

# Lyocell 2.0



**Manuel Steiner**  
List Technology AG,  
Arisdorf/Schweiz

Der Einzug der Man-Made Cellulosic Fibers (MMCF) ist nicht mehr aufzuhalten. Zurzeit werden die Weichen gestellt und neue industrielle Strukturen etablieren sich. In diesem Zusammenhang stehen auch die neuen Prozesstechnologien für Lyocell, die die Umstellung der Industrie auf Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft ermöglichen: Lyocell 2.0.

Es ist unübersehbar und der Trend ist unumkehrbar: Die Textilindustrie hat erkannt, dass Nachhaltigkeit gelebt werden muss und Lippenbekenntnisse nicht reichen. Und zwar nicht aus einer selbstlosen, sondern einer sehr handfesten wirtschaftlichen Motivation heraus. Meldungen über fehlende Nachhaltigkeit oder Produktionsmissstände bedrohen das Image der Modemarken, ihr größtes Asset, viel mehr als früher. Angetrieben wird dies von der zunehmenden Transparenz durch Social Media und NGOs. Insbesondere eine der wichtigsten Zielgruppen, die junge Generation, die angesichts der drängenden Umweltprobleme ohnehin mit Sorge in die Zukunft blickt, fordert Veränderung. Die Missstände zu beheben ist das eine, den Ruf zu korrigieren ist meistens viel teurer und langwieriger.

Die EU hat dieses in der Gesellschaft weitgehend akzeptierte Problem in ihr Green-New-Deal-Programm aufgenommen. Die im Juni 2022 lancierte «EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles» hat eine nachhaltige Textil-Kreislaufwirtschaft zum Ziel. Sie strebt u.a. umwelt- und sozialverträgliche Herstellungsverfahren, recycelbare Fasern, Faser-zu-Faser-Recycling, langlebige Textilien und eine Verantwortung der Textil-Produzenten über die gesamte Versorgungskette inklusive Textilabfall an. Zudem will sie mit der EU-Direktive 2019/904 für Single-Use-Plastic (SUP) den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Mikroplastik reduzieren.

Damit nicht genug der Veränderungen des strategischen Umfelds der Textil-Industrie: In den letzten Jahren haben uns noch die leidvollen Erfahrungen aus der Covid-19-Krise und Russlands Krieg gegen die Ukraine vor Augen geführt, dass die Kehrseite von Versorgungsabhängigkeiten offensichtlich unterschätzt wurde.

Zusammengefasst bedeutet das eine Umstellung auf umwelt- und sozialverträgliche Herstellungsverfahren von CO<sub>2</sub>-neutralen, recycelbaren, (möglichst) plastikfreien und qualitativ hochwertigen Textilien aus transparenten und weniger störanfälligen Produktionsketten, sowie ein Recycling, das über den Wiederverkauf als Secondhand und das Kompostieren hinausgeht. Dass diese Umstellung erfolgen wird, darüber besteht kein Zweifel.

Es ist jedoch noch offen, wie die neue Textilwelt aussehen wird, welche Produkte und Strukturen sich etablieren werden, wer die Gewinner und wer die Verlierer sein werden. Das Rennen ist im Gang.

Die etablierten Fasern weisen alle handfeste Nachhaltigkeitsdefizite auf:

**Polyesterfasern** erfüllen die Kriterien der Textilwelt der Zukunft nicht, weil sie auf fossilen Rohstoffen basieren und Mikroplastik generieren. Selbst recycelte Polyester Textilien verursachen immer noch mit jedem Waschzyklus Mikroplastik.

**Baumwolle** hat diese Nachhaltigkeitsnachteile nicht, aber ihre weltweite Produktionskapazität stagniert. Ihr unglaublich hoher Wasserverbrauch hat den Aralsee fast ganz ausgetrocknet und eine Salzwüste hinterlassen, sodass die dort traditionell ansässigen Anbaugelände in große Bedrängnis gekommen sind. Der immer noch gute Ruf der Baumwolle ist angesichts dieses großen Nachhaltigkeitsdefizits sehr erstaunlich.

## Man-Made Cellulosic Fibers (MMCF)

Weil sie auf nachwachsenden Rohstoffen basieren und biologisch abbaubar sind, ist das Interesse an MMCF in den letzten Jahren stark gestiegen. Da sie wie Baumwolle cellulosebasiert sind, können sie Feuchtigkeit besser als Polyester (PES) absorbieren und weisen dadurch einen höheren Tragekomfort auf. Bei den MMCF-Verfahren liegt die Cellulose anfänglich als Chemiezellstoff vor, engl. Dissolving Pulp bzw. Dissolving Wood Pulp (DWP), wenn holzbasiert. Dessen Herstellung ist dem Papierherstellungsverfahren ähnlich. Das Holz für die Cellulose wird mehrheitlich aus zertifizierten Baumplantagen und Wäldern gewonnen. Allerdings erreichen die traditionellen MMCF aktuell nicht die Reißfestigkeiten der PES-Fasern. Zudem sind PES-Fasern billiger als MMCF. Dies berücksichtigt jedoch die Kosten für die von PES verursachten Umweltschäden nicht, die von zukünftigen Generationen zu tragen sind.

### VISKOSE

Viskose ist die traditionelle und heute noch am meisten verbreitete MMCF. Das Herstellungsverfahren ist jedoch wegen dessen Gefährdungspotenzials für Mensch und Umwelt in Verruf geraten. Deshalb werden kaum mehr neue Viskoseanlagen geplant. Das Viskoseverfahren überführt den Chemiezellstoff zuerst in Xanthogenat, das dann in Natronlauge gelöst wird. Die viskose Spinnlösung (daher der Name Viskose) wird dann durch eine Spinnöse in ein säurehaltiges Fällbad gepresst, wodurch Fasern gewonnen werden. Die Bildung des Xanthogenats (ein sog. Derivat) ist eine chemische Reaktion und mit einem deutlichen Abbau der Cellulose-Polymerketten verbunden. Deshalb eignen sich Viskosefasern nicht zum Recyceln.

### LYOCELL

Die heute am weitesten entwickelte Faser, die alle aufgeführten Anforderungen erfüllt, ist Lyocell. Das Lyocell-Verfahren ist ein physikalisches Lösen ohne chemische Reaktionen und ohne

Zwischenschritt über ein Derivat. Der Zellstoff wird mit dem nicht toxischen, Lösungsmittel N-Methylmorpholin-N-oxid (NMMO) ohne Derivatisierung direkt gelöst, sodass eine Spinnlösung entsteht. Diese wird durch eine Spinnöse in ein Wasserbad gepresst, wobei Filamente bzw. Fasern entstehen. Da aus dem Chemiezellstoff nicht zuerst ein Derivat generiert werden muss, wird dieses Verfahren auch Direktlöseverfahren genannt. Wegen des Ausbleibens einer chemischen Reaktion bleiben die molekularen Strukturen des Zellstoffs weitgehend unverändert und die Cellulose-Polymerketten bestehen, was von strategischer Bedeutung ist: Eine Cellulose mit längeren Polymerketten führt so auch z.B. zu höheren Reißfestigkeiten. Durch den Erhalt der Ketten eignen sich die Direktlöseverfahren zudem auch für das Recycling.

In der technischen Umsetzung benötigt die Handhabung des NMMOs besondere Aufmerksamkeit. Einerseits ist NMMO bei hohen Temperaturen thermisch sensibel (Risiko einer Explosion durch eine autokatalytische Zersetzung), sodass die Temperaturführung große Aufmerksamkeit benötigt. Zudem ist NMMO teuer, sodass die Aufarbeitung des gebrauchten NMMO ein betriebskostenentscheidender Erfolgsfaktor ist. Die Viskosität einer Lyocell-Spinnlösung ist höher als diejenige von Viskose, sodass andere Maschinen im Herstellprozess als im Viskoseprozess notwendig sind.

## Globales Wachstum

Betrachtet man die Verdoppelung des Produktionsvolumens der letzten 20 Jahre, ist eindrücklich erkennbar, dass der Polyesterfaser-Anteil überproportional gewachsen ist (Bild 1). Der bekannte «Cellulose Gap», die Differenz von Baumwollfaser-Nachfrage und -Angebot, wurde hauptsächlich von Polyester gefüllt und nicht von MMCF. Und das Wachstum geht weiter. Schon nur um das weitere Wachstum von Polyester durch MMCF auch nur teilweise zu ersetzen, benötigt man große MMCF-Produktionskapazitäten und -Rohmaterialien. Um das globale Faserwachstum abzudecken, müsste die globale MMCF-Produktion jährlich um die Produktion von 2001 wachsen. Das gleiche Wachstum gälte auch für die heute vollständig auf Holzwirtschaft basierende Produktion von Chemiezellstoff, des Ausgangsmaterials von MMCF. Somit stellt sich die Frage nach einer alternativen Biomasse.

## Alternative Biomassen

Zurzeit gibt es mehrere Initiativen, um alternative Biomassen als Rohmaterial für MMCF zu nutzen. Sie alle müssen einen Entwicklungsprozess durchlaufen. Einerseits geht es um die Entwicklung eines geeigneten Chemiezellstoffs, woraus sich marktfähige Fasern herstellen lassen, andererseits um marktgängige Beschaffungskosten der Biomasse. Beispielsweise fällt Biomasse aus Agrarabfällen durch ihre niedrige Schüttdichte dezentraler und öfter an als Holz, sodass für den Business Case auch die Logistikkosten entscheidend werden.

### BEISPIEL HANF

Hanf gehört zu den ältesten Kulturpflanzen der Welt mit mehreren Verwendungszwecken, u.a. Fasern für Seile. Kein Wunder, dass seine Cellulose lange Polymerketten aufweist. Hanf erfuhr ursprünglich ein Revival als cellulosereicher Agrarabfall/Biomasse.

Hanf hat sich in mehreren R&D-Projekten als sehr geeignete Biomasse für MMCF erwiesen, und zwar nicht nur die Hanffasern sondern auch die Hanfschäben, die ungefähr 50 % der Biomasse ausmachen. Hanf, wie alle nicht holzbasierten Cellulosen, hat zudem den Vorteil, dass in der Weiterverarbeitung kaum Lignin entfernt werden muss. Zudem ermöglicht die hohe Kettenlänge, sogar Lyocellfasern mit höheren Reißfestigkeiten als Lyocell aus regulärem Holzzellstoff zu erzeugen. Deshalb wird Hanfanbau inzwischen auch primär zur Nutzung als Cellulosequelle angestrebt. Hanf wächst auch auf kargen Böden und steht somit nicht in Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau. Er ist ein gutes Beispiel einer innovativen, wirtschaftlichen, nachhaltigen Nutzung einer cellulosereichen Biomasse. Andere werden folgen.

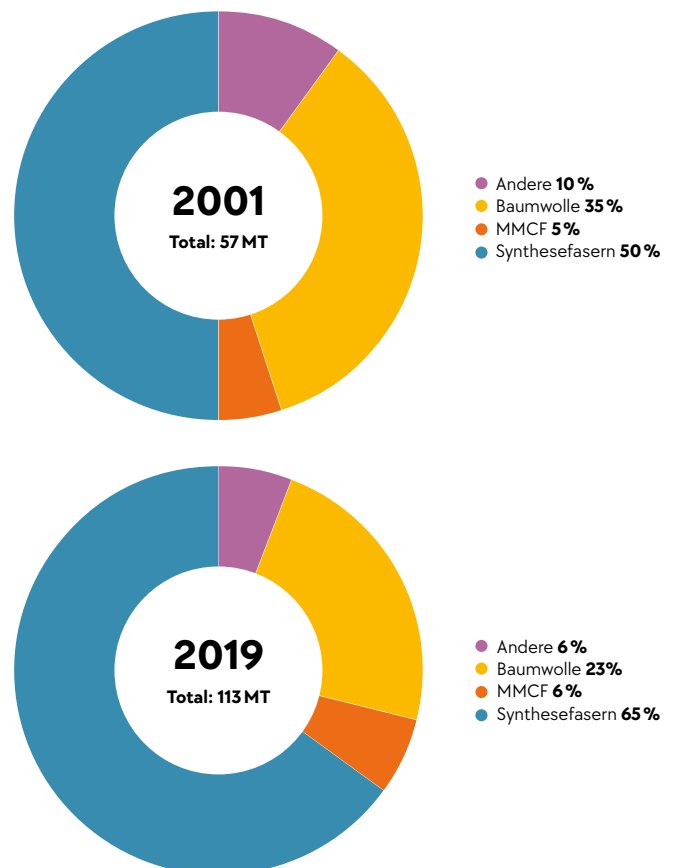
### BAUMWOLL-TEXTILRECYCLING

Wie Hanf ist auch Baumwolle eine sehr alte cellulosereiche Kulturpflanze für Naturfasern mit langen Cellulose-Polymerketten und eignet sich als hochwertige Cellulose für reißfestere Lyocellfasern. Angesichts dieser guten Eignung als Cellulosequelle für MMCF wird der EU-Entscheid zu den Textil-Recyclingvorschriften große Änderungen nach sich ziehen.

→  
Nächste Seite

↓ BILD 1

### Globales Faserwachstum



Betrachtet man die Jahreskapazitäten der globalen Textilfaserproduktion (Bild 1), zeigt sich eindrücklich, dass Textilrecycling das größte Biomasse-Potenzial als MMCF-Rohstoff birgt: Chemiezellstoff aus baumwollhaltigen Recycling-Textilien (Re-Pulp). Schon das Recycling von nur 25 % der globalen Baumwollfaserproduktion könnte die gesamte heutige holzbasierte Chemiezellstoff-Produktion ersetzen. Das dreimalige Recycling der globalen Baumwollproduktion würde rein rechnerisch die Biomasse für die gesamte (heutige) Produktion von Polyester und MMCF auf Cellulosebasis zur Verfügung stellen.

Das Direktlösen von RePulp – moderne Spinnlösungstechnologien vorausgesetzt – führt zu Faserfestigkeiten, die im Pilotmaßstab sogar bereits nahe an die Festigkeit von Polyesterfasern herankommen.

Durch das Anfallen des Rohstoffs (Textilabfälle) am Ort des Konsumenten werden im Vergleich zu Holzzellstoff regionale Lieferketten in der Nähe des Endkonsummarkts möglich. Da viel RePulp aus Schnittresten und nie verkauften Textilien (Pre-Consumer-Abfälle) in der Nähe von textiler Verarbeitung anfällt, ist auch mit großen integrierten Pulp-Faser-Produktionsanlagen zu rechnen. Diese erfüllen die hohe Marktnachfrage und reduzieren die Kosten durch Skaleneffekte und vertikale Integration. Hierfür sind Lyocell-Anlagen nötig, die 100 % RePulp verarbeiten können.

Traditionelle Lyocell-Anlagen des Stands der Technik vermögen jedoch nur Zumischungen von ungefähr 30 % aus hochwertiger alternativer Biomasse (RePulp oder Hanfzellstoff) zu verarbeiten. Für 70 %, also mehr als das Doppelte, ist weiterhin das Fällen von Bäumen notwendig. Das ist ein wesentlicher Grund, dass heute kaum Lyocell-Textilien aus 100 % RePulp erhältlich sind. Dasselbe gilt auch für Lyocell aus Hanf.

## Neue Spinnlösungstechnologien

Die neuen Spinnlösungstechnologien vermögen Lyocell-Fasern aus 100 % RePulp und 100 % Hanfzellstoff herzustellen, und traditionelle Lyocell-Anlagen können – günstige Platzverhältnisse vorausgesetzt – nachgerüstet werden. Somit ermöglichen erst die neuen Spinnlösetechnologien, den Textilkreislauf gänzlich zu schließen und auch hochwertige alternative Biomassen uneingeschränkt für Lyocell zu nutzen. Somit müssen keine Bäume mehr gefällt werden, um hochwertige alternative Biomassen für Lyocell zu nutzen.

Somit kann man dem Endkonsumenten erklären, dass Textilien aus recycelter Baumwollbekleidung nicht nur die Nachhaltigkeit steigern, sondern auch eine höhere Qualität bedeuten.

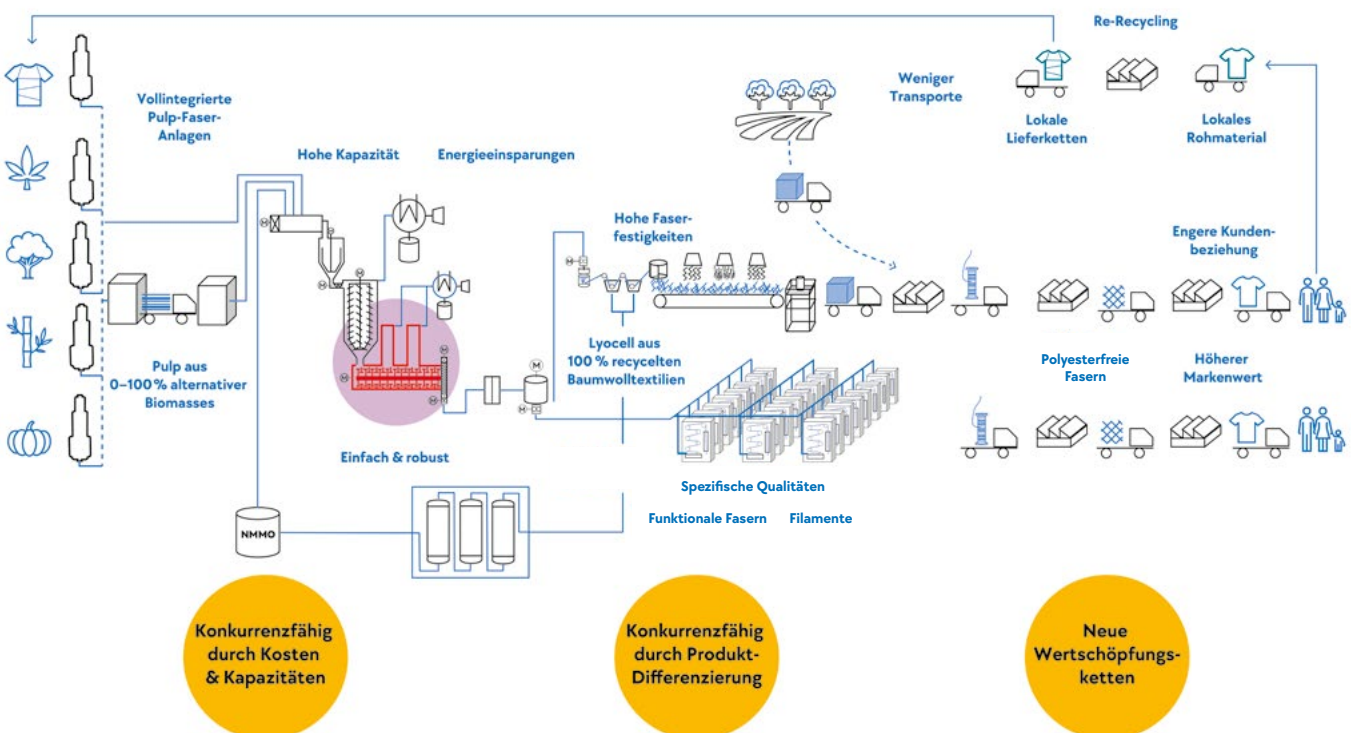
Die Nachhaltigkeits-NGOs, die bisher die Modeindustrie sehr effektiv vor sich hergetrieben haben, und die staatlichen Instanzen können die Modeindustrie nun angesichts der technischen Möglichkeiten und der verfügbaren Biomasse viel einfacher zu einer Kreislaufwirtschaft verpflichten.

Die Modemarken könnten sich als größte Nutzniesser der neuen Textilkreisläufe erweisen. Sie haben jetzt die Chance, den Wert ihrer Marken zu steigern, indem sie die Not zur Tugend machen und den Endkonsumenten in ihre Lieferkette einbinden. So wird der Endkonsument zum Rohstoff-Lieferanten und eine viel direktere Beziehung zum Endkonsumenten kann für eine engere Kundenbindung genutzt werden. Die damit einhergehende Kontrolle über den Kreislauf gibt den Brands die Möglichkeit, für ihre Kunden Transparenz über ihre gesamte Wertschöpfungskette zu schaffen. Sie nimmt sie aber auch in die Pflicht und nimmt ihnen die Möglichkeit zu Ausreden.

So ermöglichen die neuen Spinnlösungstechnologien eine Neukonzeption von Lyocell: Lyocell 2.0 (Bild 2).

### ↓ BILD 2

#### Lyocell 2.0



Die neuen Spinnlösungstechnologien basieren auf der Verwendung von Knetreaktoren der List Technology AG. Sie ermöglichen nicht nur bessere Faserqualitäten, sondern auch höhere Kapazitäten/Produktionslinie und somit eine Kostenreduktion dank Skaleneffekte. Zudem unterstützt die Durchgängigkeit des verfahrenstechnischen Wirkprinzips eine Entwicklung vom Labor bis zur Markteinführung im World-Scale-Maßstab.

Der übliche Herstellungsprozess einer Lyocell-Spinnlösung aus Zellstoff beginnt mit einer Mischung aus Chemiezellstoff, NMMO und einem Überschuss an Wasser, sodass das NMMO stark in den Zellstoff eindringen kann, ohne ihn aufzulösen. NMMO, Wasser und Zellstoff bilden so eine Suspension. Durch Energiezufuhr beginnt das Wasser zu verdampfen, bis der Wasseranteil genügend niedrig ist (d.h., Wasser und NMMO ein Monohydrat bilden), sodass sich der Zellstoff zu lösen beginnt. Für diese Phase der Verdampfung eignet sich ein für höhere Viskositäten spezialisierter Dünnschichtverdampfer. Dieser verstreicht die Suspension mit Wischern über dessen erhitzte innere Oberfläche. Beginnt das Monohydrat den Chemiezellstoff zu lösen, steigt die Viskosität stark an. Ziel dieses Prozessschritts ist der vollständige Übergang der Suspension zu einer homogenen Lösung, sodass sich diese zum Spinnen eignet.

In dieser Phase ist eine gute Mischung der Komponenten (Homogenisierung) entscheidend für den Erfolg des Prozesses, während noch ein Rest des Wassers verdampft. Ungelöste Partikel und eine ungenügende Homogenität stören den sehr sensiblen Spinnprozess bzw. verstopfen die zwischengeschalteten Filter schnell.

Das traditionelle Verfahren vermag, im unteren Abschnitt des Dünnschichtverdampfers traditionellen Holzzellstoff zu lösen. Die limitierten Hochviskose Mischmöglichkeiten und die nur sehr limitiert zur Verfügung stehende Verweilzeit verhindern jedoch ein genügendes Lösen von Chemiezellstoff aus reiner alternativer Biomasse mit langen Cellulose-Polymerketten wie Hanf oder recycelten Baumwolltextilien.

Die neue Spinnlösetechnologie verwendet jedoch für diesen Prozessschritt des Lösens und Homogenierens List-Knetreaktoren. Sie sind darauf spezialisiert, hochviskose Substanzen zu mischen und flüchtige Bestandteile gleichzeitig zu verdampfen. Zudem steht annähernd unlimitiert Zeit und eine mit der Drehzahl gezielt einstellbare Mischintensität zum Erreichen der nötigen Homogenisierung und Spinnlösungsqualität zur Verfügung.

Die gute Durchmischung des Produkts im Prozessraum des Knetreaktors sorgt für eine homogene Temperaturverteilung und vermeidet die Entstehung von Temperaturspitzen. Da die Reibungswärme direkt von der Drehzahl der Welle des Knetreaktors abhängt, lässt sich die Produkttemperatur exakt regeln. Im Notfall kann so die Wellendrehung schnell und stark reduziert oder sogar ganz gestoppt werden, wodurch der Energieeintrag sofort unterbunden wird. Dieser mechanische Energieeintrag ist ein Vorteil gegenüber einem Dünnschichtverdampfer, dessen Energieeintrag hauptsächlich über beheizte Oberflächen erfolgt, die auch nach Abschalten der Heizenergie heiß bleiben und das Produkt weiter erwärmen können.

Wegen der Temperaturempfindlichkeit des NMMO wird im traditionellen Verfahren im unteren Teil nicht mehr erhitzt oder sogar gekühlt. So stehen gar nicht alle Heizflächen zur Wasserverdampfung zur Verfügung. Kann der Dünnschichtverdampfer nun im neuen Verfahren ausschließlich für die



↑ BILD 3

### List-Knetreaktor

Wasserverdampfung verwendet werden, so steigt dessen Verdampfungskapazität und somit die Kapazität einer Produktionslinie. Die Entkopplung der effizienzrelevanten Wasserverdampfung im Dünnschichtverdampfer und des qualitäts- und sicherheitsrelevanten Lösens und Homogenisierens im Knetreaktor geht mit einer Kapazitätssteigerung und einer Steigerung der Qualität und der Erweiterung um Lyocell aus hochwertigen alternativen Biomassen mit höheren Faserfestigkeiten einher.

Lyocell-Anlagen, die mit List-Knetreaktoren (Bild 3) ausgestattet sind, ermöglichen es, die Zellstoffquelle zu wechseln und die relevanten Prozessparameter anzupassen, ohne die Anlage umbauen zu müssen. So können Lyocell-Produzenten die dynamischen Entwicklungen auf der Zellstoffseite zuversichtlich verfolgen und jederzeit flexibel darauf reagieren, egal ob sie mit Low-Cost-Zellstoff die Kostenführerschaft anstreben oder sich durch hohe Faserqualität mit hochwertigem Zellstoff am Markt differenzieren wollen.

## STFI: 16. Kolloquium „re4tex - recycling for textiles“



Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit werden auch für die gesamte Textilindustrie immer wichtiger. Das STFI-Kolloquium „re4tex - recycling for textiles“ am 6./7. Dezember 2023 in Chemnitz behandelt daher die Schwerpunkte nachhaltiges Wirtschaften in der nationalen und europäischen Industrie.

Neben der effektiven Sortierung von Alttextilien stehen die Weiterentwicklung der mechanischen Aufbereitung, aber auch alternative Recyclingverfahren im Mittelpunkt. Dabei wird es zwar auch, aber nicht ausschließlich, um die klassischen Faserstoffe gehen. Ergebnisse von Projekten zum Recycling von Hochleistungsfaserstoffen bilden einen weiteren Schwerpunkt des Programms.