DIGITALE TECHNOLOGIEN ALS ENABLER
EINER RESSOURCENEFFIZIENTEN KREISLAUFFÄHIGEN B2B-TEXTILWIRTSCHAFT

Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft (DiTex)

Gemeinsamer Sach- und Schlussbericht

(Teil II)

Impressum

Vorhaben: „Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft (DiTex)“ im Rahmen der Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“

Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)

FKZ: 033R228A (IÖW)
033R228B (Wilhelm Weishäupl)
033R228C (Dibella)
033R228D (Hochschule Reutlingen)
033R228E (HIT)
033R228F (ifeu)

Zuwendungsempfänger:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig (TP 1)
Ansprechpartner: Dr. Frieder Rubik
Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin

Wilhelm Weishäupl (TP 2)
Ansprechpartner: Florian Kamm
Schwanthalerstr. 49, 80336 München

Dibella (TP 3)
Ansprechpartner: Martijn Witteveen
Hamalandstr. 111, 46399 Bocholt

Hochschule Reutlingen (TP 4)
Ansprechpartner: Kai Nebel
Alteburgstr. 150, 72762 Reutlingen

Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH (TP 5)
Ansprechpartnerin: Dr. Anja Gerhardts
Schlosssteige 1, 74357 Bönnigheim

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (TP 6)
Ansprechpartner: Dr. Guido Reinhardt
Wilckensstr. 3, 69120 Heidelberg

Laufzeit: 01.08.2019 – 31.12.2022

Autor*innen: Dr. Frieder Rubik, Sabrina Schmidt, Christina Klusch, Magdalena Müller (alle IÖW), Sven Gärtner, Dr. Guido Reinhardt (alle ifeu), Dr. Kim Hecht, Serge Lang, Dr. Jasmin Jung, Dr. Anja Gerhardts (alle HIT), Carsten Ridder (Dibella), Kai Nebel, Martina Gerbig, Barbara Boldrini (alle HSRT), Florian Kamm (Wilhelm Weishäupl)

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

ReziProK
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft –
Innovative Produktkreisläufe

Für nähere Informationen zum Projekt: www.ditex-kreislaufwirtschaft.de

27. Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen 11

1.1 Einleitung und Übersicht 11
1.2 Erarbeitung Lastenhefte 11
1.2.1 Poloshirt 12
1.2.2 Polizeihemd 12
1.2.3 Bettgarnitur 13
1.3 Partizipative Produktentwicklung 13
1.3.1 Durchführung von Marktdialogen 13
1.3.2 Auswertungsveranstaltung 16
1.4 Auswahl und Beurteilung der DiTex-Textilien 18
1.4.1 Auswahl und Produktion der DiTex-Textilien 18
1.4.1.1 Poloshirt 18
1.4.1.2 Polizeihemd 22
1.4.1.3 Bettgarnitur 26
1.4.2 Circular Product Check 30
1.4.3 Nachhaltigkeitsstandards und Labelvergleich 30
1.5 Praxistest 34
1.5.1 Planung, Durchführung und Organisation im Überblick 34
1.5.2 Auswertung Praxistest 35
1.5.2.1 Qualitätstests 35
1.5.2.2 Spektroskopische Beurteilung 42
1.5.2.3 Nutzenden-Befragung 45
1.5.2.4 Ökobilanzielle Beurteilung 53
1.5.2.5 Digitales Tracking 58
1.5.3 Fazit Praxistest 60
1.6 Geschäftsmodell Textilservice 61
1.7 Recyclingverfahren 64
1.7.1 Recycling bei Fa. Rittec Umwelttechnik GmbH 65
1.7.1.1 Profil Rittec Umwelttechnik 65
1.7.1.2 Technologie RITTEC Umwelttechnik 65
1.7.1.3 Ergebnisse Recycling Produkte Rittec 68
1.7.1.4 Qualitätsmessung der Recycling Produkte 69
1.7.2 Recycling bei Worn again 72
1.7.2.1 Profil Worn again 72
1.7.2.2 Technologie Worn again 72

1.8 Fachtagung ... 73
1.9 Weitere Aktivitäten ... 76
1.9.1 Betrachtung von Rebounds ... 76
1.9.2 Betrachtung der Nutzungsdauer von Leasing-Textilien ... 79
1.9.3 Webseite ... 80

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises ... 80

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ... 80

4 Verwertbarkeit des Ergebnisses ... 81

4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende ... 81
4.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ... 82
4.2.1 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ... 82
4.2.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ... 83

5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen ... 84

5.1 Kreislaufwirtschaft und Textilien ... 84
5.2 Qualitätstests von Textilien ... 87
5.3 Geschäftsmodelle ... 88
5.4 Methoden und Praxis von Ökobilanzen im Textilbereich ... 89
5.5 Recyclingtechnologien ... 90
5.6 Nachhaltigkeitsstandards ... 92

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses ... 93

6.1 Eigene Publikationen ... 93
6.2 Mitarbeit in Veröffentlichungen Dritter ... 94
6.3 Vorträge, Podiumsdiskussionen und Infostände ... 94
6.4 Interviews und Beiträge Dritter inkl. Medientreffer ... 96

7 Literaturverzeichnis ... 98

8 Anhang ... 102

8.1 DiTex-Anforderungskatalog beim Labelvergleich ... 102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma WILHLEM WEISHÄUPL e.K., DiTex-Poloshirt (Eigene Darstellung: IÖW) 20

Abbildung 2: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma WILHLEM WEISHÄUPL e.K., DiTex-Polizeihemd. (Eigene Darstellung: IÖW)..... 24

Abbildung 3: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma Dibella GmbH, DiTex-Bettgarnitur (Eigene Darstellung: IÖW) 28

Abbildung 4: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Poloshirts. Die Orientierungswerte ergeben sich aus dem Arbeitspapier DiTex (Eigene Darstellung: HIT) 36

Abbildung 5: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Polizei-Hemden. Die Orientierungswerte ergeben sich aus dem Arbeitspapier DiTex. (Eigene Darstellung: HIT) 39

Abbildung 6: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Bettwäsche. Der Orientierungswert ergibt sich aus dem Arbeitspapier DiTex (Eigene Darstellung: HIT) 41

Abbildung 7: UV-Vis Mittelwertspektren der Poloshirts (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Waschzyklen) (Quelle: Hochschule Reutlingen)..... 43

Abbildung 8: UV-Vis Mittelwertspektren der Polizeihemden (schwarz: Neuzustand, blau: 1 Zyklus rot: 100 Zyklen). (Quelle: Hochschule Reutlingen)..... 44

Abbildung 9: UV-Vis Mittelwertspektren der Bettgarnitur (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Zyklen) (Quelle: Hochschule Reutlingen) 45

Abbildung 10: Schematische Darstellung der wissenschaftlichen Begleitung im zeitlichen Verlauf des Praxistests über folgende Formate: Nutzenden-Umfragen (gelb), Abfragen an den Textilservice (blau), ergänzende Gesprächsformate mit Testanwendern sowie Vertreter*innen von Textilservice und Hersteller (grün), (Eigene Darstellung: IÖW)..... 46

Abbildung 11: CO_2-Fußabdruck eines DiTex-Businesshemds über die gesamte Lebensdauer sowie der Beitrag der einzelnen Lebenswegabschnitte.(Eigene Erstellung: ifeu)..... 55

Abbildung 12: Der Wäschekreislauf im Textilservice (Eigene Darstellung: IÖW, angelehnt an DTV: www.dtv-deutschland.org/textil-service.html)..... 63

Abbildung 13: Technikumsanlage revolPET® (Quelle: Rittec Umwelttechnik GmbH) 66

Abbildung 14: Pelletiertes Businesshemd 62% Baumwolle kbA, 38% Polyester (Foto: Rittec Umwelttechnik)..... 66

Abbildung 15: zerkleinertes Poloshirt 100% Polyester (Foto: Rittec Umwelttechnik) 66

Abbildung 16: Gewebemuster Schuss aus recyceltem PES aus den DiTex Textilien (Foto: Rittec Umwelttechnik)..... 67

Abbildung 17: Gewonnene r-TA aus DiTex Mischung mit Applikationen (Foto: Rittec Umwelttechnik) 67

Abbildung 18: Gewonnene r-MEG aus Textilrecycling (Foto: Hochschule Reutlingen)..... 69

Abbildung 19: Unreagierte feste Fraktion aus Recycling der DiTex Textilien (Foto: Hochschule Reutlingen) 69

Abbildung 20: FTIR Spektrum von recyceltem Monoethylenglycol (r-MEG) und Bandenzuordnung (Quelle: Hochschule Reutlingen)..... 70

Abbildung 21: FTIR Spektrum von recyceltem Terephthalsäure (r-TA) und Bandenzuordnung (Quelle: Hochschule Reutlingen)..... 70

Abbildung 22: FTIR Spektrum von recycletem und virgin PES (r-PES, blau, unten, v-PES, rot, oben) und Bandenzuordnung für v-PES (Quelle: Hochschule Reutlingen)..... 71

Abbildung 23: FTIR Spektrum von Zellulose-Reste (blau, unten) und Baumwolle Referenz-textil (rot, oben) und Bandenzuordnung für Baumwolle (Quelle: Hochschule Reutlingen) 71

Abbildung 24: Übersicht über mögliche kurz-, mittel- und langfristige Rebound-Effekte im DiTex-Projekt und darüber hinaus 78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: DiTex-Marktdialoge (AP 2) 14

Tabelle 2: Produktdatenblatt des DiTex-Poloshirt 21

Tabelle 3: Produktdatenblatt des DiTex-Polizeihemds..... 25

Tabelle 4: Produktdatenblatt der DiTex-Bettgarnitur..... 29

Tabelle 5: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Poloshirts (Eigene Darstellung: IÖW) 32

Tabelle 6: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Polizeihemds (Eigene Darstellung: IÖW)..... 33

Tabelle 7: Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Bettgarnitur (Eigene Darstellung: IÖW)..... 33

Tabelle 8: Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen der Ditex-Poloshirts in Anlehnung an HQS 704..... 37

Tabelle 9: Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen der Ditex-Polizei-Hemden in Anlehnung an HQS 703 39

Tabelle 10: Bewertung der DiTex-Poloshirts im Zeitraum von 23.08.21 – 15.12.2021; n = 21 47

Tabelle 11: Bewertung der DiTex-Polizeihemden in der End-Umfrage im Zeitraum von 24.03.2022 – 20.04.2022, n = 13..... 49

Tabelle 12: Bewertung der DiTex-Bettgarnitur im Zeitraum von 21.06.2021 – 15.03.2022, n = 1.637 52

Tabelle 13: Bewertung der DiTex-Bettgarnitur in der Unterkunft der Bundespolizei am Standort München-Erding im Zeitraum von 21.06.2021 – 15.03.2022, n = 87 53

Tabelle 14: Ausgewählte Unterschiede zwischen den untersuchten neu entwickelten, optimierten DiTex-Textilien sowie ihren Referenzen. Abkürzungen: BW: Baumwolle, BioBW: Bio-Baumwolle, rLyo: r30-Lyocell, PES: Polyester, rPES: Recycling-Polyester. 54

Tabelle 15: Methodisches Vorgehen zur Analyse des Textilservice-Geschäftsmodells 62

Tabelle 16: Übersicht Proben (Quellen: Rittec Umwelttechnik und HSRT)..... 68

Tabelle 17: Programm der DiTex-Fachtagung am 20. Oktober 2022. 73

Tabelle 18: Medientreffer von DiTex..... 96

Tabelle 19: DiTex-Anforderungskatalog an die Rohfasern; Basis: Labelvergleich..... 102

Tabelle 20: DiTex-Anforderungskatalog an die Produktion; Basis: Labelvergleich 102

Tabelle 21: DiTex-Anforderungskatalog an das Endprodukt; Basis: Labelvergleich 103

Abkürzungsverzeichnis

AIM ..... **Datenerfassung und Mobile Datenkommunikation**

AP ..... **Arbeitspaket**

AutoID ..... **Automatische Identifikation**

B2B ..... **Business-to-business**

BMU ..... **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit**

BMZ ..... **Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung in Zusammenarbeit**

BVSE ..... **Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung**

DIN ..... **Deutsche Institut für Normung e. V.**

DiTex ..... **Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft**

DKE ..... **Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik**

DTV ..... **Deutscher Textilreinigungsverband**

ERE ..... **Environmental Rebound-Effekte**

FONA ..... **Forschung für Nachhaltigkeit**

GIZ ..... **Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit**

GPP ..... **Green Public Procurement**

HIT ..... **Hohenstein Institut für Textilinnovation**

HSRT ..... **Hochschule Reutlingen**

ifeu ..... **Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH**

IÖW ..... **Institut für ökologische Wirtschaftsforschung**

kbA ..... **kontrolliert biologischer Anbau**

KI ..... **Künstliche Intelligenz**

LZN ..... **Logistikzentrums Niedersachsen**

NAOH ..... **Natriumhydroxid**

OVAM ..... **public waste Agency of Flanders**

PES ..... **Polyester**

PET ..... **Polyethylen**

r_{30}-Lyocell ..... **Zellulose-Regeneratfaser aus Holzzelluloseund bis zu 30 % recyceltenBaumwoll-Zuschnittresten**

ReziProK ..... **Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe**

r-MEG ..... **recycelte Ethylenglycol**

rPES ..... **recyceltes Polyester**

rPET ..... **recyceltes Polyethylen**

r-TA ..... **recycelte Terephtalsäure**

TL ..... **Technischen Lieferbedingungen**

TP ..... **Teilprojekt**

UBA ..... **Umweltbundesamt**

UNDP ..... **United Nations Development Programme**

VDI ..... **Verein Deutscher Ingenieure**

v-PES ..... **virgin Polyester**

z. B. ..... **zum Beispiel**

1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

1.1 Einleitung und Übersicht

Zentrale Ergebnisse aus dem Vorhaben sind in zehn Fact Sheets und ausführlichen Dokumentationen öffentlich dokumentiert worden, die auf die Zielgruppe der textilen Praxis ausgelegt sind (vgl. Kapitel 6.1). Darüber hinaus sind folgende Aktivitäten realisiert und bemerkenswerte Ergebnisse erzielt worden:

- Erarbeitung Lastenhefte (vgl. Kapitel 1.2),
- Partizipative Entwicklung von ausgewählten Textilien (vgl. Kapitel 1.3),
- Auswahl und Beurteilung des entwickelten Textilien (vgl. Kapitel 1.4),
- Planung und Durchführung eines Praxistests der eingesetzten DiTex-Textilien (vgl. Kapitel 1.5),
- Analyse des Geschäftsmodells Textilservice (vgl. Kapitel 1.6),
- Durchführung eines Textilrecyclings (vgl. Kapitel 1.7),
- Durchführung einer Fachtagung (vgl. Kapitel 1.8),
- Weitere Aktivitäten (vgl. Kapitel 1.9).

1.2 Erarbeitung Lastenhefte

Der DiTex-Vorhabensverbund befasste sich unter Federführung der HSRT und circular.fashion und der mit der Erstellung des Lastenheftes, das als Basis für die Umsetzung der DiTexGen1 dient.

Die technologische Auslegung (Materialien, Schnitt) konventioneller Berufsbekleidung genügt den industriellen Waschprozessen. Um die Kreislauffähigkeit der DiTex Textilien zu realisieren, mussten Rohstoffe und Design hinsichtlich der Rezyklierbarkeit (technisch und wirtschaftlich) beurteilt und angepasst werden. Eine Besonderheit im DiTex-Vorhaben sind also die Anforderungen an die (mehrfache) Rezyklierbarkeit der Rohstoffe bzw. idealerweise aller Zutaten. Zeitgleich sollte der Anteil der Zutaten aus bereits rezyklierten Materialien erhöht werden. Das gehört bei Miettextilien bislang nicht zum Standard. Deshalb ist die Erprobung von Einsatz und Eignung von Rezyklaten in Miettextilien eine weitere Besonderheit im DiTex-Vorhaben. Das Produktdesign hat einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Recyclingfähigkeit. Ziel ist es deshalb, bereits im Produktdesign die konkreten Recyclinganforderungen mit einfließen zu lassen und so die Textilien als zukünftigen Recycling-Feedstock zu optimieren. Dieser Ansatz ist in der B2B-Wäsche Branche noch nicht breit etabliert, weshalb das DiTex-Vorhaben einen Beitrag zur Erprobung leisten will und als Machbarkeitsstudie angelegt ist.

Prinzipiell können die hier genannten Anforderungen durch Anpassung der Parameter Materialauswahl, Garn- und Flächenkonstruktion, Schnitt sowie Zutaten erreicht werden.

Eine Grundlage für das Lastenheft war der DiTex-Marktdialog am 09.12.2019, indem die Produktanforderungen und Erwartungen von (potenziellen) Großabnehmern an hochwertige Oberbekleidung erhoben wurden. Diskussionsthemen waren Funktionalität, Komfort, Ästhetik, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit von kreislauffähigen und leasingtauglichen Textilien. Konkrete Anforderungen an Berufsoberbekleidung wurden formuliert und zugehörige Einflussfaktoren gesammelt. Lange Nutzungsdauer, Farb- und Lichtechtheit der textilen Fläche und Zutaten, Reißfestigkeit, Dimensionsstabilität und Pflegeleichtheit sowie Echtheit gegen Desinfektion wurden als Anforderungen an die Funktionalität benannt. Anforderungen an die Ästhetik von Berufsbekleidung beinhalten Passform, Saisonalität, Bekleidungsphysiologie und Individualisierung (z.B. Stickereien, Hoheitsembleme. Die Anforderungen wurden mit Erfahrungen der Branchenexpert*innen spezifiziert und diskutiert: So kann beispielsweise die Nutzungsdauer durch Einsatz von reinem Polyester verlängert werden, in der Praxis werden aus verschiedenen Gründen jedoch oft Mischgewebe eingesetzt. Auch bekannte Probleme des Produktdesigns von Berufsbekleidung wurden erfasst, z.B. kritische Elemente und Konstruktionen in Bezug auf Abrieb, Verfärbungen oder Einreißen.

Es folgten im Januar 2020 zwei Circular Design Workshops mit den Industriepartnern Dibella und Weishäupl, um auf Basis der Ergebnisse des Marktdialogs 1 die Materialmöglichkeiten zu sichten, Konzepte für Recyclingströme zu entwickeln sowie die Materialauswahl und das Design zu erarbeiten.

Auf Basis der Expertise von HSRT, HIT, circular.fashion sowie der Industriepartner Weishäupl und Dibella wurden diese Parameter für jedes DiTex Textil bewertet und in Einklang mit den Projektanforderungen konzipiert. Dabei war die Umsetzbarkeit innerhalb des Projektes im Blick zu behalten, weshalb nur am Markt bereits verfügbare Materialien und Ressourcen in der Konzeption berücksichtigt wurden.

Daraus resultierten die Lastenhefte für die drei DiTex Produkte, das Exzerpt davon ist das jeweilige Produktdatenblatt.

1.2.1 Poloshirt

Das Design der DiTex-Poloshirts verfolgte dabei die folgenden Ziele: Die Poloshirts sollen den größtmöglichen Tragekomfort bei gleichzeitig angenehmer Passform und Formbeständigkeit bieten. Die Corporate Identity soll durch modernes, zeitgemäßes und zeitloses Design sichtbar werden können. Hohe Strapazierfähigkeit von Material und Passform und wird unter dem Begriff „Leasingtauglichkeit“ subsummiert. Die ausgewählten Materialien der textilen Maschenware und der Zutaten entsprechen Nachhaltigkeitskriterien wie z.B. Verwendung von recyceltem Polyester.

1.2.2 Polizeihemd

Die Bediensteten der Polizei erhalten einen Zuschuss für ihre Dienstkleidung (Kleidergeld). Die Kleidung wird damit selbst beschafft und die Hemden im Regelfall selbst gewaschen und gebügelt. Jedoch ist eine Leasingtauglichkeit ebenfalls wichtig, sie geht einher mit hoher Strapazierfähigkeit von Material und Design. Im DiTex-Vorhaben werden die Polizeihemden im gewerblichen Textilservice gewaschen und müssen somit den Wasch- und Trockenprozessen einer professionellen Wäscherei standhalten.

Prinzipiell können die hier genannten Anforderungen durch Anpassung der Parameter Materialauswahl, Garn- und Flächenkonstruktion, Schnitt sowie Zutaten erreicht werden.

Die ausgewählten Materialien der textilen Stoffe und der Zutaten entsprechen ökologischen Nachhaltigkeitskriterien wie z.B. Verwendung von recyceltem Polyester.

Die Hauptziele aus Sicht der Kundschaft die dieses Hemd tragen, sind größtmöglicher Tragekomfort bei gleichzeitiger angenehmer Passform und Formbeständigkeit. Außerdem ist eine lange Nutzungsdauer bei gleichzeitigem beständig gutem Aussehen gewünscht.

Die Corporate Identity zeichnet sich hier auch durch ein zeitloses Design aus.

1.2.3 Bettgarnitur

Bett- und Tischwäsche sind die Textilien, die bereits seit einem sehr langen Zeitraum industriell gewaschen werden. Objekttextilien im gewerblichen Einsatz genügen deshalb in der Regel den Anforderungen industrieller Waschprozesse.

Die ausgewählten Materialien der textilen Stoffe und der Zutaten entsprechen ökologischen Nachhaltigkeitskriterien wie z.B. Verwendung von recyceltem Polyester und der Lyocell-Regeneratfaser refibra® (r30-Lyocell).

Der hautsensorische Komfort der Bettgarnitur ist das Hauptkriterium an hochwertige Bettgarnitur für schlafende Menschen. Sie soll anschmiegsam, weich sein und darf keine Hautrötungen hervorrufen. Die Corporate Identity soll durch modernes, zeitgemäßes und zeitloses Design sichtbar werden können. Leasingtauglichkeit ist unabdingbar, sie geht einher mit hoher Strapazierfähigkeit von Material und Design. Die Hauptziele aus Sicht der Kundschaft sind lange Nutzungsdauer bei gleichzeitigem beständig gutem Aussehen und guter Anschmiegsamkeit.

1.3 Partizipative Produktentwicklung

1.3.1 Durchführung von Marktdialogen

Um die kunden- und marktseitigen Prämissen und Herausforderungen zu berücksichtigen, wurden im Verlauf des Projekts sechs Marktdialoge durchgeführt (AP 2). Diese Dialogprozesse mit gewerblichen und öffentlichen „Großverbrauchern“ und deren Textilversorgern fokussierten auf die Rahmenbedingungen der Umstellung von:

- Textilkauf auf Textilleasing und
- Frischfasern auf Rezyklate.

Diese Marktsondierung setzte die Schwerpunkte: Produktanforderungen und Nutzenden-Erwartungen, Distribution und Vertragsgestaltung, Recycling-Kapazitäten und -Knowhow, Marktpotenzial und Versorgungssicherheit, Nachhaltigkeitszertifizierung, Reflexion und Auswertung. Tabelle 1 listet die Eckdaten der Marktdialoge auf. Die Marktdialoge wurden durch das IÖW-Projektteam und IÖW-Konferenzbüro vorbereitet, durchgeführt und dokumentiert, punktuell unterstützt durch ifeu, HIT und circular.fashion. Die ersten drei Marktdialoge wurden während der Identifikation und Konzeption der im späteren Projektverlauf pilotierten Produktdesigns durchgeführt. Die gewonnen Ergebnisse zu

Produktanforderungen, Distribution und Vertragsgestaltung sowie Recycling-Technologien flossen in die partizipative Produktentwicklung ein. Der für „Reflexion und Auswertung“ vorgesehene Marktdialog 6 wurde als Produktpräsentation mit der Auswertungsveranstaltung (vgl. Kapitel 1.3.2) gebündelt durchgeführt. Er wurde dadurch vorgezogen und fand vor den Marktdialogen 4 und 5 statt. Die Marktdialoge 4 und 5 fanden statt, als wieder Treffen in Präsenz möglich wurden, die aus Gründen des Infektionsschutzes für einen Teil der Projektlaufzeit nicht durchführbar waren.

Tabelle 1: DiTex-Marktdialoge (AP 2)

Titel	Datum	Ort	Teil-nehmende	Organi-sation
Kreislauffähige Textilien – Produktanforderungen und Erwartungen von Großabnehmern an hochwertige Business-hemden und Bettwäsche	9.12.2019, 10:30–16:30	Frankfurt (Main), Dechema	34, davon 21 externe*	IÖW
Distribution & Vertragsgestaltung bei B2B-Textilien: Textilservices können Nachhaltigkeit und Digitalisierung koppeln	5.2.2020, 10:30–16:30	Frankfurt (Main), Haus am Dom	25, davon 17 externe	IÖW
Recycling-Kapazitäten und -Knowhow: Textile Recycling – On the Verge of a Market Breakthrough (in englischer Sprache)	7.5.2020, 10:00–16:00	Online	Nicht-öffentliche Veranstaltung für eingeladene Teilnehmende und Projekt-Konsortium	IÖW
Marktpotenzial und Versorgungssicherheit: Stimmen die Voraus-setzungen für eine kreislauffähige B2B-Textilwirtschaft?	6.10.2021, 10:30–16:30 Uhr	Frankfurt (Main), Dechema	12, davon 6 externe	IÖW, ifeu
Qualitäts- und Nachhaltig-keitsstandards für Miet-textilien aus Recycling-materialien: Prüfkonzept und Zertifizierung	3.11.2021, 09:15–13:30	Online (MS Teams)	26, davon 16 externe	IÖW, HIT, circular. fashion
Produktpräsentation: Kreislauffähige Berufs-bekleidung und Bettwäsche für Gewerbe, Gesundheits-wesen und die öffentliche Hand - Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte	10.10.2020, 09:00–15:30	Hybrid: Berlin und online (Youtube-Livestream)	29 in Präsenz; 50 insgesamt	IÖW

* Extern: Nicht-Angehörige eines DiTex-Projektpartners

Am **Marktdialog 1 „Kreislauffähige Textilien – Produktanforderungen und Erwartungen von Großabnehmern an hochwertige Businesshemden und Bettwäsche"** u.a. Vertreter*innen öffentlicher Beschaffungsstellen, von Textilservices und Industrieverbänden sowie die DiTex-Verbundpartner teil. Das Projekt wurde vorgestellt. Es folgte ein Input zu Herausforderungen und Lösungen für Circular Material und Design (circular.fashion). Design-Konzepte für recyclingfähige Bettgarnitur und Berufsbekleidung wurden durch die Hersteller dibella und Weishäupl gemeinsam mit circular.fashion vorgestellt. Die Anwesenden teilten die Einschätzung, dass Berufskleidung und Bettgarnitur in gewerblicher und öffentlicher Nutzung einen geeigneten Ansatzpunkt für die Entwicklung einer kreislauffähigen Textilindustrie darstellen. Umfassend diskutiert wurden die Anforderungen der anwesenden Großabnehmer und (potenziellen) Nutzenden an Funktionalität, Komfort und Ästhetik, Wirtschaftlichkeit sowie Nachhaltigkeit der Textilien. Das Ergebnis des Marktdialogs waren Designkonzept-Entwürfe für drei kreislauffähige Produktlinien. Präsentations-Folien und Dokumentation des Marktdialog 1 stehen online zur Verfügung.

Beim **Marktdialog 2 „Distribution & Vertragsgestaltung bei B2B-Textilien: Textilservices können Nachhaltigkeit und Digitalisierung koppeln"** diskutierten potenzielle öffentliche und privatwirtschaftliche Großabnehmern von Miet-Textilien mit Herstellern und Textilservice-Dienstleistern. Schwerpunkte waren Aspekte der Vertragsgestaltung und Distribution im B2B-Textilservice sowie die derzeitige und potentielle Rolle digitaler Tracking-Technologien für das Geschäftsmodell Textilleasing. Ein eingeladener externer Referent des Industrieverbands für Automatische Identifikation (AutoID), Datenerfassung und Mobile Datenkommunikation (AIM) stellte Trackinglösungen im B2B-Textilservice vor und erläuterte, wie diese Nachhaltigkeit und Digitalisierung koppeln können. Anschließend wurden angeleitet durch Sabrina Schmidt und Ria Müller vom IÖW die Distribution und das Handling beim Leasingnehmer von den Anwesenden diskutiert. Deren professionelle Sicht auf Bedarfsplanung und Versorgungssicherheit, Transport und Logistik und das Handling der Wäsche sowie adäquate Servicemodelle und Vertragsformen, die zeitgleich Termintreue, Reinheit und Nachhaltigkeitsanforderungen gerecht werden, wurde gebündelt. Der assoziierte Projektpartner MEWA gab einen Überblick über Servicemodelle & Vertragsgestaltung des Textilservice. Ziel des Marktdialogs war die Vernetzung öffentlicher und gewerblicher Großverbraucher mit Vertreter*innen von Textilservices unter Einbezug der Potenziale von Digitalisierung für die Rückverfolgung und Kreislaufführung. Präsentations-Folien und Dokumentation des Marktdialog 2 stehen online zur Verfügung.

Der **Marktdialog 3** fand als Online-Webinar unter dem Titel **„Textile Recycling – On the Verge of a Market Breakthrough"** statt. Innovative Recyclingprozesse für Alttextilien und deren Anforderungen und Output wurden thematisiert. Ziel des Webinars war es, Recycling-Partner für die DiTex-Textilien zu finden und ausgehend davon, die Designs so zu entwickeln und Produktionsmengen so zu planen, dass sie den Anforderungen des Recyclings genügen und wirklich recycling-fähig sind. Dafür wurden Vertreter*innen der Recycler Worn Again Technologies Ltd. (Großbritannien), Märkische Faser GmbH (Deutschland), Gr3n Recycling (Schweiz), Waste2Wear (Niederlande/China) und ALTEX Textil-Recycling GmbH & Co. KG (Deutschland) eingeladen, ihre Technologie und Anforderungen an Qualitäten und Volumen vorzustellen. Am Webinar nahm ausschließlich das Projektkonsortium teil. Die Dokumentation war nicht zur Veröffentlichung bestimmt, sondern diente dem Projektkonsortium als Entscheidungsgrundlage. Auf Basis des Webinars wurden vorläufig Worn Again Technologies Ltd. als Recycler der DiTex-

Bettgarnitur und Gr3n für das gemeinsame Recycling der DiTex-Oberbekleidung angestrebt.[1]

Nach über einjähriger pandemiebedingter Pause fand der **Marktdialog 4** wieder in Präsenz statt, unter dem Titel **„Marktpotenzial und Versorgungssicherheit: Stimmen die Voraussetzungen für eine kreislauffähige B2B-Textilwirtschaft?“**. Die Veranstaltung unterlag strengen Hygiene-Auflagen und erreichte nur einen kleinen Teilnehmendenkreis. Die Veranstaltung betrachtete die Rahmenbedingungen rund um verfügbare Mengen und Qualitäten an Rohstoffen, Produkten und Rezyklaten sowie deren Sourcing, Nachverfolgbarkeit, Transport und Recycling, die für eine nachhaltige und kreislauffähige B2B-Textilwirtschaft mit entscheidend sind. Textilservices, Beschaffer*innen und Entscheider*innen von Konzernen und öffentlichen Stellen waren zum fachlichen Austausch eingeladen. Drei Impulsvorträge beleuchteten Versorgungssicherheit in einer zirkuläre Textilwirtschaft zwischen globalen Krisen und Nearshoring, Möglichkeiten und Herausforderungen in einer zirkulären Textilwirtschaft aus Sicht der Logistik und aktuelle Volumen und Marktströme in der Distribution gewerblicher Textilien. Präsentations-Folien und Dokumentation des Marktdialog 4 stehen online zur Verfügung.

Der Marktdialog 5 „Qualitäts- und Nachhaltigkeitsstandards für Miettextilien aus Recyclingmaterialien: Prüfkonzept und Zertifizierung“ fand online über MS Teams statt. Die Teilnehmenden wurden informiert, wie eine Zertifizierung kreislauffähiger und leasingtauglicher Textilien bereits bestehende Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards sinnvoll ergänzen kann. Konkrete und prioritäre Anforderungen bzgl. Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit wurden am Beispiel der drei DiTex-Textilien Bettgarnitur, Poloshirt und Polizeihemd vorgestellt. Die teilnehmenden Textilexpertinnen und -experten sowie Kriterienverantwortlichen diskutierten über eine geeignete Methodik für die praxistaugliche Ausgestaltung einer Zertifizierung mittels modularer Elemente. Das Ziel des Marktdialogs war es, Vorschläge und Anregungen für solche Module am Beispiel der drei DiTex-Textilien zu diskutieren und damit die Grundlagen für Zertifizierungen weiter zu entwickeln, damit Anforderungen an Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit auch auf andere Materialien und Textiltypen übertragbar werden. Präsentations-Folien und Dokumentation des Marktdialog 5 stehen online zur Verfügung.

1.3.2 Auswertungsveranstaltung

Gemeinsam mit dem Integrativen Forschungsbericht bildete die Auswertungsveranstaltung das „Zwischenfazit“. Die Veranstaltung fand am 10. September 2020 unter dem Titel **„Kreislauffähige Berufsbekleidung und Bettwäsche für Gewerbe, Gesundheitswesen und die öffentliche Hand - Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte“** in Berlin statt. Der Marktdialog 6 wurde mit dem Charakter einer Produktpräsentation in die Auswertungsveranstaltung integriert. Die Auswertungsveranstaltung bündelte die Ergebnisse des ersten Projektjahres. Die drei Produktmuster von Bettgarnitur, Poloshirt und Polizeihemd wurden in einem Showroom präsentiert. Die Verbundpartner informierten über deren Qualitätsmerkmale hinsichtlich Funktionalität, Tragekomfort, Recycling- und Kreislauffähigkeit, deren Ökobilanz sowie die geplante digitale Trackinglösung für das B2B-Textilleasing. Die anwesenden Vertreter*innen von Textilherstellern und -zulieferern, Beschaffungsverantwortliche, Entscheider*innen von öffentlichen Stellen und weitere Fachleute beantworten die Frage, ob es ihrer Ansicht nach gelungen war, den Anspruch auf Kreislauffähigkeit in den Produktdesigns umzusetzen, zu 67 % mit „gelungen“, zu 24 % mit

[1] Bei einem späteren Projekttreffen im Juni 2021 entschied der Vorhabensverbund, die DiTex-Oberbekleidung in Deutschland in der Pilotanlage von RITTEC Umwelttechnik recyceln zu lassen (vgl. Kapitel 1.7).

„gut gelungen“ und zu 10 % mit „nicht gelungen“ (vgl. die Anregungen für den weiteren Vorhabensverlauf unten).

Im Fachgespräch am Nachmittag diskutierten die Anwesenden über die Akzeptanz von kreislauffähigen Textilien und die Übertragbarkeit der DiTex-Erkenntnisse auf andere textile Produkte und – perspektivisch – auf die gesamte Textilindustrie. Die Teilnehmenden erwarteten Impulse für die Verbreitung kreislauffähiger Textilien aus den vier Bereichen Qualität und Preis (förderliches Preis-Leistungs-Verhältnis, sozial-ökologische Vorteile), Umsetzungsstrukturen (Recycling-Systeme, regionale Infrastrukturen), Sichtbarkeit und Verständnis (Leuchtturmprojekte, öffentlichkeitswirksame Multiplikatoren) sowie politischer Wille (Gesetzgebung, smarte Rückführsysteme). Kreislaufwirtschaft von Textilien wird nach Ansicht der Teilnehmenden der Auswertungsveranstaltung gefördert durch:

- Transparenz und Wissensvermittlung (z. B. Schulungen), um Designer, Hersteller und Abnehmer von Textilien für die textile Kreislaufführung zu sensibilisieren,
- öffentlichkeitswirksame Kommunikation und Werbung um kreislauffähige Textilien sichtbar und für (potenzielle) Abnehmer erkennbar zu machen,
- ein angemessenes Preis-Leistungsverhältnis kreislauffähiger Textilien gegenüber konventionellen Konkurrenzprodukten, z. B. durch Subventionen, auch um Rebound-Effekte zu vermeiden,
- neue Kooperationsformen, Geschäftsmodelle und (regionale) Infrastruktur für die gesamte Textilindustrie. Dafür sind insbesondere auch Recycling-Systeme neu zu schaffen, inkl. Rücknamelogistik und Technologien für effizient-effektives Recycling und die Weiterverarbeitung der Rezyklate.
- Gewerbliche und öffentliche Großverbraucher bzw. Beschaffer*innen als „Marktöffner“,
- ambitionierte Gesetzgebung, Regularien und Ausschreibungskriterien einerseits sowie Subventionen und Steuererleichterungen für nachhaltige Textilien anderseits, um einen Wandel substantiell zu unterstützen.

Die Teilnehmenden gaben Anregungen für den weiteren Projektverlauf z. B. hinsichtlich der transparenten Darstellung der textilen Kreisläufe und der Rücknahmemechanismen, inkl. aller eingesetzten Materialien/Chemikalien, der Evaluation der verwendeten Waschverfahren und deren Einfluss auf die Ökobilanz, Ermittlung einer realistischen Lebensdauer gewerblicher Textilien (erwartbare Anzahl Nutzungs- / Waschzyklen) und der sozialen Aspekte in der Nutzungsphase (Tragekomfort und Hautverträglichkeit von Arbeitsbekleidung).

Die Aufzeichnung der Produktpräsentation und die Dokumentation der Auswertungsveranstaltung mit Produktpräsentation stehen online zur Verfügung.

1.4 Auswahl und Beurteilung der DiTex-Textilien

1.4.1 Auswahl und Produktion der DiTex-Textilien

In einem ersten Schritt wurden der Status Quo der Produkte analysiert und Herausforderungen für die Recyclingfähigkeit identifiziert. Dafür wurden die aktuellen Komponenten und Materialzusammensetzungen aufgenommen und deren Eignung für Recyclingströme abgeleitet sowie Optimierungspotenziale für die Langlebigkeit und Leasingtauglichkeit identifiziert. Im Marktdialog 1 am 09.12.2019, wurden die Produktanforderungen und Erwartungen von Großabnehmern sowohl für die Bettgarnitur als auch für das Poloshirt und das Businesshemd diskutiert. Daraufhin wurden zum einen die gesammelten Produktanforderungen der Großabnehmer sowie zum anderen die am Markt verfügbaren Materialien einbezogen.

Die zuvor von circular.fashion entwickelten circular product toolkits wurden von der Firma Weishäupl gesichtet und bewertet. Dabei konnte zusätzlich auf die circular material library von circular.fashion zugegriffen werden, welche nachhaltige und geprüfte, kreislauffähige Materialien beinhaltet. Es wurden vielversprechende Materialien für die jeweiligen Produkte ausgewählt und nächste Schritte zur Überprüfung der Eignung und Verfügbarkeit der ausgewählten Materialien festgelegt. Materialien, für die innerhalb des Workshops noch keine Alternativen identifiziert werden konnten, wurden im Anschluss an den Workshop durch Weishäupl und circular.fashion beschafft und ebenfalls dem circular material check unterzogen. Nachdem im Herbst 2020 alle Komponenten für DiTexGen1 festgelegt waren, bestätigte circular.fashion in einem finalen circular product check die Eignung der gesamten Materialkombination für den ausgewählten Recyclingstrom. Das circular product Konzept fokussiert auf Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit.

Auf Basis der Expertise von HSRT, HIT, circular.fashion sowie dem Industriepartner Dibella wurden die ermittelten Parameter für die Bettgarnitur aus dem Marktdialog 1 bewertet und in Einklang mit den Projektanforderungen konzipiert. Dabei war die Umsetzbarkeit innerhalb des Projektes im Blick zu behalten, weshalb nur am Markt bereits verfügbare Materialien und Ressourcen in der Konzeption berücksichtigt wurden. Daraus resultierte das Lastenheft, das Exzerpt davon ist das Produktdatenblatt in diesem Forschungsbericht.

1.4.1.1 Poloshirt

Für das Poloshirt wurde auf dieser Basis festgelegt, dass es komplett aus recyceltem Polyester (rPES) besteht. Alle Zutaten (Knöpfe, Näh- und Stickfaden) sind ebenfalls aus rPES.

Diese Informationen wurden ab Sommer 2020 ergänzt und zugespitzt auf die konkreten Anforderungen der Testanwender/innen im Kreis Lippe. Deren wichtigste Erwartung ist eine gute Formstabilität der Poloshirts, auch bei Zunahme der Waschzyklen. Außerdem besteht der Wunsch, die Poloshirts ganzjährig tragen zu können. Das Design des Poloshirts orientiert sich vollständig am bisher bei den Anwender*innen genutzten Poloshirt. Sowohl die Pantone-Farbvorgabe, Gestaltung und Position der Stickerei als auch Schnitt und Größenlauf werden repliziert. Es bestanden zunächst Vorbehalte, die Maschenware aus 100 Prozent Polyester biete ggf. im Vergleich zum bisherigen Poloshirt mit Baumwollanteil einen reduzierten Tragekomfort. Synthetischen Chemiefasern wie Polyester hängt offensichtlich ein negatives Image an. In Gesprächen mit dem Personal, das am Tragetest teilnimmt,

wurde auf dieses Bedenken reagiert und auf die Vorbehalte konnte eingegangen werden. Denn moderne Textilien aus Polyester sind formstabil, pflegeleicht und weisen eine hohe Festigkeit auf. Zudem sorgen die Oberflächenbeschaffenheit und weitere Konstruktionsmerkmale moderner Polyesterfasern für eine gute Luftzirkulation und Feuchtigkeitsabtransport.

Die DiTex-Poloshirts sind zu 100 Prozent aus recyceltem Polyester aus PET-Flaschen hergestellt (mit Ausnahme der eingesetzten Tracking-ID: HID logi tag button (NFC ISO 15963)). Damit wurde komplett auf den Einsatz von Primärfasern verzichtet. Der Konfektionär, die Firma Wilhelm Weishäupl eingetragener Kaufmann (e.K.), bezieht die Maschenware (Produktname Swing2Life®) der Poloshirts von dem französischen Hersteller 4Fknits/INFINITY. Für die Herstellung wird das Polyester-Rezyklat-Garn SecondLife® genutzt. Das DiTex-Poloshirt wurde aus Piqué-Maschenware gefertigt, die Bündchen und der Kragen sind aus Rippstrick. Damit ist es als klassisches, komfortables Poloshirt konstruiert. Gemeinsam mit dem DiTex-Polizeihemd erfüllt es die Bedingungen für Polyester-Baumwoll-Recyclingverfahren. Vor dem Recycling muss lediglich der eingesetzte RFID-Transponder (Tracking ID) entfernt werden. Genauere Informationen zu dem Herstellungsprozess der Maschenware liegen nicht vor. Zusammen mit weiteren textilen Zutaten (Umspinnzwirn, Bauschgarn, Etiketten) und nicht-textilen Zutaten (Polyester-Knöpfe und Tracking-IDs) wird die Maschenware in Ungarn konfektioniert. Die Prozesse des Lebenswegs des Ditex-Poloshirts sind in Abbildung 1 dargestellt.

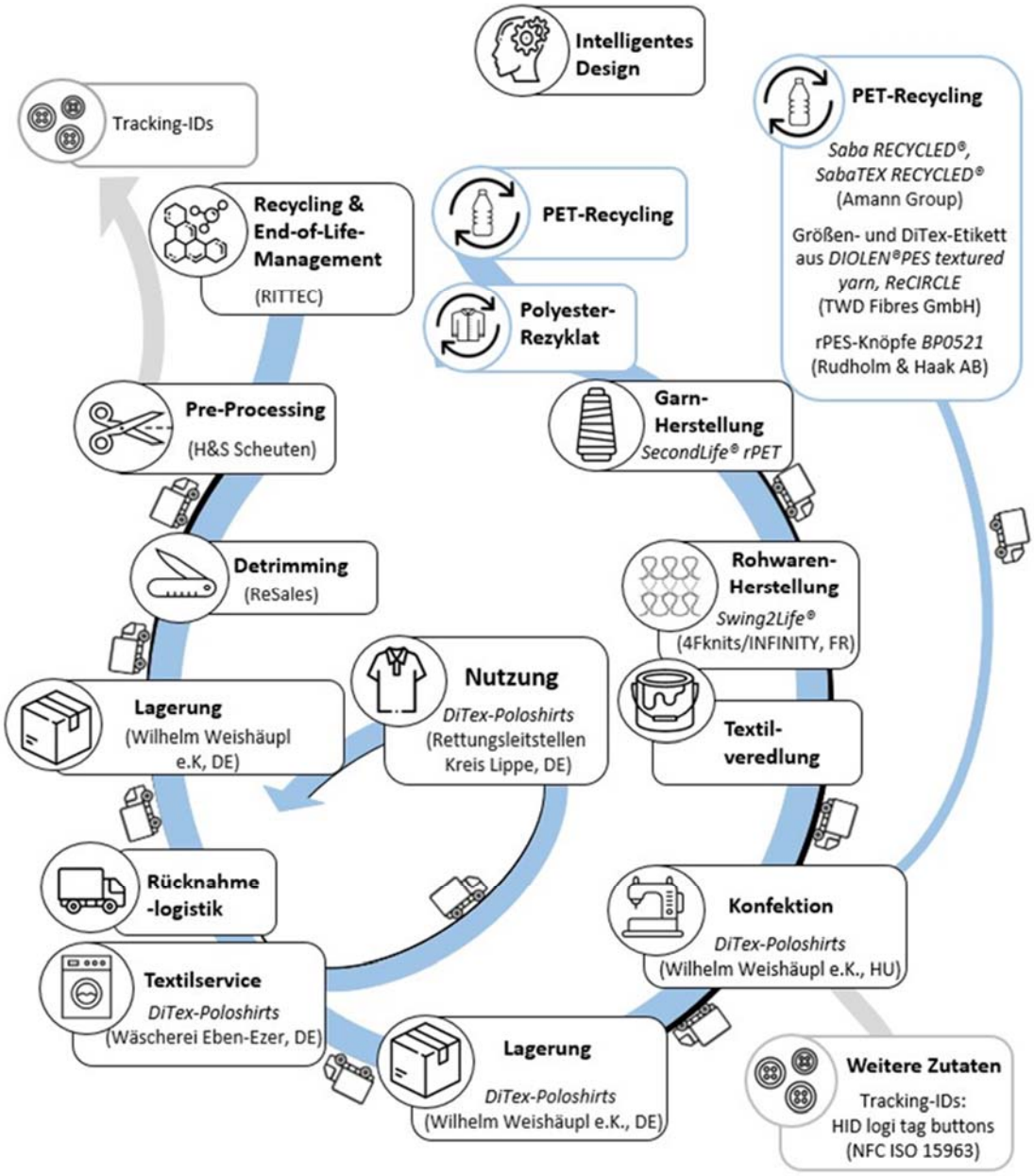


Abbildung 1: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma WILHLEM WEISHÄUPL e.K., DiTex-Poloshirt (Eigene Darstellung: IÖW)

Tabelle 2 beinhaltet die technologischen Eckdaten des Poloshirts und ist als Produktdatenblatt der $DiTex_{Gen1}$ zu verstehen

Tabelle 2: Produktdatenblatt des DiTex-Poloshirt

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Poloshirts
Textilhersteller	Wilhelm Weishäupl e.K.
Textile Fläche	100% SecondLife® rPET: Swing2Life ® 4Fknits/INFINITY
Flächenkonstruktion	Rundstrickware (Leib): Piqué Flachstrickware: (Bündchen, Kragen): RR Ripp
Fasereinsatz	Maschenware: Polyester, rPET: SecondLife® rPET Nähfäden: • Polyester-Umspinnzwirn, rPET: Saba RECYCLED® Amann Group • Polyester-Multifilament, texturiert, Bauschgarn, rPET: SabaTEX RECYCLED® Amann Group
Garnkonstruktion	Filament texturiert
Flächengewicht	205 g/m²
Rundstrickware -Zutaten	Etiketten: Lieferant: Korte Etiketten GmbH Garn: DiTex-Etikett: DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Größenetikett: DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Knöpfe Leiste: 100% rPES (35-45% Rec PES resin, 50-60% Rec fillers, 3-5% Plasticizers and dyes): BP0521 Rudholm & Haak AB
Corporate Identity	Applikation mit Emblem „Bevölkerungsschutz Kreis Lippe “. Das Emblem wird auf das Polo direkt gestickt mit Polyester-Umspinn-zwirn Saba RECYCLED® der Amann Group aus Polyester-Rezyklat.
Ausführung	Damen und/oder Herren
Farbe	marineblau
Waschtemperatur	60°C

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Poloshirts
Umwelt- und Sozialstandards	Textile Fläche: Standard 100 by OEKO-TEX© Nähfäden: Standard 100 by OEKO-TEX©, Global Recycled Standard, REACH Etikett: Standard 100 by OEKO-TEX© Knöpfe: Standard 100 by OEKO-TEX©
Design for Circularity	Alle Zutaten (Maschenware, Nähgarn, Etikett, Knöpfe) aus PES-Rezyklat, teils PET-Flaschen aus post-consumer-Sammlung. Alle Zutaten von circular.fashion als recyclingfähig bewertet. Simples Schnittmuster Langlebigkeit / Leasingtauglichkeit: technische Lebensdauer ohne Qualitätseinbußen über 100 Waschzyklen (angestrebt)
Tracking-ID	Coin. NFC/HF-Button Logitag der Firma HID / Deutschland NFC ISO 15963-Konformität
DiTex-Praxistest bei	4 Rettungsleitstellen im Kreis Lippe / Nordrhein-Westfalen Vom Landkreis Lippe beauftragter Wäschereiservice Eben-Ezer, Lemgo

1.4.1.2 Polizeihemd

Das DiTex-Polizeihemd hat als klassisches Businesshemd die komplexeste Konstruktion. Das Hemd erhielt einen reflektierenden Druck „POLIZEI“ und einen silberfarbenen Knopf für die Epaulette. Diese zwei Elemente sind nicht kreislauffähig und müssen vor dem Recyceln entfernt werden (Detrimming). Das Hemd besteht aus einem strapazierfähigem Köpergewebe aus 62 % Baumwolle kbA und 38 % Recycling-Polyester.

Die Hauptziele aus Sicht der Kundschaft sind lange Nutzungsdauer bei gleichzeitigem beständig gutem Aussehen, guter Passform und hohem Tragekomfort. Um dies zu gewährleisten gehören ein gutes Selbstglättungsverhalten und Dimensionsstabilität.

Zutaten und Logos dürfen nicht aus- und anbluten und sollen recyclingfähig sein. Das Hemd wird in der Farbe „Weiß“ hergestellt. Somit spielt der Parameter Farbechtheit hier keine Rolle. Jedoch wird auf die mögliche Vergrauung durch die Waschprozesse geachtet. Knöpfe und Nähfaden und Flausch des Klettbandes bestehen ebenfalls aus rPES und können ohne weiteren Arbeitsschritt in das PES Recycling eingebracht werden. Der Flausch des Klettbandes besteht aus konventionellem PES, könnte aber durch rPES ersetzt werden. Zur Verstärkung von Kragen, Blende und Manschetten wurde das gleiche Gewebe wie für das Hemd verwendet. Es erfolgte keine Fixierung mit Klebstoff. Das hat den großen Vorteil, dass das Hemd sortenrein ist und keine Verfärbungen in diesem Bereich zu befürchten sind.

Das Design wird so schlicht wie möglich gewählt, dann sind auch mögliche Reparaturen unkompliziert.

Die Beamt*innen der Polizei wünschten sowohl Langarm- als auch Kurzarmhemden. Die Aufteilung der Hemden in beide dieser gewünschten Ausführungen soll dazu beitragen, eine hohe Akzeptanz beim Tragen zu erreichen.

Die Faserzusammensetzung variiert beim Original, also dem Referenzprodukt. Der Vergleich der Technischen Lieferbedingungen (TL) für beide Hemdenausführungen zeigt, dass das Referenz-Langarmhemd (70 Prozent Baumwolle / 30 Prozent PES) einen 16 Prozent niedrigeren Baumwollanteil als das Referenz-Kurzarmhemd (86 Prozent Baumwolle / 14 Prozent PES) besitzt. Entsprechend besitzt das Referenz-Kurzarmhemd einen höheren Polyesteranteil. Die TL des Logistikzentrums Niedersachsen (LZN) dienten als Basis für die Fertigung der DiTexGen1 Hemden.

Die Gewebequalität sowie die Qualität der Zutaten (Knöpfe, Nähfaden, Flausch, Schriftzug) sind in beiden Ausführungen der DiTex-Polizeihemden – Langarm und Kurzarm – identisch. Beim DiTexGen1 Polizeihemd lautet die Faserzusammensetzung 62 Prozent kbA Baumwolle / 38 Prozent rPES und liegt damit näher an der Ausführung des Referenz-Langarmhemds.

Abbildung 2 zeigt die zirkulären Prozesse des Lebenswegs des DiTex-Polizeihemds.

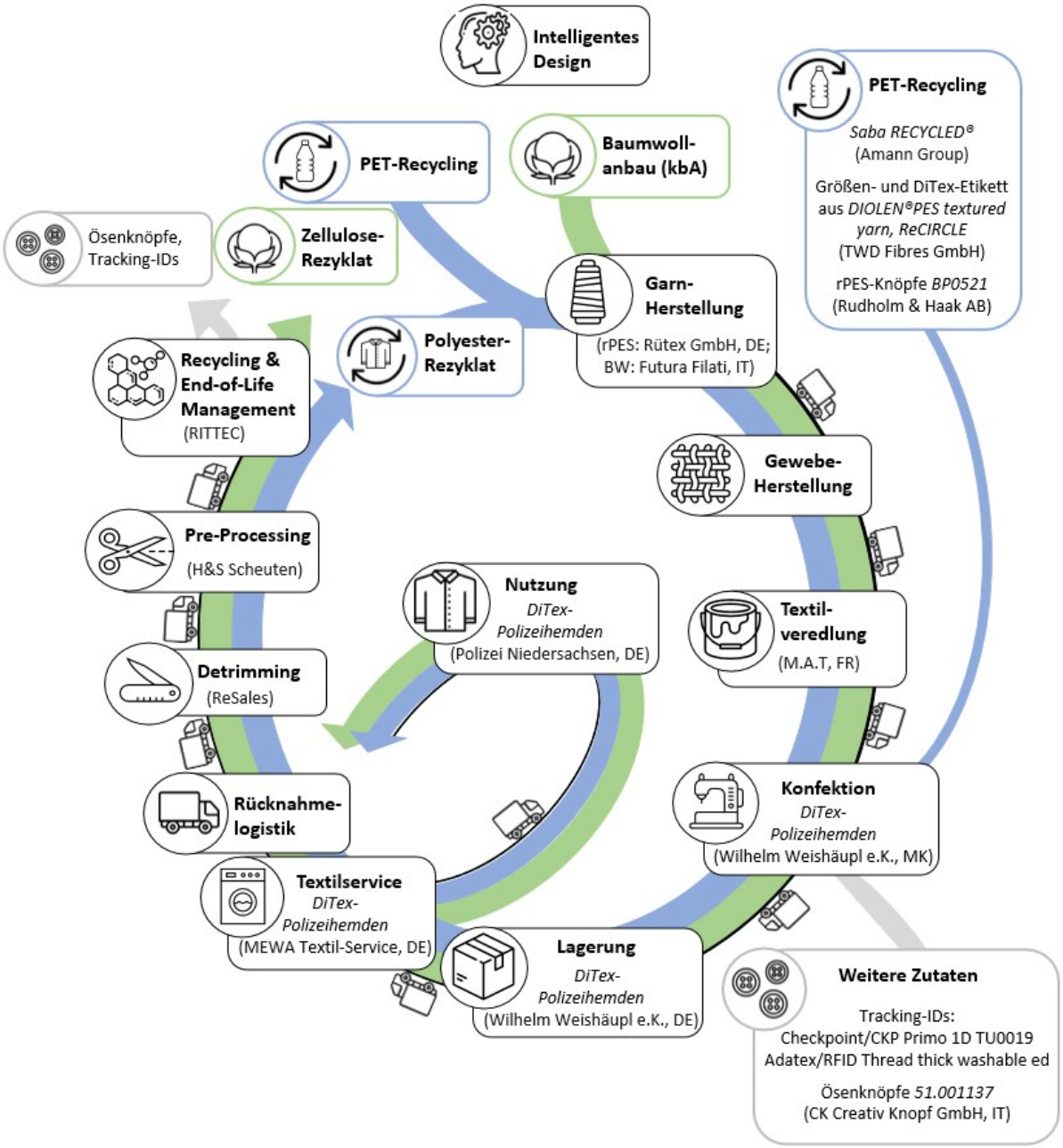


Abbildung 2: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma WILHLEM WEISHÄUPL e.K., DiTex-Polizeihemd. (Eigene Darstellung: IÖW)

Tabelle 3 beinhaltet die technologischen Eckdaten des Polizeihemdes und ist als Produktdatenblatt der $DiTex_{Gen1}$ zu verstehen

Tabelle 3: Produktdatenblatt des DiTex-Polizeihemds

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Polizeihemds
Textilhersteller	Wilhelm Weishäupl e.K.
Textile Fläche	62% Bio-Baumwolle / 38% rPET: Qualité 5478 Verne et Clet SAS
Flächenkonstruktion	Gewebe, Köper, Z-Grat, 20-0201-01-01
Fasereinsatz	Gewebe: Baumwolle, Bio Polyester, rPET Nähfaden: Polyester-Umspinnzwirn, rPET, GRS Saba RECYCLED® Amann Group
Garnkonstruktion	Ringgarn Feinheit Kette Nm 100/2 Feinheit Schuss Nm 68/1
Flächengewicht	130/135 g/m²
Weitere Zutaten	Etiketten: Ditex-Etikett: DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Größenetikett: im Muster: 100 % Poly., qualitative Anpassung an Ditex Etikett möglich: DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Knöpfe: an Leiste/Manschetten: Rudholm & Haak Aktiebolag (AB) 100% rPES (35-45% Rec PES resin, 50-60% Rec fillers, 3-5% Plasticizers and dyes): BP0521 Metallknopf für Schulterklappe: Ösenknopf, 28“, Zink Legierung (Zamak) CK Creativ Knopf GmbH; Hersteller-Artikelnummer CK 51.001137, Farbummer 100048, gunmetal (halbrunde Form);
Corporate Identity	Emblem für Polizei wird mit Klettverschluss befestigt, d.h. fabrikseitig wird Flausch (PES) aufgebracht. Emblem mit Haken auf der Rückseite (Hoheitssymbol) wird vor der Wäsche abgenommen.

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Polizeihemds
	Aufdruck auf Taschenklappe „POLIZEI" silberreflektierend mit Plotterreflex-Transfer
Farbe	Weiß
Waschtemperatur	60°C
Umwelt- und Sozialstandards	Textile Fläche: Standard 100 by OEKO-TEX© Nähfäden: Standard 100 by OEKO-TEX©, Global Recycled Standard, REACH Etikett: Standard 100 by OEKO-TEX© Leisten- und Manschettenknöpfe: Standard 100 by OEKO-TEX© Metallknopf für Schulterklappe: Standard 100 by OEKO-TEX©
Design for Circularity	Nähgarn, Etikett, Knöpfe aus PES-Rezyklat, teils PET-Flaschen aus post-consumer-Sammlung Alle Zutaten von circular.fashion als recyclingfähig bewertet. Langlebigkeit / Leasingtauglichkeit: technische Lebensdauer ohne Qualitätseinbußen über 150-200 Waschzyklen (angestrebt)
Tracking-ID	Threads. 200 Stk. RFID-Threads der Firma Adetexs / Großbritannien 1000 Stk. RFID E-Threads der Firma Primo1d / Frankreich
DiTex-Praxistest bei	Niedersächsisches Innenministerium Hannover: Polizeibeamt/innen im Innen- und Außendienst Textilservice: MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG am Standort Hameln

1.4.1.3 Bettgarnitur

Der hautsensorische Komfort der Bettgarnitur ist ein Hauptkriterium für schlafende Menschen. Sie soll anschmiegsam, weich sein und darf keine Hautrötungen hervorrufen. Die Corporate Identity soll durch modernes, zeitgemäßes und zeitloses Design sichtbar werden können. Leasingtauglichkeit ist unabdingbar, sie geht einher mit hoher Strapazierfähigkeit von Material und Design. Die Hauptziele aus Sicht der Kundschaft sind lange Nutzungsdauer bei gleichzeitigem beständig gutem Aussehen und guter Anschmiegsamkeit. Atmungsaktivität, Anschmiegsamkeit bei gleichzeitiger Glätte werden durch die Auswahl der Faserkombination rPES und r30 Lyocell sowie der Garn- und Gewebekonstruktion gewährleistet.

Die Wärmeisolierung wird in erster Linie durch die Bettdecke beeinflusst. Schrumpf, Abrieb (Pilling), Reißfestigkeit und Scheuerbeständigkeit wurden in Pakistan bei einem Partner von Dibella bestimmt. Die Werte liegen innerhalb des Qualitätsstandards 705 für Bettgarnitur.

Die ausgewählten Materialien der textilen Stoffe und der Zutaten entsprechen ökologischen Nachhaltigkeitskriterien wie z.B. Verwendung von recyceltem Polyester und der r30 Lyocell-Regeneratfaser.

Auf Basis der Expertise von HSRT, HIT, circular.fashion sowie dem Industriepartner Dibella wurden diese Parameter bewertet und in Einklang mit den Projektanforderungen konzipiert. Dabei war die Umsetzbarkeit innerhalb des Projektes im Blick zu behalten, weshalb nur am Markt bereits verfügbare Materialien und Ressourcen in der Konzeption berücksichtigt wurden. Daraus resultierte das Lastenheft, das Exzerpt davon ist das Produktdatenblatt in diesem Forschungsbericht.

Die DiTex-Bettgarnitur hat ein schlichtes Design, welches ausschließlich die textile Fläche und den Nähfaden und sonst keine weiteren Zutaten benötigt. Der Verzicht auf Knöpfe, Reißverschlüsse oder ähnliches reduziert die Fehleranfälligkeit und erhöht die Langlebigkeit der Textilien. Er erleichtert zudem das End-of-Life Management, denn die DiTex-Bettgarnitur kann nach Entfernung der digitalen Tracking-IDs direkt dem Recycling zugeführt werden.

Die DiTex-Bettgarnitur der Firma Dibella GmbH ist aus einem Mischgewebe von 50 Prozent recyceltem Polyester und 50 Prozent r30 Lyocell gefertigt. Das Polyester-Rohmaterial wird aus PET-Flaschen hergestellt. Die r30 Lyocell-Faser von der Lenzing AG wird aus einer Mischung von Baumwollzuschnittresten und sortenreinen gebrauchten Baumwolljeans („pre- und post-consumer waste“) und Holzzellulose aus nachhaltiger Forstwirtschaft generiert. Alle Prozessschritte der Textilherstellung von der Garnherstellung bis zur Konfektion der fertigen Bettgarnitur erfolgen an verschiedenen Standorten in Pakistan.

Für den Großteil der DiTex-Bettgarnituren übernimmt die Firma Worn Again Technologies das chemische Recycling, welches die Rückgewinnung des Polyesters in Form von Pellets und des Lyocells als Zellulose-Pulp erlaubt.

Im Gegensatz zu der DiTex-Oberbekleidung wurde die Bettgarnitur nicht in Europa, sondern überwiegend in Pakistan produziert. Dies geht mit längeren Transportwegen einher und schafft dort Arbeitsplätze, mit denen die lokale Bevölkerung ein Einkommen generieren kann. Die Dibella GmbH und explizit auch die für DiTex produzierte Bettgarnitur „r30Lyocell / rPES“ kann mit den Zertifizierungen Grüner Knopf und Made in Green by OEKO-TEX® die Einhaltung sozial-ökologischer Standards bei der Produktion nachweisen. Die Prozesse des Lebenswegs der DiTex-Bettgarnitur sind in Abbildung 3 dargestellt.

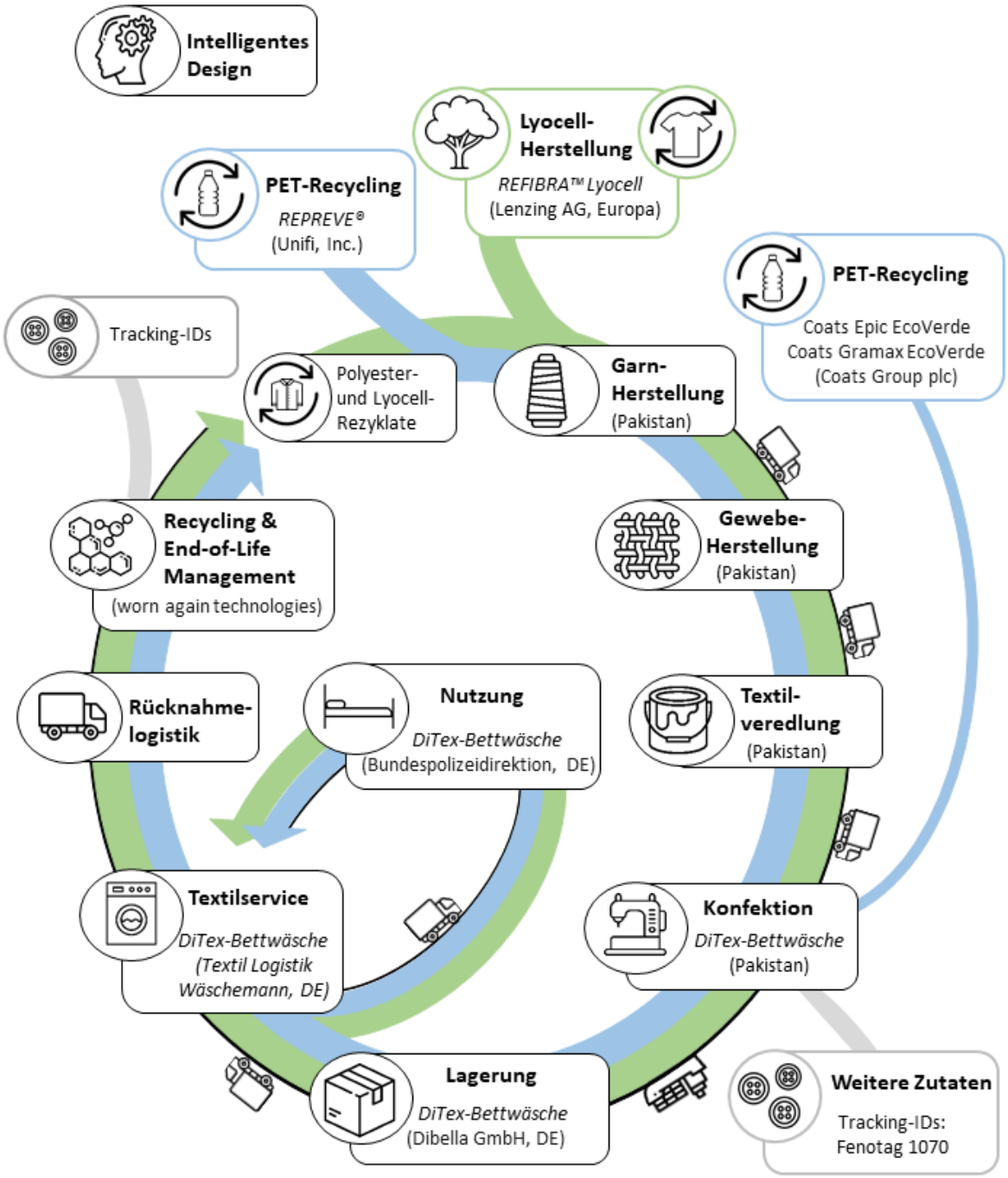


Abbildung 3: Zirkuläre Prozesse der B2B-Textilwirtschaft, Firma Dibella GmbH., DiTex-Bettgarnitur (Eigene Darstellung: IÖW)

Tabelle 4 beinhaltet die technologischen Eckdaten der Bettgarnitur und ist als Produktdatenblatt der $DiTex_{Gen1}$ zu verstehen.

Tabelle 4: Produktdatenblatt der DiTex-Bettgarnitur

Eckdaten	Spezifikationen der DiTex-Bettgarnitur
Textilhersteller	Dibella GmbH
Textile Fläche	50% Lyocell / 50% Polyester
Flächenkonstruktion	Gewebe, Satinbindung
Fasereinsatz	Gewebe: Lyocell, regeneriert: REFIBRA™ Lyocell RB Lenzing AG Polyester, rPET: REPREVE®, Unifi, Inc. Nähgarn: Polyester-Nähgarn, rPET: Coats Epic EcoVerde Polyester-Nähgarn, rPET: Coats Gramax EcoVerde Coats Group plc
Garnkonstruktion	Airjetgarn Nm 50 - Ne 30 – 20 tex in Kette und Schuss
Gewicht	145g/m²
Weitere Zutaten	Keine weiteren Zutaten
Corporate Identity	Dibella GmbH (Datenblatt)
Farbe	Weiß
Waschtemperatur	70°C (90°C ist möglich)
Umwelt- und Sozialstandards	Dieses Textil ist mit folgenden Textil-Label zertifiziert: Made in Green by OEKO-TEX©, Grüner Knopf
Design for Circularity	Regenerierte Zellulosefaser im Bettgarniturgewebe; Nähgarn und Etikett aus PES-Rezyklat, teils PET-Flaschen aus post-consumer-Sammlung Alle Zutaten für das Recycling bei Worn Again Technologies / Großbritannien ausgewählt Simpler Schnitt; keine Knöpfe Langlebigkeit / Leasingtauglichkeit: technische Lebensdauer ohne Qualitätseinbußen über 150-200 Waschzyklen (angestrebt)
Tracking-ID	Coin, fenoTEX-1070 der Firma Fenotag / Frankreich
DiTex-Praxistest bei	Bundespolizeidirektion München. Textil Logistik Wäschemann Pöschl, Bayerisch Eisenstein, der ausführende Betrieb befindet sich in Tschechien.

1.4.2 Circular Product Check

Der „Circular Product Check“ ist ein von circular.fashion entwickeltes Verfahren, um die Recyclingfähigkeit von Materialien und Produkten zu bewerten und konkrete Recyclingmöglichkeiten aufzuzeigen. Als Basis für dieses Verfahren dient die Erhebung von spezifischen Anforderungen des Faser-zu-Faser-Recyclings an die Materialkomposition, Farbe, Konstruktion, Veredelungen, chemische Behandlungen, Zertifizierungen und weitere Parameter von textilen Produkten.

Ziel des Circular Product Check ist es sicherzustellen, dass tatsächlich ein Recycling-unternehmen existiert, welches einerseits über die technischen Möglichkeiten verfügt, das Produkt zu recyceln und andererseits unter Einbezug der Wirtschaftlichkeit ein Recycling voraussichtlich anbieten kann. Damit soll bereits zum Zeitpunkt des Designs und im Vorfeld der Produktion abgesichert werden, dass ein Produkt nicht nur theoretisch einem Recycling-strom zugeführt werden kann. Die Kriterien wurden für die aktuellen Möglichkeiten aufge-nommen und beinhalten zusätzlich einen perspektivischen Ausblick entsprechend der Entwicklungsstrategie der Recycler in den kommenden drei Jahren. Das Unternehmen circular.fashion unterscheidet hierfür verschiedene Recyclingmethoden (z.B. mechanisches Recycling, chemisches Monomer- und Polymer-Recycling) und definiert auf dieser Basis bestimmte Recyclingströme je nach Fasertyp (z.B. chemisches Baumwoll-Recycling, chemisches Polyester Recycling). Die von den Faser-zu-Faser Recyclingunternehmen im Netzwerk des Circular Product Check eingesetzten Verfahren erzielen aus Textilfasern ein Recyclingergebnis, das wieder in der Textilbranche eingesetzt werden kann.

Ergebnis des Circular Product Check ist ein Evaluationsreport pro Produkt. Dieser gibt Aufschluss darüber, welche Recycling-Kanäle genutzt werden können und informiert, welche Produkt- und Materialoptimierungen zu einem noch besseren Ergebnis der Recyclingfähigkeit führen könnten.

Die DiTex Textilien wurden dem Circular Product Check unterzogen. Alle Materialen wurden recyclingfähig eingestuft und auf das notwendige Entfernen von Störstoffen vor dem Recycling (hier: Metallknopf und reflektierender Aufdruck) hingewiesen.

1.4.3 Nachhaltigkeitsstandards und Labelvergleich

Die Textilproduktion ist häufig mit enormen negativen Auswirkungen auf Mensch und Natur verbunden. Um sicher zu gehen, dass die Rahmenbedingungen für das Design und die Herstellung der drei DiTex-Textilien möglichst nachhaltig sind, wurde untersucht, ob die Textilien die Anforderungen ausgewählter Nachhaltigkeitsstandards (Labels) erfüllen. Im Rahmen dieses sogenannten Labelvergleichs wurde eine Übersicht über die sozial-ökologischen Anforderungen ausgewählter Nachhaltigkeitsstandards erstellt und daraus ein einheitlicher Anforderungskatalog an die DiTex-Textilien generiert. Ziel dieses Labelvergleichs war nicht, eine vollständige Konformität der drei DiTex-Textilien mit jedem der einzelnen Labels nachzuweisen. Vielmehr sollte der Labelvergleich einen transparenten Überblick über den bisherigen Erfüllungsgrad der einzelnen Nachhaltigkeitsaspekte schaffen sowie Lücken und Verbesserungspotential für die Nachhaltigkeit der DiTex-Textilien identifizieren.

Die Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis des Labelvergleichs wurde bewusst bereits während der Phase des Produktdesigns durchgeführt und bildet damit eine Ist-Beschreibung der DiTex-Textilien zum Stand Sommer/Herbst 2020 ab. Auf diese Weise konnten die

Unternehmen – insbesondere die Verbundpartner Dibella GmbH und Wilhelm Weishäupl e.K., aber auch deren Zulieferer – frühzeitig involviert werden. Der vorliegende Labelvergleich bietet einen guten Überblick darüber, mit welchen bereits vorliegenden Nachweisen die Erfüllung der Labelanforderungen herstellerseitig belegt werden kann und welche Nachweise noch fehlen bzw. welche Labelanforderungen (bislang noch) nicht erfüllt werden. Damit hat DiTex die Wissensbasis geschaffen, um mittelfristig die Zutat(en) entsprechend der Labelanforderungen zu optimieren.

Als Grundlage für den Labelvergleich wurden fünf anerkannte Nachhaltigkeitsstandards ausgewählt:

- **Der Leitfaden für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung** (Textilleitfaden) (BMZ & UBA, 2020) definiert soziale und ökologische Anforderungen im Zuge der öffentlichen Auftragsvergabe für Bekleidungstextilien, Wäsche, Bettwaren und Bettgarnitur zur verpflichtenden Anwendung in den obersten Bundesbehörden und allen nachgeordneten Behörden.
- Das **EU-Umweltzeichen für Textilerzeugnisse** (Europäische Kommission, 2014, 2017a) kennzeichnet als offizielles Umweltzeichen der Europäischen Union Textilien, die eine nachweislich hohe Umweltverträglichkeit gewährleisten und für die Nutzenden eine vergleichsweise geringe Gesundheitsbelastung darstellen.
- **Made in Green by OEKO-TEX®** (OEKO-TEX Service GmbH, 2020b) stellt als international anerkannter Standard sozial-ökologische Anforderungen an die Textilproduktion und setzt sich aus dem Standard 100 by OEKO-TEX® (OEKO-TEX Service GmbH, 2020a) und der Sustainable Textile and Leather Production (STeP) Zertifizierung by OEKO-TEX® (OEKO-TEX Service GmbH, 2020c) zusammen.
- Der **Grüne Knopf** Version 1 (BMZ, 2020) umfasst als staatliches Siegel des Bundes soziale und umweltbezogene Aspekte und stellt verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen an Textilunternehmen.
- Die **EU Green Public Procurement Kriterien** (GPP-Kriterien) (Europäische Kommission, 2017b) empfehlen Vergabekriterien für europaweite Ausschreibungen der öffentlichen Hand, inklusive Anforderungen an die Nutzungsphase und das End-of-life-Management der Textilien.

Für eine übersichtliche Darstellung wurden die Anforderungen der Labels anhand der Phasen der Wertschöpfungskette von Textilien (Rohfaser, Produktion und Endprodukt) strukturiert und verglichen. Die Kategorien und die Titel der Anforderungen können Anhang 8.1 entnommen werden. Die Vielzahl an Anforderungen ergab eine umfangreiche Datensammlung und Darstellung, welche die Komplexität eines übergreifenden Anforderungskatalogs deutlich zeigt.

Auf Grundlage des Labelvergleichs erfolgte die Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Poloshirts (Tabelle 5), des DiTex-Polizeihemds (Tabelle 6) und der DiTex-Bettgarnitur (Tabelle 7). Die Nachhaltigkeitsbewertung basierte auf den verfügbaren Informationen zu der Faserauswahl, z.B. recycelter Polyester und weiteren Angaben, wie Design for Circularity. Außerdem wurden – basierend auf den Produktdatenblättern und den Zertifizierungen der Firmen Dibella GmbH und Wilhelm Weishäupl e.K. – Annahmen darüber getroffen, welche Labbelanforderungen die Textilien erfüllen:

- Bettgarnitur: Made in Green by OEKO-TEX ©, Grüner Knopf , EU Umweltzeichen ,
- Poloshirt: Standard 100 by OEKO-TEX © ,
- Businesshemd: Standard 100 by OEKO-TEX © .

Im Charakter einer Ampeldarstellung wird visualisiert, ob bzw. inwieweit die DiTex-Textilien die Anforderungen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards innerhalb der einzelnen Kategorien erfüllen (grüner Haken), ob nicht genügend Informationen vorliegen, um abschließend beurteilen können, ob die Anforderungen erfüllt werden (gelbes Fragezeichen), oder ob der Standard keine Anforderungen innerhalb der jeweiligen Kategorie anführt (grauer Strich). Ein Nicht-Erfüllen der Anforderungen, welches mit rot gekennzeichnet worden wäre, kam bei der Bewertung nicht vor. Es ist zu beachten, dass es sich bei der Bewertung der DiTex-Textilien um eine Momentaufnahme basierend auf den mit Stand Sommer/Herbst 2020 verfügbaren Informationen handelt. Ein Informationsmangel (in den Bewertungen gelb markiert) ist also keinesfalls als Nichterfüllung der Anforderung zu interpretieren. Perspektivisch ist es durchaus möglich, dass die Firmen die erforderlichen Nachweise als Beleg der Konformität mit gewissen Anforderungen vorlegen. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass die DiTex-Textilien in einer einmaligen Produktion mit einer sehr geringen Stückzahl hergestellt werden. Die Einhaltung bestimmter unternehmensbezogener Anforderungen, z.B. bezüglich Umwelt-, Qualitäts- und Chemikalienmanagementsysteme, erscheint unverhältnismäßig und in dem zeitlichen Rahmen des Projektes nicht in den Produktionsstätten realisierbar.

Tabelle 5: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Poloshirts (Eigene Darstellung: IÖW)

		Textilleitfaden	EU-Umweltzeichen	Made in Green	Grüner Knopf	EU GPP-Kriterien
Rf	Synthetikfaser: Polyester	✔	✔	-	✔	✔
Produktion	Arbeitsbedingungen	?	?	?	?	-
	Analyse & Management	?	-	?	?	?
	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	?	?	?
	Energie	-	?	?	-	-
	(Ab-)Wasser und Abluft	?	?	?	?	-
	Abfall	-	-	?	-	-
Endprodukt	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	✔	?	?
	Beständigkeit	-	?	✔	-	?
	Instandhaltung	-	-	-	-	?
	Waschen	-	-	-	-	?
	Design for Recycling	✔	-	-	-	✔
	Rücknahme (End-of-Life-Management)	-	-	-	-	✔

Tabelle 6: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Polizeihemds (Eigene Darstellung: IÖW)

		Textilleitfaden	EU-Umweltzeichen	Made in Green	Grüner Knopf	EU GPP-Kriterien
Roh-faser	Naturfaser: Baumwolle	?	✓	-	✓	✓
	Synthetikfaser: Polyester	✓	✓	-	✓	✓
Produktion	Arbeitsbedingungen	?	?	?	?	-
	Analyse & Management	?	-	?	?	?
	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	?	?	?
	Energie	-	?	?	-	-
	(Ab-)Wasser und Abluft	?	?	?	?	-
	Abfall	-	-	?	-	-
Endprodukt	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	✓	?	?
	Beständigkeit	-	✓	✓	-	✓
	Instandhaltung	-	-	-	-	?
	Waschen	-	-	-	-	?
	Design for Recycling	✓	-	-	-	✓
	Rücknahme (End-of-Life-Management)	-	-	-	-	✓

Tabelle 7: Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Bettgarnitur (Eigene Darstellung: IÖW)

		Textilleitfaden	EU-Umweltzeichen	Made in Green	Grüner Knopf	EU GPP-Kriterien
Roh-faser	Sythetische Regeneratfaser: Lyocell	✓	✓	-	✓	✓
	Synthetikfaser: Polyester	✓	✓	-	✓	✓
Produktion	Arbeitsbedingungen	✓	✓	✓	✓	-
	Analyse & Management	✓	-	✓	✓	✓
	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	✓	✓	?
	Energie	-	?	✓	-	-
	(Ab-)Wasser und Abluft	?	?	✓	✓	-
	Abfall	-	-	✓	-	-
Endprodukt	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	✓	✓	?
	Beständigkeit	-	?	✓	-	✓
	Instandhaltung	-	-	-	-	✓
	Waschen	-	-	-	-	?
	Design for Recycling	✓	-	-	-	✓
	Rücknahme (End-of-Life-Management)	-	-	-	-	✓

Die strukturellen, methodischen und inhaltlichen Unterschiede der betrachteten Nachhaltigkeitsstandards erschwerten den Vergleich. Die Anforderungen unterscheiden sich hinsichtlich der betrachteten Phasen der Wertschöpfungskette, der Anzahl der Anforderungen pro Kategorie, der Höhe der Grenzwerte und der verwendeten Bezugsgrößen bzw. Einheiten. Gerade deshalb aber ist ein Labelvergleich eine sinnvolle Methode, um die vielfältigen Anforderungen an nachhaltige Textilien transparent und übersichtlich darzustellen. Die Ergebnisse des Labelvergleichs zeigen aber auch, dass die betrachteten Nachhaltigkeitsstandards die DiTex-Kernthemen (Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit) nur marginal adressieren: Insbesondere die Nutzungsphase und das End-of-Life Management, aber auch Anforderungskriterien hinsichtlich der Rezyklierbarkeit werden bisher kaum adressiert. Die EU GPP-Kriterien stellen hier eine Ausnahme dar. Im

Sinne der Leasingtauglichkeit und Kreislaufführung von Textilien sollten diese Kriterien weiter ausdifferenziert werden.

1.5 Praxistest

1.5.1 Planung, Durchführung und Organisation im Überblick

Die drei kreislauffähigen und leasingtauglichen Textilien (siehe Kapitel 1.4.1) wurden in Praxistests erprobt. Ziele des Praxistests waren die Überprüfung der Umsetzbarkeit verschiedener Strategien einer textilen Kreislaufwirtschaft in der Nutzungspraxis von B2B-Textilien (Design for Circularity, erhöhter Rezyklateinsatz, verlängerte Lebensdauer und Reparaturen, Geschäftsmodell Textilleasing, intelligentes Etikett). Dafür wurden die drei Designs (siehe Kapitel 1.4.1) zwischen Sommer 2021 und Frühjahr 2022 mehrere Monate unter Realbedingungen eingesetzt.

Um Testanwender-Institutionen zu finden, bei denen die DiTex-Textilien in der Praxis getestet werden können, veröffentlichte das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung 2020 ein Anschreiben an öffentlichen Beschaffungsstellen. Basierend auf den Rückmeldungen wurden folgende Institutionen als Testanwender ausgewählt:

- der Bevölkerungsschutz des Kreis Lippe als Testanwender für das Poloshirt,
- das Logistikzentrum Niedersachsen (LZN) und die Polizei im Innenministerium Niedersachsen in Hannover als Testanwender für das Polizeihemd und
- die Bundespolizeidirektion München am Standort München-Erding als Testanwender für die Bettgarnitur.

Die Testanwender-Institutionen steuerten technische Spezifikationen für die Produkte wie Produkt-Dimensionen, Fertigmaße, Mengen bei und waren in den Prozess der Musterung sowie in die Durchführung der Praxistests eingebunden. Während der mehrmonatigen Nutzungsphase liefen zwischen Textilservice/Wäscherei, Testanwendern und Nutzenden zyklisch folgende Schritte ab:

- Auslieferung,
- Nutzung und
- Waschen & Trocknen / Reparieren / Zurückgeben.

Diese Schritte wurden während der Praxistests durchgehend von den Textilservices digital getrackt. Protokollierte Gespräche zwischen Vertreter*innen der Testanwender, der Nutzenden, der Textilservices und der Verbundpartner begleiteten die Praxistests. Sie dienten der operativen Durchführung der Praxistests, z.B. der Klärung logistischer Fragen wie Zeitpunkt und Ablauf der Überführung der Textilien zum Recycling. Längere Termine von ca. 1,5 h Dauer waren das Kick-Off-Meeting, ein Meeting zur Zwischenreflexion und ein Auswertungsmeeting. Ein kürzeres Format von ca. 30-45 min stellten (Video-)Telefon-konferenzen, sog. Update-TelKos dar. Alle Gesprächsformate fanden online statt.

Das **DiTex-Poloshirt** wurde im Kreis Lippe von Rettungskräften in vier Rettungswachen getragen. Insgesamt wurden 810 Herren-Poloshirts und 149 Damen-Poloshirts gefertigt, welche unter Praxisbedingungen fünf Monate lang (vom 03.08.2021 bis 31.12.2021) eingesetzt und bewertet wurden. 91 Testpersonen, davon 22 Frauen und 69 Männer,

wurden mit den Poloshirts ausgestattet. Für den Textilservice im Praxistest war die Wäscherei Eben-Ezer in Lemgo verantwortlich. Nach dem Ende des Praxistests wurden zur Vorbereitung weiterer Textilprüfungen 25 Poloshirts bei MEWA am Standort Manching 100-mal gewaschen und getrocknet (ohne Nutzungszyklen).

Praxispartner für das **DiTex-Polizeihemd** waren die Polizei im Innenministerium Niedersachsen, Hannover, sowie das Logistikzentrum Niedersachsen (LZN) als Beschaffungsstelle. Die MEWA am Standort Hameln übernahm den Textilservice. Insgesamt wurden 828 Hemden an 69 Personen im Innen- und Außendienst an zwei Standorten in Hannover verteilt und vom 11.11.2021 bis zum 31.3.2022 genutzt. Die Nutzenden erhielten jeweils eine 12-fache Ausstattung an Hemden (8 Kurz- und 4 Langarmhemden). Weitere 128 Kurzarmhemden und 64 Langarmhemden wurden als Reserve bzw. zusätzliche Ausstattung bei der MEWA eingelagert. Im Laufe des Praxistests wurden zur Vorbereitung der Textilprüfungen 30 Hemden 15-mal und 30 weitere Hemden 10- mal gewaschen und getrocknet (ohne Nutzungszyklen).

Die **DiTex-Bettgarnitur** im Zeitraum vom 21.06.2021 bis 15.03.2022 in einer Unterkunft des Testanwenders Bundespolizeidirektion München am Standort München-Erding pilotiert. Insgesamt wurden 200 Bettgarnituren, bestehend aus Bettbezug und Kissenbezug hergestellt. Infolge der Corona-Pandemie war die Auslastung der Unterkunft geringer als erwartet. Deswegen wurde zusätzlich von Januar 2022 bis zum Ende des Praxistests ein Hotel im Landkreis Cham mit der DiTex-Bettgarnitur beliefert. Die Wäscherei Pöschl in Bayrisch-Eisenstein übernahm den Textilservice. Nach dem Ende des Praxistest wurden zur Vorbereitung der Textilprüfungen 30 Bettgarnituren 100mal gewaschen und gemangelt (ohne Nutzungszyklen).

Die DiTex-Polizeihemden wurden gemeinsam mit den DiTex-Poloshirts in der Pilotanlage von RITTEC Umwelttechnik in Braunschweig recycelt. Ihre Materialzusammensetzung wurde so gewählt, dass beide Textilien gemeinsam einen ausreichend hohen Polyesteranteil für chemisches Recycling erfüllen. Die DiTex-Bettgarnitur wurde durch Worn Again in Großbritannien recycelt.

1.5.2 Auswertung Praxistest

Das Kapitel 1.5.2 stellt die Auswertung der Praxistests in den Forschungsschwerpunkten des Vorhabens dar: die Ergebnisse der Qualitätstests des HIT (siehe Kapitel 1.5.2.1), der spektroskopischen Beurteilung durch das Texoversum der Hochschule Reutlingen (siehe Kapitel 1.5.2.2), der durch das IÖW durchgeführten Nutzenden-Befragung (siehe Kapitel 1.5.2.3) und der ökobilanziellen Beurteilung durch das ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung (siehe Kapitel 1.5.2.4). Einen weiteren Schwerpunkt bildet in Kapitel 1.5.2.5 die Auswertung des eingesetzten digitalen Trackings hinsichtlich Funktionalität der Tracking-IDs und Nutzung im Praxistest und für die Kreislaufführung dar.

1.5.2.1 Qualitätstests

An Leasingtextilien werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Sie müssen so robust konstruiert sein, dass Aussehen und Funktion über eine möglichst hohe Anzahl von Gebrauchs- und Pflegezyklen erhalten bleiben. Dies muss auch unter industriellen Prozessbedingungen gewährleistet sein, wie z.B. unter hohen Trocknungstemperaturen in der Mangel (Flachwäsche).

Im Rahmen von Forschungsarbeiten in Hohenstein wurden Anforderungskriterien für Leasingtextilien erarbeitet und in den Hohenstein Qualitätsstandards (HQS 701ff) zusammengefasst. Der Standard ist in verschiedene Anwendungsbereiche unterteilt und definiert Anforderungskriterien, geeignete Prüfverfahren sowie die entsprechenden Anforderungen an die Textilien. So muss zum einen das Flächenmaterial nicht nur hohe Farbechtheiten und eine gute mechanische Beständigkeit aufweisen, sondern auch die Pflegbarkeit und die Komforteigenschaften spielen für die Gebrauchstauglichkeit eine entscheidende Rolle. Für das konfektionierte Textil als Ganzes sind daneben Aspekte wie Verarbeitung und Passform sowie eine ausreichende Qualität der Zutaten relevant.

Die DiTex-Textilien wurden anlehnend an die Anforderungskriterien der HQS hinsichtlich ihrer Qualität untersucht. Als Basis dienten der HQS 703 Hemden und Blusen, HQS 704 Polos und Shirts und HQS 705 Bettwäsche. Der Fokus wurde auf die Qualität des Flächenmaterials gelegt.

1.5.2.1.1 Ablauf der Qualitätsuntersuchungen

Eine umfangreiche Untersuchung erfolgte zunächst an den Prototypen (Neuzustand) der Ditex-Textilien, die verschiedenen textiltechnologischen Prüfungen unterzogen und hinsichtlich ihrer Leasing-Eignung bewertet wurden. Teilweise wurden die Textilien vor der Prüfung unter normierten Bedingungen (DIN EN ISO 15797) gewaschen und getrocknet. Auf Basis der Prüfergebnisse konnten vor Beginn des Praxistest z.T. noch kleinere Anpassungen am Design vorgenommen werden.

Darüber hinaus erfolgten Qualitätsuntersuchungen nach Abschluss des Praxistests, um gebrauchs- und pflegebedingte Veränderungen nach der Nutzungsphase zu detektieren und die Eignung der Textilien in der Praxis zu bewerten. Aufgrund der z.T. kurzen Nutzungsdauer im Praxistest (größtenteils durch Corona-bedingte Verzögerungen) wurde ein kleiner Anteil der Textilien (25-30 Proben) nach Abschluss des Praxistests “hochgewaschen” und untersucht, d.h. es wurden weitere Wasch- und Trocknungsprozesse ohne Gebrauchsphase vor der Untersuchung durchgeführt. Anlehnend an die DIN EN ISO 2859-1 wurden je DiTex-Textil insgesamt mind. 80 Artikel nach der Anwendungsphase (d.h. Praxistest und Hochwaschen) visuell abgemustert. Für einzelne Proben wurden exemplarisch textiltechnologische Prüfungen durchgeführt. Aufgrund der starken Vorzögerungen im Praxistest der DiTex-Polizei-Hemden erfolgte hier kein Hochwaschen der genutzten Textilien, sondern separate Waschversuche an Neuteilen parallel zum Praxistest.

1.5.2.1.2 DiTex-Poloshirts

Die Untersuchung des Prototyps (Neuzustand) der Polos ergab ein insgesamt positives Ergebnis. Ein Großteil der Anforderungskriterien, die anlehnend an den HQS 704 abgeprüft wurden, konnte erfüllt werden.

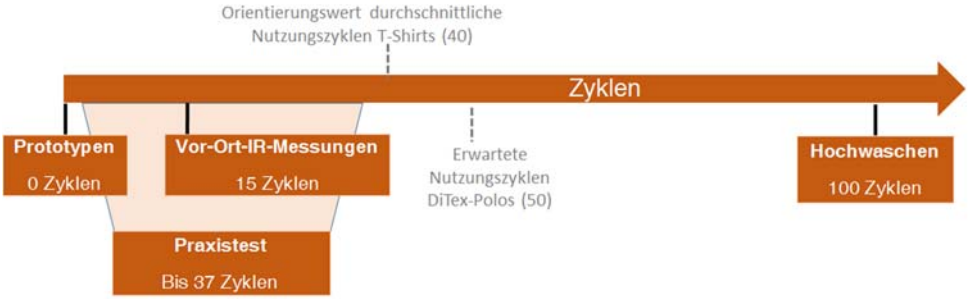


Abbildung 4: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Poloshirts. Die Orientierungswerte ergeben sich aus dem Arbeitspapier DiTex (Eigene Darstellung: HIT)

Die Maschenware aus 100% rPES weist eine hohe Berstfestigkeit und Scheuerbeständigkeit sowie eine niedrige Neigung zur Pillbildung auf. Neben den ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften wurden hohe Farbechtheiten für die Maschenware erzielt. Im Bereich der Pflegeigenschaften wurde eine starke Maßänderung beobachtet, die auf die Trocknung (hängend) im Finisher zurückgeführt wird. Bei Trocknung im Tumbler wurde unter Praxisbedingungen (MEWA) ein Schrumpf von rund 5% beobachtet (4,2 % Maschenstäbchen; 5,6% Maschenreihe), was etwa im Bereich der Anforderungskriterien des HQS 704 liegt (max. 5% Schrumpf). Die Maschenware zeigt Werte für Wärmeisolation und Atmungsaktivität, die für Alltags- bzw. Sportbekleidung als geeignet eingestuft werden können. Auffällig ist jedoch die geringe Wasserdampfaufnahmefähigkeit, die zu einem unangenehmen Tragegefühl beim Schwitzen führen kann und zu einer leichten Abweichung der Komforteigenschaften vom Standard führten.

Die hohe Beständigkeit der Maschenware zeigte sich auch in der visuellen Abmusterung des konfektionierten Textils nach 50 Pflegezyklen gemäß DIN EN ISO 15797 (Konfektionsprüfung). Hier konnten nahezu keine Veränderungen des Warenbilds beobachtet werden. Auch für die Zutaten und die Verarbeitung ergaben sich nach bis zu 50 Pflegezyklen keine gravierenden Auffälligkeiten. Lediglich ein leichtes Ausfransen am Ärmelbund wurde beobachtet.

Tabelle 8: Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen der Ditex-Poloshirts in Anlehnung an HQS 704

Qualitätsprüfung		Ergebnis	Anforderung nach HQS 704
Farbechtheiten: Schweißechtheit, Reibechtheit, Waschechtheit, Hypochlorit-Waschechtheit, Hypochlorit-Blechechtheit, Bleichechtheit Peroxid, Kombinierte Trockenhitzefixier-Waschechtheit, Licht-/Schweißechtheit		Licht-/Schweiß-echtheit: Farbton-änderung Note 4; alle anderen Farbtonänderung Note 4-5	Farbtonänderung Schweißechtheit und Licht-/Schweißechtheit ≥4-5 Alle anderen: Farbtonänderung ≥4
Mechanische Eigenschaften	Berstfestigkeit DIN EN ISO 13938-2	> 800 kPa (kein Bersten)	≥ 600 kPa
	Pillneigung DIN EN ISO 12945-2 (nach 5 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Nach 7.000 Touren: Note 3-4	Nach 7.000 Touren: Note ≥ 2-3
Pflegeeigen-schaften	Maßänderung DIN EN ISO 5077 (nach 5 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Längs: +6 % Quer: -10,5%	+3 % bis –5 %
	Selbstglättung DIN EN ISO 15487 (nach 3 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Note SA 5 (Tafel SA 5)	< 50 % CO: Note ≥ SA 3,5
	Verdrehen der Nähte ISO 16322-2	2 %	≤ 6 %
Tragekomfort (Neuzustand)		Note 2,7	Note ≤ 2,5

Qualitätsprüfung	Ergebnis	Anforderung nach HQS 704
Konfektionsprüfung (nach 50 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Verarbeitung, Veränderung aufgrund Schnittgestaltung: Note 4-5 Aussehen/Funktion Zutaten: Note 4 Aussehen, Warenbild, Farbe: Note 4-5 Griff: Note 4-5	≥4 (5-stufige Bewertungsskala: 5 – keine Veränderung, 1 – sehr starke Veränderung)

HQS 704 erfüllt, leichte Abweichung von HQS 704, deutliche Abweichung von HQS 704

Nach Abschluss des Praxistests wurden 61 Textilien visuell abgemustert. Der Großteil dieser Textilien hat 5-15 Gebrauchs- und Pflegezyklen durchlaufen. Maximal wurden 37 Zyklen erreicht. Daneben wurden weitere 25 Textilien visuell abgemustert, die nach dem Praxistest auf 100 Zyklen hochgewaschen wurden. Zusätzlich erfolgten exemplarisch textiltechnologische Prüfungen an einzelnen Proben.

Für den Großteil der Proben aus der Anwendungsphase (Praxistest und Hochwaschen) ergaben sich keine gravierenden Veränderungen im allgemeinen Warenbild und Griff der Maschenware. Für einzelne Proben aus dem Praxistest trat lokal an mechanisch stärker beanspruchten Stellen eine leichte Pillbildung auf, z.B. im unteren Rücken- und Bauchbereich sowie innen in der Knopfleiste. Das Flächenmaterial zeigte insgesamt eine gute Beständigkeit und konnte dem Gebrauch und der Pflege in der Anwendungsphase standhalten. Dies spiegelt sich auch in den Einzelprüfungen der Berst- und Scheuerfestigkeit wider, die keinen Materialabbau nach der Anwendungsphase erkennen lassen. Für die Proben mit 100 Zyklen ließ sich eine geringfügige Farbänderung, die in der Praxis kaum erkennbar ist, im direkten Vergleich mit den Neuteilen unter Normlicht (D65) beobachten. Im Bereich der Zutaten zeigten alle Proben eine leichte Wellung des Emblems an der Brust. Einzelne Teile aus dem Praxistest wiesen weitere kleine Auffälligkeiten auf, z.B. ein ausgeleierter oder aufgeribbelter Ärmelbund. Dies trat gehäuft und verstärkt nach dem Hochwaschen auf. Deutliche Defizite werden für die Verarbeitung festgestellt, die dem Hochwaschen auf 100 Zyklen nicht standhielt. So löste sich für alle 25 Proben im Verlauf des Hochwaschens die Saumnaht und z.T. weitere Nähte.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Qualitätsprüfungen ein überwiegend positiver Gesamteindruck für die Maschenware aus 100 % rPES. Sie weist eine sehr gute mechanische Beständigkeit auf, was sich auch in dem nahezu unveränderten Warenbild des Flächenmaterials nach der Anwendungsphase widerspiegelt. Ähnliches gilt für die hohen Farbechtheiten, die zu einer guten Widerstandsfähigkeit der Farbe in der Praxis führten. Mit Ausnahme der Maßänderung (Finishertrocknung) wurden positive Pflegeeigenschaften erzielt. Bei geeigneter Wahl und Einstellung des Trocknungsverfahrens können auch in der Praxis ausreichende Werte für die Maßbeständigkeit erreicht werden. Leichte Defizite ergaben sich für die Komforteigenschaften der Maschenware, die zwar eine gute Atmungsaktivität aufweist, aber nahezu keine Wasserdampfaufnahmefähigkeit besitzt. Staut sich Wasserdampf beim Schwitzen über der Haut, kann dies zu einem unangenehmen

Tragegefühl führen. Dieser Effekt kommt besonders bei enger und/oder unvorteilhafter Passform zum Tragen, wenn Ventilationseffekte (durch Luftaustausch an Öffnungen der Bekleidung) eingeschränkt sind. Für das konfektionierte Poloshirt als Ganzes zeigte sich, dass die Verarbeitung für einen Einsatz in der Praxis optimiert werden muss.

1.5.2.1.3 DiTex-Polizei-Hemd

Die Qualitätsprüfungen an den Prototypen der DiTex-Polizei-Hemden ergaben, dass die Anforderungen nach HQS 703 nur teilweise erfüllt werden konnten. So sticht das Gewebe durch positive Komforteigenschaften hervor, weist jedoch Defizite im Bereich der mechanischen Eigenschaften auf. Während das Mischgewebe eine gute Zugfestigkeit besitzt, führte eine vergleichsweise leichte abrasive Beanspruchung zur Pillbildung und verminderter Festigkeit. Die Pflegeeigenschaften liegen im Bereich bzw. nur knapp außerhalb der geforderten Anforderungen nach HQS 703 und sind als passabel einzustufen. Das Gewebe besitzt gute bis sehr thermophysiologische und hautsensorische Kennzahlen und ist im Bereich des Tragekomforts positiv zu bewerten.

Abbildung 5: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Polizei-Hemden. Die Orientierungswerte ergeben sich aus dem Arbeitspapier DiTex. (Eigene Darstellung: HIT)

Die visuelle Abmusterung nach bis zu 50 Pflegezyklen gemäß DIN EN ISO 15797 (Konfektionsprüfung) ergab mit Ausnahme der Silberknöpfe im Schulterbereich, die stumpf und verkratzt erschienen oder fehlten, nahezu keine Auffälligkeiten und ein positives Gesamtbild des Prototyps. Die Gewebeoberfläche zeigte nahezu keine Veränderungen und bleibt bis 50 Pflegezyklen stabil. Auf Basis dieser Ergebnisse und der vergleichsweise geringen Gebrauchsbeanspruchung, die für den Einsatz im Praxistest erwartet wurde, erfolgte eine Freigabe des Prototyps für den Praxistest.

Tabelle 9: Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen der Ditex-Polizei-Hemden in Anlehnung an HQS 703

Qualitätsprüfung		Ergebnis	Anforderung nach HQS 703
Hypochlorit-Bleichechtheit		Farbtonänderung Note 4-5	Farbtonänderung Note ≥ 4
Mechanische Eigenschaften	Höchstzugkraft DIN EN ISO 13934-1	Kette 880 N Schuss 284 N	Normale Beanspruchung: Kette ≥ 350 N, Schuss ≥ 260 N
	Pillneigung DIN EN ISO 12945-2 (nach 5 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Nach 7.000 Touren: Note 2	Nach 7.000 Touren: Note ≥ 3

Qualitätsprüfung		Ergebnis	Anforderung nach HQS 703
	Scheuerbeständigkeit DIN EN ISO 12947-2	6.000 Touren	≥ 15.000 Touren (unzerstört)
Pflege-eigenschaften	Maßänderung DIN EN ISO 5077 (nach 5 Zyklen DIN EN ISO 15797)	Längs -3,0 % Quer: -3,0 %	PES/CO: ≤ +2,5 %, ≥ -2,5 %
	Selbstglättung DIN EN ISO 15487 (nach 3 Zyklen DIN EN ISO 15797)	SA 3 (Tafel SA 3)	≥ SA 3,5
Tragekomfort (Neuzustand)		Note 1,8	Note ≤ 2,5
Konfektionsprüfung (nach 50 Zyklen DIN EN ISO 15797)		Verarbeitung, Veränderung aufgrund Schnittgestaltung: Note 4-5 Aussehen/Funktion Zutaten: Note 4 Aussehen, Waren-bild, Farbe: Note 4-5 Griff: Note 4-5	≥4 (5-stufige Bewertungsskala: 5 – keine Veränderung, 1 – sehr starke Veränderung)

HQS 703 erfüllt, leichte Abweichung von HQS 703, deutliche Abweichung von HQS 703

Nach Abschluss des Praxistests wurden 40 Proben visuell abgemustert, die zwischen 5 und 7 Gebrauchs- und Pflegezyklen durchlaufen haben. Aufgrund der geringen Nutzungsdauer, die im Praxistest erzielt wurde, erfolgten zusätzlich separate Waschversuche an den Prototypen unter Praxisbedingungen (MEWA). So durchliefen 29 Proben 15 Pflegezyklen und weitere 28 Proben 100 Pflegezyklen, ohne dass eine Nutzung der Textilien stattfand. Alle Proben wurden visuell abgemustert, wobei zusätzlich an Einzelteilen textiltechnologische Prüfungen durchgeführt wurden.

Nach der Anwendungsphase ergab sich für den Großteil der Proben ein überwiegend positives Warenbild. Das Gewebe an sich zeigte in der Fläche nahezu keine Verschleißerscheinungen und konnte 100 Pflegezyklen unter Praxisbedingungen standhalten. Dies steht in Einklang mit den Prüfergebnissen der Zugfestigkeit und Scheuerbeständigkeit, die keinen gravierenden Materialabbau bis 100 Zyklen erkennen ließen. Auffallend waren nur lokal Schädigungen im unteren Rückenbereich sowie im Brust-/Schulterbereich. Im unteren Rückenbereich wurde z.T. bereits nach wenigen Pflegezyklen ein Verzug beobachtet, der mit einem Ausdünnen und in Einzelfällen mit Rissen im Gewebe (längs) einherging. Die Beschädigungen des Gewebes wurden mit Zunahme der Pflegezyklen häufiger und stärker. Zum Teil wurden auch Schädigungen der Saumnaht unterhalb der Gewebedefekte beobachtet. Die genau Schadensursache konnte im Rahmen der Projektarbeit nicht identifiziert werden. Die Gewebeschädigungen im Brust-

/Schulterbereich traten in der Nähe des vergleichsweise großen Schulterknopfs auf und werden mit der damit verbundenen mechanischen Belastung, die während des Waschens und Trocknens auftritt, in Verbindung gebracht. Für die Zutaten zeigte sich nach 100 Zyklen eine rauere Beschaffenheit des Klettmaterials; einzelne Knöpfe (Schulter- und Ärmelbereich) fehlten. Insbesondere an der Brusttasche lösten sich vermehrt Fäden und traten hervor. Gebrauchsspuren ließen sich für Einzelteile bereits nach wenigen Nutzungszyklen im Praxistest beobachten. Im Kragenbereich innen zeigte sich für einzelne Proben leichtes Pilling. Knapp ein Viertel der Proben wies kleinere Verfleckungen auf, die nicht entfernt werden konnten.

Zusammenfassend ergibt sich ein positives Gesamtbild für das verwendete Mischgewebe der Polizei-Hemden aus 62% Bio-Baumwolle und 38 % rPES. Das Material zeigt gute thermophysiologische und hautsensorische Eigenschaften und weist somit vorteilhafte Komforteigenschaften auf. Trotz Defiziten im Bereich der mechanischen Eigenschaften konnten für die textile Oberfläche keine gravierenden Mängel nach der Anwendungsphase festgestellt werden. Eine Reduktion der Knopfgröße im Schulterbereich könnte die lokal entstandenen Gewebeschädigungen reduzieren. Ob Verschleißerscheinungen bei intensiver Gebrauchsbelastung auftreten, konnte im Rahmen der Projektarbeit nicht verifiziert werden und sollte bei Auswahl des Materials für die Praxis überprüft werden. Auch im Bereich der Verarbeitung sind Optimierungen anzustreben.

1.5.2.1.4 DiTex-Bettwäsche

Aufgrund umfangreicher Untersuchungen der Bettwäsche durch den Praxispartner Dibella im Vorfeld des Praxistests, wurde auf eine detaillierte Prüfreihe der Prototypen am HIT verzichtet. Die Untersuchungen an der Ditex-Bettwäsche fokussierten sich auf Proben aus dem Praxistest und den sich anschließenden Waschversuchen (“Hochwaschen”), wobei einzelne Prüfungen an Neuteilen durchgeführt wurden, um Vergleichswerte zu generieren. Aus dem Praxistest wurden je 25 Bett- und Kissenbezüge untersucht, die nahezu alle 27-30 Gebrauchs- und Pflegezyklen durchlaufen haben. Weitere 25 Bettbezüge und 25 Kissenbezüge, die auf 100 Pflegezyklen hochgewaschen wurden, durchliefen eine visuelle Abmusterung am HIT.

Abbildung 6: Ablauf der Qualitätsuntersuchungen für die DiTex-Bettwäsche. Der Orientierungswert ergibt sich aus dem Arbeitspapier DiTex (Eigene Darstellung: HIT)

Die visuelle Abmusterung der Proben aus der Anwendungsphase ergab ein überwiegend positives Gesamtergebnis. Das Gewebe blieb bis 100 Zyklen stabil und zeigte nahezu keine Verschleißerscheinungen. Dies spiegelt sich auch in den Prüfergebnissen an Einzelteilen wider, die relativ stabile Werte für die Scheuerbeständigkeit und Pillneigung bis 100 Pflegezyklen ergaben und keine drastische Abnahme der Zugfestigkeit aufzeigten (10-22% Reißraftverlust nach 100 Zyklen). Abschätzungen der Maßbeständigkeit durch Vergleich mit einem Neuteil (nicht gleiche Probe) lassen darauf schließen, dass keine drastische Maßänderung im Pflegeprozess stattfindet (im Bereich der Anforderungen HQS 705, ± 3%). Die Komforteigenschaften von Bettwäsche werden hauptsächlich über die hautsensorischen

Eigenschaften bestimmt, die insgesamt als gut bewertet werden können. Die konfektionierten Textilien als Ganzes zeigten nahezu keine Auffälligkeiten in der Verarbeitung. Nach 100 Zyklen wurde eine leichte Verformung der Textilien beobachtet, die infolge der Mangeltrocknung als angemessen eingestuft wird. Für einen Teil der Proben aus dem Praxistest kam es zu Verzügen und Faltenbildung, was nicht mit dem Design in Verbindung gebracht werden kann und auf eine fehlerhafte Mangeleinstellung/-eingabe zurückgeführt wird.

Zusammenfassend ergibt die Untersuchung nach der Anwendungsphase ein positives Gesamtbild der Bettwäsche für den Einsatz als Leasingtextil.

1.5.2.2 Spektroskopische Beurteilung

Spektroskopische Messungen mit Infrarot-, Nahinfrarot- und UV-VIS-Spektrometern ergänzen die mechanisch-technologischen Untersuchungen zum Einsatz und zur Lebensdauer der Textilien. Im Rahmen des Projektes wurde eine Kombination aus UV-Vis-, Nahinfrarot- (NIR) und Mittelinfrarot- (MIR) Spektroskopie (multimodale Spektroskopie) eingesetzt, um die Materialzusammensetzung und Qualitätseigenschaften wie Glanzverlust, Farbechtheit, Vergilbung, Verschleiß oder Materialalterung von Bekleidungstextilien und Arbeitsbekleidung und Bettwäsche zu bestimmen.

Um die spektroskopischen Messungen in Echtzeit während der Praxisphase direkt vor Ort in den Wäschereien durchführen zu können, wurden 3 verschiedene mobile Spektrometer angewendet, die zusammen in Sinne der Datenfusion den kompletten optischen Bereich von 300 nm bis 2,5 µm abdecken können: die Geräte sind tragbar, einfach zu bedienen und erfordern keine aufwändige Laborumgebung.

1.5.2.2.1 DiTex-Poloshirts

Ausgewählte Muster der Poloshirts wurden vor Ort in der Wäscherei gemessen (11 Stücke, mit 3 bis 15 Nutzungszyklen). Außerdem wurden die Poloshirts im Labor an der Hochschule Reutlingen sowohl am Ende der Praxisphase, (61 Poloshirts, mit 3 bis 37 Lebenszyklen), als auch nachdem sie einem Hochwaschprozess unterzogen wurden, (25 Poloshirts, 100 Waschzyklen) spektroskopisch untersucht.

Jedes Poloshirt wurde dreimal in drei verschiedenen Punkten gemessen: In den Mittelinfrarot- und Nahinfrarot-Spektren wurden keine signifikativen Veränderungen der Textilien festgestellt. Eine fehlende Veränderung in diesen Bereichen deutet darauf hin, dass keine signifikanten Degradationsprozesse der Materialien stattgefunden haben. In den UV-Vis Spektren wurden jedoch leichte Veränderungen im roten Bereich, angrenzend zum sichtbaren Nahinfrarot (s-NIR) beobachtet (siehe

Abbildung 7). Man kann deutlich die Änderung der Spektren ab 770 nm. erkennen.

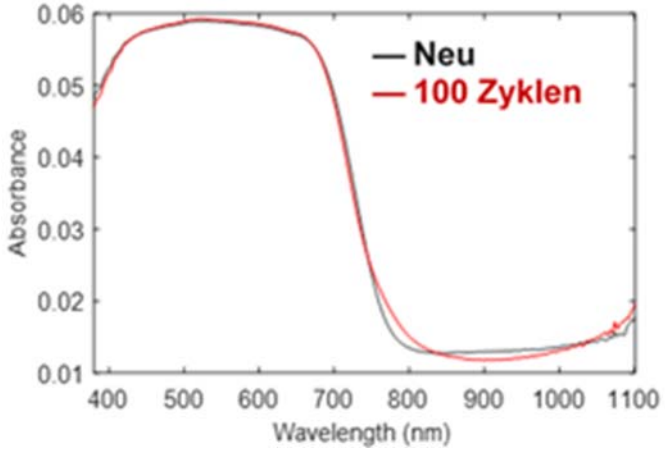


Abbildung 7: UV-Vis Mittelwertspektren der Poloshirts (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Waschzyklen) (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Die beobachteten Veränderungen der Spektren im roten Bereich können auf oxidative oder photochemische Reaktionen zurückzuführen sein, die durch den Einfluss von Waschmitteln, Sonneneinstrahlung oder anderen Faktoren hervorgerufen werden. Diese Veränderungen können zu einer leichten Verschiebung des Farbspektrums führen. Die Änderung der Form der Spektren können aber auch durch Veränderungen in der Textur der Materialoberfläche verursacht sein. Beide Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen der technologischen Untersuchungen von HIT überein.

1.5.2.2.2 DiTex – Polizeihemd

Die Messung der Polizeihemden in der Wäscherei vor Ort war aufgrund der Corona-Einschränkungen nicht möglich. Die Hemden wurden deshalb am Ende der Praxisphase (40 Stück, die nur eine geringe Anzahl von Nutzungszyklen (4-7) aufwiesen) und nach zwei separaten Hochwaschprozessen (29 Stück, 15 Waschzyklen; 28 Stück, 100 Waschzyklen) im Labor an der Hochschule Reutlingen untersucht.

Alle Proben wurden dreimal in drei verschiedenen Punkten gemessen. Im mittleren und nahen Infrarotbereich wurden keine signifikanten Veränderungen der Spektren festgestellt. Dieses Ergebnis legt nahe, dass keine Materialverluste aufgrund der Nutzung und dem Waschprozess stattgefunden haben. In UV-Vis Bereich wurde festgestellt, dass es nach einem Pflegezyklus zu Veränderungen des Weißgrades kam. Diese Veränderungen waren jedoch stabil und keine weiteren signifikanten Veränderungen während der nachfolgenden Pflegezyklen auftraten (siehe Abbildung 8). Im Bereich 420 - 610 nm ist die Änderung des Weißgrades zu erkennen.

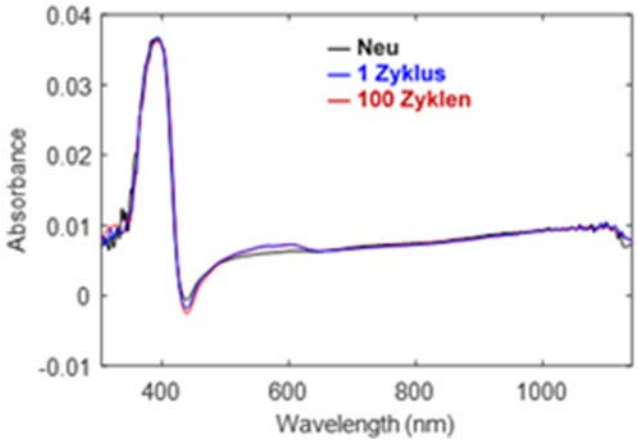


Abbildung 8: UV-Vis Mittelwertspektren der Polizeihemden (schwarz: Neuzustand, blau: 1 Zyklus rot: 100 Zyklen). (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Die Veränderungen des Weißgrades nach einem Pflegezyklus, sichtbar auch nach visueller Inspektion, können hauptsächlich auf die Anwendung von optischem Aufheller in dem Waschmittel zurückzuführen sein. Es wurden keine Oberflächenveränderungen nachgewiesen, selbst nach 100 Pflegezyklen.

1.5.2.2.3 DiTex – Bettwäsche

Vor Ort in der Wäscherei wurden 25 Bettbezüge und 25 Kissenbezüge untersucht, die bereits etwa 20 Nutzungszyklen durchlaufen hatten. Dieselben Proben wurden am Ende der Praxisphase (ungefähr 30 Nutzungszyklen) und nach zusätzlichen weiteren Pflegezyklen (100 Waschzyklen) spektroskopisch vermessen.

Im Mittel- und Nahinfrarot-Bereich wurden keine nachweisbaren Veränderungen bei den untersuchten Textilien festgestellt, selbst nach dem Durchlaufen von zusätzlichen Waschzyklen. Das Fehlen von Veränderungen im Infrarot-Bereich deutet darauf hin, dass die chemische Zusammensetzung der Textilien während der Waschzyklen weitgehend unverändert blieb.

Im sichtbaren Bereich wurde eine leichte Änderung des Weißgrades beobachtet (siehe Abbildung 9). Dies könnte auf Veränderungen in den physikalischen Eigenschaften der Textilien oder auf Verunreinigungen zurückzuführen sein, die während des Praxistests auftraten. Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass diese Änderungen geringfügig waren. Im Bereich 450 - 600 nm ist die Änderung des Weißgrades zu erkennen.

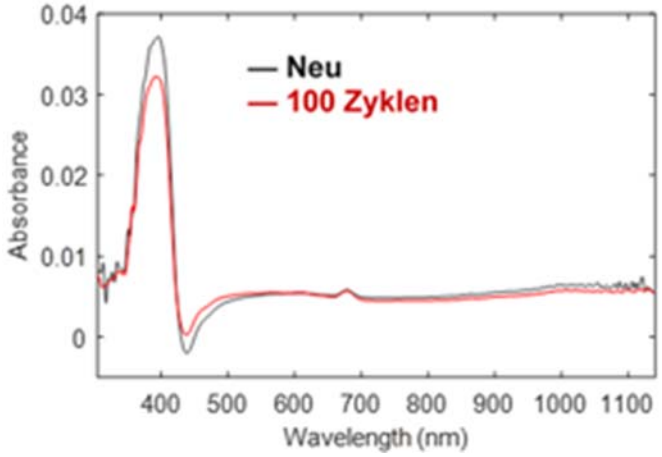


Abbildung 9: UV-Vis Mittelwertspektren der Bettgarnitur (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Zyklen) (Quelle: Hochschule Reutlingen)

1.5.2.2.4 Fazit der spektroskopische Untersuchungen

Alle DiTex Produkte zeigen keine gravierenden Änderungen während der Praxisphase. Die Materialien zeigen hohe Beständigkeit auch unter den Bedingungen der industriellen Waschverfahren (keine Oxidation oder thermische Degradation). Materialverluste (Auswaschen von Zellulose) konnten nicht beobachtet werden. Dies spricht für die Qualität der Textilien und legt nahe, dass sie über eine längere Nutzungsdauer hinweg ihre Eigenschaften beibehalten können.

Die Verwendung von Messgeräten wie Infrarot-, Nahinfrarot- und UV-VIS-Spektrometern stellt eine effektive Methode dar, um Veränderungen in der Materialzusammensetzung und -integrität auch während der Nutzungsphase zu untersuchen und die Qualität von Textilien zu bewerten und sind eine wichtige Ergänzung zu den mechanischen und technologischen Untersuchungen.

1.5.2.3 Nutzenden-Befragung

Jeder der drei Praxistests wurde von Nutzenden-Umfragen und Abfragen an den Textilservice begleitet. Schwerpunkte der Abfragen waren die

- Performance der Textilien, wie sie durch die Nutzenden wahrgenommen wurde und
- die Akzeptanz der im Sinne einer Kreislaufwirtschaft optimierten Textilien durch die Nutzenden.

Abbildung 10 zeigt die Formate der Nutzenden-Befragung. Die Nutzenden hatten vor, während und nach den Praxistests die Möglichkeit, über Fragebögen das von ihnen genutzte Textil zu bewerten. In den Praxistests der DiTex-Oberbekleidung wurden drei Umfragen durchgeführt (in Abbildung 10 gelb dargestellt): Start-Umfrage, Feedback-Umfrage und End-Umfrage. Zum Start der Praxistests wurden Erwartungen an Textil und Praxistest erfragt. Während der Nutzung stand die Bewertung der Textilien im Gebrauch im Vordergrund. In einer End-Umfrage wurde die Zufriedenheit mit den Textilien und den Praxistests insgesamt abgefragt. Im Praxistest der DiTex-Bettgarnitur fand aufgrund einer anderen

Nutzendenstruktur nur eine Feedbackumfrage statt, es wurden keine Start- und Endumfrage durchgeführt.

Am Anfang, während und am Ende der Praxistests erfolgten zudem Befragungen des Textilservices / der Wäscherei mittels Excel-Abfragen (in Abbildung 10 durch das Excel-Logo dargestellt).

Die in Kapitel 1.5.1 genannten protokollierten Gespräche dienten neben der Klärung operativer Fragen auch dazu, das Feedback aus den Nutzenden-Umfragen und den Abfragen an den Textilservice mit Vertreter*innen der Testanwender, der Nutzenden, der Textilservices und anlassbezogen verschiedener Verbundpartner zu besprechen und es gab Gelegenheit, sich ergänzend zu äußern.

Alle Kommunikation inner- und außerhalb der genannten Formate wurde in detaillierten Logbüchern festgehalten. Die Erkenntnisse aus Gesprächsformaten und Logbüchern flossen in die Auswertung der Ergebnisse der Nutzenden-Umfrage und der Abfragen an den Textilservice ergänzend ein.

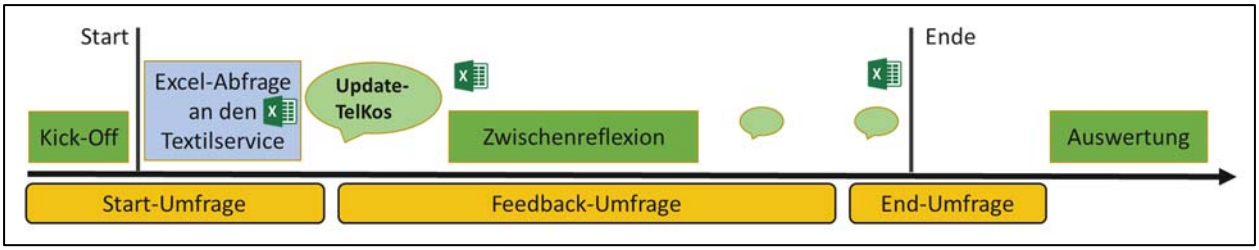


Abbildung 10: Schematische Darstellung der wissenschaftlichen Begleitung im zeitlichen Verlauf des Praxistests über folgende Formate: Nutzenden-Umfragen (gelb), Abfragen an den Textilservice (blau), ergänzende Gesprächsformate mit Testanwendern sowie Vertreter*innen von Textilservice und Hersteller (grün) (Eigene Darstellung: IÖW)

1.5.2.3.1 Nutzenden-Bewertung des DiTex-Poloshirts

Tabelle 10 zeigt die durchschnittlichen Bewertungen im Zeitraum der Feedback-Umfrage zwischen dem 23.8. – 15.12.2021 im **Praxistest des DiTex-Poloshirts im Kreis Lippe**.

Tabelle 10: Bewertung der DiTex-Poloshirts im Zeitraum von 23.08.21 – 15.12.2021; n = 21

Kriterium	Bewertung – Bewertungsskala 0 (schlecht) bis-5 (sehr gut) bzw. in Prozent (%)	
Design	★★★☆☆	3,2
Sauberkeit	★★★½☆	3,7
Anschmiegsamkeit	★★½☆☆	2,3
Knitterverhalten	★★★★☆	4,0
Temperaturempfinden	Passend	46,6 %
Feuchteempfinden	Feucht	46,6 %
Pilling	★★★★½	4,1
Beanspruchbarkeit	★★★½☆	3,6
Qualität	keine Einbußen	92 %
Gesamteindruck	★★½☆☆	2,5

In der Startumfrage gab es 14 Teilnehmende. Folgende Erwartungen an das DiTex-Textil wurden genannt, sortiert nach der Häufigkeit ihrer Nennung (in Klammern)[2] :

- Angenehmes Tragegefühl (8),
- Atmungsaktivität (7),
- gute Passform (3).

Als Bedenken[3] wurden angegeben:

- Keine[4] (7),
- erwarteter Schweißgeruch von Textilien aus Synthetikfasern (6),
- erwartete mangelnde Hautverträglichkeit (6).

57 % der 14 Befragten (also 8 Personen) gaben an, dass es ihnen wichtig ist, ein nachhaltiges Textil zu tragen.[5]

[2] Formulierung der Frage: „Welche Erwartungen haben Sie an das Poloshirt und den Tragetest insgesamt?“

[3] Formulierung der Fragen: „Welche Bedenken haben Sie in Bezug auf das Poloshirt und den Tragetest insgesamt?“ und „Die Poloshirts bestehen zu 100% aus recyceltem Polyester. Haben Sie Bedenken gegenüber Textilien aus Rezyklat oder aus Kunstfasern? Bitte beschreiben Sie kurz“

[4] Häufigste Nennung (n=8).

[5] Häufigste Nennung (n=8).

In der Feedbackumfrage gab es 21 Teilnehmende. Folgende Unterschiede zum zuvor eingesetzten Poloshirt wurden mehrfach genannt:

- Schnelleres Schwitzen und Geruchsentwicklung nach körperlich anstrengender Arbeit (10),
- geringere Atmungsaktivität (5),
- kleinere Passform als gewohnt (4).

Verbesserungsvorschläge waren:

- Schwitzen und Geruchsbildung unterbinden (7),
- Passform überarbeiten (5).

In der Endumfrage gab es 18 Teilnehmende. Zur Erfüllung der Erwartungen an das Textil wurden folgende Punkte genannt[6]:

- Erwartungen wurden nicht erfüllt bzw. negative Erwartungen wurden erfüllt (11),
- Nennung einzelner Probleme wie Schwitzen, geringe Atmungsaktivität (7),
- Tragegefühl war in Ordnung (2).

Bis zu 65 Poloshirts wurden wöchentlich in der Wäscherei Eben-Ezer behandelt. Zusätzlich wurden 25 Poloshirts durch MEWA Manching nach Ende des Praxistests zur Vorbereitung der Textilprüfungen 100-mal gewaschen und getrocknet. Die **Leasingeinung** anhand der vorgegebenen Kriterien wurde durch die Wäscherei durchgängig mit 5/5 Punkten bewertet. Auffälligkeiten in der Pflege im Praxistest bei der Wäscherei Eben-Ezer und während 100 zusätzlicher Wasch- und Trockenzyklen (ohne Nutzung) bei MEWA Manching (100 Wasch- und Trockenzyklen ohne Nutzung) waren:

- Einlaufen der Ärmelbündchen beim Herren-Poloshirt,
- nach 100 Pflegezyklen (ohne Nutzung): Saumöffnung, Ausfransen der Bündchen.

Eine nicht benannte Anzahl von Poloshirts (2 Kartons) wurde ausgemustert, da alle Testpersonen einer der vier beteiligten Rettungswachen aus Unzufriedenheit mit dem Textil den Praxistest abbrachen.

Die **Eignung für Wäschereiprozesse** wurde durch die beiden Wäschereien unterschiedlich bewertet: So beobachtete die Wäscherei Eben-Ezer im Praxistest ein problematisches Trocknungsverhalten im Tumbler (Funkenflug durch statische Aufladung, thermoplastische Verformung bei Verbleib im Tumbler nach der Trocknung). Die MEWA Manching schätze das Pflegeverhalten hingegen als durchweg unauffällig ein, mit Ausnahme des Verlusts von RFID (Radio Frequency Identification)-Chips, die in den Saum eingeschoben waren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Performance des DiTex-Poloshirts durch die Nutzenden positiv bewertet wurde. Die Akzeptanz für das Textil aus 100 % Recycling-Polyester durch die tragenden Rettungskräfte war jedoch eingeschränkt.

[6] Formulierung der Frage: „Wurden Ihre Erwartungen an das Poloshirt und den Tragetest erfüllt?“

1.5.2.3.2 Nutzenden-Bewertung des DiTex-Polizeihemds

Tabelle 11 zeigt die durchschnittlichen Bewertungen im Zeitraum der Feedback-Umfrage zwischen dem 24.03. – 20.04.2021 im **Praxistest des DiTex-Polizeihemds bei der Polizei Hannover**.

Tabelle 11: Bewertung der DiTex-Polizeihemden in der End-Umfrage im Zeitraum von 24.03.2022 – 20.04.2022, n = 13

Kriterium	Bewertung – Bewertungsskala 0 (schlecht) bis-5 (sehr gut) bzw. in Prozent (%)	
Design		2,2
Sauberkeit		4,8
Anschmiegsamkeit		4,3
Knitterverhalten		3,8
Temperaturempfinden	Passend	100 %
Feuchteempfinden	Feucht	100 %
Pilling		4,7
Beanspruchbarkeit		4,4
Qualität	keine Einbußen	100 %
Gesamteindruck		3,5

In der Startumfrage gab es 22 Teilnehmende. Folgende Erwartungen an das Textil wurden genannt[7]:

- Hoher Tragekomfort, bequem, gute Qualität des Materials (17),
- gute Passform (5).

Als Bedenken[8] wurden angegeben:

- Keine (10),
- falsche Größe / schlechte Passform (3)[9].

An den Textilservice wurden folgende Erwartungen formuliert[10]:

- Pünktliche Lieferung, keine Lieferengpässe (6),

[7] Formulierung der Frage: „Welche Erwartungen haben Sie an das Polizeihemd und den Tragetest insgesamt?“
[8] Formulierung der Fragen: „Welche Bedenken haben Sie in Bezug auf das Polizeihemd und den Tragetest insgesamt?“
[9] Es wurden zuvor blaue und weiße Diensthemden genutzt. Im Tragetest wurde nur ein weißes Hemd angeboten.
[10] Formulierung der Frage: „Ein Textilservice versorgt Sie nun mit sauberen und gebügelten DiTex-Polizeihemden. Welche Erwartungen und Befürchtungen haben Sie beim Wechsel von Privatwäsche auf Mietwäsche?“

- Sauberkeit der Hemden, Einhaltung hygienischer Standards (5),
- keine (4),
- gute Bügelqualität (3).

Folgende Bedenken äußerten die Testpersonen gegenüber dem Textilservice:

- Keine (9),
- fremde Diensthemden zurück zu erhalten (3),
- logistischer Aufwand (2).

73 % der Befragten gaben an, dass es ihnen wichtig ist, ein nachhaltiges Textil zu tragen.[11]

In der Feedbackumfrage gab es 9 Teilnehmende. Alle Teilnehmenden der Umfrage gaben an, keine Qualitätseinbußen während der Nutzung festgestellt zu haben. Folgende Unterschiede zum bisher genutzten Hemd und Anmerkungen/Verbesserungsvorschläge zum DiTex-Hemd wurden geäußert[12]:

- DiTex-Hemden fallen größer und länger aus (5),
- Schwarz-weißes Sprenkel-Muster der Knöpfe gefällt nicht (3),
- Metallknöpfe an der Schulterlasche werden als zu groß empfunden (3),
- Kragen zu weich für das Tragen von Krawatten (3).[13]

In der Endumfrage gab es 13 Teilnehmende. Im Vordergrund standen hier Fragen zum Mietservice. 92 % der Befragten konnten sich vorstellen, weiterhin einen Mietservice zu nutzen. Der Mietservice wurde mit durchschnittlich 4 Sternen als gut bewertet.

Als Vorteile des Mietservice wurden genannt:

- Geringerer eigener Aufwand in Beschaffung und Pflege der Hemden, Zeitersparnis (11),
- ständiger Zugriff auf saubere Hemden ist gewährleistet (5).

Als Nachteile des Mietservice nannten die Befragten:

- Hoher Tauschaufwand (4),
- Bedenken bzgl. Hygiene (2).

Bis zu 40 Hemden in der Woche wurden bei MEWA am Standort Hameln gepflegt. Die **Leasingeinung** anhand der vorgegebenen Kriterien wurde durch die Wäscherei nicht bewertet. In den Gesprächsformaten wurden jedoch keine grundsätzlichen Mängel hinsichtlich Verdrehung der Fläche, Pilling, Maßbeständigkeit, Farbbeständigkeit benannt.

[11] Formulierung der Frage: „Wie wichtig ist es Ihnen, ein ökologisch und sozial nachhaltiges Textil zu tragen?“

[12] Formulierung der Fragen: „Gibt es Unterschiede zwischen dem DiTex-Polizeihemd und Ihren bisherigen Diensthemden bezüglich Design, Tragekomfort und Qualität?“ und „Haben Sie Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge für das DiTex-Polizeihemd?“

[13] Der Kragen war mit Blick auf das Recycling ohne Vlies-Einlage gefertigt.

Gründe für die Ausmusterung von Hemden waren:

- Qualitätsbedingt: Polizeischriftzug entspricht nicht mehr den Qualitätsstandards (1x),
- Nutzungsbedingt: Nicht auswaschbare Flecken (1x), Löcher (1x).

Folgende Mängel und Auffälligkeiten traten im Praxistest und im Zuge zusätzlicher Wasch- und Trockenzyklen ohne Nutzung auf:

- Gewebefehler / Ausdünnung des Gewebes im unteren Rücken wird sichtbar (min. 9 Hemden, Stand 12 Waschzyklen),
- lose Fäden an Brusttasche (min. 18 Hemden, Stand 12 Waschzyklen),
- Nahtöffnungen (Anzahl unbekannt).

Die **Eignung für Wäschereiprozesse** wurde durch den beteiligten Textilservice insgesamt positiv bewertet. Die meisten der aufgetretenen Mängel könnten repariert werden. Einzig die Ausdünnung des Gewebes im Rückenbereich stellt nach Aussage des Textilservices einen nicht reparierbaren Mangel dar.

Insgesamt wurde das DiTex-Polizeihemd durch die Nutzenden akzeptiert, vorbehaltlich notwendiger Verbesserung der Passform und Größentreue. Gegenüber eingesetzten rezyklierten Fasern bestanden vor und nach dem Praxistest keine Bedenken. Da diese in Mischung mit Baumwolle verarbeitet waren, entsprach das Trageverhalten jedoch – anders als beim DiTex-Poloshirt -. Den Tragegewohnheiten der Nutzenden. Die Performance wurde durch die Tragenden ebenfalls als insgesamt passend bewertet (gute bis sehr gute Bewertungen in den Kriterien Anschmiegsamkeit, Temperaturempfinden, Feuchteempfinden, Beanspruchbarkeit). Die Performance aus Sicht des Textilservice ist verbesserungsfähig hinsichtlich eines einzelnen, wiederholten, wahrscheinlich durch einen Handhabungsschritt in Produktion, Transport oder Vorbereitung für den Praxistest bedingten Mangels.

1.5.2.3.3 Nutzenden-Bewertung der DiTex-Bettgarnitur

Tabelle 12 zeigt die durchschnittliche Bewertung der **DiTex-Bettgarnitur** in den abgefragten Kriterien an beiden Einsatzorten.

Tabelle 12: Bewertung der DiTex-Bettgarnitur im Zeitraum von 21.06.2021 – 15.03.2022, n = 1.637

Kriterium	Bewertung – Bewertungsskala 0 (schlecht) bis-5 (sehr gut) bzw. in Prozent (%)	
Design		4,5
Sauberkeit		4,5
Anschmiegsamkeit		4,0
Temperaturempfinden	Passend	96,3 %
Feuchteempfinden	Trocken	83,8 %
Pilling		4,9
Gesamteindruck		4,0

In der **Feedbackumfrage** gab es insgesamt 1.637 Rückläufe, davon 87 aus der Umfrage in der Unterkunft der Bundespolizei und 1.550 aus der Umfrage im Hotel im Landkreis Cham. Abgefragt wurden jeweils: Design, Sauberkeit, Anschmiegsamkeit, Temperaturempfinden, Feuchteempfinden, Pilling und Gesamteindruck, Unterschiede zu herkömmlicher Bettgarnitur, Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge. In der Umfrage im Hotel wurden Verbesserungsvorschläge nicht abgefragt.

Es gab nur wenige Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge. Fünf Nutzende äußerten den Wunsch nach einem Reißverschluss oder einer Knopfleiste statt des offenen Hotelverschlusses (Einschub mit Umschlag). Auf Reißverschluss oder Knöpfe zu verzichten, war Teil des Designs for Circularity, um ein Recycling ohne vorgelagertes Detrimming zu ermöglichen, also ohne das Entfernen nicht-textiler Zutaten.

Tabelle 13 zeigt die durchschnittliche Bewertung der Nutzenden der DiTex-Bettwäsche nur in der Unterkunft der Bundespolizei.

Tabelle 13: Bewertung der DiTex-Bettgarnitur in der Unterkunft der Bundespolizei am Standort München-Erding im Zeitraum von 21.06.2021 – 15.03.2022, n = 87

Kriterium	Bewertung – Bewertungsskala 0 (schlecht) bis-5 (sehr gut) bzw. in Prozent (%)	
Design		3,6
Sauberkeit		3,9
Anschmiegsamkeit		3,5
Temperaturempfinden	Passend	96,3 %
Feuchteempfinden	Trocken	59,7 %
Pilling		3,6
Gesamteindruck		3,5

Die durchschnittlichen Bewertungen nur am Einsatzort bei der Bundespolizei (s. Tabelle 11) sind etwas schlechter als die durchschnittlichen Bewertungen insgesamt (s. Tabelle 10). Am deutlichsten weicht die Bewertung des Feuchteempfindens ab. Gründe für die Abweichungen können unterschiedliche weitere Umgebungsbedingungen (z. B. Raumtemperatur, Bettwäsche-Inlett, Aufenthalt in Beruf oder Freizeit) oder die Abfragesituation (geheim per Postkarte direkt nach der Übernachtung, mündlich an der Hotelrezeption beim Check-Out) sein.

Bis zu 194 Bettgarnituren in der Woche wurden durch die Wäscherei Pöschl gewaschen und gemangelt. Die Wäscherei bewertete die Leasingeinung der DiTex-Bettgarnitur anhand der abgefragten Kriterien durchgängig mit 5 von 5 Punkten. Dies lag u.a. wahrscheinlich daran, dass die Mangelfähigkeit des Materials bereits während der Produktentwicklung optimiert worden war und die Mangelgeschwindigkeit auf die Anforderungen von Lyocell angepasst wurde. Es waren keine Ausmusterungen im Praxistest notwendig. Auch die Tracking-ID konnte im Praxistest problemlos genutzt werden. Die Position und Integration der eingesetzten Tracking IDs FenoTEX 1070 des Herstellers Fenotag wurden als „gut“ bewertet. Allerdings entstanden an einigen Teilen durch die Tracking-IDs Beschädigungen am Textil.

Die Nutzenden bewerteten die DiTex-Bettwäsche hinsichtlich Performance und Akzeptanz als geeignet.

1.5.2.4 Ökobilanzielle Beurteilung

Die Umweltwirkungen der Textilbranche sind in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus der öffentlichen Diskussion gerückt. Bis heute werden Textilien überwiegend aus Primärfasern hergestellt, vorwiegend aus Baumwolle und synthetischen Fasern. Mit der Gewinnung der notwendigen Rohstoffe, der Herstellung der Textilien selbst, aber auch den Wasch- und Trocknungsprozessen während der Nutzung sind enorme Ressourcenverbräuche verbunden. Im DiTex-Projekt wurde eine Reihe von

Optimierungsmöglichkeiten untersucht und deren Einfluss auf die Umweltwirkungen und Ressourceninanspruchnahme der Textilien mittels Ökobilanzen quantifiziert.

Die Ökobilanz ist die Methode der Wahl zur Bewertung ökologischer Auswirkungen von Produkten und Dienstleistungen; sie eignet sich hervorragend zur Ermittlung der mit Produktion und Nutzung verbundenen Auswirkungen von Textilien auf Klima und Umwelt. Die Ökobilanzen wurden in Anlehnung an die internationalen Normen für Produkt-Ökobilanzen ISO 14040 und 14044 ermittelt[14]. In der Ökobilanz wurden die drei neu entwickelten DiTex-Textilien (Poloshirt, Businesshemd und Bettgarnitur) sowie deren jeweilige herkömmliche Varianten (Referenz) untersucht und einander gegenübergestellt. Die Varianten unterscheiden sich v. a. in der Faserzusammensetzung (siehe Tabelle 14) sowie der Umsetzung eines Recyclings am Lebensende des Textils. Betrachtet werden sämtliche Prozesse entlang des Produktlebensweges. Dazu zählen vor allem: Rohstoffgewinnung, Textilproduktion (inklusive Spinnen, Weben oder Stricken, Veredlung und Konfektionierung), sämtliche Transportprozesse, Nutzung des Textils (inklusive Waschen und assoziierter Logistik) sowie Recycling einschließlich Neuproduktion der Textilien sowie die Nutzung bzw. Entsorgung aller entstehenden Reststoffe. Untersucht wurden die für die textile Kette wesentlichen Umweltwirkungskategorien wie der CO_2-Fußabdruck, nichterneuerbare Energie-Ressourcen, der Wasser-, Flächen- und Phosphat-Fußabdruck sowie Versauerung und Ozonabbau.

Tabelle 14: Ausgewählte Unterschiede zwischen den untersuchten neu entwickelten, optimierten DiTex-Textilien sowie ihren Referenzen

	Poloshirt		**Businesshemd**		**Bettgarnitur**	
	Referenz	DiTex	Referenz	DiTex	Referenz	DiTex
Faserzusammen-setzung	60 % PES 40 % BW	100 % rPES	70 % BW 30 % PES	62 % BioBW 38 % rPES	50 % BW 50 % PES	50 % rLyo 50 % rPES
Lebensende	Energ. Verwertung	Recycling	Energ. Verwertung	Recycling	Energ. Verwertung	Recycling

Abkürzungen:
BW: Baumwolle, BioBW: Bio-Baumwolle, rLyo: r30-Lyocell, PES: Polyester, rPES: Recycling-Polyester

In Abbildung 11 ist beispielhaft der CO_2-Fußabdruck des neu entwickelten DiTex-Businesshemds über die gesamte Lebensdauer aufgegliedert in die einzelnen Lebenswegabschnitte dargestellt. Die einzelnen Lebenswegabschnitte bzw. Prozesse tragen in jeweils unterschiedlichem Maß zum gesamten CO_2-Fußabdruck des Textils bei.

[14] (ISO 14040:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, 2021; ISO 14044:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, 2021).

Von diesen wurden insbesondere folgende, wichtige Aspekte näher beleuchtet:

- Fasermaterial,
- Textilrecycling,
- Lebensdauer,
- Produktion und Wäscherei.

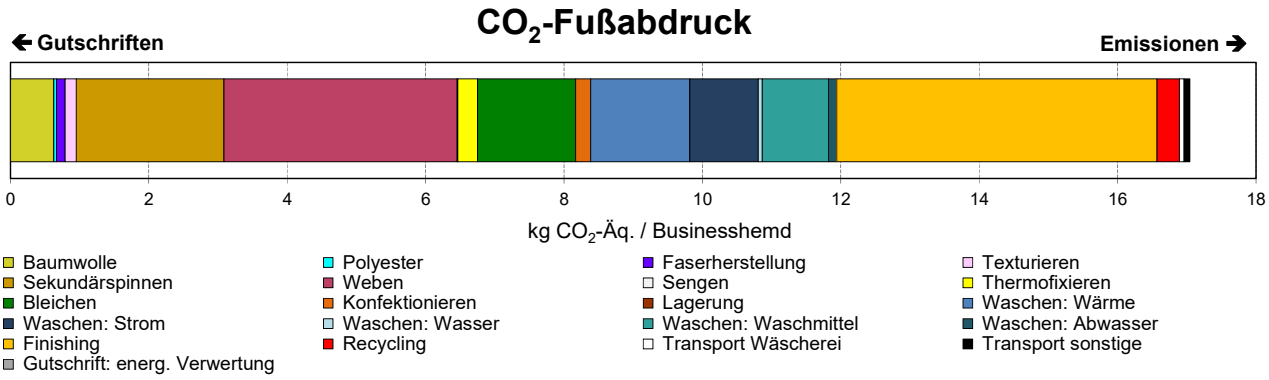


Abbildung 11: CO_2-Fußabdruck eines DiTex-Businesshemds über die gesamte Lebensdauer sowie der Beitrag der einzelnen Lebenswegabschnitte (Eigene Erstellung: ifeu)

1.5.2.4.1 Fasermaterial

Das zur Produktion von Textilien gewählte Fasermaterial hat einen wesentlichen Einfluss auf die Umweltauswirkungen der Textilien. Der landwirtschaftliche Anbau und die damit verbundene Flächennutzung und Bewässerung, die Nutzung fossiler Ressourcen zur Herstellung von Textilfasern und weitere Aspekte stellen hier die Haupteinflussgrößen für die ökologische Nachhaltigkeit von Textilfasern dar. Je nach Anwendungsbereich können die genutzten Fasern durch vergleichbare oder auch grundverschiedene Fasertypen ersetzt werden, womit eine Reduktion der Umweltbelastung der Textilien erreicht werden kann. Bei den im DiTex-Projekt untersuchten Textilien aus typisch genutzten Faserarten wie Baumwolle und Polyester wurden folgende realistisch umsetzbare Faserumstellungen identifiziert:

- Baumwolle → (Recycling-)Polyester,
- Baumwolle → Zellulose-Regeneratfasern,
- Konventionelle Baumwolle → Bio-Baumwolle.

Nachfolgend wird beispielhaft an ausgewählten Umweltwirkungen der Einfluss der jeweiligen Faserumstellung aufgezeigt.

1.5.2.4.2 Verwendung von (Recycling-)Polyester anstelle von Baumwolle

Berufsbekleidung wie Poloshirts weist oftmals einen hohen Baumwoll-Anteil auf. Von diesem geht aufgrund des landwirtschaftlichen Anbaus und des damit verbundenen Wasser- und Flächenbedarfs eine hohe Umweltbelastung aus. In bestimmten Anwendungsbereichen ist die Verwendung von 100 % Polyester oder – etwas besser noch – von Recycling-Polyester anstelle einer Baumwolle-Polyester-Mischung ohne größere Probleme möglich. Dies führt insbesondere im Hinblick auf den Wasser-Fußabdruck des Poloshirts zu signifikanten Umweltvorteilen. Entscheidend hierfür ist weniger die Nutzung von recycelten Fasern als

vielmehr die Vermeidung von landwirtschaftlich angebauter Baumwolle. Ebenfalls ergeben sich auch hier deutliche Verringerungen beim Flächen- und Phosphat-Fußabdruck. Die Nutzung von Recycling-Polyester erzielt eine leichte Reduktion des CO_2-Fußabdrucks, weshalb die Nutzung von Recyclingfasern aus Sicht des Klimaschutzes vorzuziehen ist.

1.5.2.4.3 Verwendung von Zellulose-Regeneratfasern anstelle von Baumwolle

Bettwäsche wird aufgrund von Komfortansprüchen, Atmungsaktivität, Wärmeisolierung und weiteren Aspekten typischerweise aus einem hohen Anteil zellulosebasierter Fasern wie Baumwolle hergestellt. Baumwollfasern können in vielen Fällen durch Zellulose-Regeneratfasern wie beispielsweise r30-Lyocell ersetzt werden, welche zum Großteil aus Zellstoff forstwirtschaftlichen Ursprungs produziert werden. Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen ebenfalls, dass maßgeblich durch die Vermeidung des landwirtschaftlichen Anbaus der Baumwolle signifikante Vorteile im Hinblick auf den Wasser-, Flächen- und Phosphat-Fußabdruck sowie auf den Ozonabbau erzielt werden können. Diese Vorteile sind ohne Nachteile beim CO_2-Fußabdruck sowie der Nutzung fossiler Energie-Ressourcen oder der Versauerung realisierbar. Die Verwendung von Zellulose-Regeneratfasern anstelle von Baumwolle kann folglich die Umweltlast der Textilien deutlich verringern. Für die Produktion der Zellulosefasern sollte der Bewässerungsbedarf von Plantagenwäldern zur Gewinnung des benötigten Zellstoffs jedoch möglichst gering gehalten werden.

1.5.2.4.4 Verwendung von Bio-Baumwolle anstelle von konventioneller Baumwolle

In der öffentlichen Debatte wird verstärkt die Frage gestellt, ob biologisch angebaute Baumwolle geringere Umweltwirkungen als konventionelle Baumwolle mit sich bringt. Einerseits wird durch geringere Erträge im biologischen Anbau für die Produktion der gleichen Menge Baumwolle eine größere Fläche benötigt, andererseits bringt der Anbau von Bio-Baumwolle größere Ökosystemdienstleistungen hervor und weist Vorteile aus Biodiversitätssicht auf. Dies führt bei Betrachtung des Flächen-Fußabdrucks insgesamt zu Vorteilen. Da die Auswirkung von Bio-Baumwolle auf andere Umweltaspekte mit der von konventioneller Baumwolle vergleichbar ist, können durch die Umstellung auf Bio-Baumwolle eindeutig Umweltvorteile erzielt werden.

1.5.2.4.5 Textilrecycling

Das Recycling von Textilien wird in der breiten Öffentlichkeit immer wieder als elementarer Aspekt einer nachhaltigen Textilwirtschaft benannt. Als besonders wichtige Parameter für die Umweltauswirkungen beim Textilrecycling gelten vor allem die Energieeffizienz der Recyclingtechnologien sowie der Anteil an Fasern, die nicht recycelt werden können – etwa wegen unterschiedlich gefärbter Fasern oder eines Qualitätsverlustes durch das Recycling. Die Ergebnisse der Ökobilanz der untersuchten Textilien zeigen, dass Recycling einen nur sehr geringen Einfluss auf die untersuchten Umweltwirkungskategorien aufweist. Auch die Höhe des Faserausschusses und sogar ein deutlich verringerter Energiebedarf für den Recyclingprozess spielen dabei nur eine geringe Rolle. Lediglich das Recycling von Baumwolle und Zellulosefasern führt tendenziell zu einer Reduktion des Flächen-Fußabdrucks durch eine vermiedene Neuproduktion von Baumwoll- bzw. Zellulosefasern und der dafür benötigten Anbaufläche. Textilrecycling ist an sich integraler Baustein einer kreislauffähigen Textilproduktion. Um eine signifikante Verringerung der Umweltlast durch das Recycling von Textilien zu erreichen, ist jedoch weitere Entwicklungsarbeit notwendig. Dabei ist sicherzustellen, dass der Gesamtenergieaufwand für das Recycling nicht höher ist als derjenige für die Produktion von Fasern aus Primärrohstoffen.

1.5.2.4.6 Lebensdauer

Eine Verlängerung der Lebensdauer von Textilien führt in der Regel zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen. Bei Textilien zeichnet sich eine verlängerte Lebensdauer durch eine größere Anzahl an Nutzungs- und Waschzyklen aus. Die Folge ist, dass pro Nutzung eines Textils anteilig eine geringere Menge an Fasern hergestellt (z.B. Polyesterfasern) bzw. gewonnen (z.B. Baumwollfasern) werden muss und damit weniger Textilien produziert werden. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Ökobilanz wider: Eine Verlängerung der Lebensdauer hat insbesondere bei jenen Umweltwirkungen einen signifikant positiven Einfluss, die vor allem von der Rohstoffgewinnung und der Textilproduktion abhängen. Dies betrifft beispielsweise den Wasser-Fußabdruck, der maßgeblich durch den Anbau von Baumwolle bestimmt wird, aber auch andere Umweltwirkungen wie den CO_2-Fußabdruck durch die Herstellung der Textilien selbst. Bei Umweltwirkungen, die insbesondere durch Prozesse in der Wäscherei geprägt sind, ist das Einsparpotenzial durch Langlebigkeit geringer, da sich mit einer höheren Anzahl an Waschzyklen auch deren Umweltwirkung erhöht. Dies betrifft beispielsweise den Phosphat-Fußabdruck, der maßgeblich durch Phosphorverbindungen in Waschmitteln verursacht wird.

1.5.2.4.7 Produktion und Wäscherei

Mit der Herstellung von Textilien und den Wasch- und Trocknungsprozessen während der Nutzung sind große Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Die Optimierung dieser Prozesse birgt gleichzeitig ein großes Potenzial zur Reduktion der Umweltlast der Textilien. Wichtige Stellschrauben sind beispielsweise die Effizienz von Wäschereiprozessen, die Nutzung erneuerbarer Energie sowie der Einsatz von Phosphorverbindungen in der Wäscherei.

1.5.2.4.8 Effizienz von Wäschereiprozessen

Die Bandbreite der für die einzelnen Wäschereiprozesse wie Waschen oder Trocknen notwendigen Energie ist aufgrund der Nutzung unterschiedlich alter und effizienter Wäschereitechnologien sehr unterschiedlich. Durch den Einsatz energieeffizienter Waschstraßen, Trockner und Finisher können umfangreiche Treibhausgas-Einsparungen erzielt werden.

1.5.2.4.9 Nutzung erneuerbarer Energie

Neben dem Energieaufwand für die Wäscherei werden auch große Mengen an Energie für die Herstellung der Textilien und weitere Prozesse innerhalb der Textilkette benötigt. Diese wird in der Regel durch fossile Energieträger bereitgestellt, was mit deutlichen Auswirkungen auf das Klima einhergeht. Durch die Nutzung erneuerbarer Energie kann eine signifikante Treibhausgas-Einsparung erzielt werden. So können beispielsweise durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen anstatt der Nutzung des durchschnittlichen Strommixes in den jeweiligen Ländern deutlich geringere Treibhausgas-Emissionen erzielt werden. Das gilt auch für den Einsatz erneuerbarer Energie für die Wärmebereitstellung.

1.5.2.4.10 Phosphorverbindungen in Waschmitteln

Während die Nutzung von Phosphorverbindungen in Waschmitteln in Privathaushalten verboten ist, ist der Einsatz von Phosphaten und Phosphonaten als Härtestabilisator und Waschkraftverstärker in der gewerblichen Textilreinigung in Deutschland erlaubt, solange diese nicht in das kommunale Abwassersystem eingeleitet werden. Die Auswirkungen von Phosphorverbindungen in Waschmitteln auf den Phosphat-Fußabdruck des gesamten Textils sind immens. Durch das Ersetzen von phosphorhaltigen Waschhilfsmitteln durch

gleichwertige Substanzen ohne Phosphor wie Zeolithe könnten in gewerblichen Wäschereien deutliche Umweltvorteile erzielt werden.

1.5.2.4.11 Handlungsempfehlungen

Aus den Ökobilanz-Ergebnissen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- Aus ökologischer Sicht ist die Faserzusammensetzung von Textilien von zentraler Bedeutung:
  - Baumwollfasern sollten durch Polyester ersetzt werden. Daher ist ein möglichst hoher Anteil an Polyester und ein niedriger Anteil an Baumwolle anzustreben.
  - Wo dies nicht möglich ist, sollten als nächstbeste Option Zellulose-Regeneratfasern wie beispielsweise r30-Lyocell eingesetzt werden. Bio-Baumwolle ist eindeutig konventioneller Baumwolle vorzuziehen.
- Maßnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer, also einer größeren Anzahl an Nutzungs- und Waschzyklen der Textilien, sollten erschlossen werden.
- Produktions- und Wäschereiprozesse sollten möglichst energieeffizient und ressourcenschonend gestaltet werden. Das bedeutet insbesondere:
  - Veraltete Wasch- und Trocknungstechnik in Wäschereien sollte zügig gegen energieeffiziente Anlagen ausgetauscht werden.
  - Der Energiebedarf, insbesondere für energieintensive Prozesse in der Textilproduktion, der Wäscherei und beim Recycling, sollte über erneuerbare Energieträger gedeckt werden.
  - Weiterbildungen für das Wäschereipersonal sollten angeboten und bei den Privathaushalten ein Bewusstsein für ressourcen- und energieeffizientes Waschen und Trocknen geweckt werden.
- Textilherstellungs- und -recyclingverfahren sollten unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit sowie der Ressourcen- und Energieeffizienz weiterentwickelt werden.

1.5.2.5 Digitales Tracking

Im März 2022 wurde von der Europäischen Kommission eine neue EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien veröffentlicht. Diese sieht vor, Informationsanforderungen an Textilien zu definieren und diese über die Einführung eines digitalen Produktpasses für Textilien kenntlich zu machen. Auch die Einführung eines digitalen Etiketts wird erwogen. Über den **digitalen Produktpass** soll zum einen der Informationsaustausch entlang der textilen Kette vereinfacht werden, z.B. hinsichtlich kreislaufrelevanter Daten wie Materialzusammensetzung oder bedenklicher Inhaltsstoffe. Daneben können relevante Informationen zur ökologischen Nachhaltigkeit sowie zur Kreislaufführung textiler Produkte für Betriebe (u.a. Wäschereien, Sortier- und Recyclingbetriebe), öffentliche Beschaffer und Verbraucher*innen einfach zugänglich gemacht werden.

Digitale Technologien zur automatische Identifizierung, kurz **Auto-ID-Technologien**, sind in der Textilservice-Branche bereits verankert, sind aber noch nicht flächendeckend im Einsatz.

Es bestehen derzeitig große Unterschiede bzgl. der Implementierung von Auto-IDs in den verschiedenen Betrieben. Auf Seiten der Hardware ist der Barcode ein eingängiger Datenträger. Daneben gewinnen RFID-Transponder zunehmend an Bedeutung. Bislang sind keine Auto-ID-Software-Lösungen verfügbar, die auf die Anwendungen in der Textilservice-Branche zugeschnitten sind und sich am Markt etabliert haben. Auto-IDs werden aktuell insbesondere in der Logistik und im Kundschaftsservice genutzt sowie in den Anwendungsbereichen Arbeitskleidung und Bewohner*innen-Wäsche, wo über Auto-ID eine direkte Zuordnung von Textil zu Träger*in ermöglicht wird.

Vorteile bei der Nutzung von Auto-IDs ergeben sich unter anderem aus der verbesserten Transparenz der verschiedenen Prozesse und Bestände sowie einer erleichterten Planbarkeit und Prozesssteuerung, z.B. zur Anpassung von Versorgung an Nachfrage/Bedarf. Durch die einfache Zugänglichkeit von Prozess- und Textildaten lässt sich die Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren vereinfachen (z.B. bei Schadensfällen) oder, wenn nötig, eine mögliche Anpassung von Produktdesign oder Pflegeparametern in die Wege leiten. Daneben wird über den Einsatz von Auto-IDs eine Verlängerung der Nutzungsdauer ermöglicht, beispielsweise über reduzierte Schwundraten oder verbesserte/automatisierte Reparaturprozesse. Herausforderungen ergeben sich für Betriebe aus dem Fehlen eines branchenspezifischen Standards und der Schwierigkeit, aus dem Angebot vorhandener Auto-ID-Systeme die für Anwendungen im Textilservice am besten geeigneten Produkte zu ermitteln. Auch die Akzeptanz der Technologie bei den Mitarbeiter*innen der Betriebe, insbesondere bzgl. der Umsetzung des Datenschutzes, sowie zusätzliche Kosten bei der Implementierung können ein Hemmnis darstellen.

Potential zeigen digitale Technologien bei der **Schließung des textilen Kreislaufs**. Geschlossene Stoffkreisläufe erfordern effiziente Recyclingverfahren, die z.T. präzise Anforderungen an das Input-Material stellen, z.B. an die Faserzusammensetzung oder weitere Inhaltsstoffe. Mithilfe von Auto-IDs kann der automatische Transfer von recyclingrelevanten Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Kleidungstücks bis zum Recycling ermöglicht werden, sodass Alttextilien u.U. direkt einem passenden Recyclingkanal zugeordnet werden können. Auch der Sortierprozess – üblicherweise gesteuert über IR-Spektroskopie – lässt sich mithilfe von Auto-IDs unterstützen. Generell besteht Potential im Bereich der Rückführungslogistik und des Entscheidungsprozesses, was mit Textilien nach der Nutzungsphase passiert.

Digitales Tracking im DiTex-Praxistest:

Im Praxistest wurden die DiTex-Textilien mit Transpondern versehen, die eine eindeutige Identifikation bzw. Zuordnung der einzelnen Textilien ermöglichten. Die Transponder wurden mit dem circularity.ID-System als Datenbank verknüpft. In dieser Datenbank (circularity.ID Plattform) wurden für jede Produktlinie relevante Produktdaten gespeichert, die in einer standardisierten Form – dem circularity.ID Open Data Standard – vorliegen. Es wurden digitale Produktseiten erstellt, die sich über den Transponder abrufen lassen. Mithilfe der Datenbank und der spezifischen Produktdaten ließ sich jede Produktlinie einem passenden Recyclingverfahren zuordnen, welches eine hochwertige Verwertung der Textilien ermöglicht.

Die Waschbeständigkeit der Transponder ist ein wichtiger Gesichtspunkt, um die Identifikation der Textilien und die Auslesbarkeit der kreislaufrelevanten Daten bis zum Ende der Nutzungsdauer in der industriellen Praxis sicherzustellen. Um eine Auswahl geeigneter Transponder für den Praxisversuch zu treffen, wurden in Vorversuchen verschiedene Datenträger als Hardwarekomponenten hinsichtlich ihrer Funktionalität nach der Pflege

getestet. Die Pflege erfolgte nach genormten Wasch- und Trocknungsverfahren gemäß DIN EN ISO 15797, welche die Industriewäsche simulieren. Es wurden 20 Transponder verschiedener Hersteller in die DiTex-Textilien integriert und nach 0, 1, 10, 20, 30, 40 und 50 Zyklen ausgelesen. Zum Einsatz kamen verschiedene innovative UHF-, NFC/HF-Transponder und Textillabel mit QR-Codes.

Auf Basis der Ergebnisse der Vorversuche wurden 3 möglichst neuartige Modelle mit unterschiedlichen Formen und Lesefrequenzen ausgewählt, die eine entsprechende Waschbeständigkeit nach bis zu 50 Zyklen aufwiesen und in ausreichender Menge für den Praxisversuch geliefert werden konnten. In den Saum der DiTex-Hemden wurden RFID Threads des Modells Checkpoint/CKP Primo 1D TU0019 sowie Adatex/RFID Thread thick washable ed integriert. Das DiTex-Poloshirt enthielt im Saum RFID/NFC-Knöpfe des Typs HID Logi Button Tag 162. Für die Bettgarnitur wurden RFID-Coins des Typs fenoTEX-1070 verwendet, die in die Naht am Einschub eingearbeitet wurden. Diese sind bereits in der Wäscherei Pöschl, die an der Durchführung des Praxisversuchs beteiligt war, in der Anwendung und wurden daher nicht im Rahmen der Funktionstest untersucht. Alle DiTex-Textilien aus dem Praxisversuch enthielten die entsprechenden Tags.

Die Funktionsfähigkeit der ausgewählten Transponder wurde nach der Anwendungsphase an einer Auswahl von Textilien abgeprüft. In Anlehnung an die DIN ISO 2859-1 ergab sich für jede Produktlinie, die mit rund 1.000 Textilien im Praxisversuch getestet wurde, eine Stichprobengröße von mindestens 80 Textilien, die hinsichtlich der Funktionsfähigkeit ihrer Transponder untersucht wurde. Ein Teil davon wurde direkt nach dem Praxisversuch auf Funktion getestet, ein weiterer Teil nach dem Hochwaschen auf 100 Pflegezyklen. Für die DiTex-Hemden hielten bis auf einen einzelnen Tag (Checkpoint/CKP Primo 1D TU0019) alle weiteren der Gebrauchsphase (5-7 Zyklen) und der reinen Pflege (15 und 100 Pflegezyklen) stand. Für das DiTex-Poloshirt ließen sich alle Transponder nach dem Praxistest auslesen (max. 37 Zyklen). Da sich die Saumnaht der Poloshirts nach dem Hochwaschen auf 100 Zyklen löste, konnten die darin integrierten Transponder nicht überprüft werden. Alle Transponder in den Bett- und Kissenbezügen der DiTex-Bettgarnitur waren nach dem Praxisversuch (max. 30 Zyklen) und dem Hochwaschen (100 Zyklen) noch funktionsfähig.

1.5.3 Fazit Praxistest

Im Praxistest wurden verschiedene Strategien zur Umsetzung einer textilen Kreislaufwirtschaft im B2B-Bereich erfolgreich erprobt.

Als zentraler Ansatzpunkt ist zum einen das zirkuläre Design zu nennen, das auf möglichst langlebige Komponenten, eine recyclingfähige Materialkomposition und dem Einsatz von Rezyklaten aufbaut. Für alle drei Produktlinien zeigte sich in der Praxis, dass ein zirkuläres Design die verschiedenen Anforderungen im Leasing-Bereich grundsätzlich erfüllen kann. Bis auf kleinere Schwachstellen (z.B. Verarbeitung) wurde die Leasing-Eignung von den beteiligten Wäschereien fast durchweg mit 5 von 5 Punkten bewertet. Einzig die Tumbler-Trocknung der Poloshirts aus 100% rPES wurde von einer der Betriebe als herausfordernd angesehen (Elektrostatik), ließ sich aber bei sorgfältiger Prozesskontrolle problemlos realisieren.

Der Einsatz von r30-Lyocell bei der Bettwäsche, welches aus ökobilanziellen Gründen die sonst gängige Baumwolle ersetzt hat, konnte in der industriellen Praxis erfolgreich umgesetzt werden. Dies wird auf die präzise Anpassung des Mangelprozesses auf die Eigenschaften von r30-Lyocell unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen des

Design for circularity (Hotelverschluss) der Bettwäsche zurückgeführt. Dadurch konnte eine Schädigung des Materials durch das Mangeln ausgeschlossen werden.

Die positiven Rückmeldungen der beteiligten Wäschereien spiegeln sich auch in den Ergebnissen der spektroskopischen und textiltechnologischen Untersuchungen wider, die für die verschiedenen Flächenmaterialien eine überwiegend gute Beständigkeit aufzeigen und eine grundsätzliche Eignung für den Leasing-Bereich erkennen lassen. So ließ sich für keine der drei Produktlinien eine gravierende Materialdegradation bis zu 100 Wasch- und Trocknungszyklen nachweisen. Schwachstellen im Bereich der mechanischen Eigenschaften der Gewebe (z.B. Scheuerbeständigkeit) spiegelten sich nicht im visuellen Gesamtbild der konfektionierten Produkte nach der Anwendungsphase wider. Hier bedarf es weiterer Praxisversuche, um den Einfluss von Gebrauchsbelastungen auf die Belastbarkeit des Materials in der Nutzung zu analysieren und ggf. spezifische Einsatzgebiete zu definieren. Auch muss auf Basis dieser Daten die Relevanz der einzelnen Prüfkriterien und –methoden für eine Aktualisierung des Standards bewertet werden. Als geringes Defizit ist das Pflegeverhalten der Maschenware aus 100% rPES zu nennen, deren Maßänderung knapp außerhalb der Anforderungen des HQS nach Tumblertrocknung liegt und die keine ausreichende Maßstabilität im Finisher auswies. Auch ergaben sich geringe Defizite für den Tragekomfort der Maschenware, die eine gute Atmungsaktivität zeigt, aber nahezu keine Wasserdampfaufnahmefähigkeit besitzt. Für einen erfolgreichen Einsatz in der Praxis sind für die konfektionierten Textilien Optimierungen im Bereich der Verarbeitung der Nähte und Säume (Poloshirts, Hemden) und Zutaten, insbesondere beim Schmuckknopf auf der Schulterklappe des Hemdes notwendig.

Das Feedback der Nutzer*innen zur Performance der drei Produktlinien war überwiegend positiv. Verbesserungsvorschläge wurden vor allem im Bereich der Passform und Größe (Hemden, Poloshirts) bzw. Zutaten (Hemd) genannt, was nicht die eingesetzten Flächenmaterialien an sich betrifft. Die Akzeptanz der Rezyklat-Materialien kann für die Hemden und Bettwäsche aus Mischgewebe als gut beurteilt werden. Anders ist die Situation bei Einsatz von 100% rPES (Poloshirts) – Vorbehalte, die vor dem Praxistest hinsichtlich des Tragegefühls bestanden, konnten nach Abschluss des Praxistests nicht ausgeräumt werden. Im Rahmen des Projekts konnte nicht geklärt werden, ob diese eingeschränkte Akzeptanz ausschließlich auf die Eigenschaften der Produkte an sich zurückgeführt werden kann, d.h. Defizite im Bereich der Komforteigenschaften sowie die zum Teil enge Passform.

1.6 Geschäftsmodell Textilservice

Die Entwicklung und Erprobung von kreislauffähigen Textilien war das zentrale Ziel des DiTex-Vorhabens. Zur Erprobung gehörte eine Analyse passender Geschäftsmodelle dazu, denn kreislauffähig designte Produkte sind nur eine Seite der Medaille – daneben müssen auch Unternehmen in ihren Strukturen und Prozessen so gestaltet sein, dass sie eine textile Kreislaufführung ermöglichen. DiTex wählte Textilservice-Unternehmen als passenden Zugang aus. Diese Unternehmen bieten nicht nur die Reinigung und Pflege von Arbeitsbekleidung und Objekttextilien, sondern im Gegensatz zu sogenannten Lohnwäschereien auch die Vermietung bzw. das Leasing dieser Textilien an. Die Auswahl des Textilservice basierte auf zwei Hypothesen: Zum ersten ist die Sammlung und Rückführung großer Textilmengen bekannter Materialzusammensetzung eine große Herausforderung und Bedingungen für ein effizientes Textilrecycling. Beim Miettextilservice fallen regelmäßig solche großen Mengen an Alttextilien an. Zum zweiten bietet das Mietwäsche-Geschäftsmodell gute Voraussetzungen für eine umweltfreundliche

Leistungserstellung: Weil die Wertschöpfung dienstleistungsbasiert erfolgt, profitieren die Unternehmen von der Senkung der Kosten der einzelnen Dienstleistungskomponenten. Die Unternehmen haben also ein ökonomisches Interesse an einer möglichst langen Lebensdauer der Textilien und anderen Effizienzmaßnahmen.

Ziele waren das Textilservice-Geschäftsmodells zu analysieren (AP 1.1), zu erproben (AP 4.1) und Handlungsempfehlungen (AP 5.2) für dessen Weiterentwicklung und Verbreitung abzuleiten. Methodisch wurde hierfür, um eine hohe Validität und damit Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten sowie eine reichhaltigere Deskription des Geschäftsmodells zu ermöglichen, eine Daten- und Methodentriangulation vorgenommen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Methodisches Vorgehen zur Analyse des Textilservice-Geschäftsmodells

Datenerhebung
• Zweistündiges Interview mit MEWA GmbH • Zwei 25-minütige Interviews mit Alsco Berufsbekleidungs-Service GmbH und DLB – Deutsche Berufskleider-Leasing GmbH • Einstündiges Interview mit Deutsche Bahn AG (Kundenperspektive) • Unternehmenswebseiten und Broschüren zum Textilservice-Dienstleistungsmodell • Marktdialog 2 „Distribution und Vertragsgestaltung bei B2B-Textilien: Textilservices können Nachhaltigkeit und Digitalisierung koppeln“ (siehe Kapitel 1.3.1) • Evaluation der Praxistests (siehe Kapitel 1.5.2)
Datenanalyse und -auswertung
• Qualitativer Vergleich der Dienstleistungsmodelle • Beschreibung der Geschäftsmodellkomponenten anhand des Schemas von Bocken et al. (2015) • Verortung des Textilservice in der Circular Economy • Bestimmung der adressierten Nachhaltigkeitsdimension und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die Dienstleistung der Textilservice-Unternehmen lässt sich anhand des Kreislaufs in Abbildung 12 beschreiben. Das Nutzenversprechen des Textilservices lässt sich in zwei Sätzen zusammenfassen: Die richtigen Objekttextilien und Berufs- und Schutzkleidungsstücke sollen zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort sein. Sie müssen sauber, intakt und optisch wie haptisch ansprechend sein sowie den ggf. nötigen Standards entsprechen (z.B. PSA-geprüft). Hierfür bietet der Textilservice eine Vollversorgung an, die die Reinigung, Qualitätskontrolle und Reparatur der Textilien umfasst und deren Beschaffung und Auslieferung an die Kundschaft einschließt.

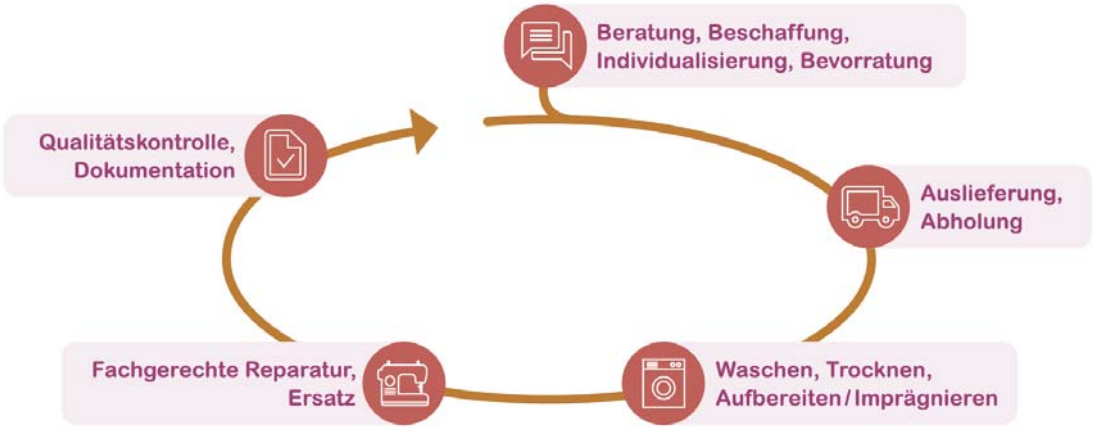


Abbildung 12: Der Wäschekreislauf im Textilservice (Eigene Darstellung: IÖW, angelehnt an DTV: www.dtv-deutschland.org/textil-service.html)

Die ökologischen Vorteile, die derzeit mit dem Geschäftsmodell des Textilservice einher gehen, basieren auf dem Produkt-Dienstleistungsbündel und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- langlebige Textilien, d. h. möglichst standardisierte, hochqualitative und gut reparierbare Ware sowie deren möglichst intensive Nutzung,
- ressourcenschonende und energetisch effiziente Waschverfahren und
- anderweitige Effizienzsteigerungen wie Optimierungen der Tourenplanung.

Außerdem sind zertifizierte Ressourcen- und Umweltmanagementsysteme wie die ISO 9001, 14001 oder 50001 in der Branche üblich.

Um den Textilservice im Sinne der Circular Economy weiterzuentwickeln, gibt es folgende Handlungsfelder:

1. Produktportfolio ändern: Die Textilservice-Unternehmen sollten recycelbare Textilien, die im besten Fall bereits aus recycelten Fasern und Materialien bestehen, anbieten. Diese Maßnahme ist – wie die DiTex-Machbarkeitsstudie zeigen konnte – vergleichsweise schnell umsetzbar und entlastet laut den Öko-Übersichtsbilanzen stark die Umwelt.
2. Noch langlebigere Textilien bzw. mehr Waschzyklen: Die Nutzungsdauer der Textilien bzw. die Anzahl ihrer Waschzyklen hat einen starken Einfluss auf ihre Umweltverträglichkeit. Der Textilservice sollte dafür an seinem Prinzip der langen Textillebensdauer nicht nur festhalten, sondern es ausbauen. Dafür braucht es robuste und zeitlose Designs, gut reparierbare Textilien und schonende Waschverfahren.
3. Umgang mit aussortierten Textilien: Bei Textilservice-Unternehmen fallen regelmäßig große Mengen an Textilien bekannter Zusammensetzung an und genau das ist eine Bedingung für effizientes Textilrecycling. Die Unternehmen sollten die Textilien nicht mehr in eine thermische Verwertung oder Deponierung geben, sondern sich ihrer potenziellen Rolle als Schließer des textilen Kreislaufs bewusst werden. Dazu wird es notwendig sein, Geschäftsbeziehungen zu

Unternehmen der Recyclingindustrie aufzubauen, um die Textilien richtig aufbereitet den passenden Recyclingverfahren zuzuführen.

4. Ausbau der Auto-ID-Infrastruktur: Bereits heute nutzen Textilservice-Unternehmen ID-Infrastrukturen (z. B. Barcodes), um die Textilien beispielsweise personengenau zuzuordnen und den richtigen Waschverfahren zuzuführen. Für ein effizientes Recycling braucht es allerdings Trackingtechnologie, die sich über die gesamte Wertschöpfungskette ziehen. Das wird künftig schon allein für die im digitalen Produktpass geforderte Rückverfolgbarkeit nötig sein. Daneben sollte eine solche Auto-ID-Infrastruktur genutzt werden, um eine Schnittstelle zu Recycling-Unternehmen herzustellen.

5. Energieressourcen schonen: Zuletzt wird es für Textilservice-Unternehmen zunehmend wichtig sein, nicht nur noch ökoeffizientere Maschinen einzusetzen, sondern sie sollten zeitnah auf erneuerbare Energie umstellen, um die von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen zu verringern.

Die Ergebnisse dieser Analysen sowie die Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung des Textilservice sind in detaillierter Form **im integrativen Forschungsbericht** (Kapitel 3 und 4) nachzulesen und in das **Inputpapier** der Auswertungsveranstaltung (AP 3) sowie das **Fact Sheet** „Recycling: Eine neue Aufgabe für den Textilservice“ (AP 5.3) eingeflossen. Daneben wurden für das AP „Dissemination“ (Zwischen-)Ergebnisse bei einem vom DiTex-Team eingereichten und betreuten Panel der internationalen Interdisciplinary Circular Economy Conference 2020 und der Abschlusskonferenz (Workshop 3: Mit innovativen B2B-Geschäftsmodellen den Textilkreislauf schließen) vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich wurde ein Beitrag im Branchenmagazin R+W Textil publiziert.

1.7 Recyclingverfahren

Um die Recyclingmöglichkeiten der Produkte konkreter zu vergleichen, wurden die kreislauffähigen Produktdesigns im Expert*innenworkshop ‚Recycling’ im Mai 2020 mit führenden und innovativen Faser-zu-Faser Recyclern Europas beleuchtet. Zusätzlich wurden die Recyclingverfahren selbst verglichen hinsichtlich der Kosten, Marktreife, Mengen, Vernetzung mit vorgelagerten Partnern (sortierte Anlieferung), Nachhaltigkeit des Prozesses, Einsparung von Ressourcen, Qualität des Recyclingergebnisses, Lokalität, Logistikkosten und Transparenz. Im Anschluss wurde das Recyclingverfahren für jedes Produkt festgelegt und die Produkte final dem Circular Product Check von circular.fashion unterzogen und damit die Recyclingfähigkeit entsprechend dem gewählten Verfahren bestätigt.

Im Anschluss an den Marktdialog 1 wurde im Dezember 2019 ein Circular Design Workshop mit Teilnehmenden von Dibella, circular.fashion und IÖW durchgeführt. In diesem Workshop wurde der Fokus auf das Design des zirkulären Systems gelegt, da die Produktgestaltung und die Festlegung der Recyclingwege für die Bettwäsche bereits fortgeschritten waren. Dabei wurden die Themen, digitale Tracking-ID und -Infrastrukturen, genauer betrachtet. Es wurde erarbeitet, welche Daten auf einer Produkt-ID gespeichert werden müssen, um ein kreislauffähiges Businessmodel mit Einbeziehung der Wäschereien zu ermöglichen. Weiter wurden mögliche Produkte und Hersteller von Tracking-IDs diskutiert und Bedarfe für Waschtests identifiziert. Die Möglichkeiten der ID-basierten Sortierung wurden verglichen mit den Möglichkeiten der spektroskopischen Materialidentifikation für eine automatisierte

Zuordnung eines Produktes zu einem Recyclingkreislauf. Abschließend wurde die bestehende Recyclingmöglichkeit der Produkte (Worn Again Technologies) mit anderen Recyclingverfahren verglichen und Bedarf für weitere Recherchen identifiziert, die im Expertenworkshop „Recycling“ im Mai 2020 weiter beleuchtet wurden (Preis, Marktreife, Mengen, Vernetzung mit vorgelagerten Partnern (sortierte Anlieferung), Nachhaltigkeit des Prozesses, Einsparung von Ressourcen, Qualität des Recyclingergebnisses, Lokalität und Logistikkosten, Transparenz). Mit dem Fokus auf die Produkte wurde letztendlich noch weiteres Optimierungspotenzial hinsichtlich des Einsatzes von biologisch abbaubarem Polyester und dessen Recyclingfähigkeit diskutiert.

1.7.1 Recycling bei Fa. Rittec Umwelttechnik GmbH

Die DiTex-Polizeihemden wurden gemeinsam mit den DiTex-Poloshirts in der Pilotanlage von RITTEC Umwelttechnik in Braunschweig recycelt. Ihre Materialzusammensetzung wurde so gewählt, dass beide Textilien gemeinsam einen ausreichend hohen Polyesteranteil für chemisches Recycling erfüllen.

1.7.1.1 Profil Rittec Umwelttechnik

Im Laufe des Projektfortschrittes wurde ein weiterer Recycler, der eine Versuchsanlage für das chemisches Polyester – Recycling betreibt, ermittelt. Es handelt sich um die RITTEC Umwelttechnik GmbH aus Lüneburg mit einem Technikum in Braunschweig. Nach Prüfung der eingesetzten Technologie und den Möglichkeiten, einen Recyclingversuch durchzuführen, wurde sie in das Projekt miteinbezogen.

RITTEC Umwelttechnik ist Spezialist für Recycling von Kunststoffen. Mit der patentierten revolPET®-Technologie wurde ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, Polyester vollständig zu recyceln und in eine Kreislaufwirtschaft zuführen.

1.7.1.2 Technologie RITTEC Umwelttechnik

Mit dem revolPET® Verfahren können aus post-consumer PET-Abfällen Fremdstoffe isoliert und die monomeren Grundbausteine des PET-Polymers, die Terephthalsäure (TA) und das Monoethylenglykol (MEG), selektiv zurückgewonnen werden. Diese Monomere stehen anschließend für die Produktion von neuem PET mit gewünschten Eigenschaften für Verpackungen, Folien oder Textilien zur Verfügung. Das Verfahren zeichnet sich durch eine große Bandbreite von verwertbaren Materialien aus und stellt keine hohen Anforderungen an die Sortenreinheit des Eingangsmaterials. Der Inputstrom kann neben dem reinem PET auch aus gemischten Fraktionen oder typischen mehrschichtigen Verpackungsmaterialien bzw. gemischten Textilien bestehen und somit neben PET weitere Kunststoffe wie Polyethylen oder Polypropylen enthalten, die in Mehrschichtverpackungsfolien stoffschlüssig mit PET verbunden sind und nicht mechanisch abgetrennt werden können. Bei gemischten Textilien können neben der Polyesterfaser auch andere Kunstfasern oder Naturfasern wie Baumwolle im Input-gemisch enthalten sein, ohne dass die Leistungsfähigkeit des revolPET® Verfahrens eingeschränkt wird.

Die revolPET®-Technologie basiert auf der selektiven PET-Depolymerisation aus Kunststoffverbunden bzw. Textilmischungen mittels alkalischer Hydrolyse der Esterbindung.

Abbildung 13: Technikumsanlage revolPET® (Quelle: Rittec Umwelttechnik GmbH)

Versuchsdurchführung mit den DiTex Textilien:

Im Rahmen des DiTex Projekts wurden drei verschiedene polyesterhaltige (PES) Textilfraktionen mit dem revolPET®-Verfahren verarbeitet und die r-TA zurückgewonnen. Anschließend wurden die Monomere erfolgreich zu neuem r-PET Granulat polymerisiert und daraus ein Garn hergestellt, das schließlich als Schussfaden in ein Gewebe eingetragen wurde.

Die Verarbeitung der polyesterhaltigen Arbeitskleidung erfolgte in der oben beschriebenen und dargestellten revolPET®-Technikumsanlage (siehe Abbildung 13). Zur Depolymerisation wurde ein Doppelschnecken-extruder ZSE 27 MAXX der Firma Leistritz Extrusionstechnik GmbH verwendet.

In Vorbereitung auf die Extruderzufuhr wurden die Textilien zerkleinert (siehe Abbildung 15) und anschließend in einer Flachmatrizenpresse zu Pellets kompaktiert (siehe Abbildung 14).

Abbildung 15: zerkleinertes Poloshirt 100% Polyester (Foto: Rittec Umwelttechnik)

Abbildung 14: Pelletiertes Businesshemd 62% Baumwolle kbA, 38% Polyester (Foto: Rittec Umwelttechnik)

Das Probenmaterial wurde zusammen mit Natriumhydroxid (NaOH) in die Einfüllzone des Extruders dosiert. Die Zusammensetzung von PES und NaOH resultierte aus der Annahme, dass die Materialprobe zu 100 % aus PES besteht. Zudem wurde das Natriumhydroxid leicht überstöchiometrisch hinzugegeben. Bei einer Reaktionstemperatur von 130 °C und einer Schneckendrehzahl von 300 U/min wurden 6,96 kg/h PES-Probenmaterial zusammen mit 3,04 kg/h NaOH in der Reaktionszone des Extruders verarbeitet. In der Lösezone des Extruders wurden zudem 10 kg/h Wasser hinzugefügt, um die Reaktionsmasse leicht anzulösen.

In den folgenden Prozessschritten wurde das Depolymerisationsprodukt durch weitere Wasserzugabe vollständig gelöst. Feste Reststoffe und nicht reagierte Bestandteile (z.B. Baumwollfasern) wurden über eine Filtrationskaskade aus der Produktlösung abgetrennt. Über einen Aufreinigungsschritt mit Aktivkohle wurden anschließend gelöste Verunreinigungen wie z.B. Farbstoffe aus der Lösung entfernt, um einen spezifikationsgerechten Farbwert der r-Terephthalsäure zu erreichen. Der aufgereinigten Produktlösung wurde im nächsten Schritt Schwefelsäure hinzugefügt, wodurch das gelöste Dinatriumterephthalat als feste Terephthalsäure ausfällte und gelöstes Natriumsulfat als Metallsalz entstand. Die erhaltene Suspension wurde erneut filtriert und die gewonnene r-Terephthalsäure getrocknet.

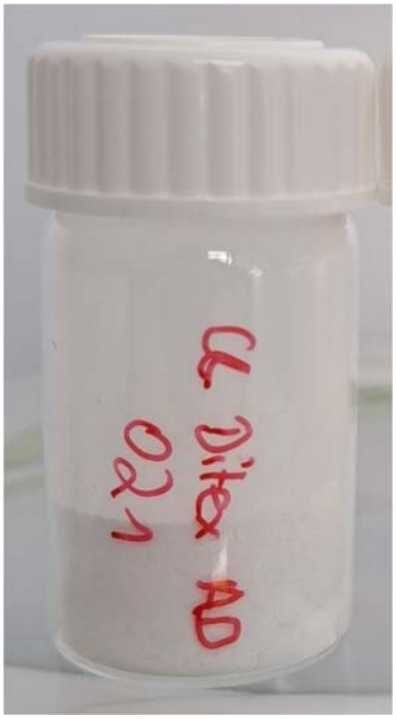


Abbildung 17: Gewonnene r-TA aus DiTex Mischung mit Applikationen (Foto: Rittec Umwelttechnik)

Abbildung 16: Gewebemuster Schuss aus recyceltem PES aus den DiTex Textilien (Foto: Rittec Umwelttechnik)

Tabelle 16: Übersicht Proben (Quellen: Rittec Umwelttechnik und HSRT)

Chargennummer	Materialbeschreibung	Zusammensetzung
019_208	100 % Pellets Poloshirt detrimmed	100 % PES
020_212	50% Pellets Poloshirt blau / 50 Businesshemd weiß detrimmed	ca. 70% PES / 30 % CO
021_213	50% Pellets Poloshirt blau / 50 Businesshemd weiß Nicht detrimmed	ca. 70% PES / 30 % CO

Die Materialmischungen wurden im Technikum händisch hergestellt und vermischt. Die Zusammensetzung hinsichtlich Polyesteranteil konnte aus diesem Grund nur abgeschätzt werden.

Die aus Chargennummer 019_208 gewonnene r-TA wurde anschließend zu neuem r-PET polykondensiert und das Polymer zu einem Garn versponnen. Dieses wurde als Schussgarn für ein Gewebemuster verwendet (vgl. Abbildung 16).

1.7.1.3 Ergebnisse Recycling Produkte Rittec

Die Ergebnisse zeigen, dass r-TA mit hohem Reaktionsumsatz von bis zu 94 % bezogen auf den PET-Gehalt aus den polyesterhaltigen Textilproben zurückgewonnen werden kann. Auch bei den Mischungen konnte eine hohe Ausbeute von 85% bzw. 91% berechnet für einen PET-Anteil von 70% im Ausgangsmaterial erreicht werden. Die Tatsache, dass die Ausbeute bei der Mischung mit Knöpfen höher liegt, als bei der Mischung ohne Knöpfe, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Polyester-knöpfe den PET-Massenanteil der Mischung erhöhen. Da die Knöpfe in der Berechnung des Polyesteranteils im Ausgangsmaterial jedoch nicht berücksichtigt werden, wird eine scheinbar höhere Ausbeute beobachtet.

Zur Beurteilung der Reinheit der r-TA wurden der Farbwert in Hazen sowie die L,a,b-Farbwerte bestimmt. Die Farbwerte zeigen eine nahezu spezifikationsgerechte Rückgewinnung der r-TA. Bei stark gefärbten Inputmaterialien (z.B. Poloshirt blau) ist die Aufreinigung der Produktlösung besonders aufwändig.

Perspektivisch soll der revolPET®-Prozess zur Verbesserung der Aufreinigung um weitere Maßnahmen wie u.a. Membranverfahren ergänzt werden.

1.7.1.4 Qualitätsmessung der Recycling Produkte

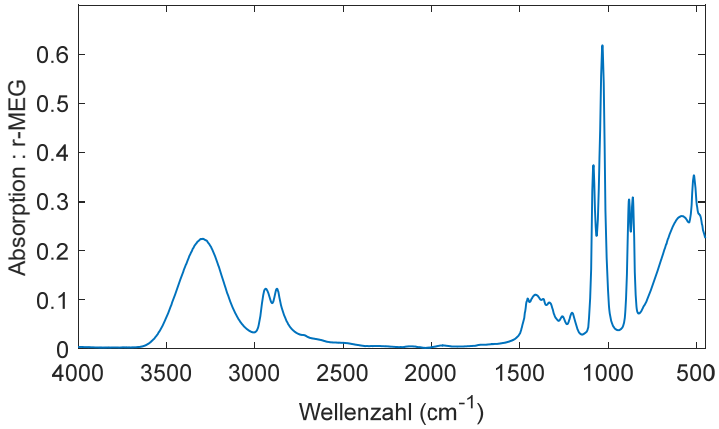
Von den Recyclingprodukten wurden die zwei Monomere r-TA (recycelte Terephthalsäure, siehe Abbildung 17), r-MEG (recycelte Ethylenglycol, siehe Abbildung 19), ein Gewebeabschnitt mit dem recycelten Schussgarn aus Polyester (Abbildung 16) und die feste Fraktion (Baumwollreste, siehe Abbildung 18), die nicht reagiert hat, an der HSRT spektroskopisch untersucht.

Abbildung 19: Gewonnene r-MEG aus Textilrecycling (Foto: Hochschule Reutlingen)

Abbildung 18: Unreagierte feste Fraktion aus Recycling der DiTex Textilien (Foto: Hochschule Reutlingen)

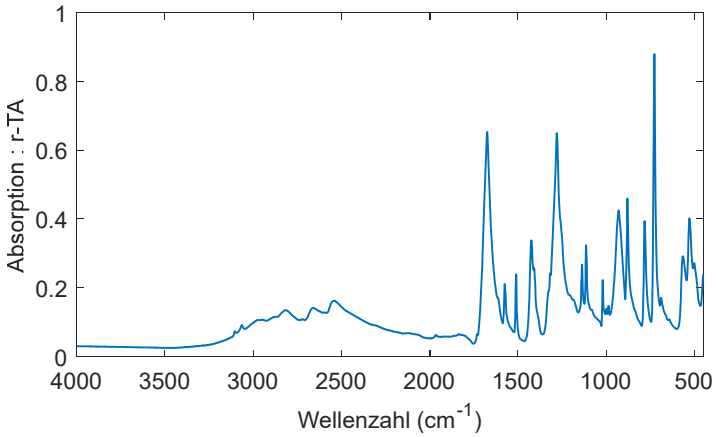
Die Recyclingprodukten wurden mit den Referenzmaterialien v-PES (virgin Polyester) und Baumwolle (beide von der Firma wfk Testgewebe GmbH) verglichen um festzustellen, ob es Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung oder in der Struktur gibt. Alle Proben wurden mit dem FTIR Spektrometer Perkin Elmer Frontier mit ATR Zubehör in den Bereich 4000 – 450 cm-1, mit 4 cm-1 spektraler Auflösung und 16 Akkumulationen gemessen.

Die Ergebnisse der Messungen werden in den folgenden Abbildungen gezeigt.



Wellenzahl (cm^{-1})	Zuordnung
3298	ν(OH)
2938	$\nu_a(CH_2)$
2875	$\nu_s(CH_2)$
1455	$\delta(CH_2)$
1411	δ(COH)
1370	CH2 CH
1332	$\omega(CH_2)$
1259	$\omega(CH_2)$
1204	$\tau(CH_2)$
1083	ν(C-O-C)
1033	ν_a(C-C-O)
882	$\rho(CH_2)$
861	ν(C-C)
514	δ(C-C-O)

Abbildung 20: FTIR Spektrum von recyceltem Monoethylenglycol (r-MEG) und Bandenzuordnung (Quelle: Hochschule Reutlingen)



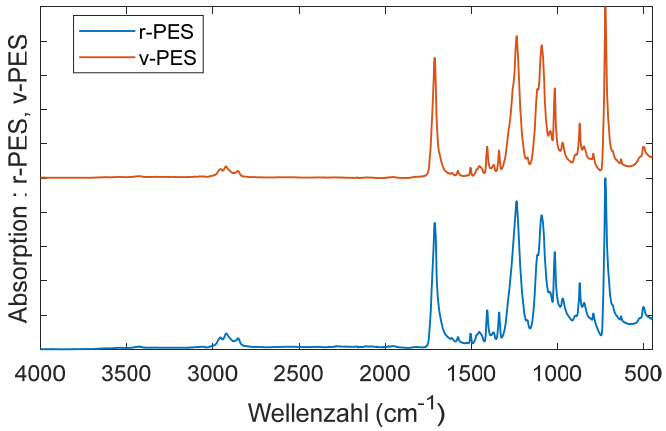
Wellenzahl (cm^{-1})	Zuordnung
3103	ν_a(CH)
3063	ν_a(CH)
2947-2817	ν_a(OH)
2659	ν(C-O)
2541	ν(C-O)
1674	ν(C=O)
1572	ν(CC)
1509	ν(CC)
1423	ν(CC)
1279	ν(C-O)
1112	ν(C-O)
1016	δ(COH)
929	δ(OH)
878	δ(OCO)
781	ρ(OH)
726	δ(CC)
564	r(OH)
527	δ(CC)

Abbildung 21: FTIR Spektrum von recyceltem Terephthalsäure (r-TA) und Bandenzuordnung (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Abbildung 20 und

Abbildung 21 zeigen die FTIR Spektren der zwei gewonnenen Monomeren Monoethylenglycol (r-MEG) und Terephthalsäure (r-TA) und die jeweiligen Bandenzordnung. Referenzspektren der zwei Substanzen sind in der Literatur verfügbar, siehe z.B. NIST Standard Reference Database 69, NIST Chemistry WebBook. Die experimentellen Spektren stimmen mit den Referenzspektren überein und deuten auf hohe Reinheit der Substanzen und vollständige Depolymerisation des Polyesters.

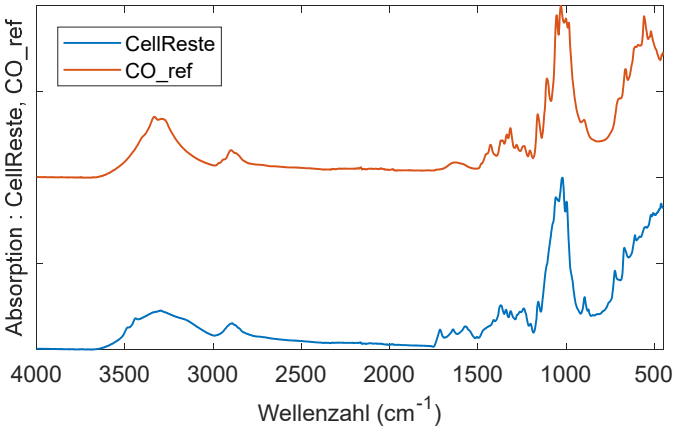
In sind die Spektren von r-PES und v-PES gezeigt. Die Infrarotspektren der recycelten Materialien und der neuen Materialien sind sehr ähnlich und weisen keine signifikanten Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung auf.



Wellenzahl (cm^{-1})	Zuordnung
2957	ν_s(CH)
2923	ν_a(CH_2)
2855	ν_s(CH_2)
1713	ν(C=O)
1505	ν(C=C)
1455	δ(CH_2)
1408	δ(COH)
1238	ν_a(COC)
1092	ν(CC)
1017	ν_s(C-O)
970	δ(OCO)
872	ρ(OH)
846	δ(CC)
722	δ(COC)
501	δ(CC)

Abbildung 22: FTIR Spektrum von recycletem und virgin PES (r-PES, blau, unten, v-PES, rot, oben) und Bandenzuordnung für v-PES (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Qualität der recycelten Materialien vergleichbar mit der Qualität neuer Materialien ist, zumindest auf molekularer Ebene. Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass andere Faktoren wie Festigkeit, Pilling oder andere physikalische Eigenschaften am Produkt ebenfalls berücksichtigt werden sollten.



Wellenzahl (cm^{-1})	Zuordnung
3333	ν(OH)
3291	ν(OH)
2898	ν(C-H)
1628	adsorbed water
1427	δ(C-H)
1364	δ(C-H)
1334	δ(CO)
1315	ω(CH_2)
1280	ω(CH3)
1158	ν_a(COC)
1106	ν(C-C)
1053	ρ(CH_2)
1028	ν(CO), ν(C-C)
1003	ν(CO), ν(C-C)
987	ν(CO), ν(C-C)
663	δ(O-H)

Abbildung 23: FTIR Spektrum von Zellulose-Reste (blau, unten) und Baumwolle Referenz-textil (rot, oben) und Bandenzuordnung für Baumwolle (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Die unreagierte Fraktion wurde gewaschen, getrocknet aber keiner weiteren Reinigung unterzogen und liegt als bräunliches Pulver vor (siehe Abbildung 18). Die FTIR Spektren der unreagierten festen Fraktion (blau, unten) und von Baumwolle als Referenz (rot, oben) sind in Abbildung 23 zu sehen. Die Spektren zeigen, im Gegensatz zu den anderen bisher betrachteten Materialien, deutliche Unterschiede, insbesondere in den Bereichen 3700 - 3000 cm-1 und 1800 - 800 cm-1.

Im Infrarotspektrum zeigt sich eine Abnahme der Intensität des ursprünglichen Hydroxyl-Peaks bei 3300 cm-1 und ein Anstieg eines neuen Peaks bei etwa 3400 cm-1, was auf die Bildung von stärker gebundenen Hydroxylgruppen und die Entstehung von Wasserstoffbrückenbindungen zurückzuführen ist. Darüber hinaus treten weitere neue Peaks auf, die auf Veränderungen der funktionellen Gruppen in der Baumwolle hinweisen,

Die Absorptionsbanden bei 1102 und 1427 cm-1 verschwinden aus dem Spektrum der Cellulose Reste, was darauf hindeutet, dass die alkalische Behandlung eine Änderung der Kristallinität der Zellulose bewirkt. Außerdem, im Bereich 1800 – 900 cm-1 verbreitert sich das Spektrum und verliert teilweise die Feinstruktur.

Insgesamt führt die Behandlung mit konzentrierter Natriumlauge zu signifikanten Veränderungen im Infrarotspektrum, die auf die stärkere chemische Reaktion mit der Baumwollfaser und die Veränderungen in der Kristallstruktur und den funktionellen Gruppen zurückzuführen sind.

Ob die Zellulosereste aus der Depolymerisation für eine weitere Verwertung geeignet sind, kann erst nach zusätzlichen chemischen Analysen entschieden werden.

1.7.2 Recycling bei Worn again

1.7.2.1 Profil Worn again

Worn again technologies, mit Sitz in Nottingham Großbritannien, entwickelt eine Polymer-Recyclingtechnologie zur Herstellung abfallfreier, kreislauffähiger Textilrohstoffe. Die Technologie des Unternehmens trennt, dekontaminiert und extrahiert Polyesterpolymere und Zellulose aus Baumwolle, Textilien und PET-Flaschen und verwandelt sie im Rahmen eines kontinuierlichen Kreislaufs wieder in neue Textilrohstoffe, wodurch Textilhersteller mit sauberen und erneuerbaren Rohstoffen versorgt werden sollen.

Worn Again Technologies verarbeitet sowohl Polyestertextilien als auch deren Mischungen mit Baumwolle, vorausgesetzt der Anteil von anderen Fasertypen (z.B. Elastan) beträgt nicht mehr als 10 Prozent. Polyester wird in Form von Pellets verarbeitet und Baumwolle als Zellulosepulp zurückgewonnen.

Auch Chemiefasern auf Cellulosebasis (wie z.B. Lyocell, Modal oder Viskose) können mit diesem System verarbeitet werden.

Für die DiTex-Bettwäschegarnituren sollte die Firma Worn Again Technologies das chemische Recycling übernehmen, welches die Rückgewinnung des Polyesters in Form von Pellets und des Lyocells als Zellulose-Pulp erlaubt.

Es war ein möglichst vollständiges Recyceln durch Worn Again Technologies vorgesehen

1.7.2.2 Technologie Worn again

Für das chemische Recycling gibt es verschiedene Verfahren über die Depolymerisation als auch Dissolution. Worn Again Technologies verwendet den Dissolutionsprozess, bei dem vor allem Farbestoffe im Prozess entfernt werden und das Endergebnis farblos ist. Das bei dem britischen Recycler Worn Again Technologies ursprünglich vorgesehene chemische Faser-zu-Faser-Recycling der DiTex-Bettwäsche ermöglicht die Trennung der Rohstoffe und eine separate Aufbereitung zu Polyester-Pellets bzw. Zellulosepulpe. Das Mischgewebe ist vollständig recycelbar. Eine mechanische Trennung der Faserstoffe ist nicht erforderlich.

Unerwartete Ereignisse hatten erhebliche Auswirkungen auf das Projekt Ditex und führten zu Verzögerungen und Änderungen im Projektablauf:

Zum einen havarierte der Frachter „Ever Given“ im Suez Kanal, stellte sich quer und blockierte einige Zeit die wichtige Schifffahrtsroute zwischen Asien und Europa. Auch der

Frachter, der die DiTex Bettwäsche aus Asien transportierte, war davon betroffen. Dadurch kam es zu einer erheblich verzögerten Auslieferung, was wiederum den Start des Praxistests um einige Monate verschob.

Zum anderen spielten die Auswirkungen der Corona Pandemie eine große Rolle. Das traf das DiTex-Vorhaben im Praxistest bei der Bettwäsche besonders, da sowohl Tagungs- und Seminarhäuser als auch Hotels keine Übernachtungsgäste beherbergten und der Praxistest bei der Bettwäsche damit nochmals verzögert wurde und nur in geringerem Umfang durchgeführt werden konnte. Nach dem Praxistest wurde die Bettwäsche auf 100 Waschzyklen hochgewaschen, um einen Nutzungszyklus von 100 zu simulieren.

Auf Grund dieser unvorhersehbaren Verzögerungen konnte die Bettwäsche aus den Praxis- und Waschtests schließlich erst erheblich später dem Unternehmen Worn Again überführt werden. Die Demonstrationsanlage bei Worn Again in Großbritannien stand nur für einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung. Aufgrund der o.g. Gründe konnte die Altbettwäsche im geschredderten Zustand erst zu einem Zeitpunkt zum Recycling für den Worn Again Prozess ausgeliefert werden, als die Recyclinganlage bereits abgebaut war. Sie wird an einem anderen Ort wiederaufgebaut und erst 2024 wieder in Betrieb gehen.

Ein Faser-zu-Faser Recycling bei Worn Again wurde aus oben genannten Gründen nicht durchgeführt. Deshalb liegen diesbezüglich keine Ergebnisse vor.

1.8 Fachtagung

Am 20. Oktober 2022 fand die Abschlusskonferenz des Vorhabens in der Katholischen Akademie in Berlin statt. Im Vordergrund standen der fachliche Austausch und die Netzwerkbildung von Akteurinnen und Akteuren einer ressourceneffizienten, zirkulären Textilwirtschaft. Dazu bot das Vorabend-Event am 19. Oktober 2022 bereits Gelegenheit. Dort konnten die drei DiTex-Textilien sowie die im Vorhaben entstandenen Fact Sheets zu verschiedenen Schwerpunkten textiler Kreislaufwirtschaft im B2B-Segment (siehe Kapitel 6.1) begutachtet werden. Am 20. Oktober 2022 eröffnete eine Keynote zur Einordnung textiler Kreislaufwirtschaft in den Kontext einer Nachhaltigkeitstransformation der Industrie das Programm. Anschließend wurden die Forschungsergebnisse präsentiert, der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und im Rahmen von drei Workshops zu den Schwerpunkten digitale Strategien, Textilrecycling und (neue) Geschäftsmodelle diskutiert. Den Abschluss bildete eine Podiumsdiskussion zu Kernerkenntnissen des Vorhabens und deren Übertragbarkeit auf den B2C-Textilmarkt. Tabelle 17 enthält das Programm der Fachtagung.

Tabelle 17: Programm der DiTex-Fachtagung am 20. Oktober 2022.

Zeit	Programmpunkt
09:00 Uhr	Beginn der Registrierung
9:30 Uhr	Begrüßung: Dr. Frieder Rubik (DiTex-Leitung)
9:45 Uhr	**Keynote:** Prof. Dr. Elisabeth Eppinger (Hochschule für Technik und Wirtschaft): “Zirkuläre Textilien: Weg oder Sackgasse für Nachhaltigkeitstransformationen?“ Kaffeepause

Zeit	Programmpunkt
10:50 Uhr	Plenum: Kernergebnisse DiTex-Vorhaben Mit Beiträgen aus dem Team: Christina Vogel (IÖW), Julian Senn (IFEU), Kai Nebel (Hochschule Reutlingen), Dr. Kim Hecht (HIT)
12:30 Uhr	Mittagspause
13:30 Uhr	Drei parallele Workshops
	Workshop 1 | Tracking von Textilien: Schnelle und sichere Sortierung von Textilien mit Unterstützung von digitalen Tracking-Systemen. Bereits etablierte Technologien dienen als Basis für Datenbanken die neben den verwendeten Materialien auch z.B. Informationen über die Herkunft der Fasern oder des konfektionierten Textils enthalten können. Für die Beurteilung der Qualität während des Gebrauchs von Leasingbekleidung kann mit Spektroskopie die Oberfläche in Echtzeit getrackt werden. Die so gewonnenen Informationen können u.a. für den rechtzeitigen Tausch einzelner Textilien beim Kunden dienen. Moderation: Martina Gerbig (Hochschule Reutlingen) Impulse: Mario Malzacher (circular.fashion), Barbara Boldrini (Hochschule Reutlingen), Diana Wolf (MEWA)
	Workshop 2 | Textil-Recycling: Technologien, Chancen, Umweltaspekte Recycling ist eine zentrale Forderung einer nachhaltigen Ökonomie. Im DiTex-Projekt wurden Produkte entsprechend von kreislauffähigen Kriterien entwickelt, pilotiert und anschließend dem Recycling zugeführt. Was die Möglichkeiten des Recyclings im Rahmen der Textilwirtschaft sind und wie sie unter Umweltgesichtspunkten zu bewerten sind, soll in diesem Workshop angerissen werden. Dafür gibt Ina Budde, circular.fashion, eine Einführung in den Status Quo von Textilrecycling, Einblicke in kreislauffähiges Design sowie die Bewertung der Recyclingfähigkeit der DiTex-Produkte. Anschließend gibt Carsten Eichert, RITTEC, einen Praxiseinblick in chemisches Polyester-Recycling, bevor Sven Gärtner, IFEU, in seinem Impuls die Prozesse aus Umweltgesichtspunkten und LCA-Perspektiven beleuchtet. Abschließend freuen wir uns auf eine Diskussion mit den Teilnehmenden. Moderation: Magdalena Müller (IÖW) Impulse: Ina Budde (circular.fashion), Carsten Eichert (RITTEC), Sven Gärtner (IFEU)
	Workshop 3 | Mit innovativen B2B-Geschäftsmodellen den Textilkreislauf schließen Es braucht neue Geschäftsmodelle, um die Kreislaufführung von Textilien zu realisieren. Aber wie muss das Geschäftsmodell des B2B-Textilservice modifiziert werden, um Materialkreisläufe zu verlangsamen, zu intensivieren und zu schließen und gleichzeitig mehr potenzielle Leasingnehmer für kreislauffähige Textilien zu begeistern? Zur Klärung der Frage gibt Sabrina Schmidt, Wissenschaftlerin am IÖW, eine kurze Einführung in das Geschäftsmodell des Textilservice und seine Potenziale für die Circular Economy. Anschließend berichtet Matthias Zoch, Leiter der Umwelt- und Verfahrensentwicklung bei MEWA, aus der Praxis und den im DiTex-Pilotprojekt gewonnenen Erfahrungen. Friedrich Sonderhoff, Leiter der BSR-Betriebshöfe, beleuchtet in seinem Impuls, was aus Kundenperspektive getan werden muss, um zirkuläre Arbeitskleidung und den Textilservice attraktiv zu machen.

Zeit	Programmpunkt
	Moderation: Dr. Frieder Rubik (IÖW) Impulse: Sabrina Schmidt (IÖW), Matthias Zoch (MEWA), Friedrich Sonderhoff (Berliner Stadtreinigung)
15:00 Uhr	Kaffeepause
15:30 Uhr	Plenum Podiumsdiskussion mit Kai Nebel (Hochschule Reutlingen), Florian Kamm (Weishäupl), Carsten Ridder (Dibella), Lavinia Muth (selbstständige Nachhaltigkeitsberaterin)
16:30 Uhr	Schlusswort
16:35 Uhr	Ende der Veranstaltung

Die Präsentationen der Referierenden (mit Ausnahme der Präsentationen von circular.fashion) stehen zum Download zur Verfügung. Die Veranstaltung mit Ausnahme der Workshops 1 und 3 wurde auch im Livestream über den YouTube-Kanal des IÖW übertragen. Livestream-Zuschauende konnten Fragen über das Online-Interaktionstool sli.do stellen, die dann vor Ort vorgelesen wurden und so am Austausch teilnehmen. Eine Aufzeichnung des Livestreams ist online verfügbar. An der Veranstaltung nahmen 56 Personen vor Ort und 30-35 Personen online teil.

Kernpunkte der Diskussion waren:

- **Textilrecycling** verspricht große Potential im B2B-Bereich. Neben einem mechanischen Recycling (welches vor allem bei hohen Mengen an Weißware sinnvoll ist), ist das chemische Faser-zu-Faser-Recycling vielversprechend. Die DiTex-Textilien wurden in Verfahren im Pilotmaßstab recycelt. Doch bereits heute gibt es eine hohe Nachfrage nach Polyester-Monomeren, sodass eine Skalierung der Recyclingtechnologien auf Industrie-Maßstab anzustreben ist. Die Verwertungswege für den Zellulose-Output des Recyclings gestalten sich zurzeit allerdings noch schwieriger. Zudem gibt es aktuell Qualitätsunterschiede bei dem marktverfügbaren Recycling-Polyester, sodass innovative Verfahren zur Qualitätssicherung, z.B. mittels Spektroskopie, wichtig sind. Hochwertige PET-Flaschen sollten allerdings in einem Flasche-zu-Flasche-Zyklus gehalten und nicht durch ein Downcycling als Polyester-Rezyklate für Textilien genutzt werden. Insgesamt ist ein Faser-zu-Faser-Recycling daher ein wichtiger Baustein einer textilen Kreislaufwirtschaft. Im Sinne der Ressourceneffizienz ist neben der Substitution fossiler Primärressourcen durch Rezyklate aber auch die absolute Reduktion der verwendeten Materialien/Textilien ein wichtiger Baustein. Denn Recycling allein ist keine realistische Lösung für die jetzt bereits angefallenen und weiter anfallenden Mengen an Alttextilien.

- **Digitales Tracking** bietet große Potentiale, Informationen für Akteure entlang einer textilen Kreislaufführung (Hersteller, Textilservice, Konsumierende, Recycler etc.) bereitzustellen. Das zentrale Ziel ist eine exakte und effiziente

(automatische) Sortierung von Alttextilien nach Materialzusammensetzung und Farbe. Im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz wird Spektroskopie zukünftig ein wichtiger Bestandteil von Textil-Sortiersystemen werden. Aktuell sind hohe Investitionskosten allerdings noch eine Hürde zur Umsetzung solcher digitalen Sortiersysteme.

- **Textilleasing**: Aktuell werden Leasingtextilien im Normalfall thermisch verwertet. Dies hat vor allem rechtliche Gründe, da Recyclingmaterialien die notwendigen Schutz- und Hygieneklassen nicht erreichen bzw. nicht nachweisbar erreichen. Produkt-Dienstleistungsmodelle wie Textilleasing bergen jedoch Nachhaltigkeitsvorteile im Sinne eine Kreislaufwirtschaft, insbesondere wegen parallelem ökologischen und ökonomischen Interesse an Effizienzsteigerung und Langlebigkeit der Textilien (inklusive Reparaturen).
- **Politischer Wille**: Neben unternehmerischer Innovation braucht es einen klaren politischen Willen zur textilen Kreislaufwirtschaft und eine verbindliche Gesetzgebung. Trotz globaler Lieferketten hätte so eine beispielsweise eine Standardisierung von Datenträgern und -formaten in textilen Produkten und eine erweiterte Herstellerverantwortung auf EU-Ebene Auswirkungen für die Kreislaufschließung.
- **Übertragbarkeit auf den B2C-Markt**: Auch im B2C-Bereich ist die zentrale Botschaft, dass Ressourceneffizienz durch Reduktion von Produktionsmengen und langlebige Produkte erreicht wird und nicht primär durch Recycling. Die Langlebigkeit von Produkten kann wiederum durch die Produktentwicklung beeinflusst werden und ist letztendlich eine Preisfrage. Aktuell ist die Überproduktion und Kalkulation mit Sale-Preisen Teil des Fast-Fashion-Geschäftsmodells. Für eine Kreislaufwirtschaft mit langlebigen Textilien ist eine umfassende Umgestaltung des B2C-Markts notwendig.
- **Empfehlung für die Beschaffung**: Aspekte der Nachhaltigkeit und der Kreislaufwirtschaft sollten in (öffentliche und privatwirtschaftliche) Ausschreibungen als Funktionalitätskriterium aufgenommen werden. Die genaue Umsetzung sollte aber der Innovationskraft der Hersteller überlassen sein.

1.9 Weitere Aktivitäten

1.9.1 Betrachtung von Rebounds

Das DiTex-Vorhaben zielt auf Energie- und Ressourceneinsparungen und geringere Umweltwirkungen ab. Die will es unter anderem durch Effizienzmaßnahmen realisieren. Es ist jedoch bereits gut untersucht, dass nicht immer die Einsparpotenziale erreicht werden, die mit Effizienzsteigerungen theoretisch erreichbar wären. Die Differenz zwischen dem Einsparpotenzial und der tatsächlich realisierten Einsparung wird als Rebound-Effekt bezeichnet (Lange et al., 2021). Dagegen zeigen Rebound-Mechanismen den kausalen Zusammenhang zwischen einer Energieeinsparung und der resultierenden erhöhten Energienachfrage auf. Sie beschreiben, wie ein Rebound-Effekt entsteht. Ergänzend gibt die zeitliche Dimension an, ob der Rebound-Mechanismus kurz- und mittelfristig (short run) oder längerfristig (long run) wirkt. Die Rebound-Mechanismen können auf unterschiedlichen ökonomischen Ebenen auftreten: mikroökonomisch (ein Haushalt, eine Firma),

mesoökonomisch (Markt oder Wirtschaftssektor), makroökonomisch (nationale Wirtschaft) und global (Weltwirtschaft).

Energieeffizienzsteigerungen können bspw. auch psychologische Prozesse auslösen, welche Verhaltensänderungen anstoßen und in Folge einen psychologischen Rebound-Effekt bewirken (Santarius & Soland, 2016). Neben der Betrachtung von Rebound-Mechanismen und -Ursachen, die die Effektivität von Energieeffizienzeinsparungen beeinflussen, wird das Rebound-Konzept auch auf andere Arten der Effizienzsteigerungen übertragen. Als Beispiele sind hier Ressourceneffizienz- sowie Umwelteffizienzsteigerungen und assoziierter Environmental Rebound-Effekte (ERE) zu nennen. Die Bestimmung der Rebound-Effekt-Größe erfolgt hier unter Berücksichtigung weiterer Indikatoren wie Ressourcenverbrauch oder Treibhausgasemissionen (Font Vivanco et al., 2016). Daneben fand die Rebound-Forschung ebenfalls Anwendung auf das Konzept der Kreislaufwirtschaft. Circular Economy Rebound-Effekte entstehen, weil Sekundärmaterialien in der Praxis Primärmaterialien häufiger ergänzen und komplementieren (Markterweiterung) als zu ersetzen (Substitution) (Zink & Geyer, 2017). Aufgrund der verschiedenen Effizienzsteigerungen im DiTex-Projekt können Rebound-Effekte an vielen Stellen auftreten: Produktbezogen, in der Nutzungsphase und über den ganzen Produktlebenszyklus hinweg. Auch muss zwischen möglichen Rebound-Effekten der ersten Produktgeneration im Praxistests sowie Rebound-Effekten, die durch ein Upscaling der Textilproduktion nach Projektende entstehen können, differenziert werden. Abbildung 24 bietet eine Übersicht über mögliche Rebound-Effekte, die im DiTex-Projekt und darüber hinaus beim Einsatz von kreislauffähigen B2B-Textilien auftreten könnten. Der schematische Aufbau der Abbildung orientiert sich an dem Rebound-Framework von Font Vivanco et al. (2016).

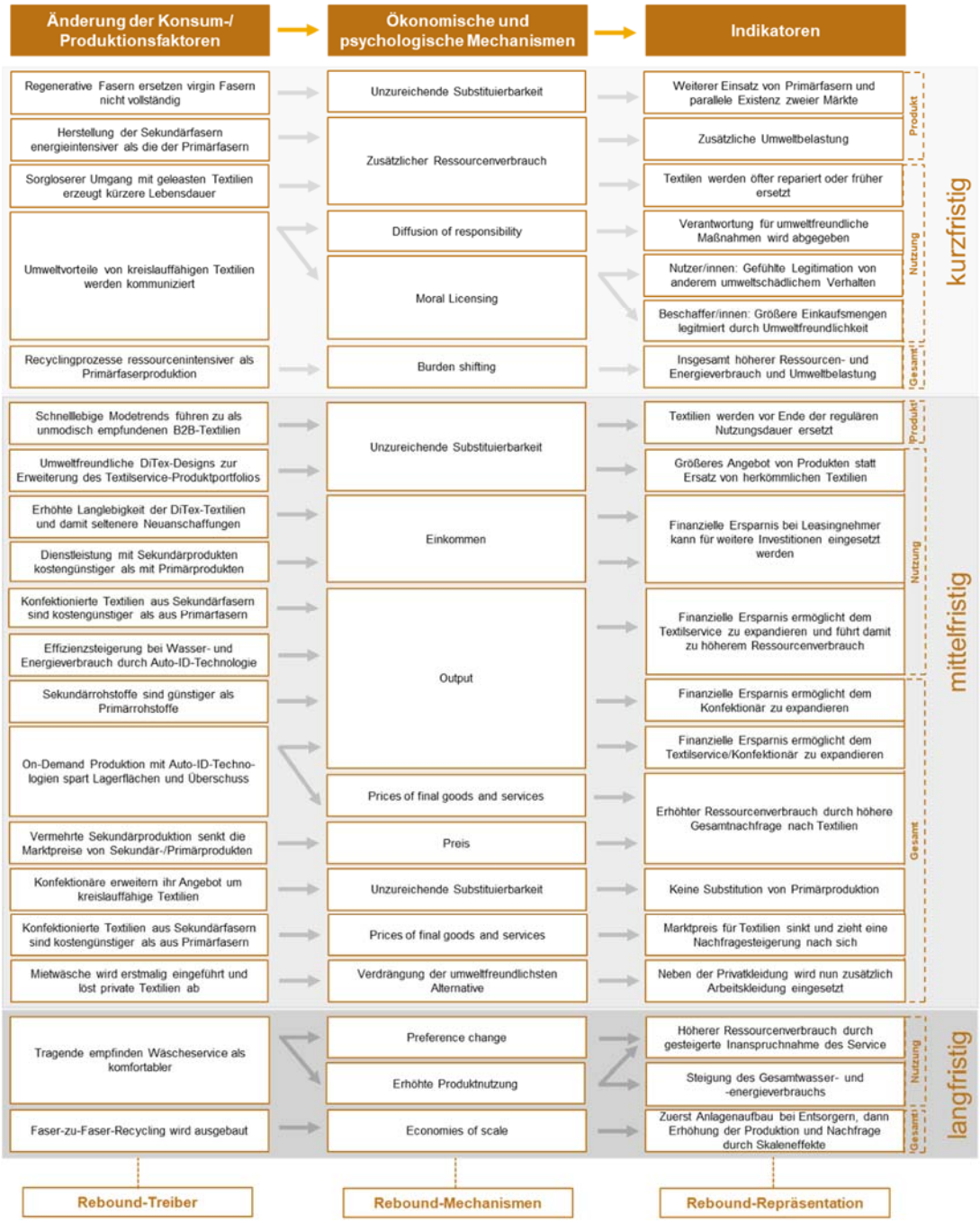


Abbildung 24: Übersicht über mögliche kurz-, mittel- und langfristige Rebound-Effekte im DiTex-Projekt und darüber hinaus

Für eine kreislauffähige Textilwirtschaft lassen sich v. a. unter Einbezug der Übersichts-Ökobilanzergebnisse (siehe Kapitel 1.5.2.4) folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

1. Konventionelle Textilien ersetzen: Die neuen, kreislauffähigen Textilien dürfen keine Erweiterung des bisherigen Produktportfolio sein, wenn die Ressourceneinsparungen maximiert werden sollen. Grund ist, dass mit einer Erweiterung des Produktportfolios im Grunde weitere Märkte für die Produkte und ihre Rohstoffe entsteht und so die Nachfrage insgesamt steigen könnte. Damit die kreislauffähigen Textilien die bisherigen ersetzen können, müssen sie

hinsichtlich Komfort, Langlebigkeit, Faserabrieb usw. qualitativ gleichwertig sein und an dieselbe Kundschaft vermarktet werden.

2. Preise stabil halten und finanzielle Einsparungen richtig einsetzen: Wie Abbildung 24 bereits verdeutlicht, hängen viele Rebound-Effekte mit Preis- oder Einkommensmechanismen zusammen. Deswegen sollte sowohl die recycelten Rohstoffe als auch die kreislauffähigen, gewerblichen Textilien nicht günstiger als ihre konventionellen Pendants angeboten werden. Grund ist, dass Unternehmen finanzielle Einsparungen häufig so investieren, dass letztlich mehr Ressourcen verbraucht werden.

3. Textilien schonen, reparieren und sparsam einsetzen: Die Übersichtsökobilanzen (Kapitel 1.5.2.4) zeigen deutlich, dass die Lebensdauer der Textilien stark mit deren Umweltlasten zusammenhängt. Textilien sind umso langlebiger, je besser sie gepflegt, geschont und wo nötig und möglich repariert werden. Im Sinne eines suffizienten Umgangs sollten zudem nicht mehr Textilien als nötig eingesetzt werden, auch wenn sie nun recycelbar sind.

Die hier dargestellten Ergebnisse sind ausführlicher im integrativen Forschungsbericht (siehe Kapitel 5.7.4) dargestellt, wurden in die Untersuchung des Textilservice-Geschäftsmodell und der dazugehörigen Ableitung von Handlungsempfehlungen integriert (siehe Kapitel 0) und sind in das Fact Sheet „Keine halben Sachen: Rebound-Effekte bei zirkulären Miettextilien vermeiden“ (AP Dissemination) eingeflossen.

1.9.2 Betrachtung der Nutzungsdauer von Leasing-Textilien

Eine möglichst lange Nutzungsdauer von Textilien wird als ein integraler Bestandteil der Circular Economy im Textilsektor gesehen. Werden Textilien lange im Nutzungskreislauf gehalten, lassen sich in der Theorie Abfallmengen und Neuproduktionen reduzieren und ein verbesserter ökologischer Fußabdruck erreichen.

In der Literatur wird darüber diskutiert, wie die Nutzungs- bzw. Lebensdauer von Textilien sinnvoll beschrieben werden kann (vgl. Klepp et al. 2020; Piippo et al 2022). Dies umfasst Definitionen der Begrifflichkeiten (z.B. Lebensdauer oder Qualität) sowie die Fragstellung, welche Einheiten für die Beschreibung relevant sind und wie sich diese bestimmen lassen. So eignen sich Waschversuche mit Angabe der maximal möglichen Pflegezyklen für eine Beschreibung der technischen, intrinsischen Eigenschaften von Textilien. Sie sagen aber nur bedingt etwas über die reale Nutzungsdauer und den Umgang des Nutzers mit dem Textil aus. Dies steht auch im Zusammenhang mit den verschiedenen Einflussfaktoren, die die Nutzungsdauer in der Praxis begrenzen und die zunehmend im Fokus des Interesses stehen.

Es ist schwierig, eine Angabe zur durchschnittlichen Nutzungsdauer bzw. den Nutzungszyklen von Textilien in der Praxis zu machen, da wenig belastbare Daten aus der Praxis vorliegen und diese stark von der jeweiligen Anwendung abhängen. So ist die Gebrauchsbelastung für ein Shirt, das in der Bäckerei zum Einsatz kommt, höher als für ein Shirt, das im Büro getragen wird. Im Rahmen der Projektarbeit wurde eine Recherche über die Nutzungsdauer von Leasing-Textilien in der Praxis durchgeführt und eruiert, inwieweit sich die Daten auf die DiTex-Textilien übertragen lassen. Die Überlegungen dienten als Basis für die ökobilanziellen Berechnungen, die im Projekt durchgeführt wurden. Sie sind im Arbeitspapier DiTex zusammengefasst.

Die Nutzungsphase der DiTex-Textilien wurde im Rahmen der Praxistests erprobt, wobei die Leasing-Eignung sowohl aus Sicht der Nutzer*innen als auch hinsichtlich ihrer Qualität im Fokus stand. Das Ende der Nutzungsphase bzw. die reale Nutzungsdauer konnte aufgrund der begrenzten Zeitkapazitäten, die innerhalb eines Forschungsprojekts zur Verfügung stehen, nicht erreicht werden. Dennoch konnten wertvolle Erkenntnisse gesammelt werden hinsichtlich relevanter Einflussfaktoren, die die Nutzungsdauer begrenzen. So zeigte der Praxistest der Polizei-Hemden, dass Verfleckungen in der Anwendung für weiße Oberbekleidung relevant sind und zu einem vorzeitigen Aussortieren von Textilien führen. Es bedarf weiterer Untersuchungen zu der Fragestellung, inwieweit das Textil selbst mit seinen intrinsischen Eigenschaften die Nutzungsdauer begrenzt bzw. in welchem Umfang weitere äußere Einflussfaktoren eine Rolle spielen.

1.9.3 Webseite

Die wesentlichen Beiträge und Ergebnisse des Vorhabens wurden auf der Webseite des Vorhabens zum freien und kostenlosen Download bereitgestellt: https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de . Dies betrifft insbesondere:

- Fact Sheets,
- Hintergrundmaterial zu den Fact Sheets,
- Vorträge,
- Veröffentlichungen.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wie im Verwendungsnachweis dargestellt wird, konnte das Projekt im Rahmen des Gesamtbudgets durchgeführt werden.

Eine mittelneutrale Verlängerung des Vorhabens um sechs Monate, war insbesondere durch die Verzögerungen aufgrund der COVID 19 Pandemie und den damit einhergehenden veränderten zeitlichen Bedarfe in dem Praxistest notwendig.

Für Details siehe die zahlenmäßigen Nachweise der Verbundpartner.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Antrag des Vorhabens DiTex genannten Ziele wurden durch die Umsetzung des Arbeitsprogramms vollumfänglich erreicht. In Zusammenarbeit mit den Praxispartnern entstanden bleibende und weiter verbreitbare Produkte. Das Vorhaben wäre ohne die finanzielle Projektförderung durch das BMBF nicht durchgeführt worden.

4 Verwertbarkeit des Ergebnisses

In dem Projekt wurden Ziel- und Orientierungswissen erzeugt, das unmittelbar von den Verbundpartnern des Vorhabens DiTex genutzt werden kann. Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende und die wissenschaftliche sowie wirtschaftliche Anschlussfähigkeiten werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Forschungspartner **IÖW, ifeu, Hochschule Reutlingen** als Lehr- und Forschungsinstitution sowie Hohenstein **Institut für Textilinnovation** (HIT) streben als gemeinnützige Forschungsinstitute keine wirtschaftliche Verwertung des Projektergebnisses an.

Die beteiligten Unternehmenspartner nutzen die Ergebnisse und Dienstleistungen im Rahmen ihrer jeweiligen Geschäftspolitik weiter.

Die Firma **Dibella** hat die neu entwickelte Qualität in ihr Produktsortiment aufgenommen. Es ist ein deutlich gestiegenes Interesse aller Marktteilnehmer gegenüber dem Thema Nachhaltigkeit spürbar. Dibella ist Mitinitiator und Gründungsmitglied der Genossenschaft CIBUTEX mit dem Ziel „circularity through cooperation“. Es werden B2B-Alttextilien zurück in den Textilkreislauf geführt und so für eine nachhaltigere textile Lieferkette gesorgt. Dieses Engagement hat die DBU veranlasst, das Förderprojekt „Förderinitiative Circular Economy (FI-CE)“ – Aufbau geschlossener Kreisläufe für B2B-Textilien aus Baumwoll-Polyester-Mischungen auf der Basis chemischen Upcyclings zu genehmigen. Hier wird Dibella u.a. mit der Universität Reutlingen und der Hochschule Niederrhein zusammenarbeiten, um ein effizientes Recycling zu gewährleisten und die recycelten Materialien einem dritten Leben zuzuführen. Dibella wird versuchen, die Lebensdauer seiner Produkte zu verlängern, indem es auf Basis der vom ifeu entwickelten Lebenszyklusanalyse, seine Kunden auf die Vorteile einer längeren Lebensdauer aufmerksam macht.

Die Firma **Weishäupl** wird die Projektergebnisse bei zukünftigen Angeboten und Produktentwicklungen berücksichtigen. Dies bezieht sich in besonderem Masse auf die Auswahl der Materialien und auf das Produktdesign. Die Verwendung von nachhaltigen und langlebigen Geweben und Zutaten wird dabei ebenso an Bedeutung gewinnen wie die Materialzusammensetzung, um Textilrecycling und die damit verbundene Wiederverwertbarkeit der eingesetzten Rohstoffe grundsätzlich zu ermöglichen. Es werden zukünftig vermehrt nachhaltige Gewebe und Zutaten aus recyceltem Polyester und Biobaumwolle zum Einsatz kommen. Für die Gewährleistung einer möglichst langem Einsatzdauer ist ein hoher Polyesteranteil zielführend. Die Vermeidung von Mischgeweben, d.h. der Einsatz von einer Qualität bei Material und Zutaten, sowie ein reduziertes Produktdesign kann einen energieeffizienten Recyclingprozess und somit eine Wiederverwertung der eingesetzten Rohstoffe ermöglichen.

4.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

4.2.1 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

- Die Arbeiten zur Kreislaufführung von Textilien sind ein wichtiger Impuls im Kontext der EU und der deutschen Entwicklung einer Circular Economy. Gerade die Textilindustrie spielt eine stofflich und energetisch wichtige Rolle, um einen Übergang von einem linearen zu einem zirkulären Wirtschaften zu erreichen und die Möglichkeiten einer Transformation zu belegen. Die im Vorhaben zusammengetragenen Erkenntnisse zur Bedeutung der gewerblichen Textilien können für weitere konzeptionelle Arbeiten zur Transformation der textilen Wertschöpfungskette herangezogen werden und die Aufgabenteilung im Sinne einer umfassenden Governance durch verschiedene Akteure herausgearbeitet werden.

- Die Arbeiten zum Textilservice-Geschäftsmodell tragen zum wissenschaftlichen Diskurs zu Sustainable Business Models, Circular Business Models und Product-Service-Systems bei. Die Analysen konnten für ein bisher unzureichend untersuchtes Anwendungsfeld (B2B-Vermietung von Textilien) zum einen zeigen, inwiefern das bestehende Geschäftsmodell zu Nachhaltigkeit beiträgt und zum anderen, wie es für zum Ausbau der Nachhaltigkeitspotenziale weiterentwickelt werden müsste.

- Die Rolle des B2B-Sektors im Zuge einer Markttransformation wurde bisher wenig untersucht. Gewerbliche und öffentliche Großverbraucher spielen jedoch eine entscheidende Rolle bei einer Markttransformation. Durch ihre Nachfragemacht können sie auf der Angebotsseite Anpassungen initiieren und damit das Marktgeschehen in Richtung Nachhaltigkeit anstoßen.

- Die Abschätzung von Rebound-Risiken half dabei, die anvisierten Effizienzmaßnahmen vor dem Hintergrund bekannter Forschungsergebnisse zu reflektieren. In der Beschäftigung mit möglichen Rebound-Treibern wurde eine Vielzahl an Hypothesen generiert, die im laufenden Projekt nur zu Teilen berücksichtigt werden konnten. Künftige Forschung zur Förderung einer zirkulären Textilindustrie sollte die Hypothesen aufgreifen und untersuchen.

- Die textiltechnologischen und spektroskopischen Untersuchungen tragen zu einem besseren Verständnis der Eigenschaften von Recycling- und Regeneratfasern bei. Insbesondere für den Leasing-Bereich ist der Einsatz und die Eignung der Fasern bisher nicht ausreichend erprobt. Weitere Forschungsarbeiten bzgl. der Qualität und Funktionalität – insbesondere im direkten Vergleich mit Primärfasern – sind notwendig, um die Daten zu komplementieren und mögliche Einsatzbereiche für verschiedene Recycling- und Regeneratfasern zu ermitteln.

- Besonderes Augenmerk wird auf Betreiben der Industriepartner auf online Qualitätsmessungen sowie auf sichere und schnelle Sortierung der Alttextilien im B2B Bereich gelegt. In der Weiterentwicklung auf diesem Feld wird ein Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung des Einsatzes von KI (künstlicher Intelligenz) gelegt. Das Ziel es, den Prozess effizienter, zuverlässiger und sicherer zu machen.

- Die Arbeiten zum Design und Lastenheft der DiTex-Textilien halfen dabei, die bestehenden Qualitätsstandards für Leasingtextilien zu überdenken und Konzepte für deren Weiterentwicklung zu erarbeiten. Insbesondere vor dem Hintergrund der veröffentlichen EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien besteht hier deutlicher Entwicklungsbedarf:
  - Zum einen betrifft dies einzelne Prüfkriterien und -methoden in den Standards, die hinsichtlich ihrer Relevanz überprüft werden sollten. So ist nicht vollständig geklärt, welche Bedeutung die verschiedenen Prüfkriterien für die Beschreibung der Langlebigkeit haben und/oder ob weitere Methoden zur Beschreibung geeignet sind. Es besteht Forschungsbedarf bzgl. der Definition, Erfassung und Bewertung der Begriffe Qualität und Langlebigkeit.
  - Zum anderen geht es um eine mögliche Erweiterung der Standards um kreislaufrelevante Anforderungskriterien. Während sich die Standards aktuell auf die Gebrauchstauglichkeit konzentrieren, fehlen konkrete Kriterien hinsichtlich der Kreislauffähigkeit, z.B. Recyclingfähigkeit oder Reparierbarkeit. Das Zusammenbringen der Aspekte Leasing-Eignung und Recyclingfähigkeit stellte hier eine besondere Herausforderung dar. Es besteht Forschungsbedarf zu der Fragestellung, inwieweit sich die beiden Kriterien beeinflussen und wie sie für bei Einführung von Ökodesign-Anforderungen gewichtet werden können. Daneben existieren keine etablierten Prüf- und Bewertungsmethoden für weitere kreislaufrelevante Kriterien wie die Reparierfähigkeit.
- Die Praxistests lieferten Erkenntnisse zur Nutzungsphase der Textilien, wobei der Schwerpunkt auf der Bewertung der Performance lag. Es besteht weiterer Forschungsbedarf zu der Fragestellung, welche Nutzungsdaten (z.B. Nutzungsintensität) von Relevanz sind und erfasst werden sollten und inwieweit diese im Design-Prozess für eine möglichst lange Nutzungsdauer berücksichtigt werden können.
- Die Forschungsergebnisse werden in die Lehrveranstaltungen der Hochschule Reutlingen einbezogen, um den Studierenden eine aktuelle und relevante Ausbildung für ihre künftige Laufbahn zu bieten. Dies trägt dazu bei, gut informierte Fachkräfte hervorzubringen, die mit den Fähigkeiten und Kenntnissen ausgestattet sind, die für den Erfolg in ihrem jeweiligen Bereich erforderlich sind.
- Die Ergebnisse der ökologischen Bewertung auf der Basis von Ökobilanzmethoden zeigen die besondere Bedeutung als wichtiges Element der Nachhaltigkeitsbewertung. Die in diesem Projekt eingesetzten methodischen Besonderheiten bieten zukünftig in weiteren Projekten die Möglichkeit, auf analoge Art und Weise entsprechende Fragestellungen in der Textilindustrie zu beantworten.

4.2.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Ergebnisse finden Eingang in weitere FuE-Anträge der beteiligten wissenschaftlichen Verbundpartner.

Die **Hochschule Reutlingen** ist eine öffentliche Einrichtung und in erster Linie eine Bildungseinrichtung für den Nachwuchs in Wirtschaft und Gesellschaft. Das bedeutet, dass

Forschungsprojekte an einer staatlichen Hochschule nicht auf wirtschaftlichen Nutzen oder Gewinn ausgerichtet sind. Erkenntnisse, die aus dem Projekt DiTex resultieren, können von der Textil- und Bekleidungsindustrie genutzt werden. Die Hochschule Reutlingen hat kein finanzielles Interesse an der Verwertung der Ergebnisse, trägt jedoch durch den Transfer von Wissen zur wirtschaftlichen Entwicklung in der Textil- und Bekleidungsindustrie sowie deren Umfeld bei.

Dies gilt in gleichem Maß für das **ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH**, das heißt, die Forschungsprojekte sind nicht auf wirtschaftlichen Nutzen oder Gewinn ausgerichtet und das ifeu-institut hat kein finanzielles Interesse an der Verwertung der Ergebnisse.

Gleiches gilt für **das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH**. Die Forschungsprojekte sind nicht auf wirtschaftlichen Nutzen oder Gewinn ausgerichtet. Das IÖW hat kein finanzielles Interesse an der Verwertung der Ergebnisse. Im Rahmen seiner Forschungen begleitet das IÖW den Transfer von FuE-Projektergebnissen in die Praxis.

Das **Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH** ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die keine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse anstrebt. Im Rahmen von Forschungsprojekten unterstützt das HIT den Wissenstransfer in die Wäscherei- und Textilbranche.

Aus Sicht der beteiligten Unternehmen Dibella und **Wilhelm Weishäupl** sollen die Ergebnisse nach Maßgabe der unternehmensinternen Überlegungen Eingang in die Geschäftsprozesse der beteiligten Praxispartner finden.

5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

5.1 Kreislaufwirtschaft und Textilien

Die Kreislaufwirtschaft wurde während der Projektlaufzeit intensiv diskutiert. Im politischen Raum wurde durch die Arbeiten der Europäischen Kommission zur Circular Economy (EC 2020)[15] der Bereich Textilien als eines der bevorzugt thematisierten Anwendungsfelder benannt. Die Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien (2022[16] der EU sieht verpflichtende Mindestanteile von Recyclingfasern für Textilien vor, eine Kontrolle des Exports von Textilabfällen aus der EU, ein Recht auf Reparatur sowie eine erweiterte Herstellerverantwortung. Außerdem soll ein digitaler Produktpass eingeführt werden. Durch die überarbeitete EU-Abfallrichtlinie wird die getrennte Sammlung von Textilien ab 2025 verpflichtend.

[15] EC (2020) A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, COM(2020) 98 final.

[16] Europäische Kommission (2022): EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien, COM(2022) 141 final. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9d2e47d1-b0f3-11ec-83e1-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF

Seitens der wissenschaftliche Debatte sind während der letzten Jahre eine Reihe von unterschiedlichen Veröffentlichungen erstellt worden, etwa die zur ökologischen Bewertung von Textilien (vgl. Kapitel 5.4) oder zu Recyclingtechnologien (vgl. Kapitel 5.5). Stellenwert und Relevanz einer zirkulären Textilwirtschaft entlang der Wertschöpfungskette sowie Aktivitäten unterschiedlicher Akteure[17] wurden in einer Reihe von Publikationen thematisiert, dazu gehören unter anderem:

- Boiten, Valérie (2022): Building a circular economy for textiles supported by common rules on Extended Producer Responsibility (EPR) in the EU. Recommendations and open questions for the upcoming revision of the EU Waste Framework Directive (WFD). Ellen MacArthur Foundation
- Chen, X., Memon, H. A., Wang, Y., Marriam, I., & Tebyetekerwa, M. (2021). Circular Economy and sustainability of the clothing and textile Industry. Materials Circular Economy, 3, 1-9; doi: 10.1007/s42824-021-00026-2.
- Duhoux, Tom, Edwin Maes, Martin Hirschnitz-Garbers, Karolien Peeters, Lise Asscherickx, Maarten Christis, Birgit Stubbe, Philippe Colignon, Mandy Hinzmann, Anurodh Sachdeva (2021): Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling Luxembourg: Publications Office of the European Union
- Eunomiam (2022): Driving a circular economy for textiles through EPR, 2022.
- Furferi, R.; Volpe, Y.; (2022): Mantellassi, F. Circular Economy. Guidelines for the Textile Industry. Sustainability 2022, 14, 11111. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3390/su141711111
- Gimkiewicz, Jan (2022): Die Rolle der Langlebigkeit und der Nutzungsdauer für einen nachhaltigen Umgang mit Bekleidung. Eine Studie zum aktuellen Forschungsstand. Dessau: UBA Texte 112/2022
- Gözet, B., Wilts, H. (2022): Die Kreislaufwirtschaft als neues Narrativ für die Textilindustrie: eine Analyse der textilen Wertschöpfungskette mit Blick auf Deutschlands Chancen einer kreislaufwirtschaftlichen Transformation. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal. https://doi.org/10.48506/opus-7999 (Gözet & Wilts, 2022).
- Guo, Z., Eriksson, M., de la Motte, H., & Adolfsson, E. (2021). Circular recycling of polyester textile waste using a sustainable catalyst. Journal of Cleaner Production, 283, 124579; Verfügbar unter: doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124579.
- Boiten, V. (2022): Building a circular economy for textiles supported by common rules on Extended Producer Responsibility (EPR) in the EU. Recommendations and open questions for the upcoming revision of the EU Waste Framework Directive (WFD). Isle of Wight, UK: Ellen MacArthur Foundation, Verfügbar unter: https://ellenmacarthurfoundation.org/extended-producer-responsibility-for-textiles
- Chen, X.; Memon, H. A.; Wang, Y.; Marriam, I. & Tebyetekerwa, M. (2021): Circular Economy and sustainability of the clothing and textile Industry. In: Materials Circular Economy, 3, 12, S. 1-9. Verfügbar unter: doi/10.1007/s42824-021-00026-2. https://link.springer.com/article/10.1007/s42824-021-00026-2

[17] Auf Veröffentlichungen zum Thema Geschäftsmodelle wird im Kapitel 5.3 eingegangen.

- Duhoux, T.; Maes, E.; Hirschnitz-Garbers, M.; Peeters K.; Asscherickx, L.; Christis, M.; Stubbe, B.; Colignon, P.; Hinzmann, M. & Sachdeva, A. (2021): Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling – Final report. Luxembourg: European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Publications Office of the European Union. Verfügbar unter: https://data.europa.eu/doi/10.2873/828412 .

- Furferi, R.; Volpe, Y. & Mantellassi, F. (2022): Circular Economy Guidelines for the Textile Industry. In: Sustainability, 14, 11111, S. 1-20. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3390/su141711111 .

- Gimkiewicz, J.; Depireux, S.; Spengler, L. & Zietlow, B. (2022): Die Rolle der Langlebigkeit und der Nutzungsdauer für einen nachhaltigen Umgang mit Bekleidung - Eine Studie zum aktuellen Forschungsstand. Dessau-Roßlau, Deutschland: Umweltbundesamt (UBA), Texte 112/2022. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-10-19_texte_112-2022_langlebigkeit-bekleidung_bf.pdf

- Gözet, B., Wilts, H., & Demandt, M. (2022): Die Kreislaufwirtschaft als neues Narrativ für die Textilindustrie: eine Analyse der textilen Wertschöpfungskette mit Blick auf Deutschlands Chancen einer kreislaufwirtschaftlichen Transformation. Wuppertal, Deutschland: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Zukunftsimpulse 23. Verfügbar unter: https://doi.org/10.48506/opus-7999

- Guo, Z., Eriksson, M., de la Motte, H., & Adolfsson, E. (2021): Circular recycling of polyester textile waste using a sustainable catalyst. In: Journal of Cleaner Production, 283, 124579. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124579

- Kienberger, T.; Mobarakeh, M. R.; Lachner, E.; Nagovnak, P.; Pomberger, R.; Haslauer, P. & Nigl, T. (2022): Systematisches Zusammenwirken von Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Österreichischen Industrie. Leoben, Österreich: Österreichischer Rat für Forschung und Technologieentwicklung (ÖRFTE). Verfügbar unter: https://fti-monitor.rfte.at/docs/pdf/S260062.pdf

- Kim, I., Jung, H. J., & Lee, Y. (2021): Consumers' Value and Risk Perceptions of Circular Fashion: Comparison between Secondhand, Upcycled, and Recycled Clothing. In: Sustainability, 13(3), 1208, S. 1-23. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3390/su13031208 .

- Köhler, A.; Watson, D.; Trzepacz, S.; Löw, C.; Liu, R.; Danneck, J.; Konstantas, A.; Donatello, S. & Faraca, G. (2021): Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector – Final Report. EUR 30734 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Verfügbar unter: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC125110/jrc125110_ce_perspectives_for_eu_textiles_tr_10.06.2021_final.pdf

- Long, T., Lee-Simion, K., Connock, T., Sherrington, C. (2022): Driving a circular economy for textiles through EPR. Final Report. Bristol, UK: Eunomia. Verfügbar unter: http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2022/03/Driving-a-CE-for-Textiles-through-EPR-Final-Report-v2.0.pdf.

- Manshoven, S., Christis, M., Vercalsteren, A., Arnold, M., Nicolau, M., Lafond, E., Mortensen, L., Coscieme, L. (2019): Textiles and the environment in a circular economy. Eionet Report - ETC/WMGE 2019/6. Mol, Belgien: European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy. Verfügbar unter: https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/textiles-and-the-environment-in-a-circular-economy/@@download/file/ETC-WMGE_report_final%20for%20website_rev20221118.pdf
- Reike, D.; Hekkert, M. P. & Negro, S. O. (2023): Understanding circular economy transitions: The case of circular textiles. In: Business Strategy and the Environment, 32(3), S. 1032-1058. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1002/bse.3114
- Saha, K., Dey, P. K., & Papagiannaki, E. (2021): Implementing circular economy in the textile and clothing industry. In: Business Strategy and the Environment, 30(4), 1497-1530. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1002/bse.2670
- Wagner, M. M. & Heinzel, T. (2022): Human Perceptions of Recycled Textiles and Circular Fashion: A Systematic Literature Review. In: Sustainability, 12(24), 10599, S. 1-28. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3390/su122410599
- Watson, D.; Aare, A. K.; Trzepacz, S.; Dahl Petersen, C. & Miljø, P. (2018): Used Textile Collection in European Cities. Study commissioned by Rijkswaterstaat under the European Clothing Action Plan (ECAP), 1-86. Dänemark: Ministry of Infrastructure and Water Management. LIFE14 ENV/UK/00257. Verfügbar unter: http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/07/ECAP-Textile-collection-in-European-cities_full-report_with-summary.pdf

Diese Veröffentlichungen verweisen insgesamt auf die stoffliche Bedeutung der Textilwirtschaft hinsichtlich verschiedener Indikatoren (wie Treibhausgase, Abfallaufkommen, Rohstoffeinsatz). Daneben werden auch die Möglichkeiten und Herausforderungen eines Übergangs von einer linearen zu einer zirkulären Wertschöpfungskette thematisiert.

5.2 Qualitätstests von Textilien

Vor dem Hintergrund der im März 2022 veröffentlichen EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien ist das Thema Qualität stärker in den Fokus geraten. Laut einer Veröffentlichung des Umweltbundesamts aus 2022 ist der Begriff Qualität in der Bekleidungsbranche aktuell nicht eindeutig definiert. Unternehmen arbeiten in der Regel mit eigenen Prüfkonzepten und Qualitätsstandards, die meist nicht öffentlich verfügbar sind. Das Verständnis von Qualität unterscheidet sich daher je nach Stakeholder und Produkt. In der deutschen Normungsroadmap Circular Economy aus 2023 wird auf das Fehlen von allgemein gültigen Mindestanforderungen an die Qualität von Textilien verwiesen und ein Bedarf für Standards festgestellt. Diese könnten dabei helfen, Produkte objektiv zu vergleichen und minderwertige Ware aus dem Markt zu verdrängen. Über das OVAM (public waste Agency of Flanders) wurden erste Kriterien für Ökodesign-Anforderungen an Textilien erarbeitet, die als ein Vorschlag für Qualitätsstandards diskutiert werden können. Auch in der Fachliteratur wird Qualität und Langlebigkeit hinsichtlich Definition, Kriterien und Messbarkeit im Kontext der Circular Economy diskutiert (z.B. Klepp et al. 2020, Piippo et. al. 2022). Zur Umsetzung der EU-Textilstrategie beschäftigen sich verschiedene Fachgruppen aktuell mit

der Definition von Begrifflichkeiten (u. A. Projekt Nr. 173705 „Die Umsetzung der EU-Textilstrategie – Begriffsbestimmungen und Definitionen als Grundlage für die Ableitung möglicher Ökodesignanforderungen“) sowie der Ableitung von konkreten Anforderungen an typische Alltagskleidung, z.B. hinsichtlich der Haltbarkeit (Öko-Institut). Trotz der zunehmenden Aktivitäten zu Qualitätskriterien während der Projektlaufzeit sind bis dato keine allgemein gültigen Qualitätsanforderungen bekannt geworden. Die drei Veröffentlichungen beziehen sich auf Bekleidung im privaten Bereich, die aufgrund des hohen Verbrauchs und der z.T. geringen Nutzung (Fast Fashion) im Fokus der öffentlichen Diskussion steht.

Leasing-Textilien im industriellen Bereich werden in der aktuellen Debatte nicht bzw. kaum adressiert. Dies liegt vor allem daran, dass die Qualität von Leasing-Textilien aufgrund der hohen angestrebten Nutzungsdauer per se einen zentralen Stellenwert besitzt. Die Hohenstein Qualitätsstandards gelten seit vielen Jahren als Branchenstandard für die Qualität von Leasing-Textilien. Es sind keine weiteren Standards in diesem Geschäftssegment bekannt, die während der Projektlaufzeit veröffentlicht wurden.

5.3 Geschäftsmodelle

Das im Projekt schwerpunktmäßig betrachtete Textilservice-Geschäftsmodell kann einerseits als Circular Business Model, andererseits als Product-Service System gefasst werden. Teilweise werden Product-Service Systems auch als ein Archetyp zirkulärer Geschäftsmodelle verstanden (Pieroni et al., 2020). Während des Projektzeitraums ist der wissenschaftliche Diskurs zu beiden Geschäftsmodelltypen stark angewachsen – insbesondere zu Circular Business Models wurden viele Forschungsarbeiten veröffentlicht. Zu nennen sind hier in erster Linie Übersichtsarbeiten zu

- Circular Business Models (Fraccascia et al., 2021; Geissdoerfer et al., 2020; Henry et al., 2020; Lüdeke-Freund et al., 2019; Rosa et al., 2019),
- ihrer Implementierung sowie assoziierten Erfolgsfaktoren und Barrieren (Hina et al., 2022; Sarja et al., 2020) und
- Business Model Innovation für die Circular Economy (Bocken et al., 2019; Pieroni et al., 2019a; Takacs et al., 2020).

Daneben sind auch einige Arbeiten erschienen, auf welche Art und Weise Product-Service Systems zu einer Circular Economy beitragen können (Kjaer et al., 2019; Pieroni et al., 2019b; van Dam et al., 2021).

Es gibt einen kleineren Anteil an Forschungsarbeiten, die sich explizit(er) mit zirkulären Geschäftsmodellen in der (B2C-)Textilindustrie beschäftigen. Beispielsweise listen de Aguiar Hugo et al. (2021) verschiedene unternehmerische Initiativen und Aktivitäten, die Potenzial haben zu zirkulären Geschäftsmodellen in der Textilindustrie weiterentwickelt zu werden. Sandberg und Hultberg (2021) konkretisieren, wie Textilunternehmen dies mithilfe ihrer dynamischen Fähigkeiten realisieren und zirkuläre Geschäftsmodelle skalieren könnten.

Das Vermieten, Verleihen und Leasing von Textilien findet sowohl im B2C- als auch im B2B-Bereich statt. Für den B2C-Markt wurde beispielsweise eine Taxonomie an Textilverleihunternehmen entwickelt (Gyde & McNeill, 2021), es wurden digitale Verleihplattformen (Arrigo, 2021) und deren Nachhaltigkeitskommunikation (McCoy & Chi, 2022) analysiert, Akzeptanzfragen untersucht (Clube & Tennant, 2020) und ökobilanzielle

Untersuchungen angestellt (Johnson & Plepys, 2021; Monticelli & Costamagna, 2022). Aber auch für den B2B-Markt erschienen während der Projektlaufzeit weitere Forschungsarbeiten, die die DiTex-Befunde stützen. Im Sommer dieses Jahres wurde eine Studie publiziert, die das Bestandsmanagement in der Vermietung gewerblicher Textilien für den Gesundheitssektor untersucht (Kumar et al., 2022). Sie kommt zu dem Schluss, dass der Textilservice nicht nur monitoren sollte, wie viele Textilien pro Monat ausgeliefert und abgeholt werden, sondern auch ob jedes einzelne Textil regelmäßig zurückgegeben wird. Grund hierfür sind die anzustrebende gleichmäßige Abnutzung der Textilien und Hygienebedenken. Dieses Monitoring kann besser gelingen, wenn die Textilien mit Auto-ID-Technologien ausgestattet werden, wie eine weitere Studie zeigen konnte (Alcayaga et al., 2021).

5.4 Methoden und Praxis von Ökobilanzen im Textilbereich

Die Umweltwirkungen der Textilbranche sind in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus der öffentlichen Diskussion gerückt. Ökobilanzierung stellt zur Ermittlung der mit Produktion, Nutzung und Entsorgung bzw. Recycling verbundenen ökologischen Auswirkungen von Textilien eine geeignete Methode dar und wird dementsprechend zunehmend zur ökologischen Bewertung in der Textilbranche genutzt.

Während der Projektlaufzeit wurde eine Reihe an unterschiedlichen Veröffentlichungen zur ökologischen Bewertung von Textilien bzw. Teilaspekten wie Baumwollproduktion, Recyclingverfahren incl. Kreislaufwirtschaft von Textilien oder Chemikalieneinsatz in Wäschereien publiziert. Dazu gehören unter anderem:

- Duhoux, T., Maes, E., Hirschnitz-Garbers, M., Peeters, K., Asscherickx, L., Christis, M., Stubbe, B., Colignon, P., Hinzmann, M., Sachdeva, A. (2021): Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling: final report. Publications Office of the European Union, Luxembourg: https://doi.org/10.2873/828412.
- Hildebrandt, J., Thrän, D., Bezama, A. (2021): The circularity of potential bio-textile production routes: Comparing life cycle impacts of bio-based materials used within the manufacturing of selected leather substitutes. Journal of Cleaner Production, Vol. 287, p. 14. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125470.
- Klorofyll Miljökonsult (2021): Why Textiles win in the long run, Sustainability performance of table linen as compared to disposables. ETSA- European Textile Service, Association Fédération Belge de l'Entretien du Textile (FBT) BE, Textile Services Association (TSA) UK, TRSA USA, Sveriges Tvätteriförbund/Swedish Textile Service Association SE. 22 p.
- Lehmann, A., Roffeis, M., Finkbeiner, M. (2019): Ökobilanzielle Bewertung des Lebensweges eines handelsüblichen weißen Baumwolle T-Shirts in Deutschland. TU Berlin, Berlin. 83 p.
- Levänen, J., Uusitalo, V., Härri, A., Kareinen, E., Linnanen, L. (2021): Innovative recycling or extended use? Comparing the global warming potential of different ownership and end-of-life scenarios for textiles. Environmental Research Letters, Vol. 16, No. 5. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfac3.

- Luo, Y., Wu, X., Ding, X. (2022): Carbon and water footprints assessment of cotton jeans using the method based on modularity: A full life cycle perspective. Journal of Cleaner Production, Vol. 332, p. 130042. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130042.
- Mehlhart, G., Bulach, W., Moch, K., Blepp, M. (2021): Relevanz der gewerblichen Textil- und Geschirrreinigung am Eintrag von Phosphat und anderen Phosphorverbindungen (P) in das Abwasser. In: UBA-Texte, 98/2021, Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Öko-Institut e.V., Darmstadt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-24_texte_98-2021_gewerbliche_phosphateintraege.pdf (Mehlhart et al., 2021).
- Ministry of National Development Planning of the Republic of Indonesia (2021): The economic, social, and environmental benefits of a circular economy in Indonesia. United Nations Development Programme (UNDP) USA, Embassy of Denmark Jakarta ID, Kementerian PPN/Bappenas ID, Jakarta, Indonesia. 205 p. https://lcdi-indonesia.id/wp-content/uploads/2021/02/Full-Report-The-Economic-Social-and-Environmental-Benefits-of-a-Circular-Economy-in-Indonesia.pdf.
- Morris, C. (2021): Study of greenhouse gas emissions of better cotton. Better Cotton Initiative und Anthesis Consulting Group, Vernier, Schweiz; London, Vereinigtes Königreich.
- Rollinson, A. N., Oladejo, J. (2020): Chemical recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts. Global Alliance for Incinerator Alternatives, Berkeley, CA 94704, USA. https://doi.org/10.46556/ONLS4535.

Bei allen Publikationen ist letztlich die Methodik der Ökobilanzierung im engen und erweiterten Sinn die Grundlage für die ökologische Bewertung von Produkten und / oder Verfahren – und zwar in Anlehnung an ISO14040/44/67 (ISO 14067:2019 Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung, 2019; ISO 14040:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, 2021; ISO 14044:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, 2021). Mitunter werden die Analysen aber auch nur für die Treibhausgas-Emissionen/den CO_2-Fußabdruck vorgenommen. Für spezielle Fragestellungen oder Produkte, andere Systemgrenzen sowie weitere Umweltwirkungskategorien kommen in einzelnen Fällen entsprechend auf die Fragestellung angepasste Ansätze zur Anwendung.

Für das DiTex-Vorhaben kann festgehalten werden, dass es für die in DiTex verwendeten Methoden für die ökologische Bilanzierung und damit auch für die erhaltenen Ergebnisse und abgeleiteten Schlussfolgerungen kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn zu verzeichnen war.

5.5 Recyclingtechnologien

Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen mechanischem und chemischem Recyceln von textilen Abfällen:

Beim mechanischen Recycling werden textile Abfälle in kleinere Stücke geschnitten, geschreddert oder gemahlen, um daraus neue Produkte herzustellen. Beim chemischen Recycling werden die Materialkomponenten der Textilien in ihre chemischen

Grundbestandteile (Polymere oder Monomere) zerlegt und können zu neuen textilen Fasern verarbeitet werden.

Obwohl das chemische Recyceln gegenüber dem mechanischen Recyceln mit Herausforderungen wie höheren Kosten und energieintensiven Verfahren verbunden ist, fiel im Projekt die Entscheidung für das chemische Recyceln.

Beim chemischen Recyceln können Textilien aus Fasermischungen verarbeitet werden. Dadurch wird die finale Abfallmenge reduziert, denn die Monomere können wieder polymerisiert werden und so als z.B. Polyester erneut verarbeitet werden.

Die spektroskopischen Untersuchungen der rPES zeigen, dass die Infrarotspektren der recycelten Materialien und der neuen Materialien sehr ähnlich sind und keine signifikanten Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung aufweisen.

Es ist zu erwarten, dass die Produkte aus den chemisch recycelten rPES Fasern die gleichen technischen Eigenschaften aufweisen wie die Produkte aus primären Rohstoffen (Erdöl) und wir somit ein qualitativ hochwertiges Recyclingdurchführen.

Die Zellulosereste wurden ebenfalls spektroskopisch untersucht. Hier führt die Behandlung mit konzentrierter Natriumlauge zu signifikanten Veränderungen im Infrarotspektrum, die auf die stärkere chemische Reaktion mit der Baumwollfaser zurückzuführen ist.

Ob die Zellulosereste aus der Depolymerisation der Fasermischung Baumwolle kbA / rPES für eine weitere Verwertung geeignet sind, kann erst nach zusätzlichen chemischen Analysen entschieden werden.

Bei positiven Ergebnissen der zusätzlichen Analysen kann die entstandene Cellulosepulpe den Cellulosefaserherstellern zur Verfügung gestellt werden, die diese in ihre Faserproduktion integrieren.

Genaue Ergebnisse zur spektroskopischen Untersuchung der recycelten Materialien finden sich in Kapitel 1.7.1.

Durch das chemische Recyceln werden wertvolle Rohstoffe eingespart, die Ressourcen werden geschont und der Bedarf an Primärrohstoffen wird geringer.

Textilrecyclingverfahren für Polyestertextilien sowie das Recycling von zellulose-basierten Textilfasern wie Lyocell sollten unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit sowie der Ressourcen- und Energieeffizienz bis zur Markreife weiterentwickelt werden.

Dabei muss aber auch sichergestellt werden, dass der gesamte Ressourceneinsatz des Recyclingverfahrens nicht höher ist als der zur Produktion von Primärfasern.

Die Nutzung von erneuerbarer Energie (Strom und Wärme) kann die Umweltlast der Textilien signifikant reduzieren. Deswegen gilt es Maßnahmen zu ergreifen, wie in allen Bereichen der gesamten textilen Kette verstärkt erneuerbare Energieträger eingesetzt werden können.

Ein wichtiger Baustein zur Vorbereitung eines guten Textilrecyclings ist die zuverlässige und sortenreine Sortierung der Pre- und Postconsumer Ware sowie große Mengen gleichartiger Alttextilien. Es müssen klar definierte Prozesse und Verfahren für die Sammlung, Sortierung und das Recycling von Alttextilien vorhanden sein. Eine gute Voraussetzung hierfür bietet beispielsweise CIBUTEX, ein Zusammenschluss von Wäschereien, Recyclingunternehmen

und Mietwäschehersteller, die dafür Sorge tragen, dass die Altwäsche in Fraktionen getrennt zum richtigen Recycler gelangt.

Des Weiteren benötigen die Recycler eine gut funktionierende Sortieranlage, die Fehlteile erkennt und aussortiert sowie die Altkleider in Fraktionen trennt. Eine Komponente dazu ist das DBU Projekt „Aufbau KI-gestützter geschlossener Kreisläufe für B2B-Textilien aus Baumwoll-Polyester-Mischungen auf der Basis chemischen Upcyclings“ (Laufzeit 1.1.23-31.12.24)

Nur durch effektive Zusammenarbeit und Koordination aller Beteiligten und die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen kann eine erfolgreiche und nachhaltige Kreislaufwirtschaft realisiert werden.

5.6 Nachhaltigkeitsstandards

Im September 2019 wurde der Grüne Knopf als staatliches Metasiegel für nachhaltige Textilien veröffentlicht. Er wurde unter der Leitung vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung in Zusammenarbeit (BMZ) mit der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) wissenschaftlich entwickelt. Als Metasiegel enthält der Grüne Knopf zum einen Anforderungen an unternehmerische Sorgfaltspflichten und zum anderen ökologische und soziale Mindestanforderungen für die Anerkennung von Siegeln und verspricht ein verlässlicher, gut erkennbarer und weit verbreiteter Indikator für nachhaltige Textilien zu sein. Im Juni 2022 wurde eine überarbeitete Version des Grünen Knopfs veröffentlicht.

Im Januar 2021 stellte die Bundesregierung den “Leitfaden der Bundesregierung für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung” vor. Als Teil des Leitfadens wurde ein Stufenplan zur nachhaltigen Textilbeschaffung erarbeitet, um die Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung der Behörden und Einrichtungen der Bundesverwaltung an dem Leitziel der nachhaltigen Entwicklung zu unterstützen. Der Leitfaden enthält Empfehlungen für ökologische und soziale Anforderungen für die öffentliche Beschaffung von Bekleidungstextilien und Wäsche, Bettwaren und Bettwäsche, sowie Matratzen.

Seit Januar 2022 arbeiten das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN), die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) in einem Multi-Stakeholder-Prozess an der Deutschen Normungsroadmap Circular Economy. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert. Die Normierungsroadmap gibt einen Überblick über aktuelle Standardisierungen in Bezug auf Circular Economy und enthält Empfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung solcher Normen und Standards. Die Produktkategorie Textilien ist dabei ein Schwerpunktthema. Nach der virtuellen Ergebnispräsentation am 19.01.2023 startete die Umsetzung der Normierungsroadmap.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Es kam über die Projektlaufzeit und bis zur Abgabe dieses Schlussberichts zu folgenden Veröffentlichungen:

6.1 Eigene Publikationen

Die gesamten Publikationen des Vorhabens wurden auf der Webseite des Vorhabens und auch auf den Webseiten der jeweils zuständigen Verbundpartner eingestellt. Darüber hinaus dokumentiert die DiTex-Webseite viele Aktivitäten, die hier nicht ausgeführt werden.

Folgende Publikationen sind als eigene zu nennen:

- Gerbig, M. et al. (2022): Kreislaufwirtschaft: Mit gewerblichen Textilien die Textilwende gestalten. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Müller, M. et al. (2022): Circular Economy: Was bedeutet das für die B2B-Textilindustrie? https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Gerbig, M., Nebel, K. (2022): Materialauswahl für die Kreislaufwirtschaft bei gewerblichen Textilien. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Gerbig, M., Müller, M. (2022): Gewerbliche Textilien fit für die Kreislaufwirtschaft machen. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Hecht, K., Gerhardts, A. (2022): Qualitätsstandards für Leasingtextilien in einer zirkulären Textilwirtschaft. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Vogel, C. (2022): Nachhaltigkeitsanalyse der DiTex-Textilien durch Abgleich mit Nachhaltigkeitsstandards. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Senn, J., Gärtner, S., Reinhardt, G. (2022): Ökologische Bewertung von nachhaltigen, kreislauffähigen Textilien. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Schmidt, S. (2022): Recycling: Eine neue Aufgabe für den Textilservice. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Schmidt, S., Rische, M. (2022): Keine halben Sachen: Rebound-Effekte bei zirkulären Miettextilien vermeiden. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Hecht, K., Malzacher, M. (2022): Digitales Tracking in einer zirkulären B2B-Textilwirtschaft - Chancen und Herausforderungen. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Witteveen, M., Hecht, K. (2022): Nutzungsdauer von Arbeitskleidung und Bettwäsche im Textilservice – Marktzahlen und Übertragbarkeit auf DiTex-Textilien. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/

- Müller, R. et al. (2021): Zirkuläre Bettwäsche und Berufsbekleidung – Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Nebel K., Rebner C. (2021), Darstellung des DiTex Projektes im öffentlichen Forschungsbericht der Reutlingen Research Institute (RRI)
- Nebel K., Rebner C. (2020) Pilling Alarm für Bettwäsche, re:search – Das Forschungsmagazin der Hochschule Reutlingen. https://www.reutlingen-university.de/fileadmin/_forschung/research2020.pdf

6.2 Mitarbeit in Veröffentlichungen Dritter

- Schmidt, S., Müller, M. (2023): Potenzial zum Kreislaufschließen. In: R+WTextilservice, Ausgabe 3, 46-48.
- Gerbig, M. (März 2023): Nachhaltiger Umgang mit Textilien, deutscher ingenieurinnenbund e.V. (Hg.), Magazin Die Ingenieurin Nr. 144, Tagungsdokumentation Nachhaltige Gesellschaft - Ingenieurinnen gestalten Innovationen, Darmstadt, ISSN 1868-1859
- Hecht, K., Eine runde Sache - kreislauffähige Textilien für den B2B-Bereich, Newsletter Deutscher Textilreinigungsverband (DTV), Oktober 2022.
- Müller, R. (2021): Textile Kreislaufführung für ressourceneffiziente und nachhaltige Industrieprozesse und -infrastrukturen. In: v. Bonn, C. (Hg.): Trendbook Technical Textiles, Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag, ISBN 978-3-86641-811-0, S. 40 – 42.
- Nebel, K. Vorstellung Projekt DiTex, re:sponsible-Newsletter des IHK Netzwerkes Nachhaltigkeit, Industrie und Handelskammer Reutlingen, September 2021, Newsletter Netzwerk Nachhaltigkeit IHK Reutlingen

6.3 Vorträge, Podiumsdiskussionen und Infostände

- Vortrag Kim Hecht, Kreislauffähige Textilien für den B2B-Bereich – Ergebnisse aus dem Verbundprojekt DiTex, Internationaler Alttextiltag 2023, Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (BVSE), Nürnberg 17.05.2023, https://www.bvse.de/recycling/termine-recycling/9270-17-05-2023-10-internationaler-bvse-alttextiltag.html
- Online Vortrag von Kai Nebel, Mode und Kreislaufwirtschaft – Herausforderungen und Chancen, Fachforum Fashionlogistik, Logistik Heute Huss Verlag, 09.02.2023, Logistik Heute - Fachforum Fashionlogistik
- Vortrag und Workshop von Martina Gerbig: Nachhaltiger Umgang mit Textilien, Jahrestagung 2022 des deutschen ingenieurinnenbundes e.V., Nachhaltige Gesellschaft – Ingenieurinnen gestalten Innovationen, Künzell, 19.11.2022, www.dibev.de

- Vortrag von Martina Gerbig: Kreislaufwirtschaft in der B2B Textilwirtschaft – Herausforderungen und Lösungsansätze, AIM Deutschland Herbstforum 2022, Erfurt, 03.11.2022, https://www.aim-d.de/
- Vortrag von Kai Nebel: Ökologische Aspekte von Textilien, Diakonie Baden-Württemberg, Das Prinzip Verantwortung, Stuttgart, 28.7.2022
- Online Vortrag von Kai Nebel Textile Kreisläufe/Recycling, im Rahmen des Webinar GIZ / CSR-Kompetenzzentrum im Deutschen Caritasverband, 7.4.2022
- Vortrag von Dr. Frieder Rubik: DiTex - Vorläufige Ergebnisse. Konferenz der BMBF-Fördermaßnahme "Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProk) 23./24.06.2022. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Kai Nebel, Martina Gerbig, Poster DiTex und selbstlaufende Präsentation in Endlosschleife, Messestand Reutlingen University, Fakultät Textil & Design, Techtextil, Frankfurt a. Main, 21.-24.6.2022
- Vortrag von Kai Nebel: Nachhaltigkeit in der Textilien Kette am Beispiel B2B Textilien, Hochschule Reutlingen, Referat für Ethik und Nachhaltige Entwicklung, im Rahmen der Ringvorlesung Nachhaltigkeit, 10.05.2022
- Online Vortrag von Kai Nebel *Ist Textilrecycling wirklich sinnvoll?* Friedenskreis Halle e.V. im Rahmen der Fashion Revolution Week, 21.4.2022
- Online Vortrag von Martina Gerbig: DiTex - Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B – Textilwirtschaft, deutscher ingenieurinnenbund e.V, im Rahmen der regelmäßigen Fachvorträge des dib e.V, hier: Regionalgruppe Stuttgart, 06.04.2022.
- Vortrag und Podiumsdiskussion von Kai Nebel: *Die Welt FairBessern – aber wie?* Aktion Hoffnung Rottenburg-Stuttgart / EPIZ / Landratsamt Reutlingen - Entwicklungspolitischen Gesprächsreihe 2022, Reutlingen, 25.03.2022
- Infostand von Martina Gerbig: Vorstellung DiTex-Projekt und DiTEx Textilien, *Die Welt FairBessern – aber wie*, Infobazar zu fairen Textilien, VHS Reutlingen, 26.03.2022
- Vortrag von Kai Nebel: Nachhaltigkeit in der Textilien Kette, Hochschule Reutlingen im Rahmen der Ringvorlesung Nachhaltigkeit, 11.11.2021
- Online Vortrag von Kai Nebel: Was haben Textilien mit Nachhaltigkeit zu tun? Im Rahmen der Klimawoche Kiel – Kampagne für saubere Kleidung und Klima, 17.09.2021
- Online Vortrag von Kai Nebel, Vorstellung Projekt DiTex, Textil im Spannungsbogen zwischen Technologie, Umwelt und Mode, Textilveredlertag, Verband der Deutschen Textilfachleute (VDTF), Reutlingen, 11.06.2021
- Vortrag von Kai Nebel, Vorstellung Projekt DiTex, Weiterbildung für die Textilinustrie: Kreislaufwirtschaft, Recycling, Entsorgung, Knowledge Foundation Reutlingen University, Reutlingen, 14.04.2021

- Online Expertengespräch mit Kai Nebel, Future Fashion Experts Talk, Online Seminar der Stiftung Entwicklungszusammenarbeit Baden-Württemberg, 7.12.2020
- Vortrag von Ria Müller: Enabling Circular B2B-Textiles. Interdisciplinary Circular Economy Conference. 01.12.2020. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Online Podiumsdiskussion mit Kai Nebel, Enabling Circular B2B-Textiles, Circular Economy Conference ICEC) 01.12.2020
- Vortrag von Ria Müller: Nachhaltige Textilbeschaffung des Bundes – Volumina Anforderungen und Ausblick auf textile Kreislaufwirtschaft. Hamburger Vergabetag. 17.01.2020. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/
- Vortrag von Ria Müller: Kreislauffähige B2B-Textilien – Pilotierung und Bewertung von Design, Infrastrukturen und zirkulären Geschäftsmodellen. ReziProk-Auftakt. 10.12.2019. https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/

6.4 Interviews und Beiträge Dritter inkl. Medientreffer

Das Projekt erzielte mindestens 26 Medientreffer in regionalen und überregionalen Medien (vgl. Tabelle 18). Das Pressemonitoring erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 18: Medientreffer von DiTex

Medium	Datum	Headline
bvse.de	06.12.2019	Pilotprojekt „DiTex“ erprobt hochwertiges Textilrecycling https://www.bvse.de/gut-informiert-textil-recycling/nachrichten/5213-pilotprojekt-ditex-erprobt-hochwertiges-textilrecycling.html
biooekonomie.de	09.12.2019	Alte Fasern in neue Textilien verwandeln https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/alte-fasern-neue-textilien-verwandeln
UmweltDialog	10.12.2019	Textilrecycling: Von der Faser zur Faser https://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/circular-economy/2019/Textilrecycling-Von-der-Faser-zur-Faser.php?utm_source=CleverReach+GmbH+&utm_medium=email&utm_campaign=10-12-2019+UmweltDialog-Newsletter+Responsive+Design+2018&utm_content=Mailing_13517663
textile-network.de	19.12.2019	Pilotprojekt „DiTex“ erprobt hochwertiges Textilrecycling https://textile-network.de/de/Technische-Textilien/Fasern-Garne/Pilotprojekt-DiTex-erprobt-hochwertiges-Textilrecycling
Texprocess Blog	30.04.2020	Sechs Ideen für eine textile Post Corona Perspektive, Blogbeitrag von Kai Nebel https://www.texprocess-blog.com/sechs-ideen-fuer-eine-textile-post-corona-perspektive/
Mannheimer Morgen	25.07.2020	Textilien in den Kreislauf bringen https://www.mannheimer-morgen.de/wirtschaft_artikel,-wirtschaft-textilien-in-den-kreislauf-bringen-_arid,1666382.html
VDI Nachrichten	24.08.2020	Mietwäsche aus recycelten Fasern https://www.vdi-nachrichten.com/technik/mietwaesche-aus-recycelten-fasern/
plastverarbeiter	25.08.2020	Design for Recycling in der Kleidungsbranche https://www.plastverarbeiter.de/verarbeitungsverfahren/design-for-recycling-in-der-kleidungsbranche.html
WDR Fernsehen,	14.10.2020 und	Planet Wissen, Unsere Kleidung – wie wird sie ökologischer und fairer?

Medium	Datum	Headline
ARD Mediathek	20.07.2022 (Wiederholung)	ab Minute 40:30 mit Kai Nebel https://www.ardmediathek.de/wdr/video/planet-wissen/unsere-kleidung-wie-wird-sie-oekologischer-und-fairer/wdr-fernsehen/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWI0cmFnLWY4ZjUwMmY4LTFkOWQtNDk2YS1iMzczLTJiOWMzZGMyNzIzYQ/
Klima Arena (@klimaarena7315)	11.12.2020	Online Talk mit Kai Nebel, Mehr Chic, weniger CO_2? Klimatalk, Veranstaltung der Klimaarena Sinsheim. https://www.youtube.com/watch?v=uc1PtgCepfw
WDR 5	30.08.2021	Rettungskräfte in Lippe testen recycelbare Shirts https://www1.wdr.de/nachrichten/westfalen-lippe/rettungswachen-testen-nachhaltige-polohemden-100.html
Lippische Landes-Zeitung	28.08.2021	Rettungskräfte testen "unsterbliche" Poloshirts https://www.lz.de/service/anzeigen/native_ads/native_ads_artikel/23077323_Rettungskraefte-testen-unsterbliche-Poloshirts.html
Kreis Lippe	30.08.2021	Neuartige Faser im Einsatz - Rettungswachen testen nachhaltige T-Shirts https://www.kreis-lippe.de/kreis-lippe/aktuelles/meldungen/fachbereich-umwelt-energie/Neuartige-Faser-im-Einsatz-Rettungswachen-testen-nachhaltige-T-Shirts.php
Lippische Landes-Zeitung	05.09.2021	Neuartige faser im nordlippischen (Blaulicht-)Einsatz https://www.lz.de/lippe/barntrup/23083483_Neuartige-Faser-im-nordlippischen-Blaulicht-Einsatz.html
Westfalen Blatt	09.09.2021	Rettungswachen testen Öko-Shirts [Nur Print]
Radio WDR 5	14.12.2021	Neugier genügt – Kleines Gespräch mit Kai Nebel https://www1.wdr.de/radio/wdr5/sendungen/neugier-genuegt/index.html
WDR Fernsehen, Sendung Markt	12.01.2022	Beitrag zum Thema Textilrecycling und Vorstellung des DiTex-Projekts: Interview mit Christina Klusch (geb. Vogel), Besuch des Praxispartners im Kreis Lippe
Recycling Portal	18.10.2022	Der Kreislauf fängt beim Design an: Neue Recyclingtextilien bestehen Praxistest https://recyclingportal.eu/Archive/75682
R+W Textilservice	18.10.2022	Textiler Kreislauf als Geschäftsmodell (Heft 10/22)
Innovations-report	18.10.2022	Kreislaufwirtschaft: Neue Recycling-Textilien bestehen Praxistest https://www.innovations-report.de/fachgebiete/oekologie-umwelt-naturschutz/kreislaufwirtschaft-neue-recycling-textilien-bestehen-praxistest/
Textiletechnology	20.10.2022	Neue Recycling-Textilien bestehen Praxistest https://www.textiletechnology.net/melliand/trendreports/ditex-neue-recycling-textilien-bestehen-praxistest-33016
Bioökonomie.de	24.10.2022	Recycelbare Berufsbekleidung besteht Praxistest https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/recycelbare-berufsbekleidung-besteht-praxistest
Umweltdialog	02.11.2022	Neue Recycling-Textilien bestehen Praxistest https://www.maschinenmarkt.vogel.de/neue-recycling-textilien-bestehen-praxistest-a-3a6b9841b7bad024415ab60197a6e436/
maschinenmarkt	09.11.2022	Neue Recycling-Textilien bestehen Praxistest https://www.maschinenmarkt.vogel.de/neue-recycling-textilien-bestehen-praxistest-a-3a6b9841b7bad024415ab60197a6e436/
Textile Network	13.12.2022	Neue Recycling-Textilien bestehen Praxistest https://textile-network.de/de/Heimtextilien/Neue-Recycling-Textilien-bestehen-Praxistest
LizzyNet PodCast	25.01.2023	Interviewmit Kai Nebel und Martina Gerbig Besuch des LizzyNet Redaktionsteam am TEXOVERSUM, Fakultät Textil. https://www.lizzynet.de/wws/9.php#/wws/klima-und-klamotten-klappe-auf-podcast.php?sid=93932612569925184932448366100009481320596606630089933867636423643700

7 Literaturverzeichnis

Alcayaga, A., Geyerlechner, H., & Hansen, E. G. (2021). IoT-Driven Reuse Business Models: The Case of Salesianer Textile Rental Services. In A. Aagaard, F. Lüdeke-Freund, & P. Wells (Hrsg.), Business Models for Sustainability Transitions (S. 251–271). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77580-3_9

Arrigo, E. (2021). Digital platforms in fashion rental: A business model analysis. Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 26(1), 1–20. https://doi.org/10.1108/JFMM-03-2020-0044

BMZ (2020). GRÜNER KNOPF-Standard 1.0 Unternehmens- und produktbezogene Anforderungen.

BMZ & UBA. (2020). Leitfaden der Bundesregierung für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Umweltbundesamt (UBA). https://www.bmz.de/de/aktuelles/55960-55960

Bocken, N., Rana, P., & Short, S. W. (2015). Value mapping for sustainable business thinking. Journal of Industrial and Production Engineering, 32(1), 67–81. https://doi.org/10.1080/21681015.2014.1000399

Bocken, N., Strupeit, L., Whalen, K., & Nußholz, J. (2019). A Review and Evaluation of Circular Business Model Innovation Tools. Sustainability, 11(8), 1–25. https://doi.org/10.3390/su11082210

Clube, R. K. M., & Tennant, M. (2020). Exploring garment rental as a sustainable business model in the fashion industry: Does contamination impact the consumption experience? Journal of Consumer Behaviour, 19(4), 359–370. https://doi.org/10.1002/cb.1817

de Aguiar Hugo, A., de Nadae, J., & da Silva Lima, R. (2021). Can Fashion Be Circular? A Literature Review on Circular Economy Barriers, Drivers, and Practices in the Fashion Industry's Productive Chain. Sustainability, 13(21), 12246. https://doi.org/10.3390/su132112246

DIN, DKE, VDI (2023), Deutsche Normungsroadmap Circular Economy, https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/components-technologies/normungsroadmap-circular-economy

Duhoux, T., Maes, E., Hirschnitz-Garbers, M., Peeters, K., Asscherickx, L., Christis, M., Stubbe, B., Colignon, P., Hinzmann, M., & Sachdeva, A. (2021). Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling: Final report. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2873/828412

Europäische Kommission. (2014). Commission Decision of 5 June 2014 establishing the ecological criteria for the award of the EU Ecolabel for textile products (notified under document C(2014) 3677). 2014/350/EU. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1403869165475&uri=OJ:JOL_2014_174_R_0015

Europäische Kommission. (2017a). Commission Decision (EU) 2017/1392 of 25 July 2017 amending Decision 2014/350/EU establishing the ecological criteria for the award of the EU Ecolabel for textile products (notified under document C(2017) 5069). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32017D1392

Europäische Kommission. (2017b). EU Kriterien für die umweltorientierte öffentliche Beschaffung von Textilerzeugnissen. Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen.

Font Vivanco, D., McDowall, W., Freire-González, J., Kemp, R., & van der Voet, E. (2016). The foundations of the environmental rebound effect and its contribution towards a general framework. Ecological Economics, 125, 60–69. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.02.006

Fraccascia, L., Giannoccaro, I., Agarwal, A., & Hansen, E. G. (2021). Business models for the circular economy: Empirical advances and future directions. Business Strategy and the Environment, 30(6), 2741–2744. https://doi.org/10.1002/bse.2896

Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. Journal of Cleaner Production, 277, 123741. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741

Gözet, B., & Wilts, H. (2022). Die Kreislaufwirtschaft als neues Narrativ für die Textilindustrie: Eine Analyse der textilen Wertschöpfungskette mit Blick auf Deutschlands Chancen einer kreislaufwirtschaftlichen Transformation (Bd. 23). Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. https://doi.org/10.48506/opus-7999

Gyde, C., & McNeill, L. S. (2021). Fashion Rental: Smart Business or Ethical Folly? Sustainability, 13(16), 8888. https://doi.org/10.3390/su13168888

Henry, M., Bauwens, T., Hekkert, M., & Kirchherr, J. (2020). A typology of circular start-ups: Analysis of 128 circular business models. Journal of Cleaner Production, 245, 1–52. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118528

Hildebrandt, J., Thrän, D., & Bezama, A. (2021). The circularity of potential bio-textile production routes: Comparing life cycle impacts of bio-based materials used within the manufacturing of selected leather substitutes. Journal of Cleaner Production, 287, 14. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125470

Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. Journal of Cleaner Production, 333, 130049. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130049

ISO 14067:2019 Treibhausgase—Carbon Footprint von Produkten—Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung, (2019). https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14067/289443505

ISO 14040:2021 Umweltmanagement—Ökobilanz—Grundsätze und Rahmenbedingungen, (2021). https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14040/325953744

ISO 14044:2021 Umweltmanagement—Ökobilanz—Anforderungen und Anleitungen, (2021). https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14044/325953813

Johnson, E., & Plepys, A. (2021). Product-Service Systems and Sustainability: Analysing the Environmental Impacts of Rental Clothing. Sustainability, 13(4), 2118. https://doi.org/10.3390/su13042118

Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., Niero, M., Bech, N. M., & McAloone, T. C. (2019). Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption? Journal of Industrial Ecology, 23(1), 22–35. https://doi.org/10.1111/jiec.12747

Klepp, I. G., Laitala, K., Wiedemann, S. (2020), Clothing Lifespans: What Should Be Measured and How, Sustainability, 12 (15), 6219, DOI: 10.3390/su12156219.

Klorofyll Miljökonsult. (2021). Why Textiles win in the long run, Sustainability performance of table linen as compared to disposables (S. 22). ETSA- European Textile Service, Association Fédération Belge de l'Entretien du Textile (FBT) BE, Textile Services Association (TSA) UK, TRSA USA, Sveriges Tvätteriförbund/Swedish Textile Service Association SE.

Kumar, V., Ekwall, D., & Zhang, D. S. (2022). Investigation of rental business model for collaborative consumption—Workwear garment renting in business-to-business scenario. Resources, Conservation and Recycling, 182, 106314. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106314

Lange, S., Kern, F., Peuckert, J., & Santarius, T. (2021). The Jevons paradox unravelled: A multi-level typology of rebound effects and mechanisms. Energy Research & Social Science, 74, 101982. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101982

Lehmann, A., Roffeis, M., & Finkbeiner, M. (2019). Ökobilanzielle Bewertung des Lebensweges eines handelsüblichen weißen Baumwolle T-Shirts in Deutschland (S. 83). TU Berlin.

Levänen, J., Uusitalo, V., Härri, A., Kareinen, E., & Linnanen, L. (2021). Innovative recycling or extended use? Comparing the global warming potential of different ownership and end-of-life scenarios for textiles. Environmental Research Letters, 16(5). https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfac3

Lüdeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. (2019). A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns: Circular Economy Business Models. Journal of Industrial Ecology, 23(1), 36–61. https://doi.org/10.1111/jiec.12763

Luo, Y., Wu, X., & Ding, X. (2022). Carbon and water footprints assessment of cotton jeans using the method based on modularity: A full life cycle perspective. Journal of Cleaner Production, 332, 130042. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130042

McCoy, L., & Chi, T. (2022). Collaborative Consumption: A Study of Sustainability Presentation in Fashion Rental Platforms. Sustainability, 14(14), 8537. https://doi.org/10.3390/su14148537

Mehlhart, G., Bulach, W., Moch, K., & Blepp, M. (2021). Relevanz der gewerblichen Textil- und Geschirrreinigung am Eintrag von Phosphat und anderen Phosphorverbindungen (P) in das Abwasser (Nr. 98/2021; UBA-Texte). Öko-Institut e.V.; Im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-24_texte_98-2021_gewerbliche_phosphateintraege.pdf

Ministry of National Development Planning of the Republic of Indonesia. (2021). The economic, social, and environmental benefits of a circular economy in Indonesia (S. 205). United Nations Development Programme (UNDP) USA, Embassy of Denmark Jakarta ID, Kementerian PPN/Bappenas ID. https://lcdi-indonesia.id/wp-content/uploads/2021/02/Full-Report-The-Economic-Social-and-Environmental-Benefits-of-a-Circular-Economy-in-Indonesia.pdf

Monticelli, A., & Costamagna, M. (2022). Environmental assessment of the rental business model: A case study for formal wear. Environment, Development and Sustainability. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02363-x

Morris, C. (2021). Study of greenhouse gas emissions of better cotton. Better Cotton Initiative und Anthesis Consulting Group.

OEKO-TEX Service GmbH. (2020a). Standard – Standard 100 by OEKO-TEX®. Edition 03.2020. https://www.oeko-tex.com/importedmedia/downloadfiles/STANDARD_100_by_OEKO-TEX_R__-_Standard_de.pdf

OEKO-TEX Service GmbH. (2020b). Standard—MADE IN GREEN by OEKO-TEX®. Edition 02.2020. https://www.oeko-tex.com/importedmedia/downloadfiles/MADE_IN_GREEN_by_OEKO-TEX_R__-_Standard_de.pdf

OEKO-TEX Service GmbH. (2020c). Standard—STeP by OEKO-TEX®. https://www.oeko-tex.com/importedmedia/downloadfiles/STeP_by_OEKO-TEX_R__-_Standard_de.pdf

OVAM (2021), Ecodesign Criteria for consumer textiles, https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/ecodesign_criteria_for_consumer_textiles.pdf

Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2019a). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. Journal of Cleaner Production, 215, 198–216. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036

Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2019b). Configuring New Business Models for Circular Economy through Product–Service Systems. Sustainability, 11(13), 3727. https://doi.org/10.3390/su11133727

Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2020). From theory to practice: Systematising and testing business model archetypes for circular economy. Resources, Conservation and Recycling, 162, 105029. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105029

Piippo, R., Niinimäki, K., & Aakko, M. (2022). Fit for the future: Garment quality and product lifetimes in a CE context. Sustainability (Switzerland), 14 (2), [726]. https://doi.org/10.3390/su14020726.

Rollinson, A. N., & Oladejo, J. (2020). Chemical recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts. Global Alliance for Incinerator Alternatives. https://doi.org/10.46556/ONLS4535

Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. Journal of Cleaner Production, 236, 117696. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696

Sandberg, E., & Hultberg, E. (2021). Dynamic capabilities for the scaling of circular business model initiatives in the fashion industry. Journal of Cleaner Production, 320, 128831. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128831

Santarius, T., & Soland, M. (2016). Towards a Psychological Theory and Comprehensive Rebound Typology. In T. Santarius, H. J. Walnum, & C. Aall (Hrsg.), Rethinking Climate and Energy Policies (S. 107–119). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38807-6_7

Sarja, M., Onkila, T., & Mäkelä, M. (2020). A systematic literature review of the transition to the circular economy in business organizations: Obstacles, catalysts and ambivalences. Journal of Cleaner Production, 125492. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125492

Takacs, F., Stechow, R., & Frankenberger, K. (2020). Circular Ecosystems: Business Model Innovation for the Circular Economy. [White Paper of the Institute of Management & Strategy]. University of St. Gallen.

UBA (2022), Die Rolle der Langlebigkeit und der Nutzungsdauer für einen nachhaltigen Umgang mit Bekleidung, https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/die-rolle-der-langlebigkeit-der-nutzungsdauer-fuer

van Dam, S., Sleeswijk Visser, F., & Bakker, C. (2021). The Impact of Co-Creation on the Design of Circular Product-Service Systems: Learnings from a Case Study with Washing Machines. The Design Journal, 24(1), 25–45. https://doi.org/10.1080/14606925.2020.1851427

Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 593–602. https://doi.org/10.1111/jiec.12545

8 Anhang

8.1 DiTex-Anforderungskatalog beim Labelvergleich

Der Labelvergleich ist eine komplexe Aufstellung. Die Kategorien und Titel der Anforderungen können Tabelle 19 für die Rohfasern,

Tabelle 20 für die Produktion und Tabelle 21 für das Endprodukt entnommen werden.

Tabelle 19: DiTex-Anforderungskatalog an die Rohfasern; Basis: Labelvergleich

Kategorie der Anforderung	Bezeichnung der Anforderung
Naturfaser: Baumwolle	Verwendung von Baumwolle aus kontrolliert biologischem Anbau
	Verwendung und Herkunft von rezyklierter Baumwolle
	Pestizidbeschränkungen
	Verwendung von genetisch nicht veränderten Sorten
	Arbeitsbedingungen
Synthetische Regeneratfaser: Lyocell	Legale Zellstoffproduktion (d.h. Forstwirtschaft, Plantagen, Holzanbau)
	Nachhaltige Zellstoffproduktion (d.h. Forstwirtschaft, Plantagen, Holzabbau)
	(Neues eigenes Kriterium) regenerierte Zellulosefasern
	Ausschluss von Chlor bei der Zellstoffproduktion
	Verwertung von verwendeten Prozessflotten
Synthetikfaser: Polyester	Begrenzung von Antimon
	Begrenzung von VOC-Emissionen
	Verwendung von rezykliertem PET aus Produktions- und/oder Verbraucherabfällen

Tabelle 20: DiTex-Anforderungskatalog an die Produktion; Basis: Labelvergleich

Kategorie der Anforderung	Bezeichnung der Anforderung
Arbeits-bedingungen	Verhaltenskodex
	Ausbildungsprogramm für Lehrlinge
	ILO 1, 29, 87, 98, 100, 105, 111, 120, 131, 138, 155, 183, 190
	Verschriftlichung des Arbeitsverhältnisses
	Rechtsgeltung für untervergebene Arbeit
	Rechtmäßigkeit der Geschäfte
Analyse & Management	Risikoanalyse
	Qualitätsmanagementsystem
	Umweltmanagementsystem
	Chemikalienmanagement
Stoffverbote und -begrenzungen	Begrenzung oder Verbot spezifischer Substanzen in der Produktion und Konfektion
Energie	Energieverbrauch
Wasser	Wasserverbrauch
Abluft	Anforderungen an (geklärtes) Abwasser

Abfall	Begrenzung von Luftemissionen

Tabelle 21: DiTex-Anforderungskatalog an das Endprodukt; Basis: Labelvergleich

Kategorie der Anforderung	Bezeichnung der Anforderung
Stoffverbote und -begrenzungen	Begrenzung oder Verbot spezifischer Substanzen im Endprodukt
Beständigkeit	Beständigkeit/Lebensdauer
	Farbbeständigkeit (ausgenommen Weißwaren, ungefärbte und unbedruckte Textilien)
	Pilling/Abriebfestigkeit
Instandhaltung	Ersatz für Zubehörteile/Accessoires
	Laufende Instandhaltung bei Anbietern von textilen Dienstleistungen
	Inventarisierung bei Anbietern von textilen Dienstleistungen
Waschen	Energiemanagement
	Waschmittel
Design for Recycling	Auf Recycling ausgelegte Gestaltung
Rücknahme (End-of-Life-Management)	Sortierung, Lagerung, Verkauf
	Beratung
	Sammelsysteme

DiTex
DITEX-KREISLAUFWIRTSCHAFT.DE