den Carbonfaser-Rezyklaten trennt. Bei diesem Verfahren werden die Fremdfasern detektiert und dann mit Laser-Energie zerstört. Der Schwerpunkt der Arbeiten bestand darin, vorhandene Technik anzupassen und in Verarbeitungslinien für Textilien zu integrieren. Aus dem gereinigten Carbonfaser-material wurden anschließend Vliesstoffe herge-stellt, die als textile Halbzeuge erneut zu Faserver-bundwerkstoffen verarbeitet wurden.

Für die Weiterverarbeitung müssen rezyklierte Carbonfasern (rCF) aber noch weiteren Behand-lungsschritten unterzogen werden. So muss die Schlichte entfernt werden — eine Beschichtung, mit der Fasern überzogen werden, damit sie besser verwebt werden können. Im Projekt **CarboDesi-ze** »Induktives Entschlichten von Kohlenstofffasern für wirtschaftliches Recycling« entwickelt das STFI zusammen mit Industriepartnern ein entsprechen-des Verfahren. Ziel ist es, eine Versuchsanlage zu konstruieren, mit der in der Vliesstoff-Fertigungs-linie entschlichtet werden kann. Angestrebt werden besonders kurze Taktzeiten beim Erwärmen des Fasermaterials. Hier sehen die Projektpartner gro-ßes Potenzial für das Recycling beziehungsweise Entschlichten von Verschnittresten aus der Bauteil-fertigung.

Von Interesse ist auch, ob sich für das künftige Recycling eine Trennung von Carbonfaserabfällen gemäß Carbonfasertyp lohnt. Am STFI wurden dazu im Projekt **IMS-Vliesstoffe** zunächst sorten-reine Vliesstoffe aus 100 Prozent IMS-Carbonfasern hergestellt, wobei die Prozessparameter variiert wurden. Wie sich zeigte, ließen sich anschließend sowohl Primärfasern als auch pyrolysierte Recyc-lingfasern mit gängigen Vliesbildungstechnologien verarbeiten. Letztlich gelang es, Airlay- und Krem-pelvliesstoffe mit Flächengewichten von 100 und 300 Gramm pro Quadratmeter herzustellen.

Anders als Fasern aus Carbon stehen Aramidfasern beim Thema Wiederverwertung bislang kaum im Fokus. Aramidfasern werden im Sicherheitsbereich als Splitterschutz, in beschusshemmenden Westen, Schutzhelmen, Panzerungen für Fahrzeuge und Schnittschutzhandschuhen eingesetzt. Weiter-hin werden sie in Faserverbundkunststoffen im Flugzeugbau vor allem für den Bau von Segelflug-zeugen verwendet. Bei Sportgeräten kommen sie wegen ihrer Zähigkeit und Zugfestigkeit und ihrer geringen Masse zum Einsatz. Weltweit werden pro Jahr rund 200 000 Tonnen hergestellt. Aramide sind biologisch kaum abbaubar und nicht brennbar. Abfälle landen daher als Sondermüll auf Deponien, in der Müllverbrennung oder werden wild entsorgt. Um das wertvolle Material künftig wiederverwen-den zu können, wird an den DITF im Projekt **AraRecy** ein neues Recyclingkonzept für hoch-wertige Aramidabfälle entwickelt. Dazu zählt, Aramid-Stoffströme zunächst digital zu erfassen und diese Daten mit Verbänden wie etwa dem Industrieverband »Veredlung — Garne — Gewebe — Technische Textilien« oder Südwesttextil auszu-tauschen. Ein weiteres Ziel ist, primäres Aramid teilweise durch Recycling-Aramid zu ersetzen.

Um einen Kunststoff ganz anderer Art geht es in einem weiteren Projekt der DITF. Dieses hat das Ziel, die Menge an Einwegartikeln aus **PET** zu reduzieren, beziehungsweise diese zu recyceln. PET ist einer der weltweit am meisten genutzten Kunststoffe, der auch als Kunststoff für Plastik-flaschen bekannt ist. Das Projekt befasst sich mit zwei Anwendungsbereichen, zum einen PET für OP-Textilien, zum anderen für Textilien in Fahrzeu-gen. Bislang bestehen OP-Textilien meist aus ver-schiedenen Materialtypen wie etwa PET, PU oder PTFE. Diese sind für ein Recycling kaum geeignet. Im Projekt soll jetzt ein Prozess für die Herstellung von Membranen und Laminaten für OP-Textilien aus reinem PET aufgebaut werden. Das Ziel ist die Fertigung von Verbunden ganz aus PET. Auch in der Automobilproduktion hat man es bislang mit Verbunden aus verschiedenen Materialien wie etwa PET-Maschenware und PU-Schaum zu tun. Im Projekt soll ein PET-Schaum entwickelt werden, mit dem sich dann reine PET-Verbunde erzeugen lassen. Zu beiden Teilprojekten gehört auch die Entwicklung eines Recycling-Verfahrens. Das PET soll dabei chemisch zerlegt und anschließend zu neuen Fasern ausgesponnen werden.

Beim Reißen und Trennen sollte der Fokus künftig auf wertvollen Materialströmen liegen. Zudem sollte die Materialvielfalt reduziert werden.

Mechanisches Reißen und Trennen

Am STFI wird im Projekt **CircleNet** ein Verfahren zum mechanischen Recycling von technischen Netzen aus Polypropylen entwickelt. Netze sollen künftig im Kreislauf geführt werden, damit diese nicht wild im Meer oder an Land entsorgt werden und so zur Entstehung von Mikroplastik beitragen. Neue Netze auf Polypropylenbasis sollen dann mit höherem Rezyklatanteil gefertigt werden.

Auch im Projekt **ReFiPro** arbeitet das STFI daran, Polymere zu recyceln. In diesem Fall geht es darum, Polymer-Abfälle, die bei Spinnvliesprozessen entstehen, direkt wiederzuverwenden. Beim Anfahren einer Spinnvliesanlage sowie im Stand-by-Modus fallen nicht verstreckte Filamente als Abfall an. Die am STIF entwickelte technische Lösung soll das wertvolle und reine Material direkt in den Produktionsprozess zurückführen. Dazu sollen die Filamente zunächst aus dem Prozess ausgeschleust, danach zerkleinert und wieder zu Kunststoffgranulat verarbeitet werden, welches dann wieder für die Faserherstellung genutzt wird.

Beim Recycling von Alttextilien können durch mechanisches Reißen Mikroplastikpartikel frei werden. Das vom ITA der RWTH Aachen geleitete Projekt **AnReTex** verfolgt in dieser Hinsicht zugleich mehrere Ziele. Im Vordergrund steht die Entwicklung eines Analyseverfahrens, mit dem Alttextilien chemisch genau auf ihre Materialzusammensetzung, etwaige Textilhilfsmittel, Schadstoffe und auch Mikroplastikpartikel untersucht werden können. Dieses Analyseverfahren basiert auf der sogenannten Thermoextraktion, Desorption und GC/MS-Analyse (TED-GC/MS), die heute bereits verwendet wird, um vollautomatisiert Mikroplastik in Umweltproben nachzuweisen. Darüber hinaus wird im Projekt ein Akustiktextil aus Alttextilien gefertigt, mit dem die Analysemethode validiert und optimiert werden soll. Zudem sollen damit neue Möglichkeiten erkundet werden, um mit Textilien Mikroplastik aus der Raumluft zu binden.

Die mechanischen Verfahren sind bereits weit entwickelt. Künftig müssen diese Verfahren an die Vielfalt der Produkte angepasst werden. Ein Ziel ist auch, größere Faserlängen zu erhalten. Ferner sollten die Emissionen reduziert werden.

Chemisches Trennen

Im Projekt **ReSail** entwickelt das STFI ein Verfahren für die Kreislaufführung von verschiedenen Segeltypen auf Basis des Kunststoffes Polyethersulfon (PES). Die Segel werden zunächst mechanisch zerteilt und das PES anschließend chemisch zurückgewonnen. Der Rohstoff wird dann für neue Garne mit erhöhtem Rezyklatanteil genutzt, aus denen wieder neue Segel hergestellt werden.

Polyacrylnitril (PAN) ist ein aus fossilen Rohstoffen gewonnenes Polymer, das insbesondere als Fasermaterial in Wohndecken, Pullovern und Teppichen genutzt wird. Zudem werden aus PAN Carbonfasern hergestellt. Bei der Produktion einer Tonne PAN werden rund 2,5 Tonnen Kohlendioxid freigesetzt. Bislang gibt es aber weder ein Rücknahmesystem für gebrauchte PAN-Materialien noch ein Recycling-Verfahren. Das ITA der RWTH Aachen entwickelt deshalb mit Partnern im Projekt **Industrial RePAN** ein innovatives lösungsmittelbasiertes Recyclingverfahren für PAN-Textilabfälle. Des Weiteren werden umweltschonende Färberezepturen für die recycelten PAN-Fasern entwickelt, da die Farbgebung vor allem bei Bekleidungs- und Heimtextilien wichtig ist. Berücksichtigt wird die gesamte Prozesskette von der Rückgewinnung des PAN-Polymers über die PAN-Faser Produktion bis zum fertigen Produkt. In erster Linie sollen End-of-Use-Abfälle erschlossen werden, da diese den größten Anteil ausmachen.

Bei der Entwicklung von Verfahren zum chemischen Trennen hat Deutschland Nachholbedarf. Andere Länder sind schon weiter. Die Entwicklung neuer Verfahren wird dadurch erschwert, dass die Unsicherheit gegenüber der deutschen und europäischen Umwelt- und Chemikalienpolitik zunimmt.

Biologisches Trennen

Faserverbundwerkstoffe lassen sich nur schwer recyceln, weil die Fasern von dem sie umgebenden Harz getrennt werden müssen. Das Hohenstein-Institut für Textilinnovation hat dafür ein biotechnologisches Verfahren entwickelt, bei dem Mikroorganismen das Epoxidharz abbauen. Der Vorteil besteht darin, dass diese biologische Rückgewinnung so schonend ist, dass die Faser nicht beschädigt wird.

Neue biologische Recyclingverfahren bieten viele Chancen. Mit dem Wachstum der Bioökonomie und neuen biobasierten Produkten und Materialien werden diese Verfahren immer wichtiger.

Faserherstellung

Neben dem Recycling von Fasern ist für die kommenden Jahre zu erwarten, dass sich Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen von zunehmend besserer Qualität im Markt etablieren. Ein Material von wachsender Bedeutung ist das aus Krebs- und Krabbenpanzern gewonnene Chitosan. Mit seinen blutstillenden und antibakteriellen Eigenschaften und der starken bakteriziden und fungiziden Wirkung eignet es sich ausgezeichnet für medizinische Anwendungen. Im Projekt ● Chion wurde daher am ITM eine neue Spinntechnologie zur Herstellung von Chitosan-Garn entwickelt. Dieses Garn kann für bioaktive allergenfreie Textilprodukte mit den genannten Eigenschaften verwendet werden.

Im Projekt ● BioTurf wiederum geht es darum, Polyethylen (PE) aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen wie etwa Holz und Resten aus der Raps-Produktion herzustellen. In dem vom ITA und TFI in Aachen geleiteten Projekt soll das Bio-PE für Kunstrasenplätze genutzt werden. Der fertige Kunstrasen soll ohne die Zugabe von Einfüllgranulat auskommen, um zu verhindern, dass Mikroplastik in die Umwelt gerät. Damit sich der Kunstrasen zum Ende seiner Lebensdauer recyceln lässt, wird er komplett aus PE gefertigt — sowohl das Gewebe, als auch die Polfäden und die Rückenbeschichtung.

Künftig werden verstärkt biobasierte Fasern auf den Markt kommen. Dennoch werden synthetische Fasern noch für Jahrzehnte den größten Teil des Stoffstroms ausmachen — auch beim Recycling.

Faserherstellung — chemisch

Wenn sich Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen künftig im Markt etablieren sollen, dann müssen sie sich wie herkömmliche Fasern funktionalisieren und färben lassen. Das deutsch-brasilianische Projekt ● BioPolyCol entwickelt daher unter der Leitung des ITA der RWTH Aachen nachhaltige Biofarbstoffe mit guter Farbintensität und hoher Echtheit, die für die industrielle Färbung von Biopolymeren geeignet sind. Derzeit wird der Markt von synthetischen Farbstoffen beherrscht, die Polymere mit sehr guter Echtheit färben können, aber aufgrund ihrer begrenzten Affinität nur teilweise aufgenommen werden. Zudem gelangen in manchen Regionen große Mengen schwer zu behandelnder, farbiger Abwässer in die Umwelt. Das Projekt setzt nun auf Farbstoffe aus erneuerbaren pflanzlichen Ressourcen aus der Landwirtschaft oder aus Rückständen der Lebensmittelindustrie, die im Amazonasgebiet anfallen. Die brasilianischen Partner werden Pflanzenquellen identifizieren, Biofarbstoffe extrahieren, charakterisieren und Farbstoffpulver herstellen. Eine hohe Echtheit sowie Temperaturstabilität sollen durch Verkapselung in eine Silika-Matrix oder durch Mikroverkapselung erreicht werden.

Synthetische Fasern sollten recyclinggerecht und nachhaltig gestaltet sein. So ließen sich große Abfallströme nutzbar machen.

Faserherstellung — mechanisch

Die Vielfalt an Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen ist erstaunlich. In vielen Projekten wurde inzwischen untersucht, inwieweit sich diese für die Produktion hochwertiger Textilien eignen. Ungewöhnlich ist bislang beispielsweise der Einsatz von Ananasfasern als Rohstoff für textile Fasern. Dass sich diese durchaus nutzen lassen, hat das STFI im Projekt **AnanasTex** gezeigt. Die Fasern aus den Ananasblättern fallen als Abfallprodukt in der Lebensmittelindustrie an, werden bisher aber nur in kleinem Maßstab als Vlies- und Verbundmaterial genutzt. Im Projekt wurde untersucht, ob verschiedene Produktionsketten für eine nachhaltige und spinnfähige Ananasfaser aufgebaut werden können. Berücksichtigt wurden dabei auch soziale Aspekte, weil durch den Aufbau entsprechender Lieferketten kleine Betriebe in ländlichen Gegenden Bangladeschs zusätzliche Wertschöpfung generieren könnten.

Auch Hanf soll sich künftig als hochwertige Textilfaser etablieren. Das ist das Ziel des Projektes **KASHEMP** des STFI, das den Anbau von Hanffasern auf Baumwollstandorten in Kasachstan fördern will. Zudem wird Ernte- und Verarbeitungstechnologie aufgebaut. Aus dem textilen Hanf sollen reißfeste, feine und weitgehend fremdstofffreie Fasern hergestellt werden, die die regionale Textilindustrie in Kasachstan und den Exportmarkt um ein alternatives Rohstoffangebot bereichern. Faserhanf ist in der Lage, Wasservorräte aus dem Boden bedeutend effektiver zu nutzen als Baumwolle. Baumwolle hingegen muss in der Region zusätzlich bewässert werden.

Im Projekt **KendyrTEX** arbeitet das STFI zusammen mit Partnern aktuell daran, eine weitere Pflanze als Rohstofflieferant in Kasachstan zu etablieren: Die Strauchpflanze Kendyr, die sich ebenfalls als Alternative für die Baumwolle eignet. Die Baumwollgewinnung hat in der Region zur Verknappung der Wasserressourcen beigetragen und große Ackerflächen versalzen lassen. Die traditionsreiche Faserpflanze Kendyr ist in der Lage, auf salzbelasteten Böden zu wachsen und kommt mit deutlich weniger Wasser aus. Damit könnten verloren gegangene Äcker rekultiviert werden. Gelingt es, auf Basis von Kendyr eine mit Baumwolle vergleichbare Faserqualität zu erzeugen, können die Fasern auf klassischen Baumwolltextilmaschinen verarbeitet werden.

Die mechanischen Verfahren sind bislang auf Naturfasern spezialisiert und erschließen fortlaufend neue Fasertypen. Für die wirtschaftliche Wiederverwertung müssen aber ausreichende Mengen an Biomasse zu Verfügung stehen.

Spinnerei

Spinnereivorbereitung

Zu den Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft gehört es in den kommenden Jahren auch, recycelte Textilfasern in steigenden Anteilen neuen Produkten beizumischen. Entscheidend ist, dass die Produktqualität nicht darunter leidet. Im Projekt **RezyCard** verfolgt das ITA Augsburg das Ziel, den Recyclingfaseranteil von Baumwollgarn auf bis zu 50 Prozent zu steigern. Hierzu sind neue Denkansätze in der Produktionstechnik nötig. Einer Maschine kommt dabei besondere Bedeutung zu — der Karde. Diese zieht mithilfe vieler Haken Fasern aus dem Baumwollknäuel. Diese können anschließend versponnen oder zu Vliesen verarbeitet werden. Im Projekt sollen bestehende und bisher wenig gebräuchliche Arbeitsprinzipien verglichen und verbessert werden, um die Verarbeitung von Rezyklat-Baumwolle zu optimieren. Anschließend soll der notwendige Zumischungsanteil von Neufasern bestimmt und der Prozess bis zur Garnherstellung entwickelt werden. Das Ziel ist, eine höhere Qualität sicherzustellen. Der Prozess wird am Beispiel eines T-Shirts getestet.

In Deutschland und Europa gibt es nur noch wenige Spinnereien. Will man recycelte Fasern künftig in größeren Mengen verarbeiten, müssen die Kapazitäten wieder ausgebaut werden. Verbessert werden muss derzeit noch die Spinnbarkeit recycelter Fasern.

In einem Kooperationsprojekt entwickelt die Firma **IMAT-UVE** derzeit einen Recycling-Prozess, mit dem Mischfasern sehr fein aufgerissen und durch neue Technologien der Spinnereivorbereitung in ein besonders weiches gleichmäßiges Kardenband verarbeitet werden. Dieses bildet die beste Grundlage für das Verspinnen. Die entstehenden hochwertigen Garne können je nach Beimischung von Polyester für verschiedene Ansprüche weiterverarbeitet werden. In dem Projekt wurden mittlerweile zwölf Garn-Qualitäten in unterschiedlichen Mischverhältnissen gesponnen. Alle Ansätze beim Spinnen, sowohl im Technikum als auch auf industriellen Spinnmaschinen, führten zu guten Ergebnissen. Die Rohware zur Herstellung der Garne besteht aus sortierter gebrauchter Arbeitskleidung (aus 60 Prozent Polyester und 40 Prozent Baumwolle), aus Altkleidern mit unbekannten Fasermischungen sowie aus Roh-Polyester.

Nutzung und Pflege

Besonders nachhaltig ist es, Produkte mit langer Lebensdauer zu nutzen. Denn dann müssen weniger neue Rohstoffe für neue Produkte eingesetzt werden. Die Lebensdauer eines Produktes hängt nicht allein davon ab, wie hochwertig es ist, sondern auch, wie es behandelt wird. Eine starke Belastung für Textilien ist in dieser Hinsicht die Reinigung. Die mechanische Belastung während der Wäsche etwa schädigt das Material. Die Waschdauer und -intensität sollten daher möglichst exakt auf den Grad der Verschmutzung abgestimmt werden. Am wfk-Cleaning-Technology-Institute wurde deshalb ein Verfahren entwickelt, das über **Impedanzmessungen** während des Waschvorgangs bestimmen kann, wie gut der Schmutz bereits entfernt wurde. Zum Einsatz kommt dabei ein robuster Sensor, der in die Waschmaschine eingelegt wird und seine Daten per Funk über einen RFID-Chip nach außen überträgt. Die Sensorfläche besteht aus einer textilen Elektrode, die so angeschmutzt wird, wie es der Verschmutzung der Wäsche entspricht. Wird der Sensor mitgewaschen, löst sich der Schmutz nach und nach. Diese Veränderung nimmt der Sensor wahr. Sobald der Schmutz vollständig entfernt ist, gibt der Sensor das Signal, den Waschvorgang zu beenden.

Stark belastet wird Wäsche auch durch die Trocknung. Das ist vor allem bei Berufskleidung der Fall, bei der sehr heiße Luft nötig ist, um eine hohe Trocknungsgeschwindigkeit zu erzielen. Durch große Hitze aber werden die Textilien stark beansprucht. Am wfk-Institut werden daher **bioinspirierte Absorbersysteme** zur Entfeuchtung der Heißluft entwickelt. Damit lässt sich die Lufttemperatur reduzieren, ohne dass sich die Trocknung verlangsamt. Die bioinspirierten Absorbersysteme bestehen aus zwei hintereinander geschalteten Kammern für die Wasserabscheidung und die Sorption, in denen die Heißluft im Kreis geführt wird. Die in der Wasserabscheidungskammer verwendeten Absorber sind dem Panzer des Nebeltrinker-Käfers *Onymacris unguicularis* aus der Namib-Wüste nachempfunden. Dieser ist in der Lage, mit seinem Panzer feinste Wassertröpfchen aus der Luft zu fangen. Dank der reduzierten Trocknungstemperatur halten die Textilien länger. Zudem wird Energie gespart. Passend dazu wurden am wfk-Institut Verfahren entwickelt, die die Restfeuchte von Textilien bestimmen. Bei herkömmlichen gewerblichen Trocknern sind die Trocknungsprozesse lediglich zeitgesteuert; bei zeitgesteuerten Trocknungsprozessen wird die Restfeuchte der Wäscheteile aber nicht genau genug erfasst. Um Kundenreklamationen aufgrund von Stockflecken zu vermeiden, werden die Wäscheteile in textilen Dienstleistungsbetrieben oftmals übertrocknet. Dadurch werden die Textilien geschädigt, was wiederum die Lebensdauer verkürzt. Am wfk-Institut wurde daher Verfahren entwickelt, um die Restfeuchte während der Trocknung zu bestimmen. Mithilfe von **Mikrowellenreflexion** wird erst einmal der Feuchtegehalt der Wäsche gemessen. Anschließend erfolgt eine **Audioanalyse** der Abroll- und Fallgeräusche der Wäsche in der Trommel. Diese sind vom Gewicht und somit von der Restfeuchte abhängig.

Die Belastung von Textilien durch Reinigungsprozesse ist bei Mehrweg-OP-Textilien wegen der hohen Hygienestandards besonders groß. Für gewöhnlich werden diese mit chemothermischen Desinfektionsverfahren behandelt. Ist die vorgeschriebene Temperatur erreicht, wird das Desinfektionsmittel in hoher Konzentration zugesetzt. Üblicherweise kommt Peressigsäure zum Einsatz, die reaktive Sauerstoffmoleküle erzeugt, welche die Textilien mit der Zeit schädigen und ihr Erscheinungsbild beeinträchtigen. Für eine schonendere Reinigung wurde am wfk-Institut ein Online-Mess- und Dosierverfahren für Peressigsäure auf Basis von Fluoreszenzsonden entwickelt. Diese Sonden reagieren mit der Säure, wodurch sich ihr Fluoreszenzsignal ändert. Damit lässt sich ermitteln, wie hoch die zugeführte Säure-Konzentration bereits ist, um bei Erreichen der benötigten Menge die Zufuhr zu stoppen. Textilschädigende Spitzenkonzentrationen von reaktiven Sauerstoffmolekülen werden so vermieden. Ergänzend wurde am wfk-Institut ein schonendes Desinfektionsverfahren auf Plasma-Basis für Corporate-Identity-Kleidung entwickelt, die in Krankenhäusern, Pflegeheimen und anderen Bereichen mit hohen hygienischen Ansprüchen zum Einsatz kommt. Um diese zufriedenstellend zu desinfizieren, müssen bislang hohe Temperaturen von mindestens 60 Grad Celsius sowie hohe pH-Werte eingestellt werden. Diese führen jedoch schon nach wenigen Aufbereitungen zu Schäden. Die Kleidung muss dann durch Neuware ersetzt werden. Diesen hohen Kostenfaktor sowie die entstehende Umweltbelastung will ein Forscherteam des wfk-Institut deutlich reduzieren. Das neue Desinfektionsverfahren auf der Basis von **Plasma-aktiviertem Wasser (PAW)** generiert im Wasser reaktive Sauerstoffmoleküle, die bereits bei Temperaturen von 40 Grad Celsius desinfizierend, bleichend und desodorierend wirken.

Schonender reinigen kann man auch, indem die waschaktiven Substanzen exakt dosiert werden. Dieses Ziel verfolgt man am wfk-Institut mit dem elektrochemischen Monitoring von Tensiden. Tenside sind eine der Hauptkomponenten von Waschmitteln. Daher wurde am Institut ein Verfahren entwickelt, um ihre Konzentration mithilfe eines **piezoelektrischen Sensors** zu bestimmen. Gemessen wird, wie schnell sich die Tenside aus dem Wasser an der Sensoroberfläche anlagern. Die Geschwindigkeit hängt von der Konzentration der Tenside ab, sodass damit jederzeit die Konzentration der waschaktiven Tenside im Wasser bestimmt werden kann. Der piezoelektrische Sensor wurde mit einer Steuereinheit verbunden, die auch die Steuerung der Pumpen und Ventile über das Prozessleitsystem übernimmt.

All diese Projekte führen dazu, dass Textilien langlebiger werden. Bei Schutzkleidung aber ist auch darauf zu achten, dass die Schutzfunktionen über die gesamte Lebensdauer erhalten bleiben – etwa die flammhemmenden Eigenschaften von Hitze-, Flamm- und Schweißerschutzkleidung. Diese besteht häufig aus Baumwoll- oder Baumwollmischgewebe, auf das eine flammhemmende Ausrüstung aufgebracht wurde. Durch mechanische Beanspruchung beim Gebrauch kann sie geschädigt werden. Das Problem: Die flammhemmende Ausrüstung kann bislang nicht erneuert werden. Die hochwertigen Textilien müssen daher nach einer bestimmten Zeit ausgetauscht werden, selbst wenn sie optisch nicht beeinträchtigt sind. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Thüringischen Instituts für Textil- und Kunststoff-Forschung und des wfk-Instituts werden daher Flammschutzmittel auf Basis **nanopartikulärer Multischichtsysteme** entwickelt, mit denen sich die Schutzfunktion der Kleidung regenerieren lässt. Diese Multischicht-

systeme bestehen aus unbedenklichen, biologisch abbaubaren Substanzen, die aus dem nachwachsenden Rohstoff Chitin hergestellt werden. Die Beschichtung erfolgt im Spülbad. Die Substanz wird dem Wasser einfach zudosiert.

Passend dazu wurde am wfk-Institut ein Messverfahren entwickelt, mit dem sich die Schutzfunktion der Schutzkleidung überprüfen lässt. Zum Einsatz kommt dabei die sogenannte ● photoakustische Spektroskopie. Bislang gibt es keine Verfahren, mit denen man zerstörungsfrei prüfen kann. Bei der neuen photoakustischen Kontrolle jedoch wird die Kleidung mit periodisch modulierter Strahlung angeregt, wobei die Strahlung nur mit der flammhemmenden Ausrüstung in Wechselwirkung tritt. Dank speziell entwickelter Algorithmen wird die Oberfläche automatisiert ausgewertet. Geschädigte Bereiche der Ausrüstung lassen sich gezielt identifizieren. So wird es möglich, gebrauchte Kleidung erst dann zu tauschen, wenn es wirklich nötig ist. Abfälle werden reduziert.

Das Recycling von Textilien wird erheblich erleichtert, wenn diese in einem geschlossenen Kreislauf geführt werden und die Fülle an Materialien überschaubar bleibt. Denn dann sind die Einzelfasern, Faserzusammensetzungen und weitere Bestand-

teile der Gewebe bekannt. Bei Dienstkleidung, etwa im Gesundheitswesen, in der Gastronomie oder bei der Polizei, sind gleichartige Textilien in großen Mengen im Einsatz. Deshalb kann die Logistik rund um Dienstkleidung und Leasingmodelle ein guter Ansatzpunkt sein, um weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe zu realisieren. Im Projekt ● DiTex entwickeln Forschungsinstitute und Textilhersteller jetzt drei textile Produktlinien aus recycelten Fasern, die dann bei ausgewählten Kunden erprobt werden, darunter Bettwäsche, ein Businesshemd und ein Poloshirt. Die Textilien werden mit einem intelligenten Etikett versehen, das relevante Parameter des Stoffes speichert, etwa zum Materialmix aus natürlichen und synthetischen Fasern, zur Faserherkunft sowie zu den absolvierten Wasch- und Recyclingzyklen.

Der Branchenverband Ginetex hat eine App auf den Markt gebracht, die Verbraucher mit Pflegesymbolen vertraut macht. Die App ● Mein Pflegeetikett, hilft den Benutzern, ihre Kleidung im Alltag richtig und nachhaltig zu pflegen. Neben der Erläuterung der Pflegesymbole bietet die App Ratschläge zur Reinigung und Pflege der Textilien und gleichzeitig zum Schutz der Umwelt. Ferner gibt es Tipps zur Fleckentfernung. All das trägt dazu bei, dass Kleidung länger schön ist und getragen wird.

Die Nutzung und die Pflege beeinflussen die Langlebigkeit von Textilien sehr stark. Das muss in der Kreislaufwirtschaft stärker berücksichtigt werden. Künftig wird es mehr Miet- und Leasing-Angebote für Textilien geben, die eine schonende Wäsche und die Reparatur von Textilien mit anbieten.

Um besonders nachhaltig zu sein, sollten Produkte so gestaltet werden, dass sie sich reparieren lassen. Das ITM der TU Dresden hat daher ein chemisches Verfahren entwickelt, um beschädigte Bauteile aus carbonfaserverstärkten Kompositen schnell und einfach zu reparieren. So werden Abfälle vermieden. Besonders häufig werden CFK-Leichtbauteile an Autos beschädigt. In der Regel muss das Teil dann komplett oder teilweise ausgetauscht werden. Das ITM hat ein flexibles, lokal anwendbares Reparaturverfahren entwickelt. Mithilfe einer chemischen Reaktion wird die Matrix abgebaut und die Schadstelle dadurch freigelegt. Anschließend werden die vom Matrixmaterial befreiten Fasern in der Schadstelle entfernt. Mithilfe einer Simulation wird dann ein passender textiler Patch entwickelt. Dieser wird dann per Vakuum in das Bauteil eingefügt.

Re-Use

Polyacrylate werden in der Textilindustrie vielfältig genutzt. Sie kommen in Schlicht-, Druck- und Veredlungsprozessen zum Einsatz oder sind Bestandteil von Klebstoffen. Beim Recycling sortenreiner Textilien aber sind diese Verbindungen störend. Am wfk-Institut wird daher untersucht, inwieweit ● **Enzyme aus Mikroorganismen** geeignet sind, Polacrylat abzubauen. Während des Projektes sollen Mikroorganismen aus der Umwelt isoliert und dann geeignete Enzyme oder Enzymklassen identifiziert werden, die Polyacrylate besonders effizient abbauen. Zudem soll grundsätzlich herausgefunden werden, wie der Abbau funktioniert. In einem weiteren Schritt sollen neue Polyacrylate hergestellt werden, die besonders schnell mikrobiell beziehungsweise enzymatisch abgebaut werden können.

Im Cornet-Projekt ● **SusComTrab** hat das STFI zusammen mit Partnern nachhaltige faserverstärkte Kunststoffe entwickelt, die die Anforderungen für den Transport- und Baubereich erfüllen. Das wurde durch die Kombination von Vliesstoffen aus nachhaltigen Verstärkungsfasern wie Basaltfasern, rezyklierten Carbonfasern (rCF) und Naturfasern mit Harzsystemen auf Basis von Benzoxazinen und bio-basierten Epoxidharzen mit flammhemmenden Additiven erreicht. Das Projekt SusComTrab hatte sowohl die Hersteller von Verbundwerkstoffen und Harzen als auch die Textilindustrie als Zielgruppe. Auch Firmen, die im Transport- oder Bausektor tätig sind, können von den Ergebnissen dieses Projektes profitieren.

Das Projekt ● **CarboLace** verfolgt ebenfalls das Ziel, aus rCF hochwertige Produkte herzustellen. Dazu werden die Carbonfasern mithilfe von Wasserstrahlen zu Vliesstoffen verfestigt (Spunlace-Technologie). Die Vliese sollen künftig vor allem im Leichtbau zum Einsatz kommen. Dank der Wasserstrahlverfestigung habe die Vliese eine gute Drapierfähigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, was sie für viele Einsatzgebiete interessant macht – etwa den öffentlichen Personentransport, den Maschinenbau oder das Bauwesen.

Rezyklierte Carbonfasern standen auch im Projekt ● **VliesRTM** des STFI im Vordergrund. Darin wurde untersucht, inwieweit sich trockene, pyrolysierte oder auch mit Bindern versehene Carbonfaserabfälle für die Herstellung von Vliesen und faserverstärkten Bauteilen eignen. Neben unterschiedlichen Vliesbilverfahren wurden unterschiedliche Verfestigungsverfahren getestet. Als besonders geeignet für die Herstellung von Vliesstoffen erwiesen sich trockene Verschnittreste, welche als Absaugreste bei der Gelegeherstellung anfallen. Wie sich zeigte, lassen sich die rCF-Vliesstoffe sehr gut mit Carbonprimärfasertapes kombinieren. Letztlich wurden bessere mechanische Eigenschaften erreicht als bei klassischen Carbonfaservliesstoffen.

Auch im Projekt ● **VliesSMC** des STFI und des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT geht es darum, Vliesstoffe aus rezyklierten Kohlenstofffasern herzustellen. Im Projekt wird untersucht, wie sich verschiedenartige Kohlenstofffaservliesstoffe bei der Verarbeitung in der Sheet-Moulding-Compound-Prozesskette (SMC) verhalten. Beim SMC-Verfahren werden plattenförmige, teigartige Pressmassen aus Reaktionsharzen und Glasfasern zu Faserverbünden verpresst. Im Projekt soll unter anderem die optimale Lage der Fasern, die Hand-

habung der Halbzeuge und die Fließfähigkeit der Verbundmaterialien charakterisiert werden. Zudem werden spezifische Material- und Prozesseigenschaften validiert.

Nach dem Backen, der sogenannten Pyrolyse, von Carbonfasern fallen in der Regel Abfälle in Form von circa 50 Millimeter langen Carbonfaserresten an. Das Projekt ● **PyroNowo** des STFI hatte das Ziel, diese Abfälle mechanisch zu Vliesstoffen zu verfestigen, um diese künftig im industriellen Maßstab verwerten zu können. Bisher war diese Form der Verwertung aufgrund der schlechten Verarbeitungseigenschaften mit erheblichen Problemen verbunden. Im Zuge des Projektes wurden verschiedene Teilprozesse (Faseröffnung sowie Kardierung/Vernadelung) soweit optimiert, dass sich das Verarbeitungsverhalten signifikant verbessert hat. Insgesamt konnte die Fasereinkürzung über die gesamte Prozesskette um circa 40 Prozent verringert werden.

Problematisch bei der Produktion von Vliesstoffen aus rCF ist bisher die mitunter starke Staubentwicklung. Kernaufgabe des STFI-Projekts ● **DuReNo** war es daher, den Herstellungsprozess zu analysieren und so zu optimieren, dass er nahezu staubfrei ist. Betrachtet wurden die Faseraufbereitung durch Schneiden und Reißen, die Vliesbildung durch

Kardier- und Airlayverfahren und die Verfestigung durch Vernadelung. Im Rahmen des Projektes wurden erstmals im systematischen Umfang Untersuchungen zu neuralgischen Punkten der Staubentstehung sowie zu Maßnahmen zur Staubverminderung durchgeführt.

Im Projekt ● **RecyCarb** haben Industrie- und Forschungspartner eine ganze Wertschöpfungskette für rezyklierte Carbonfasern (rCF) aufgebaut, die sich für einen Wiedereinsatz in hochwertigen und anspruchsvollen Faserverbundbauteilen eignen. Der Fokus des Projektes lag auf der Entwicklung eines Schemas, mit dem sich die Qualität der Rezyklatchargen bewerten lässt. Dieses Schema orientiert sich an geltenden Industrie- und damit Qualitätsnormen. Aufgebaut wurde ferner ein prozessbegleitendes Monitoringsystem im Sinne der Industrie 4.0. Mit dem System lässt sich beurteilen, inwieweit sich Carbonabfälle aus unterschiedlichen Stufen des Herstellungs- und Rücknahmeprozesses wiederverwerten lassen. Hinzu kommt, dass die Faserorientierung während der Vliesstoffherstellung mit einem Bildanalyseverfahren online überwacht werden kann. Der Prozess soll durch ein Upscaling industriell und wirtschaftlich relevante Maßstäbe erreichen. Zum Projekt gehört auch, neue Marktsegmente für den Einsatz von rCF zu entwickeln und so ein Downcycling zu vermeiden.

Herkömmliche Re-Use-Ansätze konzentrieren sich vor allem auf hochpreisige Fasern, die einen kleinen Marktanteil haben. Daher braucht es vermehrt Lösungen für die großen Abfallströme, die vor allem aus Polyester und Mischgeweben bestehen.

Rezyklateinsatz

Carbonfaserabfall lässt sich heute nur schwer recyceln. Der Grund dafür ist die begrenzte und teils stark unterschiedliche Faserlänge der rCF. In der Industrie werden diese in der Regel zu Füllstoffen für Spritzgussanwendungen oder zu Vliesstoffen verarbeitet. Die Verwendung in Vliesstoffen ist jedoch noch eingeschränkt, weil sich die Faserbruchstücke nur schwer gleichmäßig ausrichten lassen. Auch der Faservolumengehalt ist limitiert. Ein erneuter Einsatz von rCF im strukturellen Leichtbau — etwa für Fahrzeuge — ist daher bislang nur bedingt möglich. Im Projekt ● CarboReFab entwickelt das ITA Augsburg daher ein Multiaxialgelege (MAG) aus drehungsfreien rCF-Bändern. Das neue rCF-MAG lässt sich in herkömmlichen Prozessrouten weiterverarbeiten. Über die Prozesskette werden die Fasern sehr schonend verarbeitet, wodurch im textilen Halbzeug hohe Faserorientierungen und Faserlängen erreicht werden. Die Einzellagen des rCF-MAG sollen circa 85 Prozent der Zugfestigkeit und 95 Prozent des Elastizitätsmoduls eines herkömmlichen aus Endlofasern hergestellten Halbzeugs erreichen. Der Faservolumengehalt soll vergleichbar sein.

Grundsätzlich sind Möglichkeiten, die hochflexibler rCF-Vliesstoff bietet, bislang nur lückenhaft erforscht. Das Projekt ● CO₂-SaVer will deshalb Vliesstoffe umfassend charakterisieren, um dann Anwendungen zu identifizieren und anschließend erste Versuchsbauteile zu bauen. Diese sollen sich später einfach wieder recyceln lassen. Die Bauteile werden sich durch eine durchdachte Funktionalität auszeichnen. Vorgesehen sind Komponenten für die Bereiche Akustik, Isolation, für die Abschirmung von elektromagnetischen Feldern oder für die Fertigung.

Sparsamere Flugzeuge können erheblich zur Einsparung von CO₂-Emissionen beitragen. Im Projekt ● EcoFloor entwickelt das ITA Augsburg daher ein Verfahren zur Produktion von Halbzeugen aus rCF, die dann zu Sandwichbauteilen für die Flugzeugkabine weiterverarbeitet werden. Da rCF zum Einsatz kommen, sind diese Produkte doppelt nachhaltig. Zudem sollen die Sandwichbauteile verbesserte Impact- und Akustikeigenschaften haben. Im Projekt sollen die rCF zu Multiaxialgelegen und Geweben verarbeitet werden. Wie auch im Projekt rCF-MAG sollen die Gewebe und Multiaxialgelege ähnliche mechanische Eigenschaften erhalten wie herkömmliche Lamine aus Endlofasern. Zudem soll die Produktion im Vergleich mit der Standardherstellung via Prepreg effizienter sein und die Bauteilkosten verringern. Das Verfahren wird an einer Bodenplatte mit neuartiger Sandwichbauweise ausgelegt und validiert.

Sogenannte thermoplastische Kunststoffe werden vor der Weiterverarbeitung weich gemacht, indem man sie erhitzt. Anschließend kann man sie mit Maschinen zum Bauteil formen. Dieses Verfahren wird als Thermoforming bezeichnet. Im Projekt ● ProMeTheuS des ITA Augsburg soll das Thermoforming weiterentwickelt werden, um künftig leistungsfähige, faserverstärkte Halbzeuge mit hohem Carbonfaser-Rezyklatanteil zu verarbeiten und so verschiedenen Branchen kostengünstigen Leichtbau zu ermöglichen. Dafür sollen Thermoforming-Halbzeuge entwickelt werden, die aus einem Mehrschichtverbund mit einer kostengünstigen Carbonfaser-Vliesstoffverstärkung bestehen. Diese Verstärkung soll zum großen Teil aus rezyklierten Rohstoffen bestehen und wiederholt recycelt werden können.

Thermoplastische Verbundmaterialien aus Vliesstoff sind eine relativ neue Materialklasse. Bisher lag die hauptsächliche Motivation für die Produktion darin, ansonsten als Abfallstoff entsorgte Carbonfasern zu nutzen. Allerdings konnten sie qualitativ nicht mit Produkten aus Primärfasern mithalten. Im Projekt ● KONKAV wird jetzt erstmalig das ganze Potenzial sogenannter teilkonsolidierter Vliesstoffe genutzt, um Bauteile zu entwickeln, die in ihrer ökonomisch-technischen Performance bestehende Bauweisen um ein Mehrfaches übertreffen. Teilkonsolidierte Vliesstoffe verfügen über Leichtbaueigenschaften, wie sie sonst nur mit aufwändigen und teuren Sandwichaufbauten erreicht werden. In bestimmten Anwendungen lässt sich damit auch das Gewicht von klassischen Sandwichbauteilen deutlich unterschreiten. Zudem ist die Fertigung einfacher als beim Sandwich. Flächige Bauteile aus teilkonsolidierten Vliesstoffen sind um ein Vielfaches kostengünstiger und können in einfachen, gut automatisierbaren und prozesssicheren Verfahren gefertigt werden.

Auch im Projekt ● ThessaForm geht es um Sandwichstrukturen, die auf rCF basieren. Konkret wird eine neue Bauweise für die Rumpfbauteile und weitere Komponenten von Flugzeugen entwickelt. Das Sandwichmaterial besteht aus einer gefalteten Kernstruktur und kann damit gut an die gewünschte Form angepasst werden. Sowohl der Kern als auch die Deckschichten werden aus so genanntem thermoplastischen Organoblechen geformt, die aus rCF hergestellt werden. Aufgrund der thermoplastischen Herstellung entfällt das im Flugzeugbau sonst übliche Kleben, was die Prozesszeiten um rund 20 Prozent verkürzt. Zudem sind die Bauteile leichter, was am Ende zur CO₂-Ersparnis beiträgt.

Noch ein Vorteil: Da der Kern und die Deckschicht des Sandwichs aus demselben Material bestehen, können die Bauteile gut recycelt werden.

Trotz der vielen Vorteile von rCF ist in vielen Fällen unklar, unter welchen Randbedingungen diese ökologisch, ökonomisch und funktionell genutzt werden können. Derlei Fragen will das Projekt ● MAI ÖkoCaP des ITA Augsburg beantworten. Neben trockenen Carbonfaserverschnitten werden darin auch recycelte Carbonfasern betrachtet, wobei zum Vergleich Bauteile aus Carbon- und Glasprimärfasern herangezogen werden. Letztlich soll im Projekt ein Entscheidungsmodell entwickelt werden, mit dem sich der Einsatz des Rezyklats für verschiedene Problemstellungen beziehungsweise Anwendungen anhand von verschiedenen Kriterien bewerten lässt. Das Entscheidungsmodell wird kleinen und mittleren Unternehmen über die ● Plattform Carbon Connected des Branchennetzwerks Composites United in Form einer App zur Verfügung gestellt. Ein schriftlicher Leitfaden stellt die Zusammenhänge und Berechnungsmethoden anhand beispielhafter Prozessketten dar.

In vielen Bereichen werden Verbundwerkstoffe nicht eingesetzt, weil sie noch zu teuer sind. Andererseits sind Leichtbaumaterialien so gefragt wie nie zuvor, beispielsweise bei der Fertigung von Orthesen. Dabei handelt es sich um Stützmannschetten oder -geräte, die man außen am Körper trägt. Im Projekt ● SuSea Sustainable Seat nutzt das ITA Augsburg jetzt Organovliesstoffe, die aus rCF bestehen und thermoplastische Anteile haben. Diese Vliesstoffe sind besonders steif, einfach zu verarbeiten und vergleichsweise preiswert. Das Material kann zudem in Heißpressprozessen verarbeitet

werden. Dass sich Organovliesstoffe zu speziellen Sitzorthesen verarbeiten lassen, wurde in Vorversuchen bereits bestätigt. Diese waren um bis zu 30 Prozent leichter als konventionelle Orthesen aus Thermoplastplatten. Das Ziel des aktuellen Projektes ist, aus dem Material prototypische Sitzorthesen zu fertigen, die sich in Serie herstellen lassen. Diese sollen leichter als bisherige Sitzorthesen sein und in etwa gleich viel kosten.

Derzeit werden rund 13 Prozent der weltweiten Carbonfaser-Produktion im Sport- und Freizeitbereich gebraucht. Damit liegt dieser Bereich zusammen mit der Windkraftbranche auf dem 3. Platz. Insofern ist es erstrebenswert, auch in dieser Branche den Anteil an rezykliertem Material zu erhöhen. Da die Sport- und Freizeitindustrie sehr dezentral aufgestellt ist, fehlt es bisher aber an durchgängigen Nachhaltigkeitskonzepten. Im Projekt  Eco-Board will das ITA Augsburg jetzt ein rundum nachhaltiges Board für den Wassersport herstellen. Dazu gehört der Einsatz von rezykliertem Fasermaterial, von bio-basierten Harz-/Klebesystemen, von Recyclingkunststoff oder Polymer-Schaum aus Pflanzen. Letztlich sollen das Eco-Board und alle Anbauteile aus nachhaltigen Rohstoffen hergestellt werden.

Verarbeitet werden heute fast ausschließlich hochwertige Rezyklate wie zum Beispiel Carbonfasern. Die großen Massenströme der billigen Materialien wie etwa Polyester werden kaum genutzt. Die Verarbeitung solcher Materialien beziehungsweise deren Rezyklate müssen wirtschaftlicher werden, um die starke Konkurrenz durch Virgins zu überwinden.

Weitere Projekte

Die im Folgenden vorgestellten Projekte lassen sich nicht einzelnen Wertschöpfungsstufen zuordnen. Vielmehr handelt es sich um Querschnittsprojekte, die verschiedene Aspekte der Kreislaufwirtschaft vereinen.

Im Projekt ● **BioHyg** will das STFI nachhaltige Hygieneprodukte auf biologischer Basis entwickeln. Diese bestehen aus einem Verbund von drei bis vier vliesstoffbasierten Einzellagen. Die neuen Produkte sollen dieselbe Performance haben wie die handelsübliche Ware. Letztlich sollen sie helfen, den Verbrauch von Einmal-Produkten im Hygienebereich zu verringern.

Das STFI-Projekt ● **BioBagFil** hat das Ziel, industrielle Taschenfilter aus nachhaltigen Vliesstoffen herzustellen. Die Vliesstoffe sollen auf der Basis von biobasierten Kunststoffen produziert werden und damit zu einem CO₂-neutralen Produktionskreislauf beitragen. Zum Einsatz kommen Rohstoffe biogenen Ursprungs, darunter Polymilchsäure (PLA), Polybutylensuccinat (PBS) oder Polyhydroxyalkanoat (PHA) beziehungsweise Polyhydroxybuttersäure (PBS). Diese sollen erdölbasierte Rohstoffe langfristig ersetzen.

Für Decken, Jacken und Schlafsäcke im Outdoor-Bereich will das Projekt ● **Sustainable Sleeping** eine biobasierte Isolationsfüllung mit hohem Saug- und Rückstellvermögen entwickeln. Die Isolationschicht soll dabei aus Vliesstoff oder Fasermaterial bestehen. Das neue Material soll Füllungen aus Daunen oder Kunststofffasern substituieren.

Ganz ähnlich verfolgt auch das STFI-Projekt ● **BioMask** das Ziel, Mund-Nasen-Masken aus biogenen beziehungsweise biologisch abbaubaren Materialien herzustellen, um die Menge nicht abbaubarer Kunststoffabfälle und von Mikroplastik in der Umwelt zu verringern.

Ein ganz anderes Anwendungsgebiet nimmt das Projekt ● **GRO COCE** in den Fokus. Hier geht es darum, Naturfaserverstärkungen für Holzbalken mit großer Spannweite zu entwickeln. Das Projekt setzt neue Methoden ein, um Hanffasern aufzubereiten und die Eigenschaften der Fasern optimal auszunutzen. Untersucht wird auch, wie sich die Reste der Naturfasern verwerten lassen, die bei der Herstellung der Halbzeuge anfallen.

Längst nicht alle Textilprodukte lassen sich heute mit hoher Qualität wiederverwenden. Dazu zählen Technische Textilien, Heimtextilien oder Bau-, Geo- und Hygienetextilien. Für diese Gruppen fehlt bislang ein geschlossener Recycling-Kreislauf. Das liegt daran, dass die Qualität vieler solcher Textilien nicht für den Wiedereinsatz in textilen Produkten ausreicht. Das ITA Augsburg will daher in einer ● **Studie alternative Verwertungswege** finden, insbesondere im Zusammenspiel von energetischer und stofflicher Nutzung. Betrachtet werden auch das ökonomische und ökologische Potenzial. Der regionale Schwerpunkt liegt auf Bayern.

Das europäische Verbundprojekt ● **CISUFLO** wiederum hat das Ziel, die Umweltauswirkungen des Bodenbelagssektors in der Europäischen Union zu minimieren. Die Partner aus Industrie und Forschung erarbeiten systematisch einen Rahmen für kreislauffähige und nachhaltige Bodenbeläge. Die verschiedenen Arbeitspakete und die sechs Pilotanwendungen berücksichtigen sowohl technische Aspekte als auch sozioökonomische Faktoren. Die Pilotprojekte reichen von der Produktion von Bodenbelägen mit mehr als 90 Prozent Rezyklat-Anteil bis zur automatischen Detektion von Produktionsausschuss.

Für die Produktion von Bekleidung wird zum großen Teil Neuware eingesetzt, davon etwa 55 Prozent Polyester und 27 Prozent Baumwolle. Die meisten Produkte sind Mischgewebe aus Baumwolle, Polyester und Elastan. Der textile Abfall wird zum Großteil thermisch verbrannt oder zu Putzlappen, Dämm- und Füllmaterial verarbeitet. Damit gehen die Ausgangsstoffe der textilen Industrie für einen erneuten Einsatz zur Produktion hochwertiger Ware verloren. Eine Alternative wäre ein ● **Recycling mit grünen Lösemitteln**, das derzeit am DTNW entwickelt wird. Dieses wäre in der Lage, verschiedene Fasern und Polymere zu lösen. Aus diesen Lösungen könnten per Wet-Spinning und Melt-Spinning direkt neue Fasern gesponnen werden. Im Fokus des Projektes steht vor allem die Rückgewinnung von Polymeren — sowohl von High-Performance-Polymeren als auch Polymeren aus Mode-Textilien und Schutzbekleidung. In Vorversuchen konnten bereits Mischgewebe aus Elastan und Baumwolle durch verschiedene Lösungsmittel voneinander getrennt werden. Am Ende soll ein ökonomisch und ökologisch relevanter Prozess zur Verfügung stehen, der in vielen Fabriken kostengünstig und einfach etabliert werden kann.

Lösungen im Markt

Die im Folgenden vorgestellten Lösungen zeigen nur einen Ausschnitt von Produkten und Services. Natürlich gibt es noch viele weitere Lösungen. Der Fokus der Studie liegt auf der Forschung und dem Blick in die Zukunft. Die Beispiele wurden insbesondere nach diesen Kriterien ausgewählt.

Die Firma Velener Textil hat eine Recycling-Methode für Garnspulen und Zuschnittreste aus dem Produktionsprozess entwickelt — das **WECYC-LED-System**. Die Firma holt Garn- und Gewebereste kostenlos bei den Produzenten ab. Mitarbeiter von Behindertenwerkstätten trennen das Garn und die Spule, bevor die Baumwoll-Reste zu Einzelfasern aufgelöst werden. Diese mischt man dann mit Frischbaumwolle aus verantwortungsvollem Einkauf und verspinnt sie anschließend anhand individueller Spezifikationen der Kunden zu WECYCLED-Garnen.

Anhand der neu entwickelten **Ecojacket** zeigt die Peppermint Holding aus Berlin, wie Biopolymere und nachwachsende Rohstoffe durch technische Innovationen genutzt werden können, um Produkte kreislauffähig und zugleich langlebiger zu machen. Die aus biogenen Rohstoffen hergestellten Materialmischungen sollen vor allem zu robuster Bekleidung für das Leasing verarbeitet werden. In der Jacke sollen biogene Fasern, etwa aus Wolle oder Polyhydroxybuttersäure (PBS), und Knöpfe aus Steinnuss oder auch 3D-gedruckten Bio-Kunststoffen zum Einsatz kommen. Ferner werden in der Ecojacket Farben und Hilfsmittel eingesetzt, die dem Cradle-to-Cradle-Prinzip entsprechen. Betrachtet werden unter anderem auch die Rückverfolgbarkeit der Produkte und die Verrottungsprozesse.

Die junge Startup-Firma **Eeden** aus Mönchengladbach wiederum hat ein chemisches Verfahren entwickelt, mit dem sich Zellulose aus Baumwolltextilien zurückgewinnen lässt. Die Zellulose dient

dann als Ressource für neue Fasern, wie Lyocell oder Viskose. Momentan steht die Firma vor ihrer Startfinanzierung, mit der der Übergang aus dem Labor in größere Maßstäbe gelingen soll. Darüber hinaus sucht die Firma aktiv nach Partnern, die dieses Upcycling-Konzept unterstützen wollen.

Ganz ähnlich verarbeitet die finnische Firma Infinited Fiber mit einer patentierten Technologie cellulose-reiche Abfälle, die sonst auf der Mülldeponie landen oder verbrannt würden — alte Textilien, gebrauchte Pappe, Ernterückstände wie Reis- oder Weizenstroh und vieles mehr. Die Abfälle werden chemisch bis auf die Polymerebene aufgespalten und dann zu einer neuen Faser mit dem Namen **Infinna™** verarbeitet — einer Textilfaser, die aussieht und sich anfühlt wie Baumwolle und wissenschaftlich als Cellulosecarbamatfaser bezeichnet wird.

Ebenfalls in Finnland zuhause ist die Firma **Spinnova**, die eine Technologie entwickelt hat, um Textilfasern aus Holzrohstoffen ohne schädliche Chemikalien und mit minimalem CO₂-Fußabdruck herzustellen. In Kooperation mit Adidas wurde ein Kapuzenpulli entwickelt, der auf Holzfasern basiert, die zunächst mechanisch zerkleinert werden, um den Einsatz von schädlichen Chemikalien zu vermeiden. Durch die Verwendung der natürlichen Farbe des Materials und den Verzicht auf Färb- oder Bleichchemikalien verbraucht die Produktion des Hoodies weniger Wasser als bei herkömmlichen Färbverfahren.

Mit der Klimaerwärmung wird der Kühlbedarf durch Klimaanlage künftig weiter zunehmen. Das wiederum führt zu erhöhtem Strombedarf, der seinerseits den Klimawandel beschleunigt, sofern der Strom nicht regenerativ erzeugt werden kann. Die Firma Pervormance International hat deshalb kühlende Textilien für Bekleidung entwickelt, die auch bei großer Hitze die Temperatur an der Körperoberfläche deutlich senken. Basis der Textilien ist das Vlies **COOLINE**. Es hat die Eigenschaft, große Mengen Schwitzwasser vom Körper aufzunehmen und sekundenschnell im Innern des 3D-Materials zu binden und auf den 3D-Fasern fest zu speichern. Insgesamt ergibt sich eine große Oberfläche, an die sich Wassermoleküle anlagern können. Diese ist in der Lage, den Körper auch bei großer Hitze ausreichend zu kühlen und so Klimaanlage unnötig zu machen.

Die Firma **Airpaq** hat einen trendigen Upcycling-Rucksack entwickelt, der aus verschrotteten Airbags, Auto-Sitzgurten und Gurtschlössern besteht. Das Designkonzept basiert auf der Idee, gleichermaßen Wert auf Funktionalität, Ästhetik und Nachhaltigkeit zu legen. Die Sitzgurte und Gurtschlösser stammen von Schrottplätzen, die Airbagstoffe aus der Ausschussware eines großen Herstellers. Die direkte Verarbeitung des Schrotts und der textilen Abfälle spart Ressourcen ein, weil die Materialien auf einer hohen Wertschöpfungsstufe wiederverwendet werden.

Die Firma Bleed Clothing aus Helmbrechts hat mit dem **ECO⁴Sneaker** einen Schuh auf den Markt gebracht, der in mehrfacher Hinsicht nachhaltig ist.

Das Obermaterial besteht zu 75 Prozent aus Baumwolltextilresten und zu 25 Prozent aus recyceltem PET und ist somit besonders langlebig. Die Sohle wird aus alten Autoreifen gefertigt. Die Schuhe werden in Portugal handgefertigt. Während konventionelle Sneaker bei der Herstellung 16 bis 41 Kilogramm Kohlendioxid freisetzen, würden bei der Herstellung des neuen Sneakers nur gut vier Kilogramm frei, so der Hersteller.

In Berlin wurde mit dem **A-Gain-Guide** eine digitale Plattform für Menschen entwickelt, die gebrauchte Kleidung nachhaltig nutzen wollen. Im Fokus steht eine App mit Kartenfunktion, die den Verbrauchern den Weg zu entsprechenden Anlaufstellen zeigt: zu Secondhand-Läden, Schustereien, Änderungsschneidereien, Altkleidercontainern oder auch Designern, die gebrauchte Textilien reparieren oder zu neuen Produkten verarbeiten.

Die Firma modus intarsia produziert aus der Unterwolle von Hunden luxuriöse und besonders weiche Wollgarne und -produkte in Deutschland. Zum Einsatz kommen Haare, die bei der täglichen Fellpflege anfallen — eine bislang ungenutzte Ressource. Das Unternehmen legt ferner Wert darauf, handwerkliche Traditionen durch die Herstellung von Handstrickgarnen zu erhalten. **Chiengora®** ist jetzt das weltweit erste industriell gesponnene Garn aus Hundewolle am Markt. Weitere Innovationen wie Garne aus Katzenwolle oder Pferdehaar sind in der Entwicklung.

Für das hochwertige Recycling von PET-Kunststoffen hat die Firma Rittec Umwelttechnik zusammen

mit der Technischen Universität Braunschweig die neue ● **revolPET®**-Technologie entwickelt. Abfall-PET wird aufgelöst und so in seine Bestandteile aufgespalten: die Monomere Terephthalsäure (TA) und Ethylenglykol (MEG). Diese können dann wieder für die Produktion von Neuware eingesetzt werden. Gegenüber der Produktion aus Rohöl werden mehr als 45 Prozent der CO₂-Emissionen eingespart. Ein großer Vorteil des Verfahrens ist die Toleranz gegenüber anderen Polymeren oder Stoffen. Sie reagieren nicht, werden aus dem Prozess ausgeschleust und in anderen Verfahren weiterverarbeitet. So ist die revolPET®-Technologie in der Lage, PET zum Beispiel aus Verbünden herauszulösen. Damit werden Roh- und Wertstoffe wieder nutzbar, die bislang verbrannt oder deponiert werden.

Das Recycling von textilen Materialien ist noch immer eine Herausforderung, weil die daraus gewonnenen Textilien meist eine geringere Qualität als Neuware haben. Bisher war es zum Beispiel technisch nicht machbar, aus recycelten Textilien dynamische Kletterseile herzustellen, die den hohen Sicherheitsanforderungen nach EN 892 entsprechen. In einem gemeinsamen Projekt ist es den Firmen Edelrid und Hoffmann & Voss jetzt zusammen mit dem ITA der RWTH Aachen gelungen, ein vollwertig zertifiziertes ● **Kletterseil** herzustellen, das zu 50 Prozent aus Seilresten besteht, die in der Produktion anfallen. Um die Seilreste direkt wieder dem Produktionskreislauf zuführen zu können, wird das Ausgangsmaterial zermahlen, zu Agglomerat und anschließend zu Granulat verarbeitet. Die Herausforderung bestand darin, spinnbares Material zu erhalten, aus dem Hochleistungsgarne produziert werden können, welche die hohen Anforderun-

gen an Festigkeit oder Dehnung erfüllen. In dem Projekt ist es gelungen, die Maschineneinstellungen und den kompletten Herstellungsprozess auf die Produktion des rezyklierten Seils abzustimmen. Das Seil ist seit Frühjahr 2021 als weltweit erstes dynamisches Recyclingseil im Handel erhältlich.

Durch das Waschen und die Nutzung von Textilien aus Kunststoffen gelangen permanent Mikroplastikpartikel in die Umwelt. Die Menge der Partikel ist dabei von Textil zu Textil unterschiedlich. Die Hohenstein Laboratories haben daher ein nach ● **DIN SPEC standardisiertes Verfahren zur Klassifizierung von Textilien** entwickelt, mit dem sich der Austrag von Mikroplastikpartikeln während des Gebrauchs und insbesondere beim Waschen bewerten lässt. Ein wichtiger Parameter ist die Faserfreisetzung. Darüber hinaus werden die Partikel nach biologischer Abbaubarkeit und der Geschwindigkeit des Abbaus klassifiziert. Zudem wird geprüft, inwieweit die Partikel in der Umwelt toxisch wirken. Die neue DIN-Spezifikation ermöglicht es Unternehmen erstmals, neue Textilerzeugnisse, die weniger Fasern abgeben oder Textilien aus Naturfasern, biobasierten oder biologisch abbaubaren Fasermaterialien enthalten, zu prüfen, zu bewerten und zu vergleichen.

Betont werden sollte, dass es bereits heute Dienstleister gibt, die gebrauchte Arbeits- und Schutzkleidung nicht nur waschen, sondern bei jeder Wäsche zugleich auf Schäden kontrollieren, um die Textilien dann zu reparieren. Zu den Unternehmen, die diesen Komplettservice bereits anbieten, gehört die Firma ● **CWS** aus Duisburg. Das Unternehmen holt verschmutzte Wäsche ab, reinigt diese und lässt beschädigte Teile bei einem Dienstleister über-

arbeiten und reparieren. Geprüft wird ferner die Funktionalität. Die saubere und geprüfte Wäsche wird dann wieder an den Kunden ausgeliefert. CWS geht davon aus, dass der Mietservice inklusive Reparatur gegenüber gekaufter Kleidung den Ausstoß an Kohlendioxid um etwa die Hälfte verringert.

Die Hohenstein Laboratories bieten einen Service, mit dem sich Wäschereien im Hinblick auf ● **Nachhaltigkeit schnell und digital zertifizieren** lassen können. Während des Prozesses werden die Unternehmen durch ein dreistufiges, webbasiertes Verfahren und Schulungsvideos angeleitet. Die Firmen werden umfassend darin unterstützt, die Nachhaltigkeit in ihrem Unternehmen auszubauen. Ein solches Zertifikat kann für künftige Ausschreibungen von großem Nutzen sein.

Für Unternehmen, die sich darüber hinaus umfassend über Nachhaltigkeitsthemen informieren oder ihre Mitarbeiter darin schulen möchten, bietet die Hohenstein Academy unter dem folgenden Link eine Reihe von ● **E-Learning-Videos** an: www.hohenstein-academy.com/e-learning-videos

Auf dem Weg

In Anlehnung an die vor zwei Jahren erschienene Zukunftsstudie »Perspektiven 2035« wurden die Ergebnisse aus den Workshops und aus der Online-Befragung zur Kreislaufwirtschaft wieder drei Zeitabschnitten zugeordnet — den Jahren bis 2025 (kurzfristig) und den Fünfjahreszeiträumen von 2025 bis 2030 (mittelfristig) und von 2030 bis 2035 (langfristig). Während die Herausforderungen für die kommenden drei Jahre bereits klar umrissen sind, ist eine Einschätzung für die Jahre 2030 bis 2035 schwieriger.

Aus den in den Workshops zusammengetragenen Herausforderungen und Perspektiven hat das Studienteam eine Roadmap entwickelt, die auf den folgenden Seiten dargestellt wird. Diese Roadmap fasst die Entwicklungsschritte zusammen, die bis zum Jahr 2035 vollzogen werden müssen, um die heutigen Produktions- und Wertschöpfungsstrukturen auf die Kreislaufwirtschaft umzustellen. Die Roadmap zeigt im Detail, welche technologischen Schritte, welche Produkte und Services und welche Veränderungen bei den Geschäftsmodellen nötig sind, damit die Transformation gelingt. In der Roadmap sind außerdem Meilensteine hervorgehoben, die für die Transformation besonders wichtig sind.

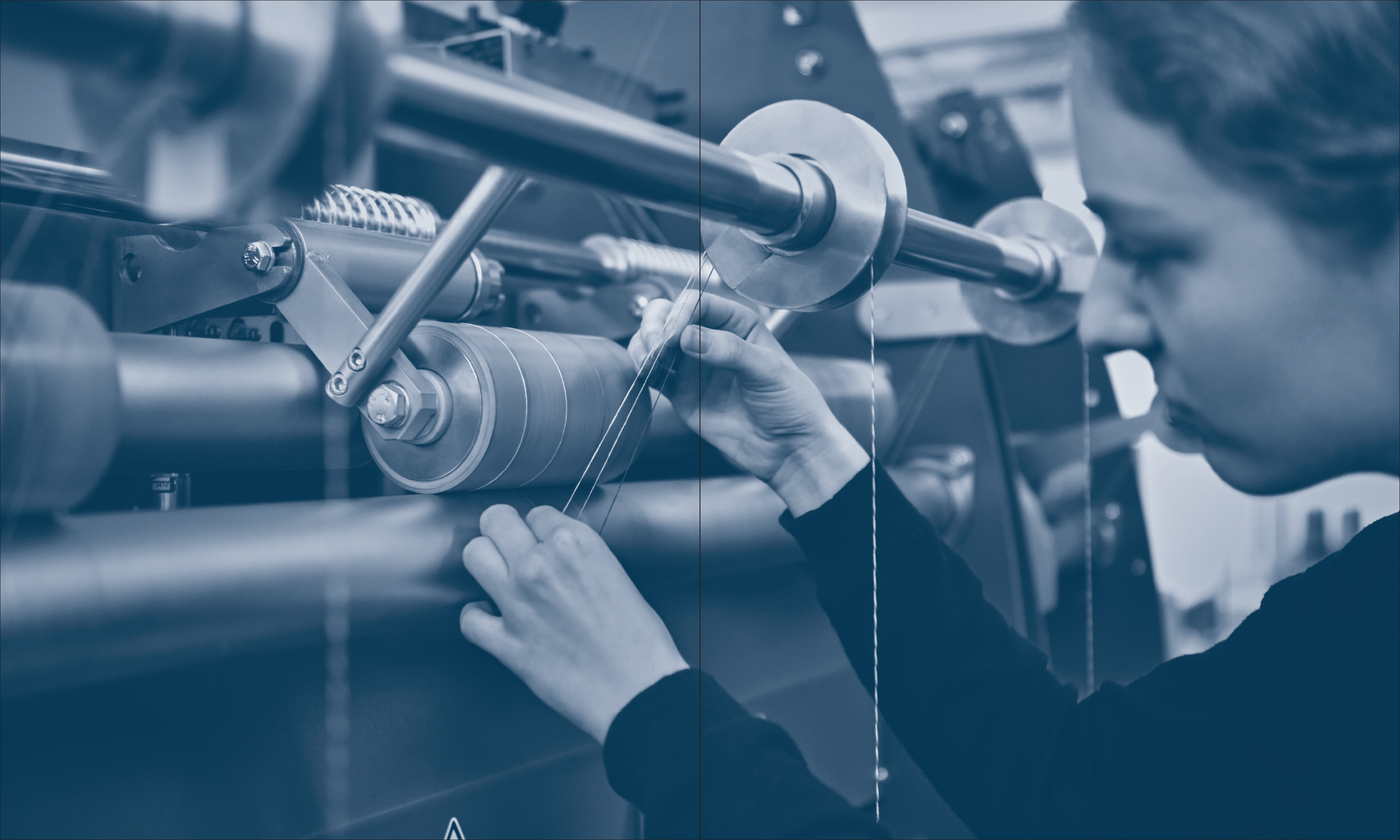
Wie erwähnt, wurden für diese Studie Expertinnen und Experten auch online befragt. Unter anderem sollten sie einschätzen, wann bestimmte Meilensteine erreicht werden könnten. Auf den folgenden Seiten befindet sich ein Überblick über die Ergebnisse dieser Befragung. Für einige notwendige Veränderungen sehen die Fachleute noch eine zu geringe Dynamik, um das angestrebte Ziel der Kreislaufwirtschaft in der vorgegebenen Zeit zu erreichen. Die Studie präsentiert deshalb am Ende des ersten und zweiten Fünfjahreszeitraums konkrete Handlungsempfehlungen. Diese sollen die Unternehmen, die Forschungseinrichtungen und die Politik bei der Transformation unterstützen. Für das letzte Jahrfünft können noch keine validen Handlungsempfehlungen gegeben werden, weil sich die Situation ab 2030 kaum einschätzen lässt. Sie hängt letztlich davon ab, welche Entwicklungen zwischen 2022 und 2030 tatsächlich stattfinden werden.

Worum es geht



Die Transformation der Textilindustrie

Der Roadmap-Prozess verdeutlicht, was Expertinnen und Experten für die kommenden 13 Jahre erwarten. Er zeigt Hindernisse auf, gibt aber auch Handlungsempfehlungen. Skizziert werden ferner künftige Anwendungen und Geschäftsmodelle sowie die Entwicklung neuer Technologien.



1 2022 — 2025

Zeit des Umbruchs

Hindernisse außerhalb des Einflussbereichs der Textilbranche

Auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft gibt es viele Hindernisse, die von außen auf die Textilbranche einwirken und die Transformation erschweren. So fehlt es bislang an finanziellen Anreizen für den Kauf nachhaltiger Kleidung oder an Fördermaßnahmen, die die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle unterstützen. Die entsprechenden politischen Rahmenbedingungen müssen teils erst noch geschaffen werden.

So fehlt es beispielsweise noch an Normen für die Lebenszyklusanalyse oder die Ermittlung des Umwelt-Fußabdrucks von Produkten (Product Environmental Footprint, PEF).

Andererseits stehen heutige Industrie-Normen der Einführung von Rezyklaten teils noch im Weg. Lässt sich beispielsweise mit einer rezyklierten Faser eine Farb-Norm nicht erreichen, weil sie einen Grauschimmer erzeugt, wird sie nicht verwendet.

Hinderlich ist derzeit auch, dass die Transportketten und Massenströme bislang noch nicht ausreichend digitalisiert sind. Dies wäre wichtig, um die Stoffströme lückenlos zu erfassen.

Zum anderen wird es erst durch die Digitalisierung möglich, die Herkunft von Materialien zu verfolgen, um Nachhaltigkeitsstandards überprüfen zu können.

Herausfordernd wird es für die Textilunternehmen auch sein, steigende Ansprüche der Kunden an die Textilien zu erfüllen, die sich im Zuge der Kreislaufwirtschaft ergeben — beispielsweise, wenn textile Halbzeuge für Industrieprodukte ganz neue Funktionen oder Anforderungen erfüllen sollen.

Wichtig ist auch, dass insbesondere Reststoffe, die aus sehr alten Materialien stammen, keine Schadstoffe enthalten. Die Rezyklate müssen so aufbereitet werden, dass sie keine Problemstoffe an die Umwelt abgeben.

Hindernisse im Einflussbereich der Textilbranche

Zu den Hindernissen, die innerhalb des Einflussbereichs der Textilunternehmen liegen, zählt unter anderem, dass es in der Branche teils noch an Bewusstsein für Nachhaltigkeit mangelt und dafür, dass Kreislaufwirtschaft notwendig ist. Insofern überrascht es nicht, dass das Wissen über etablierte oder künftige Erfassungs- oder Recyclingoptionen, innerhalb der Branche noch relativ gering ist. Auch fehlt es an Sammel- und Sortiersystemen sowie Verfahren für hochwertiges Recycling.

Hinzu kommt, dass die textile Wertschöpfungskette nur zum Teil transparent ist, womit den Textilunternehmen wichtige Informationen über die Verfügbarkeit alternativer Materialien fehlen.

Insgesamt werden biobasierte Produkte oder Rezyklate wie Recycling-PET aktuell nur in Nischen eingesetzt.

Ein Hindernis beim Umstieg auf derartige alternative Stoffe ist bislang noch die mangelnde Qualität der aus Rezyklaten hergestellten Produkte. Hier gibt es noch Optimierungsbedarf. Allerdings verursacht der Umstieg auf biobasierte oder rezyklierte Rohstoffe zunächst höhere Kosten, weshalb manche Textilunternehmen noch zögern. Das führt aber auch dazu, dass die Kundenbedürfnisse bei der Entwicklung neuer Kollektionen noch nicht ausreichend berücksichtigt werden. In der Branche heißt es heute mitunter noch im Original-Ton: »Irgendwem wird es schon passen«.

Für die künftige Kreislaufwirtschaft ist es wichtig, dass Alttextilien möglichst in vollem Umfang in den Kreislauf zurückgeführt werden. Dies lässt sich bereits kurzfristig erreichen, wenn Textilien problemlos bei dem Unternehmen abgegeben werden, das es hergestellt hat.

Digitale Werkzeuge, die das Angebot an Reststoffen mit dem Bedarf der Wiederverwerter abstimmen, können helfen, die Stoffströme entsprechend zu steuern. EU-weite Regelungen können zusätzlich dazu beitragen, bestimmte Sekundärrohstoffe im Markt zu etablieren.

Das Interesse an Rezyklaten ließe sich in den kommenden drei Jahren durch Förderungen und Subventionen erheblich steigern.

Ein einfacheres Produktdesign wiederum kann die Wiederverwertung der Textilien erleichtern. Hier sind auch die Industriekunden der Textilbranche gefragt, die die Wiederverwertbarkeit, durch entsprechende Veränderungen der Endprodukte beeinflussen können.

Forschung und Materialentwicklung dürften bereits in den kommenden drei Jahren diesbezüglich viele neue Ansatzpunkte und Lösungen liefern.

Biobasierte Materialien liegen schon jetzt im Trend. So werden aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnene Substanzen genutzt, um daraus Fasern zu synthetisieren. Noch nachhaltiger kann es sein, Pflanzenfasern direkt zu nutzen, weil dadurch die aufwendige Synthese entfällt.

Technologien		Anwendungen	Geschäftsmodelle
Zirkuläres Design	· Entwicklung von sortenreinen Textilien (PET, PP, PA, etc.) · Design for Recycling	· Breite Anwendungsmöglichkeiten in allen textilen Produktbereichen u. a. auch bei Faserverbund-Bauteilen · Prinzip in allen Entwicklungsabteilungen vorgeben	· Kreislaufführung der eigenen Kollektionen / Produktleasing
Faserherstellung	· Optimierung von Recycling-Fasermischungen und Wertanmutung / höchste Qualität der Primärmaterialien, sonst mechanisches Recycling obsolet · Verbesserte Karden für die Erhöhung des Recyclingfaseranteils für Baumwolle	· Herstellung von Metallfasergarnen, Fasern aus Polypropylenabfällen und Fasern aus Chitosan · Herstellung neuer Naturfasertypen auf Basis von Ananasabfällen, Hopfen, Hanf · Materialtests alternativer biobasierter Rohstoffe für die textile Nutzung · Nutzung von bis zu 35 Prozent recycelten Garnen bei Baumwolltextilien	· Erste Rohstoffplattformen entstehen
Spinnerei	· Weiterentwicklung von Spinnverfahren, Spinnbarkeit von Rezyklat-Dope erhöhen	· Recycelte Baumwollfasern in Denimgewebe: Best Practice · Flexibilisierung mit kleineren Produktionseinheiten	· Production on Demand — Produktionschargen mit kundenspezifischen Parametern lohnen sich zunehmend, da immer mehr Rezyklate eingesetzt werden
Flächenherstellung	· Neuartige Flächengebilde aus Recyclingsträngen, ggf. mit anwendungsspezifischen Rezyklat-Füllmaterialien · Nassvliesstoffe aus Kurzfasern / spezielle Faserblends	· Derzeit verwenden wir einen kleinen Teil unseres Produktionsabfalls, um daraus Teppiche herzustellen, die custom-designed sind. Da dieses Verfahren viel Handarbeit beinhaltet, können wir jedoch nur eine kleine Menge unseres Produktionsabfalls verwerten (www.13rugs.com) · Kunststoffersatz in Verpackungen · Holzersatz	· Production on Demand — Produktionschargen mit kundenspezifischen, recycelten Materialien lohnen sich zunehmend, da vermehrt Kunden in der Lieferkette solche Zwischenprodukte, Endprodukte oder Halbzeuge einfordern.
Veredlung	· Entwicklung recyclingfähiger Ausrüstungen/Beschichtungen · 100 Prozent REACH-konform · Forderung, Wasser und Chemikalien zu sparen, Recyclingfähigkeit/ Abtrennbarkeit von Chemie und Faserstoffen	· Breite Anwendungsmöglichkeiten in allen textilen Produktbereichen u. a. auch Faserverbund-Bauteilen · Auch hochspezialisierte Textilien werden von neuen Ausrüstungen profitieren z. B. im PSA- oder medizinischen Bereich · Rückgewinnung der Beschichtungen über Lösemittelprozesse	· Zentrale Anlagen aufbauen, damit wirtschaftliches Arbeiten möglich wird
Konfektion	· Automatisierung der Konfektion	· Breite Anwendungsmöglichkeiten in allen textilen Produktbereichen	· Production on Demand und »Customized Production« werden stetig verbessert

		Zeit des Umbruchs	
Funktionalisieren	· Neue Rezepturen nach aktuellem Chemie und Umweltrecht	· Ausführliche Testung, dann Produktion	· Absprache mit Kunden
Ausrüsten	· Neue Rezepturen nach aktuellem Chemie und Umweltrecht	· Ausführliche Testung, dann Produktion	· Absprache mit Kunden
Halbzeug	· Wasserstrahlverfestigung im Herstellungsprozess von Carbonfaservliesstoffen (Carbon-Spunlace-Vliesstoffe)		
Endprodukt		· Carbon-Spunlace-Vliesstoffbasierte Komposite mit hohem rCF-Anteil	
Nutzung/Pflege	· Bioinspirierte Absorbersysteme zur effektiven Entfeuchtung im Trocknungsprozess · Degradierbare Soil-Release-Systeme auf Basis ambiaffiner Polymere · Plasma-aktiviertes Wasser zur desinfizierenden Aufbereitung hygienisch anspruchsvoller Textilien · Digitaler Produktpass	· Innovative Recyclingprodukte: Flockenstrick, textile Speicher- und Sickerelemente · Digitaler Produktpass als Enabler für gezielten Informationsfluss an: zum Beispiel Recycler (Materialzusammensetzung, etc.) oder Kundschaft (Infos zur Pflege, Waschanleitung, Reparatur, etc.)	· Neue Nutzungsmodelle und Ausweitung bestehender Miet-/Leasing-Modelle werden durch den digitalen Produktpass ermöglicht bzw. einfacher zugänglich gemacht · Reparatur, Aufwertungsangebote (zum Beispiel Re-Imprägnierung) lohnen sich
Re-Use	· Reparaturfähige Gewebekonstruktion · Lokale Reparatur von Verbundbauteilen / Herauslösen der Matrix aus der Faserstruktur · automatisierte Regranulierung von Produktionsabfällen	· Textilservice: Leasing von Arbeitsbekleidung, Hotelbettwäsche etc. · eigentlich nicht problematisch, sondern ein Beispiel für »Sharing« — Best practice / Idee auch für andere Textilien	· Der Handel mit Secondhandkleidung weitet sich aus (Reselling, Rebranding) · Reparaturservice wird zunehmend angeboten · Product-as-a-Service-Modelle etablieren sich, werden auf weitere Produkte ausgeweitet · Schließen produktionseigener, interner Wertstoffkreisläufe zur Reduzierung von Materialkosten/ unabhängig von Lieferanten und Lieferketten
Sammeln	· Digitalisierte Sammel- und Erfassungssysteme · Einsatz von Spektrometern für die Erfassung · optimierte automatisierte Alttextillogistik	· Neue Technologien der Sortierung und Logistik werden sowohl in der Alttextilbranche eingesetzt, können aber auch auf andere Branchen übertragen werden · Spektrometrie kann nicht nur in der Erfassung eingesetzt werden sondern auch in der Produktion, um Material/Produktqualität zu steigern · Eigene Produktionsabfälle sortenrein sammeln und abgeben bzw. aufbereiten	· In-House-Sortierung zum Beispiel zur optimierten Vorsortierung von Produktionsabfällen wird ermöglicht
Sortieren	· Automatische Erkennbarkeit/Meßbarkeit von einigen Materialien		

		Zeit des Umbruchs
Reißen/Trennen	· Entwicklung und Scale-Up von Separationstechnologien: zum Beispiel Trennung von Polyester und Baumwolle; Trennung von Verstärkungsfasern und Polymermatrix · Laserbasierte Fremdfaserentfernung · Induktives Entschlichten von Kohlenstofffasern · Enzymatischer, selektiver Abbau von Alttextilien · Automatische Erkennung makroskopischer Störstoffe an chemiefaserhaltigen Bekleidungstextilien · Automatisierte Abtrennung von Störstoffen	· Mechanisches Recycling · Trennen von Mischungen · Sortenreine Trennung mittels Lösungsmitteln und werkstoffliches Recycling von post-industrial PAN-Abfällen

Ergebnisse der Online-Befragung

Die Expertinnen und Experten wurden gefragt, wann bestimmte Meilensteine auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft erreicht werden könnten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich einige Bereiche nach Ansicht der Fachleute kurzfristig sehr dynamisch entwickeln werden. Andere Meilensteine aber werden sich bis zum Jahr 2025 nicht erreichen lassen. Eine vergleichsweise große Dynamik erwarten die Fachleute bei der Entwicklung digitaler Plattformen für die Kreislaufwirtschaft im Bereich von B2C-Märkten. Immerhin 44 Prozent der Befragten gehen davon aus, dass sich bereits bis zum Jahr 2025 Plattformen zum Handel von Sekundärrohstoffen etablieren. 32 Prozent der Befragten rechnen damit, dass bis zur Mitte des Jahrzehnts außerdem viele Plattformen geschaffen werden, auf denen explizit recyclingfähige Textilien gehandelt werden. 30 Prozent erwarten, dass sich technische Lösungen für das Matching von Textilabfällen und Recyclingkapazitäten bis zum Jahr 2025 signifikant verbreiten werden. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse der Befragung darauf hin, dass bis Mitte des Jahrzehnts Bekleidungstextilien aus recyclingbasierten Fasermischungen an Bedeutung gewinnen.

Andere Meilensteine wird die Branche bis zum Jahr 2025 nach Ansicht der Experten vermutlich nicht erreichen. Während die Roadmap beispielsweise zeigt, dass sich das »Design for Recycling« als zentrales Prinzip der Produktentwicklung bis zum Jahr 2025 in weiten Teilen der Branche etablieren müsste, rechnen damit nur 18 Prozent der Befragten.

Auf technologischer Ebene müssten laut Roadmap neue Rezepturen und Verfahren für nachhaltiges und damit auch REACH-konformes Färben, Ausrüsten und Veredeln in den kommenden drei Jahren am Markt verfügbar sein. Für Ausrüstung und Veredlung rechnen damit jedoch nur 13 Prozent der Befragten, für das Färben gar nur sieben Prozent. Gemäß Roadmap müsste bis zum Jahr 2025 ein digitaler Produktpass eingeführt werden, der Informationen über die im Produkt verwendeten Materialien und Komponenten enthält. Ein solcher Pass sollte idealerweise bei fast allen textilen Systemen zum Einsatz kommen. Nur elf Prozent der Befragten geht davon aus, dass er bis zum Jahr 2025 tatsächlich verfügbar sein wird.

Laut Roadmap müsste ferner bis zum Jahr 2025 die Zahl der Miet- und Leasingmodelle für Bekleidung deutlich zunehmen. Solche sogenannten Product-as-a-Service-Modelle gibt es heute bereits für Arbeitskleidung, Hotelbettwäsche und einige andere Textilien. Nur 21 Prozent der Teilnehmer gehen davon aus, dass sich diese Modelle bereits bis 2025 stärker verbreitet haben werden.

B2C (Business-to-costumer) bezeichnet die Beziehung zwischen einem Unternehmen und seinem Kunden.

Handlungsempfehlungen

Die Komplexität der Herausforderungen, die sich im Zuge der Transformation ergeben, ist gewaltig. Dieser Umstellungsprozess kann nur gemeinsam gelingen. Nur wenn Industrie, Verbände, Wissenschaft und Politik eng zusammenarbeiten, lässt sich in den kommenden zwei bis drei Jahren die Dynamik erreichen, die es braucht, um die zirkuläre Ökonomie Wirklichkeit werden zu lassen.

Unternehmen

Die nachhaltige Zukunft der Textil- und Bekleidungsindustrie beginnt in den Köpfen von Unternehmern und Beschäftigten. Sie müssen bereit sein, ihre bewährten Konzepte zu erneuern.

Design for Recycling: Textilunternehmen müssen damit beginnen, ihre Entwicklungsprozesse konsequent auf die Kreislaufwirtschaft umzustellen. Sie müssen systematisch alle Prozesse von der Materialauswahl bis zur Konfektion untersuchen, um die Lebenszyklen zu verlängern und ein Recycling zu ermöglichen.

Die Veränderung des Geschäftsmodells steht am Anfang: Das Design for Recycling ist von zentraler Bedeutung, um Geschäftsmodelle strategisch weiterzuentwickeln. Die Transformation hin zu geschlossenen Stoffkreisläufen in der Textilindustrie lässt sich nur dann realisieren, wenn Geld nicht primär durch die Menge der verkauften Waren verdient wird. Stattdessen müssen Unternehmen verstärkt auf Qualitätswaren setzen. Product-as-a-Service, Re-Use- und Rebranding-Strategien müssen geprüft und umgesetzt werden, wo immer es möglich ist.

Umstellung der gesamten strategischen Ausrichtung eines Unternehmens in Bezug auf seine Produkte, Prozesse sowie seine Kommunikation nach Innen und Außen, zum Beispiel in Richtung Nachhaltigkeit.

Erfahrungen nutzen: Durch den Austausch mit anderen Branchen können Unternehmen von den Erfahrungen anderer Firmen profitieren. Dabei geht es nicht darum, Lösungen anderer, wenig vergleichbarer Branchen zu kopieren, sondern sich von erfolgreichen Transformationsbeispielen inspirieren zu lassen.

Allianzen schmieden: Es kann sich lohnen, frühzeitig zusammen mit anderen Unternehmen Kooperationsinitiativen auszuloten. Das bezieht Partner sowohl aus der eigenen Wertschöpfungskette als auch darüber hinaus mit ein. Die richtigen Rahmenbedingungen vorausgesetzt, lassen sich auf diese Weise zum Beispiel regionale Recycling-Hubs aufbauen. Hier gilt es, nicht auf die Politik zu warten, sondern selbst voranzugehen.

Ökobilanzierung nutzen: Textil- und Modehersteller sollten die eigenen Produkte hinsichtlich Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit evaluieren und die Ergebnisse in verständlicher, transparenter Weise veröffentlichen. Da ökologische Kriterien beim Kauf immer wichtiger werden, kann diese Transparenz für Kunden ein Anreiz sein, die Produkte stärker nachzufragen.

Verbände

Branchenverbänden kommt bei der Transformation eine besondere Bedeutung zu. Sie bündeln nicht nur die Interessen der Unternehmen, sondern können diese auch unterstützen.

Digitale Werkzeuge und Strategien für das Design for Recycling: Um der Branche digitale Werkzeuge für die nachhaltige Produktentwicklung zugänglich zu machen, sollten sich die Textilverbände mit Anbietern entsprechender Software und Fachleuten aus der Wissenschaft austauschen. Dabei sollte auf die konkreten Anforderungen der Branche hingewiesen werden. Sinnvoll können auch gemeinsame Entwicklungsprojekte sein.

Unterstützung von Unternehmen bei Umweltbilanzierung: Es gibt bereits praxistaugliche Ansätze zur Umweltbilanzierung von Produkten und Prozessen. Verbände können ihre Mitgliedsunternehmen dabei unterstützen, Knowhow aufzubauen und entsprechende Instrumente zu erproben.

Allianz für den digitalen Produktpass: Heute gibt es bereits für viele Branchen technische Verfahren, mit denen sich die entlang industrieller Prozessketten verwendeten Materialien und Herstellungsbedingungen transparent machen lassen. Die Textilindustrie ist hier eine Herausforderung, weil die Produkte komplex und die Lieferketten weit verzweigt sind. Daher sind Verbände in der Verantwortung, gemeinsam mit ihren Mitgliedern sowie mit Verbänden relevanter Zuliefer- und Abnehmerindustrien gemeinsame Konzepte für den digitalen Produktpass zu entwickeln.

Vorzeigeprojekte für zirkuläre Geschäftsmodelle: Um Unternehmen zu helfen, zirkuläre Geschäftsmodelle zu entwickeln, bedarf es vor allem konkreter Beispiele zum Anfassen. Wie sich die Kreislaufwirtschaft umsetzen lässt, könnte in Showrooms und Roadshows gezeigt werden. Das Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Textil vernetzt geht bei der digitalen Transformation als gutes Beispiel voran.

Gemeinsam für saubere Chemie: Die Textilbranche verarbeitet zwar viele Chemikalien, gehört aber nicht zu den großen Abnehmern der Chemieindustrie. Sinnvoll sind daher Kooperationen mit anderen Branchenverbänden, die ähnliche Chemikalien einsetzen und vor vergleichbaren Herausforderungen stehen. Gemeinsam könnten Initiativen entwickelt werden, um damit auf eine beschleunigte Entwicklung umweltfreundlicher und langfristig regulierungsfester Rezepturen hinzuwirken.

Wissenschaft

Die Textilforschung arbeitet mit Hochdruck an Produkten und Technologien, die der Industrie eine Umstellung auf zirkuläre Prozesse ermöglichen. Diese Anstrengungen gilt es, zu verstärken.

Chemikalien und Alternativen im Fokus:

Alle Substanzen, die beim Färben, in der Ausrüstung und für die Veredlung auf das Textil aufgebracht werden, müssen im Recycling auch wieder von den Fasern entfernt werden können. Daher muss die Textilforschung gemeinsam mit Nachbardisziplinen daran arbeiten, den Chemikalieneinsatz zu reduzieren und Alternativen dazu sowie alternative Rezepturen in der Produktion zu entwickeln.

Digitale Werkzeuge für die Kreislaufwirtschaft entwickeln: Digitale Werkzeuge für die Ökobilanzierung können dabei helfen, das eigene Unternehmen für die Kreislaufwirtschaft zu positionieren. Noch aber fehlt es an Lösungen, die perfekt auf die Textilbranche zugeschnitten sind. Interdisziplinäre Projekte im Rahmen der Anwendungsforschung können hier sehr hilfreich sein; vor allem, wenn darin Partner aus der Textilbranche aus der Nachhaltigkeitsforschung und aus der IT-Branche zusammenarbeiten.

Politik

Die europäische Politik setzt bereits wirksame Anreize für eine Umstellung auf nachhaltige Prozesse in der Industrie. Jetzt gilt es, bestehende Regulierungen und entsprechende Förderinstrumente weiterzuentwickeln.

Regulierung als Wegbereiter für die Transformation: Regulierungsinstrumente wie die REACH-Verordnung bringen für Unternehmen unweigerlich Einschnitte und Veränderungen mit sich. Damit die Unternehmen dennoch Planungssicherheit haben, sind langfristig verbindliche Orientierungslinien nötig. An diesen lässt sich abschätzen, wann welche Einschnitte zu erwarten sind. Das ist die entscheidende Voraussetzung dafür, die Produktion auf umweltfreundlichere Prozesse umstellen zu können. Diese langfristige Planungssicherheit trägt entscheidend dazu bei, dass die Unternehmen noch schärfere Umweltregulierungen akzeptieren und mittragen. Eine Lösung wären langfristig verbindliche Regulierungsroadmaps.

Sprunginnovationen für das Recycling fördern: Auf technologischer Seite sind vor allem bei den Recyclingtechnologien viele Fragen unbeantwortet. Um bis zum Jahr 2035 wirkliche Fortschritte zu erzielen, braucht es Technologiesprünge. Daher müssen gezielt Sprunginnovationen für das Recycling von Textilien und anderen Materialien und vor allem für Materialverbünde entwickelt werden. Derzeit ist zum Beispiel kaum absehbar, ob in den nächsten 20 Jahren biologische Recyclingverfahren im industriellen Maßstab zur Verfügung stehen werden.

Mit Sprunginnovationen bezeichnet man technische Neuentwicklungen, die innerhalb kurzer Zeit einen sehr großen Einfluss auf das Leben sehr vieler Menschen haben. Als Beispiel wird die Entwicklung des Corona-Impfstoffs genannt.

Förderung branchenübergreifender Ansätze für die Kreislaufwirtschaft: Die Umstellung auf Kreislaufwirtschaft kann keine Branche alleine bewältigen. Zu komplex und verwoben sind Stoffkreisläufe. Daher müssen auf Bundes- und EU-Ebene gezielt systemische Lösungen unterstützt und branchenübergreifende Ansätze gefördert werden.

B2B-Plattformen für die Kreislaufwirtschaft fördern: In den kommenden Jahren ist bereits mit einer dynamischen Entwicklung von Plattformen für Abfälle und Recyclingkapazitäten zu rechnen. Entsprechende Marktplätze und Koordinatoren sollten aber noch schneller zur Verfügung gestellt werden. Das ließe sich gezielt durch entsprechende Geschäftsmodelle und neue Initiativen fördern.

B2B (Business-to-business) bezeichnet die Beziehung zwischen zwei Unternehmen.



ahiba

LCD

Alarm

Power

Enter

Escape

F

7

8

9

5

6

2

3

BOROSILICATE GLASS 3.3 800 ml

VWR

VWR

2 2025 — 2030

Konzepte umsetzen

Hindernisse außerhalb des Einflussbereichs der Textilbranche

Die Ergebnisse der Workshops zeigen, dass es nach Einschätzung der Expertinnen und Experten noch bis zum Ende dieses Jahrzehnts dauern wird, um weltweit einheitliche gesetzliche Regelungen für die Kreislaufwirtschaft zu entwickeln.

Auch müssen noch Handelsbarrieren abgebaut werden. Ferner dürfte es noch mehrere Jahre dauern, um in der EU normative Vorgaben und Fördermöglichkeiten zu schaffen, die die Verarbeitung von Recyclingfasern unterstützen.

Darüber hinaus dauert es seine Zeit, bis die gesamte Branche umfassend über aktuelle Erfassungs- oder Recyclingoptionen informiert sein wird. Das liegt auch daran, dass die Wiederverwertungs- und Recyclingstruktur zum Teil zunächst noch aufgebaut werden muss. Allerdings sind die Recycling- und Wiederverwertungs-Unternehmen derzeit noch zurückhaltend, wenn es darum geht, neue Technologien zu entwickeln und aufzubauen, weil noch unklar ist, wie groß die Rücksendungsmengen gebrauchter Textilien sein werden.

Auch ist teils noch offen, wie sich die vielen verschiedenen Technischen Textilien wiederverwerten lassen. Hier bedarf es neuer Impulse für die zirkuläre Produktentwicklung.

Hindernisse im Einflussbereich der Textilbranche

Eine Erkenntnis des Workshops war, dass Verfahren zur Wiederverwendung von Produktionsabfällen auch nach 2025 noch nicht im industriellen Maßstab zur Verfügung stehen werden. Das bedeutet, dass nach wie vor viel Handarbeit nötig sein wird.

Schwierig bleibt es auch, die Massenströme innerhalb der Textilbranche zu kalkulieren. Das aber ist erforderlich, um die kritischen Massen zu erreichen, die die Kreislaufprozesse erst wirtschaftlich machen. Insofern ist es wichtig, Produktionscluster für die Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, in denen Unternehmen verschiedener Wertschöpfungsstufen eng miteinander kooperieren.

Erforderlich wäre es dafür auch, Einkaufs- und Vertragsbedingungen neu zu gestalten und im Sinne der Kreislaufwirtschaft anzupassen.

Ein Hindernis bleibt auch nach dem Jahr 2025, dass es noch an einer durchgängigen Kennzeichnung aller Materialien und Komponenten fehlt.

Neue Technologien für das Recycling von Abfällen, die innerhalb der textilen Wertschöpfungskette anfallen, werden voraussichtlich noch mindestens bis zum Ende dieses Jahrzehnts entwickelt werden müssen. Dafür müssten Gelder und Personal bereitgestellt werden.

Das gilt auch für den Umweltaspekt. Schlichte und Avivagen sollten auf Wasserbasis umgestellt werden, müssen aber dennoch gut waschbar sein. Bestimmte Chemikalien sollten durch die Umstellung ganz eliminiert werden.

Insgesamt sollte das dazu führen, dass Recycling-Prozesse künftig weniger komplex sind. Dafür ist es erforderlich, dass Designer und Textilhersteller stärker zusammenarbeiten. Dabei müssen auch nach dem Jahr 2025 die Produktionsbedingungen in den Blick genommen werden.

Ungelöst ist bislang das Problem, dass die Größenbezeichnung von Bekleidung auch innerhalb einer Marke immer wieder einmal stark variiert. Kunden kaufen die falsche Größe, tragen die Kleidung im Zweifelsfall gar nicht oder werfen sie weg. Dadurch werden wertvolle Ressourcen verschwendet. Hier bedarf es klarer Regeln.

Bei der Schlichte handelt es sich um eine Beschichtung der Faseroberfläche, die die Verarbeitung erleichtert. Dank der Schlichte gleitet die Faser besser.

Bei Avivagen handelt es sich um Beschichtungen der Faseroberflächen, die die Geschmeidigkeit erhöhen, den Griff oder das Aussehen verbessern.

Für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist es besonders wichtig, dass Reststoffe in großen Mengen und sortiert in die Produktion zurückgeführt werden. Dabei helfen können künftig Konzepte, wie die »Smarte Recyclingtonne«, also ein intelligentes Erfassungssystem, das die Mengen und die Materialsorten automatisch erfasst.

Um ausreichende Massenströme zu generieren, ist es sinnvoll, Anreizsysteme für Konsumentinnen und Konsumenten zu schaffen, die zur Rückgabe von Alttextilien motivieren. Zusätzlichen Schub würde eine Rücknahmeverpflichtung nach dem Verursacherprinzip geben.

Um Sammel- und Sortierunternehmen stärker mit den produzierenden Unternehmen zu verknüpfen, wäre eine digitale Rohstoffplattform nach dem Motto »Wer kann aus meinen Abfällen etwas machen?« sinnvoll.

Für die Zeit bis zum Jahr 2030 ist vor allem auch Kreativität gefragt, um neue Lösungen zu finden. Das fängt bei neuen »Design-for-Recycling«-Ideen an. Ergänzt werden sollten die Maßnahmen etablierter Textilunternehmen durch Open-Innovation-Aktionen zur Kreislaufwirtschaft.

Auch sollten Start-Up-Firmen mit wirklich nachhaltigen Ideen stärker als bisher unterstützt werden, selbst wenn ihre Konzepte nicht sofort wirtschaftlich sein können.

Das alles trägt dazu bei, eine Fülle neuer, maßgeschneiderter Recyclinglösungen zu finden. Darüber hinaus sollten Pflanzen-Kulturen gefördert werden, die eine Koppelnutzung der Pflanzenrohstoffe zulassen: Hanf lässt sich zum Beispiel als Lebensmittel, als textiles Material oder als Energierohstoff nutzen.

Eine Produktion der Rohstoffe und auch der Textilien vor Ort, wäre zusätzlich nachhaltig. Der Ausbau von »Product-as-a-Service«-Lösungen wie die Vermietung von Bekleidung trägt dazu bei, Rohstoffe zu schonen und Textilien länger zu nutzen.

Technologien		Anwendungen	Geschäftsmodelle
Zirkuläres Design	· Rückverfolgbarkeit von Materialzusammensetzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette · Trennung von Beschichtungen, Laminaten, Mehrlagenstoffen · Entwicklung von sortenreinen Textilien (z. B. PET, PP und PA)	· Recyclingfähige Rotorblätter von WEA · Textilien im Automobil · Outdoor-Bekleidung	· strategische, werbetechnisch attraktive Verbunde mit Kunden eingehen
Faserherstellung	· Optimierung von Recycling-Fasermischungen und Wertanmutung	· Hybridgarne aus recycelten Carbonfasern · Recycling von Mischtextilien zu chemischen Grundstoffen durch enzymatischen Abbau · Erhöhung des Recyclingfaseranteils von Postconsumer-Baumwolltextilien bei der Garnherstellung auf bis zu 50 Prozent	· Digitale Plattformen nutzen — KI, die Materialangebot mit Recyclingoption matchen kann · Nicht nur Produktleasing, sondern auch Materialleasing wird erprobt
Spinnerei	· Wasserbasierte Schlichten / Avivagen auf Garnen für eine bessere Waschbarkeit · Schlichten aus ausgewählten Duromeren (Epoxidharz, Polyurethan) und thermoplastischen Matrices (Polyamid, Polyphenylensulfid) für die rCF-Verarbeitung	· Hybridgarne aus recycelten Carbonfasern	
Flächenherstellung		· Web-/Flecht-Bänder aus rGarnen (rPET, rPA)	· Plattformen für die Beschaffung zirkulärer textiler Flächen
Veredlung	· Bioabbaubare Ausrüstungen mit bioabbaubaren Fasern kombinieren · Sortenreine Ausrüstungen mit Textil anstreben für mechanisches und thermisches Recycling	· Cradle to Cradle-Textildruck — Bekleidung die vollständig im biologischen Kreislauf funktioniert · Werkstoffe, die voll mechanisch und thermisch recycelt werden können	· Kundenpartnerschaften aufbauen
Konfektion	· Selbstaflösende Nähgarne für recyclinggerechte Fertigung von Vliesstoffen		
Funktionalisieren	· Entwicklung selektiver, umweltfreundlicher Lösungsmittel · Neue biobasierte Materialien · Neue Rezepturen nach aktuellem Chemie- und Umweltrecht · Biologischen abbaubare Farbstoffe		
Ausrüsten	· Entwicklung selektiver, umweltfreundlicher Lösungsmittel · Trennbare Beschichtungen · Additiver Flammschutz · Entwicklung von polymerähnlichen Beschichtungen wie die Fasersysteme für Recycling in Löseprozessen	· Nahezu alle Produkte, die eine kürzere bzw. mittlere Lebensdauer haben	· Kundenpartnerschaften aufbauen

		Konzepte umsetzen
Halbzeug	· Verarbeitung von Kohlenstofffaservliesstoffen in der SMC-Verfahrenskette (Sheet Molding Compound)	· Beimischung im textilbewehrten Beton
Endprodukt	· Cyber-physisches Fertigungssystem, um rezyklierte Hochleistungsfasern zu Organoblechen zu verarbeiten	· Inline-Überprüfung textiler Schweißnähte · On-Demand-Produktion
Nutzung/Pflege	· Nanopartikuläre Multischichtsysteme entwickeln, die eine Regenerierung der flammhemmenden Ausrüstung bei der Aufbereitung ermöglichen · KI-basierte Audioanalyse zur feuchtigkeitsgeregelten Trocknung im Tumbler · Impedimetrische Performancesensoren zur Neueinstellung bzw. Optimierung von Waschprozessen	· Textilschonendes Waschverfahren · Deutlich erhöhte Lebenszyklus bei Arbeitskleidung im Leasingverfahren · Starke Ausweitung Sharing / Product as a Service · Longtailgeschäftsmodelle erobern die Technischen Textilien
Re-Use	· Effizient mikrobieller bzw. enzymatischer Abbau von Polyacrylaten	· SPA für Bekleidung — Aufbereitung · Polyacrylat-abbaufähige mikrobielle Konsortien oder Enzyme für Wasseraufbereitungs- und Recyclingprozesse · Verarbeitung von Vliesstoffen aus rezyklierten Carbonfasern im Hochdruck-RTM-Prozess sowie Nasspressverfahren · Verbreitung von Plattformen zum Mieten, Leasen oder Tauschen von Bekleidung
Sammeln	· Einheitliche Sammelsysteme · Automatische Erkennbarkeit/Meßbarkeit von zahlreichen Materialien	· Rücknahmesysteme durch Hersteller · Textilien für den biologischen Abbau in der Kompostierung zertifizieren · Der Circularity BV nimmt Baumwoll-/Polyester-Textilien an und recycelt diese zu Baumwoll-/Polyestergarnen für T-Shirts, Poloshirts und Sweat-shirts
Sortieren	· Entwicklung von sensorbasierten Sortiertechnologien speziell für schwarze Textilien · Sortenreines Sortieren	· Materialzusammensetzung durch QR-Code und RFID
Reißen/Trennen	· Chemische Abtrennung von Aufdrucken · Biotechnische Recyclingverfahren (Pilze, Enzyme, Bakterien) · Energieeffiziente chemische R-Verfahren · Chemische Trennung von Mischgarnen · Trennung von Kaschierung · Trennung von Zutaten, Emblemen, Reflexstreifen etc. · Trennung von Beschichtungen über Lösemittel	· Chemisches Recycling

Ergebnisse der Online-Befragung

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Entwicklung von Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre dynamischer verlaufen wird. Damit dürften wichtige Meilensteine bis 2030 insbesondere bei der Technologieentwicklung und der Veränderung von Geschäftsmodellen erreicht worden sein. Auch dürften sich bis dahin neue Produkte und Services etabliert haben. Die Befragten gehen davon aus, dass bis Ende des Jahrzehnts Plattformen für den Handel von Sekundärrohstoffen (87 Prozent), für den Handel von recyclingfähigen Textilien (74 Prozent) und für das Matching zwischen anfallenden Textilabfällen und bestehenden Recyclingkapazitäten (73 Prozent) weit verbreitet sein werden. Damit dürften bis Ende der 2020er Jahre die wesentlichen Voraussetzungen für die benötigte digitale Infrastruktur geschaffen worden sein. Analog dazu erwarten die Befragten, dass sich bis dahin Sortier- und Logistikprozesse etablieren, um Alttextilien in die Produktion zurückzuführen (70 Prozent). Dabei dürften sich »Product-as-a-Service«-Modelle wie Mietkleidung und Leasing nach Einschätzung von 60 Prozent der Befragten bis 2030 weit über die heute bestehenden Märkte hinaus etabliert haben.

Die Dynamik auf wichtigen B2C-Märkten dürfte sich bis zum Ende des Jahrzehnts fortsetzen. So erwarten die Befragten bis 2030 (76 Prozent), dass sich Bekleidungstextilien aus recyclingbasierten Fasermischungen in weiten Teilen der Branche etabliert haben werden. Reselling und Rebranding dürften bis dahin ebenfalls weitgehend etabliert sein (70 Prozent).

Das »Design for Recycling« wird sich, so die Expertinnen und Experten (67 Prozent) erst ganz zum Ende dieses Jahrzehnts als zentrales Gestaltungsprinzip in der Branche verbreitet haben. Denn neben dem Bewusstseinswandel in der Industrie ist es auch erforderlich, in den kommenden Jahren Entwicklungs-Tools für das Design kreislauffähiger Produkte zu entwickeln. Entsprechende Systeme stehen nach Einschätzung von 68 Prozent der Befragten bis spätestens 2030 zur Verfügung.

Grundlage für das »Design for Recycling« sind weiterentwickelte Materialien und Verarbeitungsverfahren. Ein Beispiel sind optimierte Spinnverfahren, die Fasern aus sekundären Rohstoffen zu hochwertigen Garnen verarbeiten können. Diese müssen in der Lage sein, Materialien mit verschiedenen Eigenschaften, Farben und von unterschiedlicher Qualität verarbeiten zu können. Entsprechende Technologien stehen nach Auffassung von 64 Prozent der Befragten bis 2030 zur Verfügung. Erwartet wird auch, dass optimierte Fasermischungen aus Sekundär- und Primärrohstoffen eine vergleichbare oder sogar gleiche Qualität erreicht haben werden wie Fasermischungen aus Primärrohstoffen (60 Prozent). 59 Prozent der Befragten gehen davon aus, dass zum Beispiel bei Baumwollgarnen ein Recyclinganteil von 35 Prozent erreicht sein wird. 67 Prozent der Experten glauben, dass bis 2030 allgemein hochwertige Garne aus Sekundärrohstoffen für weite Teile der Branche verfügbar sind.

Andere Meilensteine wird die Branche bis zum Jahr 2030 nach Ansicht der Fachleute vermutlich nicht erreichen. So wird die Entwicklung der Recyclingverfahren und der dafür erforderlichen Systeme im Vergleich zu den anderen Aspekten weniger dynamisch sein. Nur 28 Prozent der Befragten erwarten, dass bis zum Ende des Jahrzehnts europaweit einheitliche Sammel- und Sortiersysteme zur Verfügung stehen. Wenig dynamisch wird nach Ansicht der Experten auch die Entwicklung von Prozesstechnologien zum Sortieren verlaufen. So geht nur eine Minderheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer davon aus, dass das sortenreine Sortieren anhand digitaler Produktpässe (36 Prozent) weit verbreitet sein wird. Sensorisch unterstütztes Sortieren ohne digitale Produktpässe erwarten sogar nur 33 Prozent bis zum Jahr 2030. Chemische Recyclingverfahren und Verfahren zum Abtrennen von Störstoffen werden, so der Expertenkreis, auch über das Jahr 2030 hinaus in vielen Bereichen eine Herausforderung bleiben. Nur 39 Prozent der Teilnehmerinnen und Teilnehmer rechnen damit, dass Verfahren zur automatisierten Abtrennung chemischer Ausrüstung oder von Störstoffen wie etwa Reißverschlüssen im industriellen Maßstab verfügbar sein werden. Als besonders schwierig wird die Lage bei chemischen Recyclingverfahren eingeschätzt. Hier gehen nur 22 Prozent davon aus, dass diese Verfahren bis Ende des Jahrzehnts im industriellen Maßstab für die meisten textilen Systeme verfügbar sind.

Auch mittelfristig wird die Lieferkette noch intransparent bleiben. So dürfte die Rückverfolgbarkeit von Materialeigenschaften entlang der gesamten Wertschöpfungskette auch bis 2030 für weite Teile der Branche noch nicht realisiert sein. Eine Rückverfolgbarkeit mithilfe digitaler Lösungen wie dem digitalen Produktpass erwarten nur 39 Prozent.

Auch bei recyclinggerechten Herstellungsprozessen sehen die Umfrageteilnehmer Defizite. Gerade die Funktionalisierung von Textilien spielt für wichtige Märkte der Branche eine Rolle. Die Roadmap zeigt, dass nachhaltige Flammenschutzmittel für Textilien bis zum Ende des Jahrzehnts marktfähig sein sollten, damit auch für diese Produktgruppe eine Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft möglich wird. Nur 23 Prozent der Expertinnen und Experten gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2030 nachhaltige Verfahren für den Flammenschutz marktfähig sein werden. Fraglich ist auch, ob es bis zum Ende des Jahrzehnts Alternativen und nachhaltige Rezepturen für Lösungsmittel gibt, die bei der Veredlung von Fasern und Garnen eingesetzt werden. Entsprechende Fortschritte erwarten nur 41 Prozent der Befragten.

Handlungsempfehlungen

Sofern es gelingt, bis zur Mitte der 2020er Jahre die richtigen Weichen zu stellen, wird es bis zum Jahr 2030 darauf ankommen, die eingeleitete Transformation fortzuführen. Das lässt sich nur erreichen, wenn alle Beteiligten weiter eng zusammenarbeiten.

Unternehmen

Zirkuläre Geschäftsmodelle skalieren: Bereits erprobte neue Geschäftsmodelle müssen nach 2025 mit Nachdruck auf industriellen Maßstab ausgebaut werden. Sofern neue Geschäftsfelder für die Kreislaufwirtschaft erschlossen wurden, müssen diese jetzt Priorität haben. Sie sollten zum Kern der Geschäftsaktivitäten werden.

Die eigene Rücknahme-Logistik etablieren: Wo immer möglich, müssen bis zum Jahr 2030 eigene oder an externe Strukturen angeschlossene Sammel- und Sortiersysteme in größerem Stil ausgerollt werden. Sofern Unternehmen eigene Rücknahmestrukturen geschaffen haben, sollten diese jetzt etabliert werden. So besteht die Chance über Netzwerkeffekte einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz zu erzielen.

Verbände

Einführung des digitalen Produktpasses: Sofern die Verbände zusammen mit ihren Mitgliedern und den Zuliefer- und Abnehmerindustrien gemeinsame Konzepte für den digitalen Produktpass entwickelt haben, ist es jetzt an der Zeit, ihn in die Praxis zu bringen. Damit dies gelingt, müssen die Verbände verstärkt über den Produktpass informieren und die Unternehmen dafür sensibilisieren.

Allianzen für Recycling-Hubs: Gemeinsam mit anderen Branchen müssen die Verbände bis zum Jahr 2030 dazu beitragen, Recycling-Hubs zu etablieren.

Allianzen für die Mehrfachnutzung nachwachsender Rohstoffe: Das Beispiel Hanf zeigt, wie vielfältig sich eine Pflanze nutzen lässt und wie groß das Potenzial für eine Zusammenarbeit von Landwirtschaft, Materialherstellern, Textilindustrie und Lebensmittelindustrie sein kann. Das gilt auch für viele andere Pflanzenrohstoffe. Die Verbände sollten die entsprechenden Potenziale frühzeitig erkannt haben und bis zum Jahr 2030 nutzen.

Unternehmen bei der Transformation begleiten: Bis zum Jahr 2030 werden viele Lösungen für die künftige Kreislaufwirtschaft technologisch und konzeptionell so weit entwickelt sein, dass sie in der Praxis eingesetzt werden können. Für die Unternehmen besteht die Aufgabe darin, diese Chance zu nutzen. Die Verbände sollten die Firmen bei der Umstellung auf die neuen Technologien und Konzepte begleiten und ihnen entsprechende Beratungsangebote machen.

Wissenschaft

Sortiertechnologie weiterentwickeln: Um Recyclinghubs wirtschaftlich und mit einem hohen Automatisierungsgrad zu betreiben, muss die Entwicklung von Sortiertechnologien beschleunigt werden; etwa im Bereich der Sensorik. Die Textilforschung kann in interdisziplinären Projekten dazu beitragen.

Chemische Recyclingverfahren weiterentwickeln: Wenn die Möglichkeiten mechanischer Recyclingverfahren ausgeschöpft sind, kann das chemische Recycling eine Lösung sein, um Stoffe voneinander zu trennen. Daher muss die Textilforschung verstärkt chemische Verfahren entwickeln.

Politik

Standardisierung von Sammel- und Sortiersystemen: Spätestens in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre müssen gemeinsame europäische Standards etabliert werden, um Sammel- und Sortiersysteme zu vereinheitlichen. Nur so wird es gelingen, ein Gesamtsystem für die Kreislaufwirtschaft zu entwickeln.

Gemeinsame Anforderungen für mehr Transparenz: Auch die Nachverfolgbarkeit ist ein Ziel, das sich nur durch eine internationale Harmonisierung erreichen lässt. Dazu gehört, dass digitale Lösungen für die Nachverfolgbarkeit etabliert werden. Dabei gilt es, zusammen mit anderen Wirtschaftsräumen wie den USA gemeinsame, globale Anforderungen zu formulieren und durchzusetzen.

Preisreize, um Sekundärrohstoffe attraktiv zu machen: Sobald hochwertige Sekundärrohstoffe für wichtige Bereiche der Textil- und Bekleidungsindustrie auf dem Markt sind, müssen Virgins gezielt verteuert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der Sekundärrohstoffe zu erhöhen.

Sonderabschreibungsprogramm »Circular Economy«: Bis zum Jahr 2030 dürften Lösungen für die künftige Kreislaufwirtschaft technologisch und konzeptionell marktreif sein. Unternehmen sollten finanziell unterstützt werden, um die damit verbundenen Investitionen bewältigen zu können. Sinnvoll könnte in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre ein Sonderabschreibungsprogramm »Circular Economy« sein. Würde man Textilunternehmen zeitweilig Steuerentlastungen gewähren, könnte das die Transformation stark beschleunigen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die technischen und regulatorischen Voraussetzungen bis dahin bereits gegeben sind.



3 2030 — 2035

Hindernisse überwinden

Hindernisse außerhalb des Einflussbereichs der Textilbranche

Aufgrund noch strengerer Umweltstandards und gesetzlicher Änderungen könnten künftig die Anforderungen an die Textilbranche und selbst an die neu entwickelten Technologien für die Kreislaufwirtschaft weiter steigen.

So ist denkbar, dass es zu einem plötzlichen Verbot wichtiger Verfahren für das chemische Recycling kommt. Hier braucht es verlässliche Regularien, die Planungssicherheit geben.

Eine Herausforderung bei der Wiederverwertung wird auch im Jahr 2035 noch die Vielfalt der Textilien sein. Durch die technische Weiterentwicklung von Produkten in ganz verschiedenen Branchen kann die Vielfalt der Textilien künftig sogar noch zunehmen.

Als sicher gilt, dass bis zum Jahr 2035 konstante Stoffströme für Recyclingmaterialien etabliert sein müssen, damit die Kreislaufwirtschaft ökonomisch tragfähig ist. Dazu gehört auch, über weltweite Regeln genau zu definieren, wo das Recycling der verschiedenen Textilien stattfinden soll — auf der Seite der Produzenten oder der Konsumenten.

Hindernisse im Einflussbereich der Textilbranche

Um durchgängige Lösungen für die komplexe Kreislaufwirtschaft zu finden, müssen sich die Textilunternehmen und -forschungsinstitute bis zum Jahr 2035 nicht nur untereinander, sondern auch mit anderen Branchen stark vernetzt haben — darunter der Landwirtschaft, den Recyclern und den Abnehmern textiler Produkte und Halbzeuge. Dadurch wird ein perfektes Matching von Textilabfällen und Recyclingkapazitäten möglich. Bedacht werden muss grundsätzlich, dass die Produktivität durch die Umstellung auf neue Technologien oder Materialien zunächst abnehmen könnte.

Naheliegende Lösungen

Um die Vielfalt der Materialien zu reduzieren, sollte sich die Branche bis zum Jahr 2035 darauf einigen, bestimmte Materialmischungen nicht mehr zu verwenden.

Das würde auch die Transparenz der Wertschöpfungskette erhöhen, weil nicht mehr für so viele Materialien Herkunft und Weg nachvollzogen werden müssen.

Bis zum Jahr 2035 sollte eine vollständige Transparenz in Bezug auf die Kosten und Materialien erreicht sein. Für die Unternehmen würde sich damit letztlich auch die Sammlung von Daten über den textilen Abfall vereinfachen, weil viele Informationen über das Produkt bereits vorliegen und zentral gespeichert sind.

Auch im Jahr 2035 wird es noch einen Bedarf an neuen Lösungen für die Kreislaufwirtschaft geben. Durch Wettbewerbe oder Geldspenden könnten entsprechende Kreativprojekte gefördert werden.

Sinnvoll wäre es auch, bis zum Jahr 2035 Transporte zu besteuern, um die Produktion und Verwertung von Textilien vor Ort zu fördern.

Technologien		Anwendungen	Geschäftsmodelle
Zirkuläres Design	Tools für die zirkuläre Produktentwicklung	Tools für zirkuläres Design sind Standard in Design- und Konstruktionssoftware	Zirkuläres Design ist Inhalt in der Ausbildung; Circular Designers und Konstrukteure sind fester Bestandteil in der Industrie
Faserherstellung	- Weit verbreiteter Einsatz von biobased und RPET - Neue Reinstoffe	- Weitere Bio-Massen basierte Fasern - Zellstoffproduktion, abseits von Holz, im Industriemaßstab (Viskose, Lyocell, Cellulosecarbamat)	Matching für Materialien, Verfahren und Anwendung werden angeboten
Spinnerei		Hochwertige Garne aus Sekundärfasern (Pre- bzw. Post-Consumer-Waste) herstellen	
Flächenherstellung			
Veredlung	- Neue Rezepturen nach aktuellem Chemie- und Umweltrecht - Trennbare Beschichtungen - Beschichtung und Textil sortenrein, sodass thermisch oder chemisch recycelt werden kann	Alle beschichteten Textilien für Materialrecycling	
Konfektion			
Funktionalisieren		Fehlende Lösung: Flourcarbone, für PSA unverzichtbar	
Ausrüsten	Textilhilfsmittel einsetzen, die zusammen mit Textil in Lösemittel recyclingfähig sind		
Halbzeug			

		Hindernisse überwinden	
Endprodukt	· Kennzeichnung/Identifikation aller Materialien/Komponenten		· Plattformen, die helfen Retouren zu vermeiden / sowie die Vernichtung von Bekleidung aufgrund unwirtschaftlicher Retouren vermeiden
Nutzung/Pflege	· Schonende Waschverfahren, neuen Waschmittelrezepturen die Textilien mit Rezyklaten und nachhaltigen Materialien optimal pflegen · Reparaturfreundlichkeit erhöhen	· Langlebige Textilien (Waschbeständigkeit) · Anwendung von optimierten Waschverfahren sowohl in der Industrie- als auch Haushaltswäsche · Reparaturpads entwickeln	· Leasing von Textilien über den Textilservice sind Standard in Industrie und öffentlichen Einrichtungen
Re-Use	· Neue Prüfmethoden ermöglichen Re-Use auch von komplexen Bauteilen	· Re-Use-Abteilungen finden sich in jedem Geschäft, Second-Hand-Textilien können überall erworben werden · Re-Use-Komponenten können nahezu überall eingesetzt werden (z. B. auch Verbund-Bauteile)	· Re-Use wird auch in der öffentlichen Beschaffung genutzt
Sammeln		· Recycling-Hubs (Zentraler Dreh- und Angelpunkt für Material- und Datenströme)	· Materialprüfung und digitalisierte Erfassung der Eigenschaften für Alttextilien ohne digitalen Produktpass
Sortieren	· Automatische Erkennbarkeit/Messbarkeit von nahezu sämtlichen Materialien · »Smarte Recyclingtonne« / Erfassungssystem		· Starke Zunahme von Sortier- und Logistikdienstleistungen für die Rückführung von Produkten
Reißen/Trennen	· Recyclingprozesse mit Lösemittel und Aufbereitung von Beschichtung bzw. Harzen und Textilpolymere	· Composite Recycling · Trennung CO & PES · Chemisches Recycling von Polyestermischtextilien	

Ergebnisse der Online-Befragung

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass wichtige Meilensteine vermutlich bis spätestens 2035 erreicht werden können. Signifikante Fortschritte erwarten die Experten bis zur Mitte der 2030er Jahre im Bereich nachhaltiger und REACH-konformer Chemikalien. Nachhaltige Chemikalien für die Ausrüstung und Veredlung wie zum Beispiel umweltfreundliche Lösungsmittel könnten nach Einschätzung von 69 Prozent der Befragten bis 2035 verfügbar sein. 68 Prozent erwarten, dass nachhaltige Rezepturen und Verfahren auch für das Färben verfügbar sein werden, beispielsweise biologisch abbaubare Farben. 66 Prozent der Befragten gehen davon aus, dass die alternativen, nachhaltigen Substanzen künftig genauso wirkungsvoll sein werden, wie die heute etablierten Chemikalien. Bis spätestens 2035 dürfte es darüber hinaus auch zu erheblichen Fortschritten bei der Flexibilisierung von Fertigungsprozessen in der Textil- und Bekleidungsindustrie kommen. Für 67 Prozent der Branchenkennerinnen und -kenner ist es wahrscheinlich, dass sich flexible, digitale Prozesse etabliert haben werden, mit denen sich Textilien individuell nach Kundenwunsch verarbeiten lassen. Selbst für die recht komplexe Garnherstellung dürften bis zum Jahr 2035 skalierbare Verfahren für kleine Losgrößen verfügbar sein, sagen 66 Prozent der Experten. Auch könnten Qualitätssicherungssysteme zum Einsatz kommen, die Fehler in Echtzeit während der Produktion detektieren. Vor diesem Hintergrund erwarten 76 Prozent der Befragungsteilnehmerinnen und -teilnehmern, dass sich bis 2035 On-Demand-Fertigungsverfahren in weiten Teilen der Branche etabliert haben werden.

Immerhin 74 Prozent gehen ferner davon aus, dass für die meisten textilen Produkte bis zum Jahr 2035 ein digitaler Produktpass oder eine ähnliche digitale Lösung zur Verfügung stehen werden, die über die verwendeten Materialien und Komponenten Auskunft geben. Der Lebenszyklus textiler Produkte wird sich signifikant verlängern lassen, da für viele textile Flächenprodukte und sogar Faserverbünde Reparatursysteme zur Verfügung stehen werden.

Dass etablierte Recycling-Hubs bis zur Mitte des kommenden Jahrzehnts zum Dreh- und Angelpunkt für Material- und Datenströme werden, glauben ebenfalls drei Viertel aller Befragten. Künftig werden hier Pre- und Post-Consumer-Abfälle in Sekundärrohstoffe verwandelt. Im Recyclingprozess kommt dabei, nach mehrheitlicher Ansicht von 67 Prozent der Befragten Sensorik zum Einsatz, mit deren Hilfe sich Abfälle im industriellen Maßstab erfassen und sortieren lassen. Der Vorteil: Die Technik ist nicht auf digitale Produktpässe angewiesen.

Auch die Automatisierung von Recyclingverfahren macht bis zur Mitte der 2030er Jahre signifikante Fortschritte. 69 Prozent der Teilnehmerinnen und Teilnehmer geben in der Befragung an, dass Verfahren zur automatisierten Abtrennung von Störstoffen wie etwa Reißverschlüssen oder der chemischen Ausrüstung im industriellen Maßstab verbreitet sein werden.

Über längere Zeiträume verlieren die Aussagen der Expertinnen und Experten an Aussagekraft, weil die tatsächlichen Entwicklungen nicht sicher abgeschätzt werden können. Für Zeiträume von 10 Jahren und mehr muss man daher immer von Unsicherheiten ausgehen. Dennoch gibt die Befragung zumindest Hinweise, welche zentralen Meilensteine selbst bis zur Mitte der 2030er Jahre nur schwer erreichbar sein dürften. Während Recyclingtechnologien erkennbar Fortschritte machen dürften, bleiben große Unsicherheiten vor allem bei Verfahren zur Trennung textiler Produkte. So geben nur 48 Prozent der Befragten an, dass bis 2035 Technologien zur Verfügung stehen, um nahezu sämtliche Fasermischungen zu entfügen. Besondere Skepsis besteht hinsichtlich biologischer Verfahren. Hier geht nur ein Drittel davon aus, dass diese für einen Großteil der existierenden Textilien verfügbar sein werden. Ein konkretes Beispiel für ein System, das bereits heute als problematisch für die Kreislaufwirtschaft gilt, sind Rotorblätter von Windkraftanlagen. Nur 45 Prozent der Expertinnen und Experten erwarten, dass sich diese bis zum Jahr 2035 recyceln lassen. Auch die Verarbeitung von Fasern auf der Basis von Sekundärrohstoffen dürfte weiter eine Herausforderung bleiben. Das gilt etwa für die Verarbeitung von recycelten Kurzfasern zu Nassvliesstoffen. Lediglich 48 Prozent der Befragten erwarten, dass solche Verfahren bis zum Jahr 2035 verfügbar sein könnten.

Herausgeber

Forschungskuratorium Textil e. V.
Reinhardtstraße 14 – 16, 10117 Berlin

Verantwortlich

Johannes Diebel
Geschäftsführer Forschungskuratorium Textil e. V.
Telefon +49 30 726220-40
jdiebel@textilforschung.de
www.textilforschung.de

Studie

Johannes Diebel, FKT (Leitung)
Julia Eckert, textil+mode
PD Dr.-Ing. Yves-Simon Gloy, Gherzi
Prof. Dr. Stefan Schlichter, ITA Augsburg

Workshop und Handlungsempfehlungen

Robert Peters, iit

Befragungen

Michael Nerger, iit
Alexandra Hesse, FKT

Expertenkomitee

PD Dr.-Ing. Yves-Simon Gloy, Gherzi
Prof. Dr. Stefan Schlichter, ITA Augsburg
Dr. Heike Illing-Günther, STFI
Dr.-Ing. Wolfgang Trümper, ITM Dresden
PD Dr.-Ing. Thomas Stegmaier, DITF Denkendorf
Dr. Bayram Aslan, TFI Aachen

Forschungsprojekte

www.textil-mode.de/de/forschung/institute

Redaktion/Text

Tim Schröder, Oldenburg

Gestaltung

Anja Leidel, Hannover

Produktion

GutenbergBeuys Feindruckerei

Diese Publikation wurde auf umweltfreundlichem Papier und in Deutschland gedruckt. Die Herstellung des Papiers erfolgte in der EU nach den ISO-Standards und den Vorgaben der REACH-Verordnung.

Bildnachweise

DITF, Denkendorf (126)
Studio Tusch (12)
TITV, Greiz (18, 90, 110)

2022, Forschungskuratorium Textil e. V.,
Berlin. Alle Rechte vorbehalten.

Fazit

- Die Textilindustrie hat bereits viele Projekte auf den Weg gebracht, die Grundstein einer künftigen Kreislaufwirtschaft sind. Insofern haben die Unternehmen und die Wissenschaft die Herausforderungen erkannt. Die für diese Studie befragten Experten sind durchaus enthusiastisch, wenn es darum geht, Entwicklungssprünge bei den benötigten Technologien zu erreichen. Zentral wichtig ist dabei, dass die künftigen Technologien wirtschaftlich arbeiten. Die Politik ist bereit, durch Regulierungen entsprechende Anreize für eine Transformation zu setzen.
- Eine Herausforderung bleibt es, die Konsumenten zu nachhaltigerem Kaufverhalten zu bewegen. Vielen Menschen ist noch immer nicht bewusst, dass jeder einzelne zum Gelingen einer textilen Kreislaufwirtschaft beitragen kann. Darauf kann die Textilbranche durchaus Einfluss nehmen; einerseits, indem sie Angebote für jene Kundinnen und Kunden schafft, die bereits nachhaltige Produkte kaufen; andererseits, indem sie auch jenem Kundenkreis Anreize bietet, der bislang weniger auf Nachhaltigkeit achtet.
- Generell ist davon auszugehen, dass sich der bereits abzeichnende Bewusstseinswandel bei der Kundschaft beschleunigen wird. Die Nachfrage nach nachhaltigen Produkten wird also mit zeitlicher Verzögerung irgendwann in den kommenden Jahren sehr stark ansteigen. Sofern die Textilindustrie bis dahin entsprechende nachhaltige Lösungen entwickelt hat, bietet die Transformation eine große ökonomische Chance.



2022 — 2025

2025 — 2030

2030 — 2035

Einleitung	2 6 12 16	Vorwort Textile Kreisläufe schaffen Ein Rückblick Im Dialog mit den Experten
Herausforderungen	20 29 49	Die dreifache Herausforderung der Kreislaufwirtschaft Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette Laufende Aktivitäten
Die Transformation der Textilindustrie	92	2022 — 2025 <i>Zeit des Umbruchs</i>
	94 96 98 104 106	Herausforderungen Naheliegende Lösungen Roadmap Ergebnisse der Online-Befragung Handlungsempfehlungen
	112	2025 — 2030 <i>Konzepte umsetzen</i>
	114 116 118 122 124	Herausforderungen Naheliegende Lösungen Roadmap Ergebnisse der Online-Befragung Handlungsempfehlungen
	128	2030 — 2035 <i>Hindernisse überwinden</i>
	130 132 134 138	Herausforderungen Naheliegende Lösungen Roadmap Ergebnisse der Online-Befragung
Impressum	143	
Fazit	144	

