



Positionspapier

Textilrecycling zwischen Anspruch und Realität

Fachliche Einordnung zum Status quo – Langfassung

September 2026



Inhaltsverzeichnis

1. Präambel.....	4
2. Datenbasis und Untersuchungsergebnisse	5
2.1. Recyclingverfahren und Reifegrade.....	6
2.1.1. Werkstoffliches Recycling.....	7
2.1.2. Thermomechanisches Recycling.....	7
2.1.3. Mechanisches Recycling	9
2.1.4. Open-Loop Mechanical Recycling	10
2.1.5. Closed-Loop Mechanical Recycling.....	11
2.1.6. Lösemittelbasierte Aufbereitung	13
2.1.7. Rohstoffliches Recycling	15
2.1.8. Chemisches Recycling	15
2.1.9. Aminolyse	18
2.1.10. Glykolyse	19
2.1.11. Methanolyse.....	20
2.1.12. Alkalische Hydrolyse	21
2.1.13. Saure Hydrolyse.....	22
2.1.14. Neutrale Hydrolyse.....	23
2.1.15. Biochemisches Recycling.....	24
2.1.16. Enzymatische Hydrolyse	24
2.1.17. Thermochemisches Recycling.....	25
2.1.18. Pyrolyse	25
2.1.19. Hydrothermale Karbonisierung (HTC)	26
2.1.20. Hydrothermale Depolymerisation / Hydrothermale Verflüssigung (HTL)	27
2.1.21. Gasifikation	28



2.2. Übergreifende Erkenntnisse der Verfahrensanalyse	29
2.3. Abfallmengen und Stoffstromstruktur	31
2.4. Markt- und Akteurslandschaft	33
3. Bewertung	35
3.1. Strukturelle und ökonomische Voraussetzungen	35
3.2. Globale Wertschöpfungsketten und industrielle Basis	37
3.3. Ökologische Hebelwirkung	39
3.4. Ableitungen für die Regulierung	41
3.5. Nachweisbarkeit, regulatorische Kohärenz und Vollzug	45
4. Fazit und Kernforderungen von Südwesttextil	47



1. Präambel

Mit der Ökodesign-Verordnung und ihrem delegierten Rechtsakt für Textilien, der geplanten nationalen Umsetzung der erweiterten Herstellerverantwortung sowie der Diskussion über Rezyklatquoten werden derzeit zentrale Rahmenbedingungen für die textile Kreislaufwirtschaft ausgestaltet. Vorgesehen sind unter anderem quantitative Anforderungen an Sammlung, Verwertung und Recycling, Vorgaben zur Produktgestaltung sowie eine stärkere finanzielle und organisatorische Verantwortung der Hersteller.

Südwesttextil vertritt rund 200 Unternehmen der südwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie. Der Verband unterstützt das Ziel, Ressourcen zu schonen, Textilien länger zu nutzen und hochwertige Stoffkreisläufe aufzubauen. Damit die vorgesehenen Instrumente diese Ziele tatsächlich erreichen, müssen sie jedoch technisch umsetzbar, ökologisch wirksam und wirtschaftlich tragfähig ausgestaltet sein.

Hierfür ist ein realistischer Blick auf die vorhandenen Stoffströme und Recyclingmöglichkeiten erforderlich. Textile Abfälle unterscheiden sich erheblich hinsichtlich Materialzusammensetzung, Qualität, Verschmutzung und verfügbarer Menge. Gleichzeitig stellen die einzelnen Recyclingverfahren jeweils verschiedene Anforderungen an ihren Input und weisen sehr unterschiedliche technologische Reifegrade auf. Eine einzelne technische Lösung, die sämtliche textilen Abfallströme hochwertig in den Kreislauf zurückführen kann, steht derzeit nicht zur Verfügung. Mit diesem Positionspapier legt Südwesttextil deshalb eine fachliche Einordnung der technischen, mengenmäßigen und strukturellen Voraussetzungen des Textilrecyclings vor. Grundlage ist eine mehrmonatige Untersuchung des Verbands, in der verfügbare Recyclingverfahren, das Abfallaufkommen der Mitgliedsunternehmen sowie die Markt- und Forschungslandschaft systematisch ausgewertet wurden.

Im Mittelpunkt steht die Frage, an welchen Stellen der größte ökologische Hebel für eine textile Kreislaufwirtschaft liegt: Welche realen Abfallströme eignen sich für welche Verfahren, welche Kapazitäten stehen zur Verfügung und bestehen tragfähige Absatzmärkte für die erzeugten Rezyklate?



Das Papier richtet sich nicht gegen ein einzelnes regulatorisches Vorhaben und stellt die politische Zielsetzung einer textilen Kreislaufwirtschaft nicht infrage. Die regulatorischen Grundlagen sind in wesentlichen Teilen bereits beschlossen oder befinden sich in fortgeschrittener Ausgestaltung. Gerade deshalb ist es aus Sicht von Südwesttextil erforderlich, vor der weiteren Konkretisierung verbindlicher Quoten, technischer Kriterien, Finanzierungsmechanismen und Nachweispflichten eine belastbare Wirkungs- und Umsetzbarkeitsüberprüfung vorzunehmen. Das Papier soll dazu beitragen, die noch auszugestaltenden Instrumente an den tatsächlichen technischen, wirtschaftlichen und industriellen Voraussetzungen auszurichten. Einen Anspruch auf vollständige Darstellung sämtlicher Verfahren und Stoffströme erhebt es angesichts der hohen Dynamik des Themenfelds nicht.

2. Datenbasis und Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchung umfasst drei miteinander verbundene Bereiche: Recyclingverfahren und Reifegrade, reale textile Abfallströme sowie die Markt-, Akteurs- und Forschungslandschaft. Die Betrachtung von Post-Industrial-Abfällen, also Produktionsresten und Ausschuss, die bereits während der Herstellung anfallen, dient ausschließlich dazu, bestehende Stoffströme, Verwertungswege und verfügbare Recyclingkapazitäten realitätsnah abzubilden.

Die Recyclingverfahren wurden anhand eines einheitlichen Untersuchungsrasters erfasst und quellenbasiert ausgewertet. Ergänzend wurden Daten aus einer verbändeübergreifenden Abfallumfrage herangezogen und Unternehmen, Forschungsprojekte sowie überbetriebliche Initiativen entlang der Recyclingkette untersucht. Die Verbindung dieser drei Perspektiven ermöglicht eine Bewertung, die über die isolierte Betrachtung einzelner Technologien hinausgeht. Denn aus der grundsätzlichen technischen Möglichkeit eines Verfahrens folgt noch nicht, dass dieses Verfahren für die tatsächlich anfallenden Abfälle geeignet, in ausreichender Kapazität verfügbar und wirtschaftlich einsetzbar ist.

Die Untersuchung bildet den zum Zeitpunkt der Erstellung öffentlich zugänglichen Wissens- und Marktstand ab. Aufgrund der dynamischen technologischen Entwicklung sowie teilweise nicht öffentlich verfügbarer Forschungs- und Unternehmensdaten erhebt sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit.



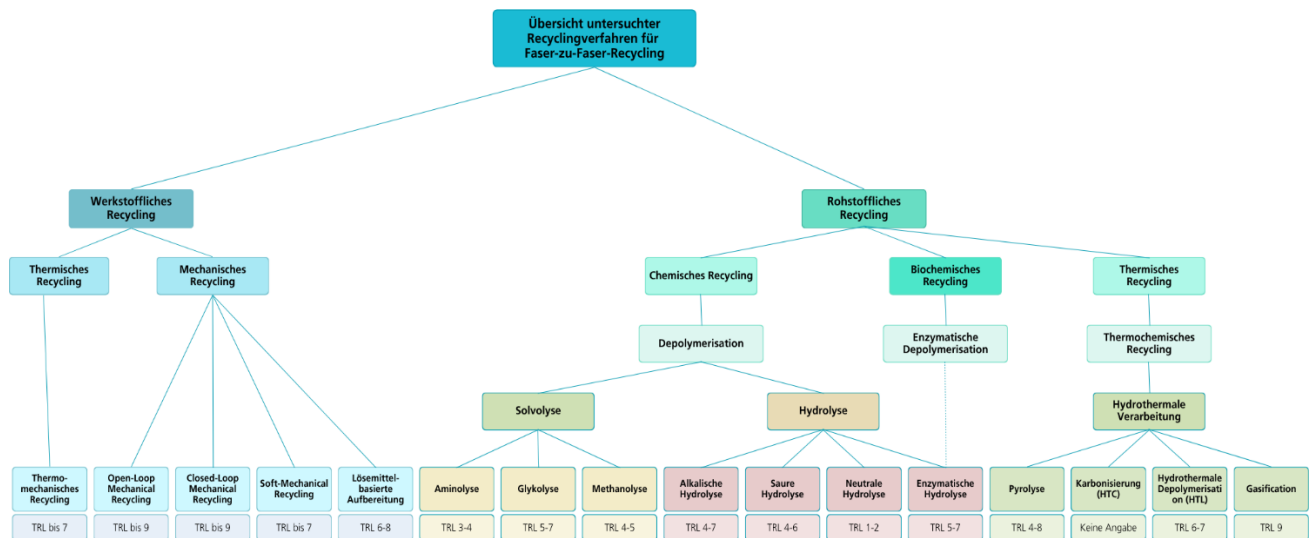
2.1. Recyclingverfahren und Reifegrade

Ziel des ersten Untersuchungsschritts war es, einen systematischen Überblick über die für textile Abfälle verfügbaren Recyclingverfahren, ihre jeweiligen Einsatzvoraussetzungen und ihren technologischen Reifegrad zu gewinnen. Die Auswertung zeigte zunächst ein grundlegendes methodisches Problem: Für das Textilrecycling bestehen weder eine durchgehend einheitliche Begrifflichkeit noch ein allgemeingültiger Stand der Technik. Identische oder ähnliche Prozesse werden in den ausgewerteten Quellen teilweise unterschiedlich bezeichnet, verschiedenen Verfahrensgruppen zugeordnet und hinsichtlich ihres technologischen Reifegrads abweichend bewertet. Auch der Reifegrad eines Verfahrens lässt sich nicht unabhängig vom eingesetzten Material bestimmen. Ein technisch erprobter Prozess für saubere und sortenreine Produktionsabfälle ist nicht ohne Weiteres auf gefärbte, ausgerüstete oder gemischte Alttextilien übertragbar.

Erfasst wurden Eingangsmaterial und Vorbehandlung, Prozess und Output, Faser-zu-Faser-Eignung und Reifegrad sowie technische, wirtschaftliche und marktliche Rahmenbedingungen. Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Verfahren untersucht und zwei übergeordneten Recyclingwegen zugeordnet: dem werkstofflichen und dem rohstofflichen Recycling. Die Verfahrensübersicht in Abbildung 1 stellt die untersuchten Prozesse, ihre Reifegrade und die jeweils erreichbare Verwertungsform gegenüber.

Die nachfolgende Systematisierung dient der fachlichen Einordnung der untersuchten Recyclingwege. In der industriellen Praxis sind die dargestellten Verfahren nicht zwingend als voneinander isolierte Prozessketten zu verstehen. Je nach Eingangsmaterial und angestrebtem Output können mechanische, thermische, lösemittelbasierte oder chemische Verfahrensschritte miteinander kombiniert und durch unterschiedliche Sortier-, Trennungs- und Vorbehandlungsprozesse ergänzt werden. Die dargestellten Reifegrade sind daher als stoffstrombezogene Einordnung und Momentaufnahme des untersuchten Technologie- und Marktstands zu verstehen.





TECHNOLOGY READINESS LEVEL: 1 = GRUNDLEGENDE PRINZIPIEN BEOBACHTET, 9 = TECHNOLOGIE IM OPERATIVEN EINSATZ ERPROBT

Abbildung 1: Verfahrensübersicht

2.1.1. Werkstoffliches Recycling

Beim werkstofflichen Recycling bleiben Fasern oder Polymere als Material erhalten. Sie werden mechanisch aufbereitet, aufgeschmolzen oder mithilfe von Lösungsmitteln getrennt und gereinigt, ohne vollständig in ihre chemischen Grundbausteine zerlegt zu werden. Werkstoffliche Verfahren benötigen in der Regel vergleichsweise saubere und definierte Stoffströme. Sie können gegenüber rohstofflichen Verfahren einen geringeren Energie- und Ressourceneinsatz aufweisen, sind aber besonders empfindlich gegenüber Materialmischungen, Beschichtungen, Farbstoffen und sonstigen Verunreinigungen.

2.1.2. Thermomechanisches Recycling

Beschreibung des Verfahrens

- Beim thermomechanischen Recycling werden thermoplastische Textilien zunächst zerkleinert und anschließend so stark erhitzt, dass das enthaltene Polymer aufschmilzt. Die entstandene Schmelze wird aufbereitet und gefiltert und kann anschließend beispielsweise zu Granulat oder direkt wieder zu neuen Fasern beziehungsweise Filamenten verarbeitet werden. Das Verfahren eignet sich grundsätzlich für thermoplastische Kunstfasern wie Polyester, Polyamid oder Polypropylen. Anders als beim klassischen mechanischen Recycling wird dabei nicht versucht, die



ursprünglichen Fasern möglichst unbeschädigt zurückzugewinnen. Entscheidend ist vielmehr, ob das Polymer, also die chemische Grundstruktur, nach dem Aufschmelzen noch in ausreichender Qualität für eine erneute Verarbeitung zur Verfügung steht.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Das Verfahren ist auf thermoplastische Polymere beschränkt und kommt daher insbesondere für Polyester, Polyamid und Polypropylen in Betracht. Naturfasern wie Baumwolle oder Wolle können nicht aufgeschmolzen und auf diesem Weg zurückgeführt werden.
- / Die technische Möglichkeit des Aufschmelzens darf jedoch nicht mit einer beliebigen Verwertbarkeit thermoplastischer Alttextilien gleichgesetzt werden. Das Verfahren benötigt möglichst definierte Stoffströme aus einem einzelnen Polymer oder aus miteinander kompatiblen Polymeren. Vor dem Recycling müssen nichttextile Bestandteile entfernt und die Materialien gegebenenfalls gereinigt, getrocknet und zerkleinert werden.
- / Gerade bei Post-Consumer-Textilien, also bereits genutzten Textilien, ist diese Voraussetzung anspruchsvoll: Bekleidung und andere textile Produkte bestehen häufig nicht ausschließlich aus einem einzelnen thermoplastischen Material. Mischfasern, Elastananteile, Nähgarne, Beschichtungen, Drucke, Verschlüsse oder andere nichttextile Komponenten können den Schmelzprozess und die Qualität des zurückgewonnenen Materials beeinträchtigen. Auch Farbstoffe, Pigmente und weitere im Textil enthaltene Stoffe werden durch das Aufschmelzen nicht grundsätzlich entfernt.
- / Damit wird auch hier die vorgelagerte Identifikation, Sortierung und Aufbereitung des Abfallstroms zu einer wesentlichen Voraussetzung. Dass ein Textil beispielsweise überwiegend aus Polyester besteht, bedeutet noch nicht, dass es ohne Weiteres als geeigneter Input für ein thermomechanisches Recycling zur Verfügung steht. Hinzu kommt, dass sich die Eigenschaften des Polymers durch wiederholtes Erhitzen verschlechtern können. Abhängig von der erreichbaren Qualität kann daher die Beimischung von Primärmaterial erforderlich sein oder das zurückgewonnene Material nur noch für Anwendungen mit geringeren Qualitätsanforderungen eingesetzt werden.



- / Thermomechanisches Recycling funktioniert damit vor allem für saubere, ausreichend sortenreine und gut definierte thermoplastische Stoffströme. Genau diese Voraussetzungen liegen bei heterogenen Alttextilien regelmäßig nicht vor.
- / Industriell verfügbar für definierte thermoplastische Stoffströme; für heterogene Alttextilien nur eingeschränkt geeignet.

Einordnung von Südwesttextil

- / Für definierte thermoplastische Stoffströme ist das thermomechanische Recycling technisch nachvollziehbar und grundsätzlich einsetzbar. Im Verhältnis zum gesamten Alttextilaufkommen ist der geeignete Stoffstrom jedoch begrenzt: Naturfasern sind nicht erfassbar, Mischgewebe sowie Beschichtungen, Ausrüstungen und Fremdmaterialien erschweren die Verarbeitung. Das Verfahren setzt daher weitgehend sortenreine und homogene thermoplastische Stoffströme voraus, die nur einen geringen Teil der anfallenden Alttextilien ausmachen. Damit ist das Verfahren für ausgewählte Stoffströme eine technisch relevante Recyclingoption, stellt jedoch keinen Lösungsweg für die Breite des real anfallenden Alttextilaufkommens dar.

2.1.3. Mechanisches Recycling

Beim mechanischen Recycling werden textile Materialien durch physikalische Verfahren zerkleinert, geöffnet und wieder in Fasern aufgelöst. Die chemische Struktur der Fasern bleibt dabei grundsätzlich erhalten. Je nachdem, welche Qualität die zurückgewonnenen Fasern aufweisen und wofür sie anschließend eingesetzt werden, kann zwischen einer offenen und einer geschlossenen Kreislaufführung unterschieden werden.

Mechanisches Recycling kann grundsätzlich für unterschiedliche Natur- und Chemiefasern eingesetzt werden, sofern die Materialien ausreichend sortiert und die zurückgewonnenen Fasern für die jeweilige Zielanwendung eine geeignete Qualität aufweisen. Besonders günstig sind homogene und kontrollierte Stoffströme; komplexe Mischungen und stark ausgerüstete Materialien erhöhen dagegen den Aufbereitungsaufwand. Das Verfahren ist technologisch weit entwickelt und bereits heute industriell verfügbar. Seine praktische Einsatzfähigkeit hängt jedoch maßgeblich von der Zusammensetzung und Qualität des Eingangsmaterials ab.



Entscheidend sind insbesondere Faserlänge, Faserqualität und Reinheit, die Sortenreinheit und Vorbehandlung des Stoffstroms sowie die Anforderungen an den späteren Verwendungszweck der zurückgewonnenen Fasern.

Farbstoffe, Ausrüstungen, also chemische oder funktionale Behandlungen des Textils, etwa für Knitterarmut, Wasserabweisung oder antimikrobielle Eigenschaften, und sonstige im Material enthaltene Stoffe werden durch die mechanische Aufbereitung nicht chemisch aufgespalten oder gezielt herausgelöst. Störende Bestandteile lassen sich zwar im Rahmen der Sortierung und Vorbehandlung reduzieren oder entfernen. Eine vollständige Entfernung materialgebundener Farbstoffe, Ausrüstungen und weiterer Chemikalien ist jedoch nicht sichergestellt. Verbleibende Stoffe beeinflussen Zusammensetzung, Farbe und Qualität des Rezyklats und begrenzen damit dessen Einsatzmöglichkeiten. Die Folge ist, dass das Rezyklat nicht unabhängig vom ursprünglichen Material eingesetzt werden kann, sondern dessen chemische und farbliche „Altlasten“ mitführt. Dies begrenzt insbesondere den erneuten Einsatz in hochwertigen textilen Anwendungen.

2.1.4. Open-Loop Mechanical Recycling

Beschreibung des Verfahrens

- / Beim Open-Loop-Recycling werden die zurückgewonnenen Fasern nicht erneut für eine gleichartige textile Anwendung eingesetzt. Aus Alttextilien entstehen beispielsweise Vliesstoffe, Dämm- oder Füllmaterialien, Reinigungstücher oder andere Produkte, bei denen geringere Anforderungen an Faserlänge und -qualität bestehen. Das Verfahren eröffnet damit einen stofflichen Verwertungsweg auch für textile Materialien, die nicht mehr für die Herstellung neuer Garne geeignet sind.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Open-Loop-Verfahren sind technisch etabliert und werden bereits heute industriell eingesetzt. Gerade weil die Anforderungen an die zurückgewonnenen Fasern geringer sind, können sie einen relevanten Verwertungsweg für textile Abfälle darstellen.
- / Der textile Kreislauf wird dabei jedoch nicht geschlossen. Das Material steht nach der Verwertung regelmäßig nicht wieder als gleichwertiger Ausgangsstoff für die Herstellung neuer Textilien zur Verfügung. Je nach Anwendung kann damit zugleich eine weitere spätere Kreislaufführung erschwert oder beendet werden.



- / Hinzu kommt, dass auch technisch etablierte Open-Loop-Verwertungswege nicht beliebig skalierbar sind. Die tatsächlich verwertbare Menge hängt wesentlich davon ab, ob für die erzeugten Sekundärmaterialien dauerhaft ausreichende Absatzmärkte bestehen. Die Existenz eines technisch funktionierenden Verwertungswegs sagt daher noch nichts darüber aus, welche zusätzlichen Mengen über diesen Verwertungsweg tatsächlich aufgenommen werden können.
- / D.h. industriell etabliert, aber begrenzte Aufnahmefähigkeit der Absatzmärkte und kein geschlossener textiler Kreislauf.

Einordnung von Südwesttextil

- / Südwesttextil bewertet etablierte Open-Loop-Anwendungen als wichtigen Bestandteil einer funktionierenden Kreislauf- und Abfallwirtschaft. Open-Loop-Verfahren sollten dort genutzt werden können, wo sie für den jeweiligen Stoffstrom technisch und wirtschaftlich sinnvoll sind. Eine ausschließliche Bewertung danach, ob das Material unmittelbar wieder zu einem gleichartigen Textil wird, würde bestehende funktionierende Verwertungswege zu kurz greifen lassen. Im Verhältnis zur Gesamtmenge anfallender Alttextilien ist die Aufnahmefähigkeit dieser Anwendungen jedoch begrenzt. Absatzmärkte etwa für Malervlies, Dämmstoffe oder andere technische Anwendungen haben einen konkreten, nicht beliebig steigerbaren Materialbedarf und können daher nicht unbegrenzt zusätzliche Alttextilmengen aufnehmen.

2.1.5. Closed-Loop Mechanical Recycling

Beschreibung des Verfahrens

- / Beim Closed-Loop-Recycling werden die mechanisch zurückgewonnenen Fasern erneut für textile Anwendungen eingesetzt. Anders als beim Open-Loop-Recycling bleibt das Material damit grundsätzlich innerhalb des textilen Kreislaufs. Auf den ersten Blick bietet das Verfahren damit einen vergleichsweise direkten Weg, Alttextilien wieder als Rohstoff für neue Textilien zu nutzen.
- / Die Herausforderung liegt darin, dass die Fasern beim mechanischen Öffnen und Reißen nicht unverändert erhalten bleiben. Sie werden verkürzt und teilweise beschädigt. Für die erneute Garnherstellung müssen jedoch ausreichende Faserlängen und mechanische Eigenschaften vorhanden sein



Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die zentrale technische Grenze liegt in der Qualität der zurückgewonnenen Fasern. Durch das mechanische Öffnen und Reißen werden Fasern verkürzt und teilweise beschädigt. Für die Herstellung neuer Garne müssen jedoch ausreichende Faserlängen und mechanische Eigenschaften erhalten bleiben. Abhängig vom Ausgangsmaterial kann deshalb die Beimischung längerer Primärfasern oder anderer geeigneter Fasern erforderlich sein.
- / Hinzu kommen hohe Anforderungen an den Eingangsstoff. Je homogener und kontrollierter ein Stoffstrom ist, desto besser lässt er sich mechanisch zu Fasern mit definierter Qualität aufbereiten. Unterschiedliche Faserarten, komplexe Materialmischungen, Beschichtungen sowie nichttextile Bestandteile erschweren dagegen Sortierung und Aufbereitung.
- / Für ein hochwertiges Faser-zu-Faser-Recycling müssen störende Bestandteile daher möglichst weitgehend vor oder während der Aufbereitung entfernt werden. Alttextilien werden hierzu sortiert, nichttextile Komponenten soweit möglich abgetrennt und die Stoffströme weiter aufbereitet. Materialgebundene Farbstoffe, Ausrüstungen und sonstige Chemikalien lassen sich durch rein mechanische Verfahren jedoch nur begrenzt entfernen und können im zurückgewonnenen Fasermaterial verbleiben. Je heterogener der Eingangsstrom ist, desto höher sind damit die Anforderungen an Sortierung, Reinigung und Vorbehandlung.
- / Damit wird die Sortierung zu einem entscheidenden vorgelagerten Prozessschritt. Für ein hochwertiges Faser-zu-Faser-Recycling müssen Alttextilien möglichst zuverlässig nach Materialzusammensetzung und Verwertbarkeit identifiziert und getrennt werden. Hierfür werden unter anderem sensorbasierte und KI-gestützte Sortiertechnologien sowie Kennzeichnungs- und Markeransätze zur Nachverfolgung weiterentwickelt. Solche Ansätze können die Sortierung perspektivisch verbessern, stehen bislang jedoch nicht flächendeckend und für sämtliche relevanten Stoffströme als etablierte Infrastruktur zur Verfügung.
- / Die Herausforderung nimmt zusätzlich zu, wenn die zur stofflichen Verwertung verbleibenden Alttextilien heterogener oder qualitativ schlechter werden. Je geringer die Qualität des Eingangstroms, desto höher werden die Anforderungen an Sortierung, Vorbehandlung und Prozessführung – während gleichzeitig die erzielbare Faserqualität begrenzt bleibt.



- / Closed-Loop Mechanical Recycling ist damit für geeignete Stoffströme technisch möglich und bereits industriell einsetzbar. Die Qualität und Zusammensetzung real anfallender Alttextilien setzen seiner breiten Anwendung jedoch klare Grenzen.

Einordnung von Südwesttextil

- / Das mechanische Faser-zu-Faser-Recycling zeigt besonders deutlich, dass die Existenz eines funktionierenden Recyclingverfahrens allein noch keinen geschlossenen Kreislauf schafft. Entscheidend ist, ob aus den tatsächlich anfallenden Alttextilien ein ausreichend homogener und qualitativ geeigneter Input bereitgestellt werden kann. Fortschritte bei Sortierung und Kennzeichnung können diese Voraussetzungen verbessern. Sie lösen jedoch weder den prozessbedingten Qualitätsverlust der Fasern noch schaffen sie eine flächendeckend verfügbare Sortier- und Aufbereitungsinfrastruktur.
- / Es ist daher zu berücksichtigen, dass hochwertiges mechanisches Faser-zu-Faser-Recycling konkrete Anforderungen an Materialzusammensetzung, Faserqualität sowie Sortierung und Vorbehandlung des Eingangsstroms stellt. Die grundsätzliche technische Recyclingfähigkeit eines Textils darf nicht mit seiner tatsächlichen Recyclingfähigkeit unter realen industriellen Bedingungen gleichgesetzt werden.

2.1.6. Lösemittelbasierte Aufbereitung

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der lösemittelbasierten Aufbereitung werden textile Materialien nicht mechanisch zerfasert oder aufgeschmolzen. Stattdessen wird ein bestimmter Faserbe beziehungsweise Polymerbestandteil mithilfe eines geeigneten Lösungsmittels gezielt aus dem Textil herausgelöst. Andere Bestandteile bleiben zunächst zurück und können anschließend getrennt werden. Auf diese Weise lassen sich grundsätzlich auch Materialkombinationen behandeln, die mechanisch nur schwer voneinander zu trennen sind. Je nach Verfahren kann der gelöste Bestandteil anschließend gereinigt, zurückgewonnen und erneut als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Fasern eingesetzt werden.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die Möglichkeit, einzelne Bestandteile eines Mischtextils gezielt voneinander zu trennen, macht lösemittelbasierte Verfahren insbesondere für Faser- und



Materialmischungen interessant. Ihre praktische Eignung hängt jedoch stark davon ab, welches Material gelöst werden soll und welche weiteren Bestandteile im Textil enthalten sind. Das verwendete Lösungsmittel und die Prozessbedingungen sind jeweils auf bestimmte Polymere beziehungsweise Faserkombinationen ausgelegt. Ein Verfahren, das beispielsweise für eine bestimmte Polyester-Baumwoll-Mischung geeignet ist, lässt sich daher nicht ohne Weiteres auf beliebige Mischgewebe übertragen. Zusätzliche Faserarten, Elasthan, Beschichtungen, Farbstoffe, Ausrüstungen oder nichttextile Komponenten können zusätzliche Trennungs- und Reinigungsschritte erforderlich machen oder die Qualität des zurückgewonnenen Materials beeinflussen.

- / Auch hier bleibt die Kenntnis der tatsächlichen Materialzusammensetzung daher eine wesentliche Voraussetzung. Je heterogener der Eingangsstrom ist, desto schwieriger wird es, die für den jeweiligen Prozess geeigneten Textilien zuverlässig zu identifizieren und in ausreichender Menge bereitzustellen.
- / Hinzu kommen prozessbezogene Anforderungen. Lösungsmittel müssen eingesetzt, zurückgewonnen und möglichst im Kreislauf geführt werden; zugleich bestimmen Energie- und Chemikalienbedarf, Ausbeute, Reinheit des gewonnenen Materials und die Skalierbarkeit des Prozesses dessen wirtschaftliche Einsatzfähigkeit.
- / Lösemittelbasierte Verfahren können damit gezielt solche Materialkombinationen erschließen, die mit rein mechanischen Verfahren nicht ausreichend getrennt werden können. Eine universelle Trenntechnologie für heterogene Alttextilien stellen sie jedoch nicht dar.
- / Je nach Technologie Pilot-, Demonstrations- bis erste industrielle Anwendungen; insgesamt bislang begrenzt industriell verfügbar.

Einordnung von Südwesttextil

- / Lösemittelbasierte Verfahren erweitern die technischen Möglichkeiten insbesondere für textile Materialmischungen. Ihre Eignung bleibt jedoch an die konkrete Zusammensetzung des Eingangsmaterials und an das jeweils eingesetzte Verfahren gebunden. Dass bestimmte Faserkombinationen technisch getrennt und zurückgewonnen werden können, erlaubt daher keinen Rückschluss auf die Verwertbarkeit beliebiger Mischtextilien. Hinzu kommt, dass entsprechende Verfahren bislang sehr begrenzt industriell verfügbar sind und ihre Skalierung je nach Technologie



noch nicht abgeschlossen ist. Entscheidend bleibt damit, ob geeignete Alttextilien identifiziert, in ausreichender Menge bereitgestellt und unter industriellen Bedingungen wirtschaftlich verarbeitet werden können.

2.1.7. Rohstoffliches Recycling

Beim rohstofflichen Recycling werden Polymere chemisch, biochemisch oder thermochemisch in kleinere Bausteine oder andere Rohstoffträger zerlegt. Auf dieser Grundlage können neue Polymere, chemische Rohstoffe oder Energieträger erzeugt werden. Rohstoffliche Verfahren können grundsätzlich auch dort eingesetzt werden, wo werkstoffliche Verfahren aufgrund von Mischungen, geringen Faserlängen oder Verunreinigungen an Grenzen stoßen. Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich jedoch erheblich darin, ob sie tatsächlich wieder Ausgangsstoffe für neue Fasern erzeugen oder den textilen Materialkreislauf verlassen.

2.1.8. Chemisches Recycling

Beim chemischen Recycling werden Polymere durch chemische Reaktionen in kleinere Moleküle bis hin zu ihren Ausgangsbausteinen zerlegt. Bei Polyester können auf diese Weise beispielsweise Zwischenprodukte oder Monomere zurückgewonnen werden, aus denen anschließend erneut Polyester hergestellt werden kann. Der wesentliche Vorteil gegenüber mechanischen Verfahren liegt darin, dass die Qualität des zurückgewonnenen Rohstoffs nicht unmittelbar von der ursprünglichen Faserlänge abhängt. Chemische Verfahren eröffnen damit grundsätzlich die Möglichkeit, auch aus gebrauchten Textilien wieder Ausgangsstoffe für hochwertige Fasern zu gewinnen. Welche Stoffströme tatsächlich verarbeitet werden können und wie weit ein Verfahren technologisch entwickelt ist, hängt jedoch stark vom jeweiligen chemischen Prozess und vom konkreten Eingangsmaterial ab.

Anwendbarkeit in der Praxis

- Die besondere Herausforderung chemischer Recyclingverfahren liegt weniger in der grundsätzlichen chemischen Zerlegbarkeit einzelner Polymere als in der Übertragung dieser Prozesse auf reale textile Stoffströme. Ein Textil besteht nicht allein aus den auf dem Kennzeichnungsetikett ausgewiesenen Fasern. Zwei Produkte mit derselben Faserzusammensetzung können sich recyclingtechnisch erheblich unterscheiden. Neben den eigentlichen Fasern können unter anderem unterschiedliche Farbstoffe und Pigmente, Hilfsmittel aus Färbe- und Veredelungsprozessen, Beschichtungen, Drucke, Klebstoffe oder funktionelle Ausrüstungen enthalten sein. Dazu gehören bei



Bekleidung beispielsweise Pflegeleicht- oder Bügelfrei-Ausrüstungen, antimikrobielle oder geruchshemmende Ausrüstungen sowie wasser-, öl- oder schmutzabweisende Funktionen.

- / Diese zusätzlichen Stoffe werden durch die chemische Zerlegung des Zielpolymers nicht automatisch entfernt. Sie können den Recyclingprozess beeinflussen, in andere Stoffströme übergehen oder die Reinheit des zurückgewonnenen Rohstoffs beeinträchtigen. Vor- und nachgelagerte Trennungs-, Reinigungs- und Aufbereitungsschritte müssen daher auf die jeweilige Zusammensetzung des Eingangsmaterials abgestimmt werden.
- / Besonders herausfordernd sind Mehrkomponententextilien mit kleineren Anteilen weiterer Fasern, etwa Elasthan. Elasthan wird häufig in geringen Mengen eingesetzt, um Elastizität, Passform und Tragekomfort zu erzielen, kann jedoch sowohl mechanische als auch chemische Recyclingprozesse erheblich beeinflussen. Je nach Verfahren muss es toleriert, vorab entfernt oder gezielt chemisch behandelt werden. Die Entwicklung selektiver Verfahren zur Entfernung beziehungsweise Depolymerisation von Elasthan ist daher selbst Gegenstand aktueller Forschung
- / Damit reicht selbst die Kenntnis der Faserzusammensetzung nicht immer aus, um die Eignung eines Textils für einen konkreten chemischen Recyclingprozess zuverlässig zu bestimmen. Mit zunehmender Zahl und Variabilität der eingesetzten Materialien und Chemikalien steigt vielmehr die Komplexität der erforderlichen Prozessführung. Diese Vielfalt ist jedoch nicht gleichbedeutend mit vermeidbarer Produktkomplexität. Unterschiedliche Materialien und Ausrüstungen erfüllen regelmäßig konkrete funktionale Anforderungen und werden ihrerseits fortlaufend weiterentwickelt, etwa mit Blick auf Haltbarkeit, Pflegeeigenschaften, Ressourceneffizienz oder spezifische Schutz- und Nutzungseigenschaften. Was für einen definierten Polyesterstrom oder eine bestimmte Polyester-Baumwoll-Mischung technisch funktioniert, lässt sich deshalb nicht ohne Weiteres auf andere Mischungsverhältnisse, Färbungen, Ausrüstungen oder Produktaufbauten übertragen. Die Herausforderung liegt damit nicht allein in der Gestaltung des Textils, sondern ebenso in der Fähigkeit der Recyclingverfahren, mit der technologischen und funktionalen Vielfalt realer Produkte umzugehen.
- / Auch der technologische Reifegrad chemischer Recyclingverfahren ist vor diesem Hintergrund differenziert zu bewerten. Einzelne Verfahren können für bestimmte,



ausreichend definierte Polymer- oder Produktionsströme bereits einen hohen Reifegrad erreicht haben, während dasselbe Grundverfahren für heterogene Post-Consumer-Textilien noch im Entwicklungs-, Pilot- oder Demonstrationsmaßstab eingesetzt wird. Eine pauschale Zuordnung eines Reifegrads allein anhand des Verfahrens greift daher zu kurz. Mit jedem zusätzlichen Sortier-, Vorbehandlungs-, Trennungs- und Reinigungsschritt steigen zugleich der technische Aufwand und damit regelmäßig auch die Kosten. Ein chemisches Verfahren kann damit technisch funktionsfähig sein, ohne dass daraus bereits ein wirtschaftlich tragfähiger Recyclingweg für die tatsächlich anfallenden Alttextilströme entsteht.

- / Schließlich ist auch die ökologische Vorteilhaftigkeit nicht allein aus der technischen Möglichkeit des Recyclings abzuleiten. Je aufwendiger Sortierung, Vorbehandlung, chemische Reaktion, Reinigung und Rückgewinnung der eingesetzten Stoffe ausfallen, desto stärker fallen Energie-, Wasser-, Chemikalien- und Ressourcenbedarf des Gesamtprozesses ins Gewicht. Entscheidend ist deshalb nicht nur, ob ein Material chemisch zurückgewonnen werden kann, sondern ob der Recyclingprozess unter Berücksichtigung des gesamten Aufwands tatsächlich einen ökologischen Mehrwert gegenüber dem Einsatz von Primärmaterial erreicht.

Einordnung von Südwesttextil

- / Chemische Recyclingverfahren können insbesondere dort Potenzial entfalten, wo mechanische Verfahren aufgrund von Faserqualität oder Materialmischungen an Grenzen stoßen. Ihre tatsächliche Einsatzfähigkeit lässt sich jedoch nicht allein anhand der chemischen Recyclingfähigkeit des Hauptpolymers bewerten. Entscheidend ist vielmehr die konkrete Zusammensetzung des Alttextils einschließlich Färbungen, Ausrüstungen und weiterer Materialbestandteile.
- / Aus dieser Komplexität folgt zugleich nicht, dass textile Produkte allein zugunsten bestehender Recyclingverfahren technisch vereinfacht werden sollten. Materialkombinationen und funktionelle Ausrüstungen erfüllen regelmäßig konkrete Anforderungen an Gebrauch, Haltbarkeit, Sicherheit oder Ressourceneffizienz. Die Herausforderung besteht daher darin, Recyclingtechnologien so weiterzuentwickeln, dass sie mit der Vielfalt realer Textilien umgehen können.

Chemisches Recycling umfasst verschiedene Reaktionswege, die sich insbesondere hinsichtlich eingesetzter Reagenzien, Prozessbedingungen, geeigneter Polymere und



technologischer Reifegrade unterscheiden. Da sich diese Unterschiede unmittelbar auf die praktische Eignung für textile Abfallströme auswirken, werden die relevanten Verfahren nachfolgend getrennt betrachtet.

2.1.9. Aminolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der Aminolyse werden Polymerketten mithilfe von Aminen chemisch gespalten. Das Polymer wird dabei in kleinere chemische Verbindungen zerlegt, die anschließend weiter aufbereitet und grundsätzlich wieder als Rohstoff genutzt werden können. Je nach eingesetztem Polymer, Reagenz und Prozessführung entstehen unterschiedliche Reaktionsprodukte. Das Verfahren wird insbesondere als chemischer Ansatz zur Depolymerisation von Polyester beziehungsweise Polyamiden untersucht.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Das Verfahren ist insbesondere für Polyester und abhängig von der konkreten Prozessführung, für bestimmte Polyamide relevant; für textile Mischströme ist seine Eignung entsprechend von der jeweiligen Materialzusammensetzung abhängig.
- / Die Aminolyse zeigt, dass Polymere chemisch grundsätzlich weitgehend zurückgeführt werden können. Der technologische Reifegrad unterscheidet sich jedoch erheblich danach, ob lediglich eine partielle chemische Veränderung des Materials oder eine weitgehende Depolymerisation mit anschließender Rohstoffrückgewinnung betrachtet wird. Industriell entwickelte Anwendungen beziehen sich bislang insbesondere auf partielle Aminolyse; eine vollständige Rückführung heterogener textiler Post-Consumer-Ströme ist dagegen nicht als breit verfügbarer industrieller Recyclingweg etabliert.
- / Für reale Alttextilien kommen zudem die bereits beschriebenen Anforderungen an Materialzusammensetzung und Vorbehandlung hinzu. Die chemische Reaktion mit dem Zielpolymer allein löst die Frage anderer Fasern, Ausrüstungen oder Begleitstoffe nicht. Je komplexer der Eingangsstrom, desto höher werden entsprechend Trennungsaufwand sowie Reinigungs- und Prozessanforderungen.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die Aminolyse zeigt exemplarisch, dass die grundsätzliche chemische Zerlegbarkeit eines Polymers nicht mit einem verfügbaren Recyclingweg für reale Alttextilien



gleichgesetzt werden kann. Für definierte Ströme ist das Verfahren technisch weit untersucht; für heterogene textile Post-Consumer-Ströme fehlt bislang jedoch eine entsprechend breit verfügbare industrielle Anwendung.

2.1.10. Glykolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der Glykolyse wird Polyester unter Einsatz eines Glykols und unter Wärmezufuhr chemisch aufgespalten. Die langen Polymerketten werden dabei in kleinere Moleküle beziehungsweise Zwischenprodukte zerlegt, die anschließend gereinigt und erneut zur Herstellung von Polyester eingesetzt werden können. Das Verfahren ermöglicht damit grundsätzlich eine Rückführung des Materials auf eine chemische Ebene, ohne dass die ursprüngliche Faserlänge erhalten bleiben muss.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die Glykolyse eignet sich insbesondere für PET (Polyethylenterephthalat, Teil der Polyesterfamilie, das beispielsweise für die Herstellung von Textilien oder Plastikflaschen verwendet wird) beziehungsweise polyesterreiche Stoffströme; andere Faserbestandteile werden nicht in gleicher Weise depolymerisiert und müssen im Prozess entsprechend abgetrennt oder behandelt werden.
- / Unter den chemischen Verfahren zur Depolymerisation von PET gehört die Glykolyse zu den vergleichsweise weit entwickelten Ansätzen. Ihr Vorteil liegt unter anderem darin, dass Polyester nicht lediglich aufgeschmolzen, sondern chemisch aufbereitet wird und dadurch bestimmte Qualitätsverluste des mechanischen beziehungsweise thermomechanischen Recyclings vermieden werden können. Entscheidend ist insbesondere ein ausreichend hoher PET-Anteil. Andere Fasern und Materialbestandteile müssen entweder vorab abgetrennt oder im weiteren Prozess als Nebenstrom behandelt werden. Mit zunehmender Heterogenität steigen damit Reinigungsaufwand, Stoffverluste und Prozesskosten.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die Glykolyse zeigt, dass ein qualitativ hochwertiges chemisches Recycling für definierte Stoffströme technisch grundsätzlich in industriellem Maßstab möglich ist. Der entscheidende Engpass verlagert sich jedoch auf die Verfügbarkeit geeigneter polyesterreicher Stoffströme, deren Vorbehandlung sowie auf ausreichende



industrielle Recyclingkapazitäten und letztlich auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Prozesses.

2.1.11. Methanolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der Methanolyse wird Polyester mithilfe von Methanol und unter erhöhten Temperaturen und unter Druck chemisch in seine Ausgangsbausteine zerlegt. Diese können anschließend gereinigt und erneut zur Herstellung von Polyester eingesetzt werden. Durch die weitgehende Rückführung des Polymers können grundsätzlich Rohstoffe mit einer Qualität erzeugt werden, die wieder für hochwertige Anwendungen geeignet ist.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die Methanolyse richtet sich ebenfalls vor allem auf **PET-haltige Stoffströme**. Sie kann insbesondere bei ausreichend polyesterreichen Materialien eingesetzt werden; bei Mehrkomponententextilien müssen Baumwolle, Polyamid, Elasthan oder andere Bestandteile im Prozess getrennt beziehungsweise als eigene Stoffströme berücksichtigt werden. Die Methanolyse ermöglicht die Rückgewinnung hochwertiger Ausgangsstoffe und vermeidet damit die Qualitätsverluste wiederholter mechanischer oder thermischer Verarbeitung. Als Verfahren zur Depolymerisation von PET ist sie chemisch etabliert und für definierte PET-Ströme weit entwickelt. Verfahrensspezifisch anspruchsvoll ist die Prozessführung: Methanoleinsatz, erhöhte Temperaturen und Drücke sowie die anschließende Trennung und Reinigung der Reaktionsprodukte bestimmen technischen Aufwand und Wirtschaftlichkeit. Für heterogene textile Post-Consumer-Ströme steht die Methanolyse daher bislang nicht als flächendeckend verfügbarer industrieller Recyclingweg zur Verfügung.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die Methanolyse ermöglicht grundsätzlich eine hochwertige Rückgewinnung chemischer Ausgangsstoffe. Der hohe Qualitätsanspruch wird jedoch mit einer technisch aufwendigen Prozessführung erkaufte. Auch hier entscheidet deshalb nicht allein die Qualität des erreichbaren Outputs darüber, ob das Verfahren für reale textile Alttextilströme einen wirtschaftlich tragfähigen Recyclingweg darstellt, sondern insbesondere die Kosten für Sortierung und Vorbehandlung, Energie- und



Chemikalieneinsatz sowie die technisch erforderliche Prozessführung im Verhältnis zum erzielbaren Rezyklatwert.

2.1.12. Alkalische Hydrolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der alkalischen Hydrolyse werden Polymerketten mithilfe einer alkalischen Lösung und unter Einwirkung von Wärme und Wasser chemisch gespalten. Dabei können die Ausgangsbausteine des Polymers zurückgewonnen, gereinigt und erneut zur Herstellung eingesetzt werden.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die alkalische Hydrolyse eignet sich insbesondere für hydrolysierbare Polyester und kann auch bei bestimmten Mischtextilien genutzt werden, wenn einzelne Bestandteile gezielt chemisch zerlegt oder voneinander getrennt werden sollen. Welche Fasern erhalten, gelöst oder als Nebenstrom ausgeschleust werden, hängt jedoch stark von der konkreten Materialkombination und Prozessführung ab.
- / Die alkalische Hydrolyse kann grundsätzlich hochwertige chemische Ausgangsstoffe erzeugen. Sie benötigt jedoch geeignete Reaktionsbedingungen und einen entsprechenden Einsatz von Ressourcen. Nach der Depolymerisation sind zusätzliche Trennungs- und Reinigungsschritte erforderlich. Die praktische Eignung hängt auch hier wesentlich von der Zusammensetzung des Eingangsmaterials ab.
- / Für textile Post-Consumer-Abfälle ist die alkalische Hydrolyse bislang nicht als flächendeckend etabliertes industrielles Recyclingverfahren verfügbar. Zwischen chemischer Funktionsfähigkeit und einer wirtschaftlich tragfähigen Verarbeitung heterogener Alttextilströme besteht eine erhebliche Lücke.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die alkalische Hydrolyse zeigt, dass eine weitgehende chemische Rückführung technisch möglich sein kann, ohne dass damit bereits ein effizienter Recyclingprozess erreicht ist. Denn mit zunehmendem Aufwand für Chemikalieneinsatz, Energiebedarf, Trennung, Reinigung und Aufbereitung erhöhen sich Prozessaufwand und Kosten; zugleich steigt das Risiko, dass sich der ökologische Vorteil gegenüber dem Einsatz von Primärmaterial deutlich reduziert oder ganz entfällt.



2.1.13. Saure Hydrolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der sauren Hydrolyse werden Polymerketten unter Einsatz einer Säure und von Wasser chemisch gespalten. Ziel ist es, das Polymer in kleinere chemische Ausgangsbausteine zu zerlegen, die nach Reinigung erneut für die Polymerherstellung verwendet werden können. Im Unterschied zur alkalischen Hydrolyse erfolgt die Spaltung unter sauren Reaktionsbedingungen. Das Grundprinzip – die chemische Rückführung des Polymers – bleibt jedoch vergleichbar.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die saure Hydrolyse ist nicht ausschließlich auf PET beschränkt, sondern kann je nach Prozessbedingungen für verschiedene hydrolysierbare Polymere und Faserbestandteile eingesetzt werden. Gerade bei Mischtextilien muss jedoch gezielt gesteuert werden, welche Komponente zerlegt und welche erhalten werden soll.
- / Die saure Hydrolyse kann geeignete Polymere weitgehend zerlegen, erfordert jedoch vergleichsweise anspruchsvolle Reaktionsbedingungen. Insbesondere der Umgang mit starken Säuren stellt erhöhte Anforderungen an Prozessführung, Anlagenmaterialien, Neutralisation und anschließende Aufbereitung.
- / Der technische Reifegrad hängt wiederum stark vom konkreten Polymer und Eingangsstrom ab. Chemische Depolymerisation kann für definierte Stoffströme weit entwickelt sein; für heterogene textile Post-Consumer-Ströme ist die industrielle Verfügbarkeit jedoch deutlich begrenzter und befindet sich hauptsächlich im Forschungsstadium.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die saure Hydrolyse verdeutlicht den Zielkonflikt zwischen möglichst weitgehender Rohstoffrückgewinnung und dem hierfür notwendigen Prozessaufwand. Entscheidend ist daher nicht allein, wie vollständig ein Polymer chemisch zerlegt werden kann, sondern ob dies für reale textile Stoffströme unter wirtschaftlich und ökologisch vertretbaren Bedingungen möglich ist. Hinzu kommt, dass das Verfahren nur für bestimmte Materialien und ausreichend definierte Stoffströme geeignet ist. Für die breite Verwertung anfallender Alttextilien ist die saure Hydrolyse daher derzeit weder universell einsetzbar noch wirtschaftlich tragfähig.



2.1.14. Neutrale Hydrolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der neutralen Hydrolyse wird das Polymer im Wesentlichen durch Wasser unter erhöhten Temperaturen und Druck chemisch gespalten. Anders als bei der sauren oder alkalischen Hydrolyse werden keine starken Säuren oder Basen als zentrales Reaktionsmedium eingesetzt. Auch auf diesem Weg können geeignete Polymere grundsätzlich bis zu chemischen Ausgangsbausteinen zurückgeführt werden.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die neutrale Hydrolyse kommt insbesondere für hydrolysierbare Polyester und andere geeignete Polymere in Betracht. Ihre praktische Eignung hängt stark davon ab, ob der jeweilige Polymerbestandteil unter den erforderlichen Temperatur- und Druckbedingungen selektiv zurückgewonnen werden kann, ohne dass andere Bestandteile die Prozessführung oder Produktqualität beeinträchtigen.
- / Der geringere Einsatz stark saurer oder alkalischer Reagenzien erscheint zunächst vorteilhaft. Die dafür erforderlichen hohen Temperaturen und Drücke erhöhen jedoch wiederum Energiebedarf, technische Anforderungen und Anlagenaufwand. Auch der Reifegrad der neutralen Hydrolyse hängt stark von Prozessvariante und Eingangsmaterial ab. Für definierte Polymerströme können entsprechende Verfahren technisch weit entwickelt sein; eine flächendeckende industrielle Anwendung für heterogene textile Post-Consumer-Ströme besteht bislang nicht. Für heterogene textile Post-Consumer-Ströme ist eine entsprechende industrielle Anwendung bislang jedoch nur sehr begrenzt verfügbar.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die neutrale Hydrolyse reduziert einzelne Nachteile saurer oder alkalischer Verfahren, verlagert den Aufwand jedoch auf andere Prozessparameter. In der Gesamtbetrachtung bleiben Energiebedarf, Prozessführung sowie Sortier- und Vorbehandlungskosten so hoch, dass das Verfahren derzeit nicht wirtschaftlich wettbewerbsfähig ist. Hinzu kommt die begrenzte Eignung für heterogene textile Abfallströme. Die Optimierung einzelner Verfahrensschritte ändert damit nichts daran, dass eine wirtschaftlich tragfähige industrielle Skalierung für die Breite anfallender Alttextilien auch mit dem Einsatz von Hydrolyse derzeit nicht gegeben ist.



2.1.15. Biochemisches Recycling

Beim biochemischen Recycling werden Polymerketten mithilfe von Enzymen unter vergleichsweise milden Prozessbedingungen gespalten. Die gewonnenen Monomere können gereinigt und erneut polymerisiert werden.

2.1.16. Enzymatische Hydrolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der enzymatischen Hydrolyse werden spezifische Enzyme eingesetzt, die bestimmte chemische Bindungen eines Polymers erkennen und gezielt spalten. So können beispielsweise Polyester oder cellulosehaltige Materialien in kleinere chemische Bausteine zerlegt werden, die anschließend gereinigt und grundsätzlich erneut als Rohstoff genutzt werden können. Der besondere Vorteil liegt in der hohen Selektivität der Enzyme. Bei geeigneten Mischtextilien kann dadurch gezielt ein Bestandteil angegriffen werden, während ein anderer weitgehend erhalten bleibt.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Enzymatische Verfahren werden insbesondere für PET, cellulosehaltige Fasern sowie definierte Polyester-Baumwoll-Mischungen entwickelt. Für solche Stoffströme eröffnet die Selektivität der Enzyme grundsätzlich interessante Möglichkeiten, einzelne Materialkomponenten voneinander zu trennen oder gezielt zu depolymerisieren. Gerade diese Selektivität stellt jedoch zugleich hohe Anforderungen an den Prozess. Das eingesetzte Enzym muss zur chemischen Struktur des Zielmaterials passen und ausreichenden Zugang zum Polymer erhalten. Vorbehandlungsprozesse können deshalb erforderlich sein, um die Faser- oder Polymerstruktur für die enzymatische Reaktion zugänglich zu machen.
- / Hinzu kommen bislang insbesondere Reaktionsgeschwindigkeit, Durchsatz, Enzymkosten und die Frage, in welchem Umfang Enzyme zurückgewonnen oder wiederverwendet werden können. Der technologische Reifegrad variiert entsprechend stark nach Material und konkretem Prozess. Für definierte Ausgangsmaterialien bestehen weit entwickelte Ansätze; die Verarbeitung heterogener textiler Post-Consumer-Ströme befindet sich dagegen weiterhin überwiegend im Entwicklungs- und Skalierungsstadium.



Einordnung von Südwesttextil

- / Die enzymatische Hydrolyse erscheint zunächst als vielversprechende Antwort auf einige Nachteile klassischer chemischer Verfahren: hohe Selektivität, mildere Reaktionsbedingungen und die Möglichkeit, einzelne Bestandteile von Mischtextilien gezielt zu behandeln. Die praktische Herausforderung wird dadurch jedoch nicht aufgehoben, sondern teilweise verlagert. Entscheidend sind die genaue Kenntnis des Eingangsmaterials, eine geeignete Vorbehandlung sowie ausreichend schnelle und wirtschaftliche Prozesse. Für heterogene Alttextilströme steht bislang keine entsprechend breit verfügbare industrielle Recyclinginfrastruktur zur Verfügung.

2.1.17. Thermochemisches Recycling

Thermochemische Verfahren setzen an einem anderen Punkt an als die zuvor beschriebenen mechanischen, lösemittelbasierten oder depolymerisationsbasierten Verfahren. Textile Materialien werden unter hohen Temperaturen so weit umgewandelt, dass die ursprüngliche Faser- oder Polymerstruktur weitgehend verloren geht. Als Output entstehen gasförmige, flüssige oder feste Stoffe, die anschließend energetisch oder als allgemeine chemische Rohstoffe genutzt werden können.

Der Vorteil liegt in einer teilweise höheren Toleranz gegenüber heterogenen oder qualitativ schwächeren Eingangsstoffen. Diese Robustheit hat allerdings ihren Preis: Der zurückgewonnene Rohstoff eignet sich dann meist nicht mehr für einen unmittelbaren textilen Faser-zu-Faser-Kreislauf.

2.1.18. Pyrolyse

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der Pyrolyse werden textile Materialien unter hohen Temperaturen und weitgehendem Ausschluss von Sauerstoff thermisch zersetzt. Abhängig vom Eingangsmaterial und von der Prozessführung entstehen dabei gasförmige Produkte, Pyrolyseöl sowie feste kohlenstoffhaltige Rückstände. Die textile Faser- und Polymerstruktur bleibt dabei nicht erhalten. Soll der erzeugte Output wieder stofflich genutzt werden, muss er anschließend weiter aufbereitet und gegebenenfalls als Ausgangsstoff für neue chemische Synthesen eingesetzt werden.



Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die Pyrolyse kann grundsätzlich für verschiedene synthetische und natürliche textile Stoffströme sowie schwer trennbare Restströme eingesetzt werden. Gegenüber Faserlänge oder ursprünglicher textiler Struktur ist sie deutlich weniger empfindlich als hochwertige Faserrecyclingverfahren. Die Heterogenität des Inputs wirkt sich jedoch auf Zusammensetzung und Qualität der entstehenden Produkte aus. Insbesondere Pyrolyseöle können umfangreiche Reinigungs-, Raffinations- oder weitere Konversionsschritte erfordern, bevor eine hochwertige stoffliche Nutzung möglich ist.
- / Der technologische Reifegrad hängt deshalb stark davon ab, welcher Stoffstrom verarbeitet und welcher Output angestrebt wird. Pyrolyse ist als thermochemisches Grundverfahren weit entwickelt; ihre Anwendung als Ausgangspunkt für einen geschlossenen textilen Materialkreislauf ist dagegen deutlich weniger ausgereift und Gegenstand der Forschung.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die Pyrolyse löst zunächst eines der zentralen Probleme anderer Recyclingverfahren: Sie kann auch mit Stoffströmen umgehen, die für eine hochwertige mechanische oder selektive chemische Aufbereitung nur eingeschränkt geeignet sind. Dieser Vorteil kommt jedoch mit einem weitgehenden Verlust der ursprünglichen Materialstruktur daher. Je nach angestrebter Nutzung sind anschließend zusätzliche Aufbereitungs- und Syntheseschritte erforderlich.

2.1.19. Hydrothermale Karbonisierung (HTC)

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der hydrothermalen Karbonisierung werden organische Materialien in Wasser unter erhöhtem Druck und erhöhten Temperaturen behandelt. Dabei wird die organische Struktur des Ausgangsmaterials umgewandelt und insbesondere ein kohlenstoffreicher Feststoff, sogenannter Hydrochar, erzeugt. Anders als bei Pyrolyse und Gasifikation erfolgt der Prozess in wässriger Phase. Dadurch können auch feuchte Eingangsmaterialien verarbeitet werden, ohne sie zuvor vollständig trocknen zu müssen.



Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die hydrothermale Karbonisierung ist insbesondere für organische und kohlenstoffreiche Stoffströme, darunter cellulosehaltige textile Materialien, von Interesse. Sie kann auch für verschmutzte oder schwierig anderweitig verwertbare Restströme eine Behandlungsmöglichkeit darstellen. Der Output ist jedoch kein textiler Rohstoff. Er kann als kohlenstoffhaltiges Material oder in weiteren industriellen beziehungsweise energetischen Anwendungen genutzt werden, eine unmittelbare Rückführung in neue Fasern findet jedoch nicht statt.
- / Für textile Abfallströme befindet sich die Anwendung der HTC bislang nicht auf dem Niveau einer breit verfügbaren industriellen Recyclingtechnologie. Der technologische Reifegrad hängt stark vom jeweiligen Ausgangsmaterial und vom angestrebten Einsatz des erzeugten Hydrochars ab.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die hydrothermale Karbonisierung kann für bestimmte textile Restströme einen zusätzlichen Verwertungsweg eröffnen. Für die Schließung textiler Stoffkreisläufe ist ihre Bedeutung jedoch begrenzt, da der textile Materialwert im Prozess weitgehend aufgegeben wird. Auch hier muss daher zwischen der technischen Verwertbarkeit eines Alttextils und seiner tatsächlichen Rückführung in einen textilen Kreislauf unterschieden werden.

2.1.20. Hydrothermale Depolymerisation / Hydrothermale Verflüssigung (HTL)

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der hydrothermalen Depolymerisation beziehungsweise Verflüssigung werden textile Materialien in Wasser unter erhöhtem Druck und erhöhten Temperaturen chemisch und thermisch aufgespalten. Abhängig von Prozessbedingungen und Eingangsmaterial entstehen flüssige organische Produkte, chemische Zwischenprodukte und weitere Stofffraktionen. Im Unterschied zur hydrothermalen Karbonisierung steht damit weniger die Erzeugung eines festen kohlenstoffreichen Produkts als die Rückgewinnung flüssiger beziehungsweise chemisch weiter nutzbarer Stoffe im Vordergrund.



Anwendbarkeit in der Praxis

- / Das Verfahren wird für unterschiedliche organische und polymerhaltige Stoffströme untersucht; von natürlichen, kohlenstoffbasierten Materialien wie Zellulose bis zu synthetischen Polymeren wie Polyester oder Polyamid sowie für bestimmte Fasermischungen. Interessant ist insbesondere die Möglichkeit, bei geeigneten Materialkombinationen mehrere Bestandteile parallel umzuwandeln und daraus unterschiedliche Rohstofffraktionen zurückzugewinnen.
- / Bei Polyester-Baumwoll-Mischungen können beispielsweise die beiden Faserkomponenten auf unterschiedlichen chemischen Pfaden umgesetzt werden. Diese Möglichkeit ist technologisch interessant, setzt jedoch eine entsprechend kontrollierte Prozessführung und eine anschließende Trennung und Aufbereitung der entstehenden Stoffströme voraus.
- / Der technologische Reifegrad variiert stark nach Prozessvariante und Eingangsmaterial. Für textile Post-Consumer-Ströme befindet sich die Technologie bislang überwiegend im Entwicklungs- und Demonstrationsbereich; eine breit verfügbare industrielle Anwendung besteht nicht.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die hydrothermale Depolymerisation eröffnet perspektivisch für die Forschung interessante Möglichkeiten, gerade weil sie auch komplexere Materialkombinationen adressieren kann. Dass mehrere textile Komponenten grundsätzlich parallel chemisch umgesetzt werden können, bedeutet jedoch noch nicht, dass daraus ein wirtschaftlich und industriell tragfähiger Faser-zu-Faser-Prozess entsteht. Der Nutzen hängt wesentlich von Ausbeute, Qualität und Trennbarkeit der entstehenden Stofffraktionen sowie vom Aufwand der nachgelagerten Aufbereitung ab.

2.1.21. Gasifikation

Beschreibung des Verfahrens

- / Bei der Gasifikation werden textile Materialien bei sehr hohen Temperaturen unter kontrollierter Zugabe von Sauerstoff beziehungsweise Wasserdampf weitgehend in gasförmige Bestandteile zerlegt. Es entsteht ein Synthesegas, das insbesondere Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthält und energetisch genutzt oder als



Ausgangsstoff für chemische Synthesen eingesetzt werden kann. Von der ursprünglichen Faser- oder Polymerstruktur bleibt dabei nichts erhalten.

Anwendbarkeit in der Praxis

- / Die Gasifikation kann grundsätzlich sehr unterschiedliche kohlenstoffhaltige textile Stoffströme aufnehmen und eignet sich damit auch für Materialien, die aufgrund ihrer Zusammensetzung oder Qualität für höherwertige Recyclingverfahren nicht mehr geeignet sind. Gerade diese Robustheit ist jedoch mit einer maximalen Entfernung vom ursprünglichen Textil verbunden. Das entstehende Synthesegas ist ein allgemeiner chemischer beziehungsweise energetischer Rohstoff. Soll daraus erneut ein Polymer für textile Fasern entstehen, muss eine vollständige nachgelagerte chemische Synthesekette durchlaufen werden. Die Gasifikation selbst weist als thermochemisches Grundverfahren einen vergleichsweise hohen technologischen Reifegrad auf. Dies gilt jedoch nicht gleichermaßen für die Rückführung gasifizierter textiler Abfälle in neue textile Produkte.

Einordnung von Südwesttextil

- / Die Gasifikation macht die notwendige Differenzierung zwischen **Verwertbarkeit und Kreislauffähigkeit** besonders deutlich. Ein textiles Material kann technisch vollständig verwertet werden, ohne dass sein Materialwert im textilen Kreislauf erhalten bleibt. Die hohe Reife eines thermochemischen Grundverfahrens darf deshalb nicht mit einer hohen Reife des textilen Recyclings gleichgesetzt werden. Für einen Faser-zu-Faser-Kreislauf bietet die Gasifikation keinen unmittelbaren Rückführungsweg.

2.2. Übergreifende Erkenntnisse der Verfahrensanalyse

Die Betrachtung der einzelnen Recyclingverfahren macht deutlich, dass die technische Existenz eines Verfahrens allein nur begrenzt Auskunft darüber gibt, welche textilen Abfallmengen darüber tatsächlich hochwertig verwertet werden können. Für die praktische Einsetzbarkeit greifen vielmehr mehrere Voraussetzungen ineinander:

1. **Eignung und Reifegrad eines Verfahrens sind nur im Zusammenhang mit dem konkreten Eingangsmaterial aussagekräftig.** Ein Verfahren kann für saubere, sortenreine Produktionsabfälle bereits industriell etabliert sein und für heterogene Post-Consumer-Textilien zugleich deutlich niedrigere Reifegrade aufweisen. Entscheidend



sind insbesondere Faserart und -qualität, Mischungsverhältnisse, Verunreinigungen sowie Sortierung und Vorbehandlung.

2. **Die Faserzusammensetzung allein bestimmt noch nicht die Recyclingfähigkeit eines Textils.** Farbstoffe, Ausrüstungen, Beschichtungen und weitere funktionale Bestandteile können den Recyclingprozess und die Qualität des Outputs erheblich beeinflussen. Zwei Textilien mit identischer Faserkennzeichnung können sich deshalb recyclingtechnisch deutlich unterscheiden.
3. **Industrielle Reife und Kreislauffähigkeit sind nicht gleichzusetzen.** Technologisch weit entwickelte Verfahren führen textile Abfälle teilweise in geringerwertige Anwendungen oder in eine energetische beziehungsweise allgemeine rohstoffliche Verwertung. **Verfahren mit dem Potenzial für neuwertige Faser-zu-Faser-Kreisläufe stehen dagegen für heterogene textile Alttextilien bislang nicht in ausreichender industrieller Breite und Kapazität zur Verfügung.**
4. **Die Qualität des Rezyklats bestimmt seine tatsächliche Wiedereinsatzfähigkeit.** Auch wenn ein Stoffstrom technisch recycelt werden kann, steht das zurückgewonnene Material nicht zwangsläufig wieder für dieselbe Anwendung zur Verfügung. Insbesondere mechanische Aufbereitungsprozesse können Faserlänge, Feinheit, Festigkeit und weitere verarbeitungsrelevante Eigenschaften verändern. Dadurch kann eine Verarbeitung auf bestehenden Maschinen erschwert oder eine Beimischung geeigneter Primärfasern erforderlich werden. Dies betrifft beispielsweise Baumwolle und Wolle, bei denen eine hochwertige Ausgangsfaser nach der Aufbereitung nicht zwingend wieder die für hochwertige Garne und Flächen erforderlichen Eigenschaften erreicht. Bei technischen oder sicherheitsrelevanten Textilien können darüber hinaus definierte Leistungs-, Haltbarkeits- oder Sicherheitsanforderungen einen erneuten Einsatz begrenzen oder ausschließen. Technische Recyclingfähigkeit und Eignung für den ursprünglichen Einsatzzweck sind daher voneinander zu unterscheiden.
5. **Mischgewebe bleiben eine zentrale technologische Herausforderung.** Für einzelne Materialkombinationen bestehen bereits geeignete Trenn- und Recyclingverfahren. Diese lassen sich jedoch nicht ohne Weiteres auf andere Mischungsverhältnisse, Färbungen, Ausrüstungen oder Produktaufbauten übertragen. Eine pauschale Vereinfachung textiler Produkte greift dabei zu kurz, da Materialkombinationen und Ausrüstungen regelmäßig konkrete funktionale Anforderungen erfüllen.



6. **Technische Machbarkeit allein reicht nicht aus.** Mit zusätzlichen Sortier-, Trennungs-, Reinigungs- und Aufbereitungsschritten steigen Prozessaufwand und regelmäßig auch Kosten und Ressourcenbedarf. Hinzu kommt die Frage, ob für die erzeugten Rezyklate oder Sekundärrohstoffe ausreichende Absatzmärkte bestehen.
7. Eine **universell einsetzbare technische Lösung besteht nicht.** Für unterschiedliche Faserarten, Produktaufbauten und Abfallqualitäten werden verschiedene, aufeinander abgestimmte Recycling- und Verwertungswege erforderlich sein.

Diese Grenzen sind nicht Ausdruck einer vorübergehenden technischen Unreife, die sich allein durch Forschungsförderung auflöst. Sie ergeben sich aus dem Zusammenspiel von realer Stoffstromqualität, Mengenverteilung, Sortier- und Verarbeitungsinfrastruktur sowie Absatzmärkten und bleiben bestehen, solange nur einzelne Glieder dieser Kette verbessert werden. Dass ein Verfahren für einen definierten Stoffstrom funktioniert, verschiebt diese systemische Grenze nicht. Die dargestellten Reifegrade sind daher als Bandbreiten und als Momentaufnahme zu verstehen. Sie hängen vom jeweiligen Prozess, dem Eingangsmaterial, dem Verarbeitungsmaßstab und dem angestrebten Output ab. Zudem entwickelt sich das Technologiefeld dynamisch.

Ob aus einem technisch möglichen Recyclingweg eine praktisch nutzbare Recyclingkapazität entsteht, entscheidet sich damit entlang der gesamten Kette: beim verfügbaren Abfallstrom, seiner Identifikation und Sortierung, der erforderlichen Vorbehandlung, dem eigentlichen Recyclingprozess, der Qualität des Outputs und schließlich seiner wirtschaftlichen Weiterverwendung. Entscheidend für die praktische Einsetzbarkeit der beschriebenen Verfahren ist damit nicht allein ihr technologischer Reifegrad, sondern vor allem die Frage, ob die tatsächlich anfallenden textilen Abfallströme ihren jeweiligen Anforderungen entsprechen. Der zweite Untersuchungsschritt betrachtet deshalb Zusammensetzung, Menge und Struktur der in den Unternehmen anfallenden Abfälle.

2.3. Abfallmengen und Stoffstromstruktur

Der zweite Untersuchungsschritt galt der Frage, welche textilen Produktionsabfälle in den Unternehmen tatsächlich anfallen und inwieweit ihre Zusammensetzung und Mengenstruktur mit den Anforderungen der untersuchten Recyclingverfahren übereinstimmen. Grundlage der Untersuchung ist eine Abfallumfrage zu textilen Post-Industrial-Abfällen, also Abfällen aus der eigenen Produktion der Unternehmen. Für die vorliegende Auswertung wurden die Angaben



der teilnehmenden Mitgliedsunternehmen von Südwesttextil in Baden-Württemberg herangezogen und aggregiert sowie anonymisiert ausgewertet.

Diese Stoffströme eignen sich für die Untersuchung in besonderer Weise, weil ihre Herkunft und Zusammensetzung vergleichsweise gut bekannt sind und die Unternehmen unmittelbaren Einblick in ihre Entstehung und bisherige Verwertung haben. Die Auswertung zeigt eine heterogene Stoffstromstruktur. Polyester-Baumwoll-Mischgewebe bilden mit rund 57 Prozent die größte erfasste Gruppe; sie sind häufig zusätzlich gefärbt, beschichtet oder ausgerüstet. Rund 34 Prozent entfallen auf synthetische Monomaterialien wie Polyester, Polyamid und Polypropylen.

Damit treffen in der betrieblichen Praxis zwei Herausforderungen zusammen. Zum einen besteht ein erheblicher Anteil der erfassten Produktionsabfälle aus Materialkombinationen, für die etablierte mechanische oder thermomechanische Verfahren nur eingeschränkt geeignet sind. Verfahren, die solche Mischungen gezielt auftrennen und hochwertige Rohstoffe zurückgewinnen können, stehen bislang nicht flächendeckend im industriellen Maßstab zur Verfügung. Zum anderen fallen selbst grundsätzlich recyclingfähige Stoffströme auf Unternehmensebene häufig nur in kleinen Einzelmengen an. Daraus entstehen zusätzliche Anforderungen an Sammlung, Sortierung, Zwischenlagerung, Bündelung und Transport. Die Auswertung zeigt entsprechend, dass gerade die Kombination aus Mischgeweben, kleinen Einzelmengen und fehlenden Logistikstrukturen ein wesentliches praktisches Hindernis darstellt.

Die Herausforderung liegt damit nicht allein darin, ob textile Abfälle vorhanden sind. Für ihre Kreislaufführung ist entscheidend, in welcher Materialzusammensetzung, Qualität, räumlichen Verteilung und Losgröße sie verfügbar sind und ob für diese konkrete Kombination ein geeigneter Verwertungsweg besteht.

Für die Bewertung eines Stoffstroms reicht die reine Faserzusammensetzung jedoch nicht aus. Herkunft und Produktart, Material- und Faserqualität, Ausrüstungen, Beschichtungen, Verschmutzungsgrad, bisheriger Nutzungskontext und erforderliche Produkteigenschaften beeinflussen gemeinsam, welcher Recyclingweg technisch und wirtschaftlich in Betracht kommt. Stoffströme aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen können deshalb auch bei ähnlicher Faserzusammensetzung sehr unterschiedliche Anforderungen an Sortierung, Vorbehandlung und Verwertung stellen. Dies ist insbesondere bei technisch anspruchsvollen oder sicherheitsrelevanten Anwendungen zu berücksichtigen.



Die untersuchten Produktionsabfälle stellen aufgrund ihrer bekannten Herkunft und Zusammensetzung grundsätzlich vergleichsweise günstige Voraussetzungen für eine gezielte Kreislaufführung dar. Diese Betrachtung setzt bewusst am günstigsten Fall an: Post-Industrial-Abfälle sind in Herkunft und Zusammensetzung bekannt und damit besser für eine Kreislaufführung geeignet als heterogene Post-Consumer-Ströme. Begrenzen bereits hier Materialmischungen, kleine Losgrößen und fehlende Bündelungsstrukturen die Verwertung, gilt dies für Post-Consumer-Ströme in verschärfter Form. Rückschlüsse auf Post-Consumer-Ströme zieht dieses Papier daher ausschließlich in dieser Richtung — vom günstigeren auf den schwierigeren Fall, nicht umgekehrt.

2.4. Markt- und Akteurslandschaft

Ergänzend zur technischen Verfahrensanalyse und zur Untersuchung der realen Stoffströme wurde die bestehende Markt-, Akteurs- und Forschungslandschaft betrachtet. Erfasst wurden mehr als 100 Unternehmen und weitere Akteure entlang der Recyclingkette – von Sammlung und Sortierung über Vorbehandlung und Recycling bis hin zu Maschinenbau, Forschung und Qualitätssicherung. Darüber hinaus wurden nationale und europäische Initiativen zur textilen Kreislaufwirtschaft ausgewertet.

Die Untersuchung zeigt zunächst eine breite und dynamische Akteurslandschaft. Zahlreiche Unternehmen und Forschungsprojekte befassen sich mit Sortierung, Aufbereitung und Recycling textiler Materialien. Aus der Anzahl vorhandener Akteure lässt sich jedoch noch keine funktionierende industrielle Verwertungskette ableiten.

Für die in der Abfallanalyse identifizierten kleinteiligen und häufig gemischten Post-Industrial-Ströme konnte keine durchgängige Struktur identifiziert werden, die Sammlung, Bündelung, Sortierung, Vorbehandlung, Recycling und anschließende Nutzung der erzeugten Rezyklate flächendeckend miteinander verbindet. Bestehende Verwerter nehmen entsprechende Materialien teilweise nicht an oder setzen eng definierte Eingangsspezifikationen und Mindestmengen voraus.

Auch bestehende überbetriebliche Initiativen adressieren jeweils nur Teilbereiche der Herausforderung. ReHubs, eine europäische Brancheninitiative zum Aufbau von Kapazitäten für das Textilrecycling, und Sorting for Circularity, ein Projekt zur Verbesserung von Sortierung und Verwertung von bereits benutzten Textilien konzentrieren sich überwiegend auf Post-Consumer-Ströme. Cibunext, ein Zusammenschluss zur zirkulären Verwertung gewerblicher



Textilien und Mietwäsche, arbeitet mit vergleichsweise eng definierten Materialströmen aus der gewerblichen Mietwäsche. Regionale Materialbörsen wiederum schaffen grundsätzlich Möglichkeiten zum Austausch von Reststoffen, können fehlende Recyclingkapazitäten und Abnehmermärkte jedoch nicht ersetzen.

Gerade bei kleinteiligen Post-Industrial-Strömen gewinnt die regionale Infrastruktur zusätzlich an Bedeutung. Auch technisch geeignete Materialien können nicht wirtschaftlich verwertet werden, wenn ausreichende Mengen nicht gebündelt, vorsortiert, gegebenenfalls kompaktiert und mit vertretbarem logistischem Aufwand zu geeigneten Verwertern transportiert werden können. Die Herausforderung liegt damit nicht allein in der Verfügbarkeit eines Recyclingverfahrens, sondern ebenso in der Organisation der vorgelagerten Stoffstromlogistik.

Wie solche regionalen Strukturen ausgestaltet werden können, wird derzeit unter anderem im Forschungsprojekt ÜBER-AUS für Südwestdeutschland untersucht. Im Mittelpunkt stehen die Erfassung und Bündelung von Über- und Ausschüssen der Textilindustrie, regionale Sammel- und Logistikstrukturen sowie die Entwicklung und Erprobung regionaler Recycling- und Verwertungspfade. Dabei werden auch Möglichkeiten für Sammelhubs, Vorsortierung und Kompaktierung sowie die ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen regionaler Kreisläufe betrachtet. Das Projekt verdeutlicht zugleich, dass regionale Kreislaufrückführung nicht allein mit kurzen Transportwegen gleichgesetzt werden kann. Entscheidend ist die Gesamtwirkung aus Mengenbündelung, Transport, Sortierung, Vorbehandlung, Recyclingverfahren, Qualität des Outputs und anschließender Nutzung des Rezyklats.

Damit zeigt die Marktanalyse eine strukturelle Lücke zwischen vorhandenen Einzelakteuren und einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft: **Es existieren Technologien, Forschungsaktivitäten und spezialisierte Marktteilnehmer, aber bislang keine durchgängige industrielle Kette für die Breite der real anfallenden textilen Stoffströme.**

Neben der technischen Verfügbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit ein entscheidender Faktor für den Aufbau zusätzlicher Kapazitäten. Die aktuelle europäische Analyse von ReHubs und Boston Consulting Group¹ verdeutlicht die Größenordnung des erforderlichen Markthochlaufs. Um das Textil-zu-Textil-Recycling in Europa von heute weniger als einem Prozent auf rund 15

¹ ReHubs / Boston Consulting Group (BCG): Advancing Textile Circularity – Europe's Textile Waste Surge: The Case for System-Level Scale-Up, 2026, insb. S. 7 und 22.



Prozent im Jahr 2035 zu erhöhen, müssten demnach Kapazitäten für rund 2,7 Millionen Tonnen Textilien aufgebaut werden. Dafür werden zusätzliche Investitionen von rund 8 bis 11 Milliarden Euro sowie jährliche zusätzliche Betriebskosten von rund 5 bis 6,5 Milliarden Euro veranschlagt. Unter den zugrunde gelegten Annahmen weisen einzelne Glieder der Wertschöpfungskette weiterhin eine geringe oder negative Wirtschaftlichkeit auf.

Die Untersuchung bezieht sich überwiegend auf europäische Post-Consumer-Ströme und ist daher nicht unmittelbar auf die von Südwesttextil untersuchten Produktionsabfälle übertragbar. Sie bestätigt jedoch den übergreifenden Befund, dass der Aufbau industrieller Recyclingstrukturen nicht allein eine technologische, sondern eine systemische und wirtschaftliche Herausforderung darstellt. Entscheidend ist daher nicht allein die Existenz einzelner Technologien oder Marktakteure, sondern deren Zusammenspiel entlang der gesamten Kette: von der Erfassung und Aufbereitung geeigneter Stoffströme bis zur wirtschaftlichen Nutzung der entstehenden Rezyklate.

3. Bewertung

Die Ergebnisse der Verfahrens-, Stoffstrom- und Marktanalyse zeigen, dass die Herausforderungen des Textilrecyclings nicht isoliert technisch betrachtet werden können. Ob ein textiler Kreislauf tatsächlich funktioniert, hängt vom Zusammenspiel geeigneter Materialien, ausreichender Mengen, verfügbarer Sortier- und Verarbeitungskapazitäten, wirtschaftlicher Rahmenbedingungen und tragfähiger Absatzmärkte ab.

Die entscheidende Frage ist deshalb nicht mehr, ob einzelne Recyclingverfahren technisch existieren, sondern unter welchen Voraussetzungen aus diesen Verfahren tatsächlich skalierbare, wirtschaftlich tragfähige und ökologisch sinnvolle textile Kreisläufe entstehen können.

Für die politische Ausgestaltung ergeben sich daraus zwei zentrale Fragen: Welche Voraussetzungen müssen geschaffen werden, damit hochwertige textile Kreisläufe praktisch entstehen können? Und an welcher Stelle des Lebenszyklus liegt der größte ökologische Hebel?

3.1. Strukturelle und ökonomische Voraussetzungen

Die Untersuchung zeigt, dass die Herausforderungen der textilen Kreislaufwirtschaft nicht allein technischer Natur sind. Während die eigene Abfallanalyse auf Post-Industrial-Ströme



fokussiert, wurden Recyclingverfahren sowie Markt- und Forschungslandschaft übergreifend betrachtet. Die daraus abgeleiteten Anforderungen an Materialqualität, Sortierung, Mengenbündelung, Verarbeitungskapazitäten und Absatzmärkte betreffen daher grundsätzlich auch Post-Consumer-Ströme; dort kommen zusätzliche Herausforderungen insbesondere bei Sammlung und Sortierung hinzu.

Technologische Entwicklungsbedarfe bestehen weiterhin vor allem bei komplexen Mischgeweben und hochwertigen Faser-zu-Faser-Kreisläufen. Zugleich stellen industriell verfügbare Verfahren häufig hohe Anforderungen an Reinheit und Materialhomogenität, während reale Stoffströme oftmals gemischt, ausgerüstet und kleinteilig anfallen. Damit besteht derzeit für die Breite real anfallender textiler Abfallströme kein flächendeckend industriell verfügbares und wirtschaftlich tragfähiges Faser-zu-Faser-Recyclingsystem. Einzelne technisch funktionierende Verfahren oder spezialisierte Anlagen ändern daran nichts, solange sie nur bestimmte Stoffströme aufnehmen können oder die erforderlichen vor- und nachgelagerten Strukturen fehlen.

Hinzu kommt die Wirtschaftlichkeit. Rezyklate stehen unmittelbar im Wettbewerb mit Primärrohstoffen, die häufig zu niedrigeren Kosten verfügbar sind. Gleichzeitig entstehen entlang der Recyclingkette zusätzliche Kosten für Sammlung, Sortierung, Vorbehandlung und Aufbereitung. Auch dort, wo Recyclingverfahren technisch in geringem Umfang im Verhältnis zur Gesamtmenge der Alttextilien verfügbar sind und geeignete Rezyklate erzeugt werden könnten, sind diese vielfach teurer als vergleichbare Primärrohstoffe und unter heutigen Marktbedingungen selten wettbewerbsfähig. Technische Machbarkeit führt daher nicht automatisch zu einem wirtschaftlich tragfähigen Recyclingweg. Die wirtschaftliche Einsatzfähigkeit hängt zudem nicht allein vom Preis eines Rezyklats ab. Entscheidend ist ebenso, ob der zurückgewonnene Rohstoff die technischen und qualitativen Anforderungen der jeweiligen Anwendung erfüllt und auf den bestehenden Produktionsanlagen verarbeitet werden kann. Gerade Unternehmen, deren Geschäftsmodelle auf hochwertigen, langlebigen oder technisch anspruchsvollen Produkten beruhen, können Qualitätsverluste nicht beliebig durch einen höheren Rezyklateinsatz kompensieren.

Bei Naturfasern wie Baumwolle oder Wolle können verkürzte oder veränderte Fasereigenschaften dazu führen, dass eine Verarbeitung zu hochwertigen Garnen erschwert wird, eine Beimischung von Primärfasern erforderlich ist oder nur Anwendungen mit geringeren Qualitätsanforderungen verbleiben. Ähnliches gilt für technische Textilien: Wo



definierte Festigkeits-, Schutz- oder Sicherheitsanforderungen erfüllt werden müssen, kann ein Rezyklat trotz grundsätzlicher technischer Verwertbarkeit für die ursprüngliche Anwendung ungeeignet sein. Ein hochwertiger Ausgangsstoff wird durch Recycling damit nicht automatisch wieder zu einem Rohstoff gleicher Qualität und für denselben Einsatzzweck. Regulatorische Anforderungen an Rezyklatanteile müssen deshalb neben der Verfügbarkeit auch die erreichbare Materialqualität und die anwendungsspezifischen Anforderungen berücksichtigen.

Zugleich erfordert der Aufbau zusätzlicher Kapazitäten erhebliche Investitionen. Zusätzliche Finanzierung ist deshalb eine notwendige Voraussetzung für Forschung, Infrastruktur und Skalierung, aber keine hinreichende Bedingung für einen funktionierenden Kreislauf. Finanzielle Mittel schaffen weder geeignete Stoffströme noch technologische Reife, reproduzierbare Rezyklatqualitäten oder eine wirtschaftliche Nachfrage nach den erzeugten Sekundärrohstoffen.

Wo diese Voraussetzungen fehlen, lassen sie sich auch durch eine Erhöhung der Finanzierung über die Erweiterte Herstellerverantwortung nicht beliebig herstellen. Entscheidend ist deshalb nicht der isolierte Ausbau einzelner Recyclingkapazitäten, sondern das Funktionieren der gesamten Kette. Geeignete und ausreichend gebündelte Stoffströme, industrielle Sortier- und Aufbereitungsstrukturen, technisch geeignete Recyclingverfahren und wirtschaftlich tragfähige Absatzmärkte müssen gleichzeitig vorhanden sein. Fehlt eines dieser Elemente, entsteht trotz zusätzlicher Anlagen oder Finanzierung kein funktionierender textiler Kreislauf.

Der Aufbau textiler Kreisläufe ist damit weder ein reines Technologie- noch ein reines Kapazitäts- oder Finanzierungsproblem. Er ist eine Systemaufgabe, bei der alle Stufen von der Erfassung des Abfalls bis zum Absatz des Rezyklats ineinandergreifen müssen.

3.2. Globale Wertschöpfungsketten und industrielle Basis

Ein weiterer struktureller Faktor liegt in der geografischen Verteilung der textilen Wertschöpfungskette. Textile Kreisläufe bewegen sich nicht innerhalb geschlossener nationaler oder europäischer Wirtschaftsräume. Fasererzeugung, Garn- und Flächenherstellung, Veredelung, Konfektion, Nutzung und Abfallphase sind über globale Wertschöpfungsketten verteilt. Eine europäische Kreislaufstrategie muss diese industrielle Realität von Beginn an berücksichtigen. Selbst wenn es gelingen sollte, textile Abfälle in Europa flächendeckend zu erfassen, zu sortieren und mithilfe geeigneter Recyclingverfahren in hochwertige Sekundärrohstoffe zurückzuführen, ist damit der Kreislauf noch nicht



geschlossen. Voraussetzung ist auch eine industrielle Abnehmerstruktur, die diese Rohstoffe wieder zu Garnen, Flächen und textilen Produkten verarbeitet.

Genau hier besteht eine zunehmende Herausforderung. Wesentliche Stufen der textilen Produktion finden heute außerhalb Europas statt. Werden Recyclingkapazitäten in Europa ausgebaut, ohne gleichzeitig entsprechende textile Verarbeitungskapazitäten zu erhalten oder aufzubauen, wird Europa zwar zunehmend Sekundärrohstoffe erzeugen, diese aber innerhalb Europas nur begrenzt weiterverarbeiten können. Damit entsteht eine Situation in der Europa, in der zwar erhebliche Investitionen in Sammlung, Sortierung, Vorbehandlung und Recycling tätigt, während für die daraus gewonnenen Sekundärrohstoffe innerhalb Europas wenig bis keine Verarbeitungskapazitäten und Absatzmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Eine textile Kreislaufwirtschaft kann deshalb weder ausschließlich national noch vollständig innerhalb europäischer Grenzen gedacht werden. Neben dem Erhalt und Ausbau europäischer Verarbeitungskapazitäten müssen regulatorische Anforderungen auch international anschlussfähig sein und grenzüberschreitende Stoff-, Waren- und Informationsströme berücksichtigen. Andernfalls droht eine Regulierung, die einen europäischen Kreislauf voraussetzt, während die zugrunde liegende industrielle Wertschöpfung weiterhin global organisiert ist.

Der Aufbau von Recyclingkapazitäten muss deshalb gemeinsam mit der Frage betrachtet werden, **wo und zu welchen Bedingungen die erzeugten Rezyklate anschließend eingesetzt werden können**. Andernfalls besteht das Risiko einer geografisch geteilten Kreislaufwirtschaft: Textile Abfälle werden in Europa gesammelt und aufbereitet, die daraus gewonnenen Rohstoffe müssen anschließend jedoch über globale Lieferketten zu den verbleibenden Produktionsstandorten transportiert werden.

Dies wirft sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Fragen auf. Zusätzliche Transportwege beeinflussen die Umweltbilanz der Kreislaufführung. Gleichzeitig stehen in Europa erzeugte Rezyklate im internationalen Wettbewerb mit Primärrohstoffen und Sekundärmaterialien aus Regionen mit anderen Energie-, Arbeits- und Produktionskosten. Ob europäische Sekundärrohstoffe unter diesen Bedingungen dauerhaft wettbewerbsfähige Abnehmer finden, kann daher nicht vorausgesetzt werden. Bereits heute ist absehbar, dass europäisch erzeugte Rezyklate unter diesen Kostenstrukturen vielfach nicht wettbewerbsfähig sind. Der Aufbau zusätzlicher Recyclingkapazitäten schafft daher noch keinen Absatzmarkt: Fehlen



wettbewerbsfähige Abnehmer für die erzeugten Sekundärrohstoffe, kann der Kreislauf trotz verfügbarer Recyclingtechnologie wirtschaftlich nicht geschlossen werden.

Die zentrale Frage lautet deshalb nicht allein, **ob Europa textile Abfälle recyceln kann**, sondern auch, **ob eine industrielle Wertschöpfungskette besteht, die die zurückgewonnenen Rohstoffe wieder aufnimmt**. Eine funktionierende textile Kreislaufwirtschaft setzt daher beides voraus: eine wettbewerbsfähige industrielle Basis in Europa und regulatorische Rahmenbedingungen, die der globalen Struktur textiler Wertschöpfung Rechnung tragen.

3.3. Ökologische Hebelwirkung

Neben den technischen, strukturellen und wirtschaftlichen Voraussetzungen stellt sich eine grundlegende Frage: **An welcher Stelle des textilen Lebenszyklus kann Regulierung die größte ökologische Wirkung erzielen?** Die derzeit diskutierten regulatorischen Instrumente setzen an unterschiedlichen Punkten an: von Anforderungen an die Produktgestaltung und Recyclingfähigkeit über Sammlung und Verwertung bis hin zum Einsatz von Rezyklaten. Für ihre Wirksamkeit ist jedoch entscheidend, dass verbindliche Zielgrößen nicht allein aus politischen Zielsetzungen abgeleitet werden, sondern auf einer belastbaren Bewertung ihrer tatsächlichen Umweltwirkung beruhen.

Eine möglichst hohe Recyclingmenge darf dabei nicht selbst zum regulatorischen Ziel werden. Nach der Abfallhierarchie und aus Sicht der Ressourceneffizienz ist die Vermeidung von Abfällen gegenüber ihrer nachgelagerten Verwertung vorrangig. Dies ist insbesondere bei Post-Industrial-Abfällen relevant: Produktionsoptimierung, bessere Materialausnutzung und die Vermeidung von Ausschuss können dazu führen, dass insgesamt weniger gut definierte und grundsätzlich recyclingfähige Produktionsreste anfallen. Eine Bewertung von Kreislaufwirtschaft allein anhand steigender Recyclingmengen würde diesen Effekt nicht angemessen erfassen. Sie könnte im Extremfall sogar dazu führen, dass eine Verringerung von Produktionsabfällen statistisch als geringerer Recyclingbeitrag erscheint, obwohl sie ökologisch vorteilhaft ist. Maßgeblich sollte daher die eingesparte Ressourcen- und Umweltwirkung sein und nicht die absolute Menge des einer Verwertung zugeführten Materials.

Auch die Position eines Verfahrens innerhalb einer Kreislauflogik erlaubt für sich genommen noch keine abschließende ökologische Bewertung. Ein technisch hochwertiger Faser-zu-



Faser-Prozess kann mit erheblichem Sortier-, Vorbehandlungs-, Energie-, Wasser- oder Chemikalienaufwand verbunden sein. Umgekehrt kann für bestimmte Stoffströme ein weniger geschlossener Verwertungsweg unter den konkreten Bedingungen ökologisch sinnvoll sein. Maßgeblich muss daher die tatsächliche Umweltwirkung über den gesamten Lebenszyklus sein.

Die Entwicklung der globalen Fasermengen verdeutlicht die Größenordnung der Herausforderung. Die weltweite Faserproduktion ist von rund 58 Millionen Tonnen im Jahr 2000 auf etwa 132 Millionen Tonnen im Jahr 2024 gestiegen. Bei Fortsetzung des bisherigen Trends werden für 2030 rund 169 Millionen Tonnen erwartet. Synthefasern machen inzwischen rund 69 Prozent des globalen Fasermarktes aus, Polyester allein rund 59 Prozent; der überwiegende Teil davon basiert weiterhin auf fossilen Rohstoffen.

Gleichzeitig bleibt die tatsächliche textile Kreislaufführung bislang gering. Der Anteil rezyklierter Fasern lag 2024 bei 7,6 Prozent. Ein erheblicher Teil davon entfällt auf recyceltes Polyester aus PET-Flaschen, während Textil-zu-Textil-Recycling weniger als ein Prozent des weltweiten Fasermarktes ausmacht.

Diese Entwicklung spricht dafür, bei der Bewertung regulatorischer Maßnahmen nicht allein die Recyclingfähigkeit einzelner Produkte zu betrachten. Auch **Menge und Art der eingesetzten Fasern, die daraus entstehenden Stoffströme sowie deren tatsächliches Kreislaufpotenzial** müssen berücksichtigt werden.

Insbesondere große Materialströme können aufgrund ihrer mengenmäßigen Bedeutung einen erheblichen ökologischen Hebel bieten, sofern geeignete technische und wirtschaftliche Voraussetzungen für ihre Kreislaufführung bestehen.

Polyester ist hierfür ein relevantes Beispiel. Aufgrund seines hohen Anteils an der weltweiten Faserproduktion entsteht langfristig ein entsprechend bedeutender Abfallstrom. Zugleich bestehen für Polyester grundsätzlich verschiedene werkstoffliche und rohstoffliche Recyclingwege. Daraus lässt sich jedoch nicht ableiten, dass eine einzelne Faserart oder ein einzelner Recyclingweg pauschal ökologisch vorzugswürdig ist. Natur- und Synthefasern weisen jeweils unterschiedliche Umweltwirkungen entlang ihres Lebenszyklus auf. Eine belastbare Bewertung muss daher den gesamten Lebenszyklus sowie den jeweiligen Anwendungskontext einbeziehen.



Die vorliegenden Daten liefern damit wichtige Hinweise auf mögliche ökologische Hebel, erlauben aber keine abschließende Priorisierung einzelner Fasern oder Maßnahmen. **Vor der Festlegung verbindlicher Quoten und Zielwerte sollte daher systematisch untersucht werden, mit welchen Maßnahmen über den gesamten Lebenszyklus die größte Ressourcen- und Umweltwirkung erzielt werden kann.**

3.4. Ableitungen für die Regulierung

Aus den bisherigen Erkenntnissen ergeben sich unmittelbare Anforderungen an die Ausgestaltung regulatorischer Instrumente. Verbindliche Zielgrößen können nur dann ökologische Wirkung entfalten, wenn die technischen, mengenmäßigen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für ihre Erreichung vorhanden sind und ihr Beitrag zur Ressourcenschonung nachvollziehbar belegt ist. Aus der theoretischen oder technischen Recyclingfähigkeit eines Materials lässt sich deshalb derzeit keine belastbare pauschale Zielquote für die tatsächliche Kreislaufführung ableiten. Dafür fehlen insbesondere belastbare Bezüge zwischen realem Stoffstrom, verfügbaren Verfahren, industrieller Kapazität, Wirtschaftlichkeit und ökologischer Wirkung.

Regulierung sollte deshalb nicht von abstrakten Zielwerten ausgehen, sondern die tatsächlich verfügbaren Stoffströme, Verwertungswege und industriellen Strukturen berücksichtigen.

Anforderungen an Recyclingfähigkeit, Rezyklatanteile, Sammlung oder Verwertung müssen der Tatsache Rechnung tragen, dass sich textile Produkte hinsichtlich Materialzusammensetzung, Funktion, Lebensdauer und technischer Recyclingmöglichkeiten erheblich unterscheiden. Einheitliche Vorgaben können diese Unterschiede nur begrenzt abbilden.

Besonders deutlich wird dies bei angedachten verpflichtenden Rezyklatanteilen. Eine solche Vorgabe setzt voraus, dass geeignete Rezyklate in ausreichender Menge und Qualität für die jeweilige Anwendung verfügbar sind. Dabei müssen die mit einer Rezyklatvorgabe verfolgten ökologischen Ziele klar voneinander unterschieden werden.

Der Einsatz von Rezyklaten und die Schließung textiler Stoffkreisläufe sind nicht zwangsläufig gleichzusetzen. Rezyklate aus anderen geeigneten Stoffströmen, etwa aus PET-Verpackungen, können Primärrohstoffe substituieren und damit einen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. Südwesttextil hält daher an seiner bisherigen Position fest,



solche Rezyklatquellen nicht pauschal auszuschließen, sofern Qualität, Produktsicherheit und Verfügbarkeit gewährleistet sind.

Soll eine regulatorische Vorgabe jedoch gezielt das Textil-zu-Textil-Recycling stärken, muss dieser Effekt gesondert betrachtet und ausgewiesen werden. Eine allgemeine Rezyklatquote, die überwiegend über Bottle-to-Fiber, also den Einsatz recycelter Kunststoffflaschen zur Herstellung von Textilfasern, erfüllt wird, erhöht zwar den Einsatz von Sekundärrohstoffen, belegt aber noch nicht, dass textile Abfälle in einen textilen Kreislauf zurückgeführt werden. Regulatorische Zielgrößen müssen deshalb eindeutig erkennen lassen, welches ökologische Ziel sie verfolgen und anhand welcher Kennzahl dessen Erreichung gemessen wird.

Auch quantitative Recycling- und Verwertungsziele müssen sich an den real verfügbaren technischen Möglichkeiten orientieren. Eine Quote allein schafft weder geeignete Eingangsmaterialien noch zusätzliche Sortier-, Vorbehandlungs- oder Verarbeitungskapazitäten. Wo diese Voraussetzungen fehlen, besteht das Risiko, dass Zielwerte zwar formal erfüllt werden sollen, die tatsächliche Kreislaufführung jedoch hinter dem regulatorischen Anspruch zurückbleibt.

Die Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) ist ausdrücklich auch als Finanzierungsinstrument für die textile Kreislaufwirtschaft angelegt. Nach dem aktuellen Eckpunktepapier des Bundesumweltministeriums sollen Herstellerbeiträge unter anderem die Kosten für Sammlung, Beförderung, Sortierung und Verwertung der Alttextilien tragen; ergänzend dazu sollen über die Beiträge Kommunikationsmaßnahmen, Forschung und regelmäßige Abfallanalysen finanziert werden. Damit sollen EPR-Mittel einen wichtigen Beitrag zum Aufbau und zur Weiterentwicklung der erforderlichen Strukturen leisten.

EPR-Mittel können den Aufbau erforderlicher Strukturen unterstützen, die in Kapitel 3.1 beschriebenen technologischen, stoffstrombezogenen und marktlichen Voraussetzungen jedoch nicht ersetzen. Entscheidend ist deshalb eine transparente und wirkungsorientierte Mittelverwendung, die nachweisbar zusätzliche Kreislaufstrukturen aufbaut. Werden überwiegend bestehende Sammel- und Verwertungsstrukturen refinanziert, ohne hochwertige Recycling- und Verarbeitungskapazitäten weiterzuentwickeln, werden die bestehenden strukturellen Defizite nicht behoben, sondern der Status quo lediglich finanziert. Hersteller müssen deshalb angemessene Mitwirkungs- und Kontrollmöglichkeiten hinsichtlich Systemkosten, Mittelverwendung und Zielerreichung erhalten.



Besondere Anforderungen gelten zudem für die Festlegung nationaler Zielquoten. Das BMUKN schlägt derzeit eine Sammelquote von 70 Prozent, eine Verwertungsquote von 95 Prozent und eine Recyclingquote von 85 Prozent vor. Dabei umfasst die vorgeschlagene Recyclingquote sowohl die Vorbereitung zur Wiederverwendung als auch das Recycling; Mengen, die einem Faser-zu-Faser-Recycling zugeführt werden, sollen lediglich gesondert berichtet werden. Eine nachvollziehbare methodische Herleitung dieser Zielwerte ist bislang nicht erkennbar.

Dies ist auch vor dem europäischen Rechtsrahmen relevant: Die novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie legt selbst derzeit keine entsprechenden quantitativen Ziele für textile Abfälle fest. Vielmehr soll die Europäische Kommission bis Ende 2029 unter anderem prüfen, ob Ziele für Abfallvermeidung, Sammlung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling textiler Abfälle eingeführt werden sollten. Mit der vorzeitigen Festlegung verbindlicher nationaler Quoten würde Deutschland damit über die gegenwärtigen europäischen Vorgaben hinausgehen und einer ausdrücklich vorgesehenen europäischen Bewertung vorgreifen. Dies stellt aus Sicht von Südwesttextil klassisches nationales Gold-Plating dar.

Nationale Sonderziele sind auch vor dem im Koalitionsvertrag formulierten Anspruch einer möglichst 1:1 erfolgenden und bürokratiearmen Umsetzung europäischer Vorgaben kritisch zu bewerten. Gerade solange auf europäischer Ebene noch keine belastbare Grundlage für entsprechende Zielwerte besteht, sollte Deutschland nicht eigenständig Quoten festschreiben, deren technische Erreichbarkeit und wirtschaftliche Auswirkungen bislang nicht hinreichend belegt sind.

Regulatorische Zielgrößen dürfen zudem nicht am Recyclingprozess enden. Wie in den Kapiteln zuvor dargestellt, setzt eine funktionierende Kreislaufführung auch ausreichende industrielle Verarbeitungskapazitäten und wettbewerbsfähige Absatzmärkte für die erzeugten Sekundärrohstoffe voraus. Eine hohe Sammel- oder Recyclingquote ist kein Selbstzweck: Zusätzliche Mengen müssen technisch verarbeitet und die daraus erzeugten Rezyklate anschließend tatsächlich in den Markt aufgenommen werden können.

Neben regulatorischen Anforderungen an Hersteller sollte deshalb auch die Nachfrageseite berücksichtigt werden. Die öffentliche Beschaffung kann dazu beitragen, Absatzmärkte für Produkte mit Recyclinganteilen zu entwickeln. Ausschreibungs- und Vergabekriterien sollten den Einsatz geeigneter Recyclingmaterialien ermöglichen und diesen nicht durch technische Anforderungen ausschließen, die für den konkreten Verwendungszweck nicht erforderlich



sind. Wo funktionale, qualitative und sicherheitsbezogene Anforderungen erfüllt werden, können entsprechende Beschaffungskriterien den Markthochlauf von Rezyklaten unterstützen.

Regulatorische Anforderungen sollten darüber hinaus schrittweise mit dem Aufbau der erforderlichen Infrastruktur, der technologischen Entwicklung und der tatsächlichen Marktentwicklung verzahnt werden. Neue Zielwerte sollten auf belastbaren Erkenntnissen zu ihrer technischen Erreichbarkeit, zur Verfügbarkeit geeigneter Stoffströme und Rezyklate sowie zu ausreichenden Verarbeitungs- und Absatzkapazitäten beruhen. Zugleich müssen Anforderungen regelmäßig überprüft und an den tatsächlichen technologischen und marktlichen Fortschritt angepasst werden.

Bei der Festlegung regulatorischer Anforderungen ist zudem der gesamte einschlägige Rechtsrahmen zu berücksichtigen. Produktspezifische, hygienische oder andere spezialrechtliche Vorgaben können dazu führen, dass technisch grundsätzlich verwertbare textile Stoffströme tatsächlich nicht oder nur eingeschränkt einer stofflichen Verwertung zugänglich sind. Dies betrifft beispielsweise bestimmte Abfälle aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes, für die aus hygienischen Gründen besondere Vorgaben zur Entsorgung und Verwertung gelten. Solche rechtlichen Einschränkungen müssen sowohl bei der Bestimmung tatsächlich verfügbarer Stoffströme als auch bei der Festlegung regulatorischer Zielwerte berücksichtigt werden. Regulatorische Vorgaben dürfen nicht von theoretisch verfügbaren Mengen ausgehen, wenn diese aufgrund anderer rechtlicher Anforderungen einer stofflichen Verwertung tatsächlich nicht zur Verfügung stehen.

Aus Sicht von Südwesttextil ist deshalb eine klare Reihenfolge erforderlich.

Zunächst müssen:

- / ökologische Hebel und relevante Stoffströme bestimmt sowie
- / die technischen, infrastrukturellen und industriellen Voraussetzungen für ihre Kreislaufführung geschaffen werden.
- / darauf aufbauend können geeignete, überprüfbare und ökologisch wirksame Zielgrößen festgelegt werden.



3.5. Nachweisbarkeit, regulatorische Kohärenz und Vollzug

Regulatorische Anforderungen können nur wirken, wenn ihre Einhaltung nicht nur technisch möglich, sondern auch belastbar nachweisbar und wirksam kontrollierbar ist. Nachweisbarkeit und Vollziehbarkeit sind dabei keine nachgelagerten administrativen Fragen, sondern Voraussetzung für die Eignung einer regulatorischen Vorgabe selbst. Gerade bei textilen Produkten mit komplexen Materialzusammensetzungen und globalen, mehrstufigen Lieferketten stellt dies eine erhebliche Herausforderung dar. Dies zeigt sich bereits bei der Nachweisführung von Rezyklatanteilen. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt haben der Gesamtverband textil+mode, das Forschungskuratorium Textil sowie mehrere Textilforschungsinstitute untersucht, inwieweit sich Rezyklate am textilen Endprodukt zuverlässig nachweisen lassen². Die Ergebnisse zeigen deutliche methodische Grenzen. Bei rezykliertem Polyester kann die Herkunft aus recyceltem PET zwar grundsätzlich identifiziert werden, der konkrete prozentuale Rezyklatanteil lässt sich jedoch nicht eindeutig bestimmen. Bei mechanisch rezyklierter Baumwolle ist bereits die Unterscheidung von Primärfasern schwierig. Für Mischgewebe wären zudem kombinierte Prüfmethoden erforderlich, für die bislang standardisierte Referenzwerte fehlen. Die vorhandenen Prüfverfahren sind darüber hinaus mit erheblichem Aufwand und Kosten verbunden.

Damit stellt sich bei regulatorisch vorgegebenen Rezyklatanteilen nicht nur die Frage ihrer technischen Erreichbarkeit, sondern auch ihrer **rechtssicheren Überprüfbarkeit**. Eine Verpflichtung, deren Einhaltung am Endprodukt nicht zuverlässig festgestellt werden kann, stellt sowohl Unternehmen als auch Marktüberwachungsbehörden vor praktische Schwierigkeiten. Regulatorische Vorgaben müssen deshalb von Beginn an mit der Frage verbunden werden, wie ihre Einhaltung tatsächlich und mit verhältnismäßigem Aufwand nachgewiesen werden kann. Dabei darf die Nachweisführung nicht ausschließlich auf chemisch-physikalische Prüfungen am Endprodukt verengt werden. Abhängig von der jeweiligen Anforderung können auch geeignete dokumentenbasierte Nachweise entlang der Lieferkette – beispielsweise Zertifizierungen, Spezifikationen, Lieferantenerklärungen oder Lieferpapiere – eine belastbare Grundlage darstellen. Entscheidend ist, dass die gewählte Nachweismethode geeignet, überprüfbar und rechtssicher ausgestaltet ist.

² Gesamtverband t+m: Rezyklate nachweisen am textilen Endprodukt, 03/2025



Eine zusätzliche Herausforderung entsteht dadurch, dass dieselben Produkteigenschaften künftig in mehreren regulatorischen Zusammenhängen relevant werden können. Angaben zum Rezyklatanteil oder zur Recyclingfähigkeit können beispielsweise Bestandteil von Ökodesign-Anforderungen und zur ökologischen Staffelung von EPR-Beiträgen, also zur Bemessung der Herstellerbeiträge nach Umweltmerkmalen eines Produkts, herangezogen werden. Werden entsprechende Eigenschaften gegenüber Verbraucherinnen und Verbrauchern kommuniziert, können sie darüber hinaus als umweltbezogene Aussagen den wettbewerbsrechtlichen Anforderungen des UWG unterliegen. Mit Anwendung der nationalen Umsetzung der Empowering-Consumers-Richtlinie ab dem 27. September 2026 steigen die Anforderungen an die Verlässlichkeit und Belegbarkeit umweltbezogener Aussagen zusätzlich. **Für identische Produkteigenschaften dürfen deshalb keine unterschiedlichen regulatorischen Definitionen, Berechnungsmethoden oder Nachweisstandards entstehen.** Die Anforderungen aus Ökodesign, Digitalem Produktpass, Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) und Verbraucherrecht müssen regulatorisch aufeinander abgestimmt werden. Der Digitale Produktpass kann die Verfügbarkeit und Weitergabe von Informationen verbessern, verifiziert deren Richtigkeit jedoch nicht von selbst. Entscheidend bleibt deshalb, dass den hinterlegten Angaben belastbare Methoden und überprüfbare Nachweise zugrunde liegen.

Nachweisbarkeit allein gewährleistet allerdings noch keinen wirksamen Vollzug. Die gleichen Anforderungen müssen unabhängig davon durchgesetzt werden können, wo ein Produkt hergestellt oder über welchen Vertriebsweg es auf den europäischen Markt gebracht wird. Gerade bei globalen Lieferketten beruhen Nachweise häufig auf Informationen, die über mehrere Produktionsstufen und außerhalb Europas erzeugt werden. Je stärker die Marktüberwachung auf Lieferkettendokumentation angewiesen ist, desto wichtiger werden klare Verantwortlichkeiten, überprüfbare Nachweise und eine wirksame Plausibilitätskontrolle.

Ein Vollzugsgefälle zulasten europäischer Unternehmen wäre dabei nicht nur wettbewerbspolitisch problematisch, sondern würde auch die ökologische Wirksamkeit der Regulierung schwächen. Anforderungen müssen daher auch gegenüber Herstellern aus Drittstaaten und im grenzüberschreitenden Direktvertrieb wirksam kontrolliert und sanktioniert werden können. **Regulierung, deren Einhaltung vor allem bei den bereits transparenten und regelkonformen Unternehmen überprüft werden kann, schafft weder gleiche Wettbewerbsbedingungen noch eine flächendeckende ökologische Wirkung.**



4. Fazit und Kernforderungen von Südwesttextil

Die Untersuchung zeigt:

- / Für die Breite real anfallender textiler Abfälle steht derzeit kein flächendeckend industriell verfügbares und wirtschaftlich tragfähiges Faser-zu-Faser-Recyclingsystem zur Verfügung.
- / Für einzelne, klar definierte Stoffströme bestehen geeignete Recyclingwege.
- / In der Praxis treffen diese jedoch auf Mischgewebe, Ausrüstungen, geringe Losgrößen sowie hohe Anforderungen an Sortierung und Vorbehandlung.
- / Die technische Existenz eines Verfahrens sagt deshalb noch nichts darüber aus, welche Mengen damit tatsächlich hochwertig in den textilen Kreislauf zurückgeführt werden können.

Die regulatorischen Grundlagen für die textile Kreislaufwirtschaft sind in wesentlichen Teilen bereits beschlossen oder befinden sich in fortgeschrittener Ausgestaltung. Entscheidend ist nun, die noch auszugestaltenden Quoten, technischen Kriterien, Finanzierungsmechanismen und Nachweispflichten an den tatsächlichen technischen, wirtschaftlichen und industriellen Voraussetzungen auszurichten.

Aus Sicht von Südwesttextil ergeben sich daraus folgende Kernforderungen:

1. **Ökologische Wirkung vor verbindlichen Zielwerten bestimmen:** Vor der Festlegung konkreter Recycling-, Verwertungs- oder Rezyklatvorgaben sollte belastbar untersucht werden, an welchen Stellen des textilen Lebenszyklus die größten ökologischen Hebel liegen. Dabei sind insbesondere Art und Menge der Stoffströme, Lebensdauer, Substitutionspotenzial, Ressourcen- und Energieeinsatz sowie die tatsächlich erreichbare Qualität der Kreislaufführung einzubeziehen. **Regulatorische Zielwerte müssen aus einer solchen Wirkungsanalyse abgeleitet werden – nicht umgekehrt.**
2. **Stoffstrombezogen und technologieoffen regulieren:** Textile Produkte und Abfälle unterscheiden sich erheblich hinsichtlich Materialzusammensetzung, Funktion, Ausrüstung, Recyclingfähigkeit und verfügbarer Menge. Eine universell geeignete Recyclingtechnologie besteht nicht. Regulatorische Anforderungen müssen deshalb unterschiedliche Stoffströme und Produktgruppen berücksichtigen und technologieoffen ausgestaltet sein. Entscheidend muss die nachweisbare ökologische



Wirkung des jeweiligen Verwertungswegs sein. Dabei sind neben der technischen Recyclingfähigkeit auch die tatsächlich erreichbare Qualität des Rezyklats und dessen Eignung für den jeweiligen Einsatzzweck zu berücksichtigen.

3. **Quoten erst auf belastbarer Grundlage festlegen und an den realen Markthochlauf koppeln:** Verbindliche Rezyklat-, Recycling- oder Verwertungsquoten dürfen nicht aus der theoretischen Recyclingfähigkeit von Materialien abgeleitet werden. Voraussetzung sind geeignete Stoffströme, technisch ausgereifte Verfahren, ausreichende Sortier-, Aufbereitungs- und Verarbeitungskapazitäten sowie Rezyklate in der erforderlichen Qualität und Menge. Wo diese Voraussetzungen nicht belastbar nachgewiesen sind, dürfen quantitative Zielwerte nicht vorweggenommen werden. Künftige Zielwerte müssen schrittweise eingeführt, regelmäßig überprüft und an den tatsächlichen technologischen und marktlichen Fortschritt angepasst werden. Finanzierung kann diesen Markthochlauf unterstützen, fehlende technologische Reife, geeignete Stoffströme oder Absatzmärkte jedoch nicht ersetzen. Der Markthochlauf sollte zugleich durch geeignete Rahmenbedingungen für Absatzmärkte flankiert werden; hierzu kann insbesondere eine recyclinggerechte öffentliche Beschaffung beitragen. Hohe Recyclingmengen dürfen dabei kein Selbstzweck sein; Abfallvermeidung und Ressourceneffizienz sind vorrangig zu berücksichtigen.
4. **Kreislaufwirtschaft global denken und industrielle Wertschöpfung sichern:** Der Aufbau von Sammlung, Sortierung und Recycling allein schließt noch keinen textilen Kreislauf. Zurückgewonnene Rohstoffe müssen erneut zu Fasern, Garnen, Flächen und Produkten verarbeitet werden können. Da textile Wertschöpfung global organisiert ist, müssen Kreislaufstrategien sowohl wettbewerbsfähige industrielle Verarbeitungskapazitäten in Europa sichern als auch international anschlussfähige Stoff-, Waren- und Informationsströme ermöglichen. Regulierung darf keinen vollständig europäischen Kreislauf voraussetzen, wenn wesentliche Produktionsstufen weiterhin außerhalb Europas stattfinden. Kreislaufwirtschaftspolitik muss deshalb mit Industrie-, Handels- und Standortpolitik zusammengedacht werden.
5. **Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) auf ihren unionsrechtlichen Anwendungsbereich begrenzen und wirkungsorientiert ausgestalten:** Die nationale EPR muss unionsrechtskonform auf die vorgesehenen Konsumtextilien begrenzt bleiben.



Diese Begrenzung ist keine wirtschaftliche Ausnahmeforderung, sondern folgt dem durch die EU-Abfallrahmenrichtlinie vorgezeichneten Anwendungsbereich. Eine rein nationale Ausweitung auf weitere textile Produktgruppen würde von diesem Rahmen abweichen und stünde zugleich im Widerspruch zur Grundlogik dieses Papiers, regulatorische Pflichten an belegten Stoffströmen, Verwertungswegen und nachweisbarer ökologischer Wirkung auszurichten. Eine Ausweitung auf industrielle Textilien, Arbeits- und Schutzbekleidung oder gewerbliche B2B-Textilströme lehnt Südwesttextil ab. Herstellerbeiträge müssen transparent und nachweisbar dort eingesetzt werden, wo zusätzliche ökologische Wirkung entsteht und bestehende Systemlücken geschlossen werden. Dazu gehören insbesondere Sortierung, Vorbehandlung, technologische Skalierung sowie der Aufbau hochwertiger Recycling- und Verarbeitungskapazitäten. **Der Erfolg eines EPR-Systems darf nicht allein an eingesammelten oder finanzierten Mengen gemessen werden, sondern daran, ob zusätzliche funktionierende Kreislaufstrukturen entstehen.** Hersteller benötigen angemessene Mitwirkungs- und Kontrollmöglichkeiten hinsichtlich Kosten, Mittelverwendung und Zielerreichung.

6. **Nachweisbarkeit, regulatorische Kohärenz und wirksamen Vollzug sicherstellen:** Verbindliche Anforderungen müssen nicht nur technisch erfüllbar, sondern auch mit verhältnismäßigem Aufwand belastbar nachweisbar und kontrollierbar sein. Abhängig von der jeweiligen Anforderung müssen dabei neben analytischen Prüfverfahren auch geeignete dokumentenbasierte Nachweise entlang der Lieferkette berücksichtigt werden. Definitionen, Berechnungsmethoden und Nachweisstandards für identische Produkteigenschaften müssen zwischen Ökodesign-Verordnung, Digitalem Produktpass, Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) und Verbraucherrecht konsistent ausgestaltet sein. Gleichzeitig muss die Einhaltung unabhängig von Produktionsstandort und Vertriebsweg wirksam durchgesetzt werden können. Ein Vollzug, der faktisch vor allem transparente europäische Unternehmen erfasst, schafft weder faire Wettbewerbsbedingungen noch ökologische Wirkung.



Was daraus für Baden-Württemberg folgt

Viele regulatorische Entscheidungen werden auf europäischer oder Bundesebene getroffen. Baden-Württemberg kann jedoch dazu beitragen, die industrielle Perspektive in diese Prozesse einzubringen und die Voraussetzungen für textile Kreisläufe im Land zu stärken.

- / **Im Bund für evidenzbasierte Regulierung eintreten:** Die Landesregierung sollte sich für eine unionsrechtskonforme Umsetzung des Anwendungsbereichs der Erweiterten Herstellerverantwortung (EPR), belastbar hergeleitete Zielwerte sowie praxistaugliche Nachweis- und Vollzugsanforderungen einsetzen.
- / **Forschung und industrielle Skalierung gemeinsam fördern:** Förderung sollte gezielt den Übergang vom Forschungs- und Pilotmaßstab in industrielle Anwendungen unterstützen und dabei Sortierung, Vorbehandlung, Recycling und Weiterverarbeitung gemeinsam betrachten.
- / **Industrielle Wertschöpfung sichern:** Der Erhalt wettbewerbsfähiger textiler Produktions- und Verarbeitungskapazitäten muss Bestandteil der Kreislaufwirtschaftspolitik sein. Ohne industrielle Abnehmer entstehen aus Sekundärrohstoffen keine geschlossenen textilen Kreisläufe.
- / **Öffentliche Beschaffung recyclinggerecht ausgestalten:** Ausschreibungs- und Vergabekriterien sollten den Einsatz von Produkten mit Recyclinganteilen ermöglichen und diesen nicht durch technische Anforderungen ausschließen, die für den jeweiligen Verwendungszweck nicht erforderlich sind.
- / **Wirksamen und fairen Vollzug gewährleisten:** Baden-Württemberg sollte sich für eine leistungsfähige Marktüberwachung einsetzen, die europäische und außereuropäische Marktteilnehmer unabhängig vom Vertriebsweg gleichermaßen erfasst.

Südwesttextil unterstützt das Ziel, textile Ressourcen länger und hochwertiger im Kreislauf zu führen. Gerade deshalb müssen die noch auszugestaltenden Instrumente technisch erreichbar, ökologisch begründet, wirtschaftlich tragfähig und wirksam umsetzbar sein.



Herausgeber:**SÜDWESTTEXTIL – VERBAND DER SÜDWESTDEUTSCHEN TEXTIL - UND
BEKLEIDUNGSINDUSTRIE E.V.**

Türlenstraße 6

70191 Stuttgart

Telefon: +49 711 21050-0

E-Mail: info@suedwesttextil.de

Internet: www.suedwesttextil.de

Amtsgericht Stuttgart: Vereinsregister-Nr. 95

Verantwortlich für den Inhalt

Edina Brenner

Hauptgeschäftsführerin

Ansprechpartnerinnen

M. Sc. Salome Haar | Kreislaufwirtschaft + CSR

Referentin Umwelt + Nachhaltigkeit

E-Mail: umwelt@suedwesttextil.de

