

Ria Müller, Christina Vogel, Sabrina Schmidt,
Dr. Frieder Rubik, Magdalena Müller, Kai Nebel,
Martina Gerbig, Barbara Boldrini, Ina Budde,
Florian Kamm, Martijn Witteveen, Carsten Ridder,
Serge Lang, Dr. Jasmin Jung, Dr. Kim Hecht,
Dr. Anja Gerhardts, Dr. Guido Reinhardt, Christina Zinke,
Sven Gärtner, Julian Senn unter Mitwirkung von
Theresa Jentsch, Madeleine Jetter, Paula Konstantin und
Ann-Kristin Reinkenhoff



DiTex

DIGITALE TECHNOLOGIEN ALS ENABLER

EINER RESSOURCENEFFIZIENTEN KREISLAUFFÄHIGEN B2B-TEXTILWIRTSCHAFT

Zirkuläre Bettwäsche und Berufskleidung – Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte

Integrativer Forschungsbericht 2021

Impressum

Autor/innen:

Ria Müller, Christina Vogel, Sabrina Schmidt, Dr. Frieder Rubik, Magdalena Müller (alle IÖW), Kai Nebel, Martina Gerbig, Barbara Boldrini (alle Hochschule Reutlingen), Ina Budde (circular.fashion), Florian Kamm (Weishäupl), Martijn Witteveen, Carsten Ridder (alle Dibella), Serge Lang, Dr. Kim Hecht, Dr. Jasmin Jung, Dr. Anja Gerhardts (alle Hohenstein Institut), Dr. Guido Reinhardt, Christina Zinke, Sven Gärtner (alle ifeu) unter Mitwirkung von Theresa Jentsch, Madeleine Jetter, Paula Konstantin und Ann-Kristin Reinkenhoff (alle IÖW)

Der vorliegende Beitrag entstand im Forschungsprojekt „DiTex – Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft“. Das Projekt ist Teil der Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung (SÖF).

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

Sozial-ökologische Forschung

ReziProK

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft –
Innovative Produktkreisläufe

Projektkoordination

Dr. Frieder Rubik, Projektleitung
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig
Potsdamer Str. 105
D-10785 Berlin
Tel. +49-6221-64 91 66
frieder.rubik@ioew.de
www.ioew.de



| i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Zitervorschlag:

Müller, R.; Vogel, C.; Schmidt, S.; Rubik, F.; Müller, M.; Nebel, K.; Gerbig, M.; Boldrini, B.; Budde, I.; Kamm, F.; Witteveen, M.; Ridder, C.; Lang, S.; Hecht, K.; Jung, J.; Gerhardts, A.; Reinhardt, G.; Zinke, C.; Gärtner, S. (2021): Zirkuläre Bettwäsche und Berufskleidung für Gesundheitswesen und öffentliche Hand – Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte. Integrativer Forschungsbericht 2021 im BMBF-Vorhaben DiTex.

Berlin, Bocholt, Heidelberg, Hohenstein, München, Reutlingen, 21. Dezember 2021

DiTex

DITEX-KREISLAUFWIRTSCHAFT.DE

Verbundpartner:

WILHELM WEISHÄUPL

WILHELM WEISHÄUPL
Hans Peter Weishäupl e.K.
Schwanthalerstrasse 49
D-80336 München



Dibella GmbH
Hamalandstraße 111
D-46399 Bocholt



Hochschule Reutlingen
Fakultät Textil und Design
Alteburgstraße 150
D-72762 Reutlingen

HOHENSTEIN ●

Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH
Schloss Hohenstein
D-74357 Boennigheim



ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
GmbH
Im Weiher 10
D-69121 Heidelberg

Externer Dienstleister:



circular.fashion UG (haftungsbeschränkt)
Skalitzer Strasse 97
D-10999 Berlin, Germany

Assoziierter Partner:



MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG
John-F.-Kennedy-Straße 4
D-65189 Wiesbaden

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

Dieser Bericht ist verfügbar unter:

https://www.ioew.de/publikation/zirkulaere_bettwaesche_und_berufskleidung_anforderungen_und_nachhaltigkeitseffekte

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	17
1.1	Das Verbundvorhaben DiTex	17
1.1.1	Hintergrund und Zielsetzung	17
1.1.2	Gesamtkontext ReZiProK-Förderlinie	17
1.1.3	Vorgehensweise und Stand der Arbeiten im Überblick.....	18
1.2	Zweck und Aufbau dieses Berichts.....	19
2	Ansätze für Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung	20
2.1	Umbau in eine zirkuläre Textilwirtschaft	20
2.2	Realisierung der Kreislaufschließung in DiTex.....	22
2.2.1	Überdurchschnittlich hoher Rezyklateinsatz	22
2.2.2	Verwendung ausschließlich langlebiger Komponenten als Beitrag zur Produktlebenszyklusverlängerung.....	23
2.2.3	Hochwertiges chemisches Faser-zu-Faser-Recycling.....	24
2.2.4	„Intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung.....	25
2.2.5	Erprobung zirkulärer Geschäftsmodelle.....	26
2.2.6	Flankierende Ansätze: Ökoeffizienz, Zertifizierung sowie Erweiterung des Akteursnetzwerks	27
2.3	Zwischenfazit	28
3	B2B-Textilmarkt: Branchendaten und Herausforderungen	29
3.1	Marktdaten	29
3.2	Herausforderungen im B2B-Textilmarkt	33
4	Mietwäsche und Textilleasing als Geschäftsmodell	36
4.1	Methodisches Vorgehen und Begriffsverständnis	37
4.2	Geschäftsmodelle als Teil einer Circular Economy	38
4.2.1	Circular Business Models	40
4.2.2	Product-Service Systems	40
4.2.3	Einordnung des Textilservices	41
4.3	Das Geschäftsmodell des Textilservice.....	42
4.3.1	Nutzenversprechen (value proposition)	43
4.3.2	Wertschöpfung (value creation and delivery).....	45
4.3.3	Ertragsmechanismus (value capture)	47
4.4	Nachhaltigkeitsdimensionen des Textilservices	48

4.5	Einsatz von Auto-ID-Tracking-Technologie im Textilservice im Hinblick auf das Erreichen zirkulärer Geschäftsmodelle	49
4.5.1	Status Quo	52
4.5.2	Potenziale	55
4.5.3	Handlungsfelder und Herausforderungen	59
4.6	Fazit	61
5	Zirkuläre B2B-Textilien im DiTex-Projekt	63
5.1	Methodisches Vorgehen	63
5.1.1	Partizipatives Produktdesign	63
5.1.2	Circular Product Check	64
5.1.3	Qualitätsprüfungen hinsichtlich der Leasing-Eignung	65
5.1.4	Spektroskopische Qualitätsbestimmungen	71
5.1.5	Prozess- und Akteursanalysen	76
5.2	DiTex-Poloshirt: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion	77
5.2.1	Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign	77
5.2.2	Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Weishäupl zur Produktion des DiTex-Poloshirts	80
5.2.3	Lastenheft DiTex-Poloshirt: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards	82
5.2.4	Ergebnisse der Qualitätsprüfungen am Poloshirt-Prototyp	86
5.2.5	Übersichtsökobilanz	95
5.2.6	Methodik	95
5.2.6.1	Betrachtete Umweltwirkungskategorien	101
5.2.6.2	Ergebnis	102
5.2.7	Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung	103
5.3	DiTex-Polizeihemd: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion	104
5.3.1	Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign	104
5.3.2	Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Weishäupl zur Produktion des DiTex-Polizeihemds	107
5.3.3	Lastenheft DiTex-Polizeihemd: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards	110
5.3.4	Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen	113
5.3.5	Übersichtsökobilanz	120
5.3.6	Methodik	120
5.3.6.1	Betrachtete Umweltwirkungskategorien	125
5.3.6.2	Ergebnis	126
5.3.7	Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung	127
5.4	DiTex-Bettwäsche: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion	128
5.4.1	Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign	128
5.4.2	Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Dibella zur Produktion der DiTex-Bettwäsche	130

5.4.3	Lastenheft DiTex-Bettwäsche: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards	132
5.4.4	Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Bettwäsche-Prototypen	133
5.4.5	Übersichtsökobilanz	135
5.4.6	Methodik	135
5.4.7	Systemgrenzen.....	135
5.4.7.1	Betrachtete Umweltwirkungskategorien.....	140
5.4.7.2	Ergebnis	141
5.4.7.3	Fazit zu Übersichtsökobilanzen	142
5.4.8	Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung	144
5.5	Digitales Tracking im DiTex-Praxistest.....	145
5.5.1	Funktionstest Tracking-IDs.....	145
5.5.2	Auswahl Tracking-IDs für den DiTex-Praxistest	147
5.6	Untersuchung der Umwelt-, Sozial- und Nachhaltigkeitskennzeichnung (Label) für Textilien	148
5.6.1	Allgemeines Vorgehen und Analysemethodik	149
5.6.2	Analyseergebnisse aus dem Labelvergleich.....	151
5.6.3	Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Textilien.....	154
5.6.4	Relevanz des Cradle to Cradle™ Standards für DiTex	156
5.6.4.1	Der Cradle to Cradle Standard.....	156
5.6.4.2	Bewertung der DiTex-Textilien anhand der C2C-Kriterien	158
5.7	Synopse: Potenzielle Nachhaltigkeitseffekte.....	159
5.7.1	Synopse zu den qualitativen Eigenschaften der Prototypen	159
5.7.2	Synopse Kreislauffähigkeit auch basierend auf Circular Product Checks für DiTex- Oberbekleidung.....	163
5.7.3	Synopse Übersichtsökobilanzen	164
5.7.4	Rebound-Effekte.....	165
5.7.4.1	Kurzfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen der DiTexGen1	168
5.7.4.2	Mittelfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen im Upscaling	169
5.7.4.3	Langfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen.....	170
5.7.4.4	Fragestellungen für den weiteren Projektverlauf und Grenzen des Forschungsvorhabens.....	171
5.7.4.5	Stellschrauben und Handlungsbedarfe im DiTex-Vorhaben.....	171
5.7.5	Fazit zum Labelvergleich.....	173
6	Marktdialoge	174
7	Zusammenfassende Reflexion	176
7.1	Neue Erkenntnisse.....	176
7.2	Forschungslücken (in und nach DiTex)	178
7.3	Übertragbarkeit auf gesamte B2B-Textilwirtschaft	180

8	Ausblick: Nächste Schritte im DiTex-Vorhaben	183
9	Quellen	184
10	Anhang	192
10.1	Muster zirkulärer Ökosysteme nach Takacs et al. (2020)	192
10.2	Circular Product Check Evaluation Reports	194

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Abbildung der textilen Kette	20
Abbildung 2: Überdurchschnittlich hoher Rezyklateinsatz	22
Abbildung 3: Verwendung ausschließlich langlebiger Komponenten als Beitrag zur Produktlebenszyklusverlängerung	23
Abbildung 4: Hochwertiges chemisches Faser-zu-Faser-Recycling	24
Abbildung 5: „Intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung	26
Abbildung 6: Erprobung zirkulärer Geschäftsmodelle	27
Abbildung 7: Anzahl der Unternehmen im Wäscherei- und Reinigungsgewerbe in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018	30
Abbildung 8: Umsatz der Branche Wäscherei und chemische Reinigung in Deutschland in Millionen Euro von 2011 bis 2017 und Prognose bis zum Jahr 2023... 31	31
Abbildung 9: Branchenanteile der Berufskleidungsausstattung durch einen Textilservice 2018	33
Abbildung 10: Der Textilservice-Kreislauf	43
Abbildung 11: Spektralbereiche der optischen Spektroskopie und Beispiel von Spektren	71
Abbildung 12: Messanordnung der Reflexionsmessungen in einer Ulbrichtkugel.....	72
Abbildung 13: Das Zweistrahl-Spektrophotometer der Firma Perkin Elmer Lambda 1050 mit Ulbrichtkugel.....	72
Abbildung 14: Links: Perkin Elmer Spektrometer Frontier mit ATR-Zubehör. Rechts: Prinzip der total abgeschwächten Reflexion.....	73
Abbildung 15: Der mobile Messaufbau für die Bestimmung von Farbechtheit und Änderungen der Oberflächenstruktur in VIS Bereich	74
Abbildung 16: Das NeoSpectra™ Development Kit der Firma Si-Ware Systems.....	74
Abbildung 17: Das Agilent 7300 Handheld Fourier-Transformations-Infrarotspektrometrie (FTIR) Spektrometer.....	75
Abbildung 18: Beispiel von Korrelations- und Varianzanalyse	76
Abbildung 19: Zirkuläre Prozesse des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl e.K.	80
Abbildung 20: Spektren in UV-Vis Bereich – DiTex-Poloshirt.	93
Abbildung 21: Links: Scoreplot der erste Hauptkomponente vs. Waschzyklen. Rechts: Varianzanalyse der Flächengewichtsmessungen von HIT.	94
Abbildung 22: Links: MIR Spektren vom Damenpolo. Rechts: Scoreplot der 1. vs. 2. Hauptkomponente.	94
Abbildung 23: Korrelationsmatrix der Ergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen für das Damen-Poloshirt	95
Abbildung 24: Schematische Darstellung des Lebenswegs des DiTex-Poloshirts	97

Abbildung 25: Schematische Darstellung des Lebenswegs des Referenz-Poloshirts	98
Abbildung 26: Zirkuläre Prozesse des DiTex-Polizeihemds, Firma Wilhelm Weishäupl e.K.	108
Abbildung 27: Links: MIR Spektren vom Buisness Hemd, mit Bandenzuordnung. Links: Scoreplot der ersten im Vergleich zur zweiten Hauptkomponente	118
Abbildung 28: Korrelationsmatrix der Ergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen für das Buisnesshemd.....	119
Abbildung 29: Schematische Darstellung des Lebenswegs des DiTex-Polizeihemds	121
Abbildung 30: Schematische Darstellung des Lebenswegs des Referenz-Polizeihemds	122
Abbildung 31: Zirkuläre Prozesse der DiTex-Bettwäsche, Firma Dibella GmbH	131
Abbildung 32: Schematische Darstellung des Lebenswegs der DiTex-Bettwäsche...	136
Abbildung 33: Schematische Darstellung des Lebenswegs der Referenz-Bettwäsche	137
Abbildung 34: Übersicht über mögliche kurz-, mittel- und langfristige Rebound-Effekte im Lebenszyklus von kreislauffähigen B2B-Miettextilien	167
Abbildung 35: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 1	194
Abbildung 36: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 2	195
Abbildung 37: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 3	196

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Muster zirkulärer Ökosysteme	21
Tabelle 2: Methodisches Vorgehen	38
Tabelle 3: Geschäftsmodellkomponenten	39
Tabelle 4: Überblick über die interviewten Experten	50
Tabelle 5: Übersicht über Beitrag technologische Wertetreiber zur CE	51
Tabelle 6: Status quo (grau) und Potenziale (braun) des Beitrages von Auto-ID-Technologien zur Circular Economy	58
Tabelle 7: Wasch- und Trocknungsbedingungen in Anlehnung an DIN EN ISO 15797 für Hemden und Poloshirts	65
Tabelle 8: Musterentnahmeplan für Hemden	66
Tabelle 9: Musterentnahmeplan für Poloshirts	67
Tabelle 10: Qualitätstests/Textiltechnologische Prüfungen entsprechend der Hohenstein Qualitätsstandards 701ff - Anforderungskataloge zum Einkauf von leasinggeeigneten Textilien	68
Tabelle 11: Produktspezifikationen des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl e.K.	82
Tabelle 12: Anforderungen an DiTex_{Gen1} Poloshirt hinsichtlich Leasingeignung nach HQS 704	84
Tabelle 13: Ergebnisse der Farbechtheitsprüfung an der Neuware	87
Tabelle 14: Ergebnisse der Berstdruckprüfung	87
Tabelle 15: Ergebnisse der Scheuerbeständigkeitsprüfung	88
Tabelle 16: Ergebnisse der Pillingprüfung nach 5 Pflegebehandlungen	88
Tabelle 17: Ergebnisse der Maßänderungsprüfung in Längs- und Querrichtung	89
Tabelle 18: Ergebnisse der Selbstglättungsprüfung	89
Tabelle 19: Ergebnisse der Prüfung Verdrehen der Nähte	89
Tabelle 20: Ergebnisse der optischen Abmusterung (Konfektionierungsprüfung) nach 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen	90
Tabelle 21: Ergebnisse der bekleidungsphysiologischen Untersuchungen (nach 3 Pflegezyklen)	91
Tabelle 22: Ergebnisse der Maschendichtenprüfung	92
Tabelle 23: Ergebnisse der Flächengewichtsprüfung	92
Tabelle 24: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichts-ökobilanz für das Poloshirt	99
Tabelle 25: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichts-ökobilanz (Stand Mai 2021)	101

Tabelle 26: Wünsche an hochwertige Businesshemden im Marktdialog 1 und Kommentierung	105
Tabelle 27: Produktspezifikationen DiTex-Polizeihemd, Firma Wilhelm Weishäupl ...	110
Tabelle 28: Anforderungen an DiTex_{Gen1} Polizeihemd hinsichtlich Leasingeignung nach HQS 703 und hinsichtlich Weißqualität nach RAL GZ-992/1	112
Tabelle 29: Ergebnisse der Farbechtheitsprüfung an der Neuware.....	113
Tabelle 30: Ergebnisse der Höchstzugkraftprüfung an der Neuware und nach 10, 25 und 50 Pflegebehandlungen	114
Tabelle 31: Ergebnisse der Scheuerbeständigkeitsprüfung an der Neuware.....	114
Tabelle 32: Ergebnisse der Pillingprüfung nach 5 Pflegebehandlungen	114
Tabelle 33: Ergebnisse der Maßänderungsprüfung in Längs- und Querrichtung	115
Tabelle 34: Ergebnisse der Selbstglättungsprüfung	115
Tabelle 35: Ergebnisse der optischen Abmusterung (Konfektionierungsprüfung) nach 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen	116
Tabelle 36: Ergebnisse der Weißqualitätsprüfung nach 5, 25, 50 Pflegebehandlungen.....	116
Tabelle 37: Ergebnisse der bekleidungsphysiologischen Untersuchungen nach drei Pflegebehandlungen	117
Tabelle 38: Ergebnisse der Fadendichtenprüfung	117
Tabelle 39: Ergebnisse der Flächengewichtsprüfung an der Neuware und nach 1, 3, 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen.....	118
Tabelle 40: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für das Polizeihemd	123
Tabelle 41: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021).....	125
Tabelle 42: Wünsche an DiTex-Bettwäsche aus Marktdialog 1 und Kommentierung.	129
Tabelle 43: Produktspezifikationen der DiTex-Bettwäsche „Lyocell rPES“, Firma Dibella	132
Tabelle 44: Ergebnisse der Dynawash-Prüfungen an der Bettwäsche DiTex_{Gen1} durch Dibella	134
Tabelle 45: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für die Bettwäsche	138
Tabelle 46: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021).....	140
Tabelle 47: Übersicht der eingesetzten RFID-Tags sowie Bewertung der Auslesefunktionalität nach definierter Anzahl Pflegebehandlungen.....	146
Tabelle 48: DiTex-Anforderungskatalog an die Rohfasern	151
Tabelle 49: DiTex-Anforderungskatalog an die Produktion	152
Tabelle 50: DiTex-Anforderungskatalog an das Endprodukt.....	153
Tabelle 51: Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Bettwäsche, Firma Dibella GmbH .	154

Tabelle 52: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl	154
Tabelle 53: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Polizeihemds, Firma Wilhelm Weishäupl	155
Tabelle 54: Bewertung der DiTex-Textilien anhand der Cradle to Cradle- Anforderungen.	158
Tabelle 55: Übersichtstabelle der Prüfergebnisse am Poloshirt	160
Tabelle 56: Übersichtstabelle der Prüfergebnisse am DiTex-Polizeihemd	161
Tabelle 57: Ergebnisse der spektroskopischen Untersuchungen an der DiTex-Oberbekleidung.....	163

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
% r.F.....	relative Luftfeuchtigkeit in Prozent
AB	Aktiebolag, schwedische Rechtsform der Aktiengesellschaft
AP	Arbeitspaket
Auto-ID-Technologie.....	Auto-Identifikations-Technologie
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Client
BMBF	Bundesministeriums für Bildung und Forschung
BPI	Bekleidungsphysiologisches Institut
C2C	Cradle to Cradle
CBM	Circular Business Model
CE	Circular Economy
CEAP	Circular Economy Action Plan
cm ²	Quadratcentimeter
cN/cm ²	Centinewton pro Quadratcentimeter
DBL.....	Deutsche Berufskleider-Leasing GmbH
DIN	Deutsche Industrie Norm
DiTex _{Gen1}	DiTex-Textil der Generation 1
DiTex _{Gen2}	DiTex-Textil der Generation 2
DTV	Deutscher Textilreinigungsverband e. V.
e.K.....	eingetragene/-r Kaufmann/-frau
EMSC	Extended Multiplicative Scattering Correction
EN	Europäische Norm
ERP.....	Enterprise-Ressource-Planning-System
ERE.....	Environmental Rebound-Effekt
et al.	et alteri
ETSA.....	European Textile Services Association
EU	Europäische Union
e.V.	eingetragener Verein
FAZ	Farbtonabweichungszahl
FTIR	Fourier-Transformations-Infrarotspektrometrie
FTNIR.....	Fourier-Transformations-Nahinfrarotspektroskopie
g	Gramm

g/kPa	Gramm pro Kilopascal
g/l	Gramm pro Liter
g/m ²	Gramm je Quadratmeter
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPP	Green Public Procurement; umweltfreundliche öffentliche Beschaffung
Gr.	Konfektionsgröße
GRS	Global Recycle Standard
HF-Technologie	Hochfrequenz-Technologie
HIT	Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH
HSRT	Hochschule Reutlingen
HQS	Hohenstein Qualitätsstandard
IB	Integrativer Forschungsbericht
iB	Benetzungsindex
i.d.R.	in der Regel
iK	Klebekraftindex
ILO	International Labour Organization
iO	Oberflächenindex
ISO	International Organization for Standardization
kbA	kontrolliert biologischer Anbau
kg	Kilogramm
kPa	kiloPascal
m ² Pa/W	Quadratmeter Pascal pro Watt
m ³ H ₂ O-Äq.	Kubikmeter Wasseräquivalente
Min.	minimal
ml/l	Milliliter pro Liter
mm	Millimeter
MJ PE-Äq.	Primärenergie-Äquivalent
Ne	Nummer englisch (Einheit für Feinheit von Naturfasergarnen)
NFC-Technologie	Near Field Communication-Technologie
NGO	Non-governmental organization
NIR-Spektroskopie	Nahinfrarotspektroskopie
Nm	Nummer metrisch (Einheit für Feinheit von Garnen)
nK	Kontaktpunktzahl
o.J.	ohne Jahreszahl
PCA	Principal Components Analysis
PES	Polyester
PES/CO	Polyester/Cotton (dt. Baumwolle)

PET	Polyethylenterephthalat
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PSS	Product Service System
QR-Code	Quick Response Code
RALGZ	RALGütezeichen
Rct	Wärmedurchgangswiderstand
rec-Lyocell	recyceltes Lyocell
Ret	Wasserdampfdurchgangswiderstand
ReZiProK	Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Innovative Produktkreisläufe“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
RFID	radio-frequency identification
rPES	recycelter Polyester
RR Ripp	Rechts-rechts-Ripp gestrickte Maschenware
s	Steifigkeit
S.A.S.	Société par actions simplifiée
SBM	Sustainable Business Model
SNV	Standard Normal Variate
STeP	Sustainable Textile and Leather Production
tex	Tex (Einheit für Feinheit linienförmiger textiler Gebilde)
Textil-LF	Leitfadens der Bundesregierung für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung
UHF-Transponder	Ultra Hochfrequenz-Transponder
UV-VIS	Ultraviolett-visible Spektroskopie
VOC	volatile organic compounds (dt. Flüchtige organische Verbindungen)
WG-Wert	Weißgrad-Wert
WIRTEX	Wirtschaftsverband Textil Service e. V.

1 Einleitung

1.1 Das Verbundvorhaben DiTex

1.1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Weltweit werden immer mehr Textilien produziert – mit gravierenden Folgen für die Umwelt. Ein möglicher Lösungsansatz: eine kreislauffähige Textilwirtschaft mit funktionierenden Recyclingprozessen und entsprechenden Infrastrukturen. Einige Firmen der Textilbranche haben sich bereits freiwillig zu einer textilen Kreislaufwirtschaft verpflichtet.

Die Dynamik spiegelt sich beispielhaft in der Liste namhafter Textilmarken wider, die sich dem 2020 Circular Fashion System Commitment der Nichtregierungsorganisation Global Fashion Agenda selbstverpflichtet haben. Derartige Initiativen treiben Aktivitäten in Forschung und Entwicklung bei Sortierung, Tracking und Recycling maßgeblich voran.

Das Forschungsprojekt „DiTex - Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft“ erprobt im Charakter einer Machbarkeitsstudie eine kreislauffähige Textilwirtschaft im Geschäftskundensegment, d.h. im Bereich Business-to-Business (B2B). Dahinter steht die Einschätzung, dass bei Berufsbekleidung und Flachwäsche (Bettwaren, Handtücher) im gewerblichen Kontext enorme Volumina identischer Textilien im Umlauf sind und die Logistik über jeweils fixe Ausgabe- und Rücknahmepunkte in den einzelnen Einrichtungen gut organisiert und etabliert ist. Die Beteiligten in diesem Projektverbund erachten es in besonderem Maße für möglich, in dieser weitgehend geschlossenen B2B-Textilwirtschaft einen ressourceneffizienten ökologischen Materialeinsatz mit einem dienstleistungsbasierten und auf häufige Nutzungszyklen ausgerichteten Geschäftsmodell zu verbinden, das digitale Technologien smart nutzt. DiTex will dafür eine Erprobungsplattform sein.

1.1.2 Gesamtkontext ReZiProK-Förderlinie

Die Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe“ (ReziProK) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt dabei die Erforschung und Entwicklung von Innovationen für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Ziel der in ReziProK geförderten Forschungsprojekte ist, die Schließung von Produktkreisläufen zu erproben und zu diesem Zweck geeignete Geschäftsmodelle und Designkonzepte zu entwickeln und zu testen und zu bewerten sowie dabei auszuloten wie digitale Technologien passgenau zur erfolgreichen Realisierung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft zum Einsatz gebracht werden können. Das BMBF als Förderer beabsichtigt, dass die Forschungsergebnisse *„anschließend möglichst rasch in die wirtschaftliche Praxis und marktfähige Produkte überführt werden, um Unternehmen in Deutschland als wettbewerbsfähige Anbieter von Kreislaufwirtschaftslösungen zu stärken“*¹.

Die Projekte adressieren ein breites Themen- und Branchenspektrum. Das im Rahmen dieser Fördermaßnahme finanziell unterstützte Vorhaben DiTex zielt primär auf die Förderung des Einsatzes von Rezyklaten sowie die Produktnutzungsverlängerung und

¹ Vgl. <https://innovative-produktkreislaeufe.de> (Zugriff am 20.12.2021).

-intensivierung. Innerhalb der ReziProK-Förderschwerpunkte sind die DiTex-Aktivitäten zur Schließung von Produktkreisläufen folgendermaßen verortet.

Förderschwerpunkt 2.1 Designkonzepte für die Kreislaufführung von Produkten:

- Hoher Rezyklatanteil und Einsatz wiederholt rezyklierbarer Textilfasern;
- enge Akteurskooperation im Produktlebensweg: Umsetzung kreislauffähiger Designkonzepte und Rückkopplung des Produktdesigns betreffend;
- Validierung der Designkonzepte in konkreten Anwendungsfällen: Dienstkleidung und Bettwäsche.

Förderschwerpunkt 2.2 Innovative Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft

- Entwicklung neuer Kooperationsformen zur Umsetzung einer ressourcen-effizienten Kreislaufwirtschaft, insbesondere unter Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung;
- Umgang mit Barrieren bezüglich (bzgl.) Nutzung von Textilien aus Rezyklatmaterialien und Dienstkleidung im Miet-/Leasingmodell.

Förderschwerpunkt 2.3 Kreislaufschließung durch digitale Technologien

- Intelligente Nachverfolgung und Rückführung von Produkten und Komponenten;
- Stoffstromverfolgung am Produkt-Lebensende;
- textile Kreislaufführung über das konventionelle mechanische Textilrecycling hinaus.

Als Innovation und neuer Ansatz nutzt DiTex innovative „Closed loop“-Recyclinglösungen für die eingesetzten Faserrohstoffe über das Level des konventionellen mechanischen Textilrecyclings hinaus. Ergänzend wird an einem Beispiel - Polizeihemden - getestet, unter welchen Voraussetzungen eine Markterweiterung des Mietwäschemodells als „Leapfrogging“ direkt vom Kauf zu Mietwäsche aus Rezyklatmaterialien gelingen könnte.

1.1.3 Vorgehensweise und Stand der Arbeiten im Überblick

Die DiTex-Verbundpartner haben innerhalb der ersten Projekthälfte drei kreislauffähige und leasingtaugliche Textilien aus regenerierten und recycelten Fasern neu entwickelt. Dies sind:

- ein blaues Damen- und Herren-Poloshirt aus 100 Prozent Polyester-Rezyklat (Kap. 5.2),
- ein weißes Polizeihemd aus einem Mischgewebe Baumwolle und Polyesterrezyklat (Kap. 5.3),
- reinweiße Bettwäsche aus einem Mischgewebe Lyocell und Polyesterrezyklat (Kap. 5.4).

Im Januar 2021 wurden 540 Bettwäsche-Sets zur Ausstattung von zwei Unterkünften für Beamt/innen der Bundespolizeidirektion München mit circa (ca.) 150 Betten produziert. Die DiTex-Oberbekleidung wurde im Juni und Juli 2021 produziert. Das DiTex-Polizeihemd kleidet 80 Beamt/innen im Innen- und Außendienst der Polizei Hannover ein, das DiTex-Poloshirt kleidet fast 100 Rettungssanitäter/innen aus vier Rettungsleitstellen im Kreis Lippe. Die Trage- und Qualitätstests sind wie folgt terminiert:

- DiTex Poloshirt: 5. August 2021 bis 31. Dezember 2021 (5 Monate);
- DiTex-Polizeihemd: 11. November 2021 bis 28. Februar 2022 (3,5 Monate);
- DiTex-Bettwäsche: 22. Juni 2021 bis 31. Januar 2022 (7 Monate).

Im Rahmen dieser Praxistests wechseln die Testträger/innen der Oberbekleidung diese täglich. Gewerbliche Textildienstleister nehmen den Wäschewechsel und -service vor. Die DiTex-Bettwäsche und DiTex-Oberbekleidung wird von ihnen wöchentlich abgeholt, gewaschen, bei Bedarf ausgebessert oder repariert und sauber wieder geliefert. Welche Umwelteffekte und langfristigen Kosteneffekte für die Beschaffung dieser Textilservice einhergehen, wird über Ökobilanzen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen untersucht.

Das Marktangebot an Bekleidungstextilien besteht zu 90 Prozent aus Fasermischungen. Viele Gewebe und Gewirke enthalten einen Mindestanteil an Kunstfasern wie Elasthan oder Polyester, die eine gewisse Belastbarkeit und Dehnbarkeit (Stretch) erzielen. So tragen sie zu einer guten und bequemen Passform der Textilien bei und machen sie beanspruchbarer als reine Naturfasertextilien. Die zur Erprobung ausgewählten DiTex-Textilien Polizeihemd, Poloshirt und Bettwäsche sind damit in ihrer Faserzusammensetzung repräsentativ und breit einsetzbar – im öffentlichen Dienst, in karitativen Einrichtungen und in privatwirtschaftlichen B2B-Anwendungen. Die Festlegung auf genau diese Textilien soll es ermöglichen, das chemische Textilrecycling sowohl an einem reinen Synthetikfaserprodukt (100 Prozent Polyester-Rezyklat, Poloshirt) als auch an Mischgeweben (Baumwolle/Polyester-Rezyklat, Polizeihemd sowie Polyester-Rezyklat/Lyocell, Bettwäsche) anzustoßen.

1.2 Zweck und Aufbau dieses Berichts

Dieser Integrative Forschungsbericht (IB) stellt eine möglichst vollständige Ergebnisdokumentation der DiTex-Arbeiten nach zwei von insgesamt drei Jahren Vorhabenslaufzeit dar. Alle bis Sommer 2021 in den Arbeitspaketen (AP) 1 und 2 erzielten Recherche- und Prüfergebnisse werden in diesem Bericht dokumentiert, ausgewertet und interpretiert.

Dieser IB beinhaltet nach der allgemeinen Verortung des DiTex-Vorhabens (Kap. 1) und einer Erläuterung zu Zweck und Aufbau dieses Berichts sechs inhaltliche Kapitel. Darin stellen die Verbundpartner die bislang identifizierten Ansätze für Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung dar (Kap. 2), geben einen Überblick über den B2B-Textilmarkt mit Fokus auf die Branchendaten, die die DiTex-Textilien betreffen (Kap. 3). In Kapitel 4 sind die Erkenntnisse bzgl. Mietwäsche und Textilleasing als Geschäftsmodell gebündelt. Dabei wird auch der Teilaspekt zum Einsatz von Auto-ID-Tracking-Technologie (Kap. 4.5) adressiert. Das Kapitel 5 beschreibt die Vorgehensweise im Erarbeitungsprozess für die kreislauffähigen Produktdesigns sowie die dabei entstandenen Produktspezifikationen und Qualitätsanforderungen sowie produktionsbezogene Aspekte von Poloshirt (Kap. 5.2), Polizeihemd (Kap. 5.3) und Bettwäsche (Kap. 5.4). Die im Vorhaben durchgeführten Marktdialoge werden in Kapitel 6 zusammenfassend reflektiert. In dem generischen Kapitel 7 werden die Befunde zusammenfassend diskutiert, Forschungslücken und -empfehlungen benannt sowie eine Übertragbarkeit reflektiert sowie einige Schlussfolgerungen für die Politik ausgesprochen. Am Dokumentende befinden sich Literaturverzeichnis und Anhänge.

2 Ansätze für Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung

Wie beschrieben, kann die Kreislaufführung von Textilien eine Lösung für verschiedene sozial-ökologische Herausforderungen der Textilwirtschaft sein. In diesem Kapitel wird daher erörtert, anhand welcher Aspekte der Umbau von einer linearen hin zu einer zirkulären Textilwirtschaft gelingen kann (Kap. 2.1) und wie dies im Rahmen von DiTex realisiert wird (Kap. 2.2).

2.1 Umbau in eine zirkuläre Textilwirtschaft

Aktuell ist die Textilwirtschaft überwiegend von einem linearen Wirtschaftsmodell mit einer take-make-waste-Logik geprägt: Es werden neue Rohstoffe gebraucht (take), um Textilien herzustellen (make), welche nach einer immer kürzer werdenden Nutzungsdauer entsorgt werden (waste) (EMF, 2017). Diese „textile Kette“ und damit der Lebensweg eines Textils lässt sich üblicherweise in folgenden Phasen beziehungsweise (bzw.) Prozessschritten beschreiben (vgl. Abbildung 1):

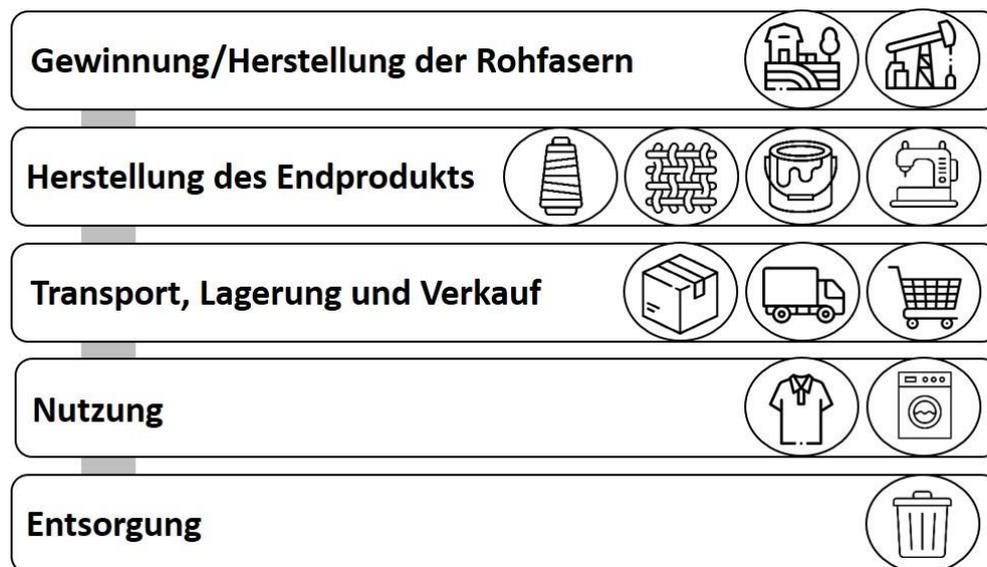


Abbildung 1: Schematische Abbildung der textilen Kette (Eigene Darstellung, IÖW)

Am Anfang der textilen Kette steht die **Gewinnung bzw. die Herstellung der Rohfasern**. Dazu zählen die Gewinnung von Naturfasern, inklusive des Anbaus von Naturfasern pflanzlichen Ursprungs, der Gewinnung von Naturfasern tierischen Ursprungs sowie des Anbaus von Holz zur Zellstofffaserproduktion, und die Herstellung von Chemiefasern, meist auf der Basis von Erdöl. Für die **Herstellung des Endproduktes** werden diese Rohfasern in verschiedenen Produktionsschritten weiterverarbeitet: Von der Garnherstellung (Zwirnen, Spinnen), über die Rohwarenherstellung (Weben, Stricken, Wirken) und Textilveredlung (Vorbehandlung, Färben, Bedrucken, Ausrüsten) bis hin zur Konfektionierung des Textils (Schneiden, Zusammenfügen, Nachbehandeln, Verpacken). Anschließend erfolgen **Transport, Lagerung und Verkauf** des fertigen Textils. Nach mehreren **Nutzungszyklen** bestehend aus Einsatz und Wäsche des Textils wird es entsorgt. Während private Personen durch die Abgabe der Textilien in der Altkleidersammlung die Nutzungsphase ggf. um einige Zyklen verlängern, erfolgt die **Entsorgung** im B2B-Bereich oftmals direkt auf einer Deponie

oder durch die thermische Verwertung, bei der die Textilien verbrannt werden, um Energie zu gewinnen. Ein geringer Anteil der entsorgten Textilien wird durch ein Downcycling als Putzlappen oder Füllmaterial in der Automobilindustrie genutzt.

Im Gegensatz dazu erprobt DiTex im Pilotmaßstab am Beispiel von Berufskleidung und Bettwäsche nichts Geringeres als den „Umbau“ der textilen Kette in eine zirkuläre Textilwirtschaft mit funktionierenden Recyclingprozessen und unterstützenden Geschäftsmodellen. Die dabei zu bewältigenden Herausforderungen sind vielfältig (vgl. dazu Kap. 4).

DiTex verfolgt mehrere Ansätze, um systematisch Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung zu erreichen. Das Projektteam greift dafür einige der 38 Muster zirkulärer Ökosysteme, sog. „circular ecosystem patterns“ auf, die Takacs et al. (2020) eingeführt haben (vgl. Tabelle 1). Definitionen der Muster (aus dem Englischen übersetzt) finden sich im Anhang in Kapitel 10.1.

Tabelle 1: Muster zirkulärer Ökosysteme (in Anlehnung an Takacs et al., 2020, S. 7)

Kreislaufschließung	Verbesserung des Kreislaufs	Monetarisierung des Kreislaufs	Anregung des Kreislaufs
Wiederverwendung von Produkten	Erhöhte Langlebigkeit	Zahlung pro Nutzung	Service- und Produktzufriedenheit erhöhen
Wiederverwendung von Produktkomponenten	Reparatur & Instandhaltung	Mieten statt Kaufen	Massenhafte Personalisierung
Re- & Upcycling	Smartes Zubehör	Leitungsbasierte Verträge	Kreislauf-Luxus
Intelligentes Design und Modularisierung	Öko-Effizienz	Abonnements	Verkauf von Erfahrung
Biologische Abbaubarkeit	Ökologische Materialien & Beschaffung	Fraktionierte Besitzverhältnisse	Marktplätze
Abfall als Input	Erhöhte Funktionalität	Dynamische Preise	Prosumenten
Rücknahmelogistik	Standort	Aufteilung der Einnahmen	Ökologischer Lock-in
	Produktion auf Abruf	Crowdfunding	Kommunikation von Verantwortung
	Detox	Rücknahme	Teilen
	Rückgewinnung von Energie		Robin Hood
	Erneuerbare Energien		

2.2 Realisierung der Kreislaufschließung in DiTex

DiTex wählt fünf zentrale Ansätze, um primär eine Kreislaufschließung zu realisieren und auf diese Weise Umwelt- und Ressourcenentlastungseffekte zu bewirken. Das Ziel ist es, aktuelle Textilien durch kreislauffähige Alternativprodukte zu substituieren. Die Ansätze sind:

- überdurchschnittlich hoher Rezyklateinsatz,
- Verwendung ausschließlich langlebiger Komponenten zur Lebenszyklusverlängerung,
- hochwertiges chemisches Faser-zu-Faser-Recycling,
- „Intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung, und
- Erprobung zirkulärer Geschäftsmodelle.

Diese zentralen Ansätze werden durch drei flankierende Ansätze ergänzt: Ökoeffizienz, Zertifizierung sowie Erweiterung des Akteursnetzwerks. Die folgenden Abschnitte 2.2.1 bis 2.2.6 erläutern, warum und wie die DiTex-Ansätze mit 12 der 38 oben benannten, von Takacs et al. (2020) verwendeten Mustern zirkulärer Ökosysteme korrespondieren.

2.2.1 Überdurchschnittlich hoher Rezyklateinsatz

Die in DiTex designten und produzierten Textilien greifen überwiegend auf Rezyklatfasern zurück. Die eingesetzten Polyestergerne stammen aus post-consumer waste, aus u.a. PET-Flaschen. Auf Polyester aus Primärfasern wird verzichtet. In der Bettwäsche wird eine regenerierte Lyocellfaser verwendet, die zu einem Drittel aus holzbasierten Zellulosefasern und zu zwei Dritteln aus wiederverwerteten Zuschnittresten der Baumwollproduktion und Alttextilien besteht. Einzig die im Polizeihemd eingesetzte Baumwolle (62 Prozent Bio-Baumwolle) ist eine reine Primärfaser.

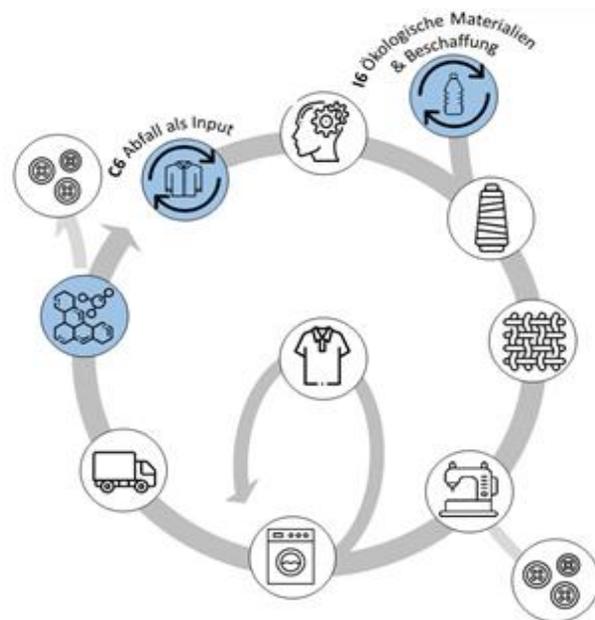


Abbildung 2: Überdurchschnittlich hoher Rezyklateinsatz (Eigene Darstellung, IÖW)

Aktuell genügen die Qualitäten und Marktverfügbarkeiten von recycelten Alttextilien noch nicht und kamen deswegen in den DiTex-Textilien quasi nicht zum Einsatz. Mit dem avisierten Recycling der DiTex-Textilen nach der Pilotierung will das Projektteam genau das erreichen und damit über den Status Quo hinausgehen: Es soll grundsätzlich möglich sein, aus dem recycelten Polyester sowie der regenerierten Zellulose und Baumwolle, die durch

den Recyclingprozess zurückgewonnen werden, DiTex-Produkte der Generation 2 (DiTex_{Gen2}) herzustellen, die

- soweit technisch machbar aus exakt dem recycelten Material der ersten Generation (DiTex_{Gen1}) gefertigt werden und zwar nach
- dem gleichen Produktdesign wieder als Poloshirt, Polizeihemd und Bettwäsche. Die reale Erprobung der nächsten Generationen fällt allerdings nicht mehr in den Rahmen dieses Vorhabens und sollte in Folgeprojekten erforscht werden.

Dieser Ansatz korrespondiert mit den beiden von Takacs et al. (2020) beschriebenen Mustern **C6 Abfall als Input** (Kreislaufschließung) und **I6 Ökologische Materialien & Beschaffung** (Verbesserung der Kreislaufführung) (vgl. Abbildung 2).

2.2.2 Verwendung ausschließlich langlebiger Komponenten als Beitrag zur Produktlebenszyklusverlängerung

Eine Kreislaufwirtschaft baut auf eine Verlängerung der Produktnutzung. Die Langlebigkeit der Textilien ist Voraussetzung dafür, dass viele Nutzungszyklen erreicht werden. Zentraler Anspruch an die in DiTex eingesetzten Materialien und Komponenten ist deshalb, dass sie robust, strapazierfähig und leasingtauglich für industrielle Wasch- und damit auch Nutzungsvorgänge sind. Die Oberbekleidung sollte für mindestens 50 Zyklen genutzt werden können, die Bettwäsche sollte sogar über 100 Zyklen gut überstehen. Recycling und Neuproduktion werden auf diese Weise hinausgezögert. Als Projektpartner überwacht das Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH (HIT) alle relevanten Parameter, wie z.B. mechanische Eigenschaften, Farbechtheit, Passformsicherheit und Tragekomfort.

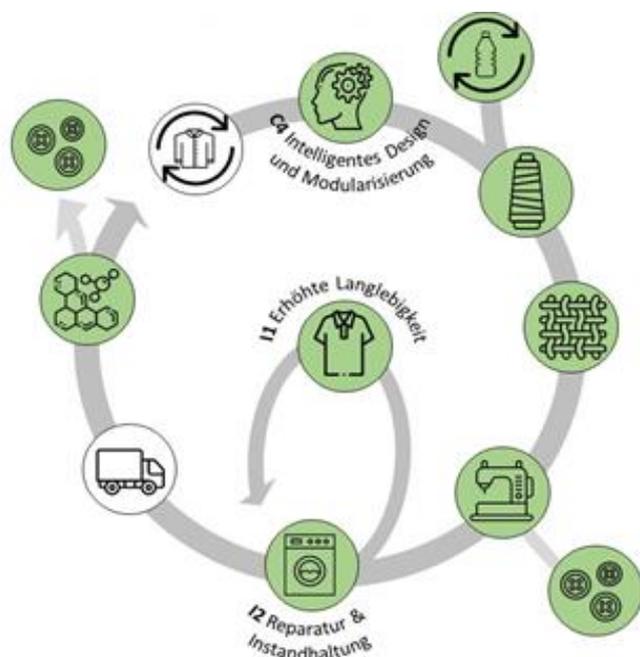


Abbildung 3: Verwendung ausschließlich langlebiger Komponenten als Beitrag zur Produktlebenszyklusverlängerung (Eigene Darstellung, IÖW)

Der Projektpartner Hochschule Reutlingen (HSRT) beurteilt zusätzlich die Qualität der Textilien mittels onlinefähiger spektroskopischer Methoden. Dabei werden in Echtzeit Informationen über chemische (Materialqualität) und morphologische (Materialtextur) Parameter der Textilien erfasst, die ermöglichen, die voraussichtliche Rest-Nutzungsdauer zu prognostizieren.

Dadurch wird ein digitaler Fingerabdruck (Signatur) generiert, der es in Zukunft erlaubt,

- funktionelle qualitative Eigenschaften wie Materialzusammensetzungen und -ausrüstungen in Echtzeit zu ermitteln und
- eine effiziente maschinelle Sortierung zu ermöglichen. Mittels der digitalen Signatur sollen auch während der gesamten Nutzungsdauer Informationen zur Nutzungsintensität wie Farbechtheit, Hydrophobisierung u.a. und über die mehrfache Kreislaufführung hinweg Rezyklatanteile der Textilien verfolgt bzw. verfolgbar werden.

Dieser Ansatz korrespondiert mit den von Takacs et al. (2020) beschriebenen Mustern **C4 Intelligentes Design und Modularisierung** (Kreislaufschließung) sowie **I1 Erhöhte Langlebigkeit** und **I2 Reparatur & Instandhaltung** (beides Verbesserung der Kreislaufführung) (vgl. Abbildung 3).

2.2.3 Hochwertiges chemisches Faser-zu-Faser-Recycling

Die Textilien der DiTex_{Gen1} sollen nach Möglichkeit chemisch recycelt werden können. Dabei werden die Textilien, genauer die Textilfasern, in Polymere aufgespalten bzw. mittels spezieller Lösungsmittel aufgelöst. Das Ergebnis können ein – teils bereits in der Wunschfarbe getöntes – Polyester-Granulat oder -Pellet und Zellulosepulpe sein. Zu einem hochwertigen Garn gesponnen und zu neuen textilen Flächen gewoben, können die Ursprungsfasern damit in neuen Kleidungsstücken wieder zum Einsatz kommen.

Dieses hochwertige Faser-zu-Faser-Recycling wird die Firma Worn Again Technologies für die DiTex-Bettwäsche durchführen. Für Poloshirt und Polizeiheime könnten Firmen wie Gr3n oder RITTEC Umwelttechnik GmbH als chemische Polyester Recycler in Betracht kommen. Worn Again Technologies verarbeitet sowohl Polyestertextilien als auch deren Mischungen mit Baumwolle, vorausgesetzt der Anteil von anderen Fasertypen (z.B. Elastan) übersteigt 10 Prozent nicht. Polyester wird in Form von Pellets verarbeitet und Baumwolle als Zellulosepulp zurückgewonnen. Färbungen und Veredelungen werden in dem Verfahren herausgefiltert und entsorgt.

Gr3n hingegen verarbeitet vorzugsweise 100 Prozent Polyester-Textilien, akzeptiert aber auch Textilien mit mindestens ca. 70 Prozent Polyesteranteil und maximal 30 Prozent anderen Fasern. Der Polyesteranteil wird depolymerisiert und kann so als Grundbaustein wiedereingesetzt werden. Baumwolle kann in diesem Prozess ebenfalls als Zellulose-Rezyklat separiert, zurückgewonnen und in einem anderen Werk weiterverarbeitet werden. Färbungen trennen sich in dem Prozess von den wertvollen Bestandteilen und werden anschließend entsorgt. Die Polykondensation würde im Fall von Gr3n durch einen Partner in Asien erfolgen.



Abbildung 4: Hochwertiges chemisches Faser-zu-Faser-Recycling (Eigene Darstellung, IÖW)

Für sich genommen entspricht das DiTex-Polizeihemd durch die Faserzusammensetzung (62 Prozent Baumwolle / 38 Prozent Polyester) nicht den Kriterien des Recyclers Gr3n. Um dennoch ein chemisches Recycling zu ermöglichen, könnte folgende Synergie zwischen den beiden Oberbekleidungstextilien erzeugt werden: Das DiTex-Polizeihemd sollte in einem gemeinsamen Prozess mit dem aus 100 Prozent recyceltem Polyester bestehenden DiTex-Poloshirt regeneriert werden. Auf diese Weise würde erreicht, dass der aufsummierte Polyester-Anteil den Prozesserfordernissen bei Gr3n entspricht.

Unabhängig davon fiel die Prüfung der Recyclingfähigkeit des Polizeihemds durch circular.fashion positiv aus, da Recycler wie z.B. ALTEX und Partner die gewählte Faserzusammensetzung verarbeiten können.

RITTEC hat ebenfalls ein innovatives Verfahren für das chemische Recycling von Polyester entwickelt. Technisch können in diesem Verfahren verschiedene Materialzusammensetzungen verarbeitet werden, ökonomisch interessant wird es für das Unternehmen bei einem Polyester Anteil von mehr als 80%. Ein großer Vorteil dieser Recyclingmöglichkeit liegt darin, dass hier die Textilien regional in Deutschland depolymerisiert werden können sowie auch der Partner zur Polykondensation in Deutschland liegt. Auf Grund des ökologischen Aspektes dieses regionalen Aufbaus wäre es für das DiTex-Projekt eine Möglichkeit, das Recycling mit dem Partner RITTEC zu erproben. Auch hier könnte die Synergie zwischen den beiden Oberbekleidungstextilien genutzt werden, um den gewünschten Anteil von Polyester zu erhalten.

Dieser Ansatz korrespondiert mit dem von Takacs et al. (2020) beschriebenen Muster **C3 Re- & Upcycling** (Kreislaufschließung) (vgl. Abbildung 4).

2.2.4 „Intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung

Nur wenige der aktuellen Trackinglösungen bieten eine dauerhafte Integration des Identifikationscodes in die Textilien. Deshalb ist in der Regel weder eine weitere Nachverfolgbarkeit des Lebenszyklus nach dem Kauf noch eine genaue Materialdeklaration möglich, welche die Prozesssteuerung im Textilservice (Wäschereibetrieb), in Sortierunternehmen und auch effizienteres Recycling erlauben würde (R+WTextilservice, 2017). Die Standardisierung der Informationsspeicherung und das Abrufen durch integrative Systeme sind herausfordernd. Das Berliner Start-up [circular.fashion](#) – in DiTex als Dienstleister eingebunden – lancierte im Dezember 2019 den [circularity.ID](#)-Standard mit spezifischen Daten u.a. zu den gewählten Materialzusammensetzungen und relevanten Zertifizierungen als ihren Lösungsansatz (circular.fashion, 2021).

In DiTex werden verschiedene Typen von Identifikatoren als Link zu den im Netzwerk gespeicherten Produktdaten verwendet. Zu diesen Daten gehören Faserherkunft und Materialzusammensetzung sowie absolvierte Waschzyklen, Beschaffenheit, Verschleiß und Farbechtheit des Gewebes während der wiederholten Nutzung. Als Produkt-Identifikationsmittel können RFIDs in Form von Fäden, Knöpfen, Batches als auch Textil Label mit Data Matrix- oder QR-Codes verwendet werden.

Neueste digitale Trackinglösungen ermöglichen es, auf einfache Weise die Warenströme bei der Kundschaft und in Wäschereien zu steuern. Lesegeräte verzeichnen den Wareneingang bei den Wäschereien automatisch und steuern den Zulauf zur Sortierung und den nachgelagerten Wasch-, Lager- und Warenausgangsprozessen (R+WTextilservice, 2016). Artikel können – selbstverständlich datenschutzkonform ohne Rückschlüsse auf den/die Träger/in selbst zu erlauben – der jeweiligen Kundschaft exakt zugeordnet und Schwund rückverfolgt werden. Die Vorteile



Abbildung 5: „Intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung (Eigene Darstellung, IÖW)

liegen in einer entsprechend zuverlässigeren Wäschereibeobachtung mit Kontrollen in jedem Geschäftsablauf, einer verbesserten Produktionsplanung, einer fundierteren Kommunikation zwischen Kundschaft und Wäschereien, einer gesteigerten Effizienz der Arbeitsprozesse und somit einer verbesserten Wirtschaftlichkeit (R+WTextilservice, 2017). Die circularity.ID von circular.fashion wird – als Speichermedium der Faserherkunft und Materialzusammensetzung – auch zum Schlüssel für eine zeitgemäße Sortierung der Altkleider als Vorstufe des Recyclings, das enorme Textilmengen benötigt. Händisches Sortieren ist keine Option. Nur wenn alle Akteure der Recyclingkette die Bestandteile des Textils kennen, kann automatisiert zügig, kosteneffizient und fehlerarm sortiert und auch vollständig recycelt werden.

Dieser Ansatz korrespondiert mit diesen Mustern bei Takacs et al. (2020): **C7 Rücknahmelogistik** (Kreislaufschließung) sowie **I3 Smartes Zubehör** (Verbesserung der Kreislaufführung) (vgl. Abbildung 5).

2.2.5 Erprobung zirkulärer Geschäftsmodelle

In der Privatwirtschaft werden Dienstkleidung und Flachwäsche im Gegensatz zur früher weit verbreiteten Lohnwäsche zunehmend gemietet oder geleast. Mietsysteme sparen im Einkauf hohe Anschaffungskosten und teils unüberschaubare Folgekosten für die Textilreinigung und -instandhaltung. Textilmiete und -leasing unterstützen als Produkt-Dienstleistungssystem (Textil + Pflege/Reparatur/Rücknahme/Recycling) hervorragend die Prinzipien und Ziele einer Circular Economy. Die Wäschereien sind als Eigentümer der Textilien und dank ihrer Stellung und Funktion innerhalb des Produktlebenszyklus fähig, den Kreislauf zu schließen. Bisher stellt nämlich die Sammlung und Sortierung großer Mengen ähnlicher, gut recycelbarer Textilien sowie deren Übergabe an die Recycler ein wesentliches Problem dar (Karell & Niinimäki, 2019; Koszewska, 2018). Mithilfe des Textilservices ist die Implementierung eines funktionierenden Kreislaufs für B2B-Textilien um ein Vielfaches einfacher als für Business-to-Client (B2C)-Textilien. Deshalb will DiTex neue Kooperationen bei der Rücknahmelogistik erproben. Denn idealerweise sammelt und überführt der Wäscheservice die ausgesonderten Textilien zum Recycler. Im DiTex-Vorhaben ist über

damit auch des DiTex-Vorhabens liegt auf der Erprobung und Bewertung der grundsätzlichen Kreislauf- und Recyclingfähigkeit der Beispieltexilien.

Dieser Ansatz korrespondiert mit dem von Takacs et al. (2020) beschriebenen Muster **I4 Öko-Effizienz** (Verbesserung der Kreislaufführung).

Die beteiligten Textilhersteller antizipieren zudem verschiedene Qualitätszertifizierungen für die DiTex-Textilien. Dazu gehört die Bestätigung der Leasing-Eignung gemäß den Hohenstein Qualitätsstandards 701 bis 709. Daneben wird Konformität mit dem Leitfadens für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung (BMZ & UBA, 2020) und den Anforderungen aus vergaberechtskonformen Umwelt- und Nachhaltigkeitslabels wie Made in Green by OEKO-TEX®, Grüner Knopf, EU-Umweltzeichen und den EU Green Public Procurement Criteria (GPP-Kriterien) for textile Products and Services angestrebt (vgl. die Untersuchung der Umwelt-, Sozial- und Nachhaltigkeitskennzeichnung (Label) für Textilien in Kap. 5.5). Die eingesetzten Fasern wurden mit dem Ziel ausgewählt, alle diese Erwartungen zu erfüllen. Die Dibella hat die DiTex-Bettwäsche bereits zertifizieren lassen mit Made in Green by OEKO-TEX® und dem Grünen Knopf. Eine Zertifizierung der DiTex-Poloshirts und der DiTex-Hemden mit diesen Labels liegt aktuell nicht vor. Die Einhaltung vergleichbarer Standards bei der Konfektion der Artikel wird vom Hersteller durch die Prüfung und Auditierung der Konfektionsbetriebe durch unabhängige Firmen garantiert

Dieser Ansatz korrespondiert mit dem von Takacs et al. (2020) beschriebenen Muster **E8 Kommunikation von Verantwortung** (Anregung des Kreislaufs).

Der Umbau der textilen Kette in eine zirkuläre Textilwirtschaft gelingt nicht ohne die **Erweiterung des Akteursnetzwerks**. Um ein vollständiges Textilrecycling bei gleichzeitiger Verlängerung der Nutzungsdauer und idealerweise auch die Markterweiterung des Geschäftsmodells Textilmiete/-leasing zu erreichen, werden viele Akteure in (teils) neuen Konstellationen miteinander kooperieren müssen. Es ist deshalb ein Teilziel, die interessierten Akteure der Textilwirtschaft von Produzenten über Textilservice-Anbieter bis zu Sortier- und Recyclingunternehmen mit Standardisierungsorganisationen und (potenziellen) Abnehmern zu vernetzen. DiTex initiiert dafür pro-aktiv Kooperationen, nutzt das Diskursformat der **Marktdialoge** und setzt damit eine Aktivität des Stufenplans für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung um. Der im Vorhaben generierte Materialpool (Analyseberichte, Produktdatenblätter, Bewertungen und Empfehlungen) soll einen wichtigen Input liefern und wird in strukturierter und übersichtlicher Form Unbeteiligten öffentlich verfügbar gemacht.

2.3 Zwischenfazit

Ein Umbau der textilen Kette zu einem Kreislauf ist essenziell, um sozial-ökologische Herausforderungen der Textilwirtschaft zu adressieren. Als Machbarkeitsstudie erprobt DiTex in diesem Kontext verschiedene Ansätze: Entlang des gesamten Lebenszyklus eines Textils – vom Design, über die Herstellung und Nutzung, bis zum Recycling – werden verschiedene Stellschrauben gedreht, um eine Kreislaufschließung exemplarisch für die drei DiTex-Textilien zu realisieren. Das Zusammenspiel der fünf zentralen und der drei flankierenden DiTex-Ansätze bildet eine ganzheitliche Strategie, die die Anforderungen von Textilherstellern, Textildienstleistern und Recyclern gleichermaßen zu berücksichtigen versucht. Textiltechnische Faktoren zur Recyclingfähigkeit und Langlebigkeit werden mithilfe des Intelligenzen Etiketts als digitale Innovation transparent und nachvollziehbar. Die Erprobung des Textilleasing als ein alternatives Geschäftsmodell ergänzt die Strategie

gezielt. Die Ansätze korrespondieren mit mehreren Mustern zirkulärer Ökosysteme nach Takacs et al. (2020) und demonstrieren eine Vielzahl an Aspekten, die für eine textile Kreislaufschließung adressiert werden können bzw. müssen. Über die in DiTex adressierten Aspekte hinaus zeigen Takacs et al. (2020) noch weitere Ansatzpunkte für eine zirkuläre Textilwirtschaft, deren Anwendung im Textilsektor in zukünftigen Forschungsprojekten erprobt werden sollte.

3 B2B-Textilmarkt: Branchendaten und Herausforderungen

3.1 Marktdaten

Die Nutzung von **Berufs-, Arbeits- und Schutzkleidung** betrifft in Deutschland einen Großteil aller Arbeitskräfte. Von insgesamt 42 Millionen Beschäftigten in Deutschland werden 34 Millionen mit Arbeits- und/oder Schutzkleidung versorgt (Anton-Katzenbach, Oerder & von Rothkirch, 2020, S. 34f.). Das Handelsvolumen für Berufskleidung und Persönliche Schutzausrüstung (PSA) in Deutschland betrug 2019 2.961 Millionen Euro. Das entspricht einem Anstieg von 1,4 Prozentpunkten im Vergleich zu 2018/19 (Anton-Katzenbach et al., 2020, S. 20). Als treibende Faktoren werden die Verbesserungen der zurückliegenden Jahre hinsichtlich Funktion, Komfort und Design genannt und auch ein gestiegenes Bewusstsein für die Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeitenden und mehr gesellschaftliche Akzeptanz für Berufs- und Schutzkleidung wahrgenommen (ebd.). Textilunternehmen aus den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union sind ein großer Arbeitgeber.² Außerdem ist Europa weltweit nach den USA der zweitgrößte Markt für Arbeitskleidung (ECAP, 2017, S. 11). Nach der Weltwirtschaftskrise 2008/09 brach dieser Markt deutlich ein, erholte sich bis 2012 wieder und verzeichnete bis zum Beginn der COVID-19-Pandemie im Frühjahr 2020 immer wieder geringfügige Schwankungen (ebd.). Abgesehen vom Gesundheitssektor bewirken je nach Segment die insgesamt rückläufige Wirtschaftsentwicklung und gestiegene Kurzarbeits- und Arbeitslosenquoten in unterschiedlicher Stärke einen Nachfrageeinbruch bei Arbeitskleidung (Anton-Katzenbach et al., 2020, S. 7, 49f.).

Die Daten zur im B2B-Markt genutzten **Flachwäsche** zeigen, dass die Informationen zu Mengengerüsten und Marktanteilen von Flachwäsche im europäischen und deutschen B2B-Markt begrenzt und nicht trennscharf sind. Flachwäsche wird in verschiedenen Branchen genutzt und aus diesem Grund in den verfügbaren Statistiken unterschiedlichen Sparten oder Segmenten zugerechnet. Einen Anhaltspunkt gibt das Produktsegment „flat linen“, zu dem Bettwäsche, Handtücher, Tischdecken, Servietten, Vorhänge, Duschvorhänge und Küchenhandtücher gezählt werden. Hier betrug der europäische Umsatz 2014 allein im Textilservice-Markt zwischen 4,3 und 4,9 Milliarden Euro (ETSA, 2014, S. 6). Die bereits Anfang der 2010er Jahre hohen Outsourcing-Raten von Flachwäsche im Hotelsegment und der Preisdruck seitens der gewerblichen Abnehmer begrenzten weiteres Umsatzwachstum auf den westeuropäischen Märkten (ebd.). Bis zum Beginn der COVID-19-Pandemie³ dürfte

² „The textile and clothing sector is an important part of the European manufacturing industry. According to data from 2013, there were 185,000 companies in the industry employing 1.7 million people and generating a turnover of €166 billion. The sector accounts for a 3% share“ (ECAP 2017: 11).

³ Die Hotel- und Gastronomiebranche war und ist von den Schließungen und Abstandsregelungen während der COVID-19-Pandemie sehr stark betroffen, weshalb die Nutzungsfrequenz der Textilservice-Leistungen drastisch einbrach.

der reale Umsatz dennoch größer gewesen sein. Denn obwohl der Sparte „Hotel“ auch Arbeitskleidung zugerechnet wird, ist „flat linen“ dort eine zentrale Produktgruppe. Laut European Textiles Services Association (ETSA, 2014, S. 3) betrug der Jahresumsatz 2014 dort 2,1 bis 2,3 Milliarden Euro.

Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick über den **deutschen Anbietermarkt gewerblicher Textilservice-Unternehmen** in Bezug auf Anzahl der Unternehmen, Verbände, Kostenstruktur, Marktsegmente und Kundenkreis. Die Textilservice-Branche hat ihren Ursprung in der Wäscherei- und chemischen Reinigungsindustrie und bietet die gewerbliche Reinigung von Textilien an. Sowohl in Lohnwäschereien als auch Textilservice-Unternehmen dominieren mittlerweile B2B-Geschäftsbeziehungen. Die Struktur dieses Anbietermarkts wandelte sich unter diesen

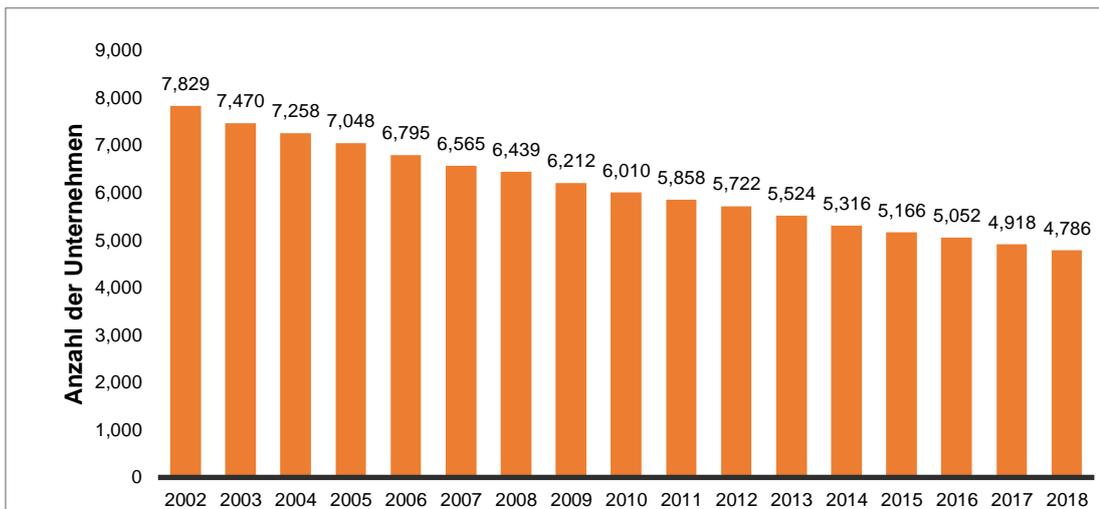


Abbildung 7: Anzahl der Unternehmen im Wäscherei- und Reinigungsgewerbe in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018 (Destatis, 2020b)

Entwicklungen langsam weg von handwerklichen und kleinen bis mittleren Familienbetrieben. Heute prägen größere Betriebe mit Vollversorgung und ausdifferenzierten Dienstleistungsportfolio den Wirtschaftsbereich. Die ETSA schätzte 2014 das gesamte Umsatzvolumen ihrer Mitgliedsunternehmen im Textilservice-Markt in Europa⁴ auf 10,5 bis 11,5 Milliarden Euro (ETSA, 2014). In dieser Branche hatten textile Flachwaren mit 42 Prozent den größten Anteil und wurde der Umsatz im Segment „Workwear“ auf 3,5 bis 3,8 Milliarden beziffert (ETSA, 2014, S. 6). Das entspricht mit 33 Prozent dem zweitgrößten Marktanteil. Mit einem Umsatz von 3,2 bis 3,5 Milliarden Euro repräsentierte das Segment „industry – trade – services“ (ITS) 30 Prozent des Textilservice-Marktes (ETSA, 2014, S. 3). ITS beinhaltet ebenfalls Flachwaren wie Bettwäsche, während Arbeitskleidung aus dem Gesundheitswesen und der Gastronomie in anderen Segmenten aufgeschlüsselt werden (ETSA, 2014, S. 4). Eine ganz exakte Abgrenzung ist über die European Textiles Services Association (ETSA)-Studie deshalb nicht möglich.

Bei jeweils steigendem Umsatz ist die Anzahl an Betrieben rückläufig (Destatis, 2019, 2020a). Eine präzise Marktanalyse ist jedoch nicht möglich, da seit einer Änderung der Wirtschaftskennziffern im Jahr 2008 Unternehmen der Textil-Dienstleistungen je nach ihrem operationalen Schwerpunkt in mindestens zwei Wirtschaftszweige fallen: „Wäscherei und chemische Reinigung“ (Klassifikationsnummer S9601) oder „Vermietung von Verbrauchsgütern“ (Klassifikationsnummer N7729). Da letztere Kategorie nicht nur Textildienstleister erfasst, sind die tatsächlichen Zahlen der gesamten Textil-

⁴ Daten basieren auf Daten der ETSA-Mitglieder aus 30 europäischen Ländern.

Dienstleistungsbranche nicht präzise bestimmbar. Die nachfolgend genutzten Angaben im Text beziehen sich auf den Wirtschaftszweig „Wäscherei und chemische Reinigung“.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes betrug der Umsatz des Wirtschaftszweigs „Wäschereien und chemische Reinigungen“ im Jahr 2018 in Deutschland 3 Milliarden Euro (Destatis, 2020b). 85 Prozent des Umsatzes fließen in Aufwendungen wie die Bruttoentgelte (anteilig 48 Prozent) und sachbezogene Zahlungen (anteilig 52 Prozent), z. B. für Materialien oder Mieten, Pachten und Leasing. 75 Prozent der Unternehmen im Segment „Wäschereien und chemische Reinigungen“ wiesen Jahresumsätze zwischen 17.500 und 250.000 Euro aus. 90 Prozent der gesamten Markteinnahmen wurden von Unternehmen mit einem Jahresumsatz von mehr als 250.000 Euro erwirtschaftet, was bestätigt, dass der Markt durch einige wenige große Akteure stark konzentriert ist.

Einen anderen Zugang, um den Umfang der gewerblichen Nutzung von Flachwäsche und Berufsbekleidung abzuschätzen, wählten Rubik et al. (2015, S. 96). Sie argumentierten mit den Jahresumsätzen von Gebäudereinigungsdienstleistern, Hotellerie und Krankenhäusern, wohlwissend, dass diese Angaben keinen direkten Rückschluss auf die Textilmengen zulassen. Auf dieser Basis zählten sie Unternehmen wie die Hotelgruppe Accor S.A. (6,1 Milliarden Euro Jahresumsatz 2011) sowie die Helios Klinikum Gruppe und die Rhön Klinikum AG (2011 zusammen erwirtschafteter Jahresumsatz von 5,4 Milliarden Euro) zu den Großverbrauchern von Textilien.

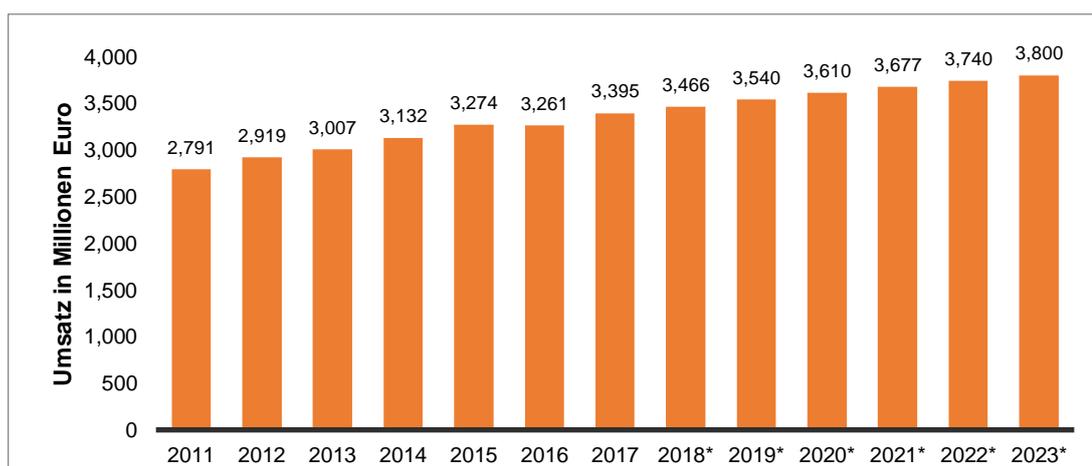


Abbildung 8: Umsatz der Branche Wäscherei und chemische Reinigung in Deutschland in Millionen Euro von 2011 bis 2017 und Prognose bis zum Jahr 2023 (Destatis, 2019)

Für deutsche Unternehmen des Textilservice sind drei Branchenverbände maßgeblich: der **Deutsche Textilreinigungsverband e. V. (DTV)**, die **Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e.V.**⁵, und der **europäische Dachverband European Textiles Services Association (ETSA)**⁶. Letzterer übernimmt primär europäische Lobbyarbeit. Der DTV ist ein Arbeitgeber- und Wirtschaftsverband, der gleichermaßen Lohnwäschereien als auch den Textilservice vertritt. Er beteiligt sich an tariflichen, arbeits- und sozialpolitischen Diskussionen und arbeitet eng mit dem „Zentralverband des Deutschen Handwerks“ zusammen, um frühzeitig von neuen branchenwichtigen Gesetzesvorschlägen zu erfahren und hier die Interessen der Textilservice-Branche einzubringen (DTV, o.J.a). Weiterhin ist der DTV auf nationaler wie europäischen Ebene mit anderen Verbänden wie u. a. dem Industrieverband Textil-Service e.V. und dem Industrieverband Veredlung-Garne-Gewebe-

⁵ Siehe <https://www.waeschereien.de>

⁶ Siehe <https://www.textile-services.eu>

Technische Textilien e.V. und mit Instituten wie u. a. den Hohenstein Instituten, dem Forschungskuratorium Textil und der Fraunhofer Gesellschaft vernetzt. Im April 2019 ging der Wirtschaftsverband Textil Service e.V. (WIRTEX) im DTV auf (DTV & Wirtex, 2019). Damit vertritt der DTV über 800 Unternehmen, die ca. 85 Prozent des deutschen Branchenumsatzes erwirtschaften.

Die **Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege** ist ein eingetragener Verein, der sich seit 1953 der Güte- und Qualitätssicherung im Bereich der Textilpflege widmet. Der Verein umfasste im Jahr 2020 knapp über 400 Mitgliedsbetriebe sowie über 80 Fördermitglieder (Partner für Wäschereien). Neben den Schwerpunkten Weiterbildung und Marktbearbeitung konzentriert sich die Gütegemeinschaft auf Qualitäts- und Hygienesicherheitsstandards für gewerbliche Wäschereien und bietet all ihren Mitgliedern die Zertifizierung nach RAL Gütezeichen (RAL GZ) 992 für sachgemäße Wäschepflege an (Gütegemeinschaft Sachgemäße Wäschepflege e.V., o.J.). Damit wird die Qualität der betriebsinternen und -externen Güteüberwachung gesichert. Auch der textile Werterhalt und eine schonende Ressourcennutzung spielen eine zentrale Rolle im Bereich der Qualitätssicherung. Die Gütegemeinschaft arbeitet mit Hohenstein als Textilprüfdienstleister und Forschungspartner zusammen.

Zu den größten in Deutschland agierenden **Textilservice-Unternehmen** zählen:

- ALSCO Berufskleidungs-Service GmbH
- bardusch GmbH & Co. KG
- Berendsen GmbH & Berendsen Textilservice GmbH
- CWS-boco Deutschland GmbH
- DBL - Deutsche Berufskleidung Leasing GmbH⁷
- diemietwaesche.de GmbH & Co. KG⁸
- Lindström GmbH
- MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG
- SITEX Textile Dienstleistungen Simeonsbetriebe GmbH.

Klassische **Produktsegmente** sind dabei (DTV, o.J.b):

- Berufskleidung für Handwerk, Industrie und Dienstleistung, Business Wear,
- Persönliche Schutzausrüstung (PSA),
- Hotel- und Gastronomie-Textilien,
- Krankenhaus-, Heim- und OP-Textilien, Bewohnerwäsche,
- Reinraum-Textilien,
- Maschinenputztücher,
- Schmutzfangmatten und Wischbezüge,

⁷ Unternehmerischer Zusammenschluss von 17 selbstständigen Textilservice-Anbietern.

⁸ Unternehmensverbund von sechs inhabergeführten Textilservice-Anbietern.

- Waschraumhygiene und Handtuchrollen.

Für das DiTex-Vorhaben ist auch die Datenlage zur Ausstattung der Beschäftigten mit Berufskleidung durch einen Textilservice von Interesse⁹. Im Jahr 2018 statteten allein DTV-Mitgliedsunternehmen 5,44 Mio. Träger/innen mit Berufskleidung (inkl. PSA) aus (DTV, o.J.c). Dabei kam knapp die Hälfte der mit Berufskleidung ausgestatteten Unternehmen aus der Industrie. Mit deutlichem Abstand folgen Handelsunternehmen (15 Prozent) und mit etwa gleichen Anteilen die Branchen Gesundheits- und Sozialwesen, Handwerk/Bau und sonstige Branchen (DTV, o.J.c) (vgl. Abbildung 9).

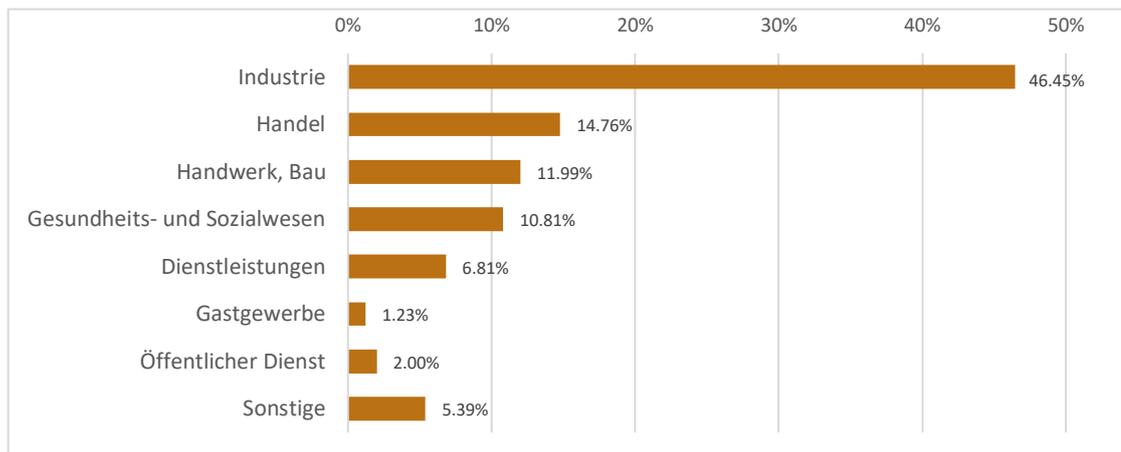


Abbildung 9: Branchenanteile der Berufskleidungs-ausstattung durch einen Textilservice 2018 (Eigene Darstellung basierend auf DTV, o.J.c und Anton-Katzenbach et al., 2020, S. 34f.)

Der öffentliche Dienst (Polizei, Feuerwehr oder Bundeswehr) stellt nur einem sehr geringen Teil der Beschäftigten (< 2 Prozent) Berufs- oder Schutzkleidung über einen Textilservice zur Verfügung (Anton-Katzenbach et al., 2020, S. 34f.). Öffentliche Institutionen in Deutschland nutzen dieses Geschäftsmodell für Berufskleidung also bislang kaum. Entweder sie verwalten und reinigen ihre Textilien selbst, lassen sie in sog. Heimwäsche von den Beschäftigten selbst waschen oder stellen per se keine Berufskleidung.

3.2 Herausforderungen im B2B-Textilmarkt

Einige der vielfältigen Herausforderungen im B2B-Textilmarkt wurden bereits in Kapitel 3.1 adressiert, andere werden nun skizziert.

Entwicklungen im B2C-Textilmarkt, wie der durch stetige Konkurrenz hohe Preis- und Zeitdruck und der immer schnellere Wechsel von Kollektionen, betreffen den B2B-Markt nicht im selben Maße, aber verstärkt. Hersteller argumentieren, aufgrund des Preisdrucks die Produktion in Regionen mit niedrigen Lohnkosten verlagern zu müssen (sog. Offshoring). Zum überwiegenden Teil wird in Asien und seit einigen Jahren vermehrt in osteuropäischen und afrikanischen Ländern produziert (Oxford Economics & FCG, 2021, S. 34). So entstand ein Geflecht globaler Lieferwege, die heute keine linearen Ketten mehr sind. Ihre komplexen Strukturen geben Anlass, sie vielmehr als **Liefernetzwerke** zu bezeichnen. Innerhalb dieser Netzwerke bestehen diverse, starke und **wechselseitige Abhängigkeiten in Bezug auf die Qualität der Materialien, Liefer- und Abnahmemengen, Termintreue, Liquidität und Kapazitäten**. Alle involvierten Akteursgruppen, also Rohstoffproduzenten, Zulieferer, Logistiker, Finanziere und Abnehmer unterliegen deshalb Störpotenzialen und

⁹ Die Abbildung enthält ausschließlich Angaben zu Träger/innen, die über einen Textilservice ausgestattet wurden.

Unsicherheiten, wie z. B. Versorgungsrisiken. Die Unternehmen haben aufgrund der Komplexität der Vernetzung (nur) einen minimalen Spielraum, die Risiken zu beeinflussen.

Viele Berufsbekleidungstextilien sind komplexe Produkte, die bis zur Fertigstellung des Endproduktes zahlreiche Produktionsstufen durchlaufen. Grundvoraussetzung für einen Güterfluss ohne Lieferschwierigkeiten ist, dass die Ressourceninputs wie auch die Fertigwaren in der gewünschten Qualität auf dem Markt zur Verfügung stehen (Sarnow & Schröder, 2019), dafür rechtzeitig transportiert und „in time“ angeliefert werden. Dies bedarf sinnvoll kalkulierter und passend disponierter Logistikkapazitäten und funktionierender IT-Systeme. Die Liste an Risiken und potenziellen Gefahren für einen reibungslosen Ablauf ist lang. Neben Insolvenzen oder Liquiditätsschwierigkeiten von Zulieferern, Logistik- und Lagerunternehmen können Unfälle¹⁰, Umwelt- oder Naturkatastrophen¹¹ und (geo-)politische Konflikte unplanbare Verzögerungen hervorrufen.

Bereits die erste Phase im Herstellungsprozess (Faseranbau bzw. -produktion) ist aufgrund von Klimawandel, Wasserknappheit, Bodenerosion, dem Verlust der Artenvielfalt und wachsender Weltbevölkerung hochgefährdet. Denn die ausreichende Faserverfügbarkeit erfordert funktionierende Ökosystemleistungen. Diese sind unter Druck. Sie stehen u. a. zunehmend in Flächennutzungskonkurrenz zur Futter- und Nahrungsmittelproduktion und der weiteren Bodenversiegelung zugunsten von Wohn- und Verkehrsflächen (ausgelöst durch Zersiedelung einerseits und dem globalen Trend zu Megacities andererseits). Die zur Klimawandelanpassung erforderlichen CO₂-Speicherflächen, Ausgleichs- und Versickerungsflächen stehen nicht mehr (im bisherigen Umfang) für den Naturfaseranbau zur Verfügung.

Der Lockdown in China Ende 2019 und der unterschiedliche Umgang einzelner Staaten mit der COVID-19-Pandemie verursachten in der Textilindustrie massive Lieferausfälle. Der Schiffsverkehr sagte Abfahrten von Asien nach Europa ersatzlos ab, An- und Abfahrten gerieten in ein Ungleichgewicht, die Transportkosten pro Container verzehnfachten sich (Haase, 2021). Die Zahl der Ex- und Importe sank und Leercontainer fehlten an den Stellen, an denen sie im Transportnetz benötigt wurden. In einer Umfrage des Better Buying Institute gaben 35 Prozent der 294 befragten Produktionsunternehmen der Textilindustrie an, weniger Rohstoffe als bestellt erhalten zu haben (Better Buying Institute, 2020). Die Vulnerabilitäten bei Lieferschwierigkeiten wurden während der COVID-19-Pandemie also einmal mehr und in bis dato unvorstellbarem globalen Ausmaß deutlich. Beispielhaft zeigen die aktuellen Lieferengpässe bei Holz und Halbleitern (Hahne, 2021), dass auch die Textilbranche davon betroffen ist, wenn einzelne Rohstoffe verknappt und eng getackte Lieferzeiten nicht gehalten werden.

Noch bis 2019 war eine Re-Lokalisierung der Produktion näher an den Point-of-Sale von nachrangiger Bedeutung.¹² Nun zeichnet sich in der Modebranche ein gewisser Trend zum Nearshoring¹³ ab (Haase, 2021), der Transportwege und Lieferzeiten verkürzt sowie agilere Strukturen mit dem Ziel aufbaut, Kosten und Umweltverschmutzungen zu reduzieren (Andersson et al., 2018). Im Fall der Bekleidungsindustrie im Europäischen Markt ist daher zu beobachten, dass die neuen Produktionsstandorte aus dem ostasiatischen Raum nach Osteuropa und Russland verlagert werden. Laut einer McKinsey-Befragung im April 2020

¹⁰ Wie der Einsturz der Textilfabrik Rana Plaza in Bangladesch 2013 oder die Ammoniumnitratexplosion im Hafen von Beirut (Libanon) 2020 oder das Auflaufen des Container-Schiffs „Ever Given“ auf einer Sandbank im Suezkanal ausgelöst durch einen Sandsturm an der ägyptischen Küste 2021 u.v.a..

¹¹ Wie die Nuklearkatastrophe in Fukushima (Japan) ausgelöst durch einen Tsunami 2011 u.v.a..

¹² „Interestingly, moving production closer to the consumer base has become less of a priority for all respondent groups“ (World Textile Information Network, 2019, S. 11).

¹³ Nearshoring bedeutet die Rückverlagerung wichtiger Produktionsstätten oder ganzer Prozesslinien in den dem Firmensitz nahe- oder nächstgelegenen Wirtschaftsraum.

von 116 Führungskräften im Einkauf (Sourcing/Procurement) und mehr als 230 Abonnenten eines Sourcing Journals – vorwiegend aus Nordamerika und Westeuropa – waren 76 Prozent der Befragten der Auffassung, die COVID-19-Pandemie beschleunige den Nearshoring-Trend (Andersson et al., 2018). Dies konsequent umzusetzen, hätte fundamentale Auswirkungen auf die Ausgestaltung der Lieferketten. Auch politikseitige Entwicklungen deuten auf eine Trendwende. Denn viele Staaten sowie die EU als Staatengemeinschaft realisierten zu Beginn der COVID-19-Pandemie ihre hochgradige Abhängigkeit von Importen medizinischer Güter. Die fehlende Handlungssouveränität und Vulnerabilitäten waren allzu deutlich. Aus diesem Anlass verabschiedete bspw. die Deutsche Bundesregierung die „Nationale Reserve Gesundheitsschutz“, um künftig ausreichend Schutzausrüstung und Vorräte im Fall von Pandemie, Verteidigungsfall und Ausfall der Lieferkette(n) vorzuhalten (Bundesregierung, 2020). Neben dem Effekt der kurzfristigen Marktunabhängigkeit in Notfallsituationen durch die Lagerung wichtiger Materialien in Deutschland, fördert dieser Beschluss auch den Aufbau von Produktionskapazitäten in Deutschland und der EU für u. a. Schutzausrüstung (Bundesregierung, 2020). In diesem Teilmarkt sind deutliche Verschiebungen der Lieferketten zu erwarten.

Die Textilbranche selbst erkennt die Relevanz von funktionierenden IT-Systemen und dem Ausbau der digitalbasierten Vernetzung in und zwischen Unternehmen (Sarnow & Schröder, 2019; World Textile Information Network, 2019). Obwohl die Digitalisierung der textilen Lieferkette weiter vorangetrieben wird, lassen sich bislang weder die Kapazitätsbedarfe genauer vorhersagen noch das Risiko von Lieferengpässen reduzieren. Zudem fehlt laut Sarnow und Schröder (2019) ein einheitlicher IT-Standard, der mittels kompatibler IT-Systeme die zahlreichen Unternehmen in der textilen Lieferkette vernetzt und auf diese Weise Versorgungsrisiken reduziert. Zu diesem Ergebnis kommt auch die Studie „Digital Transformation Outlook – Global textile and apparel industry report 2019“ des World Textile Information Network, die den Stand der Digitalisierung und Vernetzung in der Textilindustrie in der Produktion, Konfektion und dem Vertrieb untersucht hatte, aber Recycling- und Entsorgungsbetriebe nicht mit eingebunden hat.

Etablierte und große Modeunternehmen wenden sich zunehmend dem Aufbau von kreislauffähigen Strukturen zu und schaffen damit ein hohes Skalierungspotenzial. Dahinter liegt die Motivation, der künftig verpflichtenden Getrenntsammlung zu entsprechen sowie die kostenpflichtige Textilentsorgung und damit absehbar steigende Entsorgungskosten zu umgehen. Denn die Novellierung der EU-Abfallrahmenrichtlinie, die Ausarbeitung des EU-Strategieplans für Textilien setzen erste deutliche Impulse zur Entwicklung in Richtung Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit in der Textilindustrie. Die 2018 verabschiedete EU-Abfallrahmenrichtlinie (RICHTLINIE EU 2018/851) verpflichtet zur Getrenntsammlung von Alttextilien ab 2025 in allen EU-Mitgliedsstaaten. In der Richtlinie festgelegte Recyclingquoten legen zudem fest, dass ab 2025 55 Prozent der Siedlungsabfälle recycelt werden müssen (EU, 2018, S. 115, 129). Dies liefert große Mengen an Ausgangsmaterialien, die unter anderem für die Herstellung von Berufskleidung und Flachwäsche genutzt werden könnte. Zudem stellt der aktuelle EU Circular Economy Action Plan (ECAP) (Europäische Kommission, 2020) für Ende 2021 die Entwicklung einer EU-weiten Strategie für Textilien in Aussicht, die darauf abzielt, den Markt für kreislauffähige Textilien weiter auszubauen. Für die Umsetzung sind u.a. Ökodesign-Maßnahmen und die Förderung von kreislauffähigen Produktionsprozessen vorgesehen (ebd.).

Für den deutschen Markt ist vor allem die Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) sowie die Etablierung eines Lieferkettengesetzes ein großer Schritt. Der neue Paragraph 45 KrWG verpflichtet die Einrichtungen des Bundes und nachgeordneten

Behörden bei der Auftragsvergabe u.a. Erzeugnisse zu bevorzugen, die Rezyklate enthalten (KrWG § 45 Absatz 2 Nummer 2) oder recyclingfähig sind (KrWG § 45 Absatz 2 Nummer 3). Die Bevorzugungspflicht betrifft allein in Bundesbehörden und den Unternehmen des Bundes über 6.000 Vergabestellen (BMU, 2020). Deutschlandweit wird von 23.000 bis 30.000 Vergabestellen der öffentlichen Hand ausgegangen (Müller, 2013, S. 31). Im Juni 2021 verabschiedete der Deutsche Bundestag den „Gesetzentwurf über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten“ (sog. Lieferkettengesetz), der 2023 in Kraft treten soll (Arbeit und Soziales/Ausschuss hib 766/2021). Dann unterliegt die Produktion von Textilien diesem rechtlichen Rahmen für einzuhaltende Sozial- und Umweltstandards.

Neueste politische und polit-strategische Entscheidungen sowie regulatorische Maßnahmen zielen also sehr deutlich darauf ab, eine textile Kreislaufwirtschaft zu fördern. Unmittelbar branchenseitig initiierte Aktivitäten zum Design zirkulärer Textilien und zur verstärkten Nutzung von Rezyklatfasern befinden sich noch am Anfang. Es bedarf einer umfassenden Erneuerung der deutschen und europäischen Recyclingstrukturen, damit Sammlung, Sortierung, Recycling und (Neu-)Produktion überhaupt und effizient miteinander harmonisieren können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zahlreiche Marktgegebenheiten (noch) die Entwicklung einer textilen Kreislaufwirtschaft hemmen. In den globalen Liefernetzwerken entstehen aufgrund der starken wechselseitigen Abhängigkeit der beteiligten Unternehmen kaum steuerbare Versorgungsrisiken. In welchen Szenarien sich die Bettwäsche- und Berufskleidungsbranche während und nach der COVID-19-Pandemie entwickeln wird, ist derzeit kaum prognostizierbar. Für eine nachhaltige und kreislauffähige B2B-Textilwirtschaft ist das Gesamt-Set der Rahmenbedingungen rund um verfügbare Mengen und Qualitäten an Rohstoffen, Produkten und Rezyklaten sowie deren Sourcing, Nachverfolgbarkeit (tracking), Transport und Recycling erfolgsentscheidend. Die politisch-strategischen und regulatorischen Treiber seitens der Europäischen Union entfalten dabei bislang eine etwas umfangreichere Hebelwirkung als die noch vereinzelt Impulse der Wirtschaft. Es besteht dringender Bedarf vor allem kooperativ-verbunden zu optimieren, Anstrengungen zu bündeln und substantiell auszuweiten sowie das Tempo massiv zu beschleunigen, um – insbesondere mit Blick auf die EU-Altkleiderverordnung und den Europäischen Green Deal – bereits kurzfristig in großem Rahmen funktionsfähig zu bleiben und die Versorgungssicherheit überhaupt und bezahlbar zu gewährleisten.

4 Mietwäsche und Textilleasing als Geschäftsmodell

Kreislauffähig designte Produkte sind nur die eine Seite der Medaille – daneben müssen auch Unternehmen in ihren Strukturen und Prozessen so gestaltet sein, dass sie die Circular Economy (CE) ermöglichen. Das gilt nicht nur für das produzierende Gewerbe, sondern genauso für Dienstleister. Viel mehr noch ist eine CE ohne zahlreiche Dienstleistungen, seien es bspw. Instandhaltungen oder Wiederaufbereitungen, das Bereitstellen von Poollösungen oder das Umverteilen von Ressourcen, nicht denkbar. Daher stellt sich auch im Rahmen von DiTex die Frage, in welcher Art und Weise neue oder angepasste Geschäftsmodelle nötig sind, um die Kreislaufführung von B2B-Textilien zu ermöglichen. Grundsätzlich kämen hierfür mehrere am potenziellen B2B-Textilkreislauf beteiligte

Unternehmen in Betracht: Die herstellenden Unternehmen, wie Gewebehersteller und Konfektionäre, die Textilnutzer (bspw. industrielles und Gastgewerbe, Sicherheits- und Logistikdienstleister, Gesundheits- und Sozialwesen und öffentlicher Dienst) sowie die ggf. assoziierten Wäschereien und zuletzt die Entsorger, Sortierer und Recycler. DiTex fokussiert sich auf die Wäschereien, genauer auf solche, die Berufskleidung und Bettwäsche nicht nur waschen, sondern an die Textilabnehmer verleihen. Gemeinhin wird dieses Modell in Abgrenzung zur Lohnwäsche als Textilservice bezeichnet (s.u.). Die Schwerpunktsetzung folgt der Arbeitshypothese, dass der Miettextilservice aufgrund seiner Funktion als Intermediär prädestiniert ist, effizient den Stoffkreislauf zu schließen, da gewöhnlich die Rückführung kreislauffähiger Textilien eine besondere Herausforderung darstellt. Daneben lautet die zweite zentrale Hypothese, dass dem Mietwäsche-Geschäftsmodell Nachhaltigkeitsziele inhärent sind, denn die Wertschöpfung erfolgt dienstleistungsbasiert über Effizienzgewinne aus Ressourceneinsparungen und langlebigeren Textilien anstelle des Verkaufs von Produkten. Die Wäschereien haben einen ökonomischen Anreiz das Produktleben soweit wie möglich zu verlängern.

Dieses Kapitel geht auf folgende Forschungsfragen ein:

1. Inwiefern lässt sich die Mietwäsche als notwendiger Teil einer CE fassen?
2. Welche Geschäftsmodelle gehen derzeit mit Mietwäsche einher?
3. Welche Nachhaltigkeitsdimensionen werden derzeit durch Mietwäsche adressiert?
4. Was ist der Status Quo und das Potenzial von Auto-ID-Technologien zur Erfüllung von CE-Prinzipien im Textilservice?
5. Was sind Herausforderungen für Unternehmen und Gesetzgebung?

Die herangezogene Methodik wird jeweils zu Beginn der Kapitel erläutert.

4.1 Methodisches Vorgehen und Begriffsverständnis

Zur Beantwortung der Fragen wurde im Dezember 2019 ein leitfadengestütztes Interview mit dem im DiTex-Projekt assoziierten Textilserviceunternehmen MEWA GmbH durchgeführt. Das Interview mit dem Leiter der Abteilung Umwelt- und Verfahrenstechnik (im Folgenden „B:“, Befragter und „I:“ Interviewende) dauerte etwa zwei Stunden und hatte zum Ziel, die Geschäftsmodell-Elemente des Unternehmens zu bestimmen, Elemente der Vertragsgestaltung zu erfassen sowie erste Einblicke in die der Wäscherei vor- und nachgelagerten Prozesse zu erhalten. Um eine höhere Validität und damit Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten sowie eine reichhaltigere Deskription des Geschäftsmodells zu ermöglichen, wurde eine Daten- und Methodentriangulation vorgenommen (vgl. Tabelle 2): Zum einen wurden ergänzende, telefonische Kurzinterviews mit zwei weiteren Textilservice-Unternehmen (AlSCO Berufskleidungs-Service GmbH, DBL - Deutsche Berufskleider-Leasing GmbH) und einem Leasingnehmer (Deutsche Bahn AG) durchgeführt. Zum anderen wurden die Darstellungen des Mietwäschekreislaufs auf den Unternehmenswebseiten und in den Broschüren einiger führender Textildienstleister miteinander verglichen, um darüber Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Geschäftsmodellen abzuleiten. Die Analyse erfolgte über eine deskriptive Beschreibung des Textilservice-Geschäftsmodells sowie eine Einordnung in den wirtschaftswissenschaftlichen Hintergrund der Circular Economy.

Tabelle 2: Methodisches Vorgehen

Datenerhebung
<ul style="list-style-type: none"> – Zweistündiges Interview mit MEWA GmbH – Zwei 25-minütige Interviews mit AlSCO Berufsbekleidungs-Service GmbH und DLB – Deutsche Berufskleider-Leasing GmbH – Einständiges Interview mit Deutsche Bahn AG – Unternehmenswebseiten und Broschüren zum Dienstleistungsmodell
Datenanalyse und -auswertung
<ul style="list-style-type: none"> – 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

Zuvor werden folgende Begriffe eingeführt und voneinander abgegrenzt: a) Lohnwäsche, b) Mietwäsche, c) Leasingwäsche. Anschließend erfolgt eine kurze Einordnung der Wäscherei-Branche hinsichtlich zentraler Akteure und Branchenumfang.

Lohnwäsche und Miet- oder Leasingwäsche werden in Abgrenzung zueinander genutzt. Beauftragt ein Betrieb gewerbliche Wäschereien, die hauseigene Wäsche zu reinigen, heißt das **Lohnwäsche**. Im Gegensatz dazu sind etwa Objekttextilien (Bettwäsche, Handtücher, Bademäntel usw.), Putzlappen, Fußmatten und Handtuchrollen und Berufs- und Schutzkleidung bei der **Miet- und Leasingwäsche** Eigentum der Wäschereien. Sie vermieten als Leasinggeber die Textilien an ihre Kundschaft, die Leasingnehmer. Die Beschaffung, Reinigung und Instandhaltung der Textilien sowie die dahinterliegende Logistik sind Bestandteil ihrer Dienstleistung. Obwohl Miete und Leasing durchaus unterschiedliche Vertragsformen und -modalitäten bezeichnen, zeigt die Praxis, dass eine strenge Unterscheidung nicht erfolgt und Wäschereien die Begriffe üblicherweise synonym nutzen¹⁴ (Schweyen, 2016). Diese Praxis übernehmen wir in diesem Bericht. Häufig wird der Begriff Textilservice mit dem Miet-/Leasingmodell assoziiert, weshalb Textilservice im Folgenden synonym zu Miet- bzw. Leasingwäschereien verwendet wird.

4.2 Geschäftsmodelle als Teil einer Circular Economy

Geschäftsmodelle helfen Manager/innen, Unternehmen planvoll zu gestalten. Sie erlauben, komplexe unternehmerische Ideen systematisch zu entwickeln, zu veranschaulichen und zu analysieren (Geissdoerfer, Vladimirova & Evans, 2018; Zott, Amit & Massa, 2011). Geschäftsmodelle beschreiben ganzheitlich und dennoch vereinfacht organisationale Aktivitäten zur Realisierung eines Nutzenversprechens (Foss & Saebi, 2017). Es existieren – trotz oder gerade wegen der vielfältigen wissenschaftlichen Beschäftigung mit Geschäftsmodellen – unterschiedliche Definitionen, die gewöhnlich folgende Komponenten und ihre Beziehungen zueinander betrachten (Foss & Saebi, 2017; Geissdoerfer, Vladimirova, et al., 2018; Schallmo, 2013):

¹⁴ I: „Kannst du mir deswegen kurz einen Einblick geben in die unterschiedlichen Wäscherei-Typen? Also was es zum Beispiel mit Lohn- und Mietwäsche auf sich hat, und ob es einen Unterschied gibt zwischen Miet- und Leasingwäsche.“
B: „Also im Großen und Ganzen gibt es zwischen Miete und Leasing keinen Unterschied. Es ist eher eine Frage, wie modern ich erscheinen möchte. Leasing klingt halt etwas moderner als jetzt Mietwäsche“ (C1).

1. das Nutzenversprechen;
2. die Kundschaftssegmente, -beziehungen und Vertriebskanäle;
3. die Wertschöpfung (Ressourcen und Aktivitäten);
4. Partnerschaften sowie
5. Finanzen (Umsätze und Kosten).

Eine hilfreiche Definition liefert Schallmo:

„Ein Geschäftsmodell ist die Grundlogik eines Unternehmens, die beschreibt, welcher Nutzen auf welche Weise für Kunden und Partner gestiftet wird. Ein Geschäftsmodell beantwortet die Frage, wie der gestiftete Nutzen in Form von Umsätzen an das Unternehmen zurückfließt. Der gestiftete Nutzen ermöglicht eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern, die Festigung von Kundenbeziehungen und die Erzielung eines Wettbewerbsvorteils“ (Schallmo, 2013, S. 22–23).

Kompakt und unter Einbezug von Nachhaltigkeitszielstellungen fassen Bocken et al. (2015) Elemente eines Geschäftsmodells zu den drei Blöcken Nutzenversprechen (value proposition), Wertschöpfung (value creation & delivery) und Ertragsmechanismus (value capture) zusammen. Tabelle 3 zeigt die Inhalte der drei Geschäftsmodellkomponenten.

Tabelle 3: Geschäftsmodellkomponenten nach Bocken et al. (2015)

Nutzenversprechen	Wertschöpfung	Ertragsmechanismus
Welcher Wert wird für wen bereitgestellt?	Wie wird der Wert bereitgestellt?	Wie verdient das Unternehmen Geld und erfasst andere Formen der Wertschöpfung?
<ul style="list-style-type: none"> – Produkt Dienstleistung – Kundschaftssegmente und Beziehungen – Mehrwert für Kundschaft, Gesellschaft und Umwelt 	<ul style="list-style-type: none"> – Aktivitäten – Ressourcen – Verteilungsprozesse – Partner und Zulieferer – Technologien und Produktmerkmale 	<ul style="list-style-type: none"> – Kostenstrukturen und Umsatzströme – Wertebezeichnung für Schlüsselakteure inkl. Gesellschaft und Umwelt – Wachstumsstrategie/Ethos

Bestimmte Geschäftsmodelle werden als wichtige Säule nachhaltigerer Produktionsprinzipien gesehen – ein Beispiel hierfür ist die Circular Economy. Die Prinzipien beruhen auf Ideen verschiedener Disziplinen, wie Cradle to Cradle (C2C) (McDonough & Braungart, 2002), Regenerative Design (Lyle, 1994), Industrial Ecology (Graedel & Allenby, 1995), Biomimicry (Benyus, 2002) oder die Blue Economy (Pauli, 2010). Pearce und Turner skizzierten bereits 1990 die Prinzipien einer CE (Pearce & Turner, 1990). Das Konzept hat jedoch vor allem in den letzten Jahren gesteigerte Aufmerksamkeit gewonnen. Wissenschaftler/innen, Praktiker/innen und Politiker/innen sehen die CE als Möglichkeit, Unternehmen und somit ganze Volkswirtschaften auf einen Pfad der nachhaltigen Entwicklung zu bringen (Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017). Bislang fehlt es an einer einheitlichen, allseitig akzeptierten Begriffsbestimmung der „Circular Economy“, wohl am häufigsten zitiert ist die Definition der Ellen MacArthur Foundation (EMF). Diese bezeichnet CE als ein regeneratives industrielles System, welches durch die Eliminierung des „End-of-Life“-Konzeptes, die Umstellung auf erneuerbare Energien und die Beseitigung von Abfällen eine nachhaltige Entwicklung erlaubt (EMF, 2013). Ermöglicht wird dies durch besseres

Design von Produkten, Abläufen und Geschäftsmodellen. Anstatt eines linearen Konsums (Herstellung – Ver-/Gebrauch – Entsorgung) sollen Produkte bzw. deren Materialien durch Wiederverwendung, Recycling oder Wiederaufbereitung so lange wie möglich in einem Kreislauf gehalten werden. Das CE-Konzept verspricht dadurch die Schaffung wirtschaftlichen Wohlstands, sozialer Gerechtigkeit und den Schutz der Umwelt (Kirchherr et al., 2017).

Abstrahiert man von dieser übergeordneten Ebene auf die unternehmerische Praxis können Schlussfolgerungen für die Ausgestaltung von Geschäftsmodellen gezogen werden. Da sich die CE in einen größeren Nachhaltigkeitskontext einordnet, kann von **Sustainable Business Models** (SBM) gesprochen werden. Konkret sind für DiTex zwei Konzepte von Relevanz:

1. Circular Business Models (CBM)
2. Product-Service Systems (PSS).

Beide Konzepte waren ursprünglich eigene Forschungsstränge, wurden aber nach und nach mehr in die Forschung zu Sustainable Business Models integriert. CBMs und PSS' überschneiden sich zu kleinen Teilen inhaltlich, sodass die Perspektiven gemeinsam gedacht werden können (vgl. Kap. 4.2.3).

4.2.1 Circular Business Models

Circular Business Models (dt.: kreislauffähige oder zirkuläre Geschäftsmodelle) haben zum Ziel, die negativen Umweltauswirkungen unternehmerischen Handels zu reduzieren, indem die kontinuierliche Nachfrage nach Ressourcen verringert, Materialkreisläufe geschlossen und Abfallströme als nützlicher Input für andere Produkte und Prozesse genutzt werden (Bocken, Short, Rana & Evans, 2014). Für ein kreislauffähiges Geschäftsmodell müssen also Produkte und Geschäftsprozesse u.a. so gestaltet sein, dass Abfälle am Ende der Nutzungsphase eines Produkts zur Schaffung neuer Werte genutzt werden können. Damit werden zum einen weniger Ressourcen extrahiert und zum anderen Emissionen und die Deponierung von Abfällen reduziert. Unmittelbares Resultat ist eine verbesserte Ressourceneffizienz, für transformative Wirkungen auf Systemebene müssten allerdings weniger Produkte produziert werden (ebd.).

In einem engen Verständnis müssen CBMs die biologischen und technischen Nährstoffkreisläufe der Circular Economy **schließen** (Recyclingmaßnahmen), **verengen** (Effizienzverbesserungen) und **verlangsamen** (Nutzungsphasenverlängerung) (Bocken, de Pauw, Bakker & van der Grinten, 2016; EMF, 2013). Die Verlangsamung der Stoffkreisläufe kann jedoch noch einmal aufgegliedert werden in die **Intensivierung** der Nutzungsphase und die **Dematerialisierung** (Substitution des Produktnutzes durch Service- und Softwarelösungen) (Geissdoerfer, Morioka, de Carvalho & Evans, 2018).

4.2.2 Product-Service Systems

Product-Service Systems (dt.: Produkt-Dienstleistungssysteme) verbinden tangible Produkte und intangible Services zur Befriedigung von Bedürfnissen der Kundschaft (Tukker, 2004). Es werden drei PSS-Kategorien unterschieden, die noch einmal verschiedene PSS-Typen umfassen: 1) Product-oriented services, 2) Use-oriented services und 3) Result-oriented services.

Im Fokus eines Geschäftsmodells mit **Product-oriented services** (dt. produktorientierte Dienstleistungen) steht der Verkauf von Produkten. Ergänzende Dienstleistungen wie Beratung und Wartungsverträge werden vom Unternehmen zusätzlich angeboten.

Auch bei **Use-oriented services** (dt. nutzungsorientierte Dienstleistungen) steht ein tangibles Produkt im Mittelpunkt. Es wird jedoch nicht verkauft. Beim **Product lease** (dt.: Leasing von Produkten) verbleibt das Produkt im Eigentum des Unternehmens und dieses veranlasst häufig auch Wartung, Reparatur und Kontrolle des Produkts. Die Nutzung des Produkts wird für die/den Leasingnehmer/in mit Zahlung einer regelmäßigen Gebühr für die Nutzung des Produkts möglich. Das Produkt wird hier durch eine/n einzelne/n Benutzer/in verwendet, die/der gewöhnlich unbegrenzten und individuellen Zugriff auf das geleaste Produkt hat. Auch beim **Product renting or sharing** (dt.: Vermietung oder gemeinsame Nutzung von Produkten) ist das Produkt Eigentum eines Anbieters, der für Wartung, Reparatur und Kontrolle zuständig ist und die/der Benutzer/in zahlt für die Nutzung. Im Unterschied zum Produktleasing wird jedoch kein unbegrenzter und individueller Zugang zum Produkt gewährleistet, sondern es wird sequentiell von verschiedenen Benutzer/innen verwendet. Das **Product pooling** (dt.: Produkt-Pooling) ist sehr ähnlich zum Mieten oder Teilen von Produkten, jedoch wird das Produkt gleichzeitig durch mehrere Benutzer/innen verwendet (z.B.: Carsharing).

Weiterhin abzugrenzen sind **Result-oriented services** (dt.: ergebnisorientierte Dienstleistungen). Hier existiert kein im Voraus festgelegtes Produkt, stattdessen einigen sich Auftraggeber und Anbieter auf ein gewünschtes Ergebnis. Beispiele hierfür sind das Outsourcing von Büroreinigung oder Pay-per-use-Modelle wie es sie bspw. bei Kopiergeräten für Büros gibt.

PSS werden als effektives Instrument für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft gesehen: Produkt-basierte Geschäftsmodelle erzeugen dann Umsatz und Profit und vergrößern Marktanteile, wenn das Unternehmen möglichst viele Produkte verkauft. Für dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle besteht ein anderer Anreiz. Die Unternehmen werden für die Serviceleistung bezahlt, die dafür nötigen materiellen Produkte und Verbrauchsmaterialien werden zu Kostenfaktoren. Folglich ist es für Firmen nur profitabel, die Lebensdauer der eingesetzten Produkte zu verlängern, sie intensiver zu nutzen, um kosten- und materialeffizienter zu arbeiten, und möglichst viele Produktteile nach Lebensende einer Wiederverwendung (z.B. durch Recycling) zuzuführen. Dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle sind damit gleichermaßen fähig, Stoffflüsse zu verringern sowie den Dienstleistungsoutput und die Zufriedenheit der Kundschaft zu erhöhen (Tukker, 2015).

Trotz dieser generell positiven Einschätzung werden die Beiträge der PSS-Typen für einen erfolgreichen Übergang in eine Kreislaufwirtschaft unterschiedlich hoch bewertet. Result-oriented PSS schneiden in der Theorie am besten ab, da ihr Profitcenter nur im Dienstleistungsergebnis anstelle des verkauften Produkts liegt. Alle für die Dienstleistung nötigen materiellen Produkte und Materialien werden zu Kostenfaktoren, ein stärkerer Einsatz von Produkten und Materialien führt nicht zu mehr Gewinn. Es entsteht ein starker Anreiz weniger von ihnen einzusetzen bzw. sie länger/intensiver zu nutzen (ebd.). Die für DiTex relevanten Nachhaltigkeitsargumente werden unten in Kapitel 4.4 ausgeführt.

4.2.3 Einordnung des Textilservices

Miete und Leasing sind integraler Bestandteil des Konzepts **Product-Service Systems** – konkret sind sie zwei der **Use-oriented Services**. Entsprechend der Definitionen von Tukker (2004) wäre es korrekter von Mietwäsche/-textilien statt Leasingtextilien zu sprechen, da die

Textilien nach Vertragsende wieder in den Bestand der Wäschereien übergehen und an ein anderes Unternehmen vermietet werden, sofern sie auf reversible Art individualisiert wurden.

Für **Circular Business Models** hingegen ist Mietwäsche nicht per se ein Thema. Geissdoerfer, Morioka, et al. (2018) schaffen durch ihre Erweiterungen **Intensivierung** und **Dematerialisierung** der Ressourcenkreisläufe allerdings ein mögliches Einfallstor für den Textilservice. Intensivierung und Dematerialisierung sind gleichzeitig konzeptionell nahe an den Überlegungen Tukkers (2015) zu PSS als Instrument einer Kreislaufwirtschaft, was noch einmal die inhaltliche Nähe von PSS' und CBMs zeigt.

Mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus eines Textils, in dem die Nutzungsphase und damit die Wäschereien nur eine Station sind, müssen die weiteren beteiligten Akteure dennoch die Prinzipien einer CE in ihren Geschäftsmodellen und Handlungen berücksichtigen, um eine effiziente Kreislaufführung von Textilien zu ermöglichen.

Die nächsten Kapitel beschreiben Geschäftsmodelle der Textilservice-Branche näher und lassen in Kapitel 4.4 eine Einschätzung der mit CBMs und PSS assoziierten Nachhaltigkeitseffekte zu.

4.3 Das Geschäftsmodell des Textilservice

Textilservice-Unternehmen erklären üblicherweise auf ihren Homepages das Prinzip ihrer Dienstleistung anhand eines Kreislaufs oder einer Prozesskette (bardusch, o. J.-a; Lindström, o. J.; MEWA, o. J.-a; Sitex, o. J.). Der Kreislauf beschreibt die Stationen, die ein Miettextil innerhalb der Wäscherei in einem Aufbereitungszyklus durchläuft, und integriert teilweise auch die Anbahnung und den Beginn des Service (initiale Beratung usw.). Zwar unterscheiden sich die Darstellungen in ihrem Detailgrad und damit auch in der Anzahl der Schritte, bzgl. der Art und Abfolge der Elemente weichen sie jedoch nicht voneinander ab. Abbildung 10 zeigt einen prototypischen Kreislauf im Textilleasing im Kontext der Nutzungsphase. Wie in den nachfolgenden Abschnitten (Kap. 4.3.1 bis 4.3.3) anhand der Gespräche mit den Firmenvertreter/innen nachgewiesen wird, weist das Mietwäsche-Geschäftsmodell in der grundsätzlichen Form des Nutzenversprechens und der Wertschöpfung und -erbringung keine starke Varianz auf. Die Unternehmen bieten zwar unterschiedliche Services an, wie z.B. Schrankfachservice, Hemd- und Blusenservice, Schmutzfangmattenservice, Putztuchservice, Waschraumservice und Logo- und Emblem Service. Aus den Interviews wird jedoch ersichtlich, dass diese Differenzierung eine Vielfalt von Aktivitäten und Services suggeriert, die allesamt das Kerngeschäft eng flankieren. (I: „Worin unterscheiden sich denn diese Services genau?“ B: (lacht) „Eigentlich gar nicht.“). Es handelt sich dabei vorrangig um unterschiedliche Produktparten und buchbare Zusatzleistungen wie das Anbringen von Firmenlogos oder das Bestücken von Schränken. Der in Abbildung 10 dargestellte Prozess bleibt dabei unverändert. Die unterschiedliche Bezeichnung der Services dient eher Marketingzwecken und einer stärkeren Angebots- und Preisdifferenzierung über Customization. Daher werden im Folgenden die Erkenntnisse aus den Interviews und der Websiteanalyse direkt in ein generisches Geschäftsmodell des Textilservices überführt und anhand der drei Geschäftsmodellkomponenten nach Bocken et al. (2015) beschrieben.

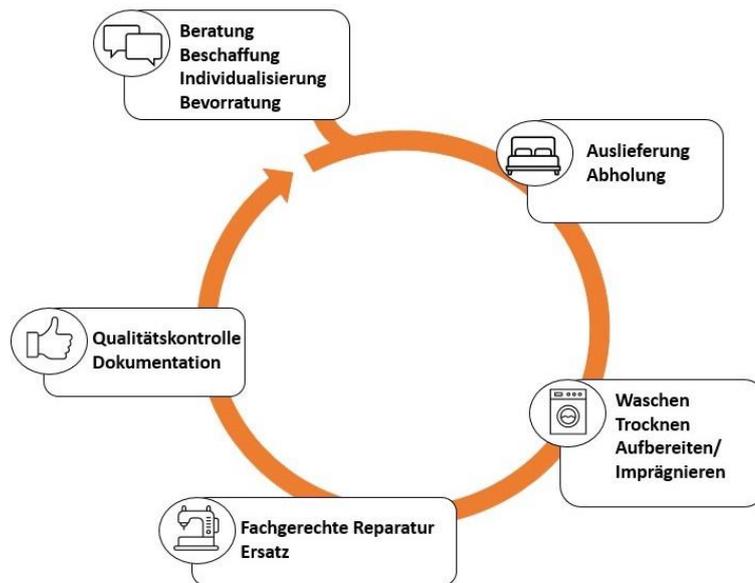


Abbildung 10: Der Textilservice-Kreislauf (Eigene Darstellung, IÖW nach DTV, o. J.b)

4.3.1 Nutzenversprechen (value proposition)

Das Nutzen- oder Wertversprechen ist der Nutzen bzw. das Produkt-/Dienstleistungsangebot für die Kundschaft, die Gesellschaft und die Umwelt. Daneben beinhaltet es nach Bocken et al. (2015) auch die Kundschaftssegmente und -beziehungen. Es beantwortet die zentrale Frage: Welcher Nutzen wird für wen geschaffen? (Bocken et al., 2015).

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 Aufbereitung, Qualitätskontrolle und Reparatur der Textilien umfasst, und deren Beschaffung und Auslieferung an die Kundschaft einschließt. Es soll gewissermaßen ein (nachhaltiges) „Rundum-Sorglos-Paket“ geschaffen werden (bardusch, o. J.-b; DBL, 2020; MEWA, 2016). Zusätzlich garantieren die Mitgliedsbetriebe der Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege über das RAL-Gütezeichen 992 die Einhaltung technischer und hygienischer Prozesse, im speziellen für (Hohenstein, o. J.):

- Objekt- und Haushaltswäsche (RAL-GZ 992/1),
- Krankenhauswäsche (RAL-GZ 992/2),
- Wäsche aus Lebensmittelbetrieben (RAL-GZ 992/3) oder
- Wäsche aus Pflegeeinrichtungen (RAL-GZ 992/4).

Wie Abbildung 10 zeigt, bestehen die Arbeitsschritte des Textilservices aus einem Kreislauf zwischen der Mietwäscherei und den Leasingnehmern. Beginnend auf der unreinen Seite¹⁵, wird das benutzte Textil bei den Kund/innen abgeholt. Beim Eintreffen im Wareneingang wird es registriert. Es erfolgt die Taschenkontrolle, um Fremdgegenstände während des

¹⁵ Die unreine Seite bezeichnet den Bereich in der Wäscherei, indem die Textilien noch schmutzig sind.

Waschvorgangs und somit eine unnötige Schädigung des Textils zu vermeiden. Außerdem wird der Reparaturbedarf festgestellt. Im nächsten Schritt wird das Textil zur Waschstraße transportiert und gewaschen. Nach dem Waschen und Entwässern erfolgt das Finishing des Textils, also das Trocknen, Bügeln, Mangeln und teilweise auch das Falten. Abschließend wird es kontrolliert und repariert und im letzten Schritt entsprechend der Bestellung sortiert und ausgeliefert.

Die angebotenen Dienstleistungen der Textilservice-Unternehmen unterscheiden sich wie weiter oben bereits beschrieben weder innerhalb eines Unternehmens noch zwischen den Wettbewerbern wesentlich. So ist es bei fast allen Mietwäschereien möglich, die Anlieferung bis in die Firmenspinde dazu zu buchen oder die Textilien individualisieren zu lassen (in Farbe, Konfektionsgröße, Abmessungen, Bestickungen/Applikationen usw.). Andere Wäschereien haben sich auf Poolware (also gleiche, nicht-individualisierte Textilien) spezialisiert bzw. bieten beides – individualisierte und Poolware – an. Differenzierung scheint daher eher über einen weiteren (guten) Service wie die Betreuung der Kundschaft und die Qualität in der Kontrolle und Reparatur zu erfolgen:

B: *„Folgende Funktion gehört bei uns zum Standard, das aber nicht von allen Mitbewerbern angeboten wird: Wir schauen jedes Textil einzeln an. Das ist das Qualitätsversprechen. Wir schauen jedes Textil an und reparieren es auch. Es gibt Mitbewerber, die sagen: »Wir reparieren erst, wenn der Kunde eine Markierung an die Ware macht. «¹⁶ Ein roter Zettel heißt also: An der Ware muss etwas repariert werden. Das machen wir nicht. Wir kontrollieren jedes Textil.“*

B: *„Der Service ist im Kundenkontakt entscheidend, also: Liefere ich pünktlich, liefere ich vollständig, liefere ich sauber, ist die Ware repariert? Unser Versprechen ist, wir kontrollieren zu 100 Prozent.“*

B: *„Wir geben jedem einzelnen Träger seine Kleidung. Das ist in der Branche nicht immer so. Da gibt es auch Mitbewerber, die eher auf das Poolsystem setzen. Da kriegt der Kunde dann 100, 200 Jacken in Größe X und wer eine Jacke braucht, der holt sich eine Jacke. Wir machen es so, dass jeder Träger seine individuelle Jacke zurückbekommt. Denn nur dann sind Größenanpassungen möglich. In einem Poolsystem macht es überhaupt keinen Sinn, Hosen zu kürzen oder Ärmel zu kürzen. Das macht nur Sinn, wenn ich weiß: Diese Hose geht immer an Herrn Soundso.“*

Die Kundschaft hat unterschiedlich hohe Qualitätsansprüche an die Textilien, allerdings unterscheiden die Ansprüche sich weniger nach Branche, sondern eher nach Einsatzzweck (B: *„Es würde keinem Menschen einfallen, einem Arbeitnehmer an der Drehmaschine ein weißes Hemd zu geben. Das heißt, wir empfehlen Kleidung passend für den Anwendungsbereich.“*). Dabei spielen vor allem Optik und Haptik der Textilien und die pünktliche und saubere Lieferung eine große Rolle, Nachhaltigkeit ist nur ein untergeordnetes Verkaufsargument

B: *„Nein, es gibt keine Kunden, die danach fragen. Für das Umweltbundesamt und vergleichbare Institutionen ist es manchmal schwer zu verkraften, aber uns hat noch kein REWE gefragt, ob das Textil nachhaltig ist.“*

Im Textilservice ist eine Vertragsdauer von über durchschnittlich drei Jahre üblich. Trotzdem sind die Beziehungen zur Kundschaft eher instabil, denn das konkrete Textilservice-Unternehmen bleibt für den Leasingnehmer austauschbar.

B: *„Für viele Kunden sind wir sogenannter C-Lieferant. [...] Angenommen wir beliefern das Audi-Werk in Deutschland: Wenn wir nicht liefern, dann arbeiten die Mitarbeiter in ihren Privatklamotten. Das ist der C-Anbieter, der mit kleinem Aufwand ohne Probleme ersetzt werden kann. Das ist vielleicht manchmal unser Problem. Bei Schutzkleidung sieht es anders aus. Schutzkleidung kannst du nicht einfach ersetzen. Aber hat der Kunde einen Arbeitskleidungsverkäufer in der Nähe, kann er dort auch Schutzkleidung holen.“*

¹⁶ Dies bestätigt ein Leasingnehmer im Interview. Er legt es als starkes Manko des Textilservices aus.

Die Kundschaft ist – in einigen Branchen stärker als in anderen – preissensibel (B: „*Da geht es manchmal um einen Cent die Woche. Und wenn dann der Mitbewerber, der vom Osten einkauft, einen Cent günstiger ist, dann kriegt der den Zuschlag. Das ist Realität.*“).

Textilservice-Unternehmen haben es gewissermaßen mit zwei Typen an Kundschaft zu tun: Es müssen gleichzeitig die Geschäftsführung des leasenden Betriebs mit dem Ausstattungsgrad, der Pünktlichkeit, dem Preis und der Langlebigkeit der Kleidung und die Nutzenden (Beschäftigte sowie Kundschaft und Klientel der Leasingnehmer) mit der Qualität der Ausstattung (Tragekomfort, Robustheit, Optik, Passform und -stabilität usw.) zufrieden sein. Diese Zufriedenheit ist jedoch nicht objektiv abbild- und planbar, sondern der subjektive Eindruck ist entscheidend – dasselbe Textil kann von Person zu Person unterschiedliche Affekte hervorrufen, was an folgendem Interviewausschnitt deutlich wird:

B: „*Wir haben oft das Problem, dass viele Menschen ihre Ware lieber zu Hause waschen wollen. Man könnte fast behaupten, dass unser größter Konkurrent nach wie vor die eigene Waschmaschine zuhause ist.*“

I: „*Woran liegt das?*“

B: „*Viele denken, wenn ihre Ware mit anderer Ware gewaschen wird: »Das kann ja nicht sauber sein.« Das ist so ein Klischee.*“

B: „*Oder was gerade bei größeren Kunden häufig passiert: In einem Werk wird die Ware Probe getragen. Die anderen fünf Werke bekommen das Ergebnis, haben es aber selber nicht getestet. Was will der Mensch? Er ist immer erstmal gegen Veränderung, weil die oft als nachteilig empfunden wird. Dann hat man oft das Phänomen, dass das Werk, das es sich ausgesucht hat, zufrieden ist und die anderen nicht. Man spielt sehr viel mit Emotionen an der Stelle.*“

Der Textilservice liefert für Gesellschaft und Umwelt weitere Nutzenversprechen. Zum einen bietet er Sicherheit, sei es hinsichtlich Hygienestandards oder Arbeitsschutz durch PSA-Prüfungen. Zum anderen macht er ein Nachhaltigkeitsversprechen, dass er über langlebige Textilien und ressourcenschonende Waschverfahren erfüllen will.

B: „*Denn beim Waschen und Trocknen verbraucht man ja Wasser und Energie. Das hängt natürlich aber auch von der Waschgüte ab. Wenn jeder auf einem ähnlichen Niveau wäscht,¹⁷ hängt die Nachhaltigkeit im Grunde nur noch davon ab, wie oft ich waschen kann? [...] Anbieter von Textilleasing sind von ihrer Grundstruktur her schon nachhaltig, weil sie auf Langlebigkeit viel mehr Wert legen müssen als ein Lohnwäscher, der sich um das Textil in dem Sinne überhaupt nicht kümmert.*“

Kapitel 4.4 vertieft reale und potenzielle Nachhaltigkeitsdimensionen des Textilservices.

4.3.2 Wertschöpfung (value creation and delivery)

Die Wertschöpfung und -bereitstellung umfasst die Kernaktivitäten, -ressourcen und -partner sowie die Distributionskanäle. Die zentrale Frage ist: Wie wird der Nutzen bereitgestellt? (Bocken et al., 2015). Für den Textilservice ist daher zu beschreiben, wie die Unternehmen das Nutzenversprechen für ihre Kundschaft schaffen und worin Wettbewerbsvorteile begründet sind.

Die zentralen Aktivitäten zur Leistungserbringung fasst Abbildung 10 zusammen. Das Mieten von Objekttextilien und Arbeitskleidung beginnt mit einer umfassenden Beratung, die die Art und Farbe der gewünschten Textilien, aber auch Gewicht, Dicke, Maßgrößen und die gewünschte Haptik behandelt. Für Kleidung und Objekttextilien existieren meist Standardkollektionen in einer breiten Farbpalette, die durch aufstick- oder -nähbare

¹⁷ Gemeint ist hier, dass industrielle Wäschereien sich nicht stark in ihrer Ressourceneffizienz beim Waschen unterscheiden – im Gegensatz zur privaten Wäsche.

Embleme, Logos oder Namensschilder individualisiert werden können. Manche Unternehmen bieten – zusätzlich oder ausschließlich – an, gemeinsam mit der Kundschaft Arbeitskleidung im Corporate Design zu entwerfen und zu produzieren. Wurde sich auf ein Modell geeinigt, erfolgt im Fall von Arbeitskleidung die Größenaufnahme und Textilbestellung: Wie viele Stücke werden in welcher Konfektionsgröße benötigt, welche Sonderwünsche (Längenänderungen, zusätzliche Taschen) sind zu beachten? Jedes Kleidungsstück ist dann personalisiert, d.h. einer Trägerin bzw. einem Träger persönlich zugeordnet. Alternativ oder zusätzlich bieten Textildienstleister Poolware (z.B. 200 Jacken in Gr. M, 200 Jacken in Gr. L usw.) an, aus denen sich die Mitarbeiter/innen bedienen.

In einem ein- oder zweiwöchentlichen Rhythmus fahren die Mietwäschereien die Leasingnehmer an, liefern die saubere Wäsche aus und holen die Schmutz-Wäsche ab. Üblicherweise übernehmen Textilservice-Unternehmen dabei die komplette Logistik und haben einen eigenen Fuhrpark und Fahrer/innen (B: *„Wir haben eine größere Logistikflotte als manche Logistiker.“*). Die Tourenplanung unterliegt ständiger Optimierung. Die Fahrer/innen fungieren gleichzeitig als Support vor Ort. Über Barcodes oder andere digitale Trackinglösungen kann die Wäsche personengenau ausgeliefert werden. Der Barcode ist mit einer Datenbank verknüpft, in der weitere textilbezogene Informationen gespeichert werden, wie die bisherige Anzahl der Waschzyklen, der Leasingnehmer, Größe und etwaige Längenänderungen oder andere Individualisierungen. Dank der stückgenauen Nachverfolgbarkeit wird auch die Langlebigkeit von Textilien messbar (B: *„Wir haben Textilien, die haben ein Durchschnittsalter von sechs Jahren. Dann haben wir andere, die kommen auf vier Jahre.“*). In der Konsequenz kann digitales Tracking Hinweise auf die Ursachen von frühzeitigem Verschleiß und einer deshalb verkürzten ökonomischen Lebensdauer liefern. Relevante Merkmale können sein:

- Textilqualität: Design/Materialien/Verarbeitung (un-)passend zum Einsatzzweck und Waschprogramm
- Sachgerechte Nutzung: Gebrauch (un-)passend zum Einsatzzweck und -ort, vereinbarte Häufigkeit des Wäschewechsels.

Von dieser exakten Ursachen- bzw. Fehlersuche profitieren gleichermaßen der Textilservice wie der Leasingnehmer. Ersterer kann dank angepasster Textildesigns mehr Gewinn erwirtschaften, letzterem können verbesserte Standardkollektionen/-modelle mit anderer Faserzusammensetzung oder Konfektion angeboten werden, die bspw. atmungsaktiver sind oder einen höheren Stretch-Anteil haben.

Neben den Fahrer/innen gibt es meist auch einen Support im klassischen Sinn (Telefon-Hotline) und Online-Portale, über die Feedback gegeben und Fragen gestellt werden können. Häufigste Themen sind falsch gelieferte Textilien oder ein falscher Lieferzeitpunkt, Fragen zur Rechnungsstellung oder das An- und Abmelden von Träger/innen während der Vertragslaufzeit, was vor allem bei größeren Unternehmen mit höherer Personalfuktuation vorkommt. Eine klassische Kernaufgabe ist das zeitnahe Bereitstellen neuer Kleidung.

Weitere zentrale Aktivitäten sind die Qualitätskontrolle und die Reparatur der Textilien. Routinearbeiten sind hier das Schließen offener Nähte und Löcher, Längenänderungen, Annähen zusätzlicher Taschen, Austauschen von Reflexionsstreifen und das Vernähen von Rissen. Bei jeder Reparatur müssen die Qualitätsanforderungen an die Optik eines Textils je nach Einsatzgebiet beachtet werden.

Die Produktentwicklung, teils durch Wunsch der Kundschaft induziert, kann bei großen Mietwäschereien Teil des Geschäftsmodells sein. Dann entwickeln die hauseigenen

– teilweise auch unternehmensexternen – Textiltechniker/innen und -designer/innen neue Textilien (inkl. Labortestung), die mithilfe der oft langjährigen Partner aus der Konfektion produziert werden. Diese eigenen Designs werden oft reparaturfreundlicher, langlebiger oder angepasst an die Waschprozesse konzipiert:

B: „Ganz einfaches Beispiel: Wie baue ich einen Reißverschluss ein? Es gibt Varianten, bei denen jede Näherin zu fluchen anfängt. Und dann gibt es auch einfache Varianten, die sind einfacher in der Reparatur. Da kann ein Reißverschluss schnell abgetrennt und ein neuer eingenäht werden.“

Andere Unternehmen ohne eigene Entwicklung beziehen „fertige“ Kollektionen von Konfektionären, die nach Bedarf individualisiert werden können.

4.3.3 Ertragsmechanismus (value capture)

Der Ertragsmechanismus beschreibt die Kostenstrukturen und Einnahmequellen eines Unternehmens. Diese Analyse deckt auf, wie Gewinne erzielt werden.

Im Textilservice fallen folgende **Kosten**positionen an:

- Personalkosten
- Investitionskosten in Wasch- und Sortieranlagen, oft eigener Fuhrpark
- laufende Betriebskosten für Wasser, Strom, Waschmittel, sonstige Hilfsmittel, Kraftstoff usw.
- ggfs. Grundstücksmiete oder -pacht
- Steuern (u.a. Gewerbe-, Umsatz- und Lohnsteuer)
- besondere Kosten: Investitionen bei der Textilbeschaffung (werden als Abschreibungen im Miet-/Leasingvertrag kompensiert).

Die **Einnahmen** werden über langfristig angelegte Verträge geregelt. Die unterschiedlichen Textilarten sind mit unterschiedlichen Preisen hinterlegt, zusätzliche Services wie häufigere Lieferungen, Schrankservice oder Individualisierungen kosten mehr. Es wird gewissermaßen ein Baukastenprinzip angewendet. Die Abrechnung erfolgt meist stückgenau, für Putztücher oder Objekttextilien ist die Vereinbarung von Pauschalpreisen üblich.

Der Textilservice generiert Gewinne, wenn langfristig die Einnahmen höher als die Kosten sind. Der Gewinn wird gewöhnlich durch folgende Effizienzverbesserungen erhöht: Erstens können robustere Textilien (ggf. sogar trotz höherem Anschaffungspreis) dank ihrer höheren Produktlebensdauer mehr Einnahmen generieren. (B: „*Wie hoch die Kosten tatsächlich sind, hängt von der Langlebigkeit ab.*“). Zweitens senkt eine optimierte Tourenplanung Logistikkosten (B: „*Also auch hier versucht man irgendwie Logistik[kosten] und [...] Fahrkilometer nach unten [zu] bringen.*“). Drittens reduziert ein gutes Ressourcen- und Umweltmanagement massiv Waschmitteleinsatz, Strom- und Wasserverbrauch. Viertens ermöglicht digitales Tracking und damit die genaue Verortung und der Zustand der im Umlauf befindlichen Textilien eine On-Demand-Nachproduktion. Dies zieht eine reduzierte Lagerhaltung nach sich und damit folgende Nachhaltigkeitspotenziale:

- Dank weniger bzw. stabilem Flächenverbrauch auf dem Firmengelände der Wäscherei müssen keine Gebäude zusätzlich angebaut werden.
- Weniger Restposten bei Kollektionswechsel, die in die Entsorgung gegeben werden.

Die Gesamtpreise für Privat-, Lohn- und Mietwäsche sind nur schwer miteinander vergleichbar. Während der Textilservice fähig ist, für Miertextilien einen konkreten Gesamtpreis zu benennen, fallen bei Lohn- oder Privatwäsche „unsichtbare“ Faktoren ins Gewicht, die den Gesamtpreis stark beeinflussen können. Dazu gehört bspw. die Effizienz der privaten Waschmaschine und die Qualität und Lebensdauer der Kleidung, die einen niedrigen Einkaufspreis verzerren können.

4.4 Nachhaltigkeitsdimensionen des Textilservices

Ökologische Nachhaltigkeit ist eines der zentralen Versprechen des Textilservices. In der analysierten Außenkommunikation (Websites, Broschüren) und in den Interviews werden diesbezüglich wiederholt folgende drei Schwerpunkte genannt:

1. **Langlebigkeit der Textilien**, die v.a. dank standardisierter, hochqualitativer und gut reparierbarer Ware sowie einer Nutzung über mehrere Leasingverträge hinweg erreicht werden soll;
2. **ressourcenschonende Waschverfahren**;
3. **zertifiziertes Ressourcen- und Umweltmanagement** mittels Systemen wie z.B. ISO 9001, 14001 oder 50001.

Daneben werden sekundär auch **nachhaltige Textilrohstoffe und -produktion** bzw. umweltzertifizierte Textilien als ein möglicher Weg zu mehr Nachhaltigkeit im Textilservice adressiert (AlSCO, o. J.; CWS-boco, o. J.; DBL, o. J.). Gleichzeitig wird auf die geringe Nachfrage seitens der Kundschaft verwiesen:

I: „Welche Einflussmöglichkeiten habt ihr denn auf die Lieferkette, auf eure Lieferkette? Wenn zum Beispiel Großkunden sagen, sie wollen ein auf eine bestimmte Art zertifiziertes Kleidungsstück?“

B: „Ich wäre ja mal froh, wenn es sowas gäbe.“

I: „Also kommt der Zertifizierungsdruck eher von euch oder wie ist das zu verstehen?“

B: „Nein, es gibt keine Kunden, die danach fragen. Für das Umweltbundesamt und vergleichbare Institutionen ist es manchmal schwer zu verkräften, aber uns hat noch kein REWE gefragt, ob das Textil nachhaltig ist.“

Der Einsatz nachhaltiger Kollektionen oder Einzelstücke geht damit derzeit überwiegend auf Eigeninitiative des Textilservices zurück. Um das Angebot nachhaltiger B2B-Textilien auszubauen, müsste zunächst ein adäquater Nachfragemarkt geschaffen werden.

Nicht thematisiert werden bisher ein ressourcensparsamer und damit nachhaltigkeitsförderlicher **Umgang des Leasingnehmers mit den Textilien**.

I: „Bekommt denn eure Kundschaft spezielle Hinweise zum Umgang mit den Textilien und auch zum nachhaltigen Umgang mit den Textilien?“

B: „Nein, eigentlich nicht. Bis jetzt kommt es nur gelegentlich in Kundengesprächen dazu.“

Dabei zeigt sich das insbesondere für Use-Oriented PSS, wie Miet-/Leasingwäsche eines darstellt, dass die Nutzer/innen sorgloser mit den Produkten umgehen, weil sie ihnen nicht gehören (Tukker, 2015). In der Konsequenz sind negative Wirkungen auf die Produktlebenszeit möglich. Demgegenüber stehen nichtsdestotrotz die Umweltvorteile des Mietmodells: Die Produkte, im Falle von DiTex die Textilien, werden zum einen auf ihre gesamte Lebensdauer gesehen intensiver und teilweise von mehr als einer/m Nutzer/in genutzt und zum anderen ist der Textilservice an der Verlängerung der Textillebensdauer

interessiert und wäscht umwelteffizienter als Privathaushalte (Lüdeke-Freund, Massa, Bocken, Brent & Musango, 2016; Tukker, 2015).

Im Kontext von DiTex ist der **Umgang mit aussortierter Wäsche** am relevantesten. Verschlossene/nicht mehr kosteneffizient oder optisch ansprechend reparierbare, zu stark verblichene und aufgrund von nicht mehr entfernbaren Flecken verschmutzte Textilien haben das Lebensende (end-of-life) erreicht und werden aussortiert. Der Textilservice führt sie bislang üblicherweise an Entsorgungsunternehmen ab, die sie thermisch verwerten oder auf Deponien lagern. Teilweise werden die Textilien vor diesem Schritt noch einer Zweitverwertung als Putzlappen oder Dämm-/Polstermaterialien mittels Downcycling zugeführt. Soll der Textilservice als CBM gefasst werden, dann bisher nur über die Lebenszeitverlängerung/-intensivierung durch robuste Textildesigns, auf das Textil abgestimmte Waschverfahren und die Reparatur vermieteter/geleaster Kleidung. Dabei ließe sich das End-of-life-Szenario auch in eine CE einpassen – nämlich dann, wenn das Produkt selbst kreislauffähig designt und dank Auto-Identifikations-Technologie (Auto-ID-Technologie) einfach nach Faserzusammensetzung sortierbar ist. Damit ließen sich unter Umständen sogar eine neue Einnahmequelle erschließen, da die aussortierten Textilien nun an Recyclingunternehmen als Rohstoff verkauft werden können (Lüdeke-Freund et al., 2016). Kapitel 4.5 vertieft daher den Status quo, die Potenziale sowie die Handlungsfelder und Herausforderungen für einen kreislaufförderlichen Einsatz von Auto-ID-Technologien im Textilservice. Neben den eben genannten Vorteilen wie weniger Abfall und der Erschließung neuer Rohstoffe und Einnahmequellen könnte eine mögliche negative Auswirkung kreislauffähig designter Textilien darin liegen, dass allein wegen ihrer Kreislauffähigkeit und damit unhinterfragten Umweltfreundlichkeit mehr Textilien als zuvor eingesetzt werden und die anvisierten Ressourceneinsparungen (teilweise) kompensiert werden (Kap. 5.7.4 zu diesem und weiteren Rebound-Effekten).

4.5 Einsatz von Auto-ID-Tracking-Technologie im Textilservice im Hinblick auf das Erreichen zirkulärer Geschäftsmodelle

Der Circular Economy Action Plan (CEAP) hebt die Rolle der Digitalisierung als Treiber für eine CE hervor (EU, 2020). Zur digitalen Abbildung von Prozessen werden heute in Textilservice-Unternehmen Auto-ID-Technologien eingesetzt. Nachfolgend sollen der Status quo und das Potenzial von Auto-ID-Technologien zur Erfüllung von CE-Prinzipien im Textilservice herausgearbeitet werden. Durch den Vergleich des Potenzials mit dem Status quo können Rückschlüsse auf Herausforderungen an Unternehmen und Gesetzgebung abgeleitet werden.

Das Feld der Auto-ID-Technologien schließt verschiedene Technologien ein, die eine elektronische Identifizierung von Objekten ermöglichen. Diese Auto-ID-Systeme lassen sich in optische Codes und RFID-Technologien unterteilen. **Optische Codes** unterscheidet man wiederum in 1D- und 2D-Codes, ersteres wird auch Barcode genannt, für letzteren sind QR-Codes bekannte Beispiele. Die **RFID-Technologie** überträgt Daten mittels elektromagnetischer Wellen. Ein RFID-System besteht aus einem Lesegerät, einer Antenne und einem Transponder. Das Lesegerät nimmt Befehle der übergeordneten Steuerung entgegen und führt diese eigenständig aus. Die Antenne ist sowohl auf dem Lesegerät als

auch auf dem Transponder vorhanden und empfängt und sendet Signale. Der Transponder beantwortet die Abfragesignale des Lesegeräts (Bartneck et al., 2008)

Um Einblick in den Status quo, die Potenziale und Herausforderungen von Auto-ID-Technologien im Textilservice im Sinne einer CE zu gewinnen, wurden semi-strukturierte Expertiseinterviews mit Führungskräften von Textilservice- und Softwareunternehmen sowie Textildienstleistungsverbänden durchgeführt. Insgesamt wurden neun Expert/innen vom 6. Juni bis zum 3. Juli 2020 telefonisch interviewt. Ihre Zugehörigkeit zu verschiedenen Akteuren der Textilservice-Branche und Position im Unternehmen gibt Tabelle 4 wieder.

Die Interviews wurden telefonisch und mit Hilfe eines semistrukturierten Leitfadens durchgeführt. Die aufgezeichneten Interviews wurden transkribiert und dann mittels der qualitativen Dokumentenanalyse kodiert und ausgewertet (Mayring, 2014). Für die Kodierung wurden drei der vier von der Ellen MacArthur Foundation im Rahmen des C2C-Konzepts entwickelten Wertetreiber herangezogen: Erstens sollten Unternehmen den Nutzungszyklus eines Produkts verlängern (*Lebensdauererlängerung*). Durch die Gestaltung langlebiger Produkte kann der Ressourcenverbrauch reduziert werden. Zweitens sollten Unternehmen bestrebt sein, die Nutzungsphase zu verlängern, was zu einer effizienten Ressourcennutzung beiträgt (*Ressourceneffizienz*). Drittens führt die Schließung des Materialkreislaufes und die kaskadische Nutzung zu einer Einsparung von Neumaterialien (*Geschlossener Kreislauf*). Der vierte Werttreiber umfasst die natürliche Regeneration sowie die langfristige Funktionalität natürlicher Systeme, indem biologische Wertstoffe im Kreislauf gehalten werden (*Regeneration natürlichen Kapitals*) (EMF, 2016). Der vierte Werttreiber wird von der Betrachtung ausgeschlossen, weil argumentiert werden kann, dass Ressourceneffizienz, Verlängerung des Lebenszyklus und Schließung des Kreislaufs zum Erhalt natürlicher Systeme führen (Bresanelli, Adrodegari, Perona & Saccani, 2018; EU, 2020).

Tabelle 4: Überblick über die interviewten Experten

Kürzel für Experte	Zugehörigkeit zu Firmentyp	Position im Unternehmen
C1	Textilservice-Unternehmen	Abteilungsleitung Umwelt und Prozesstechnologieentwicklung
C2	Textilservice-Unternehmen	Sales Manager
C3	Technologie-Verband	Sales und Marketing Manager Ident & Automation
C4	Textilservice-Verband	Mitglied der Arbeitsgruppe „Digitalisierung“
C5	Textilservice-Verband	Stellvertretende Geschäftsführung
C6	RFID-Technologie-Firma	Sales Director ID-Technologien
C7	Softwarefirma	Sales Director

Kürzel für Experte	Zugehörigkeit zu Firmentyp	Position im Unternehmen
C8	Agentur für kreislauffähige Textilien	Co-Founder
C9	Maschinenhersteller	Abteilungsleitung der Sortiertechnologie

Tabelle 5 zeigt, wie von Auto-ID-Technologien generierte Informationen zu Ort, Zustand und Verfügbarkeit zu den drei CE-Werttreibern (Ressourceneffizienz, Verlängerung der Lebensdauer und Schließung des Kreislaufs) beitragen können. Sie wird als Framework zur Systematisierung des Status Quo und der Potenziale von Auto-ID-Technologie im Textilservice im Hinblick auf eine CE eingesetzt.

Tabelle 5: Übersicht über Beitrag technologische Wertetreiber zur CE (EMF, 2016, S. 30)

CE-Wertetreiber	Technologische Wertetreiber		
	Lokalisierungs- informationen	Zustands- informationen	Verfügbarkeits- informationen
Ressourcen- effizienz	Unterstützung der Erkennung von Reparaturbedarfen von verschlissenen Komponenten zur Verlängerung der Nutzungsdauer	Vorbeugende Instandhaltung und Ersatz von verschlissenen Komponenten	Verbessertes Produktdesign basierend auf detaillierten Informationen über die Nutzung
	Optimierte Routenplanung zur Vermeidung von Fahrzeugverschleiß	Änderung von Gebrauchsverhalten, um Verschleiß zu minimieren	Optimierte Dimensionierung, Versorgung, und Wartung basierend auf detaillierten Nutzungs- informationen
Lebensdauer- verlängerung	Routenplanung zur Fahrzeitreduzierung und Verbesserung der Auslastungsrate	Minimierung der Ausfallzeiten und vorbeugende Wartung	Automatisierte Verbindung von verfügbaren, gemeinsam genutzten Gegenständen mit nächstem Benutzer
	Schnelle Lokalisierung von Gegenständen in einer Sharing Economy	Optimierter Ressourceneinsatz (z.B. Düngemittel, Pestizide) in der Landwirtschaft	Transparenz des verfügbaren Platzes zur Abfallreduzierung

CE- Wertetreiber	Technologische Wertetreiber		
Schließung des Kreislaufs	Verbesserte Rückführungslogistikplanung	Vorhersagbare und effektive Wiederaufarbeitung	Verbesserte Wiederherstellung und Wiederver- wendung / Umwidmung von Gegenständen am Lebensende
	Automatisierte Lokalisierung von Gegenständen und Materialien auf sekundären Märkten	Genauere Einschätzung des Wertes der Ware im Vergleich mit anderen vergleichbaren Waren	Digitaler Marktplatz zur lokalen Beschaffung von Second-Hand- Materialien
		Entscheidungs- findung für zukünftige Verwendung (z.B. Wiederaufarbeitung vs. Recycling)	

4.5.1 Status Quo

Der Textilservice nutzt heute unterschiedliche Auto-ID-Technologien. Hinsichtlich der Hardware zeigen die Interviews mit den beiden Textilservice-Vertretungen, dass Barcodes und RFIDs parallel eingesetzt werden (C1; C2). Ein Barcode ist auf dem Textil angebracht und der RFID-Chip am Bügel, auf dem das Textil auf einem Schienensystem durch die Wäscherei gefahren wird (C1; C2). Die Auslesegeräte können stationär oder mobil vorhanden sein (C9). Innerhalb der Textilservice-Unternehmen überwiegen stationäre Lösungen, während die ausliefernden Fahrer/innen mit mobilen Lesegeräten ausgestattet sind (C5; C7; C9). Softwarelösungen können entweder branchenspezifisch (C3; C4; C5; C9) oder eigene Entwicklungen (C1) sein: „*Es gibt nicht die Software, die beim Tracking eingesetzt wird*“ (C3). Meist verbindet eine Middleware – proprietär, vom Hardware-Anbieter oder vom Anbieter der Branchensoftware – die Hardware mit dem eingesetzten Enterprise-Resource-Planning-System (ERP).

Auf Basis der Expertiseinterviews konnten Marktsegmente und Unternehmensbereiche identifiziert werden, in denen der Textilservice heute Auto-ID-Technologien einsetzt. In den Marktsegmenten Arbeitsbekleidung und Bewohner/innenkleidung wird Auto-ID-Technologie häufig verwendet, weil die Technologie die Zuordnung des Textils zu den Träger/innen erleichtert (C4). Flachwäsche, die nicht personalisiert ist, trägt selten Barcodes oder RFID-Chips (C9). Bei Reinraumtextilien wird häufig Auto-ID-Technologie eingesetzt, da hier eine gesetzliche Nachweispflicht besteht (C2; C3; C4). Es ist also davon auszugehen, dass die Notwendigkeit der Zuordnung zu Personen ein entscheidender Faktor bei der

Implementierung von Auto-ID-Technologien ist. Bzgl. der verschiedenen Unternehmensbereiche gaben alle Befragten an, dass Auto-ID-Technologien derzeit in der **Logistik** eingesetzt werden. Die folgenden Prozesse werden von Expert/innen als aktuelle Anwendungsfelder von Barcodes und RFID-Chips in der **Intralogistik** genannt:

- Lokalisierung von Ware (C2);
- automatische Zuführung und Steuerung der Transportsysteme zum Wasch- und Trocknungsprogramm (C1);
- Reparatur (C1);
- Sortierung (C1);
- Prozessüberwachung (C9; C5);
- Lagerbestand (C5);
- Lebensdaueranalyse (C5).

In der **externen Logistik** bestehen Unterschiede zwischen Textilservice-Unternehmen: Von der personengenauen Auslieferung bis zum Verzicht auf Tracking außerhalb des eigenen Unternehmens. Neben externer und interner Logistik nennen die vier Befragten auch den **Kundschaftsservice**. Dies umfasst die Anlieferung und Abholung (C4; C6; C9), aber auch die Logistik bei der Endkundschaft vor Ort (C5). Der Kundschaftsservice verwendet Auto-ID-Technologien insbesondere für die Rechnungsstellung (C6) und die Überwachung der Anzahl der Textilien bei Kund/innen im Unternehmen (C4). Letzteres steht im Einklang mit der in Tabelle 5 erwähnten „*Schnelle[n] Lokalisierung von Gegenständen in einer Sharing Economy*“. Die gesammelten Informationen können in pflegebezogene, textilbezogene und stakeholder-bezogene Daten unterteilt werden. (C1; C2; C4; C5; C9). Folgende **pflegebezogene Daten** werden gespeichert:

- Temperatur und Waschmitteleinsatz (C1; C4; C6; C9);
- Zeitdaten (z.B. die letzte Wäsche des Textils) (C2; C5);
- Anzahl der Waschzyklen (C5);
- Aktueller Standort des Textils (C9).

Die folgenden **textilbezogenen Informationen** werden gespeichert:

- Artikel und die Art des Materials (C2);
- Anzahl und Art der Reparaturen (C2; C3);
- Lebenszyklus eines Textils (C1; C2; C4).

Folgende **personenbezogene Informationen** werden erfasst:

- Textilbezogene Daten (Kürzungen, Änderungen und die Konfektionsmaße der Träger/in) (C1);
- Zuordnungsdaten (Name oder Nummer der Träger/innen) (C1; C2; C4);
- Nutzungsbezogene Daten (Zeitpunkt der Abgabe oder Ausgabe des Textils durch die Träger/in, Tragedauer, Anzahl und Gebrauchszeit von Textilien) (C1; C2; C4);

- Mitarbeiter/innenbezogene Daten (Verknüpfung Textil mit behandelnden Mitarbeitenden) (C3; C7).

Für Unternehmen bringt der Einsatz von Auto-ID-Technologie einen Mehrwert durch **Transparenz**. Daten aus Auto-IDs ermöglichen eine frühzeitige Planung und damit effiziente logistische Prozesse (C9). Der Wäschestrom und die Lieferfähigkeit können durch einfacheres Sortieren, weniger Arbeitsaufwand durch automatische Zuordnung bei der Lieferung optimiert werden (C1; C5; C7). Auch wird die Zuordnung, welche Mitarbeitenden zu welchem Zeitpunkt welches Wäschestück behandelt hat, in hygienekritischen Bereichen wie der Reinraumwäsche als Mehrwert gesehen (C2; C3; C9).

Die Optimierung der **Ressourceneffizienz** von Wasch- und Trockenprozessen wird den Expert/innen zufolge bereits gut durch Tracking-Technologien unterstützt (C2; C9). Die beschriebene optimale Nutzung der Waschkapazitäten sei eher eine Frage der materiellen Koordination als technologisch motiviert (C1). Diese Beschreibungen lassen sich unter der Kategorie „Optimierte Dimensionierung, Versorgung, und Wartung basierend auf detaillierten Nutzungsinformationen“ in Tabelle 6 zusammenfassen. Darüber hinaus können Unternehmen, je nach Genauigkeit der gewonnenen Daten, diese nutzen, um **Qualitätsansprüche** gegenüber Lieferanten geltend zu machen (C4).

„Ich kann sowohl die Daten des Lieferanten verwenden, als auch dem Lieferanten Daten zur Verfügung stellen. Wenn Probleme mit den gelieferten Textilien auftreten, z.B. dass ein einzelnes Textil nach nur 120 Waschzyklen ein Phänomen aufwirft, [...] kann der Wäscher über die standardisierte Identifikation des Einzelteils dem Lieferanten benennen, wann und in welcher Charge er dieses Teil an den Wäscher geliefert hat. Weiterhin kann der Wäscher dem Lieferanten auf Einzelteilbasis Daten der Waschzyklen, verwendeten Temperaturen und Drücke etc. zur Phänomenanalyse zur Verfügung stellen“ (C4).

Nach Ansicht der Expert/innen können jedoch nur wenige Wäschereien von diesem Mehrwert profitieren: *„Einzelne Wäschereien können das heute, aber beileibe nicht alle. Das sind Ausnahmen“ (C4)*. Der Grund dafür liegt in der noch nicht weit verbreiteten Anwendung von Auto-ID-Technologien im Textilservice (C6) und der fehlenden Standardisierung, die den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Unternehmen erschwert (C4).

Kund/innen können ebenso von der Transparenz durch Auto-ID-Lösungen profitieren, indem verändertes Gebrauchsverhalten kommuniziert und belegt wird, z.B. durch die Bereitstellung von Statistiken für Krankenhäuser über deren Textilverbrauch (C7). Die Erfüllung der Anforderungen der Kundschaft oder Gesetzgebers an Hygiene kann mithilfe von Auto-ID-Technologien nachgewiesen werden:

„Natürlich ist es für das Unternehmen wichtig zu wissen, dass die Mitarbeiter die Bekleidung auch tatsächlich zum Waschen abgeben und nicht tage- oder wochenlang keimbelasteten Textilien tragen. Das lässt sich optimal durch Barcode oder Chip in Echtzeit dem Wäsche- oder Hygieneverantwortlichen beim Kundenunternehmen aufzeigen, sodass dort Mitarbeiter gezielt angesprochen werden können, die vielleicht ein wenig nachlässig mit Sauberkeit und Hygiene umgehen, und sie anzuhalten, die Bekleidungsteile zum Waschen abzugeben“ (C2).

Darüber hinaus können die Kund/innen schneller Anträge stellen, wie z.B. Änderungen am Kleidungsstück oder Beschwerden (C1; C9). Ebenso verhindert der Einsatz von Auto-ID-Technologien das "Horten, Sammeln und Verstecken" bei Nutzenden (C5) und reduziert damit den Schwund.

Für die Beschäftigten im Textilservice schätzen die Expert/innen die Transparenz als ambivalent ein: Auto-ID-Lösungen entlasten einerseits die Mitarbeitenden und vereinfachen den Informationstransfer zwischen ihnen (C9). Jedoch kann der Einsatz von Auto-ID-

Technologien auch menschliche Arbeitskraft ersetzen und zum Verlust von Arbeitsplätzen führen (C4).

Unter Bezugnahme des Frameworks der Ellen MacArthur Foundation haben die Interviews gezeigt, dass Textilservice-Unternehmen Auto-ID-Technologien derzeit in sehr unterschiedlichem Umfang nutzen (vgl. Tabelle 6). Dabei liegt der Fokus in Bezug auf Ressourceneffizienz bislang darauf, die Versorgung auf den tatsächlichen Bedarf abzustimmen, nachweisbare Nutzungsdaten gegenüber der Kundschaft kommunizieren zu können, um Verschleiß durch die Nutzung und Schwund zu verringern und darauf, das Produktdesign datenbasiert bewerten und ggf. anpassen zu können. In diesen drei Einsatzfeldern leisten Auto-ID-Technologien bereits einen Beitrag zur Ressourceneffizienz im Textilservice. Ausdrücklich weisen mehrere interviewte Personen, insbesondere mit Hintergrund großer/größter Unternehmen im Textilservice, darauf hin, dass Tracking-Technologie kein wesentlicher Treiber von Ressourceneffizienz in den Wasch- und Trockenprozessen ist, sondern interne Prozesssteuerung und Maschinenbau ausschlaggebend sind. Im Hinblick auf die Lebensdauererlängerung als Wertetreiber einer CE wird die Lokalisierung von Textilien durch Auto-ID-Technologie erwähnt, die jedoch unternehmensspezifisch unterschiedlich ausgeprägt ist und unterschiedliche Teile des Kreislaufes abdeckt.

4.5.2 Potenziale

Im zweiten Teil der Interviews wurden die Befragten zum Potenzial der Auto-ID-Technologien befragt und inwieweit die Technik zu den drei Wertetreibern einer CE (Ressourceneffizienz, Langlebigkeit und geschlossener Kreislauf) beitragen kann.

Ressourceneffizienz

Nach Einschätzung der Expert/innen hat das Thema Ressourceneffizienz bei den textilen Dienstleistungen wenig Optimierungspotenzial und wird durch Tracking-Technologien bereits gut unterstützt (C2; C9). Die Befragten beschrieben, wie eine geringe Umschlagshäufigkeit und damit eine geringe Nutzungseffizienz der Bekleidung sowie die Auslieferung von Überschussmengen an Kund/innen verbessert werden kann (C3). Ziel ist es, „[...] mit weniger Textilien mehr Dienstleistungen erbringen zu können, also schnellere Systeme zu haben“ (C1). Diese Beschreibungen lassen sich unter der Kategorie „Optimierte Dimensionierung, Versorgung, und Wartung basierend auf detaillierten Nutzungsinformationen“ in Tabelle 6 zusammenfassen. Die Rückverfolgung kann zur Optimierung des Waschprozesses (C1; C8; C9) genutzt werden. Darüber hinaus kann auf Namensschilder zur Zuordnung verzichtet werden und das Kleidungsstück kann von mehr Träger/innen mit gleicher Kleidergröße getragen werden, was Pool-Textilien ermöglicht und zu größeren Waschmengen und optimalen Nutzung von Waschkapazitäten führt (C4). Eine befragte Person relativiert jedoch das oben eben erwähnte Potenzial. Ihrer Meinung nach ist die beschriebene optimale Nutzung der Waschkapazitäten eher eine Frage der materiellen Koordination als technologisch motiviert. Ressourceneffizientes Waschen könne nur durch die volle Ausnutzung der auf die Textilien abgestimmten Waschprogramme erreicht werden. Dies wäre auch ohne Auto-ID-Technologien und durch reine Prozessoptimierung möglich (C1). Darüber hinaus erwähnt eine interviewte Person nochmals die fehlende industrieweite Umsetzung von Auto-ID, um dieses Potenzial voll ausnutzen zu können in diesem Kontext (C6).

In der externen Logistik können Auto-ID-Technologien die Tourenplanung verbessern (C3; C4; C5; C6; C7; C9), wodurch, zusätzliche Fahrten und somit CO₂-Emissionen vermieden werden. In dem Kodierframework von Tabelle 6 entspricht dies dem Punkt „Optimierte Routenplanung zur Vermeidung von Fahrzeugverschleiß“.

Außerdem besteht Potenzial, die Lebensdauer von Textilien zu verlängern, indem deren Haltbarkeit erfasst und diese Informationen für zukünftige Qualitätsverbesserungen genutzt werden (C3; C5; C7):

„Ich sehe ein anderes Szenario, damit man tatsächlich unterscheiden kann, welches Textil länger haltbar ist. Da sehe ich einen ganz gewissen Ansatz. Und das ist auch das Feedback unserer Kunden. Schon einige Wäschereien haben z.B. gesagt ‚Ich dachte, ich kann das viel häufiger waschen, und jetzt ist es nach 50 Wäschen schon kaputt.‘ Das hören wir sehr häufig, dass gerade bei den Wäschereien ein Entscheidungsprozess, ein Paradigmenwechsel stattfindet, dass man sagt, wir nehmen doch das etwas bessere Textil, weil es ja effektiver ist“ (C3).

Diese Qualitätsverbesserung trägt entsprechend Tabelle 6 zu verbessertem Produktdesign basierend auf detaillierten Informationen über die Nutzung bei.

Langlebigkeit

Das Thema Langlebigkeit ist für den Textilservice essenziell:

„Sie hören raus: für uns als Mietwäscher ist es absolut kritisch, wie lange das Textil hält. Wir haben alle ein elementares Interesse daran, dass die Bekleidung möglichst lange hält, möglichst viele Wasch- und Trockenzyklen übersteht und natürlich auch den Anforderungen im Alltag gewachsen ist. Dass die Nähte, nicht reißen, aufgescheuert werden und so weiter, um sie nicht ersetzen zu müssen“ (C2).

Zur Erhöhung der realen Lebensdauer von Miettextilien ist die Vermeidung von Schwund von Bedeutung; hier ist der Einsatz von Auto-ID-Technologien z.B. bei Handtüchern in Hotels wirksam (C4; C6; C9). Allerdings gibt es hier Datenschutzprobleme, da die Bewegungsdaten von Personen durch den am Textil befestigten Transponder erfasst werden können (C4; C9). Auch der Reparaturprozess könnte durch Auto-ID-Technologien vereinfacht werden. Entweder wird das Textil nach einer festgelegten Anzahl von Wäschen automatisch an dem Reparaturdienst zugeführt (C8) oder der Reparaturbedarf wird schneller erkannt, indem eine kürzere Tragezeit aufgrund von Beschädigungen erfasst wird: *„Ich sehe ja die Ausgabe, ich sehe die Rückgabe, und wenn das nur fünf Minuten sind oder eine Stunde denn ja, die Vermutung nahe, dass es nicht genutzt wird. Also muss irgendwas mit dem Teil sein“ (C3).* Beide Potenziale entsprechen der Kategorie „vorbeugende Instandhaltung und Ersatz von verschlissenen Komponenten“ und „Minimierung der Ausfallzeiten und vorbeugende Wartung“ in Tabelle 6. Kund/innen könnten den Transponder auch nutzen, um notwendige Reparaturen selbst mitzuteilen (C7). Hier könnten Auto-IDs zu einer „Unterstützung der Erkennung von Reparaturbedarfen von verschlissenen Komponenten zur Verlängerung der Nutzungsdauer“, analog Tabelle 6, beitragen. In einigen Unternehmen werden diese Technologien bereits eingesetzt, aber es wird wiederholt auf das Fehlen einer branchenweiten Implementierung hingewiesen: *„Das ist heute nicht tagtäglich in den Wäschereien, in ganz vielen Wäschereien weiß man nicht, wie viel Reparaturaufwand man in welches Einzelteil gesteckt hat“ (C4).* Darüber hinaus könnten RFID-Transponder bald als Sensoren eingesetzt werden und so zusätzliche Informationen liefern, z.B. ob das Textil nass, gereinigt oder zu stark gepresst wurde (C3).

Geschlossener Kreislauf

Die Schließung des Kreislaufs und der Beitrag von Barcodes oder RFIDs wird von den Expert/innen selten erkannt: *„Persönlich, muss ich sagen, sehe ich da kein riesengroßes*

Potential“ (C3). Es gäbe keinen finanziellen Anreiz eine Vorsortierung vorzunehmen. Die Textilservice-Vertretungen sehen keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Tracking-Technologien und der Optimierung von Recyclingprozessen (C2; C4; C5):

„Ich habe lange über diese Frage nachgedacht und das Einzige, was mir dazu eingefallen ist, ist, dass das digitale Tracking am Ende nur bei der Sortierung helfen [kann]“ (C5).

„Im Recycling-Bereich habe ich noch keine Anfragen bekommen“ (C4).

Es besteht Skepsis gegenüber dem Recyclingprozess selbst (C2; C7; C9). Es müsse geprüft werden, ob die Textilien recycelbar sind, und „[...] die Frage nach der Sinnhaftigkeit oder der Gesamtreisourceneffizienz“ (C2) gestellt werden. Im Hinblick auf die Sortierung wird jedoch ein Mehrwert und Potenzial anerkannt (C2; C5; C9). Auto-ID Technologien können die Sortierung nach Rohstoffen erleichtern (C7; C8; C9).

Eine befragte Person (C8) prognostiziert Auto-ID-Technologien ein hohes Potenzial zur Kreislaufschließung. Eine „vorhersagbare und effektive Wiederaufarbeitung“ oder die „genaue Einschätzung des Wertes der Ware im Vergleich mit anderen vergleichbaren Waren“ (vgl. Tabelle 6) werde unterstützt. Nach dieser Ansicht können Auto-ID-Technologien den Entscheidungsprozess verbessern, ob ein Kleidungsstück weiterverkauft, wiederaufbereitet oder recycelt werden soll (C8). Darüber hinaus können RFID- und NFC-Transponder sowie optische Codes (z.B. QR) Informationen über den Fasergehalt eines Textils speichern, was zu einer „verbesserten [...] Wiederherstellung und Wiederverwendung/Umwidmung von Gegenständen am Lebensende“, wie in Tabelle 6, beiträgt. Die Materialinformation des Kleidungsstücks ist unvermeidlich, um eine hohe Recyclingqualität zu gewährleisten (C8):

„Sobald wir Informationen darüber haben, wird es zu Rohstoffen, die wir besser wiederverwenden können, und sofern sie nicht mehr tragbar sind, einem hochwertigen Recyclingprozess zugeordnet werden können. Um einen ökonomisch profitablen Recyclingprozess mit einer hohen Qualität des Rezyklats betreiben zu können, benötigt es ein gut vorsortiertes Ausgangsmaterial.“ (C8).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass laut Expert/innen das Potenzial beim Thema Ressourceneffizienz bereits ausgeschöpft ist. Als ein Dauerthema im textilen Dienstleistungssektor wird die Langlebigkeit beschrieben. Bestehende Optimierungspotenziale messen die Interviewten der optimalen Routenplanung sowie der Minimierung der Ausfallzeiten von Textilien durch vorausschauende Wartung und präzise Informationen über die Nutzung bei. Die Mehrheit der befragten Personen betrachtet Recycling nicht als ein Thema des Textilservices. Somit ist die Schließung des Kreislaufs das Handlungsfeld mit den größten Herausforderungen. Im nächsten Kapitel werden diese Handlungsfelder und Herausforderungen eingehend untersucht.

Tabelle 6 fasst noch einmal die Bereiche zusammen, in denen Auto-ID-Technologien bereits CE-relevante Bereiche unterstützen (grau hinterlegt), und identifiziert Bereiche, in denen sich aus den Experteninterviews Potenziale vermuten lassen (braun hinterlegt). Dabei bestehen auch in den grau hinterlegten Bereichen weiterhin Potenziale.

Tabelle 6: Status quo (grau) und Potenziale (braun) des Beitrages von Auto-ID-Technologien zur Circular Economy, angepasste Darstellung nach EMF (2016, S. 30)

CE-Wertetreiber	Technologische Wertetreiber		
	Lokalisierungs- informationen	Zustands- informationen	Verfügbarkeits- informationen
Ressourcen- effizienz	Unterstützung der Erkennung von Reparaturbedarfen von verschlissenen Komponenten zur Verlängerung der Nutzungsdauer	Vorbeugende Instandhaltung und Ersatz von verschlissenen Komponenten	Verbessertes Produktdesign basierend auf detaillierten Informationen über die Nutzung
	Optimierte Routenplanung zur Vermeidung von Fahrzeugverschleiß	Änderung von Gebrauchsverhalten, um Verschleiß zu minimieren	Optimierte Dimensionierung, Versorgung und Wartung basierend auf detaillierten Nutzungsinformationen
Lebensdauer- verlängerung	Routenplanung zur Fahrzeitreduzierung und Verbesserung der Auslastungsrate	Minimierung der Ausfallzeiten und vorbeugende Wartung	Automatisierte Verbindung von verfügbaren, gemeinsam genutzten Gegenständen mit nächstem Benutzer
	Schnelle Lokalisierung von Gegenständen in einer Sharing Economy	Optimierter Ressourceneinsatz (z.B. Düngemittel, Pestizide) in der Landwirtschaft	Transparenz des verfügbaren Platzes zur Abfallreduzierung
Schließung des Kreislaufs	Verbesserte Rückführungs- logistikplanung	Vorhersagbare und effektive Wiederauf- arbeitung	Verbesserte Wiederherstellung und Wiederver- wendung / Umwid- mung von Gegen- ständen am Lebensende
	Automatisierte Lokalisierung von	Genaue Einschätzung des Wertes der Ware im	Digitaler Marktplatz zur lokalen

CE- Wertetreiber	Technologische Wertetreiber		
	Gegenständen und Materialien auf sekundären Märkten	Vergleich mit anderen vergleichbaren Waren	Beschaffung von Second-Hand-Materialien
		Entscheidungsfindung für zukünftige Verwendung (z.B. Wiederaufarbeitung vs. Recycling)	

4.5.3 Handlungsfelder und Herausforderungen

Handlungsfelder und Herausforderungen ergeben sich aus dem Status quo und dem Potenzial von Auto-ID-Technologien. Diese Themen müssen zukünftig bearbeitet werden, um das volle Potenzial der digitalen Technologie für eine CE im Textilservice freizusetzen und damit den Status eines Smart PSS zu erreichen.

Handlungsfelder

Zunächst werden die Handlungsfelder bzgl. der drei Wertetreiber im Detail beschrieben. Wie sich während der Status-quo- und der Potenzialanalyse gezeigt hat, konzentriert sich der gegenwärtige Textilservice auf Ressourceneffizienz und Langlebigkeit. Alle von der Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2016) genannten Wertschöpfungsmöglichkeiten im Sinne der Ressourceneffizienz werden bereits genutzt oder als potenzielle Anwendungen gesehen. Mitunter divergieren die Meinungen der Expert/innen stark, ob die einzelnen wertschöpfenden Maßnahmen dem Status quo oder den möglichen Entwicklungen zuzuordnen sind. So erläutert eine interviewte Person aus einem Verband (C5), dass die Verfolgung des Textilflusses in der Wäscherei ein Zukunftsthema ist, während eine interviewte Person aus der Maschinenherstellung (C9) diesen Prozess bereits als Status quo bezeichnet. Diese Uneinigkeit unter den Befragten lässt sich auf die fehlende flächendeckende Implementierung von Auto-ID-Technologien in den Textilservice-Unternehmen zurückführen. Je nach Unternehmen werden nur einzelne Produktlinien oder nur innerhalb des Unternehmens verfolgt (C3; C5). So bleibt die Status-quo-Beschreibung durch die Expert/innen meist auf der Ebene von Fallstudien, oder der Beschreibung der Vorteile von Auto-ID-Technik oder es werden nur einzelne Unternehmensbeispiele genannt. Als Hemmnisse für eine unternehmensweite Umsetzung sehen die Befragten den mangelnden Überblick über die bestehenden Produkte, die mangelnde Nachfrage der Kund/innen, den nicht unmittelbar erkennbaren Return on Investment auf Unternehmensseite und die Abgrenzung zu konkurrierenden Unternehmen (C3; C4).

Die Interviews zeigen auch, dass Auto-ID-Technologien derzeit nicht eingesetzt werden, um den Kreislauf zu schließen. Hinsichtlich dieses Potenzials entwickelt nur das Unternehmen einer interviewten Person (C8) eine Zukunftsvision für den Einsatz von Auto-ID-Technologien für das Recycling. Keine Expert/in erwähnt den Einsatz von Auto-ID-Technologien im Bereich der Kreislaufschließung für eine verbesserte Planung der Rückführungslogistik, der automatisierten Lokalisierung von Gegenständen und Materialien auf sekundären Märkten, der verbesserten Wiederherstellung und

Wiederverwendung/Umwidmung von Gegenständen am Lebensende, oder für einen digitalen Marktplatz zur lokalen Beschaffung von Second-Hand-Materialien.

Während Ressourceneffizienz und Lebensdauererlängerung bereits durch Auto-ID-Systeme unterstützt werden bzw. das Potenzial gesehen wird, besteht aus CE-Sicht die Notwendigkeit, die Kreislaufschließung als Handlungsfeld im Textilservice weiterzuentwickeln. Um dies zu erreichen, müssen Herausforderungen bewältigt werden, die im folgenden Kapitel aufgezeigt werden.

Herausforderungen

Textilservice-Unternehmen bieten ihr Produkt-Dienstleistungssystem innerhalb eines Stakeholdernetzwerks an. Zur Erreichung einer CE ergeben sich Herausforderungen auf Mikro-, Makro- und Mesoebene: Kund/innen sind auf der Mikroebene, Verbände und Technologieunternehmen als Infrastrukturanbieter auf der Mesoebene und politische Regulierungen und Standards auf der Makroebene angesiedelt.

Der Mehrwert von Tracking-Technologien muss auf der **Mikroebene** von Kund/innen gesehen werden, um eine höhere Nachfrage zu schaffen. Ein erhöhter Bedarf kann dazu beitragen, Investitionshürden zu senken und Auto-ID-Technologien im Bereich des Textilservices auf breiter Basis zu implementieren. Kund/innen können für die Vorzüge der Auto-ID-Technologie sensibilisiert werden, indem sie Zugang zu zusätzlichen Informationen auf Web-Plattformen erhalten, wie im CEAP (Europäische Kommission, 2020) erwähnt. Der CEAP fordert Unternehmen auf, Produktinformationen und Nachhaltigkeitsbemühungen für Verbrauchende transparenter zu gestalten. Der Textilservice sollte Auto-ID-Technologien mit einem zusätzlichen elektronischen Informationsangebot für Kund/innen verknüpfen und damit die Vorteile der Technologie kommunizieren.

Textilservice-Unternehmen stehen vor der Herausforderung, sich das nötige Wissen anzueignen, um den Stand der Digitalisierung auf Firmenebene zu ermitteln und darauf aufbauend bestehende Technologien und Prozesse bedarfsgerecht und flächendeckend einzusetzen. Hilfreiche Werkzeuge stehen bereits jetzt zur Verfügung, z.B. der CEAP, der durch eine neue Mittelstandsstrategie mittelständische Unternehmen unterstützt und eine Wissensplattform für den Erfahrungsaustausch anbietet. Neben den internen Produktzyklen müssen auch externe Recyclingkreisläufe berücksichtigt werden. Dieser Fokus kann durch politische Regelungen wie die erweiterte Herstellerverantwortung gefördert werden, wie ein Experte ebenfalls erwähnt:

„[...] wir werden an den Punkt kommen, an dem wir eine erweiterte Produzentenverantwortung bekommen, das dann entsprechend nachweisen müssen und die Entsorgung, der von ihnen hergestellten oder genutzten Textilien etwas kostet. Und sobald es etwas kostet, wird es sich lohnen. Da muss es Incentives, also Belohnungen, geben, für die Textilien, die für ein Recycling vorbereitet sind.“ (C8).

Aber auch ein neues Selbstverständnis als Beschaffer von Textilien und der vermehrte Einsatz von Recyclingmaterialien im Textilservice kann zu einem Kreislaufdenken beitragen. Im Sinne des 2013 verabschiedeten Abfallvermeidungsprogramms (BMU, 2020) sollte das Portfolio der kaskadierenden Wiederverwendung erweitert werden, zum Beispiel durch die Zusammenarbeit mit Upcycling-Projekten oder Recyclern.

Auch auf der **Mesoebene** müssen sich die Verbände über den Stand der Digitalisierung in der Branche informieren. Darüber hinaus muss die Standardisierung von Auto-ID-Technologien für textile Dienstleistungen gefördert und ihre Mitglieder zu deren Umsetzung ermutigt werden. Hierzu ist der Projektdienstleister circular.fashion aktiv, indem der

hauseigene Standard circularity.ID als Copyleft-Lizenz lanciert wurde und darüber hinaus sich das circular.fashion in vielen Standardentwicklungsprojekten maßgeblich engagiert (z.B. DIN, ISO TC38/WG35 Environmental Aspects, EU Digital Product Passport, Produktinformation 4.0 ReFoPlan FKZ 3720 36 301 0). In diesem Zusammenhang sollten Verbände als Wissensvermittlung fungieren und den Austausch zwischen ihren Mitgliedern fördern und so eine Open-Source-Kultur etablieren. Der Technologiesektor sollte diese standardisierten Lösungen entwickeln und anbieten. Zudem müssen Nachhaltigkeit und Digitalisierung vermehrt zusammen gedacht werden. Um dies zu ermöglichen, muss Prozesswissen auch in Technologieunternehmen erworben werden, um Lösungen im Sinne einer CE anbieten zu können.

Auf der **Makroebene** müssen Investitionsanreize insbesondere im Hinblick auf das Recycling geschaffen werden. Die im CEAP angesprochene Herstellerverantwortung kann wichtige Impulse über die Grenzen der einzelnen Unternehmen hinaus geben. Die Unternehmen müssen sich über die Entsorgung ihrer eigenen Produkte informieren, was wiederum das Produktdesign im Sinne einer CE beeinflussen kann. Das neue CEAP fordert mehr Transparenz durch Rückverfolgungstechnologien. Diese Aufzeichnung muss mit der europäischen Datenschutz-Grundverordnung einhergehen und die Zustimmung der einzelnen Nutzer/innen einholen. Sie birgt das Risiko, dass ein umfassendes Tracking außerhalb vom Textilservice unmöglich ist. Es ist zu prüfen, inwieweit Bemühungen im Bereich des Recyclings eine solche Datennutzung rechtfertigen. Da die Produktionskette für Textilien global verteilt ist, müssen außerdem ein globaler Standard und Vereinbarungen geschaffen werden. Die Europäische Textilkennzeichnungsverordnung, eine Verpflichtung für den Handel von Textilprodukten, sollte ausgeweitet werden. Die Anforderungen an die Lesbarkeit des Etiketts bis zum Ende der Lebensdauer des Textils könnte integriert werden. Ferner sollten die Anforderungen an den Informationsgehalt des Etiketts erweitert werden, z.B. sollten Chemikalien usw. aufgeführt werden. Diese Informationsmenge kann durch Auto-ID-Technologien komprimiert am Textil angebracht werden.

4.6 Fazit

Der Textilservice nutzt ein jahrzehntealtes Geschäftsmodell. Das Unternehmen MEWA hat bspw. bereits seit seiner Unternehmensgründung im Jahr 1908 Putzlappen vermietet (MEWA, o. J.-b). Gemessen an der Branchenentwicklung scheint es vor allem in den letzten Jahren verstärkt an Attraktivität gewonnen zu haben. Dies ist sicherlich auch mit einer guten Passung in den Zeitgeist einer zunehmend nachhaltig ausgerichteten Wirtschaft zu erklären, in der vermehrt auf Miet- und Leasingmodelle und andere PSS gesetzt wird. Daneben ist der Textilservice ebenso einpassbar in die Ideen der Circular Economy, ein anderer derzeit stark dominierender Diskurs. Miete und Leasing als Geschäftsmodell bringen für die Wäschereien mit sich, dass alle für die Dienstleistung nötigen materiellen Produkte und Verbrauchsmaterialien zu Kostenfaktoren werden. Damit entsteht ein finanzieller Anreiz, die Lebensdauer der Textilien zu verlängern, sie intensiver zu nutzen und möglichst energie- und materialeffizient zu arbeiten. In der Praxis des Textilservice drückt sich das in den robust designten und gefertigten Textilien sowie den zur Dienstleistung gehörenden Qualitätskontrollen und Reparaturen aus. Damit kann der Textilservice bereits jetzt als treibende Kraft einer CE betrachtet werden. Das Potenzial liegt jedoch in der Schließung des textilen Kreislaufs, wozu die Wäschereien als Eigentümer der Textilien und dank ihrer Stellung und Funktion innerhalb des Produktlebenszyklus fähig sind. Bisher stellt die Sammlung und Sortierung großer Mengen ähnlicher, gut recycelbarer Textilien sowie deren Übergabe an die Recycler ein wesentliches Problem dar. Dank des Textilservices ist die

Implementierung eines funktionierenden Kreislaufs für B2B-Textilien um ein Vielfaches einfacher als für B2C-Bekleidung und -Textilien.

Interessanterweise unterscheiden sich die Geschäftsmodelle der unterschiedlichen Textilservices kaum. Sowohl Nutzenversprechen als auch Wertschöpfung und -erbringung und Ertragsmechanismus sind weitgehend gleich. Der Wettbewerb differenziert sich in erster Linie über Schwerpunkte in bestimmten Produktsegmenten und Zielgruppen. Der Textilservice verspricht ökologische Nachhaltigkeit insbesondere über langlebige Textilien, ressourcenschonende Waschverfahren und ein zertifiziertes Ressourcen- und Umweltmanagement. Nachhaltige Textilrohstoffe und -produktion werden mit Verweis auf eine zu geringe Nachfrage kaum adressiert.

Der derzeitige Stand der Digitalisierung im Textilservice ist sehr unterschiedlich ausgeprägt: Bis auf wenige Ausnahmen handelt es sich um grundlegend von Auto-ID-Technologien gestützten und durchdrungenen PSS. Dabei zeigt sich eine Kluft zwischen politischen Bestrebungen und der Unternehmenspraxis. Während die Konzepte bereits entwickelt sind, bleibt die Digitalisierung hinter ihrem Potenzial zurück. Die intelligente Nutzung von Daten, zum Beispiel für Prognosen und Analysen, hängt von der nahtlosen Verfügbarkeit und Standardisierung von Informationen ab. Weitere Herausforderungen wie die Sensibilisierung der Kundschaft, Wissensaustausch, ein Bewusstsein für Produktverantwortung und Regelung des Datenschutzes müssen überwunden werden. Obwohl viele Gesetzgebungen bzgl. CE auf Ebene der EU festgelegt sind, haben auch nationale Gesetzgebung und politische Anreize Einfluss auf Unternehmen. Es besteht weiterhin ein Bedarf an quantifizierenden Studien zum Status quo der Digitalisierung und an Entwicklungsplänen für Unternehmen, die positive Synergien zwischen CE und Digitalisierung aus Sicht der Industrie aufzeigen, um Digitalisierung und CE nutzbringend miteinander zu verbinden.

Insgesamt ergeben sich aus dieser Geschäftsmodellanalyse folgende Vorschläge für Optimierungen im Textilservice:

1. **Ausbau des Nutzenversprechens**, insbesondere des Nachhaltigkeitsversprechens, indem die Eliminierung von Textilabfällen, geringere Primärressourceneinsätze und geringere Footprints zum Nutzenversprechen werden.
2. Modifizierung von Wertschöpfungs- und -bereitstellungsaktivitäten
 - a. Hinsichtlich der **Kernaktivitäten**: Das Potenzial ergreifen und den textilen Kreislauf schließen. Dazu gehört ggf. Überzeugungsarbeit (Miete statt Kaufen) für die Erschließung neuer Kundschäftssegmente zu leisten.
 - b. Hinsichtlich der **Kernressourcen**: Einsatz kreislauffähiger Kleidung.
 - c. Hinsichtlich der **Kernpartner**: Neue Unternehmenskooperationen mit Entsorgungs- und Recyclingunternehmen aufbauen.
 - d. Hinsichtlich der **Kanäle**: Es ist zu prüfen, inwiefern in neue Kommunikationskanäle investiert werden sollte, um das eigene Dienstleistungsangebot besser zu vermarkten.

3. Ertragsmechanismus stärken
 - a. Durch die Bereitstellung von **großen Mengen gut sortierbarer Textilien** gleicher Materialzusammensetzung können eine weitere Einnahmequelle erschlossen und damit größere Gewinne generiert werden.
 - b. Für den Textilservice könnte es sich anbieten, den Gesamtpreis von Lohn- und Privatwäsche (bspw. inkl. der Kosten für Textilanschaffung und -pflege) ins Verhältnis mit der eigenen Dienstleistung zu setzen. Diese Analyse kann durch einen „**ökologischen Preisvergleich**“, also einen Vergleich der Umweltauswirkungen von Miet-, Lohn- und Privatwäsche sinnvoll erweitert werden.
4. **Ausbau von Auto-ID-Technologien**: Zur flächendeckenden Implementierung von Auto-ID-Technologien in den Textilservice-Unternehmen benötigt es gleichermaßen ausreichend organisatorisches Wissen, Kompetenz für die erforderlichen Infrastrukturen und spezifische Standards für den Einsatz von Auto-ID-Technologien in textilen Dienstleistungen. Daneben müssen Datenschutzbedenken bei personalisierten Textilien ausgeräumt werden.
5. **Nachhaltigkeitspotenziale ergreifen**: Neben dem Einsatz kreislauffähiger Textilien, der neuen Positionierung als Kreislaufschließer und der proaktiven Markterweiterung dank Überzeugungsarbeit und neuer Kanäle ist zusätzlich das Verhalten von Leasingnehmern und Nutzer/innen zu berücksichtigen, um Rebound-Effekten präventiv zu begegnen.

5 Zirkuläre B2B-Textilien im DiTex-Projekt

5.1 Methodisches Vorgehen

DiTex zielt darauf ab, hochwertige und langlebige zirkuläre B2B-Textilien zu entwickeln. Um eine geschlossene Kreislaufführung erfolgreich umzusetzen, müssen die Charakteristika und Herstellungsprozesse der Textilien von verschiedenen Perspektiven analysiert werden. In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen bei dem partizipativen Produktdesign (Kap. 5.1.1), dem Circular Product Check (Kap. 5.1.2), den Qualitätsprüfungen hinsichtlich der Leasing-Eignung (Kap. 5.1.3), den spektroskopischen Qualitätsbestimmungen (Kap. 5.1.4) sowie den Prozess- und Akteursanalysen (Kap. 5.1.5) erläutert.

5.1.1 Partizipatives Produktdesign

Das methodische Vorgehen beim Partizipativen Produktdesign ist inspiriert von der Designmethode und -denkweise ‚Design Thinking‘ zur Bewältigung komplexer Herausforderungen, die offene Lösungsräume aufweisen. Der Begriff Design Thinking wurde ursprünglich von der Designagentur IDEO in den frühen 1990er Jahren geprägt und wird heute an Designschulen gelehrt und von Unternehmen weltweit praktiziert.

Schlüsselfaktoren des Prozesses sind die Erforschung und Verknüpfung verschiedener Perspektiven, Bedürfnisse und Anforderungen insbesondere der Nutzer/innen in enger Zusammenarbeit eines interdisziplinären Teams und in einem iterativen Prozess. Um eine

Kreislaufwirtschaft zu verwirklichen, müssen viele verschiedene fachliche Hintergründe und Disziplinen zusammenarbeiten, das Problem und die Voraussetzungen verstehen, gemeinsam Ideen entwickeln, testen und iterieren, um relevante ganzheitliche Lösungen zu entwickeln. Perspektiven, die beim Partizipativen Produktdesign für eine Kreislaufwirtschaft einzubeziehen sind, sind unter anderem die Bedarfe der Recycling- und Herstellerunternehmen, der Nutzer/innen und Großabnehmern. Zirkuläre Produkte erfordern es, weitere Anforderungen einzubeziehen, wie bspw. Recyclingfähigkeit, Langlebigkeit, Nutzerfreundlichkeit und Leasingtauglichkeit. Das iterative und nutzerzentrierte Vorgehen zur Entwicklung der DiTex-Textilien bestand aus sechs Schritten:

- 12/2019 **Marktdialog** - Aufnahme der Produkthanforderungen von Großabnehmern
- 01/2020 **Circular Design Workshops** - Sichtung von Materialmöglichkeiten und Entwicklung erster Konzepte für Recyclingströme, Materialwahl & Design
- 05/2020 **Experten Workshop** - Dialog mit den Recyclern der Recycling-Ströme, für welche die Produkte gestaltet werden sollten, Einbezug von Kapazitäten & Qualitäten
- 06/2020 **Circular Material Checks** - Prüfung von Materialvorschlägen durch circular.fashion
- 07/2020 **Circular Product Checks** - Prüfung des Produkt-Entwurfs durch circular.fashion
- 07/2020 **Entwicklung der Prototypen** - Iteration von Komponenten entsprechend der Ergebnisse der Waschtests und finale Definition des Produktdesigns.

5.1.2 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, die circular.fashion seit vielen Jahren durchführt.

Ziel des Circular Product Check ist es sicherzustellen, dass tatsächlich ein Recyclingunternehmen 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 Recyclingstrom zugeführt werden kann. Die Kriterien wurden für die aktuellen Möglichkeiten aufgenommen 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.

5.1.3 Qualitätsprüfungen hinsichtlich der Leasing-Eignung

Leasingtaugliche Textilien, die im Bereich des Textilservice Anwendung finden, müssen hohen Anforderungen standhalten hinsichtlich Farbbeständigkeit (Farbechtheit), mechanische Eigenschaften, Pflegeeigenschaften, Tragekomfort, Aussehen sowie Wiederaufbereitbarkeit unter industriellen Bedingungen. Für eine Beurteilung der Leasing-Eignung der DiTex-Prototypen wurden die Hohenstein Qualitätsstandards herangezogen, die Mindestanforderungen aller relevanten Parameter festlegen.

Zur Analyse der Leasing-Eignung stellte die Firma Weishäupl die Berufsbekleidungstextilien Poloshirts und Polizeihemden (jeweils 25 Teile) bereit. Über das Hohenstein Institut wurden sie anlehnend an Normbedingungen im Technikumsmaßstab wiederaufbereitet und es wurden nach ausgewählten Wasch-/Trocknungszyklen Musterproben entnommen. Entsprechend der Vorgaben der Hohenstein Qualitätsstandards wurden textiltechnologische Prüfungen an Proben im Neuzustand und nach definierter Anzahl von Aufbereitungszyklen durchgeführt. Ergänzend wurden jeweils nach den geplanten Wasch- und Trocknungszyklen Auslesetests von den in den Produktmustern integrierten Transpondern/Tags durchgeführt, um auch diese auf Leasingtauglichkeit zu überprüfen. Die Wasch- und Trocknungsbedingungen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Wasch- und Trocknungsbedingungen in Anlehnung an DIN EN ISO 15797 für Hemden und Poloshirts

Parameter	Einstellungen für Hemden	Einstellungen für Poloshirts
Art der Waschmaschine	Waschschleudermaschine (Pharmagg)	Waschschleudermaschine (Favorit +)
Programmbezeichnung	ISO 15797-2; 60°C	ISO 15797-8; 60°C
Beladung	14 kg Gesamtbeladung (Untersuchungsgut und Ballast aus PES/CO)	18 kg Gesamtbeladung (Untersuchungsgut und Ballast aus PES)
Waschmittel Hauptwäsche	4,0 g/l Referenzwaschmittel ohne optischen Aufheller 0,75 ml/l Komplexbildner 2,0 g/l Peressigsäure-Bleichmittel	5,0 g/l Referenzwaschmittel ohne optischen Aufheller 0,3 ml/l 60% ige Essigsäure
Zusatzmittel 3. Spülen	0,3 ml/l 60%-ige Essigsäure	-
Trockenbehandlung	Verfahren B: Dampfschrank (Finisher) bis zu einer Warentemperatur zwischen 135-140°C	Verfahren B: Dampfschrank (Finisher) bis zu einer Warentemperatur zwischen 135-140°C

Die Poloshirts und Hemden der DiTex_{Gen1} wurden in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 15797:2018-05, „Industrielle Wasch- und Finishverfahren zur Prüfung von Arbeitskleidung“ aufbereitet. Die in der Norm beschriebenen Verfahren simulieren die Bedingungen der industriellen Wäsche, um eine Beurteilung von Arbeitskleidung hinsichtlich Leasing-Eignung zu ermöglichen. Abweichend von der Norm wurden die Muster statt bei einer Temperatur von 75°C bei 60°C gewaschen (Beschluss im Konsortium, in Anpassung an die geplante Praxiserprobung). Insgesamt wurden 50 Wasch-/Trockenzyklen durchgeführt. Nach 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 und 50 Aufbereitungszyklen wurden Musterteile zur Durchführung der Qualitätstests entnommen. Zur Musterentnahme der Poloshirts und Hemden für die Qualitätstests wurden folgende Entnahmepläne erstellt (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9).

Tabelle 8: Musterentnahmeplan für Hemden

Anzahl Wasch-Trocken-Zyklen (Pflegebehandlungen)	0 (Neuware)	1	3	5	10	25	50
Anzahl Teile zur Entnahme für Qualitätstests	4	1	2	4		4	4
Qualitätstests							
Hypochlorit-Bleichechtheit	x						
Weißqualität				x		x	x
Höchstzugkraft	x				x	x	x
Scheuerfestigkeit	x						
Pillingneigung				x			
Maßänderung				x		x	x
Selbstglättungsverhalten			x			x	x
Optische Abmusterung	x			x		x	x
Bekleidungsphysiologische Prüfungen			x				
Fadendichte	x	x	x	x		x	x
Flächengewicht	x	x	x	x		x	x

Tabelle 9: Musterentnahmeplan für Poloshirts

Anzahl Wasch-Trocken-Zyklen (Pflegebehandlungen)	0 (Neuware)	1	3	5	10	15	20	25	50
Anzahl Teile zur Entnahme für Qualitätstests	4	1	2	4				4	4
Qualitätstests									
Farbechtheiten	x								
Berstdruck	x				x			x	x
Scheuerfestigkeit	x								
Pillingneigung				x					
Maßänderung		x	x	x		x	x	x	x
Selbstglättungsverhalten			x					x	x
Verdrehen der Fläche				x					
Optische Abmusterung	x			x				x	x
Bekleidungsphysiologische Prüfungen			x						
Maschendichte	x	x	x	x				x	x
Flächengewicht	x	x	x	x				x	x

Den Wasch-/Trockenzyklen anschließend wurden textiltechnologische Prüfungen entsprechend den Vorgaben der Hohenstein Qualitätsstandards durchgeführt. In Tabelle 10 sind die durchgeführten Prüfungen sowie die Prüfbedingungen zusammengefasst. Alle Prüfungen wurden nur am Grundmaterial der Poloshirts bzw. Hemden durchgeführt. Textile und nichttextile Zutaten, wie z. B. Stickereien, Knöpfe usw., wurden lediglich bei der optischen Abmusterung berücksichtigt.

Tabelle 10: Qualitätstests/Textiltechnologische Prüfungen entsprechend der Hohenstein Qualitätsstandards 701ff - Anforderungskataloge zum Einkauf von leasinggeeigneten Textilien

Prüfung	Norm	Prüfgerät	Prüfbedingungen
Schweißechtheit	DIN EN ISO 105-E04:2009-07		Sauer, alkalisch
Reibechechtheit	DIN EN ISO 105-X12:2002-12		Trocken, nass
Waschechtheit	DIN EN 105-C06, E2S:2010-08		Modifikation Flottenverhältnis: 1:5
Hypochlorit- + Waschechtheit	DIN EN 20105-N01:1995-03		
Bleichechtheit Peroxid	DIN EN ISO 105-N02:1995-05		
Kombinierte Trockenhitze fixier-, Waschechtheit	Fixotest 5 Min, 190°C + DIN EN ISO 105-C10:2007-06		
Licht-/Schweißechtheit	DIN EN ISO 105-B07:2009-10 A		Sauer, alkalisch
Berstdruck	DIN EN ISO 13938-2:1999-10	TruBust Model 810 James H Heal & Co. Ltd Berstdruckprüfgerät Schröder BP 30-C	Prüffläche 7,3 cm ² Prüfklima: (20 ± 2)°C; (65 ± 4)% relative Luftfeuchtigkeit (% r.F.)
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 13934-1:2013-08	Zugprüfmaschine LR10K von LLOYD INSTRUMENTS	Prüfgeschwindigkeit: 100 mm/min Einspannlänge: 20 mm Streifenbreite: 50 mm Prüfklima: (20 ± 2)°C; (65 ± 4)% r.F.

Fortsetzung Tabelle 10

Prüfung	Norm	Prüfgerät	Prüfbedingungen
Scheuerbeständigkeit	DIN EN ISO 12947-2:2007-04	Martindale-Scheuerprüfgerät, James H. Heal	<p>Prüflingsgröße: 11,4 cm²</p> <p>Scheuermedium: Standard-Wollgewebe SM25</p> <p>Scheuerfläche: 6,5 cm²</p> <p>Belastung der Probe: 595 g/9 kPa</p> <p>Prüfklima: (20 ± 2)°C; (65 ± 4)% r.F.</p> <p>Probenanordnung: Scheuerung der rechten Wareenseite</p> <p>Reibmittel: Wollscheuergewebe</p>
Pillingneigung	DIN EN ISO 12945-2:2000	Martindale-Scheuer und Pillingprüfgerät M6	<p>Prüfdruck: 2,4 cN/cm²</p> <p>Scheuermedium: Prüfling</p> <p>Scheuerhub: 24 mm</p> <p>Scheuerbewegung: Lissajous</p>
Maßänderung	DIN EN ISO 5077:2008-04		Nach 5 Wiederaufbereitungszyklen
Selbstglättungsverhalten	DIN EN ISO 15487:2010-06		Bewertung nach Glätte-Standard Nr. 88b und 124
Verdrehen der Nähte	ISO 16322-2:2005-06		Nach 5 Wiederaufbereitungszyklen
Bekleidungsphysiologische Eigenschaften	Thermophysiologicalische Untersuchungen nach DIN EN ISO 11092, hautsensorische Untersuchungen nach Hohensteiner Standard Prüfvorschrift des Bekleidungsphysiologischen Instituts (BPI) 3.1 – 3.5	Hohensteiner Hautmodell, Messmethoden Hautsensorik 3.1 – 3.5	Prüfklima der hautsensorischen Messungen (iO, iK, iB, nK, s): (20 ± 2)°C; (65 ± 4)% r.F.

Das Ziel der Farbechtheitsprüfungen ist die Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der Textilfärbung gegenüber verschiedenen Chemikalien und äußeren Einflüssen (z. B. Lichteinwirkung). Neben der Farbtonänderung der Probe wird das Anblutverhalten eines Begleitgewebes (Baumwoll- bzw. Polyestergewebe) ermittelt. Zur Bewertung der weißen Hemden wurde nur die Hypochlorit-Bleichechtheit als relevanter Prüfparameter bestimmt.

Prüfungen zur Weißqualität wurden an den Hemden durchgeführt. Die durch den Wasch- und Trocknungsprozess verursachten Änderungen der Weißqualität werden über den Weißgrad (W_{GG}), Farbtonabweichungszahl (FAZ) und Grundweißwert (Y_{420}) definiert. Der Weißgrad stellt ein Maß für den Weißindruck der Wäsche dar, der vom menschlichen Auge empfunden wird. Die FAZ beschreibt die Farbtonabweichung vom Neutralweiß eines Weißstandards. Der Y-Wert stellt den Weißgrad dar, der nach der Ausfilterung des UV-Anteils der Lichtquelle und somit nach Entfernung des Aufhelleffektes erhalten wird (RAL-GZ 992, 2019).

In Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften der Textilien wurden Prüfungen von Höchstzugkraft, Berstdruck, Pillingneigung und Scheuerbeständigkeit durchgeführt. Bei der Prüfung der Zugeigenschaften wird eine Messprobe vorgegebener Größe aus einem Hauptmaterial bei gleichbleibender Verformungsgeschwindigkeit bis zum Bruch gedehnt. Dabei wird die erforderliche Höchstzugkraft aufgezeichnet. Bei Prüfung der Berstfestigkeit wird die textile Probe über eine dehnbare Membran gespannt, auf deren Unterseite der Luftdruck gleichmäßig erhöht wird. Dies führt zum Aufwölben und schließlich zum Bersten der textilen Probe. Der hierfür erforderliche Druck (Berstdruck) wird aufgezeichnet. In der Scheuerprüfung wird die Probe unter definierter Belastung gegen ein Scheuermittel bewegt. Es wird die Anzahl an Touren (Inspektionsintervall) bestimmt, die zu einer Zerstörung der Probe führen. Die Pilling-Prüfung analysiert das Pillingverhalten, d.h. das Heraustreten und Verknäulen von Fasern an der Textiloberfläche. Dazu wird die Probe nach 5 Pflegezyklen unter definierter Belastung gegen einen Prüfling gleichen Materials gerieben. Eine visuelle Bewertung der Oberflächenveränderung erfolgt nach definierter Anzahl von Touren.

Um die Pflegeeigenschaften der Textilien zu bewerten, wurden Maßänderung und Glättebild untersucht. Die Maßänderung wird in zwei Richtungen (längs, quer) nach definierter Anzahl an Wasch-/Trocknungszyklen ermittelt (i.d.R. wird nur die Maßänderung nach 5 Pflegezyklen betrachtet). Als Selbstglättung wird der visuelle Eindruck der Ebenheit der textilen Fläche nach der Pflegebehandlung bezeichnet.

Ein wichtiger Aspekt zur Bewertung der Leasing-Eignung ist außerdem die optische Abmusterung (Konfektionierungsprüfung) der Textilien. Die vollkonfektionierten Muster werden nach einer definierten Anzahl von Pflegebehandlungen hinsichtlich Verarbeitung, Veränderungen aufgrund Schnittgestaltung, Aussehen und Funktion der Zutaten, Warenbild und Farbe sowie Griff nach einer 5-stufigen Skala bewertet. Im Projekt wurden die Muster nach 5, 25 und 50 Wasch-/Trocknungszyklen mit der Neuware optisch verglichen.

Eine weitere relevante Prüfung für die Poloshirts betrifft das Verdrehen der Nähte. Die Probe wird nach vorgegebenen Verfahren vorbereitet, markiert und gewaschen. Die Spiralität wird in Prozent einer markierten Strecke gemessen. Auch Analysen hinsichtlich Flächengewicht und Faden-/Maschendichten wurden an den DiTex-Prototypen durchgeführt. Bei dieser Analyse werden je fünf kreisrunde Proben von 100 cm² aus dem Grundmaterial der Poloshirts und Hemden entnommen und abgewogen. Mit Hilfe eines Rasterfadenzählers werden die Anzahl Maschenreihen, Maschenstäbchen bzw. Fäden je Zentimeter bestimmt.

Nicht zuletzt spielen die bekleidungsphysiologischen Eigenschaften eine essenzielle Rolle für die Leasing-Eignung. Die bekleidungsphysiologischen Messungen wurden für die DiTex-

Prototypen am Flächenmaterial durchgeführt. Am Hohenstein Hautmodell werden dazu nach DIN EN ISO 11092 die Wärme- und Feuchtetransportprozesse bestimmt und die Kenngrößen zur Atmungsaktivität und Wärmeisolation ermittelt. Weiterhin wurden mit verschiedenen Messgrößen die hautsensorischen Eigenschaften quantifiziert. Dazu gehört unter anderem, ob sich das Textil klamm anfühlt oder auf der Haut kratzt.

5.1.4 Spektroskopische Qualitätsbestimmungen

Im Rahmen von DiTex werden optische Verfahren zur Identifikation der Materialzusammensetzung und der Qualitätseigenschaften von Bekleidungstextilien und Flachwäsche angewendet.

Ergänzend zu Standard-Textilprüfungen, die zeit- und stoffaufwändig sind, liefern moderne spektroskopische Methoden – in kurzer Zeit und mit minimalen Stoffmengen – Informationen über chemische (Materialqualität) und morphologische (Material- und Oberflächenstruktur) Parameter, die für eine Vorhersage der Nutzungsdauer im Kreislaufprozess verwendet werden können. Vorteilhaft ist dabei die berührungslose und zerstörungsfreie Messung mit Licht.

Textilien sind heterogene, meist gefärbte und stark lichtstreuende Materialien. Aufgrund der Vielfältigkeit der Produkte (Natur und Kunstfasern), der Farben, der Konstruktion und der Oberflächenstruktur zeigen Textilien optische Eigenschaften, die sich im kompletten optischen Spektrum befinden und sich stark überlappen. Ein Überblick über relevante spektrale Bereiche und die Hauptinformationen, die sich davon herleiten können, ist in Abbildung 11 gezeigt.

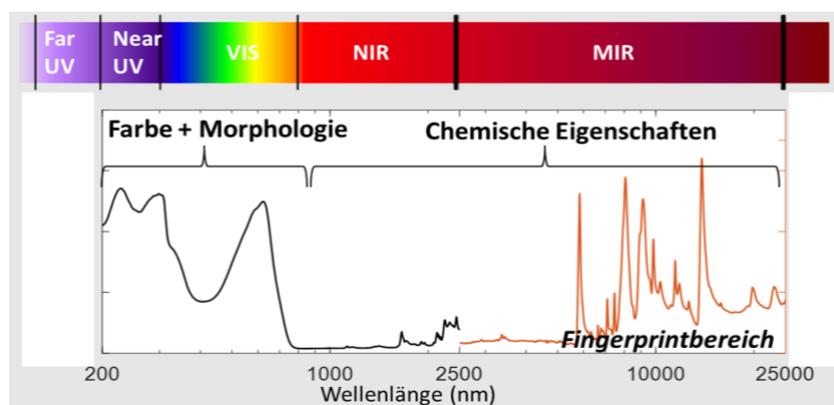


Abbildung 11: Spektralbereiche der optischen Spektroskopie (oben) und Beispiel von Spektren (unten) (Eigene Darstellung, HSRT)

Aus diesem Grund wird eine Kombination von UV-VIS (= sichtbare), Nahinfrarot- (NIR) sowie Mittelinfrarot- (MIR) Spektroskopie (Multimodale Spektroskopie) bevorzugt. Mit dieser Datenfusion soll es möglich sein, unterschiedliche materialspezifische Daten wie Glanzverlust, Farbechtheit, Vergilbung oder Materialdegradation selektiv vorherzusagen.

UV-Vis-NIR Reflexions-Spektroskopie

In der textilen Analytik wird üblicherweise die diffuse Reflexionsspektroskopie eingesetzt. Dabei wird der Lichtstrahl auf die Probe geführt und dort aufgrund der rauen Oberfläche diffus (in allen Richtungen) reflektiert. In Abbildung 12 ist die geometrische Anordnung der Reflexionsmessungen mit Ulbrichtkugel gezeigt.

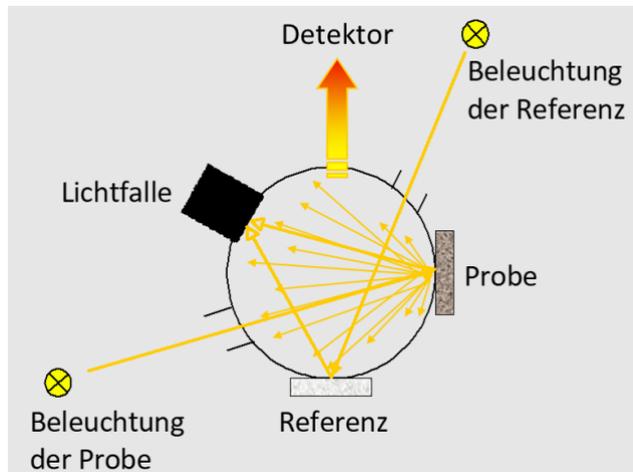


Abbildung 12: Messanordnung der Reflexionsmessungen in einer Ulbrichtkugel (Eigene Darstellung, HSRT)

Verwendet wird dabei das Zweistrahl-Spektrophotometer der Firma Perkin Elmer Lambda 1050, ausgestattet mit einer so genannten Integrationskugel (Ulbrichtkugel) für die Messungen der diffusen Reflexion (und diffuser Transmission), vgl. Abbildung 13. Die innere Beschichtung der Kugel sowie die Referenzplatten bestehen aus einem weißen, stark reflektierenden Material (Spectralon®, Labsphere). Zwei Detektoren – ein Photomultiplier (PMT) und ein InGaAs Detektor – ermöglichen die simultane Aufnahme der Spektren jeweils in dem Bereich UV-Vis (200-860 nm) und NIR (860-2500 nm).



Abbildung 13: Das Zweistrahl-Spektrophotometer der Firma Perkin Elmer Lambda 1050 mit Ulbrichtkugel (Eigene Darstellung, HSRT)

Im UV- und im VIS-Bereich wird, zusätzlich zu der Farbbestimmung, der Reflexionsgrad des Lichtes gemessen. Damit können Rückschlüsse auf Parameter wie Oberflächenrauheit, Flächengewicht und Festigkeit getroffen werden. NIR kann für die quantitative Analyse

(Bestimmung von Materialzusammensetzung), die qualitative Analyse (Identifikation von Rohstoffen) und der Materialänderung angewendet werden.

ATR-FTMIR Spektroskopie

IR-Spektren wurden mit dem Spektrometer Frontier (Perkin Elmer) aufgenommen. Zur Messung von Feststoffen kommt für den Mittelinfrarotbereich die ATR Technik (Abgeschwächte Total Reflexion) zum Einsatz. Bei der ATR-Infrarotspektroskopie wird das Licht in einem Kristall in Totalreflexion geführt. Dabei bildet sich an der Grenzfläche zwischen Kristall und Probe ein evaneszentes Feld, wobei das Licht mit der Probe wechselwirkt und teilweise absorbiert wird, (vgl. Abbildung 14).

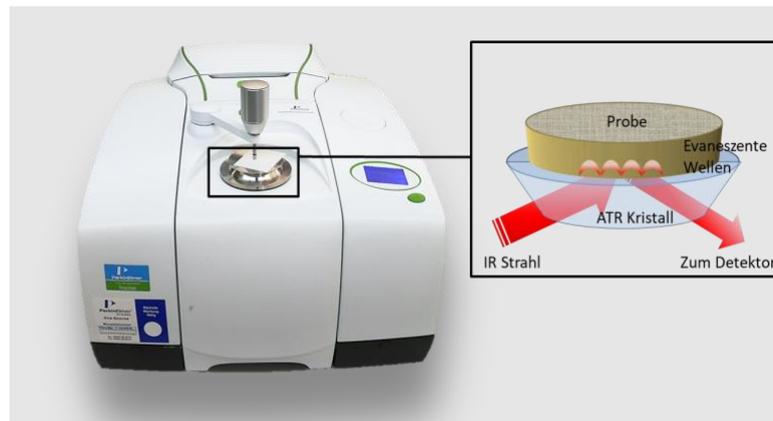


Abbildung 14: Links: Perkin Elmer Spektrometer Frontier mit ATR-Zubehör. Rechts: Prinzip der total abgeschwächten Reflexion (Eigene Darstellung, HSRT)

Es ist eine reine Oberflächenmessung, da der gemessene Bereich meist nur Mikrometer in der Tiefe der Probe beträgt. Die Mittelinfrarotspektroskopie ist State of the Art Methode für Materialuntersuchungen. Da chemische Stoffe einen individuellen spektroskopischen Fingerprint besitzen, besonders im Bereich 10 – 25 μm , (vgl. Abbildung 11), der auch in Gemischen erkennbar ist, ist nicht nur die Materialerkennung, sondern auch die genaue Bestimmung der Zusammensetzung in Mischgewebe möglich.

MIR Spektroskopie eignet sich ebenfalls für die Überwachung von chemischen oder strukturchemischen Prozessen in Kristallen und Polymeren, wie oxidative oder radikale Degradation, Änderung des Kristallinität- bzw. des Polymerisationsgrades. Deshalb ist die Technik besonders geeignet für das Monitoring der Produktqualität während der Nutzungsphase und der Waschzyklen.

Multivariate Datenanalyse

Die gemessenen Daten werden anschließend mit Hilfe der multivariaten Datenanalyse ausgewertet. Es werden unterschiedliche Datenvorverarbeitungen verwendet, um möglichst genau die Information zur Streuung von der Information zur Absorption aus der Messung des Gesamt-Spektrums zu separieren. Techniken dafür sind z. B.: Basislinien Korrektur, (Extended) Multiplicative Scattering Correction (EMSC), Standard Normal Variate (SNV), erste und zweite Ableitung, oder Kombinationen davon. Mit Hilfe von Algorithmen wie Hauptkomponentenanalyse (Principal Components Analysis, PCA), Partial Least-Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) und Partial Least-Squares Regression (PLS-R) werden die hochdimensionalen aufgenommenen spektralen Datensätze auf wenige relevante Merkmale

komprimiert (Dimensionreduktion). Anschließend können diese Größen (Hauptkomponenten oder latente Variablen) mit den Qualitätsparametern korreliert werden.

Modelltransfer mit mobilen Spektrometern

Für den Einsatz während der Praxisphase werden unterschiedliche mobile Prozessspektrometer angewendet, damit die o. g. Qualitätsparameter über die Nutzungsdauer der Textilien in Echtzeit direkt in den Wäschereien bestimmt werden können.

Dabei handelt es sich um drei verschiedene Systeme, die zusammen im Sinne der Datenfusion den kompletten optischen Bereich von 300 nm bis 2.5 μm abdecken können:

- 1) ein Messaufbau mit faseroptischer Prozess-Ulbrichtkugel (AvaSphere-50-LS-HAL-12V, Avantes) mit integrierter Beleuchtung und mobilem Dioden-Array Spektrometer (TecSpec[®], Tec5) für die Messung von Farbechtheit und Änderungen der Oberflächenstruktur in VIS Bereich (300-1100 nm) (vgl. Abbildung 15).



Abbildung 15: Der mobile Messaufbau für die Bestimmung von Farbechtheit und Änderungen der Oberflächenstruktur in VIS Bereich (Eigene Darstellung, HSRT)

- 2) ein kostengünstiges und einfach zu bedienendes Fourier-Transformations-Nahinfrarotspektroskopie (FTNIR) Mikrospektrometer (NeoSpectra[™] Micro Development Kit, Si-Ware Systems), basiert auf monolithischer MEMS-Technologie mit integrierter Halogenbeleuchtung für schnelle Reflexionsmessungen in NIR Bereich (1300-2400 nm) (vgl. Abbildung 16).

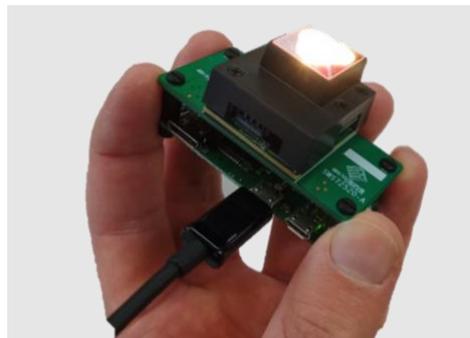


Abbildung 16: Das NeoSpectra[™] Development Kit der Firma Si-Ware Systems (Eigene Darstellung, HSRT)

- 3) ein mobiles FTIR Spektrometer (Agilent 4300) für die genaue Materialerkennung und –charakterisierung (vgl. Abbildung 17).



Abbildung 17: Das Agilent 7300 Handheld Fourier-Transformations-Infrarotspektrometrie (FTIR) Spektrometer (Eigene Darstellung, HSRT)

Die mobilen Spektrometer werden im Praxiseinsatz bei den Wäschereien verwendet, um vor Ort die relevanten Qualitätsparameter zu erfassen. Zugleich soll die Praxistauglichkeit der mobilen Spektrometer verifiziert und spätere standardisierte Verwendung in Wäschereien eruiert werden (Proof of Concept).

Korrelations- und Varianzanalyse

Um Zusammenhänge zwischen verschiedenen Prüfparametern, spektroskopischen Messgrößen und der Anzahl der Pflegezyklen abzuleiten (Kap. 5.1.3), wurde eine Korrelations- und Varianzanalyse durchgeführt. Ziel der Korrelationsanalyse ist die Stärke und die Richtung des linearen Zusammenhanges (Korrelation) von zwei oder mehreren Variablen zu berechnen. Die berechnete Werte, die Korrelationskoeffizienten, schwanken zwischen -1 (negative Korrelation) und 1 (positive Korrelation). Kleine Korrelationskoeffizienten bedeuten, dass kein linearer Zusammenhang vorliegt, d. h. die Variablen nicht miteinander korrelieren.

Die Korrelationsmatrix wird mit den Mittelwerten der Prüfergebnisse berechnet. Um die statistische Signifikanz der Korrelation zu überprüfen, werden zusätzlich die Mittelwerte der einzelnen Messungen mit einer univariaten Varianzanalyse (ANOVA, ANalysis Of VAriance) verglichen und dabei getestet, ob die Varianz zwischen den Mittelwerten größer ist als die Varianz innerhalb einer Messung.

Ein Beispiel von Korrelationsmatrix und Varianzanalyse ist in Abbildung 18 dargestellt.

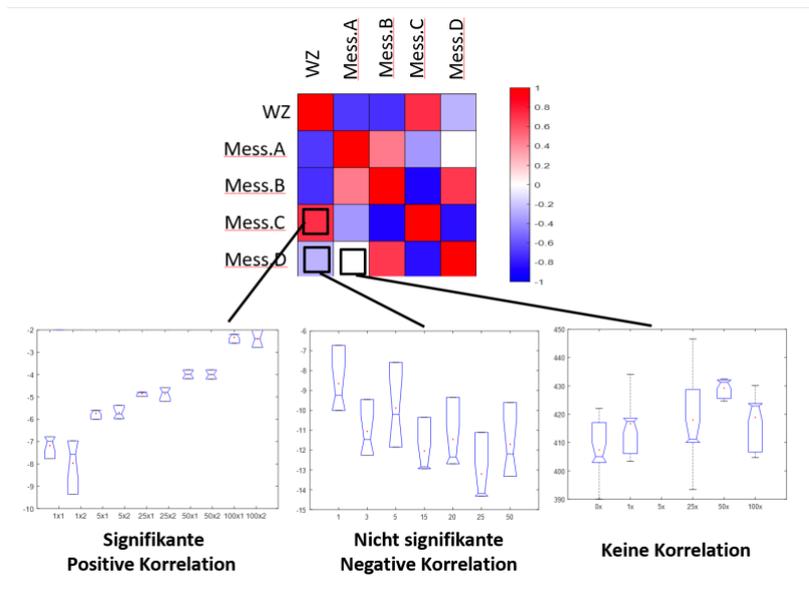


Abbildung 18: Beispiel von Korrelations- und Varianzanalyse (Eigene Darstellung, HSRT)

5.1.5 Prozess- und Akteursanalysen

Die Entwicklung der DiTex-Textilien wurden vom IÖW mit Prozess- und Akteursanalysen begleitet, um ein detailliertes Verständnis der entsprechenden Materialflüsse, Prozess- und Logistikketten zu generieren. Die übersichtliche Ergebnisdarstellung in Form von Flussdiagrammen dient zum einen der transparenten internen und externen Kommunikation über Materialherkunft und Lebensweg der Textilien. Zum anderen liefert sie eine Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung anhand der Ökobilanzen, des Labelvergleichs und der Rebound-Effekte. In Absprache mit dem ifeu wurde daher der Informationsbedarf und die entsprechend benötigte Detailtiefe der Daten sowie Abschneidekriterien entlang der Logistikkette bestimmt. Um einen Einblick in die Organisation der Textilhersteller Dibella und Wilhelm Weishäupl zu bekommen, fanden im November 2019 Besuche bei den Unternehmen in Bocholt und München statt. Dabei wurden die Eckdaten zu den relevanten Prozessen und Akteuren zusammengetragen und im Anschluss die Logistikketten schematisch nachgezeichnet. Die Kreislaufgrafiken umfassen den gesamten (geplanten) Lebenszyklus der Textilien und umfasst die folgenden Stationen: Produktdesign, Rohstoffgewinnung, Garn- und Rohwarenherstellung, Textilveredlung, Konfektion, Lagerung, Textilservice, Nutzung, Rücknahmelogistik, Recycling und End-of-life Management. Soweit die Informationen vorliegen, wurde für jede Station die jeweils beteiligte Organisation und der Standort angegeben. Zudem wurden die Materialflüsse der Zutaten gekennzeichnet. Im Frühjahr 2020 folgten ergänzende Kurzinterviews und weitere Absprachen per Telefon und Email zwischen dem IÖW und den Textilherstellern, um Datenlücken zu schließen. Vor allem bei der Oberbekleidung wurden über das IÖW und/oder Wilhelm Weishäupl zudem Anfragen an die Zulieferer der textilen Flächen gestellt, um weitere Informationen über die Materialherkunft und Produktionsbedingungen in Erfahrung zu bringen. Einige Details, v.a. in der Phase der Rohstoffgewinnung, könnten allerdings nicht vollständig nachvollzogen werden. Als letzter Arbeitsschritt folgte im Sommer 2020 die visuelle Aufbereitung der Flussdiagramme und deren Veröffentlichung auf der Projektwebseite.

5.2 DiTex-Poloshirt: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion

Detailinformationen über die Materialzusammensetzung, -eigenschaften und -herkunft eines Textils sind bislang selten verfügbar und üblicherweise für Einkäufer/innen und Endverbraucher/innen nur sehr schwer nachvollziehbar. Denn oft erschweren unübersichtliche, globale Wertschöpfungsketten den Informationsfluss oder die vorhandenen Informationen werden nicht offen kommuniziert. Dadurch fällt es schwer oder es ist unmöglich die Qualität, Recyclingfähigkeit und Nachhaltigkeit dieser Textilien zu beurteilen. Auch eine Kreislaufführung wird durch Wissenslücken, fehlende Recherchekapazitäten und Konkurrenz (Innovationsdruck, Patente) und damit vielfach unzureichende Vernetzung der beteiligten Akteure bzw. Akteursgruppen erschwert. DiTex stellt diesem Informationsmangel bewusst eine transparente Darstellung des Produktdesigns, der Prozessabläufe, der Produktspezifikationen und der Qualitätsstandards gegenüber.

Dieses Kapitel dokumentiert den aktuellen Stand der Produktinformationen hinsichtlich des Erarbeitungsprozess (Besonderheit partizipatives Produktdesign) (Kap. 5.2.1), der Prozessabläufe und Logistikketten (Kap. 5.2.2) sowie der Produktspezifikationen und Qualitätsstandards (Kap. 5.2.3) des **DiTex-Poloshirts**. Kapitel 5.2.7 zieht ein zusammenfassendes Fazit zu den Auffälligkeiten des Poloshirts, den Implikationen für die Pilotierung und den identifizierten Wissenslücken.

5.2.1 Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign

Der DiTex-Vorhabensverbund befasste sich unter Federführung von circular.fashion und der HSRT mit der Erstellung des Lastenheftes, das als Basis für die Umsetzung der DiTex_{Gen1} dient.

Die technologische Auslegung (Materialien, Schnitt) konventioneller Berufsbekleidung genügt den industriellen Waschprozessen. Um die Kreislauffähigkeit des Poloshirts 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.

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.

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 Produkthanforderungen 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, Hoheitselemente). 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.

Auf Basis der Expertise von HSRT, HIT, circular.fashion sowie dem Industriepartner Weishäupl wurden diese Parameter bewertet und in Einklang mit den Projekthanforderungen 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 Kapitel 5.2.3. 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.

Am 17.01.2020 wurden im Projektverbund mit Teilnehmenden von Weishäupl, IÖW und unter Leitung von circular.fashion in einem Circular Design Workshop Konzepte für ein kreislauffähiges Produktdesign entwickelt, das hier als Circular Product Konzept bezeichnet wird. Im Folgenden werden die Vorgehensweise und Zwischenergebnisse kurz beschrieben. 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. Daraufhin wurden zum einen die gesammelten Produkthanforderungen 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 von circular.fashion 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 DiTex_{Gen1} festgelegt waren, bestätigte circular.fashion in einem finalen

Circular Product Check die Eignung der gesamten Materialkombination für den ausgewählten Recyclingstrom (vgl. Abbildung 35 bis Abbildung 37 im Kapitel 10.2 im Anhang zu diesem Bericht). Das Circular Product Konzept fokussiert auf Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit.

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 Vorbehalte konnten ausgeräumt 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.

5.2.2 Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Weishäupl zur Produktion des DiTex-Poloshirts

Dieses Unterkapitel zeichnet die einzelnen Stationen des Lebenszyklus des DiTex-Poloshirts nach. Im Gegensatz zu den Prozessen der textilen Kette (vgl. Abbildung 1 oben) wird das DiTex-Poloshirt in einem nahezu geschlossenen Kreislauf geführt (vgl. Abbildung 19).

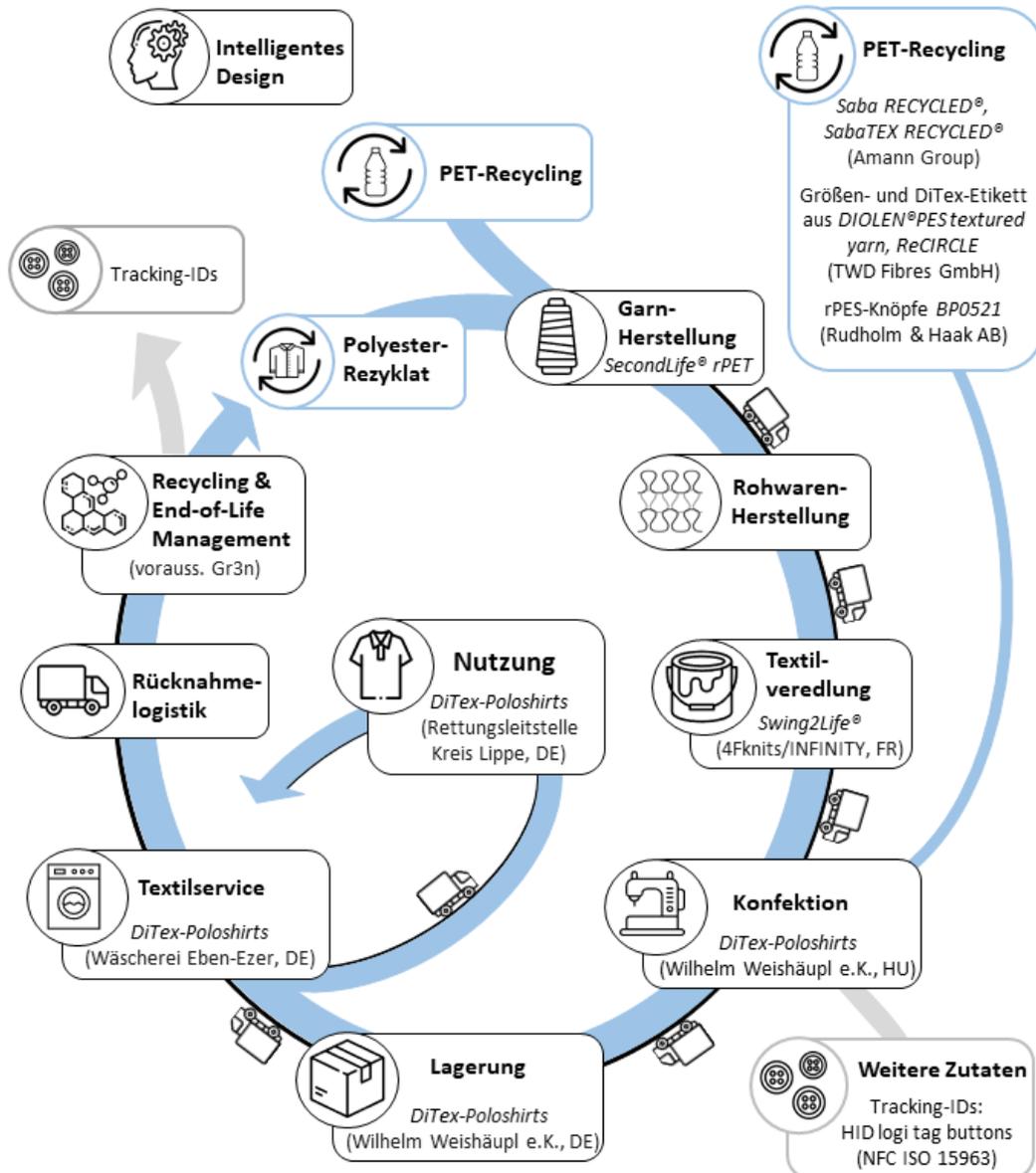


Abbildung 19: Zirkuläre Prozesse des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl e.K. (Eigene Darstellung, IÖW/Christina Vogel)

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. 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.

Ab August 2021 findet ein 5-monatiger Praxistest statt. In diesem Rahmen tragen 95 Einsatzkräfte aus vier Rettungsstellen im Kreis Lippe/Nordrhein-Westfalen die DiTex-Poloshirts zur Probe. Jede/r Test-Träger/in erhält eine 10-fach Ausstattung, so dass in Summe ca. 960 Kleidungsstücke den Praxistest von Tragen, Waschen, Tragen, etc. durchlaufen. Die Bereitstellung und Auslieferung der sauberen Poloshirts sowie das Abholen, Waschen und ggf. Reparieren der getragenen Poloshirts erfolgt durch die Wäscherei Eben-Ezer. Sie sammelt nach Ende des Praxistests alle Poloshirts. Gemäß Vorhabensplanung werden davon ca. 200 Textilien bis auf 30 Waschzyklen und ca. 100 Textilien bis auf 100 Waschzyklen weitergewaschen. Sie verbleiben dafür in der Wäscherei und durchlaufen abschließende Qualitätsprüfungen am Hohenstein Institut und der Hochschule Reutlingen. Ein Teil der Poloshirts soll dem Recycling zugeführt werden (vgl. Kap. 2.2.3). Da die Poloshirts und Zutaten vollständig aus Polyester bestehen, sind für das Recycling lediglich die Tracking-IDs zu entfernen. Alle übrigen Materialien werden einem chemischen Faser-zu-Faser-Recycling unterzogen, bei dem der Polyester depolymerisiert und zu einem hochwertigen Rezyklat verarbeitet wird. Die Details zu dieser Prozessphase stehen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht fest. Aus dem Polyester-Rezyklat könnte eine nächste Generation Poloshirts hergestellt werden. Insgesamt sind die Poloshirts so designed, dass sie am Ende der Nutzungsdauer bzw. des Produktlebenszyklus' als Rohstoff für neue, identische Poloshirts genutzt werden können. Damit ist die grundsätzliche Machbarkeit der textilen Kreislaufführung für dieses Produkt vollständig umgesetzt.

Alle Prozessschritte der textilen Fläche während der Herstellung, der Nutzung und des Recyclings finden in Europa statt. Diese Regionalität ist ungewöhnlich im Vergleich zu den Lieferketten von herkömmlichen Textilien, die oft global verzweigt sind. Die Poloshirts zeigen damit, dass eine europäische Produktion von Textilien eine reale Alternative ist, die nicht nur Transportwege minimiert, sondern auch regionale Wertschöpfung generiert, insbesondere bei einer Kreislaufführung der Materialien.

5.2.3 Lastenheft DiTex-Poloshirt: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards

Tabelle 11 beinhaltet die technologischen Eckdaten des Poloshirts und ist als Produktdatenblatt der DiTex_{Gen1} zu verstehen.

Tabelle 11: Produktspezifikationen des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl e.K.

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Poloshirts
Textilhersteller	Wilhelm Weishäupl e.K.
Textile Fläche	100% Polyester: Swing2Life [®] 4Fknits/INFINITY
Flächenkonstruktion	Rundstickware (Leib): Piqué Flachstrickware: (Bündchen, Kragen): RR Ripp
Fasereinsatz	Maschenware: Polyester, rPET: SecondLife [®] rPET Nähfäden: Polyester-Umspinnzwirn, rPET: Saba RECYCLED [®] Amann Group Polyester-Bauschgarn, rPET: SabaTEX RECYCLED [®] Amann Group
Garnkonstruktion	Filament texturiert
Flächengewicht	150 bzw. 205 g/m ²
Rundstrickware - Zutaten	Etiketten: Lieferant: Korte Etiketten GmbH Garn: DiTex-Etikett: DIOLEN [®] PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Größenetikett: vorraussichtlich DIOLEN [®] PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH Knöpfe Leiste: 100% rPES: BP0521 Rudholm & Haak AB

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Poloshirts
Corporate Identity	Wilhelm Weishäupl e.K. (Datenblatt) Applikation mit Emblem „Bevölkerungsschutz Kreis Lippe“. Das Emblem wird auf das Polo direkt gestickt mit Bauschgarn SabaTex RECYCLED® der Amman Group aus Polyester-Rezyklat.
Ausführung	Feminin bzw. unisex
Farbe	Marineblau
Waschtemperatur	40°C
Umwelt- und Sozialstandards	Textile Fläche: Standard 100 by OEKO-TEX® Nähfäden: Standard 100 by OEKO-TEX®, Global Recycled Standard 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. Simple 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

Folgende Textilprüfungen werden am HIT durchgeführt:

- Farbechtheit
- Mechanische Eigenschaften: Berstdruck, Scheuerfestigkeit und Pillneigung
- Pflegeeigenschaften: Maßänderung, Selbstglättung, Verdrehen der Nähte
- Optische Abmusterung
- Bekleidungsphysiologische Prüfungen.

Die nachfolgende Tabelle 12 führt die Anforderungen an die verschiedenen Prüfkriterien nach dem Hohenstein Qualitätsstandard HQS 704 im Einzelnen auf.

Tabelle 12: Anforderungen an DiTex_{Gen1} Poloshirt hinsichtlich Leasingeignung nach HQS 704

Kriterium	Prüfmethode	Anforderung	
Schweißechtheit	DIN EN ISO 105 E 04 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) Sauer: ≥ 3-4 Alkalisch: ≥ 3-4	Farbtonänderung ≥ 4-5 ≥ 4
Reibechtheit	DIN EN ISO 105-X12 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) Trocken: ≥ 4 Nass: ≥ 3	Farbtonänderung --
Waschechtheit	In Anlehnung an 105 – C06 / E2S, Flottenverhältnis 1:5 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) ≥ 4	Farbtonänderung ≥ 4
Hypochlorit-Waschechtheit	DIN 54016 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) ≥ 4	Farbtonänderung ≥ 4
Hypochlorit-Bleichechtheit	DIN EN 20105-N01 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) --	Farbtonänderung ≥ 4
Bleichechtheit Peroxid	DIN EN ISO 105-N02 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) ≥ 4	Farbtonänderung ≥ 4
Kombinierte Trockenhitze-fixier-Waschechtheit	Fixotest 5 min., 190°C + DIN EN ISO 105 C10 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) ≥ 3 - 4	Farbtonänderung ≥ 4
Licht-/Schweißechtheit	DIN EN ISO 105-B07 Im Neuzustand	Anbluten (unifarbene Verarbeitung) --	Farbtonänderung Helle Farben: ≥ 4 Dunkle Farben: ≥ 4-5

Kriterium	Prüfmethode	Anforderung
Berstdruck	DIN EN ISO 13938 Im Neuzustand	Prüffläche: 7,3 cm ² , ≥ 600 kPa
Scheuerbeständigkeit	DIN EN ISO 12947	--
Pillneigung	DIN EN ISO 12945-2: Nach 5 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	bis 7000 Touren, Note ≥2-3 bis 5000 Touren, Note ≥3
Maßbeständigkeit	DIN EN ISO 5077 nach 5 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	+3% bis -5 %
Selbstglättung	DIN EN ISO 15487 nach 3 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	< 50% CO: ≥3,5
Verdrehung der Fläche	ISO 16322 nach 5 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	≤ 6,00%
Optische Abmusterung	Fotodokumentation Augenmerk auf Schäden inkl. Zutaten, Verarbeitung, Aussehen, Funktion, Farbabweichungen, Griff nach 5 und 30 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	≥4 (geringe oder keine Veränderungen)
Tragekomfortnote	BPI Hohenstein nach 3 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	≤ 2,5

Eine quantifizierbare Beurteilung eventueller visueller Beeinträchtigungen der DiTex-Textilien erfolgt im Verlauf der Praxisphase durch Spektroskopie an der HSRT. Durch die Spektroskopie erfassbare Kennwerte sind:

- Farbveränderung (optische Eigenschaft)
- Faserverlust durch Abnahme der Dicke (morphologische Eigenschaft)
- Oberflächenveränderung (morphologische Eigenschaft).

Voruntersuchungen wurden an den Prototypen, also den im Vorfeld des Upscale hergestellten Produktmustern des DiTex_{Gen1}-Poloshirts vorgenommen. Sie sind in Kapitel 5.2.4 dokumentiert und erläutert.

5.2.4 Ergebnisse der Qualitätsprüfungen am Poloshirt-Prototyp

Ergebnisse der textiltechnologischen Prüfung am Poloshirt-Prototyp

Im Folgenden sind die Ergebnisse der textiltechnologischen Prüfungen an den Poloshirts in Tabellenform (vgl. Tabelle 13 bis Tabelle 23) dargestellt. Direkt gegenübergestellt werden die Prüfergebnisse den Kriterien aus dem Anforderungskatalog zum Einkauf von leasinggeeigneten Textilien „Hohenstein Qualitätsstandard 704, Polos und Shirts“. Kapitel 5.1.3 enthält eine Beschreibung der verschiedenen Prüfungen bzw. Prüfbedingungen. Abbildung 20 bis Abbildung 23 stellen die Ergebnisse der spektroskopischen Prüfungen an der HSRT dar. Die Prüfergebnisse werden in Kapitel 5.7.1 zusammenfassend diskutiert.

Tabelle 13: Ergebnisse der Farbechtheitsprüfung an der Neuware, Notengebung: 5 beste Bewertungsstufe, 1 geringste Bewertungsstufe, CO: Anblutverhalten auf Baumwollgewebe, PES: Anblutverhalten auf Polyestergewebe

Prüfkriterium	Prüfmethode	Ergebnis in Noten			Anforderung HQS 704	
		Anbluten		Farbton	Anbluten (uni-farben)	Farbton
		CO	PES			
Schweißechtheit	Sauer	4	4-5	4-5	≥ 3-4	≥ 4-5
	Alkalisch	4	4-5	4-5	≥ 3-4	≥ 4
Reibechtheit	Trocken	4-5		---	≥ 4	---
	Nass	4-5		---	≥ 3	---
Waschechtheit		4-5	4-5	4-5	≥ 4	≥ 4
Hypochlorit-Waschechtheit		4-5	4-5	4-5	≥ 4	≥ 4
Hypochlorit-Bleichechtheit		---		4-5	---	≥ 4
Bleichechtheit Peroxid		4-5	4-5	4-5	≥ 4	≥ 4
Kombinierte Trockenhitze-, Waschechtheit		4-5	4-5	4-5	≥ 3-4	≥ 4
Licht-/Schweißechtheit	Alkalisch	---	---	4	---	≥ 4-5
	Sauer	---	---	4	---	≥ 4-5

Tabelle 14: Ergebnisse der Berstdruckprüfung

Anzahl Pflegehandlungen	Ergebnis in kPa	Anforderung HQS 704
0 (Neuzustand)	> 800	≥ 600 kPa
10	> 800	-
25	> 800	-
50	> 800	-

Tabelle 15: Ergebnisse der Scheuerbeständigkeitsprüfung

Anzahl Pflegebehandlungen	Anzahl Touren	Ergebnis	Anforderung HQS 704
0 (Neuzustand)	30000	Ein Faden vollständig zerstört	-
	30000	Ein Faden vollständig zerstört	-
	35000	Ein Faden vollständig zerstört	-
	Mittelwert 30000		

Tabelle 16: Ergebnisse der Pillingprüfung nach 5 Pflegebehandlungen, Notengebung: 5 beste Bewertungsstufe, geringste Bewertungsstufe

Pillneigung bei Touren	Ergebnis in Noten	Anforderung HQS 704
(0 Touren) Oberflächenveränderung, die durch die Pflegebehandlung hervorgerufen wurde	4-5	-
125	4-5	-
500	4	-
1000	4	-
2000	3-4	-
5000	3-4	≥ 3
7000	3-4	≥ 2-3

Tabelle 17: Ergebnisse der Maßänderungsprüfung in Längs- und Querrichtung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis in %		Anforderung HQS 704
	Längs	quer	
1	+ 5,5	-8,5	-
3	+ 6,5	-11	-
5	+ 6,0	-10,5	+ 3,0 bis – 5,0
15	+ 4,5	-11,5	-
20	+ 5,5	-11,5	-
25	+ 5,5	-12,0	-
50	+ 4,0	-12,5	-

Tabelle 18: Ergebnisse der Selbstglättungsprüfung, Notengebung: 5 beste Bewertung, 1 schlechteste Bewertung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis in Noten	Anforderung HQS 704
3	SA 5	> 50% CO: > SA 3; < 50% CO: ≥ SA 3,5
25	SA 5	
50	SA 5	

Tabelle 19: Ergebnisse der Prüfung Verdrehen der Nähte

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis Nahtverzug in %	Anforderung HQS 704
5	2,0	≤ 6,0

Tabelle 20: Ergebnisse der optischen Abmusterung (Konfektionierungsprüfung) nach 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen; Notengebung über 5-stufige Bewertungsskala: 1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = deutlich, 4 = gering, 5 = keine Veränderung.

Kriterium	Ergebnis in Noten			Anforderung HQS 704
	5 Pflege- behandlungen	25 Pflege- behandlungen	50 Pflege- behandlungen	
Verarbeitung, Veränderung aufgrund Schnittgestaltung	4-5	4-5	4-5	≥ 4
Aussehen und Funktion Zutaten	4-5	4 Bund am Ärmel franst aus	4 Bund am Ärmel franst aus	≥ 4
Aussehen und Warenbild, Farbe	4-5	4-5	4-5	≥ 4
Griff (haptisch)	4-5	4-5	4-5	≥ 4

Tabelle 21: Ergebnisse der bekleidungsphysiologischen Untersuchungen (nach 3 Pflegezyklen)

Bekleidungsphysiologie		Ergebnis	Anforderung HIT
Hautsensorik	Benetzungsindex iB	2,51	iB < 270 ist besser zu beurteilen. Je kleiner, desto besser.
	Klebekraftindex iK	7,64	iK > 15 wird als unangenehm 'klebend' empfunden; iK 5 - 15 gut; iK < 5 auch nicht angenehm - wie 'Kitzeln'
	Oberflächenindex iO	4,408	iO < 3 'seifig'; iO 3 - 15 OK; iO > 15 'kratzig'
	Kontaktpunktzahl nK	1551	nK > 1500 hoch, alles was darunter ist, ist "in Ordnung"
	Steifigkeit s	9,4	s ≥ 90 wird als steif bezeichnet, je größer s, umso steifer und 'unangenehmer'
Thermo-physiologie	Wärmedurchgangswiderstand (Rct) [m ² K/W]	0,0214	Anforderung für "normale Wäsche" < 0,040
	Wasserdampfdurchgangswiderstand (Ret) [m ² Pa/W]	3,2107	< 6 m ² Pa/W ist sehr gut

Tabelle 22: Ergebnisse der Maschendichtenprüfung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis Maschenstäbchen zahl/cm	Ergebnis Maschenreihenzahl/cm
0 (Neuzustand)	10,2	11,0
1	10,6	10,9
3	10,5	10,9
5	10,7	10,8
25	11,3	10,7
50	11,0	10,9

Tabelle 23: Ergebnisse der Flächengewichtsprüfung

Anzahl Proben	Ergebnis in g/m ² in Abhängigkeit von der Zahl der Pflegezyklen					
	0	1	3	5	25	50
1	200,84	208,26	214,81	218,90	214,45	216,91
2	200,65	209,09	214,81	214,14	219,07	215,75
3	197,90	208,33	213,28	214,62	219,29	218,06
4	197,78	208,73	213,36	216,69	219,31	219,91
5	198,99	207,25	211,18	212,91	222,05	218,41

Insgesamt zeigen die Poloshirts eine ausgezeichnete Farbbeständigkeit. Die Anforderungen an Farbechtheit wurden mit Ausnahme der Licht-/Schweißechtheit (geringe Abweichung) alle erfüllt. Auch im Bereich der mechanischen (Pillingneigung, Berstverhalten) und bekleidungsphysiologischen Eigenschaften wurden gute Ergebnisse erzielt. In der Konfektionierungsprüfung zeigen sich nur geringfügige Veränderungen nach der Pflege, und auch das Verhalten hinsichtlich Selbstglättung und Verdrehen der Nähte kann als gut eingestuft werden. Einzig bei der Maßänderung ergeben sich deutliche Abweichungen von den Anforderungen. Es wird angenommen, dass eine Trocknung im Finisher (hängend) für die Poloshirts nicht geeignet ist.

Ergebnisse der spektroskopischen Qualitätsprüfung am Poloshirt-Prototyp

Im sichtbaren (VIS) Bereich werden hauptsächlich die Farbe und die Änderung der Dichte (bzw. Flächengewicht) beobachtet. Diese zwei Effekte sind stark überlappend. Um sie zu trennen, mussten die Rohdaten vorverarbeitet werden. Zunächst wurde eine Korrektur für die Lichtstreuung durchgeführt (mit SNV Algorithmus). Die Spektren nach der Korrektur überlappen sich zu 100 Prozent und zeigen deshalb keine signifikante Farbänderung auf. Somit ist keine Verschlechterung der Farbbeständigkeit der Poloshirts während der Waschzyklen zu erwarten (vgl. Abbildung 20).

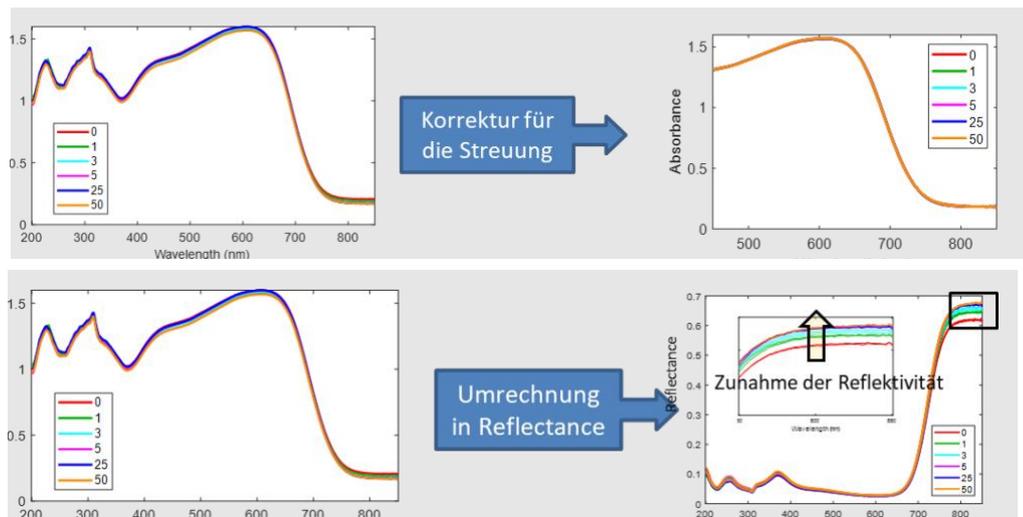


Abbildung 20: Spektren in UV-Vis Bereich – DiTex-Poloshirt. Links: Rohdaten. Rechts: in Reflektivität umgerechnet. Inset zeigt die Änderung der Reflektivität im Bereich 750-850 nm (Eigene Darstellung, HSRT)

Die Spektren wurden dann in Reflexionseinheiten umgerechnet. Der Bereich, in dem keine Absorption stattfindet (700-850 nm), zeigt mit Zunahme der Waschzyklen eine zunehmende Reflektivität. Zu sehen ist dies in der rechten Grafik der Abbildung 20 als vertikale Verschiebung der Spektren zu höheren Reflexionswerten (Offset).

Die Hauptkomponentenanalyse reduziert die 325 spektralen Datenpunkte auf die erste Hauptkomponente, die 87 Prozent der spektralen Informationen enthält. In Abbildung 21, links sind die Scores der ersten Hauptkomponente dargestellt. Die Reflexionszunahme ist in den ersten Waschzyklen besonders hoch, ab dem fünften Waschzyklus (WZ 5) ist keine Zunahme mehr zu beobachten. Dieses Ergebnis korreliert mit dem Messergebnis der Bestimmung des Flächengewichtes, das am Hohenstein Institut gemessen wurde (vgl. Abbildung 21, rechts). Die Varianzanalyse der HIT Messwerte zeigt, dass bis WZ 5 die gemessenen Werte eine signifikante Änderung abhängig von den Waschzyklen vorweisen. Dies bedeutet, dass mittels VIS-Spektroskopie die Änderung von physikalischen Daten (hier: Flächengewicht) bestimmt werden kann.

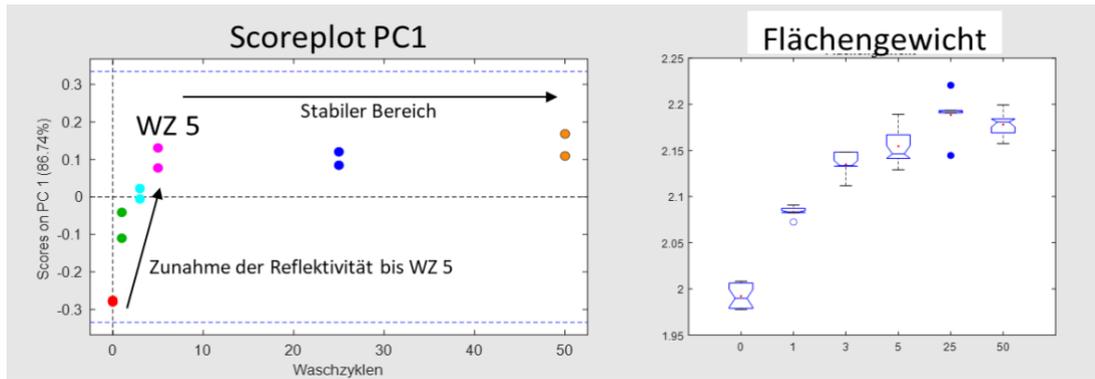


Abbildung 21: Links: Scoreplot der ersten Hauptkomponente vs. Waschzyklen. Die Änderung der Reflektivität nimmt bis Waschzyklus 5 zu und bleibt nachher stabil. Rechts: Varianzanalyse der Flächengewichtsmessungen von HIT. (Eigene Darstellung, HSRT)

Im Infrarotbereich sind die Messungen über die Waschzyklen gut reproduzierbar. Die charakteristischen Banden von Polyester sind deutlich zu erkennen und die Spektren zeigen keine zusätzlichen Banden, Bandenverschiebung oder Änderung der relativen Bandenintensitäten, was auf Materialdegradation hindeuten könnte (vgl. Abbildung 22, links). Die Hauptkomponentenanalyse bestätigt diese Annahme: in Abbildung 22, rechts werden die Scores der ersten zwei Hauptkomponenten gezeigt, die allein 96 Prozent der Informationen erklären. Es ist kein deutlicher Trend innerhalb der Waschzyklen erkennbar. Das Material (rPES) zeigt sich über die 50 Waschzyklen stabil, es tritt offensichtlich kein Verschleiß auf.

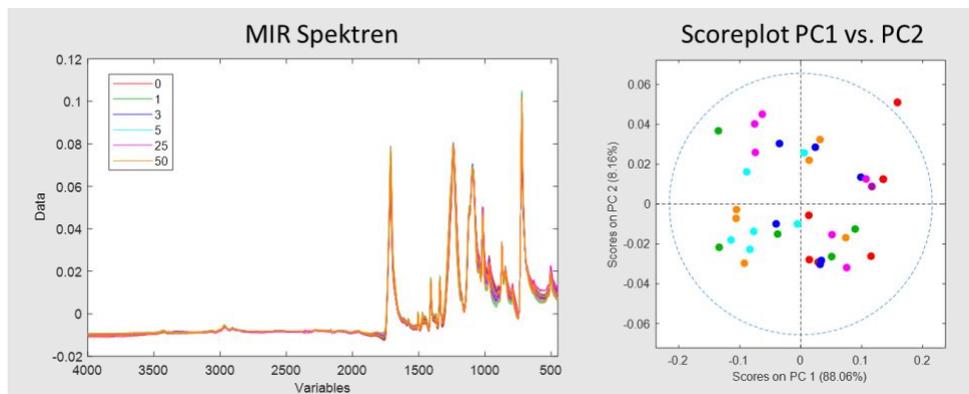


Abbildung 22: Links: MIR Spektren vom Damenpolo. Rechts: Scoreplot der 1. vs. 2. Hauptkomponente. Die Daten zeigen kein Trend mit den durchgeführten Waschzyklen (Eigene Darstellung, HSRT)

Korrelationsanalyse

Die Korrelationsmatrix der Messergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen (aus Kap. 5.2.4) ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Maßänderung längs und quer weisen auf eine negative Korrelation mit den Waschzyklen hin, Maschenstäbchen und Flächengewicht auf eine positive und Maschenreihen auf eine sehr geringe Korrelation. Die etwas niedrigeren Korrelationskoeffizienten von Flächengewicht und Maschenstäbchen ergeben sich aufgrund der Nichtlinearität der Korrelation (vgl. Abbildung 23).

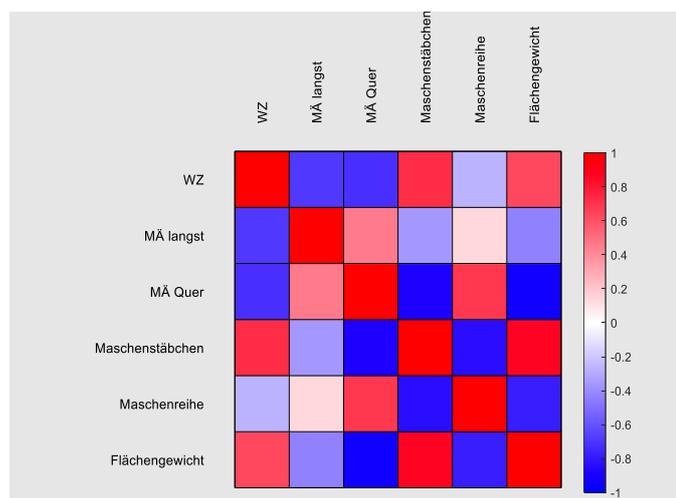


Abbildung 23: Korrelationsmatrix der Ergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen für das Damen-Poloshirt. (Eigene Darstellung, HSRT)

Die Korrelationskoeffizienten müssen auf Signifikanz überprüft werden. Da die Varianzanalyse für die statistische Robustheit eine große Datenmenge benötigt, wird diese Analyse mit den Ergebnissen unmittelbar vor und nach der Praxisphase durchgeführt.

5.2.5 Übersichtsökobilanz

Die Ermittlung der ökologischen Auswirkungen der neu entwickelten DiTex-Textilien im Vergleich zu herkömmlichen Referenztextilien erfolgt mittels sogenannter Übersichtsökobilanzen. Hierbei wird aufgezeigt, ob und in welchem Ausmaß das DiTex-Gesamtkonzept und die Nutzung der DiTex-Textilien zu einer Verbesserung der Umweltauswirkungen und zu Ressourceneinsparungen führen können. In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Methodik der Übersichtsökobilanz erklärt, dann die untersuchten Umweltwirkungskategorien aufgeführt und abschließend die bisherigen Ergebnisse für das Poloshirt präsentiert.

5.2.6 Methodik

Die Berechnung der Übersichtsökobilanz lehnt sich an die internationalen Normen für Produktökobilanzen ISO 14040 und 14044 (ISO, 2006a, 2006b) an. Dabei werden die Umweltauswirkungen aller Input- und Outputflüsse des jeweils untersuchten Produkts entlang seines gesamten Lebensweges betrachtet inkl. aller Recycling- und Entsorgungswege (vgl. Abbildung 19).

In der Übersichtsökobilanz werden das neu entwickelte DiTex-Poloshirt sowie ein herkömmliches Referenz-Poloshirt untersucht und einander gegenübergestellt. Das Referenzprodukt ist eine herkömmliche Variante des Textils der Firma HAKRO (vgl. Tabelle 24). Die Daten des Textils in Tabelle 24 wurden von der Firma HAKRO freundlicherweise zur Verfügung gestellt

Systemgrenzen

Es werden alle Prozesse von der Wiege bis zur Bahre betrachtet. Dazu zählen: Rohstoffgewinnung, Textilproduktion inklusive der Produktionsschritte Spinnen, Weben/Stricken, Veredelung und Konfektionierung, sämtliche Transportprozesse zwischen den einzelnen Produktionsschritten, Nutzung des Textils inklusive Waschen und assoziierter Logistik, Transport zum Recycling-Unternehmen und Recycling einschließlich Neuproduktion der Textilien sowie die Nutzung bzw. Entsorgung aller entstehenden Reststoffe.

Der Schwerpunkt der Übersichtsökobilanz liegt auf einem Vergleich der Produktsysteme. Deshalb werden die Randbedingungen sämtlicher Lebenswegabschnitte des neu entwickelten Poloshirts und des Referenz-Poloshirts, die nicht von den innerhalb des Vorhabens eingeführten Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen) betroffen sind, gleichgesetzt. Dazu gehören unter anderem die Prozessschritte „Anbau bzw. Gewinnung der Rohstoffe“, „Textilproduktion“, „Transportprozesse“ usw.

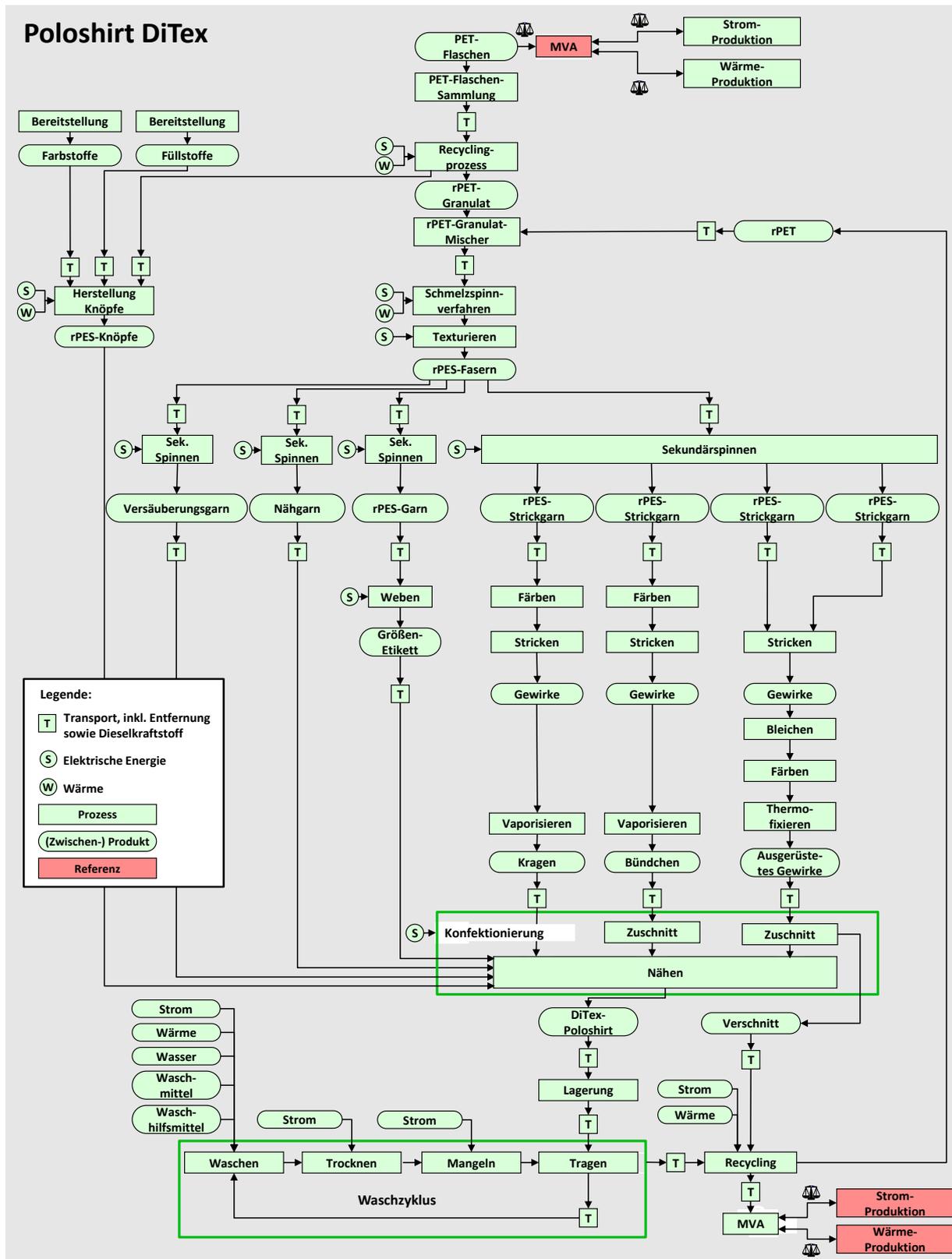


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Lebenswegs des DiTex-Poloshirts (Eigene Darstellung, ifeu)

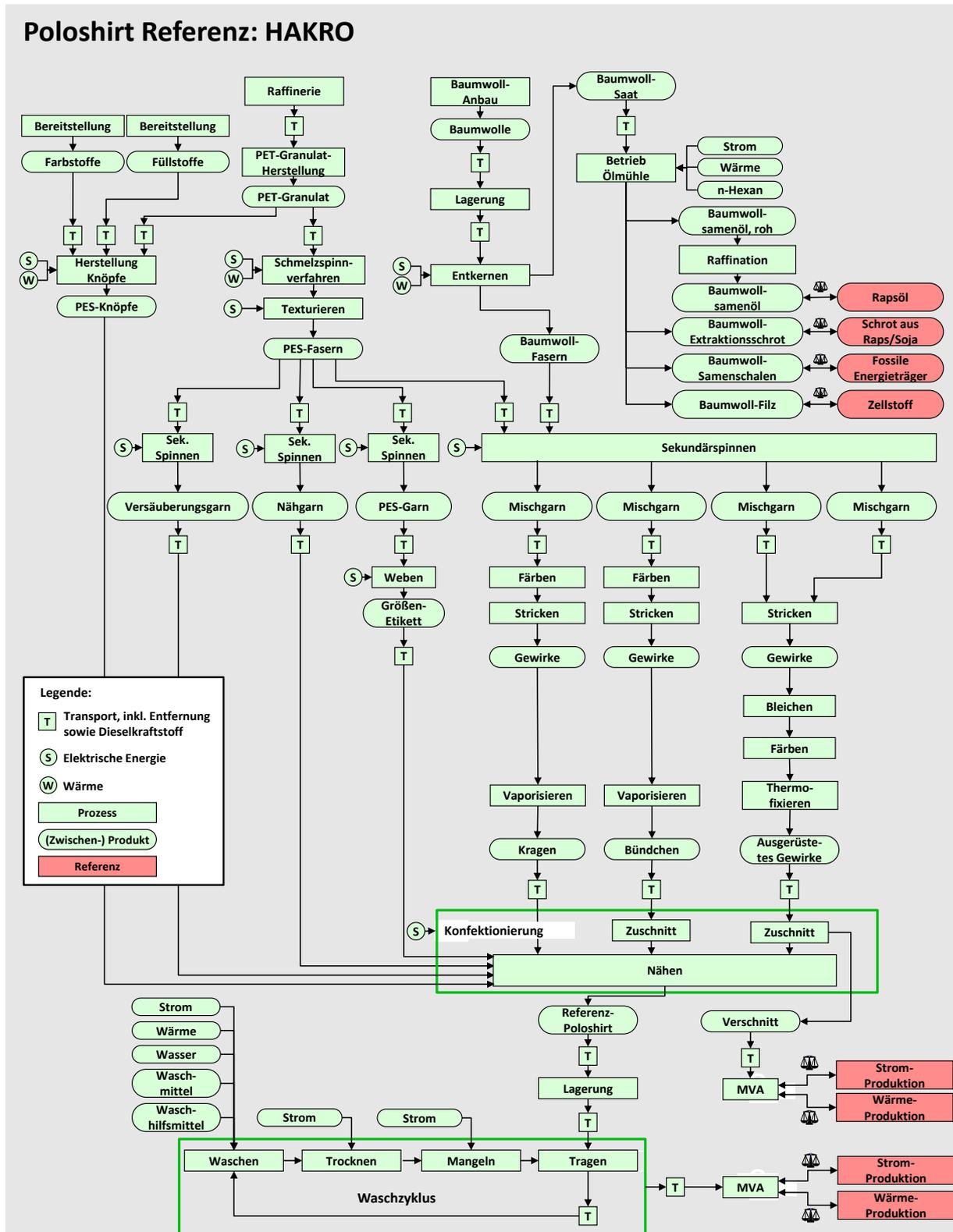


Abbildung 25: Schematische Darstellung des Lebenswegs des Referenz-Poloshirts (Eigene Darstellung, ifeu)

Basisparameter und Festlegungen

Die im Anschluss dargestellten Ergebnisse basieren auf folgender Datengrundlage:

- Vorketten: Daten aus der internen Ökobilanz-Datenbank des Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) sowie der Datenbank Ecoinvent (für eine Beschreibung dazu vgl. Wernet et al., 2016).
- Produktspezifische Daten wie Verschnitt beim Nähen der Textilien, Mengen der verwendeten Materialien (Garne, Knöpfe usw.) oder die Festlegung der qualitativen Prozessketten basiert auf Angaben bzw. Mitwirken der Projektpartner in ihrem jeweiligen Kompetenzbereich.
- Weitere quantitative Daten werden auf Grundlage der Expert/inneneinschätzung des ifeu angesetzt.

Einige wichtige, der Übersichtsökobilanz zugrunde liegenden Basisparameter und Festlegungen sind in Tabelle 24 zusammengefasst.

Tabelle 24: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für das Poloshirt

	Poloshirt	
	Referenz: HAKRO	DiTex
Hersteller	HAKRO	Weishäupl
Material	PES / Baumwolle: 60 / 40%	rPES 100%
Produktgewicht	150 g	150 g
Verschnitt	20%	20%
Waschort	Wäscherei	Wäscherei
Produktlebensende	50% Altkleidersammlung/ 50% Abfall **	95% Recycling, 5% Entsorgung */**
Entsorgung	100% Thermische Verwertung, Verschnitt: ebenso	** 5%: Thermische Verwertung Verschnitt: 100% Recycling

* Möglichst vollständiges Recyceln

** Ausgangswerte: Variation mittels Sensitivitätsanalysen

Baumwoll-Produktion: Die verarbeitete Baumwolle repräsentiert eine Mischung der Hauptproduktionsländer für Baumwolle nach Produktionsvolumen. Über dieses Verhältnis gewichtet werden die einzelnen Prozesse bilanziert und Umweltwirkungen berechnet. Dies wirkt sich nicht nur auf die Energie- und Klimagasbilanzen aus, sondern auch auf die meisten anderen Umweltwirkungskategorien wie insbesondere den Wasser-Fußabdruck und den Flächen-Fußabdruck.

PES / rPES: In dieser Untersuchung wird die in Europa typische, durchschnittliche PES-Produktion angesetzt, ebenso wie für rPES. Die Basisdaten dazu sind abgestimmt mit PlasticsEurope, dem europäischen Verband der Plastikproduzenten, gereviewt und entsprechen dem Stand der Technik.

Materialzusammensetzung: Die für die Materialzusammensetzung genutzten Parameter basieren auf Angaben des Herstellers Weishäupl bzw. des IÖW. Ausgewählte Details können Tabelle 24 entnommen werden.

Anzahl der Waschzyklen: Eines der Ziele des DiTex-Konzepts ist es, die Textilien und die verbundene Logistik so zu optimieren, dass insgesamt die Nutzungszyklen, vereinfacht ausgedrückt: die Lebensdauer, erhöht werden. Damit verbunden ist pro Textil auch eine Erhöhung der Waschzyklen, die sich ökobilanztechnisch aber relativiert, wenn der eigentliche Nutzen der Textilien betrachtet wird, denn insgesamt wird Nutzengleichheit angesetzt. Im Rahmen der Ökobilanz werden diverse Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei der die Lebensdauer (und damit die Waschzyklen pro Textil) variiert wird.

Transporte zu Recyclinganlagen: Die Transporte zu und von den Recyclinganlagen werden in der Übersichtsökobilanz berücksichtigt. Hierfür wird ein funktionierendes Logistiksystem mit adäquater Verteilung von Recyclinganlagen innerhalb Europas angesetzt, so dass diese Anlagen in angemessener Nähe zu den zukünftigen Anwendern liegen und somit die Transportentfernungen verhältnismäßig sind.

Recycling: Während des Recyclingprozesses des Poloshirts entsteht ein systembedingter Ausschuss von Textilfasern. In Anlehnung an Recyclingsysteme für PET-Flaschen wird davon ausgegangen, dass insbesondere im Falle der PES-Fasern ein sehr hoher Recyclinganteil realisiert werden kann. Beim Recycling der Textilien entsteht zwangsläufig ein gewisser Anteil an Ausschuss. Dieser Anteil und ggf. andere Formen von Materialausschuss verlassen den Stoffkreislauf und müssen dem System nach jedem Recyclingzyklus wieder zugeführt werden. Die Höhe des Ausschusses bzw. der Recyclingrate wird im weiteren Vorhabenverlauf basierend auf Detailinformationen der Recyclingunternehmen sowie in Rücksprache mit den Verbundpartnern angesetzt und in Sensitivitätsanalysen auf ihre Auswirkung auf die Ergebnisse analysiert. Des Weiteren wird angesetzt, dass der Ausschuss entsprechend der üblichen Verwertungswege in Deutschland der thermischen Verwertung einer Müllverbrennungsanlage (MVA) zugeführt wird, wofür eine energetische Gutschrift angerechnet wird.

Produktlebensende: Die für das Produktlebensende genutzten Parameter basieren auf Angaben des IÖW (vgl. Tabelle 24). Für den Anteil an Textilien, der nach der Nutzung als Poloshirt nicht direkt thermisch in einer MVA verwertet wird, wird eine zwischengeschaltete Sekundärnutzung (z.B. Putzlappen oder Altkleidersammlung) angesetzt. Für diese Zwischennutzung wird dem System keine zusätzliche Gutschrift angerechnet. Der Grund dafür ist, dass es aktuell und in absehbarer Zukunft ein Überangebot an Textilien auf dem Sekundärmarkt geben wird und eine separate Produktion von Sekundärtextilien aus Frischfasern für z.B. Putzlappen daher unrealistisch ist. Für die hier betrachteten Textilien

wird am Ende ihrer Sekundärnutzung somit eine energetische Gutschrift auf der Basis einer thermischen Verwertung in einer MVA angerechnet.

5.2.6.1 Betrachtete Umweltwirkungskategorien

Die im Rahmen der Übersichtsökobilanz untersuchten Umweltwirkungskategorien werden in Tabelle 25 kurz beschrieben.

Tabelle 25: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021)

Wirkungskategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Energieaufwand	MJ PE-Äq. (Primärenergie-Äquivalente)	Energieeinsatz bzw. -einsparung ist ein Indikator der Ressourcenbeanspruchung. Üblicherweise wird die nicht erneuerbare Primärenergie ausgewiesen. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern zählen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Die Primärenergie umfasst sowohl den Energieinhalt der Energieträger als auch den Aufwand für deren Bereitstellung (Förderung, Raffinerie, Transporte usw.). Im Folgenden wird diese Umweltwirkungskategorie als „Energieaufwand“ bezeichnet.
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq.	Bezeichnet die Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) werden auch Methan (CH ₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N ₂ O) sowie eine Reihe von klimarelevanten Spurengasen wie FCKW erfasst.
Versauerung	kg SO ₂ -Äq.	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch den Eintrag Säure bildender Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff. Versauerung schädigt sensible Ökosysteme wie Wälder oder Magerwiesen, aber auch Gebäude (Stichwort: „Saurer Regen“).
Wasserfußabdruck	m ³ H ₂ O-Äq.	Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der verbrauchten Wassermengen nach Wasserqualitäten und der Wasserknappheit in dem Land, in dem der jeweilige Verbrauch stattfindet, s. AWARE-Methode (Boulay et al., 2018).
Flächenfußabdruck	m ² künstliche Fläche Äq. (aF-Äq.) · 1a	Ökosysteme mit einer geringen menschlichen Eingriffsstärke und einem hohen Maß an Selbstregulation zeigen geringere negative

Wirkungs-kategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
		Wirkungen auf das Gesamtökosystem, die Bodenfunktion und Biodiversität als Ökosysteme, deren Selbstregulation durch eine hohe Eingriffsstärke beeinträchtigt ist. Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlichen benötigten Flächen nach ihrer jeweiligen Distanz zu einem natürlichen Zustand (Details vgl. Fehrenbach, Rettenmaier, Reinhardt & Busch, 2019).

5.2.6.2 Ergebnis

Basisergebnis 1: Kleinteile der Textilprodukte wie bspw. Knöpfe, Garne/Fäden oder Bündchen haben keinen relevanten Einfluss auf das Endergebnis der untersuchten Umweltwirkungskategorien, zumindest wenn die Garne die gleiche Materialzusammensetzung haben wie die Textil-Stoffe oder auch die Knöpfe keine individuellen ökologischen Schwachstellen aufweisen. Damit wird deutlich, wie wichtig aus Umweltsicht die Etablierung eines nachhaltigen Konzepts bereits bei der Auswahl der Materialien sein kann.

Basisergebnis 2: Die Ergebnisse der Übersichtsökobilanz weisen eine gewisse Bandbreite auf, die von den DiTex-Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen), der Effizienz und den Aufwendungen beim Recycling und Waschen sowie der damit verbundenen Logistik aufgespannt wird und davon zum Teil deutlich abhängen. Insbesondere die quantitativen Ergebnisse für die Treibhausgasbilanz, den Energieaufwand und das Versauerungspotenzial hängen von der Effizienz bzw. den Aufwendungen bei einzelnen Prozessen wie bspw. dem Recycling oder dem Waschen ab.

Detailergebnisse:

Qualitativ lassen sich aus der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021) für das DiTex-Poloshirt folgende Erkenntnisse ableiten:

- Bei der Treibhausgasbilanz ist beim DiTex-Poloshirt eine klare Tendenz zu erkennen, dass Treibhausgase gegenüber dem Referenz-Poloshirt eingespart werden können. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Wasser- und Flächenfußabdrucks spielt die Materialzusammensetzung eine eher untergeordnete Rolle. Besonders eine verlängerte Nutzungsdauer trägt maßgeblich zur Verringerung der Treibhausgasbilanz bei, sollte sie in der Praxis realisiert werden können. Beim Recycling gilt die Tendenz nur, wenn die mit dem Prozess verknüpften Aufwendungen geringer sind als die für die Herstellung von Frischfasern.
- Beim DiTex-Poloshirt kann analog zu den Ergebnissen der Klimagase eine klare Tendenz in Richtung eines geringeren Energieaufwandes im Vergleich zum Referenz-Poloshirt festgestellt werden. Es gelten hier quasi die gleichen Ausführungen wie bei den Treibhausgasen.
- Der Wasser-Fußabdruck des DiTex-Poloshirts zeigt eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum Referenzprodukt. Dies lässt sich vorrangig auf die Substitution von

Baumwolle zurückführen. Die Baumwollproduktion, die in Anbauländern und --regionen mit teils signifikanter Wasserknappheit stattfindet, verbraucht verglichen mit der Herstellung von Polyester (PES) ein Vielfaches an Wasser. Aus diesem Grund spielen auch das Recycling und die verlängerte Nutzungsdauer, welche die Herstellung neuer Baumwollfasern reduzieren können, eine große Rolle für den Wasser-Fußabdruck.

- Das DiTex-Poloshirt zeigt eine Tendenz zur Verringerung des Versauerungspotenzials im Vergleich zum Referenz-Poloshirt. Eine Vertiefung dieser Ergebnisse wird mittels zusätzlicher Sensitivitätsanalysen im weiteren Projektverlauf noch durchgeführt.
- Der Flächen-Fußabdruck verringert sich signifikant im Vergleich zum Referenz-Poloshirt. Dies hängt in erster Linie mit der Substitution von Baumwolle zusammen. Durch die vollständige Substitution des Baumwoll-Anteils durch rPES fällt der Flächen-Fußabdruck des Textils im direkten Vergleich zum Referenzprodukt vernachlässigbar gering aus.

In welchem Ausmaß sich die aufgeführten Resultate dieser Zwischenergebnisse weiter differenzieren lassen, wird sich in der detaillierten Ökobilanz im weiteren Projektverlauf zeigen.

5.2.7 Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung

Einer der wichtigsten positiven Aspekte ist, dass circular.fashion im Circular Material Check und Circular Product Check dem Poloshirt die Recyclingfähigkeit im chemischen Recycling bestätigt. Damit wurde beim Poloshirt der Hauptanspruch von DiTex bereits in der Designphase erreicht.

An dem ausschließlich aus Polyester bestehenden Poloshirt (100 Prozent rPES sowohl für die Maschenware wie auch für Nähfaden, Stickgarn/Emblem und Knöpfe) ist auch positiv hervorzuheben, dass das Monomaterial keine Rohstofftrennung erfordert. Damit wird eine Sortierung in Vorbereitung auf das Recycling bis auf die Entfernung der Tracking-ID obsolet.

Der dezidiert schlichte, zeitlose Schnitt und das einfarbige Material wurden gewählt, um auch im Erscheinungsbild eine Langlebigkeit anzulegen. Im Produktdesign ist das auch derart berücksichtigt, dass die Bündchen und die Blende aus dem gleichen Material bestehen wie die Fläche für den Leib. Somit wird – wie in zwei- oder mehrfarbigen Textilien häufig zu beobachtendes – „Anbluten“ der Bündchen und der Blende beim Waschen ausgeschlossen. Während diese Eigenschaft und auch die Simplität eine Unabhängigkeit von modischen Einflüssen verschafft und damit unter Kreislaufwirtschaftsgesichtspunkten positiv zu werten ist, reduziert die Einfarbigkeit des Textils Variationen im Design und schränkt damit auch den potenziellen Kundenkreis (hinsichtlich der Möglichkeiten Corporate Identity-Anforderungen umzusetzen) ein.

Das Material hat sich sowohl bei den spektroskopischen Untersuchungen als auch bei der Farbechtheitsprüfung als stabil erwiesen. Die Leasingtauglichkeit im Hinblick auf Farbbeständigkeit ist damit gegeben. Auch hinsichtlich bekleidungsphysiologischer und mechanischer Eigenschaften können die Anforderungen an Leasing-Eignung erfüllt werden.

Lediglich die starke Maßänderung zeigt eine deutliche Auffälligkeit. Dies soll über die Auswahl eines geeigneten Trocknungsprozesses im Praxistest berücksichtigt werden.

Für den Forschungsverbund von großem Interesse, aber bis Ende des Vorhabens nicht ermittelbar, sind Erkenntnisse darüber, inwieweit und in welchen Parametern sich Qualität und Lebensdauer der Poloshirts aus DiTex_{Gen1} und DiTex_{Gen2} unterscheiden.

5.3 DiTex-Polizeihemd: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion

Dieses Kapitel dokumentiert die Produktinformationen zu dem Erarbeitungsprozess (Besonderheit partizipatives Produktdesign) (Kap. 5.3.1), den Prozessabläufen und Logistikketten (Kap. 5.3.2) und auch die Produktspezifikationen und Qualitätsstandards (Kap. 5.3.3) des **DiTex-Polizeihemds**. Kapitel 5.3.7 zieht ein zusammenfassendes Fazit zu den Auffälligkeiten des Polizeihemds, den Implikationen für die Pilotierung und den identifizierten Wissenslücken.

5.3.1 Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign

Der DiTex-Vorhabensverbund befasste sich unter Federführung von circular.fashion und der Hochschule Reutlingen mit der Erstellung des Lastenheftes für das DiTex-Polizeihemd, das als Basis für die Umsetzung der DiTex_{Gen1} dient.

Die technologische Auslegung (Materialien, Schnitt) konventioneller Berufsbekleidung genügt den industriellen Waschprozessen. Um die Kreislauffähigkeit des Polizeihemds 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 (wiederholte) Rezyklierbarkeit der Rohstoffe. Zeitgleich sollte der Anteil der Zutaten aus bereits rezyklierten Materialien erhöht werden. Dies ist eine weitere Besonderheit im Projekt, da der Einsatz und die Eignung rezyklierter Materialien im Bereich der Miettextilien erprobt werden. Das Produktdesign hat einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Recyclingfähigkeit. Ziel ist deshalb, bereits im Produktdesign die konkreten Recyclinganforderungen mit einfließen zu lassen und so die Textilien als zukünftigen Recycling-Feedstock zu optimieren. Dieser Ansatz ist bislang im B2B-Wäschebereich noch nicht breit etabliert, weshalb das DiTex-Vorhaben einen Beitrag zur Erprobung leisten will und deshalb als Machbarkeitsstudie angelegt ist.

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.

Alle, die dieses Hemd tragen, benötigen größtmöglichen Tragekomfort bei gleichzeitiger angenehmer Passform und Formbeständigkeit. Die Corporate Identity zeichnet sich hier auch durch ein zeitloses Design aus.

Im Marktdialog 1 am 09.12.2019, wurden die Produkthanforderungen und Erwartungen von Großabnehmern an hochwertige Businesshemden diskutiert. Erst zu einem späteren Zeitpunkt im Vorhaben wurde die weitere Spezifikation auf Polizeihemden beschlossen.

Auf Basis der Expertise von HSRT, HIT, circular.fashion sowie dem Industriepartner Weishäupl wurden diese Parameter bewertet und in Einklang mit den Projekthanforderungen 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 Integrativen Forschungsbericht. Die Hauptziele aus Sicht der Kundschaft sind lange Nutzungsdauer bei gleichzeitigem beständig gutem Aussehen, guter Passform und hohem Tragekomfort. Tabelle 26 führt die auf dem Marktdialog 1 diskutierten Wünsche auf und kommentiert diese.

Tabelle 26: Wünsche an hochwertige Businesshemden im Marktdialog 1 und Kommentierung

Diskussionspunkt	Kommentar
Hoher Baumwollanteil (möglichst 100%), lange Nutzungsdauer, Selbstglättung und Bügelfreiheit/-armut), Dimensionsstabilität	<p>Insbesondere bei einem Businesshemd ist der Wunsch nach einem hohen Baumwollanteil (möglichst 100%) gegeben.</p> <p>Die Anforderungen an die Leasingtauglichkeit (hohe Strapazierfähigkeit, selbstglättend und bügelarm) erfordern den Einsatz synthetischer Chemiefasern, hier Polyester.</p> <p>Um beiden Bedingungen gerecht zu werden, wird eine Organic Cotton (62%) / rPES (38%) Mischung gewählt.</p>
Farbechtheit	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. HIT prüft diese Kenngröße.
Desinfektion der Berufsbekleidung	Textilien für Krankenhäuser, Pflegeheimen und lebensmittelverarbeitende Betriebe hat das DiTex-Projekt nicht im Fokus. Deswegen wurde das Hemd nicht speziell auf diesen Einsatz ausgelegt.
Zutaten und Logos dürfen nicht aus- und anbluten und sollen recyclingfähig sein.	<p>Auf das Polizeihemd wird i.d.R. mit Hilfe eines Klettbandes das Hoheitsemblem der Polizei aufgebracht. Vor jedem Waschvorgang wird es entfernt. Dies erfolgt ebenfalls vor dem Recycling, so dass die Materialien des Emblems beim recyceln nicht anfallen.</p> <p>Knöpfe und Nähfaden und Flausch des Klettbandes bestehen ebenfalls aus rPES und können ohne weiteren</p>

Diskussionspunkt	Kommentar
	Arbeitsschritt in das PES Recycling eingebracht werden. Der Flausch des Klettbandes besteht aus konventionellem PES, könnte aber durch rPES ersetzt werden.
Reparatur bei Kleidungsstücken	Das Design wird so schlicht wie möglich gewählt, dann sind auch mögliche Reparaturen unkompliziert. Es wird diskutiert, dass es kaum mehr Reparaturkultur gibt und das Textil eher ausgetauscht statt repariert wird.
Garnkonstruktion	Die Garnkonstruktion entspricht der eines hochwertigen Businesshemds: Feine Garne in Kette (10 tex x 2, Nm 100/2) und Schuss (15 tex, Nm 68). Es handelt sich in der Kette um Zwirn und im Schuss um Garn, dies sorgt in Kombination mit der entsprechenden Garn- bzw. Zwirndrehung, dass das Gewebe eine angenehme, weiche Haptik erhält. Um feine Garne herzustellen, sind lange Stapelfasern und hohe Garndrehung notwendig. Die spezifischen Informationen (Garndrehung, Baumwollprovenienz) sind zur Erstellung des Diskussionspapiers nicht bekannt. Es ist davon auszugehen, dass die Drehung und die Baumwollprovenienz zum Erreichen der Garnfeinheit von der Spinnerei gut gewählt wurden.
Krageneinlage	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.

Anschließend entwickelten am 17.1.2020 Weishäupl und IÖW unter Leitung von circular.fashion die Circular Produkt Konzepte in einem Circular Design Workshop. Dieser Workshop adressierte das DiTex-Poloshirt und -Polizeihemd gleichermaßen (Beschreibung vgl. Kap. 5.1.2). Materialien, für die während 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. Dabei wurden auch die Lücken in der Verfügbarkeit von leasingtauglichen und zugleich recyclingfähigen Materialien und Zutaten sowie der Bedarf für Innovation identifiziert. Um die Recyclingmöglichkeiten der Produkte konkreter zu vergleichen, wurden die kreislauffähigen Produktdesigns im Expert/innenworkshop ‚Recycling‘ im Mai 2020 mit den 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 (vgl. Abbildung 35 bis Abbildung 37 im Anhang zu diesem Bericht).

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) dienen als Basis für die Fertigung der DiTex_{Gen1} Hemden.

Die Gewebequalität sowie die Qualität der Zutaten (Knöpfe, Nähfaden, Flausch, Schriftzug) sind in beiden Ausführungen der DiTex-Polizeihemden – Langarm und Kurzarm – identisch. Beim DiTex_{Gen1} Polizeihemd lautet die Faserzusammensetzung 62 Prozent kbA Baumwolle / 38 Prozent rPES und liegt damit näher an der Ausführung des Referenz-Langarmhemds.

Die weiteren technischen Daten sind Tabelle 27 zu entnehmen.

5.3.2 Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Weishäupl zur Produktion des DiTex-Polizeihemds

Dieses Unterkapitel zeichnet die einzelnen Stationen im Produktlebenszyklus des DiTex-Polizeihemds nach. Im Gegensatz zu den Prozessen der textilen Kette (vgl. Abbildung 1) wird das DiTex-Polizeihemd in einem nahezu geschlossenen Kreislauf geführt (vgl. Abbildung 26).

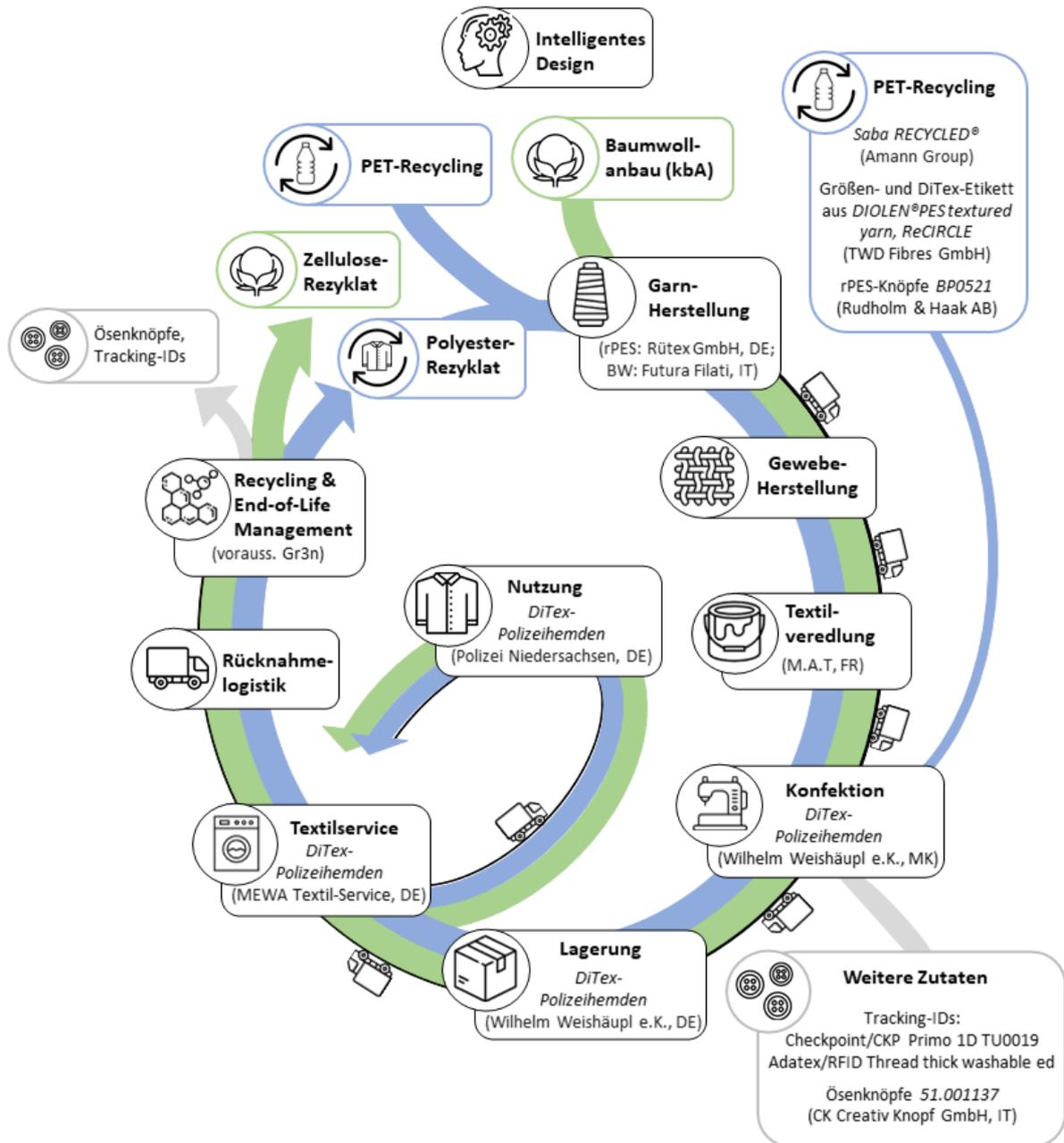


Abbildung 26: Zirkuläre Prozesse des DiTex-Polizeihemds, Firma Wilhelm Weishäupl e.K. (Eigene Darstellung, IÖW/Christina Vogel)

Die DiTex-Polizeihemden sind aus einem Mischgewebe von 62 Prozent recyceltem Polyester und 38 Prozent Baumwolle aus kontrolliert biologischem Anbau (kbA) gefertigt. Die Baumwoll-Garne werden von der italienischen Firma Futura Filati bezogen; die Polyester-Garne von der Firma Rütex GmbH. Die Textilveredlung erfolgt durch die Firma M.A.T. Die Produktionsstandorte der Firmen sind nicht bekannt. Das fertige Gewebe wird unter der Produktkennzeichnung 5478 von dem französischen Hersteller Verne et Clet SAS vertrieben. Die Firma Wilhelm Weishäupl e.K. konfektionierte die DiTex-Polizeihemden in Mazedonien. Zusätzlich zu der textilen Fläche werden dazu die weiteren textilen Zutaten (Umspinnzwirn, Etiketten) und nicht-textilen Zutaten (Metall- und Polyester-Knöpfe sowie digitale Tracking-IDs (Checkpoint/CKP Primo 1D TU0019 und Adatex/RFID Thread thick washable ed) verarbeitet.

Seit September 2021 findet ein 5-monatiger Praxistest statt. In diesem Rahmen tragen 85 Beamt/innen im Polizeiinnen- und -außendienst des Niedersächsischen Innenministeriums die DiTex-Polizeihemden zur Probe. Jede und jeder Test-Träger/in erhält eine 12-fach Ausstattung an Hemden, die sich in acht Kurzarm- und vier Langarmhemden aufteilt. Die Bereitstellung und Auslieferung der sauberen Polizeihemden sowie das Abholen, Waschen und ggf. Reparieren der getragenen Polizeihemden erfolgt durch MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG am Standort Hameln. Laut derzeitiger Planung werden 100 Textilien am Ende des Praxistests (nach ca. 30 Waschzyklen) entnommen und weitere 100 Textilien in der Wäscherei bis auf 100 Waschzyklen weitergewaschen. Diese 200 Polizeihemden durchlaufen abschließende Qualitätsprüfungen am Hohenstein Institut und der Hochschule Reutlingen. Ein Teil der Polizeihemden soll dem Recycling zugeführt werden (vgl. Kap. 2.2.3). Für das Recycling müssen die polizeilichen Hoheitszeichen, die Metallknöpfe an der Schulterklappe und die digitalen Tracking-IDs entfernt werden. Der Baumwoll-Anteil des Textils kann im Zuge des Recyclingprozesses herausgetrennt und voraussichtlich in einem separaten Prozess zu einem Cellulose-Rezyklat verarbeitet werden. Dieses Rezyklat kann potenziell z.B. als Lyocellfaser wieder als Zutat in neuen Textilien verwendet werden. Der Polyester-Anteil kann im chemischen Faser-zu-Faser-Recycling depolymerisiert und zu einem hochwertigen Rezyklat verarbeitet werden. Die Details zu dieser Prozessphase stehen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht fest. Aus dem Polyester-Rezyklat kann potenziell die nächste Generation identischer Oberbekleidung hergestellt werden. Je nach Recycling-Technologie, die für den Baumwollanteil eingesetzt werden würde, kann es sein, dass der Baumwoll-Anteil aufgrund der möglicherweise hohen, recyclingbedingten Qualitätsverluste bei der nächsten und jeder darauffolgenden Generation höchstwahrscheinlich mit Frischfaser ergänzt werden muss. Alternativ ist ein Ersatz von Baumwolle mit regeneriertem Lyocell denkbar. Mit Verwendung dieses Zellulose-Rezyklat ließe sich der Kreislauf für die gesamte textile Fläche schließen.

Wie bei dem DiTex-Poloshirt finden auch beim DiTex-Polizeihemd alle Prozessschritte der textilen Fläche in Europa statt. Das Anbauggebiet der verwendeten Baumwolle ist nicht bekannt. Baumwollanbaugebiete in Spanien und Griechenland oder die oben genannte Alternative, die Lyocell-Regeneratfaser einzusetzen, würden perspektivisch eine rein europäische Produktion von Polyester-Baumwolle- bzw. Polyester-Lyocell-Mischgeweben ermöglichen. Eine Kreislaufführung der Materialien würde den Anbau frischer Baumwolle minimieren oder sogar obsolet machen.

5.3.3 Lastenheft DiTex-Polizeihemd: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards

Tabelle 27 beinhaltet die technologischen Eckdaten des DiTex-Polizeihemds und ist als Produktdatenblatt der DiTex_{Gen1} zu verstehen.

Tabelle 27: Produktspezifikationen DiTex-Polizeihemd, Firma Wilhelm Weishäupl

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Polizeihemds
Textilhersteller	Wilhelm Weishäupl e.K.
Textile Fläche	62% Baumwolle / 38% Polyester: Qualité 5478 Verne et Clet SAS
Flächenkonstruktion	Gewebe, Körper, 20-0201-01-01, Z-Grat
Fasereinsatz	Gewebe: <ul style="list-style-type: none"> – Baumwolle, kbA (Herstellerinformationen angefragt) – Polyester, rPET (Herstellerinformationen angefragt) 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/m ²
Weitere Zutaten	Etiketten: <ul style="list-style-type: none"> – Ditex-Etikett: DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH – Größenetikett: vorraussichtlich DIOLEN®PES – textured 6.6 filament yarn ReCIRCLE TWD Fibres GmbH – Leiste und Manschette: 100% rPES: BP0521 Rudholm & Haak Aktiebolag (AB) – Metallknopf für Schulterklappe: Ösenknopf, 28“, Zink Legierung (Zamak) CK Creativ Knopf GmbH; Hersteller-Artikelnummer CK 51.001137, Farbummer 100048, gunmetal (halbrunde Form);
Corporate Identity	<ul style="list-style-type: none"> – Wilhelm Weishäupl e.K. (Datenblatt) – Emblem für Polizei wird mit Klettverschluss befestigt, d.h. fabrikseitig wird Flausch (PES) aufgebracht. Emblem mit

Eckdaten	Spezifikationen des DiTex-Polizeihemds
	Haken auf der Rückseite (Hoheitssymbol) wird vor der Wäsche abgenommen. – Aufdruck „POLIZEI“ auf Taschenklappe
Farbe	Weiß
Waschtemperatur	60°C
Umwelt- und Sozialstandards	– Textile Fläche: Standard 100 by OEKO-TEX® – Nähfäden: Standard 100 by OEKO-TEX®, Global Recycled Standard – 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

Die eingesetzten Materialien sind nach bestem technologischem Wissen in Abwägung mit den aktuell verfügbaren Rohstoffen und textilen Flächen gewählt.

Folgende Textilprüfungen wurden am HIT durchgeführt:

- Farbechtheit (nur Hypochlorit-Bleichechtheit)
- Mechanische Eigenschaften: Höchstzugkraft, Scheuerfestigkeit und Pillneigung
- Pflegeeigenschaften: Maßänderung, Selbstglättung
- Optische Abmusterung, Weißqualität
- Bekleidungsphysiologische Prüfungen.

Die nachfolgende Tabelle 28 führt die Anforderungen an die verschiedenen Prüfkriterien nach dem Hohenstein Qualitätsstandard HQS 703 im Einzelnen auf.

Tabelle 28: Anforderungen an DiTex^{Gen1} Polizeihemd hinsichtlich Leasingeignung nach HQS 703 und hinsichtlich Weißqualität nach RAL GZ-992/1

Kriterium	Prüfkriterium	Anforderung
Hypochlorit-Bleichechtheit	DIN EN 20105 – N 01	Farbtonänderung ≥ 4
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 13934 – 1 (Streifenzugversuch)	Kette ≥ 350 N, Schuss ≥ 260 N (normale Beanspruchung)
Scheuerbeständigkeit	DIN EN ISO 12947-2	≥ 15.000 Touren unzerstört, ohne deutliche Farbänderung
Pillneigung	DIN EN ISO 12945-2 nach 5 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	bis 7.000 Touren Note ≥ 3 , bis 5000 Touren $\geq 3-4$
Maßbeständigkeit	DIN EN ISO 5077 nach 5 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	PES/CO $\leq \pm 2,5\%$, CO $\leq \pm 3,0\%$
Selbstglättung	DIN EN ISO 15487	$\geq 3-4$
Tragekomfortnote	BPI Hohenstein nach 3 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	$\leq 2,5$
Optische Abmusterung	Fotodokumentation Augenmerk auf Schäden inkl. Zutaten, Verarbeitung, Aussehen, Funktion, Farbabweichungen, Griff nach 5 und 30 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	≥ 4 (geringe oder keine Veränderungen)
Weißqualität	Grundweißwert (Y ₋₄₂₀) Weißgrad (W _{-GG}) Farbtonabweichungszahl (FAZ) nach 50 Pflegezyklen DIN EN ISO 15797	Anforderungen nach RAL GZ 992/1: Y ₋₄₂₀ ≥ 87 W _{-GG} ≥ 170 FAZ: R -1,50 – G +2,49

Eine quantifizierbare Beurteilung evtl. visueller Beeinträchtigungen der DiTex-Textilien erfolgt an der HSRT im Verlauf der Praxisphase durch Spektroskopie. Durch die Spektroskopie erfassbare Kennwerte sind:

- optische Eigenschaften
- Faserverlust durch Abnahme der Dicke (morphologische Eigenschaft)
- Änderung der Materialzusammensetzung
- Oberflächenveränderung (morphologische Eigenschaft).

Voruntersuchungen wurden an den Prototypen, also den im Vorfeld des Upscale hergestellten Produktmustern des DiTex_{Gen1} Polizeihemds vorgenommen. Sie sind in Kapitel 5.3.4 dokumentiert und erläutert.

5.3.4 Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Prototypen

Ergebnisse der textiltechnologischen Prüfung am Polizeihemd-Prototyp

Im Folgenden sind die Ergebnisse der textiltechnologischen Prüfungen an den Polizeihemden in Tabellenform zusammengefasst. Direkt gegenübergestellt werden die Prüfergebnisse den Kriterien aus dem Hohenstein Qualitätsstandard 703.

Kapitel 5.1.3 enthält eine Beschreibung der verschiedenen Prüfungen bzw. Prüfbedingungen. Die Ergebnisse werden des Weiteren in Kapitel 5.7.1 zusammenfassend diskutiert.

Tabelle 29: Ergebnisse der Farbechtheitsprüfung an der Neuware, Notengebung: 5 beste Bewertungsstufe, 1 geringste Bewertungsstufe, CO: Anblutverhalten auf Baumwollgewebe, PES: Anblutverhalten auf Polyestergewebe

Prüfkriterium	Ergebnis in Noten		Anforderung HQS 703		
	Anbluten		Farbton	Anbluten	Farbton
	CO	PES			
Hypochlorit-Bleichechtheit	---	---	4-5	---	≥4

Tabelle 30: Ergebnisse der Höchstzugkraftprüfung an der Neuware und nach 10, 25 und 50 Pflegebehandlungen

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis Höchstzugkraft in Newton (trocken)		Anforderung HQS 703 (normale Beanspruchung)	
	Kette	Schuss	Kette	Schuss
0 (Neuzustand)	880	284	≥ 350	≥ 260
10	923	283	-	-
25	905	322	-	-
50	895	306	-	-

Tabelle 31: Ergebnisse der Scheuerbeständigkeitsprüfung an der Neuware

Anzahl Touren	Ergebnis	Anforderung HQS 703
6000	Zwei Fäden vollständig zerstört	Bei ≥15.000 Touren noch unzerstört ohne deutliche Farbveränderung
8000	Zwei Fäden vollständig zerstört	
12000	Zwei Fäden vollständig zerstört	
Mittelwert 6000		

Tabelle 32: Ergebnisse der Pillingprüfung nach 5 Pflegebehandlungen, Notengebung: 5 beste Bewertungsstufe, geringste Bewertungsstufe

Pillneigung bei Touren	Ergebnis in Noten	Anforderung HQS 703
(0 Touren) Oberflächenveränderung, die durch die Pflegebehandlung hervorgerufen wurde	5	-
125	5	-
500	4-5	-
1.000	3-4	-

Pillneigung bei Touren	Ergebnis in Noten	Anforderung HQS 703
2.000	2-3	-
5.000	2	≥ 3-4
7.000	2	≥ 3

Tabelle 33: Ergebnisse der Maßänderungsprüfung in Längs- und Querrichtung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis in %		Anforderung HQS 703
	längs	quer	
5	-3,0	-3,0	PES/CO ≤ ± 2,5
25	-3,0	-3,0	-
50	-3,5	-3,0	-

Tabelle 34: Ergebnisse der Selbstglättungsprüfung, Notengebung: 5 beste Bewertung, 1 schlechteste Bewertung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis in Noten	Anforderung HQS 703
3	SA 3	≥ SA 3 – 4
25	SA 3,5	-
50	SA 3,5	-

Tabelle 35: Ergebnisse der optischen Abmusterung (Konfektionierungsprüfung) nach 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen; 5-stufige Bewertungsskala: 1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = deutlich, 4 = geringe, 5 = keine Veränderung

Kriterium	Ergebnis in Noten			Anforderung HQS 703
	5 Pflege- behandlungen	25 Pflege- behandlungen	50 Pflege- behandlungen	
Verarbeitung, Veränderung aufgrund Schnittgestaltung	4-5	4-5	4-5	≥ 4
Aussehen und Funktion Zutaten	4-5	Silberne Knöpfe teilweise stumpf oder fehlen*	Silberne Knöpfe teilweise stumpf oder fehlen*	≥ 4
Aussehen und Warenbild, Farbe	4-5	4-5	4-5	≥ 4
Griff (haptisch)	4-5	4-5	4-5	≥ 4

* In der Serienfertigung für den Praxistest wurden statt der am Prototyp geprüften Knöpfe separat geprüfte, optimierte Knöpfe eingesetzt, s. auch Kap. 5.7.1. In Tabelle 27 sind die optimierten Knöpfe spezifiziert.

Tabelle 36: Ergebnisse der Weißqualitätsprüfung nach 5, 25, 50 Pflegebehandlungen

Kriterium		Ergebnis			Anforderung RAL GZ 992/1
		5	25	50	
					50
Weißqualität	Weißgrad (W-GG)	212	231	237	min. 170
	FAZ	R -1,17	R -0,79	R -0,42	R -1,50 – G +2,49
	Grundweißwert (Y-420)	90	90	90	min. 87

Tabelle 37: Ergebnisse der bekleidungsphysiologischen Untersuchungen nach drei Pflegebehandlungen

Bekleidungsphysiologie		Ergebnis	Anforderung HIT
Hautsensorik	Benetzungsindex iB [s]	13,57	iB < 270 ist besser zu beurteilen. Je kleiner, desto besser.
	Klebekraftindex iK [1/cN]	10,828	iK > 15 wird als unangenehm 'klebend' empfunden; iK 5 - 15 gut; iK < 5 auch nicht angenehm - wie 'Kitzeln'
	Oberflächenindex iO	3,284	iO < 3 'seifig'; iO 3 - 15 OK; iO > 15 'kratzig'
	Kontaktpunktzahl nK	1592	nK > 1500 hoch, alles was darunter ist, ist „in Ordnung“
	Steifigkeit s	20,2	s ≥ 90 wird als steif bezeichnet, je größer s, umso steifer und 'unangenehmer'
Thermophysio- logie	Wärmdurchgangswiderstand (Rct) [m ² K/W]	0,0127	Anforderung für „normale Wäsche“ < 0,040
	Wasserdampf-durchgangswiderstand (Ret) [m ² Pa/W]	2,5331	< 6 m ² Pa/W ist sehr gut

Tabelle 38: Ergebnisse der Fadendichtenprüfung

Anzahl Pflegebehandlungen	Ergebnis (Anzahl Fd/cm) in Kettrichtung	Ergebnis (Anzahl Fd/cm) in Schussrichtung
0 (Neuzustand)	39,3	37,9
1	39,5	37,9
3	39,6	38,6
5	39,6	38,6
25	40,3	38,8
50	40,2	39,3

Tabelle 39: Ergebnisse der Flächengewichtsprüfung an der Neuware und nach 1, 3, 5, 25 und 50 Pflegebehandlungen

Anzahl Proben	Ergebnis in g/m ² in Abhängigkeit von der Zahl der Pflegezyklen					
	0	1	3	5	25	50
1	137,84	140,72	142,93	142,19	141,32	138,58
2	137,51	140,37	142,41	141,97	141,21	138,61
3	138,51	141,34	142,10	141,82	142,17	138,23
4	138,03	141,41	142,36	141,42	142,16	138,55
5	137,84	140,30	141,64	140,95	141,82	138,71

Die Hemden der DiTex^{Gen.1} zeigen im Neuzustand bzw. nach der Pflege ausgezeichnete Eigenschaften hinsichtlich des Tragekomforts sowie der Weißqualität und Farbechtheit. Eine gute Festigkeit des Materials kann über die Prüfung der Höchstzugkraft nachgewiesen werden. Das Material zeigt deutliche Abweichungen von den Anforderungen nach HQS 703 bzgl. Scheuerbeständigkeit und Pillingverhalten. Geringfügige Abweichungen sind im Bereich der Pflegeeigenschaften zu erkennen. Bei der optischen Abmusterung zeigt sich ein insgesamt positives Resultat hinsichtlich des Aussehens und der Funktion.

Ergebnisse der spektroskopischen Qualitätsprüfung am Polizeihemd-Prototyp

Die MIR Spektren sind gut reproduzierbar und die charakteristischen Banden von Baumwolle und Polyester können deutlich zugeordnet werden (vgl. Abbildung 27 links). Die ersten und zweiten Hauptkomponenten, die 96 Prozent der spektralen Informationen erklären, zeigen keinen Trend mit den Waschzyklen (vgl. Abbildung 27 rechts).

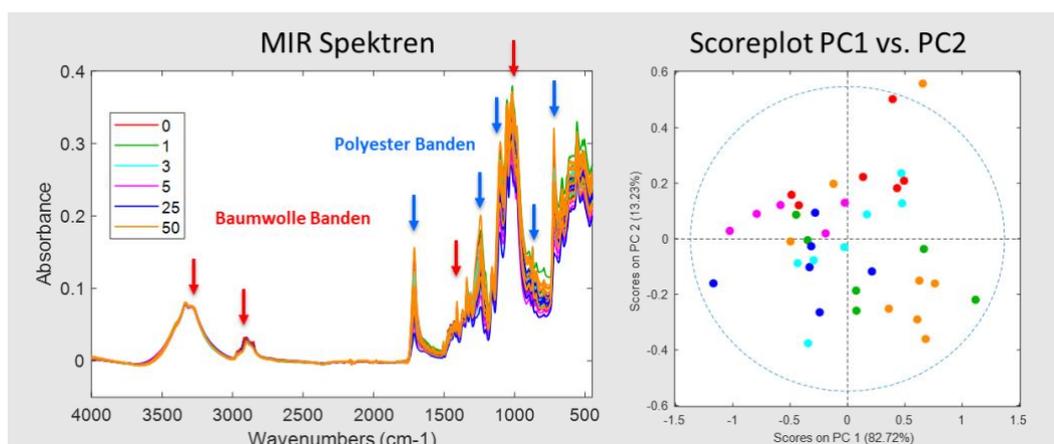


Abbildung 27: Links: MIR Spektren vom Business Hemd, mit Bandenzuordnung. Rechts: Scoreplot der ersten im Vergleich zur zweiten Hauptkomponente. Die Daten zeigen kein Trend mit den durchgeführten Waschzyklen (Eigene Darstellung, HSRT)

Die spektroskopischen Messungen zeigen, dass keine chemische Degradation der Materialien oder Änderung der Zusammensetzung der Materialkomponenten durch die

Waschzyklen stattfindet. Die chemischen Materialeigenschaften der Polizeihemden bleiben über 50 Waschzyklen stabil.

Korrelationsanalyse

Die Korrelationsmatrix der Messergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen (aus Kap. 5.3.4) für das Businesshemd ist in Abbildung 28 dargestellt. Die Höchstzugkraft längs und quer, die Maßänderung längs, Fadendichte Kette und Flächengewicht weisen eine negative Korrelation mit den Waschzyklen hin, Fadendichte Schuss eine positive und Maßänderung quer keine Korrelation.

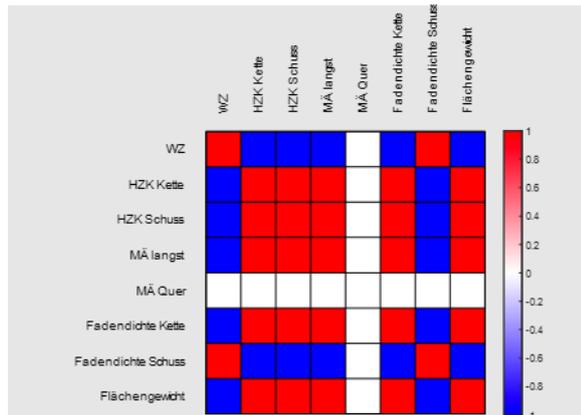


Abbildung 28: Korrelationsmatrix der Ergebnisse verschiedener textiltechnologischer Prüfungen für das Businesshemd. (Eigene Darstellung, HSRT)

Die Korrelationskoeffizienten müssen auf Signifikanz überprüft werden. Da die Varianzanalyse für die statistische Robustheit eine große Datenmenge benötigt, wird diese Analyse mit den Ergebnissen unmittelbar vor und nach der Praxisphase durchgeführt.

Auf Messungen im UV-VIS Bereich wurde verzichtet, da bei den Hemden optische Aufheller verwendet wurden. Durch die extreme Fluoreszenz der optischen Aufheller im UV-VIS Bereich werden die Reflexionswerte so stark verfälscht, dass eine Auswertung unmöglich wird.

5.3.5 Übersichtsökobilanz

Die Ermittlung der ökologischen Auswirkungen der neu entwickelten DiTex-Textilien im Vergleich zu herkömmlichen Referenztextilien erfolgt mittels sogenannter Übersichtsökobilanzen. Hierbei wird aufgezeigt, ob und in welchem Ausmaß das DiTex-Gesamtkonzept und die Nutzung der DiTex-Textilien zu einer Verbesserung der Umweltauswirkungen und zu Ressourceneinsparungen führen können. In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Methodik der Übersichtsökobilanz erklärt, dann die untersuchten Umweltwirkungskategorien aufgeführt und abschließend die bisherigen Ergebnisse für das Polizeihemd präsentiert.

5.3.6 Methodik

Die Berechnung der Übersichtsökobilanz lehnt sich an die internationalen Normen für Produktökobilanzen ISO 14040 und 14044 (ISO, 2006a, 2006b) an. Dabei werden die Umweltauswirkungen aller Input- und Outputflüsse des jeweils untersuchten Produkts entlang seines gesamten Lebensweges betrachtet inkl. aller Recycling- und Entsorgungswege (vgl. Abbildung 26).

In der Übersichtsökobilanz werden das neu entwickelte DiTex-Polizeihemd sowie ein herkömmliches Referenz-Polizeihemd untersucht und einander gegenübergestellt. Das Referenzprodukt ist eine herkömmliche Variante des Textils (vgl. Tabelle 40).

Systemgrenzen

Es werden alle Prozesse von des Produktlebenszyklus betrachtet. Dazu zählen: Rohstoffgewinnung, Textilproduktion inklusive der Produktionsschritte Spinnen, Weben/Stricken, Veredelung und Konfektionierung, sämtliche Transportprozesse zwischen den einzelnen Produktionsschritten, Nutzung des Textils inklusive Waschen und assoziierter Logistik, Transport zum Recycling-Unternehmen und Recycling einschließlich Neuproduktion der Textilien sowie die Nutzung bzw. Entsorgung aller entstehenden Reststoffe.

Der Schwerpunkt der Übersichtsökobilanz liegt auf einem Vergleich der Produktsysteme. Deshalb werden die Randbedingungen sämtlicher Lebenswegabschnitte des neu entwickelten Polizeihemds und des Referenz-Polizeihemds, die nicht von den innerhalb des Vorhabens eingeführten Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen) betroffen sind, gleichgesetzt. Dazu gehören unter anderem die Prozessschritte „Anbau bzw. Gewinnung der Rohstoffe“, „Textilproduktion“, „Transportprozesse“ usw.

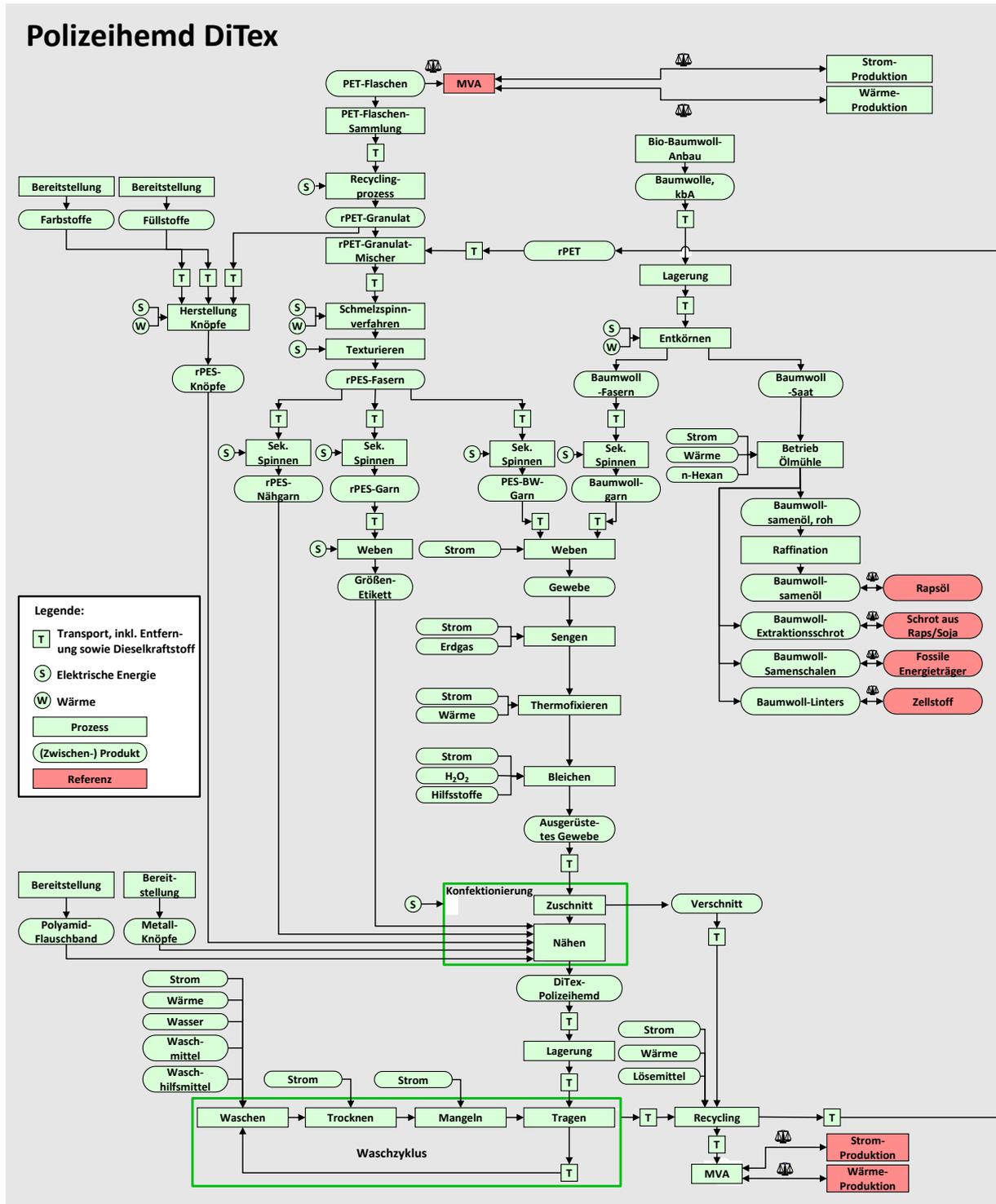


Abbildung 29: Schematische Darstellung des Lebenswegs des DiTex-Polizeihemds (Eigene Darstellung, ifeu)

Polizeihemd Referenz: Polizeihemd 31032

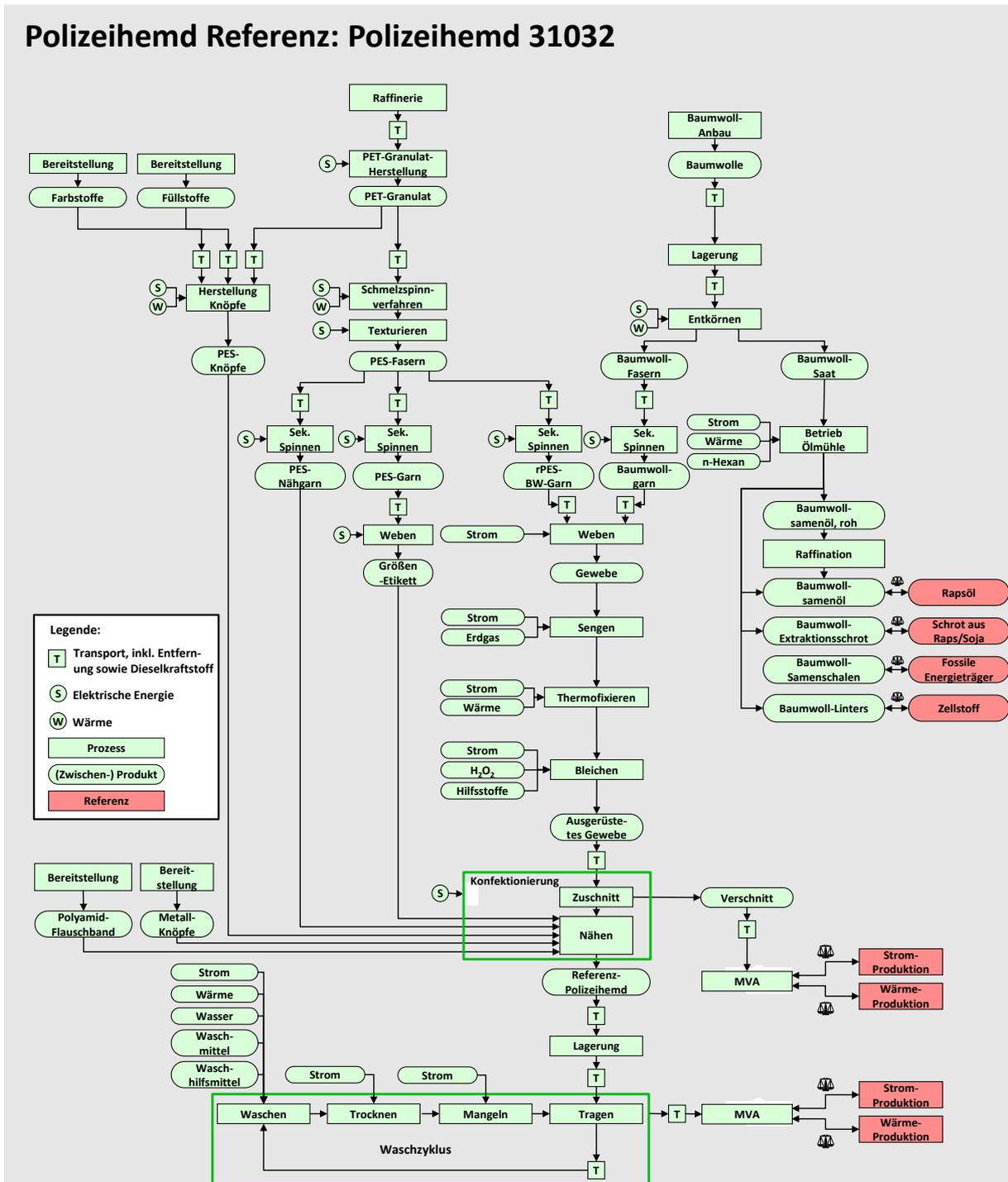


Abbildung 30: Schematische Darstellung des Lebenswegs des Referenz-Polizeihemds (Eigene Darstellung, ifeu)

Basisparameter und Festlegungen

Die im Anschluss dargestellten Ergebnisse basieren auf folgender Datengrundlage:

- Vorketten: Daten aus der internen Ökobilanz-Datenbank des ifeu sowie der Datenbank Ecoinvent (für eine Beschreibung dazu vgl. Wernet et al., 2016).
- Produktspezifische Daten wie Verschnitt beim Nähen der Textilien, Mengen der verwendeten Materialien (Garne, Knöpfe usw.) oder die Festlegung der qualitativen Prozessketten basiert auf Angaben bzw. Mitwirken der Projektpartner in ihrem jeweiligen Kompetenzbereich.
- Weitere quantitative Daten werden auf Grundlage der Expert/inneneinschätzung des ifeu angesetzt.

Einige wichtige der Übersichtsökobilanz zugrunde liegenden Basisparameter und Festlegungen sind in Tabelle 40 zusammengefasst.

Tabelle 40: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für das Polizeihemd

	Polizeihemd	
	Referenz: Polizeihemd 31032	DiTex
Material	PES / Baumwolle: 30 / 70%	rPES / kbA-Baumwolle: 38 / 62%
Flächengewicht	135 +/- 5 g/m ²	135 +/- 5 g/m ²
Produktgewicht	300 g	300 g
Verschnitt	20%	20%
Waschort	Haushaltswäsche	Wäscherei
Produkt-lebensende	50% Altkleidersammlung/ 50% Abfall **	95% Recycling, 5% Entsorgung */**
Entsorgung	100% Therm. Verwertung Verschnitt: ebenso	** 5% desrPESS: thermische Verwertung 100% der Baumwolle: thermische Verwertung Verschnitt: 100% Recycling

* Möglichst vollständiges Recyceln

** Ausgangswerte: Variation mittels Sensitivitätsanalysen

Baumwoll-Produktion: Die verarbeitete Baumwolle (sowohl aus konventionellem als auch aus kontrolliert biologischem Anbau) repräsentiert eine Mischung der Hauptproduktionsländer für Baumwolle nach Produktionsvolumen. Über dieses Verhältnis gewichtet werden die einzelnen Prozesse bilanziert und Umweltwirkungen berechnet. Dies wirkt sich nicht nur auf die Energie- und Klimagasbilanzen aus, sondern auch auf die meisten anderen Umweltwirkungskategorien wie insbesondere den Wasser-Fußabdruck und den Flächen-Fußabdruck.

PES /rPES: In dieser Untersuchung wird die in Europa typische, durchschnittliche PES-Produktion angesetzt, ebenso wie für rPES. Die Basisdaten dazu sind abgestimmt mit PlasticsEurope, dem europäischen Verband der Plastikproduzenten, gereviewt und entsprechen dem Stand der Technik.

Materialzusammensetzung: Die für die Materialzusammensetzung genutzten Parameter basieren auf Angaben des Herstellers Weishäupl bzw. des IÖW. Ausgewählte Details können Tabelle 40 entnommen werden.

Anzahl der Waschzyklen: Eines der Ziele des DiTex-Konzepts ist es, die Textilien und die verbundene Logistik so zu optimieren, dass insgesamt die Nutzungszyklen, vereinfacht ausgedrückt: die Lebensdauer, erhöht werden. Damit verbunden ist pro Textil auch eine Erhöhung der Waschzyklen, die sich ökobilanztechnisch aber relativiert, wenn der eigentliche Nutzen der Textilien betrachtet wird, denn insgesamt wird Nutzengleichheit angesetzt. Im Rahmen der Ökobilanz werden diverse Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei der die Lebensdauer (und damit die Waschzyklen pro Textil) variiert wird.

Transporte zu Recyclinganlagen: Die Transporte zu und von den Recyclinganlagen werden in der Übersichtsökobilanz berücksichtigt. Hierfür wird ein funktionierendes Logistiksystem mit adäquater Verteilung von Recyclinganlagen innerhalb Europas angesetzt, so dass diese Anlagen in angemessener Nähe zu den zukünftigen Anwendern liegen und somit die Transportentfernungen verhältnismäßig sind.

Recycling: Während des Recyclingprozesses des Polizeihemds entsteht ein systembedingter Ausschuss von Textilfasern. In Anlehnung an Recyclingsysteme für PET-Flaschen wird davon ausgegangen, dass insbesondere im Falle der PES-Fasern ein sehr hoher Recyclinganteil realisiert werden kann. Beim Recycling der Textilien entsteht zwangsläufig ein gewisser Anteil an Ausschuss. Dieser Anteil und ggf. andere Formen von Materialausschuss verlassen den Stoffkreislauf und müssen dem System nach jedem Recyclingzyklus wieder zugeführt werden. Die Höhe des Ausschusses bzw. der Recyclingrate wird im weiteren Vorhabenverlauf basierend auf Detailinformationen der Recyclingunternehmen sowie in Rücksprache mit den Verbundpartnern angesetzt und in Sensitivitätsanalysen auf ihre Auswirkung auf die Ergebnisse analysiert. Des Weiteren wird angesetzt, dass der Ausschuss entsprechend der üblichen Verwertungswege in Deutschland der thermischen Verwertung einer Müllverbrennungsanlage (MVA) zugeführt wird, wofür eine energetische Gutschrift angerechnet wird.

Produktlebensende: Die für das Produktlebensende genutzten Parameter basieren auf Angaben des IÖW (vgl. Tabelle 40). Für den Anteil an Textilien, der nach der Nutzung als Polizeihemd nicht direkt thermisch in einer MVA verwertet wird, wird eine zwischengeschaltete Sekundärnutzung (z.B. Putzlappen oder Altkleidersammlung) angesetzt. Für diese Zwischennutzung wird dem System keine zusätzliche Gutschrift angerechnet. Der Grund dafür ist, dass es aktuell und in absehbarer Zukunft ein Überangebot an Textilien auf dem Sekundärmarkt geben wird und eine separate Produktion von Sekundärtextilien aus Frischfasern für z.B. Putzlappen daher unrealistisch ist. Für die

hier betrachteten Textilien wird am Ende ihrer Sekundärnutzung somit eine energetische Gutschrift auf der Basis einer thermischen Verwertung in einer MVA angerechnet.

5.3.6.1 Betrachtete Umweltwirkungskategorien

Die im Rahmen der Übersichtsökobilanz untersuchten Umweltwirkungskategorien werden in Tabelle 41 kurz beschrieben.

Tabelle 41: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021)

Wirkungskategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Energieaufwand	MJ PE-Äq. (Primärenergie-Äquivalente)	Energieeinsatz bzw. -einsparung ist ein Indikator der Ressourcenbeanspruchung. Üblicherweise wird die nicht erneuerbare Primärenergie ausgewiesen. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern zählen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Die Primärenergie umfasst sowohl den Energieinhalt der Energieträger als auch den Aufwand für deren Bereitstellung (Förderung, Raffinerie, Transporte usw.). Im Folgenden wird diese Umweltwirkungskategorie als „Energieaufwand“ bezeichnet.
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq.	Bezeichnet die Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) werden auch Methan (CH ₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N ₂ O) sowie eine Reihe von klimarelevanten Spurengasen wie FCKW erfasst.
Versauerung	kg SO ₂ -Äq.	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch den Eintrag Säure bildender Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff. Versauerung schädigt sensible Ökosysteme wie Wälder oder Magerwiesen, aber auch Gebäude (Stichwort: „Saurer Regen“).
Wasserfußabdruck	m ³ H ₂ O-Äq.	Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der verbrauchten Wassermengen nach Wasserqualitäten und der Wasserknappheit in dem Land, in dem der jeweilige Verbrauch stattfindet, s. AWARE-Methode (Boulay et al., 2018)
Flächenfußabdruck	m ² artifizielle Fläche Äq. (aF-Äq.) · 1a	Ökosysteme mit einer geringen menschlichen Eingriffsstärke und einem hohen Maß an Selbstregulation zeigen geringere negative Wirkungen

Wirkungs-kategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
		auf das Gesamtökosystem, die Bodenfunktion und Biodiversität als Ökosysteme, deren Selbstregulation durch eine hohe Eingriffsstärke beeinträchtigt ist. Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlichen benötigten Flächen nach ihrer jeweiligen Distanz zu einem natürlichen Zustand (Details vgl. Fehrenbach et al., 2019).

5.3.6.2 Ergebnis

Basisergebnis 1: Kleinteile der Textilprodukte wie bspw. Knöpfe, Garne/Fäden oder das Kragen-Flauschband haben keinen relevanten Einfluss auf das Endergebnis der untersuchten Umweltwirkungskategorien, zumindest, wenn die Garne die gleiche Materialzusammensetzung haben wie die Textil-Stoffe oder auch die Knöpfe keine individuellen ökologischen Schwachstellen aufweisen. Damit wird deutlich, wie wichtig aus Umweltsicht die Etablierung eines nachhaltigen Konzepts bereits bei der Auswahl der Materialien sein kann.

Basisergebnis 2: Die Ergebnisse der Übersichtsökobilanz weisen eine gewisse Bandbreite auf, die von den DiTex-Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen), der Effizienz und den Aufwendungen beim Recycling und Waschen sowie der damit verbundenen Logistik aufgespannt wird und davon zum Teil deutlich abhängen. Insbesondere die quantitativen Ergebnisse für die Treibhausgasbilanz, den Energieaufwand und das Versauerungspotenzial hängen von der Effizienz bzw. den Aufwendungen bei einzelnen Prozessen wie bspw. dem Recycling oder dem Waschen ab.

Detailergebnisse:

Qualitativ lassen sich aus der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021) für das DiTex-Polizeihemd folgende Erkenntnisse ableiten:

- Bei der Treibhausgasbilanz ist beim DiTex-Polizeihemd eine leichte Tendenz zu erkennen, dass Treibhausgase gegenüber dem Referenz-Polizeihemd eingespart werden können. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Wasser- und Flächenfußabdrucks spielt die Materialzusammensetzung eine eher untergeordnete Rolle. Besonders eine verlängerte Nutzungsdauer trägt maßgeblich zur Verringerung der Treibhausgasbilanz bei, sollte sie in der Praxis realisiert werden können. Beim Recycling gilt die Tendenz nur, wenn die mit dem Prozess verknüpften Aufwendungen geringer sind als die für die Herstellung von Frischfasern.
- Beim DiTex-Polizeihemd kann analog zu den Ergebnissen der Klimagase eine leichte Tendenz in Richtung eines geringeren Energieaufwandes im Vergleich zum Referenz-Polizeihemd festgestellt werden. Es gelten hier quasi die gleichen Ausführungen wie bei den Treibhausgasen.
- Der Wasser-Fußabdruck zeigt beim DiTex-Polizeihemd eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum Referenz-Polizeihemd. Dies lässt sich vorrangig auf den verringerten Baumwollanteil zurückführen. Die Baumwollproduktion, die in

Anbauländern und -regionen mit teils signifikanter Wasserknappheit stattfindet, verbraucht - verglichen mit der Herstellung von PES - ein Vielfaches an Wasser. Aus diesem Grund spielen auch das Recycling und die verlängerte Nutzungsdauer, welche die Herstellung neuer Baumwollfasern reduzieren können, eine große Rolle für den Wasser-Fußabdruck.

- Das DiTex-Polizeihemd zeigt eine leichte Tendenz zur Verringerung des Versauerungspotenzials im Vergleich zum Referenz-Polizeihemd. Eine Vertiefung dieser Ergebnisse wird mittels zusätzlicher Sensitivitätsanalysen im weiteren Projektverlauf noch durchgeführt.
- Der Flächen-Fußabdruck verringert sich im Vergleich zum Referenz-Polizeihemd kaum. Dies hängt damit zusammen, dass der Flächenbedarf durch den Einsatz von weniger Baumwolle geringer, durch den Einsatz von Bio-Baumwolle aber spezifisch erhöht wird. Eine Vertiefung dieses Teilergebnisses wird noch im weiteren Projektverlauf durchgeführt.

In welchem Ausmaß sich die aufgeführten Resultate dieser Zwischenergebnisse weiter differenzieren lassen, wird sich in der detaillierten Ökobilanz im weiteren Projektverlauf zeigen.

5.3.7 Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung

Das Polizeihemd ist zugunsten von Langlebigkeit bei gleichzeitig hohem Tragekomfort designt und besteht aus diesem Grund aus einem Mischgewebe mit einem 62-prozentigen Baumwollanteil (Baumwolle aus kontrolliert biologischem Anbau) und zu 38 Prozent aus rezykliertem Polyester. Die Kreislauffähigkeit dieses Hemds ist gegeben, sie wurde von circular.fashion bestätigt. Zu beachten ist, dass die eingesetzte Baumwolle nicht in der folgenden DiTex_{Gen2} und keiner weiteren Textilgeneration wiederverwendet werden kann, sondern zum Recyceln die Rohstoffe sortenrein getrennt werden muss. Für die Gewebe-Produktion der DiTex_{Gen2} und jeder weiteren Polizeihemd-Generation wird es erforderlich sein, neue, frische (kbA-)Baumwolle hinzuzugeben. Das liegt darin begründet, dass aufgrund der Faserverkürzung von Baumwolle beim mechanischen Recycling ein daraus produziertes Garn nicht zu einem weiteren hochwertigen Hemdengewebe äquivalenter Qualität verarbeitet werden kann; die notwendige Reißfestigkeit wäre nicht gegeben. Aus diesem Grund ist das DiTex-Produktdesign beim Polizeihemd zugunsten der Langlebigkeit so angelegt, dass nach jedem chemischen Recyclingzyklus des Polyesters dieses Polyesterzyklat mit einer virgin-Baumwolle (kbA) zu einem neuen Garn versponnen wird.

Zur Verstärkung von Kragen, Blende und Manschetten wurde das gleiche Gewebe wie für das Hemd verwendet, es wurde nicht mit Klebstoff fixiert. Das hat den großen Vorteil, dass das Hemd sortenrein ist und keine Verfärbungen in diesem Bereich zu befürchten sind. Unbekannt zum Zeitpunkt der Erstellung des Diskussionspapiers ist das Verhalten dieser Einlagen während und nach den Waschzyklen in der Industriegewäscherei (bzw. dem gewerblichen Textilservice). Idealerweise bleiben die verstärkten Komponenten faltenfrei und die Einlagen verschieben sich nicht.

Eine für die Wäsche und auch für das Recycling positive Designlösung für die Anbringung des polizeilichen Hoheitszeichens bestand bereits. Dieses Abzeichen wird mit Klettband an das Hemd angebracht. Vor jedem Waschprozess wird das Abzeichen entfernt und beim

aufbereiteten Hemd wieder aufgebracht. Diese Abzeichen gelangen nicht in den Recyclingprozess. Das Klettband selbst besteht aus rPES.

Es wird auf der Schulterklappe ein Metallknopf aus recyceltem Metall (Zink) angebracht. Dieser muss vor dem Recyceln abgetrennt werden.

Für den Forschungsverbund von großem Interesse, aber bis Ende des Vorhabens nicht ermittelbar, sind Erkenntnisse darüber, inwieweit und in welchen Parametern sich Qualität und Lebensdauer der Polizeihemden aus DiTex^{Gen1} und DiTex^{Gen2} unterscheiden.

5.4 DiTex-Bettwäsche: Produktspezifikationen, Qualitätsstandards und Produktion

Dieses Kapitel bündelt die Produktinformationen aus dem Erarbeitungsprozess (Besonderheit partizipatives Produktdesign) (Kap. 5.4.1) zu Prozessabläufen und Logistikketten (Kap. 5.4.2) und benennt die Produktspezifikationen und Qualitätsstandards (Kap. 5.4.3) der DiTex-Bettwäsche. Kapitel 5.4.8 zieht ein zusammenfassendes Fazit zu den Auffälligkeiten der DiTex-Bettwäsche, den Implikationen für die Pilotierung und den identifizierten Wissenslücken.

5.4.1 Erarbeitungsprozess kreislauffähiges Produktdesign

Der DiTex-Vorhabensverbund befasste sich unter Federführung von circular.fashion und der HSRT mit der Erstellung des Lastenheftes, das als Basis für die Umsetzung der DiTex^{Gen1} dient.

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.

Um die Kreislauffähigkeit der Bettwäsche zu realisieren, mussten Rohstoffe und Design hinsichtlich der Rezyklierbarkeit (technisch und wirtschaftlich) beurteilt und angepasst werden. Die Besonderheit im DiTex-Vorhaben ist die Anforderung an die (wiederholte) Rezyklierbarkeit der Rohstoffe. Zeitgleich sollte der Anteil der Zutaten aus bereits rezyklierten Materialien erhöht werden. Das Produktdesign hat einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Recyclingfähigkeit. Ziel ist deshalb, bereits im Produktdesign die konkreten Recyclinganforderungen mit einfließen zu lassen und so die Textilien als zukünftigen Recycling-Feedstock zu optimieren. Dieser Ansatz ist im Bereich der B2B-Wäsche bislang noch nicht breit etabliert, weshalb das DiTex-Vorhaben einen Beitrag zur Erprobung leisten will und deshalb als Machbarkeitsstudie angelegt ist.

Die genannten Anforderungen können prinzipiell 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 und der Lyocell-Regeneratfaser refibra[®].

Im Marktdialog 1 am 09.12.2019 wurden die Produkthanforderungen und Erwartungen von Großabnehmern an hochwertige Bettwäsche diskutiert. Demnach ist der hautsensorische Komfort der Bettwäsche 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 beständigem gutem Aussehen und guter Anschmiegsamkeit.

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.

Tabelle 42 führt die auf dem Marktdialog 1 diskutierten Wünsche an die DiTex-Bettwäsche auf und kommentiert diese.

Tabelle 42: Wünsche an DiTex-Bettwäsche aus Marktdialog 1 und Kommentierung

Diskussionspunkt	Kommentar
Atmungsaktiv, anschmiegsam und glatt, wärmeisolierend	Diese Eigenschaften sind durch die Auswahl der Faserkombination rPES und Lyocell Refibra sowie der Garn- und Gewebekonstruktion gewährleistet.
Wärmeisolierung	Diese Eigenschaft wird in erster Linie durch die Bettdecke beeinflusst. Angeraute Biberbettwäsche wird hauptsächlich im Privatsektor verwendet, nicht bei leasingtauglicher Bettwäsche.
Selbstglättung, Bügelfreiheit	Da die Bettwäsche gemangelt wird, sind diese Eigenschaften nicht relevant.
Wasch- und Lichtechtheit	Werden am HIT geprüft. Es wird erwartet, dass die Werte innerhalb des Hohenstein Qualitätsstandard 705 für Bettwäsche liegen.
Abrieb – Pilling	Die Pilling Prüfwerte, die in Pakistan durchgeführt wurden, liegen innerhalb des Qualitätsstandards 705 für Bettwäsche. Damit ist das Gewebe in Bezug auf Abrieb für den Einsatz als Bettwäsche geeignet.
Schrumpf	Die Schrumpfwerte, die in Pakistan ermittelt wurden, liegen in der Kettrichtung leicht über und in Schussrichtung innerhalb des Qualitätsstandards 705 für Bettwäsche. Damit ist das Gewebe in Bezug auf Abrieb für den Einsatz als Bettwäsche geeignet.
Reißfestigkeit und Scheuerbeständigkeit	Die Höchstzugkraft in Kette und Schuss sowie die Scheuerbeständigkeit, die in Pakistan ermittelt wurden, liegen in der innerhalb des Qualitätsstandards 705 für

Diskussionspunkt	Kommentar
	Bettwäsche. Damit ist das Gewebe in Bezug auf Abrieb für den Einsatz als Bettwäsche geeignet.
Langlebigkeit, Waschzyklen	Gewünscht sind 200 Waschzyklen bei der Faserkombination 50% rPES / 50% LyocellRefibra. Es muss verifiziert werden, ob dies erreicht werden kann. Je höher der Baumwollanteil, desto mehr sinkt die Langlebigkeit. In der Praxis werden ca. 33 Wäschen / Jahr durchgeführt.
Garnkonstruktion	Um ein Problem beim Mangeln zu minimieren wurde zur Garnherstellung das Airjet Spinnen verwendet. Die Garne haben eine Feinheit von 20 tex, Nm 50 in Kette und Schuss.

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. Dabei 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 (WornAgain 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.

5.4.2 Darstellung Prozessabläufe und Logistikketten bei Dibella zur Produktion der DiTex-Bettwäsche

Dieses Unterkapitel zeichnet die einzelnen Stationen im Produktlebenszyklus der DiTex-Bettwäsche nach. Im Gegensatz zu den Prozessen der textilen Kette (vgl. Abbildung 1 oben) wird die DiTex-Bettwäsche in einem nahezu geschlossenen Kreislauf geführt (vgl. Abbildung 31).

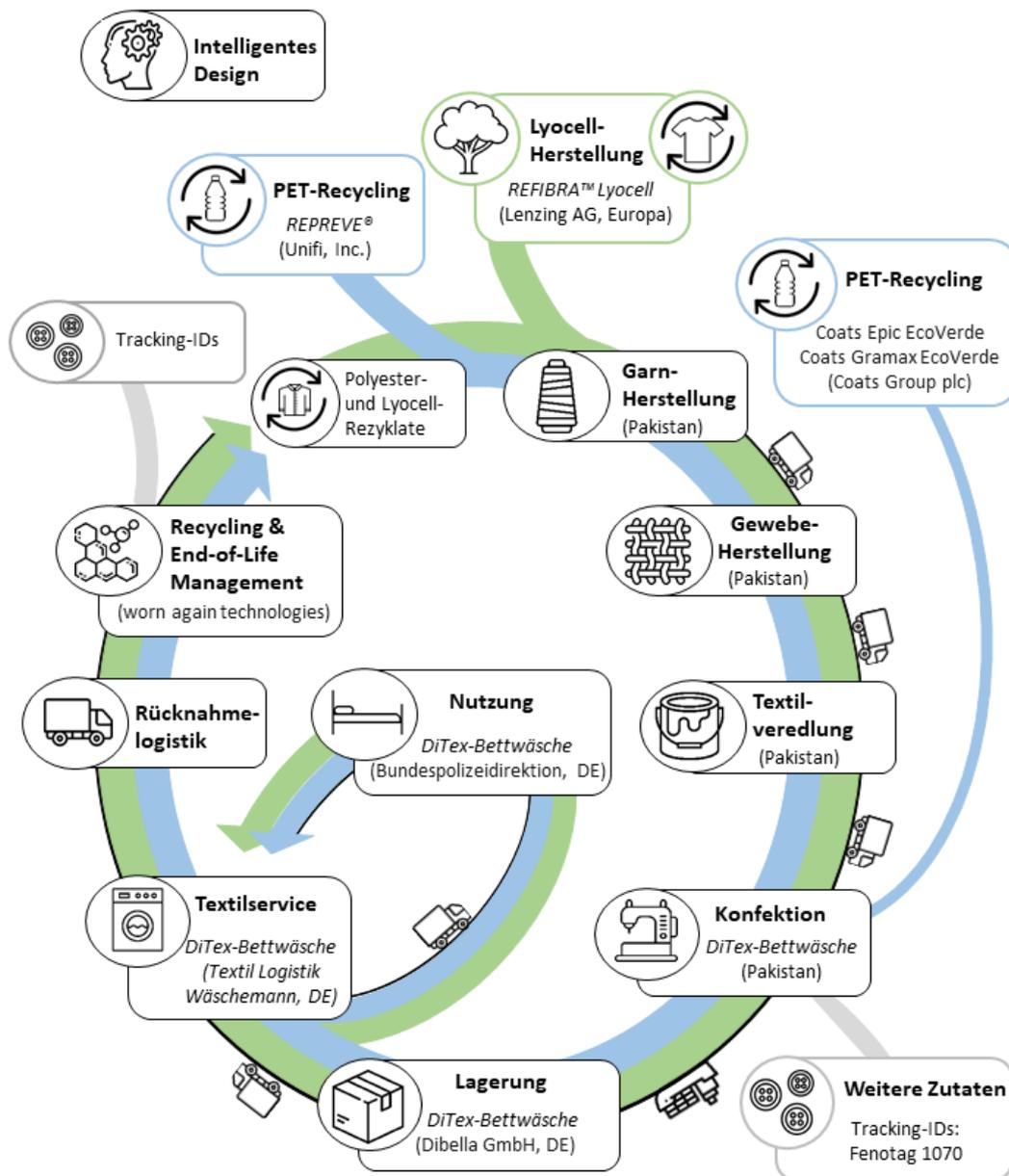


Abbildung 31: Zirkuläre Prozesse der DiTex-Bettwäsche, Firma Dibella GmbH (Eigene Darstellung, IÖW/Christina Vogel)

Die DiTex-Bettwäsche der Firma Dibella GmbH ist aus einem Mischgewebe von 50 Prozent recyceltem Polyester und 50 Prozent Lyocell gefertigt. Das Polyester-Rohmaterial *REPREVE®* von Unifi, Inc. wird aus PET-Flaschen hergestellt. Die *REFIBRA™ Lyocell-Faser* von der Lenzing AG wird aus Baumwollzuschnittresten („pre-consumer waste“) und Holzzellulose aus nachhaltiger Forstwirtschaft generiert. Alle Prozessschritte der Textilherstellung von der Garnherstellung bis zur Konfektion der fertigen Bettwäsche erfolgen an verschiedenen Standorten in Pakistan.

Im Anschluss an die Verschiffung der Ware nach Deutschland startete am 22. Juni 2021 der ca. 7-monatige Praxistest. Währenddessen wird die Bettwäsche in mindestens zwei Unterkünften der Bundespolizeidirektion in München genutzt. Es stehen 540 Bettdecken-Bezüge und 550 Kopfkissenbezüge zur Verfügung. Die Bereitstellung und Auslieferung der sauberen Bettwäsche sowie das Abholen, Waschen und ggf. Reparieren der genutzten Wäsche erfolgt durch die Wäscherei Wäschemann Pöschl. Dieser Praxistest wird mit

Qualitätsprüfungen begleitet und wissenschaftlich evaluiert: Er soll – ergänzend zu den in Kapitel 5.4.4 dokumentierten Vorprüfungen – weitere Hinweise darauf liefern, inwieweit das Textildesign der Bettwäsche den Nutzer/innenanforderungen hinsichtlich Qualität, Funktionalität und Komfort entspricht.

Laut derzeitiger Planung werden 100 Textilien am Ende des Praxistests (nach ca. 30 Waschzyklen) entnommen und weitere 100 Textilien in der Wäscherei bis auf 100 Waschzyklen weitergewaschen. Diese 200 Bezüge durchlaufen abschließende Qualitätsprüfungen am Hohenstein Institut und der Hochschule Reutlingen. Für den Großteil der DiTex-Bettwäschegarnituren 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.

Die DiTex-Bettwäsche 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-Bettwäsche kann nach Entfernung der digitalen Tracking-IDs direkt dem Recycling zugeführt werden.

Im Gegensatz zu der DiTex-Oberbekleidung wurde die Bettwäsche 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 Bettwäsche „Lyocell rPES“ kann mit den Zertifizierungen Grüner Knopf und Made in Green by OEKO-TEX® die Einhaltung sozial-ökologischer Standards bei der Produktion nachweisen.

5.4.3 Lastenheft DiTex-Bettwäsche: Produktspezifikationen und Qualitätsstandards

Tabelle 43 beschreibt die technologischen Eckdaten der Bettwäsche und ist als Produktdatenblatt der DiTex-Bettwäsche der Generation 1 (DiTex_{Gen1}) zu verstehen.

Tabelle 43: Produktspezifikationen der DiTex-Bettwäsche „Lyocell rPES“, Firma Dibella

Eckdaten	Spezifikationen der DiTex-Bettwäsche
Textilhersteller	Dibella GmbH
Textile Fläche	50% Lyocell / 50% Polyester
Flächenkonstruktion	Gewebe, Satinbindung
Fasereinsatz	Gewebe: Lyocell, regeneriert: REFIBRA™ Lyocell RB Lenzing AG Polyester, rPET: REPREEVE®, Unifi, Inc. Nähgarn: Polyester-Nähgarn, rPET: Coats Epic EcoVerde

Eckdaten	Spezifikationen der DiTex-Bettwäsche
	Polyester-Nähgarn, rPET: Coats Gramax EcoVerde Coats Group plc
Garnkonstruktion	Airjetgarn Nm 50 - Ne 30 – 20 tex in Kette und Schuss
Gewicht	145g/m ²
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 Bettwäschegewebe; 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.

5.4.4 Ergebnisse der Qualitätsprüfungen an den Bettwäsche-Prototypen

Die Bettwäsche wurde in Pakistan im herstellenden Unternehmen mit dem Dynawash-Gerät gewaschen, einem Gerät, das mehrfache genormte Haushaltswäschen in Vorbereitung für Textilprüfungen simuliert. Aufgrund der Ergebnisse der in Folge durchgeführten Prüfungen (Schrumpf, Pilling, Scheuerbeständigkeit, Höchstzugkraft in Kette und Schuss) – aufgelistet in Tabelle 44 – kommt das geprüfte Gewebe für die Bettwäsche DiTex_{Gen1} zum Einsatz.

Tabelle 44: Ergebnisse der Dynawash-Prüfungen an der Bettwäsche DiTex_{Gen1} durch Dibella

Kriterium	Bettwäsche DiTex _{Gen1} ohne Mangeln					
Schrumpf	Kette 3,3% Schuss 2,75%					
Pilling	nach 7000 Umdrehungen					
	Waschzyklen	0	5	25	50	100
	Note	4	4	4	3,5	3,5
Scheuer- beständig- keit	Scheuern bis Lochbildung					
	Waschzyklen	0	5	25	50	100
	Umdrehungen	10000	25500	20500	20000	13000
Die Steigerung der Beständigkeit ist in der Verdichtung von Kette und Schuss nach dem ersten Waschvorgang begründet.						
Höchst- zugkraft	Höchstzugkraft Kette					
	Waschzyklen	0	5	25	50	100
	Newton	810	810	800	790	810
	Höchstzugkraft Schuss					
	Waschzyklen	0	5	25	50	100
	Newton	470	485	460	465	510

Die eingesetzten Materialien sind nach bestem technologischem Wissen in Abwägung mit aktuell verfügbarer und bereits bewährter textiler Fläche und Zutaten gewählt.

Die Qualitätsprüfungen bei HSRT und HIT erfolgten im Sommer 2021 an der Neuware (Bettwäsche DiTex_{Gen1}) und gingen nicht mehr in diesen Forschungsbericht ein.

Die Methodik der spektroskopischen Untersuchungen an der HSRT ist in den Kapiteln 5.1.3 und 5.1.4 beschrieben.

Basis der am HIT im unmittelbaren Anschluss an den Praxistest vorgesehenen Prüfungen wird der Anforderungskatalog zum Einkauf von leasinggeeigneten Textilien, Hohenstein Qualitätsstandard 705, Bettwäsche sein. Ergänzend erfolgt eine optische Abmusterung zur Erfassung und Dokumentation eventueller Beschädigungen. Neben einer Akzeptanzbeurteilung durch die eigentlichen Nutzer/innen dient diese Begutachtung als zweite Grundlage, um das Aussehen des Textils zu bewerten.

5.4.5 Übersichtsökobilanz

Die Ermittlung der ökologischen Auswirkungen der neu entwickelten DiTex-Textilien im Vergleich zu herkömmlichen Referenztextilien erfolgt mittels sogenannter Übersichtsökobilanzen. Hierbei wird aufgezeigt, ob und in welchem Ausmaß das DiTex-Gesamtkonzept und die Nutzung der DiTex-Textilien zu einer Verbesserung der Umweltauswirkungen und zu Ressourceneinsparungen führen können. In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Methodik der Übersichtsökobilanz erklärt, dann die untersuchten Umweltwirkungskategorien aufgeführt und abschließend die bisherigen Ergebnisse für die Bettwäsche präsentiert.

5.4.6 Methodik

Die Berechnung der Übersichtsökobilanz lehnt sich an die internationalen Normen für Produktökobilanzen ISO 14040 und 14044 (ISO, 2006a, 2006b) an. Dabei werden die Umweltauswirkungen aller Input- und Outputflüsse des jeweils untersuchten Produkts entlang seines gesamten Lebensweges betrachtet inkl. aller Recycling- und Entsorgungswege (vgl. Abbildung 32 und Abbildung 33).

In der Übersichtsökobilanz werden die neu entwickelte DiTex-Bettwäsche sowie eine herkömmliche Referenz-Bettwäsche untersucht und einander gegenübergestellt. Das Referenzprodukt ist eine herkömmliche Variante des Textils (vgl. Tabelle 45).

5.4.7 Systemgrenzen

Es werden alle Prozesse des Produktlebenszyklus betrachtet. Dazu zählen: Rohstoffgewinnung, Textilproduktion inklusive der Produktionsschritte Spinnen, Weben/Stricken, Veredelung und Konfektionierung, sämtliche Transportprozesse zwischen den einzelnen Produktionsschritten, Nutzung des Textils inklusive Waschen und assoziierter Logistik, Transport zum Recycling-Unternehmen und Recycling einschließlich Neuproduktion der Textilien sowie die Nutzung bzw. Entsorgung aller entstehenden Reststoffe.

Der Schwerpunkt der Übersichtsökobilanz liegt auf einem Vergleich der Produktsysteme. Deshalb werden die Randbedingungen sämtlicher Lebenswegabschnitte der neu entwickelten Bettwäsche und der Referenz-Bettwäsche, die nicht von den innerhalb des Vorhabens eingeführten Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen) betroffen sind, gleichgesetzt. Dazu gehören unter anderem die Prozessschritte „Anbau bzw. Gewinnung der Rohstoffe“, „Textilproduktion“, „Transportprozesse“ usw.

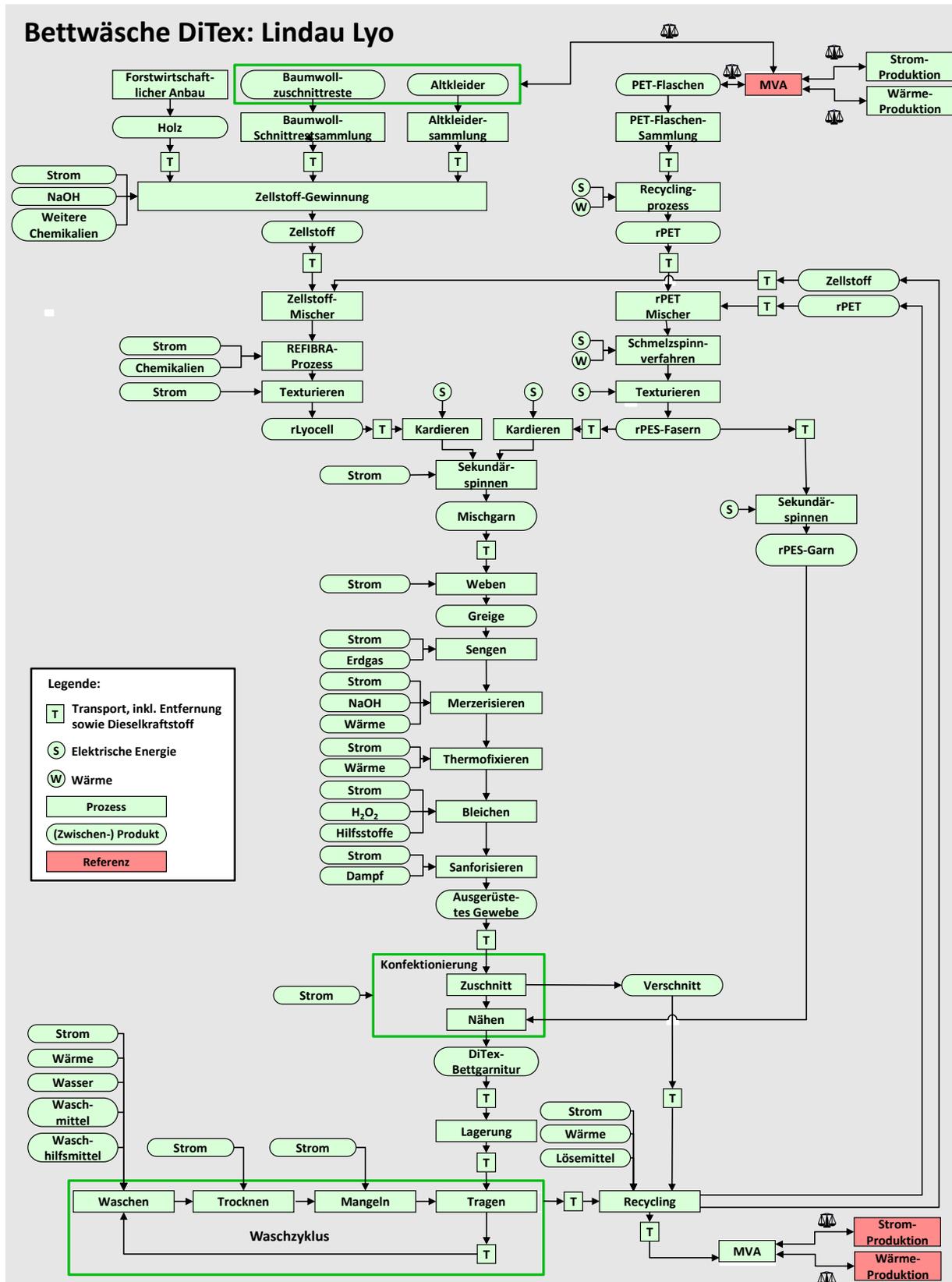


Abbildung 32: Schematische Darstellung des Lebenswegs der DiTex-Bettwäsche (Eigene Darstellung, ifeu)

Bettwäsche Referenz: Lindau Light

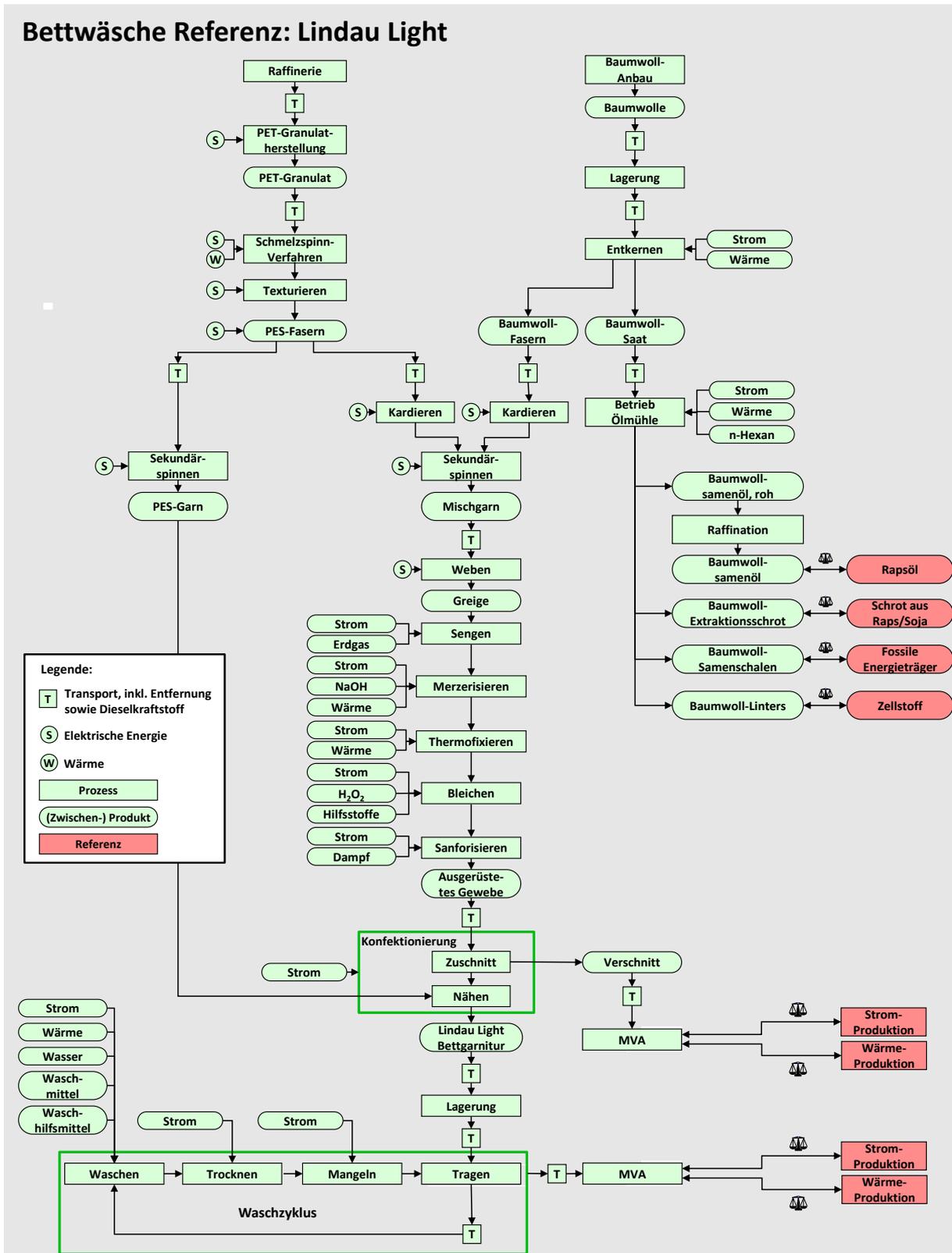


Abbildung 33: Schematische Darstellung des Lebenswegs der Referenz-Bettwäsche (Eigene Darstellung, ifeu)

Basisparameter und Festlegungen

Die im Anschluss dargestellten Ergebnisse basieren auf folgender Datengrundlage:

- Vorketten: Daten aus der internen Ökobilanz-Datenbank des ifeu sowie der Datenbank Ecoinvent (für eine Beschreibung dazu vgl. Wernet et al., 2016).
- Produktspezifische Daten wie Verschnitt beim Nähen der Textilien, Mengen der verwendeten Materialien oder die Festlegung der qualitativen Prozessketten basiert auf Angaben bzw. Mitwirken der Projektpartner in ihrem jeweiligen Kompetenzbereich.
- Weitere quantitative Daten werden auf Grundlage der Expert/inneneinschätzung des ifeu angesetzt.

Einige wichtige der Übersichtsökobilanz zugrunde liegenden Basisparameter und Festlegungen sind in Tabelle 45 zusammengefasst.

Tabelle 45: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für die Bettwäsche

	Bettwäsche	
	Referenz: Lindau Light	DiTex
Hersteller	Dibella	
Material	PES / Baumwolle: 50 / 50%	rPES / rec-Lyocell: 50 / 50%
Flächengewicht	145g/m ²	145g/m ²
Produktgewicht	940g	940g
Verschnitt	5%	5%
Waschort	Wäscherei	Wäscherei
Produktlebensende	Downcycling Putzlappen und/oder thermische Verwertung (Anteil unbekannt)	95% Recycling, 5% Entsorgung */**
Entsorgung	100% Thermische Verwertung (ohne Gutschrift Zwischennutzen, da genügend Alternativen am Markt sind)	** 5% des PES und 5% des Lyocell: Thermische Verwertung

* Möglichst vollständiges Recyceln durch Worn Again Technologies vorgesehen

** Ausgangswerte: Variation mittels Sensitivitätsanalysen

Baumwoll-Produktion: Die verarbeitete Baumwolle repräsentiert eine Mischung der Hauptproduktionsländer für Baumwolle nach Produktionsvolumen. Über dieses Verhältnis gewichtet werden die einzelnen Prozesse bilanziert und Umweltwirkungen berechnet. Dies wirkt sich nicht nur auf die Energie- und Klimagasbilanzen aus, sondern auch auf die meisten anderen Umweltwirkungskategorien wie insbesondere den Wasser-Fußabdruck und den Flächen-Fußabdruck.

PES / rPES: In dieser Untersuchung wird die in Europa typische, durchschnittliche PES-Produktion angesetzt, ebenso wie für rPES. Die Basisdaten dazu sind abgestimmt mit PlasticsEurope, dem europäischen Verband der Plastikproduzenten, gereviewt und entsprechen dem Stand der Technik.

rec-Lyocell: In dieser Untersuchung werden Basisdaten für die Lyocell-Produktion angesetzt, wie sie von der Fa. Lenzing übermittelt wurden. Sie stellen den Stand der Realität der letzten Jahre dar und beinhalten noch keine zukünftigen Weiterentwicklungen wie bspw. eventuell mögliche Effizienzsteigerungen. Sie wurden vom ifeu auf Plausibilität überprüft und um solche Daten ergänzt, die nicht zur Verfügung gestellt werden konnten. Über Sensitivitätsanalysen werden verschiedene Szenarien abgebildet, um das Entwicklungspotenzial der Lyocell-Produktion zu berücksichtigen.

Materialzusammensetzung: Die für die Materialzusammensetzung genutzten Parameter basieren auf Angaben des Herstellers Dibella bzw. des IÖW. Ausgewählte Details können Tabelle 45: Ausgewählte Basisparameter und Festlegungen der Übersichtsökobilanz für die Bettwäsche entnommen werden.

Anzahl der Waschzyklen: Eines der Ziele des Ditex-Konzepts ist es, die Textilien und die verbundene Logistik so zu optimieren, dass insgesamt die Nutzungszyklen, vereinfacht ausgedrückt: die Lebensdauer, erhöht werden. Damit verbunden ist pro Textil auch eine Erhöhung der Waschzyklen, die sich ökobilanztechnisch aber relativiert, wenn der eigentliche Nutzen der Textilien betrachtet wird, denn insgesamt wird Nutzengleichheit angesetzt. Im Rahmen der Ökobilanz werden diverse Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei der die Lebensdauer (und damit die Waschzyklen pro Textil) variiert wird.

Transporte zu Recyclinganlagen: Die Transporte zu und von den Recyclinganlagen werden in der Übersichtsökobilanz berücksichtigt. Hierfür wird ein funktionierendes Logistiksystem mit adäquater Verteilung von Recyclinganlagen innerhalb Europas angesetzt, so dass diese Anlagen in angemessener Nähe zu den zukünftigen Anwendern liegen und somit die Transportentfernungen verhältnismäßig sind.

Recycling: Während des Recyclingprozesses der Bettwäsche entsteht ein systembedingter Ausschuss von Textilfasern. In Anlehnung an Recyclingsysteme für PET-Flaschen wird davon ausgegangen, dass insbesondere im Falle der PES-Fasern ein sehr hoher Recyclinganteil realisiert werden kann. Beim Recycling der Textilien entsteht zwangsläufig ein gewisser Anteil an Ausschuss. Dieser Anteil und andere Formen von Materialausschuss verlassen den Stoffkreislauf und müssen dem System nach jedem Recyclingzyklus wieder zugeführt werden. Die Höhe des Ausschusses bzw. der Recyclingrate wird im weiteren Vorhabenverlauf basierend auf Detailinformationen der Recyclingunternehmen sowie in Rücksprache mit den Verbundpartnern angesetzt und in Sensitivitätsanalysen auf ihre Auswirkung auf die Ergebnisse analysiert. Des Weiteren wird angesetzt, dass der Ausschuss entsprechend der üblichen Verwertungswege in Deutschland der thermischen Verwertung einer Müllverbrennungsanlage (MVA) zugeführt wird, wofür eine energetische Gutschrift angerechnet wird.

Produktlebensende: Die für das Produktlebensende genutzten Parameter basieren auf Angaben des IÖW (vgl. Tabelle 45). Für den Anteil an Textilien, der nach der Nutzung als Bettwäsche nicht direkt thermisch in einer MVA verwertet wird, wird eine zwischengeschaltete Sekundärnutzung (z.B. Putzlappen oder Altkleidersammlung) angesetzt. Für diese Zwischennutzung wird dem System keine zusätzliche Gutschrift angerechnet. Der Grund dafür ist, dass es aktuell und in absehbarer Zukunft ein Überangebot an Textilien auf dem Sekundärmarkt geben wird und eine separate Produktion von Sekundärtextilien aus Frischfasern für z.B. Putzlappen daher unrealistisch ist. Für die hier betrachteten Textilien wird am Ende ihrer Sekundärnutzung somit eine energetische Gutschrift auf der Basis einer thermischen Verwertung in einer MVA angerechnet.

5.4.7.1 Betrachtete Umweltwirkungskategorien

Die im Rahmen der Übersichtsökobilanz untersuchten Umweltwirkungskategorien werden in Tabelle 46 kurz beschrieben.

Tabelle 46: Betrachtete Umweltwirkungskategorien bei der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021)

Wirkungskategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Energieaufwand	MJ PE-Äq. (Primärenergie-Äquivalente)	Energieeinsatz bzw. -einsparung ist ein Indikator der Ressourcenbeanspruchung. Üblicherweise wird die nicht erneuerbare Primärenergie ausgewiesen. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern zählen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Die Primärenergie umfasst sowohl den Energieinhalt der Energieträger als auch den Aufwand für deren Bereitstellung (Förderung, Raffinerie, Transporte usw.). Im Folgenden wird diese Umweltwirkungskategorie als „Energieaufwand“ bezeichnet.
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq.	Bezeichnet die Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) werden auch Methan (CH ₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N ₂ O) sowie eine Reihe von klimarelevanten Spurengasen wie FCKW erfasst.
Versauerung	kg SO ₂ -Äq.	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch den Eintrag Säure bildender Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff. Versauerung schädigt sensible Ökosysteme wie Wälder oder Magerwiesen, aber auch Gebäude (Stichwort: „Saurer Regen“).
Wasserfußabdruck	m ³ H ₂ O-Äq.	Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der verbrauchten Wassermengen nach Wasserqualitäten

Wirkungs-kategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
		und der Wasserknappheit in dem Land, in dem der jeweilige Verbrauch stattfindet, s. AWARE-Methode (Boulay et al., 2018).
Flächen-Fußabdruck	m ² artifizielle Fläche Äq. (aF-Äq.) · 1a	Ökosysteme, mit einer geringen menschlichen Eingriffsstärke und einem hohen Maß an Selbstregulation, zeigen geringere negative Wirkungen auf das Gesamtökosystem, die Bodenfunktion und Biodiversität als Ökosysteme, deren Selbstregulation durch eine hohe Eingriffsstärke beeinträchtigt ist. Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlichen benötigten Flächen nach ihrer jeweiligen Distanz zu einem natürlichen Zustand (Details vgl. Fehrenbach et al., 2019).

5.4.7.2 Ergebnis

Basisergebnis 1: Kleinteile der Textilprodukte wie insbesondere Nähgarn haben keinen relevanten Einfluss auf das Endergebnis der untersuchten Umweltwirkungskategorien, zumindest, wenn die Garne die gleiche Materialzusammensetzung haben wie die Textil-Stoffe. Damit wird deutlich, wie wichtig aus Umweltsicht die Etablierung eines nachhaltigen Konzepts bereits bei der Auswahl der Materialien sein kann.

Basisergebnis 2: Die Ergebnisse der Übersichtsökobilanz weisen eine gewisse Bandbreite auf, die von den DiTex-Maßnahmen (Veränderung der Faserzusammensetzung, Steigerung des Rezyklatanteils, erhöhte Anzahl an Waschzyklen), der Effizienz und den Aufwendungen beim Recycling und Waschen sowie der damit verbundenen Logistik aufgespannt wird und davon zum Teil deutlich abhängen. Insbesondere die quantitativen Ergebnisse für die Treibhausgasbilanz, den Energieaufwand und das Versauerungspotenzial hängen von der Effizienz bzw. den Aufwendungen bei einzelnen Prozessen wie bspw. dem Recycling oder dem Waschen ab.

Detailergebnisse:

Qualitativ lassen sich aus der Übersichtsökobilanz (Stand Mai 2021) für die DiTex-Bettwäsche folgende Erkenntnisse ableiten:

- Bei der Treibhausgasbilanz ist bei der DiTex-Bettwäsche eine Tendenz zu erkennen, dass Treibhausgase gegenüber der Referenz-Bettwäsche eingespart werden können. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Wasser- und Flächenfußabdrucks spielt die Materialzusammensetzung eine eher untergeordnete Rolle. Besonders eine verlängerte Nutzungsdauer trägt maßgeblich zur Verringerung der Treibhausgasbilanz bei, sollte sie in der Praxis realisiert werden können. Beim Recycling gilt die Tendenz nur, wenn die mit dem Prozess verknüpften Aufwendungen geringer sind als die für die Herstellung von Frischfasern.
- Bei der DiTex-Bettwäsche kann analog zu den Ergebnissen der Klimagase eine Tendenz in Richtung eines geringeren Energieaufwandes im Vergleich zur Referenz-

Bettwäsche festgestellt werden. Es gelten hier die gleichen Ausführungen wie bei den Treibhausgasen.

- Der Wasser-Fußabdruck zeigt bei der DiTex-Bettwäsche eine signifikante Verbesserung im Vergleich zur Referenz-Bettwäsche. Dies lässt sich vorrangig auf die Substitution von Baumwolle durch rec-Lyocell zurückführen. Die Baumwollproduktion verbraucht verglichen mit der Herstellung von Lyocell mehr Wasser. Hinzu kommt, dass Baumwolle, anders als bei der Zellstoffproduktion für Lyocell, zum Teil in Anbauländern und -regionen mit teils signifikanter Wasserknappheit angebaut wird, so dass der knappheitsbewertete Wasserfußabdruck (vgl. Tabelle 46) deutlich höher ausfällt. Aus diesem Grund spielen auch das Recycling und die verlängerte Nutzungsdauer, welche die Herstellung neuer Baumwollfasern reduzieren können, eine große Rolle für den Wasser-Fußabdruck.
- Bei der DiTex-Bettwäsche kann eine leichte Verbesserung des Versauerungspotenzials im Vergleich zur Referenz-Bettwäsche erreicht werden. Eine Vertiefung dieser Ergebnisse wird mittels zusätzlicher Sensitivitätsanalysen im weiteren Projektverlauf noch durchgeführt.
- Der Flächen-Fußabdruck verringert sich signifikant im Vergleich zur Referenz-Bettwäsche. Dies hängt in erster Linie mit der Substitution von Baumwolle durch das weniger flächenintensive Lyocell zusammen.

In welchem Ausmaß sich die aufgeführten Resultate dieser Zwischenergebnisse weiter differenzieren lassen, wird sich in der detaillierten Ökobilanz im weiteren Projektverlauf zeigen.

5.4.7.3 Fazit zu Übersichtsökobilanzen

Die in der Übersichtsökobilanz generierten Zwischenergebnisse deuten auf ein großes Potenzial des DiTex-Gesamtkonzepts zur deutlichen Einsparung von Ressourcen und zur Verringerung der nachteiligen Umweltauswirkungen durch Textilien hin.

Es konnte bereits eine signifikante Verbesserung beim Wasser- sowie beim Flächen-Fußabdruck der Textilprodukte gezeigt werden. Maßgeblich entscheidend ist der geringere Einsatz bzw. die Substitution von Baumwolle durch rPES respektive Lyocell. Diesen Sachverhalt beeinflusst maßgeblich der wasser- und flächenintensive landwirtschaftliche Anbau der Baumwolle. Insbesondere beim DiTex-Polizeihemd, welches einen Baumwoll-Anteil aufweist, ist eine weitere Minimierung des Baumwolleinsatzes zu prüfen. Darüber hinaus konnten ebenfalls bei den anderen Umweltwirkungskategorien Treibhauseffekt, Energieaufwand und Versauerung tendenziell Einsparungen durch die berücksichtigten Aktivitäten festgestellt werden. Ob diese Tendenzen bestätigt werden können und wie umfangreich potenzielle Einsparungen wirklich sein werden, hängt von der tatsächlichen Umsetzung der Einzelelemente des DiTex-Gesamtkonzepts ab, die in der zweiten Projekthälfte real erprobt werden. Dazu gehören insbesondere:

- Größtmögliche Minimierung des Baumwolleinsatzes als Primärmaterial.
- Maximale Erhöhung der Lebensdauer (Anzahl der Waschzyklen der Textilien).
- Optimierte Prozessführung (Minimierung der Aufwendungen) in der Wäscherei.

- Minimierung des Materialausschusses während des Produktionsprozesses bspw. durch Reduzierung der anfallenden Schnittreste in der Konfektionierung.
- Sicherstellen, dass die Aufwendungen des Recyclings inkl. Logistik geringer sind als die Aufwendungen zur Herstellung der Primärmaterialien.
- Möglichst geringer Materialausschuss während des Recyclingprozesses.

Des Weiteren gibt es Anzeichen, dass besonders die Kombination aller innerhalb des Vorhabens durchgeführten Maßnahmen (Einsatz nachhaltigerer Materialien, längere Lebensdauer, Recycling) zur Verbesserung aller Umweltwirkungen und zu Ressourceneinsparungen führen kann. Ob eventuell auch nur eine Teilkombination zu ähnlichen Effekten führen kann, muss im weiteren Vorhabenverlauf noch untersucht werden. In jedem Fall müssen die Maßnahmen jeweils optimal auf das betrachtete Textil und die verwendeten Materialien abgestimmt werden. Einige der genannten Schlussfolgerungen gelten nicht nur für die innerhalb des DiTex-Vorhabens betrachteten Produktgruppen, sondern potenziell auch für zukünftige Textilanwendungen, wenn vergleichbare Randbedingungen, wie bspw. die Substitution von Baumwolle bzw. Reduktion von Baumwollanteilen, vorliegen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind also übertragbar.

Fazit

Zusammenfassend kann durch die durchgeführte Übersichtsökobilanz gezeigt werden, dass die im Vorhaben konzipierten und angewandten Produktdesigns aus Umweltschutz- und Nachhaltigkeitssicht Vorteile gegenüber gängigen Referenzprodukten aufweisen können. Zudem gelten die bisher gewonnenen Erkenntnisse nicht ausschließlich für die drei betrachteten Textillinien, sondern können teilweise auf andere Textilien übertragen werden.

Ausblick

In der verbleibenden Laufzeit des Verbundvorhabens wird die in diesem Bericht dargestellte Übersichtsökobilanz durch Einbezug zusätzlicher Detailinformationen und angepasster Basisparameter weiterentwickelt. Hierzu gehören vorrangig:

- Die quantitative Nachführung der Vorketten durch spezifischere Abbildung einzelner Prozessschritte.
- Die Ergänzung der Ökobilanz um weitere Umweltwirkungskategorien wie Ozonabbau und Eutrophierung.
- Der Einbau modifizierbarer Szenarien.
- Ergänzende Sensitivitätsanalysen, vor allem in den Bereichen Wäscherei inkl. dem Einsatz von Waschmitteln und Waschhilfsstoffen, Recycling und Lyocell-Produktion.
- Die Berücksichtigung von Potenzialen zukünftiger projektspezifischer Weiterentwicklungen einzelner Technologien und Energiebereitstellungsszenarien auf regenerativer Basis.
- Analysen, um die Übertragbarkeit der erhaltenen Erkenntnisse bzgl. der Umweltauswirkungen auf andere Textilien oder Textilgruppen zu untermauern bzw. entsprechende Grenzen aufzuzeigen.

Bei den Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Energieaufwand und Versauerung wird sich innerhalb der zweiten Hälfte des Vorhabens durch eine höhere Detailtiefe der Bilanzierung

sowie Sensitivitätsanalysen zeigen, ob sich die bereits in dieser Übersichtsökobilanz gezeigten Tendenzen bestätigen und wie umfangreich die dementsprechenden Einsparungen sind.

5.4.8 Zwischenfazit mit Implikationen für Praxistest, Recycling und Folgeforschung

Um ein langlebiges Produkt zu entwerfen, das auch kreislauffähig ist und um gleichzeitig die Umweltbelastung während des Waschens so gering wie möglich zu halten, ist es erforderlich Polyester zu verarbeiten. Diese Schlussfolgerung stützt sich auf verschiedene Überlegungen und Prüfungen, die im Folgenden dargestellt werden.

Die Bettwäsche DiTex^{Gen1} besteht aus einem Mischgewebe 50 Prozent rPES / 50 Prozent Lyocell REFIBRA[®]. Polyester kann sowohl mechanisch als auch chemisch recycelt werden. Beim mechanischen Recycling von Polyester wird es geschmolzen, welches jedoch keine Entfernung der Farbstoffe usw. ermöglicht und teils Verfärbungen durch Hitze hervorruft.

Für das chemische Recycling gibt es verschiedene Verfahren über die Depolymerisation als auch Dissolution. Worn Again Technologies verwendet den Dissolutionsprozess, bei dem Färbestoffe usw. im Prozess entfernt werden und das Endergebnis farblos ist. Das bei dem britischen Recycler Worn Again Technologies 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.

Das innovative Produktdesign der DiTex-Bettwäsche erzielt ein kreislauffähiges und leasingtaugliches Produkt. Die für die Leasingtauglichkeit und ökonomische Eignung für den Textilservice zentrale Anforderung der Scheuerbeständigkeit wurde im partizipativen Produktdesignprozess gelöst: Der Referenzartikel Philadelphia aus Lyocell/Baumwolle-Mischgewebe (mit 60 Prozent Lyocell-Anteil) hat nur eine Scheuerbeständigkeit (Widerstandsfähigkeit) von 4.000 Umdrehungen. Dieses Ergebnis wurde als niedrig bewertet, denn sonstige, auch aus 100 Prozent Baumwolle bestehende Bettwäsche-Artikel halten bei Scheuerbeständigkeitsprüfung mindestens 12.000 Umdrehungen stand. Offen ist, ob ggf. Lyocell eine niedrigere Lebensdauer hat oder die Kombination der Fasermischung aus Baumwolle und Lyocell nicht die richtige Wahl ist. Das HIT schlägt vor, zur Erreichung der geforderten Scheuerbeständigkeit die Option, ein Mischgewebe aus Polyester, Lyocell und Baumwolle weiterhin mitzudenken – auch wenn daraus eventuelle Nachteile im Recyclingprozess entstehen.

Durch die Änderung der Materialzusammensetzung im Vergleich zum Referenzartikel (Philadelphia: 60 Prozent Lyocell / 40 Prozent Baumwolle; DiTex^{Gen1}: 50 Prozent rPES / 50 Prozent REFIBRA[®]-Lyocellfaser) erhöhen sich durch den Polyesteranteil Festigkeit und Scheuerbeständigkeit und damit die Strapazierfähigkeit des Gewebes. Die ersten Laborergebnisse bei Dibella selbst zeigten, dass die Scheuerbeständigkeit auf das gleiche Level gebracht wurde, wie bei den sonstigen Referenzartikeln (Erhöhung von 4.000 auf 20.000 Umdrehungen). Eine verlängerte technische Lebensdauer ist ausgehend davon anzunehmen. Die beschriebenen Dynawash-Prüfergebnisse erlauben die Verwendung dieses Mischgewebes. Dennoch wird im weiteren Verlauf des DiTex-Vorhabens darauf geachtet und untersucht, ob eventuelle Qualitätsänderungen während der Nutzung ggf. in Zusammenhang mit der veränderten Gewebzusammensetzung stehen.

Durch den partizipativen Prozess ist es auch gelungen, ein bisher bestehendes Problem bei der Wiederaufbereitung von Lyocell-Polyester-Geweben und der Qualität des Referenzartikels zu lösen: Frühere Tests beim Hersteller Dibella zeigten, dass Bettwäsche aus Lyocell-Polyester-Mischgewebe zu glatt waren, um problemlos über die Mangel zu laufen. Im Herstellungsprozess wurde ein Luftdüsen-Spinnverfahren eingesetzt, welches ein Garn mit einer rauen Struktur produziert. Es wird erwartet, dass die Ware aufgrund dieser raueren Struktur auf der Mangel liegen bleibt und sich stapeln lässt. Ein Verrutschen der Textilien gegeneinander verursacht in der Praxis der Textilreinigung Effizienzeinbußen. In den ersten Waschttests zeigte es sich, dass dieses Problem behoben werden konnte.

Es befindet sich kein Hotelverschluss an der Bettwäsche. So entstehen keine Mehrfachlagen, die üblicherweise den Trocknungsprozess verlangsamen und das Mangeln erschweren; derartige Probleme werden also bereits durch das Produktdesign vermieden.

Im Nachgang zum DiTex-Vorhaben will sich Dibella auf die Logistik konzentrieren und ein System aufbauen, mit Hilfe dessen die Altware von der Wäscherei zurückgenommen werden kann, diese je nach Gewebezusammensetzung zu sortieren und dem Recycler zur Verfügung zu stellen. Die Kosten, die hierbei entstehen, werden sich später direkt in dem recycelten Rohstoff widerspiegeln. Deswegen ist es von größter Bedeutung, dass dieser Prozess so effizient wie möglich ist. Eine oder zehn Paletten in der Abholung bedeuten schnell eine Halbierung der Kosten (heruntergebrochen auf einen Preis pro Kilogramm). Die Wäschereien haben erfahrungsgemäß nicht viel Stellfläche für die Zwischenlagerung der Altware. Optimal wäre ein Container-System auf dem Wäschereigelände, in die die Alt-Textilien hineingeworfen und automatisch komprimiert werden. Dibella will Spezialisten für die Sammlung von Alttextilien kontaktieren, wie SOEX, Wittmann aber auch das ENTeR under fibersort-Projekt der Interreg. Erste Nachfragen der Dibella deuten auf eventuelle Probleme bei der automatischen Aussortierung von Großteilen wie Bettlaken und Bettbezüge hin. Dies wird weiter zu verfolgen sein.

Der Forschungsverbund strebt an, am Vorhabensende zu ermitteln, inwieweit und in welchen Parametern die Qualität und Lebensdauer der Bettwäsche aus DiTex_{Gen1} sich von der in DiTex_{Gen2} unterscheidet. Das beinhaltet auch die Frage nach der Faserqualität der Refibra[®]-Faser, wenn diese nach einem chemischen Faser-zu-Faser-Recycling ein weiteres Mal zu einer Zelluloseregeneratfaser verarbeitet werden könnte.

5.5 Digitales Tracking im DiTex-Praxistest

5.5.1 Funktionstest Tracking-IDs

Im Rahmen der im Kapitel 5 beschriebenen Untersuchungen wurden ergänzend zu den DiTex-Textilien auch potentielle Tracking IDs auf ihre Waschbeständigkeit getestet. Die Waschbeständigkeit stellt einen essentiellen Erfolgsfaktor für den Einsatz im Anwendungsbereich der Leasingwäsche dar, um insbesondere die recyclingrelevante Materialerkennung bis zum Ende der Nutzungsdauer zu gewährleisten.

Der externe Dienstleister circular.fashion wählte 20 digitale Tracking-IDs aus. Sie wurden teils von der Firma Weishäupl und teils vom Hohenstein Institut in die Prototypen von DiTex-Poloshirt und -Polizeihemd integriert. Sie wurden in den Textilien mitgewaschen und getrocknet und jeweils bei Anlieferung (Pflegebehandlung „0“) sowie nach 1, 10, 20, 30, 40 und 50 Wäschen ausgelesen. Der Abstand zwischen Auslesegerät und Textil bzw. Tracking-

ID betrug bei den UHF-Transpondern 150 cm und wurde nach Bedarf verringert, sofern mit diesem Abstand kein Signal mehr auszulesen war. Die Bewertung der der Auslesefunktionalität der getesteten Tracking-IDs ist in Tabelle 47 aufgeführt. Bei Tracking-ID mit NFC- und HF-Technologie oder QR-Code wurde nur in direkter Nähe ausgelesen.

Tabelle 47: Übersicht der eingesetzten RFID-Tags sowie Bewertung der Auslesefunktionalität nach definierter Anzahl Pflegebehandlungen (0, 1, 10, 20, 30, 40, 50)

Marke	ID-Typ	Technologie	Auffälligkeiten nach dem Waschen und Trocknen
HD	Slimflex Tag UHF H3 Laundry V2 white	UHF	Keine
HD	Lintag 200 Stitch UHF Monza M5	UHF	Keine
HD	Lintag 200 Embed UHF	UHF	Keine
Checkpoint	CKP Primo 1D TU0019, CKP Primo1D TU0029	UHF	CKP Primo 1D TU0019: Teilweise keine Auffälligkeiten bis vereinzelte Verschlechterungen der Auslesereichweite ab 30. Pflegebehandlung. CKP Primo 1D TU0029: Nach 10. Pflegebehandlung ausgemustert.
Ustec	P30-SI (Sew in)	UHF	Nach 1. Pflegebehandlung Auslesereichweite wird geringer.
Ustec	P30-LL (Logo Label)	UHF	keine
Avery Dennison	Durable Denim	UHF	Nach 40. Pflegebehandlung Auslesereichweite wird geringer. Nach 50. Pflegebehandlung ausgemustert.
MdT	Linotag	UHF	keine
Adatex	RFID Thread thick washable ed.	UHF	Nach 10. Pflegebehandlung Auslesereichweite wird leicht geringer. Ab 20 Pflegebehandlung keine Auffälligkeiten.

Marke	ID-Typ	Technologie	Auffälligkeiten nach dem Waschen und Trocknen
DataMars	LaundryChip 401	UHF	Keine
Adatex	RFID Thread thin size	UHF	Nach 10. Pflegebehandlung ausgemustert.
Adatex	RFID Thread middle size	UHF	Nach 20. Pflegebehandlung Auslesereichweite wird geringer. Nach 40. Pflegebehandlung ausgemustert.
Ustec	P50-SI (Sew in)	UHF	Keine
Ustec	P50-LL (Logo Label)	UHF	Keine
Smartrac	Circus Dura Wet Inlay	NFC	Nach 20. bis 30. Pflegebehandlung ausgemustert.
HID	Logi Button Tag 162	HF/NFC	Keine
Invengo	BluTAG HF Tag	HF	Keine
EElabels	Textile Label QR Code (rPES)	QR	Keine
Nilorn	Textile Label QR Code (BW)	QR	Stark verknittert, Auslesen dadurch sehr zeitaufwendig.

5.5.2 Auswahl Tracking-IDs für den DiTex-Praxistest

Nach Abschluss der Pflegebehandlungen wurden auf Basis der Auslesetestergebnisse diejenigen Tracking-IDs zur Nutzung im Praxistest ausgewählt, welche die erforderliche Beständigkeit aufwiesen, in den entsprechenden Mengen verfügbar waren und zugleich eine innovative Kombination aus verschiedenen ID Typen darstellten, davon 2 RFID Fäden. Die RFID-Fäden Checkpoint/CKP Primo 1D TU0019 sowie Adatex/RFID Thread thick washable ed werden im Praxistest des DiTex-Polizeihemds eingesetzt. Das DiTex-Polohemd wurde mit dem HID/Logi Button Tag 162 ausgestattet. Er wird für das DiTex-Polohemd eingesetzt, weil die Wäscherei (Eben-Ezer), die diesen Praxistest begleitet, nach ISO 15963 Tags ausliest. Die DiTex-Bettwäsche ist mit dem Coin (münzenförmigen Tag) der Firma fenoTEX-1070 der Firma Fenotag / Frankreich bestückt, den die begleitende Wäscherei (Pöschl) bereits nutzt. Dieses Fabrikat war daher auch nicht Teil der Funktionsprüfung.

5.6 Untersuchung der Umwelt-, Sozial- und Nachhaltigkeitskennzeichnung (Label) für Textilien

Um den negativen Auswirkungen der Textilindustrie auf Mensch und Natur entgegen zu wirken, muss die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Textilien nachhaltiger gestaltet werden. Kreislauffähige und leasingtaugliche Textilien, wie sie im Rahmen von DiTex entwickelt und erprobt werden, stellen einen Lösungsansatz dar. Weil das Vorhaben im Schwerpunkt darauf fokussiert, kreislauffähige und leasingtaugliche Textilien zu erproben, adressiert DiTex nicht alle sozial-ökologischen Herausforderungen entlang der textilen Wertschöpfungskette und betrachtet Arbeitsbedingungen und Umwelteffekte während der Produktion mit nachgeordneter Priorität. Doch zum Design möglichst nachhaltiger Textilien gehört essenziell auch die Berücksichtigung sozial-ökologischer Auswirkungen der Textilien im Gesamtsystem. Vor diesem Hintergrund erfolgt in DiTex die Nachhaltigkeitsbewertung der pilotierten Textilien per Abgleich mit den Anforderungen ausgewählter Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards als sogenannter Labelvergleich. Dieser wird als Evaluationsbasis für die Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Textilien herangezogen.

Das Ziel des Labelvergleichs war es, zusätzliche Anhaltspunkte zur Nachhaltigkeit der DiTex-Textilien zu generieren. Die sorgfältige und übersichtliche Gegenüberstellung der produktbezogenen Informationen pro DiTex-Textil mit den Labelanforderungen erlaubte es, die Konformität pro Einzelanforderung darzustellen sowie Lücken und Verbesserungspotenzial zu identifizieren. Die Bewertung bildet damit eine Ist-Beschreibung der DiTex-Textilien zum Stand Sommer 2021 ab. Sie verfolgt nicht das Ziel, vollständige Konformität mit den einzelnen Standards zu erzeugen. Vielmehr soll der Labelvergleich und die darauf aufbauende Bewertung der DiTex-Textilien einen Überblick über den bisherigen Erfüllungsgrad der einzelnen Nachhaltigkeitsaspekte schaffen und für die Verbesserungspotenziale sensibilisieren.

Die Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis des Labelvergleichs wurde bewusst bereits während der Phase des Produktdesigns durchgeführt. 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. Die Unternehmen sind durch den Austausch hinsichtlich der Nachhaltigkeitseffekte ihrer Zutaten und der Vorteile anerkannter Nachweise sensibilisiert worden. Damit hat DiTex die Wissensbasis geschaffen, um ggf. im weiteren Vorhabenverlauf oder auch mittelfristig ihre Zutat(en) entsprechend der Labelanforderungen zu optimieren. Vor dem Hintergrund der Veröffentlichung des Leitfadens der Bundesregierung für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung (Textil-LF) im Januar 2021 ist diese Diskussion besonders aktuell und wichtig für die Unternehmen. Der Textil-LF formuliert soziale und ökologische Anforderungen für die öffentliche Auftragsvergabe für Bekleidungstextilien, Wäsche, Bettwaren und Bettwäsche zur Verwendung in den obersten Bundesbehörden. Bundesländer und Kommunen können sich bei der Erstellung ihrer Ausschreibungsunterlagen am Textil-LF orientieren. Perspektivisch ist davon auszugehen, dass die Textilhersteller im Vorteil sind, die nachweisen können, dass ihre Produkte die sozial-ökologischen Anforderungen des Textil-LF erfüllen. Darüber hinaus liefert die Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Textilien auf Basis eines Labelvergleichs den

Unternehmen im Vorhabensverbund und dem restlichen Projektteam Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der DiTex-Textilien.

5.6.1 Allgemeines Vorgehen und Analysemethodik

Das methodische Vorgehen bei der Erstellung der Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis des Labelvergleichs gliederte sich in zwei Phasen, zunächst den Labelvergleich und anschließend die Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Textilien basierend auf den Ergebnissen des Labelvergleichs. Im Rahmen des Labelvergleichs wurde eine Übersicht über die sozial-ökologischen Anforderungen der verschiedenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards erstellt und daraus ein einheitlicher Anforderungskatalog generiert. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung wurden die DiTex-Textilien – basierend auf dem o.g. Anforderungskatalog – bzgl. der Erfüllung sozial-ökologischer Aspekte entlang ihres Lebenszyklus analysiert.

Als Grundlage für den Labelvergleich wurden fünf anerkannte Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards, die im Projektkontext von DiTex passend erschienen, ausgewählt:

- Die oben erwähnte Publikation der Bundesregierung „Leitfaden für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung“ (BMZ 2020) definiert soziale und ökologische Anforderungen im Zuge der öffentlichen Auftragsvergabe für Bekleidungstextilien, Wäsche, Bettwaren und Bettwäsche zur verpflichtenden Anwendung in den obersten Bundesbehörden und allen nachgeordneten Behörden. Textile Anwendungen bei Großverbrauchern im B2B-Sektor, wie sie im Rahmen von DiTex erprobt werden, fallen in den Geltungsbereich des Leitfadens.
- Das EU-Umweltzeichen für Textilerzeugnisse (Europäische Kommission, 2014, 2017) ist als offizielles Umweltzeichen der Europäischen Union europaweit verbreitet. Es kennzeichnet Textilien, die eine nachweislich hohe Umweltverträglichkeit gewährleisten und für die Nutzenden eine vergleichsweise geringe Gesundheitsbelastung darstellen.
- Made in Green by OEKO-TEX® Edition 02.2020 (OEKO-TEX Service GmbH, 2020a) ist ein häufig verwendetes Label, das den Standard 100 by OEKO-TEX® (OEKO-TEX Service GmbH, 2020b) mit der Sustainable Textile and Leather Production (STeP) Zertifizierung by OEKO-TEX® (OEKO-TEX Service GmbH, 2020c) kombiniert. Der Standard 100 ist eine der am weitesten verbreiteten Produktzertifizierungen und auch Made in Green® als übergeordnete Zertifizierung wird immer häufiger verwendet. Dieser international anerkannte Standard setzt insbesondere bei den Anforderungen an die Produktion anspruchsvolle Ziele.
- Der Grüne Knopf Version 1.0 (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2020) umfasst soziale und umweltbezogene Aspekte und stellt verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen an die Unternehmensführung in Textilunternehmen. Als staatliches Siegel des Bundes liefert der Grüne Knopf offizielle Referenzwerte für die deutsche Textilwirtschaft, die auch das Anwendungsgebiet von DiTex ist.
- Die EU Green Public Procurement Criteria (GPP-Kriterien) for textile Products and Services (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2020) vom 06.06.2017 (GPP-Kriterien) empfehlen Vergabekriterien für europaweite Ausschreibungen der öffentlichen Hand. Sie ermöglichen eine Einordnung der

DiTex-Textilien in den internationalen Kontext der B2B-Textilwirtschaft. Zudem stellen die GPP-Kriterien Anforderungen an die Nutzungsphase und das End-of-life Management der Textilien – beides zentrale Aspekte im DiTex-Projekt.

Die jeweiligen Labelanforderungen wurden in einer Tabelle zusammengefasst. Die Tabelle strukturierte sich anhand der Phasen der Wertschöpfungskette von Textilien (Rohfaser, Produktion und Endprodukt¹⁸) und diversen Anforderungskategorien (z.B. Arbeitsbedingungen oder Stoffverbote und -beschränkungen). Diese Struktur erlaubte eine übersichtliche Darstellung der Labelanforderungen und erleichterte den Vergleich.

Da sich die Anforderungen an Oberbekleidung und Bettwaren zum Teil unterscheiden, wurden zwei getrennte Tabellen mit den jeweils relevanten Anforderungen erstellt. Generell wurden nur die Labelanforderungen in die Tabellen übertragen, die auf die DiTex-Textilien zutreffen. So wurden Anforderungen an in den DiTex-Textilien nicht vorkommende Fasern und Produktionsschritte absichtlich nicht aus den Vergabegrundlagen übernommen, um einen spezifischen Zuschnitt auf die in DiTex gewählte Faserzusammensetzung und Materialkomposition zu generieren. In der Konsequenz wurden in der Übersichtstabelle der Bettwaren nur Anforderungen an die Rohfasern Lyocell und Polyester berücksichtigt, und die Übersichtstabelle für die Oberbekleidung beinhaltet Baumwoll- und Polyesterfasern.

Die Erarbeitung des Labelvergleichs erfolgte primär im IÖW. Die Kompetenzen anderer Verbundpartner wurden punktuell bei Bedarf hinzugezogen. Insbesondere erfolgte der Vergleich der Stoffverbote und -beschränkungen im Hohenstein Institut für Textilinnovation GmbH.

Anschließend wurde der Labelvergleich genutzt, um die DiTex-Textilien anhand der Anforderungskataloge bzgl. ihres Erfüllungs- oder auch Konformitätsgrades hinsichtlich ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten zu bewerten. Diese Nachhaltigkeitsbewertung erfolgte auf Grundlage der verfügbaren Informationen zu der Faserauswahl, z.B. recycelter Polyester und weiteren Angaben, wie Design for Recycling. Außerdem wurden – basierend auf den Produktdatenblättern und den Zertifizierungen der Firmen Dibella GmbH und Wilhelm Weishäupl e.K. – Annahmen darüber getroffen, welche Labelanforderungen die Textilien erfüllen:

- Bettwäsche: Made in Green by OEKO-TEX ©
Grüner Knopf
EU Umweltzeichen
- Poloshirt: Standard 100 by OEKO-TEX ©
- Polizeihemd: Standard 100 by OEKO-TEX ©

Die Nachhaltigkeitsbewertung, d.h. die Konformität der DiTex-Textilien mit den Anforderungen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards, wurde mithilfe einer Ampeldarstellung (grüne, gelbe, rote und graue Einfärbung) veranschaulicht. Eine genauere Beschreibung der Ampeldarstellung erfolgt in Kapitel 5.6.3.

¹⁸ Eine noch detailliertere Aufschlüsselung nach Produktionsschritten wurde verworfen, da der Detaillierungsgrad der verschiedenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards diesbezüglich stark variierte.

5.6.2 Analyseergebnisse aus dem Labelvergleich

Die Ergebnistabelle des Labelvergleichs ist mit ca. 75 Zeilen und 9 Spalten umfangreich. Die Tabellenangaben sind durch weitere Anhänge ergänzt, z.B. Restricted Substances Lists. Die Kategorien und Titel der Anforderungen können Tabelle 48 für die Rohfasern,

Tabelle 49 für die Produktion und Tabelle 50 für das Endprodukt entnommen werden.

Tabelle 48: 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
Künstliche Zellulosefaser: 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 49: DiTex-Anforderungskatalog an die Produktion; Basis: Labelvergleich

Kategorie der Anforderung	Bezeichnung der Anforderung
Arbeitsbedingungen	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 50: 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

Der Labelvergleich zeigte formal-strukturell sehr unterschiedlichen Strukturen, Fokuse und Inhalte der Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards. Die Anforderungen unterscheiden sich hinsichtlich der betrachteten Phasen der Wertschöpfungskette, der Anzahl der Anforderungen pro Kategorie, der „Strenge“ der Anforderungen und der verwendeten Bezugsgrößen bzw. Einheiten. Inhaltlich ist hervorzuheben, dass die Stoffverbote und -beschränkungen die Produktion und das Endprodukt betreffend unterschiedlich umfangreich sind und sich teilweise auf verschiedene Grenzwerte oder sogar verschiedene Stoffe beziehen. Ein Vergleich der Labelanforderungen war an dieser Stelle deshalb selbst für die Expert/innen im Hohenstein Institut schwierig und zum Teil nicht abschließend möglich. Diese Unterschiede erhöhten die Komplexität des Labelvergleichs. Ein zusammenfassender Labelvergleich wird so den Details und den Unterschieden der Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards nicht immer gerecht. Der C2C-Standard unterschied sich so stark von den anderen Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards, dass er separat betrachtet wurde (vgl. Kap. 5.6.4).

5.6.3 Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Textilien

Auf Grundlage des Labelvergleichs und den verfügbaren Informationen zu den DiTex-Textilien wurde die Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Bettwäsche (vgl. Tabelle 51), des DiTex-Poloshirts (vgl. Tabelle 52) und des DiTex-Polizeihemds (vgl. Tabelle 53) vorgenommen. 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). Es hat sich gezeigt, dass alle Anforderungen, die abschließend bewertet werden konnten, von den DiTex-Textilien erfüllt werden.

Tabelle 51: Nachhaltigkeitsbewertung der DiTex-Bettwäsche, Firma Dibella GmbH (Eigene Darstellung, IÖW)

		Textil-LF	EU-Umweltzeichen	Made in Green	Grüner Knopf	EU GPP
Roh-faser	Naturfaser: 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.)	-	-	-	-	✓

Tabelle 52: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Poloshirts, Firma Wilhelm Weishäupl (Eigene Darstellung, IÖW)

		Textil-LF	EU-Umweltzeichen	Made in Green	Grüner Knopf	EU GPP
Rf	Synthetikfaser: Polyester	✓	✓	-	✓	✓
Produktion	Arbeitsbedingungen	?	?	?	?	-
	Analyse & Management	?	-	?	?	?
	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	?	?	?

	Energie	-	?	?	-	-
	(Ab-)Wasser und Abluft	?	?	?	?	-
	Abfall	-	-	?	-	-
Endprodukt	Stoffverbote und -begrenzungen	?	?	a	?	?
	Beständigkeit	-	?	a	-	?
	Instandhaltung	-	-	-	-	?
	Waschen	-	-	-	-	?
	Design for Recycling	✓	-	-	-	✓
	Rücknahme (End-of-Life-Management)	-	-	-	-	✓

Tabelle 53: Nachhaltigkeitsbewertung des DiTex-Polizeihemds, Firma Wilhelm Weishäupl (Eigene Darstellung, IÖW)

		Textil-LF	EU-Umwelt-	Made in	Grüner Knopf	EU GPP
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)	-	-	-	-	✓

Beim Vergleich der Ampeldarstellungen ist zu erkennen, dass die Beurteilung der Bettwäsche weniger Fragezeichen aufweist als die der Oberbekleidung. Dies ist dadurch begründet, dass die Dibella GmbH als Hersteller der Bettwäsche für ihr Sortiment Zertifizierungen mit drei der Vergleichsstandards (EU-Umweltzeichen, Made in Green by OEKO-TEX® und Grüner Knopf) vorweisen kann. Für die Oberbekleidung liegt hingegen nur die Zertifizierung mit dem Standard 100 by OEKO-TEX® vor. Diese Verteilung ist zufällig und durch die Auswahl der betrachteten Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards nicht bewusst beeinflusst worden. Zudem muss erwähnt werden, dass es sich bei der Bewertung der DiTex-Textilien um eine Momentaufnahme basierend auf den mit Stand Sommer 2021 verfügbaren Informationen handelt. Ein Informationsmangel (in den Bewertungen gelb markiert) ist also keinesfalls als Nichterfüllung der Anforderung zu interpretieren, sondern

lediglich als ein Informationsmangel. 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. bzgl. Umwelt-, Qualitäts- und Chemikalienmanagementsysteme, erscheint unverhältnismäßig und in dem zeitlichen Rahmen des Projektes nicht in den Produktionsstätten realisierbar.

5.6.4 Relevanz des Cradle to Cradle™ Standards für DiTex

Der Cradle to Cradle™ (C2C) Standard basiert auf den von McDonough und Braungart entwickelten C2C-Grundprinzipien und wird fortlaufend von einem Kreis an technischen Expert/innen, Marktführern und der Öffentlichkeit weiterentwickelt. Aktuell wird ein Update entwickelt. Im Allgemeinen handelt es sich bei C2C um einen Zertifizierungsstandard und Produktdesignkonzept, das die Basis für die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft bildet. Vergeben wird die Zertifizierung durch unabhängige Stellen, die vom C2C Products Innovation Institute akkreditiert wurden. Das oberste Ziel von C2C ist die Gestaltung eines kreislauffähigen Produktes, das zeitgleich negative Umwelteffekte reduziert und einen positiven Fußabdruck erzeugt. Damit korrespondiert C2C stark mit dem Projektfokus von DiTex, kreislauffähige und leasingtaugliche Textilien zu erproben. Die C2C-Kriterien können somit eine Orientierung bieten, welche wichtigen Aspekte der Kreislaufführung bei den DiTex-Textilien beachtet werden sollten. Die Betrachtung der C2C-Kriterien ist in diesem Rahmen also sehr wertvoll. Dennoch wurde C2C nicht mit den anderen fünf Standards in den Labelvergleich aufgenommen, da sich deren Ansatz, Struktur und Methodik von C2C grundlegend unterscheidet: Zwar weist C2C einige Parallelen zu den anderen Standards aus, wie bspw. das Verbot bestimmter chemischer Substanzen, die Dokumentation von Wasserverbräuchen oder die Einhaltung von ILO-Normen. Allerdings beruht die Systematik des C2C Standards auf den Grundprinzipien von C2C, d.h. der Betrachtung von technischen und biologischen Kreisläufen (vgl. Kap. 5.6.4.1). Die Konzeptualisierung von C2C unterscheidet sich damit grundlegend von der Betrachtung eines überwiegend linearen Lebenswegs in den anderen Standards. Zudem setzt C2C auf eine kontinuierliche Verbesserung im Rahmen von Re-Zertifizierungsprozessen. Die Analyse des C2C-Standards erfolgte aus diesem Grund losgelöst und in Form eines Exkurses und ist in diesem Kapitel dokumentiert.

5.6.4.1 Der Cradle to Cradle Standard

Nach den Grundprinzipien von C2C ist es erklärtes Ziel, Materialien in einer unendlichen Anzahl an Nutzungszyklen zirkulieren zu lassen. Die Grundprinzipien lehnen sich an natürliche Prozesse an, wobei C2C die Produktmaterialien als Nährstoffe bezeichnet und zwischen biologischen und technischen Kreisläufen unterscheidet. Materialien in biologischen Kreisläufen nutzen sich ab und gelangen damit in die Umwelt, weshalb diese umweltverträglich und biologisch abbaubar sein müssen. Im Gegensatz dazu nutzen sich die Materialien in technischen Kreisläufen nicht ab und sind somit prinzipiell wiederkehrend einsetzbar (Cradle to Cradle NGO, 2020).

Bei einer C2C-Zertifizierung wird das Produkt anhand von Kriterien bewertet, die das Produktdesignkonzept abbilden. Inwieweit ein Produkt positive Umweltauswirkungen hat, wird anhand von unterschiedlichen Levels (Bronze, Silber, Gold, Platin) in den fünf Kategorien Materialgesundheit, Kreislauffähigkeit, erneuerbare Energien und

Kohlestoffmanagement, verantwortungsvoller Umgang mit Wasser und soziale Fairness gemessen. Die Produktzertifizierung beginnt dabei immer auf dem niedrigsten Level Bronze. C2C strebt an, dass alle zwei Jahre Re-Zertifizierungsprozesse stattfinden, bei denen das Produkt in das nächsthöhere Level aufsteigt, sofern entsprechende Verbesserungen nachgewiesen werden können. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Re-Zertifizierung sind die Implementierung von Strategien und Managementsystemen, die den Fortschritt der Verbesserung der Umweltauswirkungen zeigen. Um ein höheres Level zu erreichen müssen alle Anforderungen dieses Levels erfüllt werden (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020).

Im Kern der C2C-Zertifizierung steht die Bewertung des Endprodukts nach der so genannten „Materialgesundheit“ und nach den kreislauffähigen Eigenschaften. Materialgesundheit bedeutet dabei, dass das Produkt keine negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt aufweist. Um die Bewertung durchzuführen, entwickelte das C2C Product Innovation Institute ein Verfahren, bei dem die eingesetzten Materialien und ihre chemischen Zusammensetzungen zunächst bestimmt und anschließend mit Hilfe eines komplexen Bewertungsschemas beurteilt werden. Hierbei sollen im Laufe der Re-Zertifizierungsphasen alle Materialien bestimmt und die Substanzen mit negativen Auswirkungen durch C2C-konforme Substanzen ersetzt werden (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2019). Für rezyklierte Materialien ist die Bestimmung des Materialursprungs eine zusätzliche Voraussetzung (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2017).

Die Bewertung der Kategorie „Kreislauffähigkeit“ soll sicherstellen, dass pro Re-Zertifizierungsphase der Anteil an eingesetzten kreislauffähigen Materialien zunimmt. Ergänzend wird vom Hersteller erwartet, die Produktkreisläufe (zum Beispiel „Recycling“ oder „Wiederverwendung“) zu bestimmen und entsprechende Maßnahmen für die Kreislaufführung zu implementieren. Diese Maßnahmen schließen vor allem die Bildung von Kooperationen und Initiativen ein, und zielen darauf ab, systematisch vernetzte Systeme einer Kreislaufwirtschaft aufzubauen und zu erreichen (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020).

Das generelle Ziel, Fortschritte und positive Effekte mittels der Re-Zertifizierungsprozesse zu erreichen, setzt sich in den Voraussetzungen der übrigen Kategorien fort. So wird für das Erreichen des jeweils nächsthöheren Levels in der Kategorie „Erneuerbare Energien und Kohlestoffmanagement“ ein steigender Einsatz an erneuerbaren Energien, die Reduktion von Treibhausgasen und, innerhalb des höchsten Levels Platin, die Kompensation von Emissionen, vorausgesetzt. In der Kategorie „Verantwortungsvoller Umgang mit Wasser“ wird der Fortschritt vor allem über den zunehmenden Einsatz von Technologien und Verfahren definiert, die den Wasserverbrauch reduzieren und die Abwasserqualität verbessern. Anders als die Kategorie „Erneuerbare Energien und Kohlenstoffmanagement“ bezieht die Kategorie „Verantwortungsvoller Umgang mit Wasser“ teilweise auch Tier-1-Lieferanten ein. So muss für das Erreichen des Silber-Levels sichergestellt werden, dass die Produktionsanlagen von Tier-1-Lieferanten die Wasserqualitätsvorschriften erfüllen. Die Kategorie „Soziale Fairness“ setzt auf dem Bronze-Level die Entwicklung einer betrieblichen Sozialpolitik voraus, die in den höheren Levels dann als Managementsystem implementiert und überwacht werden soll. Außerdem ist die Implementierung eines Beschwerdemechanismus für das Unternehmen bzw. die Unternehmen der letzten Produktionsstufe Voraussetzung, um das Silber- bzw. das Gold-Level zu erreichen (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020).

5.6.4.2 Bewertung der DiTex-Textilien anhand der C2C-Kriterien

Analog zu der Bewertung der DiTex-Textilien anhand der Anforderungen der anderen fünf Standards (vgl. Kap. 5.6.3), wurde evaluiert, ob das Poloshirt, das Polizeihemd und die Bettwäsche die C2C-Kriterien erfüllen. Eine abschließende Einschätzung kann allerdings aufgrund von fehlenden Informationen auch hier nicht erfolgen (vgl. Tabelle 54).

Tabelle 54: Bewertung der DiTex-Textilien anhand der Cradle to Cradle-Anforderungen. Anforderungen, die erfüllt werden können sind grün dargestellt. Wenn aufgrund eines Informationsmangels nicht abschließend bewertet werden konnte, ob die Anforderungen erfüllt werden, wurde die Zelle gelb eingefärbt (Eigene Darstellung, IÖW)

Kategorien	Leistungsstufen			
	Bronze	Silber	Gold	Platin
Material-gesundheit	z.B. Einhaltung der Basic Level Restricted Substances List		z.B. Entwicklung einer Strategie , um schlechte Materialien zu eliminieren	
Kreislauf-fähigkeit	z.B. Materialien werden als kreislauffähig eingestuft		z. B. Entwicklung eines Pro-gramms , das die Kreislauffähigkeit des Produktes erhöht	
erneuerbare Energien		z.B. Quantifizierung der Emissionen		z.B. Nutzung 100% erneuer-barer Energien + Ausgleich von Emissionen
Verantwor-tungsvoller Umgang mit Wasser		z.B. Entwicklung einer Strategie , um die Anfor-derungen des Gold-Levels zu erreichen		
soziale Fairness		z.B. Einrichtung eines Beschwerde-managements		

Aufgrund des Projektfokus von DiTex auf die Kreislauffähigkeit der Textilien ist für die Kategorie „Kreislauffähigkeit“ eine relativ sichere Einschätzung möglich. Die wiederholte Nutzung der Textilien innerhalb des Textilservices schafft einen Kreislauf während der Nutzungsphase. Das Produktdesign berücksichtigt zudem die Recyclingeigenschaften der eingesetzten Fasern und kreiert so einen weiteren Kreislauf. Zudem erfüllt die Zusammenarbeit mit den Textilherstellern (Dibella GmbH und Wilhelm Weishäupl e.K.), dem Textilservice (z.B. MEWA Textil-Service AG & Co. Management OHG) und Recyclern (z.B. Worn Again Technologies) die C2C-Anforderung, Partnerschaften für eine Kreislaufwirtschaft zu entwickeln. Die DiTex-Textilien werden auch dem Kriterium nach möglichst wiederholenden Nutzungs- und Recyclingzyklen gerecht; auch dies ist bereits im

DiTex-Produktdesign angelegt bzw. berücksichtigt. Insgesamt erreichen die DiTex-Textilien in dieser Kategorie damit theoretisch ein hohes Level.

Diese Bewertung der DiTex-Textilien bildet auch hier nur eine Momentaufnahme ab. Vor allem in der Kategorie „Kreislauffähigkeit“ erfüllen die DiTex-Textilien bereits jetzt mindestens das Gold-Level der C2C-Anforderungen, und werden damit dem Anspruch des Vorhabens gerecht, kreislauffähige und leasingtaugliche Textilien zu entwickeln. Grundsätzlich zielt C2C durch die Entwicklung von Managementprozessen und -systemen oder die Implementierung von Projekten, die zu positiven Auswirkungen führen, auf das Erreichen höherer C2C-Level über die Zeit ab. Aufgrund der begrenzten Vorhabenlaufzeit von drei Jahren ist dies für die DiTex-Textilien nicht erreichbar. Eine diesbezügliche Bewertung ist deshalb nicht zielführend.

5.7 Synopse: Potenzielle Nachhaltigkeitseffekte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse und Erkenntnisse der voranstehenden Kapitel kurz zusammengefasst. Zunächst wird synoptisch auf die qualitativen Eigenschaften der Prototypen (Kap. 5.7.1) und anschließend auf deren Kreislauffähigkeit (Kap. 5.7.2) eingegangen. Daran schließen sich zusammenfassende Ergebnisse der Ökobilanzen an (Kap. 5.7.3). Ein besonderes Augenmerk wird anschließend auf mögliche Rebound-Effekte gerichtet (Kap. 5.7.4), damit werden auch einige Hinweise auf Stellschrauben und zukünftige Handlungsbedarfe abgeleitet. Das Kapitel schließt mit einem Fazit zum Vergleich der verschiedenen Labels (Kap. 5.7.5).

5.7.1 Synopse zu den qualitativen Eigenschaften der Prototypen

Textilien mit Leasing-Eignung erfordern ein besonders hohes Maß an Qualität, um einer Vielzahl von Gebrauchs- und Pflegezyklen standhalten zu können. Da die Wiederaufbereitung der Textilien in der Regel in der gewerblichen Wäscherei erfolgt, müssen die Textilien für die industrielle Wäsche geeignet sein. Funktion und Aussehen müssen dabei erhalten bleiben, damit das Textil möglichst lange vermietet werden kann.

Die detaillierten Ergebnisse der verschiedenen Prüfungen von Poloshirt und Polizei-Hemd bzgl. Leasing-Eignung sind in Kapitel 5.2.4 und 5.3.4 erfasst. Es zeigte sich, dass die Prototypen die Anforderungen an Leasing-Eignung weitgehend erfüllen und einen hohen Gebrauchswert aufweisen. Dies ist zusammenfassend in den Übersichtstabellen Tabelle 55 und Tabelle 56 dargestellt.

Polo-Shirt: Das DiTex-Poloshirt_{Gen1} zeigt hervorragende Eigenschaften hinsichtlich Farbechtheit (nur leichte Abweichung vom Qualitätsstandard für Licht-/Schweißechtheit). Auch in Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften (Pilling-Neigung, Scheuerbeständigkeit, Berstdruck) sowie Tragekomfort können die Anforderungen der Hohenstein Qualitätsstandards an Leasing-Eignung erfüllt werden. Bei der optischen Abmusterung zeigt sich ein sehr gutes Resultat; ähnlich gut sind das Selbstglättungs-Verhalten und das Verdrehen der Fläche einzustufen. Einzig für die Änderung der Maßeigenschaften nach der Pflege lässt sich eine Abweichung vom Qualitätsstandard erkennen. Hier zeigt sich ein starker Schrumpf in Querrichtung (>10 Prozent), während in Längsrichtung eine deutliche Längenausdehnung zu beobachten ist. Vermutlich lassen sich die Laborergebnisse mit dem ausgewählten Trockenverfahren im Schrank-Finisher erklären, bei dem die Poloshirts hängend am Bügel mittels Wärme und Sprühdampf getrocknet werden. Hier ergibt sich ein

deutlicher Verzug. Dieses Verfahren scheint nicht für die Trocknung der Poloshirts geeignet zu sein, was im anstehenden Praxistest berücksichtigt wird. Aufgrund des insgesamt sehr positiven Resultats der Prüfungen an den Poloshirts wurden diese für den Einsatz im Praxistest freigegeben.

Tabelle 55: Übersichtstabelle der Prüfergebnisse am Poloshirt; in grün: HQS 704 erfüllt, in orange: leichte Abweichungen vom HQS 704, in rot: deutliche Abweichungen vom QS 704

	0-5 Zyklen	25 Zyklen	50 Zyklen	Anforderung nach HQS 704
Farbechtheiten	Im Neuzustand Licht-/Schweiß- echtheit Farbton 4; alle anderen Echtheiten 4-5			Note 4-5
Berstdruck	Im Neuzustand > 800	> 800	> 800	≥ 600 kPa (Im Neu- zustand)
Scheuer- festigkeit	Im Neuzustand, nach 30.000 Touren 1 Faden vollständig zerstört			-
Pilling-Neigung	Nach 5 Zyklen nach 7.000 Touren 3-4			Note 2-3
Maßänderung	Nach 5 Zyklen längs 6,0; quer - 10,5	Nach 25 Zyklen längs 5,5; quer -12,0	Nach 50 Zyklen längs 4,0; quer -12,5	+ 3 bis - 5,0 (Nach 5 Zyklen)
Selbstglättung (Fläche und Nähte)	Nach 3 Zyklen, SA 5	SA 5	SA 5	≥ 3,5 (nach 3 Zyklen)
Verdrehen der Nähte	Nach 5 Zyklen 2,0%			≤ 6,0%
Optische Abmusterung (Konfektio- nierungs- prüfung)	Nach 5 Zyklen 4-5	Nach 25 Zyklen 1 x Note 4 (Ausfran- sungen Ärmel- bündchen); Rest 4-5	Nach 50 Zyklen, 1 x Note 4 (Ausfran- sungen Ärmel- bündchen); Rest 4-5	≥ 4 (nach 30 Zyklen)

	0-5 Zyklen	25 Zyklen	50 Zyklen	Anforderung nach HQS 704
Bekleidungs-physiologische Prüfungen	Nach 3 Zyklen Hautsensorischer Komfort 0,6 (Schulnote) = sehr gut			≤ 2,5 Schulnote

Polizeihemd: Das DiTex-Polizeihemd_{Gen 1} zeigt eine hohe Weißqualität nach bis zu 50 Pflegezyklen sowie hervorragende Eigenschaften hinsichtlich Farbechtheit (Hypochlorit-Bleichechtheit). Auch der Tragekomfort kann als gut bis sehr gut bewertet werden. Die optische Abmusterung ergab ein sehr gut bis gutes Ergebnis hinsichtlich Verarbeitung, Griff, Aussehen und Funktion der textilen Fläche und Zutaten nach bis zu 50 Pflegezyklen. Es wurden lediglich leichte Mängel der Knöpfe beobachtet, welche nach der Pflege verkratzt und stumpf erschienen bzw. teilweise fehlten. Daraufhin wurden zwei alternative metallische Ösenknöpfe für einen möglichen Einsatz im Praxistest untersucht. Die Variante mit der Herstellernummer CK 51.001137(halbrunde Form, silberfarben) zeigten nach 10 Pflegebehandlungszyklen (entsprechend des im Rahmen der Qualitätstests verwendeten Pflegeverfahrens) keine Auffälligkeit und werden für den Praxistest verwendet. Im Bereich der Maßänderung und Selbstglättung zeigen sich leichte Abweichungen von den Qualitätsanforderungen, die jedoch als nicht gravierend einzustufen sind. Die Anforderungen an Höchstzugkraft konnten erfüllt werden, was auf eine gute Festigkeit hinweist. Dies steht dem Ergebnis der Scheuerbeständigkeits-Prüfung entgegen, welches deutlich vom Qualitätsstandard abweicht. Auch bei der Pilling-Neigung konnten die Anforderungen an Leasing-Eignung nicht erfüllt werden. Trotz dieser beiden Auffälligkeiten wurde der Prototyp der DiTex-Polizeihemden im Konsortium als geeignet für den Einsatz in der Praxisphase eingestuft, da ein insgesamt positives Resultat hinsichtlich Aussehen und Funktion nach bis zu 50 Pflegezyklen erzielt wurde. Auch ist davon auszugehen, dass im Einsatz keine starken mechanischen Belastungen auftreten, sodass die Auffälligkeiten voraussichtlich keinen wesentlichen Einfluss auf den Einsatz im Praxistest haben werden.

Tabelle 56: Übersichtstabelle der Prüfergebnisse am DiTex-Polizeihemd; in grün: Anforderungen nach HQS 703 bzw. RAL GZ 992/1 (Weißqualität) erfüllt, in orange: leichte Abweichungen, in rot: deutliche Abweichungen

	0-5 Zyklen	25 Zyklen	50 Zyklen	Anforderung nach HQS 703
Hypochlorit-Bleichechtheit	Neuzustand: 4-5			≥ 4
Weißqualität	Nach 5 Zyklen: W-GG = 212	W-GG = 231	W-GG = 237	Nach RAL GZ 992/1: W-GG min. 170
Höchstzugkraft	Neuzustand: K 880; S 284	K 905; S 322	K 895; S 306	≥ 350; ≥ 260 Neuzustand, normale

	0-5 Zyklen	25 Zyklen	50 Zyklen	Anforderung nach HQS 703
Scheuerfestigkeit	Neuzustand nach 6.000 Touren zwei			15.000 Touren, keine Zerstörung
Pilling-Neigung	Nach 5 Zyklen, nach 7.000 Touren Note 2			≥ 3
Maßänderung	Nach 5 Zyklen: längs -3,0; quer -3,0	längs -3,0; quer -3,0	längs -3,5; quer -3,0	≤ + 2,5% (nach 5 Zyklen)
Selbstglättung (Fläche und Nähte)	Nach 3 Zyklen: SA 3,0	SA 3,5	SA 3,5	≥ 3,5 (nach 3 Zyklen)
Optische Abmusterung (Konfektionierungsprüfung)	Nach 5 Zyklen: 4-5	überwiegend 4-5; Aussehen/ Funktion Zutaten: Note 4 Silberne Knöpfe stumpf/verkratzt oder fehlen*	überwiegend 4-5; Aussehen/ Funktion Zutaten: Note 4; Silberne Knöpfe stumpf/verkratzt oder fehlen*	≥ 4 (nach 30 Zyklen)
Bekleidungsphysiologische Prüfungen	Nach 3 Zyklen Hautsensorischer Komfort 1,6 (Schulnote) = sehr gut bis gut			≤ 2,5 Schulnote

* Für den Praxistest wurden optimierte Knöpfe eingesetzt. Die hier aufgeführten Prüfergebnisse und festgestellten Qualitätsmängel beziehen sich auf die am Prototyp eingesetzten Knöpfe. Die Spezifikationen in Tabelle 27 enthalten Angaben zu den am Endprodukt eingesetzten Knöpfe.

Die Prüfungen im Rahmen der Analyse zur Leasing-Eignung haben wertvolle Informationen zur Qualität der Prototypen geliefert. Die weitgehend guten Resultate, insbesondere für die DiTex-Poloshirts_{Gen1}, im Neuzustand sowie nach bis zu 50 Pflegezyklen im Technikumsmaßstab weisen auf eine gute Beständigkeit der Textilien gegenüber den Bedingungen in industriellen Waschverfahren hin. Dies ist die wesentliche Grundlage für den Einsatz der Prototypen im Praxistest. Die maximale Anzahl an möglichen Pflegezyklen im Technikumsmaßstab wurden im Rahmen der Qualitätstests nicht bestimmt.

Die spektroskopischen Untersuchungen bestätigen die Prüfergebnisse von HIT und haben ergeben, dass sowohl das DiTex-Poloshirt_{Gen1} als auch das DiTex-Polizeihemd_{Gen1} eine gute Leasingtauglichkeit im Hinblick auf die angestrebten Waschzyklen aufweisen. Es sind keine Material- oder Farbänderungen innerhalb der ersten 50 Waschzyklen erkennbar.

Zusammenfassend kann konstatiert werden (vgl. Tabelle 57): Die Messungen mit dem FTIR und dem NIR zeigen sowohl beim DiTex-Poloshirt_{Gen1} als auch beim DiTex-Polizeihemd_{Gen1} keine signifikanten Änderungen der Spektren. Es liegt keine Materialdegradation vor, d.h. es gibt keinen Materialverlust.

Im UV-VIS Bereich änderten sich die Spektren beim DiTex-Poloshirt_{Gen1} gering, es liegt jedoch keine Farbänderung oder Änderung der Maßeigenschaften vor. Die UV-VIS Messung wurde beim DiTex-Polizeihemd_{Gen1} nicht durchgeführt, da durch die optischen Aufheller die Messwerte so stark verfälscht werden, dass keine Auswertung der Werte möglich ist (vgl. Kap. 5.3.4)

Tabelle 57: Ergebnisse der spektroskopischen Untersuchungen an der DiTex-Oberbekleidung

	DiTex-Poloshirt _{Gen1}	DiTex-Polizeihemd _{Gen1}	Ergebnis
FTIR	Keine signifikante Änderung der Spektren	Keine signifikante Änderung der Spektren	→ Keine Materialdegradation oder Materialverlust
NIR	Keine signifikante Änderung der Spektren	Keine signifikante Änderung der Spektren	→ Keine Materialdegradation oder Materialverlust
UV-Vis	Geringe Änderung der Spektren	n.a	→ Keine Farbänderung und Änderung der Maßeigenschaften

Die Zwischenergebnisse und die Interpretation der Spektren und die Auswertung mittels Hauptkomponentenanalyse sind in Kapitel 5.2.4 und 5.3.4 ausführlich vorgestellt.

Eine ausführliche Korrelations- und Varianzanalyse wird mit den Ergebnissen der Prüfungen der Hohensteiner Institute vor und nach den Praxistests durchgeführt. Eine gesicherte Aussage kann zur Zeit der Erstellung des integrativen Berichtes nicht getroffen werden.

Der weitere Projektplan sieht die Verifikation der Resultate unter Praxisbedingungen vor, d.h. im Gebrauch bei Träger/innen sowie bei der Wiederaufbereitung unter industriellen Bedingungen. Die Praxistests der drei DiTex-Textilien werden aus diesem Grund mit weiteren Qualitätsprüfungen und einer prozessbegleitenden Evaluation wissenschaftlich begleitet. Sie werden weitere Hinweise darauf liefern, inwieweit das Textildesign der Poloshirts den Anforderungen der Nutzer/innen hinsichtlich Qualität, Funktionalität und Tragekomfort entspricht. Die abschließende Beurteilung aller DiTex-Textilien hinsichtlich Design, Qualität, Recyclingfähigkeit, Leasingtauglichkeit und auch Lebensdauer kann erst am Projektende erfolgen, nachdem alle Ergebnisse der verschiedenen Qualitätsprüfungen, vor, während und nach dem Praxistest, ausgewertet wurden.

5.7.2 Synopse Kreislauffähigkeit auch basierend auf Circular Product Checks für DiTex-Oberbekleidung

Die Circular Product Checks haben eine erfolgreiche recyclingfähige Produktgestaltung erwiesen. Für jedes Produkt konnte die Recyclingfähigkeit in einem oder sogar mehreren

Recyclingströmen und Recyclingunternehmen validiert werden. Positiv hervorzuheben ist, dass die Zutaten wie Garne und Labels ebenfalls aus rPET gefertigt sind, keine verklebten Einlagen eingesetzt wurden und somit zu einem positiven Recyclingergebnis beitragen. Optimierungsvorschläge wurden bspw. für das DiTex-Polizeihemd gegeben um die Recyclingfähigkeit weiter zu erhöhen: Der Metallknopf könnte ersetzt werden, wenn ein optisch und funktional zufrieden stellendes Äquivalent aus Polyester auf dem Markt verfügbar wäre. Die Erhöhung des Polyester-Anteils des Hauptstoffes auf 70 Prozent Polyesteranteil würde den Recyclinganforderungen von Recyclingunternehmen stärker gerecht werden und so die Anzahl und regionale Abdeckung von Recyclingoptionen erhöhen.

5.7.3 Synopse Übersichtsökobilanzen

Die in der Übersichtsökobilanz generierten Zwischenergebnisse deuten auf ein großes Potenzial des DiTex-Gesamtkonzepts zur deutlichen Einsparung von Ressourcen und zur Verringerung der nachteiligen Umweltauswirkungen durch Textilien hin.

Es konnte bereits eine signifikante Verbesserung beim Wasser- sowie beim Flächen-Fußabdruck der Textilprodukte gezeigt werden. Maßgeblich entscheidend ist der geringere Einsatz bzw. die Substitution von Baumwolle durch rPES respektive Lyocell. Diesen Sachverhalt beeinflusst maßgeblich der wasser- und flächenintensive landwirtschaftliche Anbau der Baumwolle. Insbesondere beim DiTex-Polizeihemd, welches einen Baumwoll-Anteil aufweist, ist eine weitere Minimierung des Baumwolleinsatzes zu prüfen. Darüber hinaus konnten ebenfalls bei den anderen Umweltwirkungskategorien Treibhauseffekt, Energieaufwand und Versauerung tendenziell Einsparungen durch die berücksichtigten Aktivitäten festgestellt werden. Ob diese Tendenz bestätigt werden kann und wie umfangreich potenzielle Einsparungen wirklich sein werden, hängt von der tatsächlichen Umsetzung der Einzelelemente des DiTex-Gesamtkonzepts ab, die in der zweiten Projekthälfte real erprobt werden. Dazu gehören insbesondere:

- Größtmögliche Minimierung des Baumwolleinsatzes als Primärmaterial.
- Maximale Erhöhung der Lebensdauer (Anzahl der Waschzyklen der Textilien).
- Optimierte Prozessführung (Minimierung der Aufwendungen) in der Wäscherei.
- Minimierung des Materialausschusses während des Produktionsprozesses bspw. durch Reduzierung der anfallenden Schnittreste in der Konfektionierung.
- Sicherstellen, dass die Aufwendungen des Recyclings inkl. Logistik geringer sind als die Aufwendungen zur Herstellung der Primärmaterialien.
- Möglichst geringer Materialausschuss während des Recyclingprozesses.

Des Weiteren gibt es Anzeichen, dass besonders die Kombination aller innerhalb des Vorhabens durchgeführten Maßnahmen (Einsatz nachhaltigerer Materialien, längere Lebensdauer, Recycling) zur Verbesserung aller Umweltwirkungen und zu Ressourceneinsparungen führen kann. Ob eventuell auch nur eine Teilkombination zu ähnlichen Effekten führen kann, muss im weiteren Vorhabenverlauf noch untersucht werden. In jedem Fall müssen die Maßnahmen jeweils optimal auf das betrachtete Textil und die verwendeten Materialien abgestimmt werden. Einige der genannten Schlussfolgerungen gelten nicht nur für die innerhalb des DiTex-Vorhabens betrachteten Produktgruppen,

sondern zukünftig potenziell auch für weitere Textilanwendungen, so dass solche gewonnenen Erkenntnisse übertragbar sind.

Zusammenfassend kann durch die durchgeführten Übersichtsökobilanzen gezeigt werden, dass die im Vorhaben konzipierten und angewandten Produktdesigns aus Umweltschutz- und Nachhaltigkeitssicht Vorteile gegenüber gängigen Referenzprodukten aufweisen können. Zudem gelten die bisher gewonnenen Erkenntnisse nicht ausschließlich für die drei betrachteten Textillinien, sondern können teilweise auch auf andere Textilien übertragen werden.

Im letzten Drittel des Verbundvorhabens wird die in diesem Bericht dargestellte Übersichtsökobilanz durch Einbezug zusätzlicher Detailinformationen und angepasster Basisparameter weiterentwickelt. Hierzu gehören vorrangig:

- Die quantitative Nachführung der Vorketten durch spezifischere Abbildung einzelner Prozessschritte.
- Die Ergänzung der Ökobilanz um weitere Umweltwirkungskategorien wie Ozonabbau und Eutrophierung.
- Der Einbau modifizierbarer Szenarien.
- Ergänzende Sensitivitätsanalysen vor allem in den Bereichen Wäscherei inkl. dem Einsatz von Waschmitteln und Waschlösungsmitteln, Recycling und Lyocell-Produktion.
- Die Berücksichtigung von Potenzialen zukünftiger projektspezifischer Weiterentwicklungen einzelner Technologien und Energiebereitstellungsszenarien auf regenerativer Basis.
- Analysen, um die Übertragbarkeit der erhaltenen Erkenntnisse bzgl. der Umweltauswirkungen auf andere Textilien oder Textilgruppen zu untermauern bzw. entsprechende Grenzen aufzuzeigen.

Bei den Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Energieaufwand und Versauerung wird sich innerhalb der zweiten Hälfte des Vorhabens durch eine höhere Detailtiefe der Bilanzierung sowie Sensitivitätsanalysen zeigen, ob sich die bereits in dieser Übersichtsökobilanz gezeigten Tendenzen bestätigen und wie umfangreich die dementsprechenden Einsparungen sind.

5.7.4 Rebound-Effekte

Im DiTex-Projekt werden kreislauffähige und ressourceneffiziente B2B-Textilien entwickelt. Erreicht wird dies durch verschiedene Faktoren, die alle ein konsequentes „Design for Circularity“ umsetzen und damit die Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit der Textilien fokussieren. Darüber hinaus wird ein PSS-Geschäftsmodell getestet, von dem angenommen wird, ressourcenschonender zu sein und die Kreislaufführung der DiTex-Textilien zu unterstützen: Die DiTex-Textilien werden den Testanwendern im Rahmen eines Servicevertrags ähnlich einer Mietwäsche zur Verfügung gestellt und von einer gewerblichen Wäscherei gewaschen.

Derartige Effizienzsteigerungen verfolgen gewöhnlich Nachhaltigkeitsziele. Es ist jedoch gut erforscht, dass Steigerungen der Energieeffizienz zu einem Mehrverbrauch an Energie führen können, sodass mögliche Energieeinsparungen teilweise oder völlig kompensiert

werden. Genauer sind solche **Rebound-Effekte** als das Verhältnis zwischen einer mittels Effizienzsteigerung *real erreichten* Energieeinsparung und der durch Effizienzsteigerung *theoretisch zu erreichenden* Energieeinsparung definiert (Lange, Kern, Peuckert & Santarius, 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 Energieeffizienzsteigerungen 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, McDowall, Freire-González, Kemp & van der Voet, 2016; Kjaer, Pigosso, Niero, Bech & McAloone, 2019; Zink & Geyer, 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 34 bietet eine Übersicht über Rebound-Effekte, die im DiTex-Projekt und darüber hinaus beim Einsatz von kreislauffähigen B2B-Textilien auftreten können. Der schematische Aufbau der Abbildung orientiert sich an dem Rebound-Framework von Font Vivanco et al. (2016).



Abbildung 34: Übersicht über mögliche kurz-, mittel- und langfristige Rebound-Effekte im Lebenszyklus von kreislauffähigen B2B-Miettextilien (Eigene Darstellung).

Da das Ziel des DiTex-Projektes vornehmlich eine Erhöhung der Ressourcen- sowie Umwelteffizienz ist, sind für die Identifizierung von Rebound-Effekten die beschriebenen Mechanismen des ERE sowie CE Rebound-Effektes von Relevanz. „Klassische“ Rebound-Mechanismen können teilweise dennoch auftreten, wenn auch nicht durch Energieeffizienzsteigerungen ausgelöst. Haupttreiber sind dabei im DiTex-Projekt mikro-, meso- und makroökonomische Rebound-Mechanismen, da die Effizienzsteigerungen durch den Fokus auf gewerbliche B2B-Anwendungen von Dienstkleidung und Bettwäsche vor allem Unternehmen, ihre Mitarbeitenden und Kundschaft sowie die Textilindustrie betreffen.

5.7.4.1 Kurzfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen der DiTexGen1

Auf Produktebene besteht für das Polizeihemd das Risiko einer *unzureichenden Substituierbarkeit*, sofern sich im Projektverlauf herausstellt, dass die regenerierten Fasern die virgin-Fasern nicht komplett ersetzen können und weiterhin bspw. ein Anteil an neuproduzierten Baumwollfasern eingesetzt werden muss (Zink & Geyer, 2017). Außerdem ist beim Sourcing ein ERE denkbar, sofern sich die Herstellung der regenerierten Fasern als umweltbelastender oder energieintensiver als der Gewinnungs- bzw. Herstellungsprozess der Primärfasern herausstellen sollte.

In der **Nutzungsphase** könnte der Umgang der Träger/innen mit den Miettextilien ein großer Treiber für Rebound-Effekte sein. Leasing führt in nutzungsorientierten PSS häufig dazu, dass Benutzer/innen des geleasteten Produktes diese häufiger mit geringerer Sorgfalt behandeln (Tukker, 2015). Dies ist insbesondere anzunehmen, wenn die Träger/innen bzw. Nutzer/innen von privat gekaufter und gepflegter Wäsche auf den Mietservice umsteigen und die Textilien nicht mehr ihr persönliches Eigentum sind, wie es bei dem Praxistest der Polizeihemden der Fall ist. Verringert sich dabei die antizipierte Lebensdauer eines Textils, weil dieses (öfter) repariert oder früher ersetzt werden muss, zieht das einen *erhöhten Ressourcenverbrauch* nach sich und bewirkt einen ERE. Werden in der Kommunikation mit den Nutzer/innen die Vorteile von kreislauffähigen Textilien betont, könnte der Fall eintreten, dass durch die Träger/innen verursachte Rebound-Effekte mit „Moral licensing“ und „Diffusion of responsibility“ einhergehen: Durch das Tragen der umweltschonenden DiTex-Textilien fühlen sich Nutzer/innen legitimiert, sich an anderer Stelle weniger umweltfreundlich zu verhalten. Zudem können sie die Verantwortung für weitere umweltfreundliche Maßnahmen an die eigenen Beschaffer/innen oder den Textilservice abgeben. „Moral licensing“ kann sich ebenso auf die Beschaffer/innen der Leasingnehmer auswirken: Wegen der vermeintlich umweltfreundlicheren Textilien werden im Unternehmen zusätzliche Garnituren zur Verfügung gestellt. Es wird davon ausgegangen, dass der Umstieg auf (kreislauffähige) B2B-Textilien bereits so nachhaltig ist, dass mehr Textilien geordert werden können.

Im **Gesamtlebenszyklus** könnten die Recyclingprozesse zur Faserregenerierung ein weiterer Treiber für EREs sein. Haben diese einen höheren Ressourcen- und Energieverbrauch sowie eine höhere Umweltbelastung als die Primärfaserproduktion, kann „Burden Shifting“ auftreten (Kjaer et al., 2019). Außerdem müssen die Textilien hinreichend oft im Kreislauf geführt werden, um die Ressourcenbelastung mehrerer Primärproduktionen zu ersetzen und einen ökologischen Break-Even-Point zu erreichen (Bech et al., 2019).

5.7.4.2 Mittelfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen im Upscaling

Ist der Praxistest erfolgreich und stoßen die an DiTex beteiligten und auch weitere Textilhersteller – nach Abschluss des DiTex-Vorhabens – ein Upscaling der Produktion der DiTex-Designs sowie eine Ausweitung der B2B-Mietwäsche-Geschäftsmodelle an, können neben den bereits beschriebenen kurzfristigen Rebound-Effekten, weitere Rebound-Ursachen, -Treiber und -Mechanismen auftreten.

Schnelllebige Modetrends können auf **Produktebene** Rebound-Effekte begünstigen. Werden als unmodisch empfundene B2B-Textilien und -Kollektionen frühzeitig ersetzt, ist ein Rebound-Effekt möglich. „Unzureichende Substituierung“ ist der verantwortliche Rebound-Mechanismus.

Ein Haupttreiber für Rebound-Effekte in der Nutzungsphase sind die Preise für Sekundärrohstoffe (recycelte Textilfasern) und Sekundärprodukte (Textilien aus regenerierten Fasern). Ist das Sekundärprodukt durch den Einsatz von Rezyklaten kostengünstiger, kann ein „Output“ CE Rebound-Mechanismus beim Anbieter des Mietservices auftreten, sofern dieser die finanzielle Ersparnis dafür nutzt, sein Serviceangebot auszuweiten (Zink & Geyer, 2017). Verringert der Mietservice hingegen den Preis für sein Produkt-Dienstleistungsbündel, löst dies „Einkommenseffekte“ und in der Folge EREs bei der Beschaffungsstelle bzw. der Servicenutzer/innen aus (Font Vivanco et al., 2016). Unabhängig davon führt die erhöhte Langlebigkeit der DiTex-Textilien und damit verlängerte Beschaffungszyklen (Nachkauf bzw. Neuanschaffungen sind seltener notwendig) mittels des Einkommen-Mechanismus zu einem PSS Rebound-Effekt. Die Größe des Rebound-Effektes ist von der Umwelt- und Ressourcenbelastung dessen abhängig, wofür das eingesparte Budget eingesetzt wird. Ein weiterer „Output“ Rebound-Mechanismus kann in der Wäscherei auftreten, wenn Auto-ID-Technologien eingesetzt werden, um Effizienzsteigerung im Wasser- und Energieverbrauch auszumachen und die dann Betriebskosteneinsparungen eine Erweiterung des Wäscheservice finanzieren (Font Vivanco et al., 2016; Lange et al., 2021).

Führen Wäschereien die umweltfreundlicheren DiTex-Designs als Erweiterung des Produktportfolios zusätzlich zu ihrem Angebot an konventionellen Textilien ein, greift ein weiterer Rebound-Mechanismus: Die Primärprodukte werden ergänzt statt substituiert und der absolute Ressourcenverbrauch durch diesen CE Rebound-Mechanismus „unzureichende Substituierbarkeit“ gerade nicht verringert (Zink & Geyer, 2017).

Auch im Gesamtlebenszyklus stellen unzureichende Substituierbarkeit sowie Transformations- und Gesamt CE Rebound-Mechanismen weitere Risiken für das Auftreten von Rebound-Effekten dar. Führen Textilhersteller die DiTex-Designs als reine Erweiterung ihres Produktportfolios ein, findet wie bei den Wäschereien in der Nutzungsphase keine Substitution von Primärproduktion statt, sodass der absolute Ressourcenverbrauch nicht verringert wird (Zink & Geyer, 2017). Da eine erhöhte Nachfrage nach Sekundärmaterialien zu einer Veränderung des Angebotes auf dem Markt führt und zunächst zu einer Erweiterung des Produktangebotes, ist es möglich, dass der „Preiseffekt“ darüber hinaus das Gesamtpreisniveau für Textilien, Stoffe und Zutaten verringert, sodass sowohl die Primär- als auch die Sekundärtextilproduktion steigen und der Gesamtressourcenverbrauch steigt. Sind die Herstellungskosten und/oder Einkaufspreise für regenerierte Fasern und Zutaten aus Rezyklaten und somit deren Sourcing günstiger als Primärrohstoffe, kann in der Produktion ein „Output“ CE Rebound-Mechanismus ausgelöst werden, wenn der Textilhersteller diese Kostenersparnis nutzt, um seine Produktion zu expandieren (Zink & Geyer, 2017). Eine andere Option ist, die konfektionierten DiTex-Textilien preisgünstiger als Primärtextilien anzubieten, was mittels des „prices of final goods and services“-

Mechanismus zu einem Rebound-Effekt führt: Der niedrige Preis senkt in einem wettbewerbsbasierten Markt mittelfristig den Marktpreis für Textilien und zieht eine Nachfrage-Steigerung nach sich. Die erhöhte Nachfrage wiederum begünstigt eine Expansion des gesamten Textilssektors. Die vermehrte Produktion geht dann mit einer Steigerung des Gesamtressourcenverbrauchs einher.

Zwar ist eine On-Demand-Produktion mittels des Einsatzes von Auto-ID-Technologien derzeit für den Textilservice noch nicht realisierbar, jedoch wären auch hier vermutlich Rebound-Effekte zu beachten. On-Demand-Produktion ermöglicht einerseits die Auflösung von Lagerfläche und andererseits die stückgenaue Produktion von Textilien und damit die Verhinderung von Überschussware. Werden die durch reduzierte Lagerkosten bei Wäschereien wie Herstellern generierten finanziellen Einsparungen in die Expansion des Angebots investiert, steigert die zusätzliche Textilproduktion den Ressourcenverbrauch (Output-Mechanismus). Werden die Einspareffekte aus niedrigeren Lager- und damit Gesamtkosten an die Wäschereien und/oder die Endkundschaft weitergegeben, kommt es – wie schon weiter oben beschrieben – zu Einkommenseffekten bei den Wäschereien respektive Leasingnehmern oder anderen produktpreisbasierten Rebound-Effekten (siehe „prices of final goods and services“).

Zuletzt muss auch untersucht werden, welches Referenzsystem die DiTex-Designs sowie PSS-Geschäftsmodelle ersetzen und mit welchen Auswirkungen dies verbunden ist. Stellt eine Firma oder Behörde bspw. zuvor ihren Angestellten keine Berufskleidung, führt die Einführung der Textil-Dienstleistung zu einem (Environmental) Rebound-Effekt. Es könnte zur Verdrängung der umweltfreundlichsten Alternative kommen, nämlich weiterhin private Textilien tragen und kein eigenes Kleidungsset für die Arbeit nutzen.

5.7.4.3 Langfristige Rebound-Effekte und -Mechanismen

Langfristig ist in der Nutzungsphase das Eintreten eines „Preference change“ Rebound-Mechanismus möglich, falls die Tragenden den Wäscheservice als komfortabler wahrnehmen und diesen darum in größerem Umfang in Anspruch nehmen. Als Folge dieser zusätzlichen Nutzung ist ein ERE in der Wäscherei denkbar – durch die zusätzlich erforderliche Mehrfachausstattung mit Textilien einerseits und die Steigung des Gesamtwasser- und -energieverbrauchs andererseits (Kjaer et al., 2019). Dieser Effekt könnte noch größer ausfallen und teilweise sogar Effizienzgewinne beim Wasser- und Stromverbrauch kompensieren, falls der Energiebezug der Privathaushalte, in denen bis dahin die Dienstkleidung gewaschen wurde, mit einer geringeren Umweltauswirkung einhergeht (z.B. Strom aus erneuerbaren Energien) als der der Wäscherei (z.B. Strom aus Braunkohleverstromung).

Im Gesamtlebenszyklus kann beim Recycling das Upscaling der DiTex- und anderer kreislauffähiger B2B-Textilien zu Rebound-Effekten führen. Da das Faser-zu-Faser-Textilrecycling momentan noch in der Entwicklungsphase ist und Recycler derzeit nur geringe Margen an Textilien recyceln können, ist bei einer vermehrten Nachfrage nach Textilrecycling sowie Sekundärmaterialien und dem assoziierten Anlagenaufbau bei Entsorgern mit einem „Economies of Scale“-Mechanismus zu rechnen (Lange et al., 2021). Verringern sich in Folge der Skaleneffekte die Sekundärrohstoffpreise werden die Gesamtproduktion und -nachfrage erhöht.

5.7.4.4 Fragestellungen für den weiteren Projektverlauf und Grenzen des Forschungsvorhabens

Die bisherigen Überlegungen zu möglichen Rebound-Effekten durch den vermehrten Einsatz von kreislauffähigen B2B-Textilien und der damit einhergehenden Markterweiterung des Textilservice, beruhen auf sorgfältiger Anwendung der theoretischen Konzepte zu Rebound-Effekten auf den Anwendungsbereich des DiTex-Vorhabens. Es handelt sich dabei größtenteils um Gedankenexperimente, die durch die Ergebnisse anderer Forschung zu Rebound-Effekten in der Textilindustrie und von den Daten und Berechnungsergebnissen der Übersichts-Ökobilanzen (vgl. Kap. 5.2.5, 5.3.5, 5.4.5, 5.4.7.3 und 5.7.3) gestützt werden. Ihre Aussagekraft ist daher eher konzeptioneller Natur, weil vielfach hypothetisch abgeleitet. Aus diesem Grund liefert diese Analyse und Reflexion im weiteren Projektverlauf zu prüfende Hypothesen und kann als Hinweis auf potentielle Rebound-Risiken herangezogen werden. Die Sammlung weiterer Daten und Ableitung von Evidenzen zur Bestätigung oder Ablehnung getroffener Annahmen ist wünschenswert – insbesondere für die kurzfristigen Rebound-Effekte (vgl. Kap. 0), deren Auftreten und Wirkung wahrscheinlich innerhalb der Vorhabenlaufzeit stattfinden.

Ein blinder Fleck, der für eine Bewertung der ökologischen Effekte der DiTex_{Gen1} relevant ist, ist die Berechnung von ökologischen Break-Even-Points im Rahmen von Szenarioanalysen. Damit wäre der Einfluss von Recyclingverfahren und der damit einhergehenden Gefahr von „Burden Shifting“ besser bestimmbar. Zum derzeitigen Projektstand sind solche „Break-Even-Points“ nicht ermittelbar.

5.7.4.5 Stellschrauben und Handlungsbedarfe im DiTex-Vorhaben

Wie in den vorherigen Kapiteln dargestellt, ist das Risiko des Auftretens von Rebound-Effekten durch unterschiedliche Mechanismen bereits während der Vorhabenlaufzeit gegeben. Verschiedene Handlungsfelder und -ansätze, um die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Ereignisse näher zu bestimmen, eine Größenabschätzung der Effekte vorzunehmen und ihnen wo nötig und möglich präventiv zu begegnen, werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Fasergewinnung und Recycling: Primärrohstoffe vs. regenerierte Fasern

Für die Produktion von DiTex_{Gen1} und DiTex_{Gen2} muss sichergestellt werden, dass das Sourcing der Primär- und Sekundärfasern ressourcen- und energieschonender ist als das Sourcing der Referenzfasern. Gleichzeitig müssen ökobilanzielle Analysen Klarheit schaffen, ob die Gewinnung regenerierter Baumwollfasern aus der ersten Generation DiTex-Polizeihemden weniger Umweltbelastungen nach sich zieht als die Nutzung von virgin Baumwolle. Damit einher geht, dass beim Recycling ein möglichst niedriger Materialausschuss garantiert werden sollte.

Sollte sich herausstellen, dass das Recycling von Fasern mit vergleichsweise hohen negativen Umweltauswirkungen einhergeht, können die Wirkungen mit Lebenszeitverlängerung der Textilien kompensiert werden. Das gelingt allerdings nur, wenn alle beteiligten Akteure (insb. Textilservice und Endkund/innen) für Einkommens- und Preiseffekte sensibilisiert werden. Andernfalls wäre eine künstliche und für Textilservice wie Endkund/in wenig instruktive Erhöhung der Preise für (konfektionierte) Textilien und Dienstleistung nötig, um ökonomischen Rebound-Mechanismen vorzubeugen.

Substitution von Primärfasern/-produkten durch Sekundärfasern/-produkte

Wie bereits ausführlich dargestellt, ist ein zentraler Rebound-Mechanismus die unzureichende Substituierung von Rohstoffen, Produkten und im weiteren Sinne Dienstleistungen. Das Problem liegt im Aufbau paralleler Angebote und Nachfrage, sodass letztlich Primärrohstoffe und -produkte nicht ersetzt, sondern nur komplementiert werden – es also insgesamt zu einer Vergrößerung des Marktes kommt.

Im DiTex-Vorhaben ist daher auf Faserebene darauf geachtet worden, dass bereits die in DiTex^{Gen1} eingesetzten Fasern zu einem möglichst hohen Prozentsatz aus Rezyklatmaterialien (also Sekundärfasern) sind und damit im Vergleich zum Referenztextil das DiTex-Textil Primärfasern soweit wie möglich durch Sekundärfasern ersetzt werden. Weiterhin muss Textilproduzenten, Wäschereien, der Endkundschaft und sonstigen Akteuren deutlich gemacht werden, Sekundärprodukte (und damit assoziierte Dienstleistungen) nicht als eine Erweiterung, sondern als Ersatz ihres bisherigen Produktportfolios zu verstehen. Implizit bedeutet das auch, dass die Sekundärprodukte mit den bisherigen Primärprodukten vergleichbare Qualitäten aufweisen müssen und damit hinsichtlich Komforts, Langlebigkeit, Faserabrieb usw. eine gleichwertige Alternative darstellen.

Umgang mit den Textilien seitens Textilservice, Leasingnehmer/innen und Nutzer/innen

Während der Projektlaufzeit spielen für die Nutzungsphase vor allem psychologische Rebound-Mechanismen potenziell eine Rolle. Für das Projektteam und den Textilservice kann sich dies in eine Kommunikationsaufgabe übersetzen: Die Leasingnehmer/innen und die Nutzer/innen der Textilien würden dann insbesondere bei einem Umstieg von Privat- oder Lohnwäsche auf Mietwäsche für Rebound-Effekte sensibilisiert werden müssen. Ihnen müsste klarwerden, dass sie trotz des Einsatzes umweltfreundlicherer Textilien weder weniger stark auf die Schonung der Textilien oder sonstiges umweltfreundliches Verhalten achten dürfen noch zusätzliche Textilien einsetzen oder ordern sollten, sofern kein neuer Bedarf besteht.

Gleichzeitig darf auch der Textilservice selbst „Moral licensing“ nicht zum Opfer fallen, bspw. indem Textilien aus dem Grunde ihrer Kreislauffähigkeit frühzeitig ausgetauscht werden. Eine möglichst hohe Anzahl an Waschzyklen sollte für jedes einzelne Textil weiterhin oberstes Ziel sein.

Preispolitik

Mit Blick auf das Upscaling und über den Projektkontext hinaus, müssen zwei ganz wesentliche Rebound-Mechanismen hervorgehoben werden: Preis- und Einkommenseffekte. Sie spielen für viele beteiligte Akteure an unterschiedlichsten Wertschöpfungsstufen eine Rolle. Die DiTex-Textilien und andere kreislauffähige B2B-Textilien und assoziierte Dienstleistungen sowie Textilrohstoffe und -zwischenprodukte dürfen nicht günstiger als ihre konventionellen Pendanten angeboten werden. Außerdem sollten sie mit ähnlichen Nutzenversprechen und Qualitäten an die weitgehend selben Kundensegmente vermarktet werden. Sollten Preisunterschiede nicht vermeidbar oder argumentierbar sein, muss umso stärker für finanziell-bedingte Rebound-Effekte sensibilisiert werden. Diese Maßnahmen könnten zahlreiche ökonomische und CE Economy Rebound-Effekte verringern oder gar verhindern.

Fazit

Das DiTex-Projekt hat ambitionierte Ziele formuliert: Weniger Ressourcenverbrauch durch Design und Produktion rezyklierbarer B2B-Textilien und Schließung des textilen Stoffkreislaufs durch Mietwäsche-Anbieter und Auto-ID-Technologien. Um die Erreichung dieser Ziele nicht zu verfehlen, insbesondere vor dem Hintergrund auszubauender Ressourceneffizienzen, müssen frühzeitig Rebound-Risiken berücksichtigt werden. Deswegen wurden einerseits recht breit mögliche Rebound-Mechanismen und -Effekte im B2B-Textilsektor diskutiert und andererseits vier konkrete Handlungsfelder und Arbeitsaufträge für das DiTex-Projektteam benannt, die noch während der Projektlaufzeit zu bearbeiten und in der Dissemination von Projektergebnissen und Handlungsempfehlungen zu integrieren sind. Letztlich muss hierbei allerdings die limitierte empirische Untermauerung dieser Analyse berücksichtigt werden.

5.7.5 Fazit zum Labelvergleich

Der Labelvergleich hat sich als komplexe Aufgabe erwiesen: Allein die sich aufaddierende Menge an Anforderungen führt zu einer umfangreichen Datensammlung und Darstellung. Zusätzlich erschwerten die strukturellen, methodischen und inhaltlichen Unterschiede der betrachteten Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards den Vergleich. Trotzdem - oder vielleicht gerade deshalb - ist ein Labelvergleich eine sinnvolle Methode, um die vielfältigen Anforderungen an nachhaltige Textilien transparent zu machen und übersichtlich darzustellen. Im Vorhabenskontext von DiTex flankiert diese Betrachtung sozialer und ökologischer Aspekte entlang des textilen Lebenszyklus die Aspekte „Kreislauffähigkeit“ und „Leasingtauglichkeit“, auf denen der explizite Vorhabenfokus liegt. Zudem ergänzt die Betrachtung die Ergebnisse der Ökobilanzbewertung und der Rebound-Effekt-Untersuchung zu einer gesamtheitlicheren Nachhaltigkeitsbewertung der Textilien. Die Ergebnisse des Labelvergleichs zeigen, dass die betrachteten Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards die DiTex-Kernthemen (Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit) nur marginal adressieren: Sie stellen nur wenige Anforderungen an das Produktdesign, die Nutzungsphase und das End-of-Life-Management. Die EU GPP-Kriterien stellen hier eine Ausnahme dar. Im Sinne der Leasingtauglichkeit und Kreislaufführung von Textilien sollten diese Kriterien weiter ausdifferenziert werden. An dieser Stelle lassen sich von dem C2C-Standard Ansätze und Empfehlungen übernehmen. Der C2C-Standard stellt vor allem die Anforderung, den Anteil an kreislauffähigen Materialien im Produkt pro Zertifizierungs-Level zu erhöhen. Zudem verlangt der Standard die Entwicklung von Unternehmensstrategien und den Aufbau von Partnerschaften, um kreislauffähige Prozesse zu implementieren.

Die Analyse der DiTex-Textilien lässt noch viele Fragen unbeantwortet. Da das Produktdesign, die einzelnen Zutaten und der Herstellungsprozess von den Verbundpartnern bewusst, soweit möglich und sinnvoll, nachhaltig gestaltet wurde, ist zu erwarten, dass die DiTex-Textilien den Großteil der definierten Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen könnten. Mit Stand Dezember 2021 liegen dem IÖW die erforderlichen Zertifizierungen und Nachweise der Unternehmen nicht oder nur teilweise vor, sodass noch keine abschließende Beurteilung möglich ist. Sie zu erreichen, wäre im weiteren Projektverlauf wünschenswert, aber keinesfalls zwingend.

6 Marktdialoge

Das Projektvorhaben DiTex beinhaltet Marktdialoge, um relevante Akteure lösungsorientiert einzubinden und auch zu vernetzen. Als Basis für das Funktionieren dieses Netzwerks war angestrebt, im Format der Marktdialoge eine ausgeprägte Informationskultur zu etablieren. Die Veranstaltungen dienen dem Austausch der Verbundpartner mit der Textilwirtschaft, Beschaffungsverantwortlichen von Ländern und des Bundes und politischen Entscheidungsträger/innen, um die kunden- und marktseitigen Prämissen und Herausforderungen im Kontext zirkulärer und leasingtauglicher Berufskleidung und Bettwäsche frühzeitig zu berücksichtigen.

Das IÖW verantwortete die fünf durchgeführten Marktdialoge, das Format, die inhaltliche Konzeption sowie das Veranstaltungs- und Teilnehmendenmanagement inklusive Dokumentation. Eine ausführliche Dokumentation aller Inhalte und Materialien findet sich auf der DiTex-Website.

Der erste von fünf Marktdialogen fand am 9. Dezember 2019 in Frankfurt am Main statt. Die Beiträge der Teilnehmenden bestätigten die Komplexität des Themas. In der Theorie waren sich alle Beteiligten des Handlungsdruckes hin zu nachhaltigeren Prozessen einig gewesen und teilten die Einschätzung, dass die Branche in der Praxis noch ganz am Anfang ist. Der erste Marktdialog sollte daher allen Beteiligten die Möglichkeit geben, diese Thematik kennenzulernen und einen Austausch von bestehenden und neuen Ideen zu fördern. Beim ersten Treffen ging es daher um das Kennenlernen und Vorstellen von Unternehmen, Konzepten und dem DiTex-Projekt an sich. Zunächst stellte Ina Budde ihr Start-up circular.fashion, deren Tätigkeitsbereiche und Ansätze sowie ihre Rolle im DiTex-Projekt vor. Sie bezog sich dabei auf ein Businesshemd und Bettwäsche als Referenzprodukte des DiTex-Projekts und durchspielte im nächsten Schritt drei mögliche, nachhaltigere Designkonzepte und Szenarien. Ina Budde und Martijn Witteveen von der Dibella GmbH befragten dann die Teilnehmenden zu den Anforderungen, die sie im Allgemeinen an Bettwäsche und speziell an eine kreislauffähige Variante des Produkts hätten. Dabei wurden u.a. die Funktionalität, der Komfort, die Wirtschaftlichkeit, Ästhetik und Nachhaltigkeit diskutiert. Das Konzept und Alleinstellungsmerkmale von DiTex wurden gemeinsam erarbeitet und geschärft. Die Strategie sollte sein, nicht den Preis in den Fokus zu stellen, sondern die Werthaltigkeit des Produktes aufzuzeigen.

Der Marktdialog II fand am 5. Februar 2020 statt. Die Ziele der Veranstaltung waren es, die Funktionsweise und Nachhaltigkeitspotenziale im B2B-Textilservice zu beleuchten. Die Branche hat ein nachhaltiges Selbstbild, denn stabile Qualitäten ermöglichen viele Waschzyklen und damit potenziell lange Produkt-Lebensdauern. Der zweite Marktdialog sollte außerdem öffentliche und gewerbliche Großverbraucher mit Vertreter/innen von Textilservices zusammenbringen. Die einen sind Hersteller von Miet-Textilien, die anderen (potenzielle) Abnehmer. Nachdem das Projektvorhaben DiTex vorgestellt wurde, stellte Martin Hartwigsen als Vertreter des Industrieverbands a-i-m den Verband selbst sowie Funktionsweise, Vor- und Nachteile verschiedener Trackinglösungen im Textilservice vor. Im Anschluss wurde der Zusammenhang von RFID und Nachhaltigkeitseffekten diskutiert. Da das DiTex-Projekt auf das Leasing-Konzept fokussiert, muss eine reibungslose Logistik gewährleistet werden: Der Warenausgang muss funktional gestaltet sein, es ist eine optimierte Tourenplanung nötig, die auch saisonale oder situationale Aspekte berücksichtigt, und eine unkomplizierte Abgabe der Wäsche muss gewährleistet sein. Diskutiert wurden hierzu die Erfahrungswerte der Teilnehmenden zu verschiedenen Fragenkomplexen.

Der dritte Marktdialog am 7. Mai 2020 wurde, anders als zunächst geplant, in Form eines Online-Webinars mit dem Titel „Textile Recycling - On the Verge of a Market Breakthrough“ durchgeführt. Hauptzielgruppe war das DiTex-Konsortium. Um bestehende Forschungslücken zu schließen, hat das staatlich geförderte DiTex-Projekt diesen Workshop ins Leben gerufen. Er umfasste Expertenvorträge und vertiefende Diskussionen, um einen detaillierten Einblick in verschiedene Aspekte des Textilrecyclings zu geben, wie z.B. eingesetzte Technologien, Qualitäten, Kapazitäten, erforderliche Infrastruktur und Logistik sowie Rentabilität, Kundenportfolio und aktuelle Herausforderungen. Der Zusammenschluss des DiTex-Projekts suchte insbesondere nach Antworten zu der Funktionsweise der unternehmensspezifischen Textilrecyclingprozesse und Umfang derzeitiger Beschränkungen der Input- und Outputmaterialien, wie z.B. welche Materialien und Stoffqualitäten können (oder dürfen nicht) verarbeitet werden und warum. Außerdem war das Ziel, ein genaueres Verständnis von Recycling als Teil einer Kreislaufwirtschaft zu bekommen. Geschäftsführer/innen von Recyclingunternehmen erläuterten ihre spezifischen Recyclingtechnologien im Detail: Arbeitsablauf, stofflicher Input, Verarbeitungshilfsmittel, Output, Zeitplan und finanzieller Rahmen. Wo immer verfügbar, wurden Informationen über die Dimension der derzeit im Recyclingprozess benötigten Hilfsparameter (z. B. Energie, Wasser oder Chemikalien) gegeben und die Eigenschaften (Beschaffenheit, Qualität) des Materialoutputs der Textilrecyclingprozesse beschrieben. Die Referentinnen und Referenten gaben Hintergrundinformationen zu ihren Kooperationen in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette.

Am 10. September 2020 fand eine Produktpräsentation der DiTex-Produkte mit anschließendem Fachgespräch statt. Vertreter/innen von Textilherstellern und -zulieferern, Beschaffungsverantwortliche, Entscheider/innen von öffentlichen Stellen und weitere Fachleute über die Akzeptanz von kreislauffähigen Textilien und die Übertragbarkeit der DiTex-Erkenntnisse auf andere textile Produkte und – perspektivisch – auf die gesamte Textilwirtschaft. Diese Veranstaltung war kein Marktdialog, folgte aber dem gleichen Format und dem gleichen Ziel der Vernetzung von Akteuren einer möglichen zirkulären B2B-Textilwirtschaft.

Der Marktdialog IV fand am 5. Oktober 2021 in Frankfurt/Main statt. Eingeladen wurden Mietwäscheanbieter, Beschaffer/innen und Entscheider/innen von Konzernen und öffentlichen Stellen zum fachlichen Austausch. Die Rahmenbedingungen rund um verfügbare Mengen und Qualitäten an Rohstoffen, Produkten und Rezyklaten sowie deren Sourcing, Nachverfolgbarkeit, Transport und Recycling sind für eine nachhaltige und kreislauffähige B2B-Textilwirtschaft entscheidend. Der Marktdialog war daher dem Themenkomplex „Versorgungssicherheit“ gewidmet. Die Referent/innen betrachteten und diskutierten mit den Teilnehmenden eine zirkuläre Textilwirtschaft zwischen globalen Krisen und Nearshoring, Möglichkeiten und Herausforderungen in einer zirkulären Textilwirtschaft aus Sicht der Logistik und den Marktchancen für professionell genutzte zirkuläre Textilien.

Der fünfte und letzte Marktdialog wurde am 3. November als Online-Konferenz zum Thema der Zertifizierung von Kreislauffähigkeit und Leasingeignung durchgeführt. Eingeladen wurden Vertreterinnen und Vertreter von Siegelorganisationen sowie aus dem Bereich der Textilnachhaltigkeitszertifizierung und der öffentlichen Beschaffung. Ein Themenschwerpunkt des Marktdialogs V war die mögliche Einbettung von einerseits Kreislauffähigkeit und andererseits Recyclingmaterialien in bestehende Textilnachhaltigkeitsstandards. Den zweiten Schwerpunkt bildete der Circular Product Check von circular.fashion. Übergreifend wurden Hindernisse für die Standardisierung von Kreislauffähigkeit und Recyclingmaterialien diskutiert, wie z.B. hoher zu erwartender

Zusatzaufwand für Siegelnehmer, fehlende Rückverfolgbarkeit von Recyclingmaterialien und kreislaufgeführten Materialien, fehlender Datenstandard und mangelnder Austausch zwischen Siegelorganisationen.

Eine Dokumentation der Marktdialoge I, II, IV und V sowie der Produktpräsentation ist auf der DiTex-Webseite öffentlich zugänglich.

7 Zusammenfassende Reflexion

In diesem Kapitel wird auf **erste und vorläufige Erkenntnisse** aus dem DiTex-Vorhaben eingegangen. Zunächst werden die wichtigsten neuen Erkenntnisse zusammengefasst (Kap. 7.1), danach werden erste Hinweise auf bestehende Forschungslücken gegeben (Kap. 7.2). Abschließend steht die Übertragbarkeit der DiTex-Erkenntnisse auf die gesamte B2B-Textilwirtschaft im Fokus des Kapitels 7.3.

7.1 Neue Erkenntnisse

Geschäftsmodelle

Das Geschäftsmodell für den Absatz der DiTex-Textilien ist eine Weiterentwicklung der im Textilservice gängigen B2B-Geschäftsmodell zur gewerblichen Vermietung bzw. dem Leasing von Textilien. Dieses fand in den letzten Jahren angesichts der Diskussionen um eine Circular Economy und Dienstleistungskonzepte erhebliche Aufmerksamkeit. Das professionelle Dienstleistungsversprechen der Vermietung bzw. des Leasings von gewerblich genutzten Textilien kann in einen textilen Kreislauf eingebettet werden. Damit wird der Textilservice zu einem Treiber einer CE – mindestens im Bereich B2B –, was es kommunikativ hervorzuheben und auszubauen gilt: Der Textilservice sollte sein Nutzenversprechen in Richtung weiterer Nachhaltigkeitsziele ausbauen, die bisherigen Wertschöpfungsaktivitäten modifizieren, etwa durch den Einsatz von kreislauffähiger Bekleidung, und verstärkt mit Recyclingunternehmen kooperieren. Gerade der Umgang mit Textilien, die nicht mehr eingesetzt werden und aussortiert wurden, birgt erhebliche ungenutzte Potenziale für die Kreislaufführung, die gemeinsam mit Recyclern erschlossen werden können.

Digitalisierung

Der Einsatz von Auto-ID-Technologien ist im B2B-Teil der Textilwirtschaft noch nicht ausgeprägt, die Potenziale sind bei weitem nicht ausgeschöpft. Insofern kann eine zunehmende Digitalisierung als eine strategische Marktchance verstanden werden, die Win-win-Potenziale eröffnet, also ökonomische Einsparungen mit ökologischen Benefits zu verbinden verspricht. Dazu bedarf es jedoch einerseits einer Standardisierung der ID-Technologien, deren Einführung bisher oft an den Ressourcen und Kompetenzen der Textilwirtschaft seine Grenzen findet: Deswegen ist gezielt die bisherige technologische und organisationale Wissensbasis in den Unternehmen auszubauen sowie auch die Finanzmöglichkeiten der Unternehmen zu verbessern, um die Erstinvestitionen bewältigen zu können.

Wertschöpfungskette

Die Transformation der bisherigen linearen textilen Kette in ein zirkuläres Modell erfordert die Neuausrichtung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Gerade die Zusammenarbeit mit Unternehmen der Recyclingwirtschaft ist erforderlich, um einen Schwenk in Richtung eines zirkulären Wirtschaftens zu vollziehen und Alttextilien wieder in den Kreislauf zurückzuführen. Besondere Aufmerksamkeit verdient dabei der Umgang mit aussortierten Textilien des Textilservice: Diese Textilien können als Rohstoffquelle verstanden werden, deren Nutzung bisher weitgehend unerschlossen ist.

Damit verbunden ist die Zusammenarbeit mit Rohstofflieferanten, etwa aus dem Bereich der Baumwolle oder von rezyklierten Polyesterfasern. Dabei geht es um quantitative Verfügbarkeit von Rohstoffen, aber auch um deren Qualitäten. Durch eine Zusammenarbeit könnten die bisherigen Probleme vermindert und Marktrisiken reduziert werden.

Design und Gestaltung

Die in DiTex pilotierten Textilien sind recyclingfähig in vorhandenen Recycling-Stoffströmen. Für das Poloshirt und das Polizeihemd wurde dies auch anhand des Circular Product Checks belegt. Die entwickelten Prototypen der ersten DiTex-Generation erfüllen weitgehend die Anforderungen des Einsatzes im gewerblichen Leasingbereich. Dazu beigetragen hat ein eher schlichtes Design, die Einfarbigkeit sowie der Einsatz nur weniger Zutaten. Damit grenzen sie sich auch von dem Bereich der B2C-Textilien ab, die vielfach auf schnelllebiges Modetrends setzen und vor dem Ende ihrer Nutzbarkeit aus modischen Gründen aussortiert werden.

Kundschaft

Die drei DiTex-Textilien fokussieren auf den B2B-Markt, also einen textilen Teilmarkt. Dieser Markt der gewerblichen Beschaffung und Nutzung von Textilien hat in Deutschland eine erhebliche Bedeutung: 34 von 42 Millionen Beschäftigten in Deutschland werden mit Arbeits- und/oder Schutzkleidung versorgt. Die dafür verantwortlichen Beschaffungsstellen – öffentliche und gewerbliche – haben damit eine beträchtliche Marktmacht, um nachhaltige textile Standards zu setzen und damit einen erheblichen Teil der textilen Nachfrage auf die Erfüllung von Nachhaltigkeitsstandards auszurichten: Sie können als Schlüsselakteure dem Markt neue Spielregeln vorgeben, sie wären eine Art „Game changer“ im textilen Sektor und könnten eine Markttransformation vorantreiben.

Eine neue Ausrichtung der Beschaffung von gewerblichen Textilien bedarf einer Verbesserung des textilen Know-Hows bei den Beschaffungsstellen, der erhöhten Aufmerksamkeit dieser Stellen auf die Zirkularität als Beschaffungskriterium sowie ihrer Innovationsoffenheit.

Gleichzeitig ist es erforderlich, dass mögliche Vorbehalte der Nutzer/innen durch eine gezielte Aufklärungsarbeit abgebaut und damit das Image sowie die Akzeptanz von recycelten Textilien verbessert werden. Die Nachhaltigkeit sollte in diesem Kontext als zusätzliches Nutzenversprechen hervorgehoben und als Teil der Corporate Identity betont werden.

Nachhaltigkeitskennzeichnung

Im Bereich der Textilien gibt es eine Vielzahl verschiedener Nachhaltigkeits- und Umweltzeichen, einige wichtige wurden in diesem Bericht zur Beurteilung der potenziellen Erfüllung der Vergabeanforderungen durch die DiTex-Textilien herangezogen. Dabei zeigt

sich, dass die betrachteten Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit bisher nur marginal adressieren: In ihren jeweiligen Vergabebedingungen werden nur wenige Anforderungen an das Produktdesign, die Nutzungsphase und das End-of-Life-Management gestellt. Im Sinne der Leasingtauglichkeit – und damit auch mit Blick auf eine Rolle des Textilservices – und einer zirkulären textilen Kette sollten diese Kriterien in den Nachhaltigkeitskennzeichen integriert werden.

Das Produktdesign der DiTex-Textilien, die einzelnen Zutaten und die Herstellungsprozesse wurden von den Verbundpartnern – soweit möglich und sinnvoll – nachhaltig gestaltet. Es ist zu erwarten, dass die DiTex-Textilien den Großteil der definierten Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen könnten, dies stand jedoch nicht im Mittelpunkt des Vorhabens.

Nachhaltigkeitspotenziale

Die bisherigen Übersichtsökobilanzen geben eine gewisse Richtungssicherheit: Die entwickelten DiTex-Textilien können als ökologisch vorteilhafter als die bisher eingesetzten betrachtet werden. Dies lässt sich auf die Substitution von Primärfasern durch rezyklierte Fasern, den Einsatz von Biobaumwolle, die Erhöhung der Waschzyklen der Textilien sowie optimierte Prozessführungen zurückführen.

Allerdings stehen diese Nachhaltigkeitspotenziale noch vor ihrer empirischen Überprüfung in den Praxistests. Daneben sind die Herausforderungen von Reboundeffekten zu beachten. Diese wurden in diesem Bericht zunächst einmal erst in systematischer Weise konzeptionell skizziert, empirisch jedoch noch nicht untersucht.

7.2 Forschungslücken (in und nach DiTex)

Die DiTex_{Gen1} Textilien Bettwäsche, Poloshirt und Polizeihemd wurden für Anforderungen eines kreislauffähigen Produktdesigns entwickelt, produziert und befinden sich im Praxisversuch im Herbst/Winter 2021/22. Der Circular Product Check (vgl. Kap. 5.1.2 sowie Abbildung 35 bis Abbildung 37 im Anhang) bescheinigt die Kreislauffähigkeit der eingesetzten Materialien und Zutaten und macht Angaben zu möglichen Recyclingoptionen.

Die Nachhaltigkeitsbewertung umfasst Übersichtsökobilanzen (Kap. 5.2.5, 5.3.5 und 5.4.5), Labelvergleich (Kap. 5.6.2) und literaturbasierte Betrachtung potenzieller Reboundeffekte (Kap. 5.7.4). An den Prototypen/Produktmustern wurden im Vorfeld der Praxistests ausführliche Qualitätsbewertungen in Form von Waschtests und Textilprüfungen (Kap. 5.1.3 sowie 5.2.4, 5.3.4, 5.4.4) durchgeführt, die bescheinigen, dass hochwertige Materialien zum Einsatz gekommen sind, die anspruchsvollen Anforderungen an Leasingtauglichkeit genügen und von denen deshalb eine sehr gute Performance auch über viele Waschzyklen erwartet wird. Verglichen wurden die Testergebnisse der DiTex Prototypen mit den Qualitätsstandards HQS 701ff, die wiederum auf klassischer Berufsbekleidung bzw. Hotelwäsche basieren.

Einschränkend ist anzumerken, dass die Erkenntnisse zu Kreislauffähigkeit und Leasingtauglichkeit bisher überwiegend theoretisch, weil literatur- und laborbasiert sind. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens ist das legitim und dem Projektplan angemessen. Die praktische Erprobung in Praxistests findet – coronabedingt verzögert – im Herbst/Winter 2021/22 statt.

Qualitätsprüfungen erfolgen während und nach den Praxistests. Die Textilien sollen bis zu 100 Waschzyklen durchlaufen. Die Nachhaltigkeitsbewertung wird ergänzt um Daten der Wäschereien, die Serviceleistungen der DiTex-Textilien im Rahmen des Vorhabens erbringen.

Das verwendete rPES in DiTex-Poloshirt_{Gen1} (100%) und DiTex-Polizeihemd_{Gen1} (38% rPES / 62% Baumwolle kBA) zeigt bei den Textilprüfungen gute Qualitätswerte und ist für Miettextilien geeignet.

Die DiTex-Bettwäsche besteht aus 50% Lyocell Refibra / 50 % rPES. Der Rohstoff der Lyocell Refibra basiert auf ca. 20 % Alttextilien (Denim, Baumwolle) und ca. 80% virgin Cellulose (z.B. Buche). Auch die Prüfergebnisse der Bettwäsche zeigen eine gute Qualität und sind für die Miettextilien geeignet.

Um den Einfluss der Anzahl der Waschzyklen in der Wäscherei auf die Qualität der Produkte und damit dem zu recycelnden Material herauszufinden, werden die Qualität in der industriellen Wäsche an drei Waschzyklenstufen (nach 15, 30 und 100 Wasch- und Trockenzyklen) gemessen und die potenziellen Veränderungen dokumentiert.

Die Tragezyklen und damit die Waschzyklen finden aus organisatorisch/logistischen und coronabedingten Gründen nicht im geplanten Umfang statt. Das bedeutet, dass eine geringere Anzahl der Textilien für die Qualitätsprüfung zur Verfügung steht und es noch nicht gesichert ist, ob die ausgewerteten Ergebnisse auch bei einem höheren Prüfumfang gelten. Die Expertise der DiTex-Teammitglieder erwartet hier keine signifikanten Veränderungen.

Das DiTex-Poloshirt_{Gen1}, das aus 100 % Polyester besteht, wurde von den Testpersonen nur mit Einschränkungen akzeptiert. Fasermischungen aus Polyester und einem Anteil aus Baumwolle oder Lyocell werden von Nutzer/innen eher akzeptiert. Die positiven Eigenschaften der Fasern wie z.B. Strapazierfähigkeit, Knitterarmut (PES) und z.B. Hautfreundlichkeit, Geruchsarmut (BW, CLY) ergänzen sich und erzeugen ein angenehmes Tragegefühl. Demgegenüber steht die unkomplizierte Rezyklierbarkeit von Monomaterialien. Es ist nicht zu erwarten, dass bis zum Vorhabensende geklärt ist, wie die Akzeptanz von Poloshirts aus 100% Polyester erhöht werden kann.

Basierend darauf stellt sich die Frage, ob die Qualität der DiTex_{Gen2} Produkte nach dem Recyceln aufrechterhalten werden kann. Ebenso ist offen, wie häufig die Produkte recycelt werden können, und wie sich die Qualität der Produkte im Laufe der Recyclingzyklen verändern. Ob die DiTex-Textilien wirklich kreislauffähig sind, kann eigentlich erst nach dem avisierten Recycling, das möglicherweise noch im Projektrahmen stattfinden wird, und einer Produktion der DiTex_{Gen2} Textilien abgeschätzt werden. Jedoch wird letztere nicht mehr im Rahmen des Vorhabens durchgeführt werden können.

Bekleidungstextilien aus unterschiedlichen Materialien vereinen die positiven Eigenschaften der Rohstoffe miteinander und erhöhen damit den Tragekomfort, beeinflussen die Pflegeeigenschaften und Dauerhaftigkeit positiv und steigern die Akzeptanz der Bekleidung. Diese Materialien nach Produktlebensende wieder zu trennen ist die Herausforderung in der Kreislaufwirtschaft. Die Verfahren dazu sind neu und werden innerhalb des Projektes DiTex getestet.

Für Textilien, die aus verschiedenen Werkstoffen bestehen, befinden sich die sortenreine Materialtrennung und das chemische Recyceln noch in der Entwicklungsphase. Es steht noch keine Industrieanlage zur Verfügung. Diese Verfahren sind bis zum Vorhabensende nicht erprobt und deshalb keine kurzfristigen industriellen Lösungen.

Ohne entsprechende Daten aus dem chemischen Recyceln fehlen relevante Informationen, die eine Basis für eine Ökobilanzierung (LCA) bilden.

Digitales Informationsmanagement als Technologie ist State-of-the-Art und wird deswegen auch bei DiTex genutzt. Um die Eignung von möglichen RFID Tags in Waschprozessen zu ermitteln, wurde von HIT in Kooperation mit circular.fashion ein Auslesetest durchgeführt. Auf dieser Basis erfolgte die Auswahl der eingesetzten RFID Tags (vgl. Kap. 5.5).

Die am DiTex-Praxistest teilnehmenden Wäschereien verfügen über ein digitales Informationsmanagement und nutzen dies für die Logistik (Warenein- und ausgang). Der Grad der Nutzungstiefe ist je nach Wäscherei unterschiedlich. Das Nutzungspotential der RFID Tags wird i.d.R. nicht voll ausgeschöpft.

Die Information zur Materialzusammensetzung und -herkunft wird bislang noch nicht getrackt. Im Praxistest ist vorgesehen, die Materialdaten des DiTex-Poloshirt_{Gen1} und des DiTex-Polizeihemd_{Gen1} mit der ID des RFID Chips zu verknüpfen. Die Erfassung der Daten in einer Tabelle erfolgt über den Hersteller (DiTex-Polohemd_{Gen1} und DiTex-Polizeihemd_{Gen1}: Fa. Weishäupl), die Speicherung auf den RFID Chips stellt circular fashion sicher.

Das Tracking der Recycling-Outputs und der gesamte Herstellungsprozess identischer Textilien der DiTex_{Gen2} kann innerhalb des Vorhabens nicht erprobt und bewertet werden.

Zusammenfassend ergeben sich derzeit folgende Forschungsbedarfe:

- Realisierung eines vollständigen Recyclingprozesses
- Herstellung von Fasern aus dem gewonnenen Rezyklat
- Fertigung der DiTex_{Gen2} Produkte
- Test der DiTex_{Gen2} Produkte
- Erstellung einer Ökobilanz aus den dabei gewonnenen Daten
- Akzeptanz bei der Kundschaft
- Kunden/innen bzw. Nutzer/innenanforderungen.

7.3 Übertragbarkeit auf gesamte B2B-Textilwirtschaft

Das Geschäftsmodell des B2B-Textilservice kann als Benchmark auf dem Weg in eine textile Kreislaufwirtschaft gesehen werden. Die Implementierung eines funktionierenden textilen Kreislaufes für B2B-Textilien ist durch das Modell des B2B-Textilservice wesentlich einfacher und praktikabler als für B2C-Textilien. Eine erfolgreiche Übertragbarkeit des Modells auf die gesamte B2B-Textilwirtschaft ist jedoch an eine Reihe von Voraussetzungen geknüpft und bedarf der Beachtung von verschiedenen Aspekten. Diese adressieren sowohl ökologische, technische und ökonomische als auch politische Kriterien. Diese wurden im Rahmen des DiTex-Projektes in Marktdialogen und Fachgesprächen identifiziert und interpretiert (vgl. Kap. 6).

Technische Kriterien

Faktisch betrachtet ist der textile Kreislauf noch nicht geschlossen: Die Verbindung zwischen der textilen Prozesskette (Textilindustrie) und den Recyclingunternehmen muss im Sinne

einer regionalen Wertschöpfungskette verstärkt werden. Die textile Produktionskette befindet sich weitestgehend im Ausland, mit einem Schwerpunkt in Asien. Eine textile Kreislaufführung erfordert eine massive strukturelle Transformation bei allen Akteuren, dazu gehört auch der Aufbau von Recyclingsystemen. Die Rückführung auf regionale Fertigungsbetriebe („Reshoring“) ist hochkomplex und extrem herausfordernd. Die globale Wettbewerbsfähigkeit wird dadurch erschwert. Um hier entgegenzusteuern, bedarf es des Willens zahlreicher zivilgesellschaftlicher Organisationen, Institutionen und Unternehmen rund um den Globus.

Eine Herausforderung ist sicherlich auch die Frage, welche Rohstoffe (Faserzusammensetzungen) mit vertretbarem Aufwand so chemisch recycelt werden können, dass die ursprüngliche Faser- bzw. Polymerqualität wiederhergestellt werden kann. Das DiTex-Vorhaben befasst sich mit wenigen textilen Rohstoffen (Polyester, Lyocell, Baumwolle). Eine direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Rohstoffe ist nicht gegeben. Jedes weitere Produkt sollte auf Recyclingfähigkeit geprüft werden und entsprechend angepasst werden, z. B. durch belastbare Pilotprojekte. Zu beachten sind hierbei auch etwaige Ausrüstungen, Farbstoffe und Beschichtungen der Textilien. Dies gilt vor allem für Funktionstextilien und persönliche Schutzausrüstung. Für eine Übertragung auf andere textile Anwendungen und für eine Validierung der Eignung von Textilien zum Recycling sind z. B. Bettwäsche aus Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen oder Arbeitsbekleidung (Corporate Identity-Oberbekleidung bspw. der Eventbranche, Luft-, Schienen- und Busverkehr, Messebau, Einzelhandel) geeignet.

Ein chemisches Recyceln sollte erst nach dem Ende der Kaskadierung (z. B. weitere Verwendung in anderer Funktion) durchgeführt werden. Die Recyclingfähigkeit und Langlebigkeit eines Produktes sollten bereits beim Design berücksichtigt werden. Um die Reparatur eines Textils einfach zu halten, ist ein modulares Design vorteilhaft. Wenn für eine Reparatur Ersatz benötigt wird, sollten die benötigten Garne, textilen Flächen und Zutaten einfach zu beschaffen sein. Eine Reparatur sollte mit marktverfügbaren und bekannten Vorprodukten umsetzbar sein.

Grundsätzlich ist ein Informationstransfer entlang der Wertschöpfungskette notwendig. Es existieren verschiedenen Methoden, z.B. Tracking-IDs (RFID, Data Matrix Code) oder Faserkennzeichnung. Die Nutzung für die Sortierung und das Recycling im B2B-Wäsche Bereich ist derzeit noch wenig erprobt und noch nicht etabliert.

Textilservice

Bei Mietwäsche oder Leasingtextilien sollte deren Recyclingfähigkeit bereits bei der Beschaffung berücksichtigt werden. Damit die Rücknahmelogistik gesichert wird, müssen innerhalb der Branche Kooperationen gebildet werden. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist der Marktanteil an Mietwäsche zu erhöhen. Zunächst zieht die Umstellung auf Mietwäsche Mehraufwand im Textilservice mit sich. Zu untersuchen ist, unter welchen Bedingungen sich diese Umstellung möglichst schnell amortisiert. Weiterhin sollte geklärt werden, ob bei Einbindung des Textilservices die Mietwäsche sinnvoll kaskadiert werden kann. Offen ist auch, ob eine Kreislaufwirtschaft für Wäschereien ökonomisch vorteilhaft ist.

Infrastrukturelle Herausforderungen

Neben dem Aufbau von chemischen Recyclinganlagen, die Faserfraktionen trennen können, und der entsprechenden Logistik, sollte ein Umbau der textilen Kette stattfinden. Dieser Umbau zur Kreislaufwirtschaft im laufenden Betrieb ist sehr herausfordernd.

Erfolgsversprechend ist eine – zumindest teilweise – Rückführung der Wertschöpfungskette in die Region. Als vulnerable Bereiche des Umbaus können identifiziert werden:

- Fehlendes qualifiziertes Personal in den Regionen.
- Fehlende Infrastruktur: Die früher vorhandene Infrastruktur wurde durch die Verlagerung nach Asien größtenteils in Deutschland abgebaut und anderen Nutzungen zugeführt.
- Vorhandene und neu auf dem Markt befindliche Akteure müssen gut vernetzt und deren Synergien besser genutzt werden.
- In den Betrieben müssen Arbeitsabläufe geändert werden. Hierbei kann es zu Verzögerungen im laufenden Betrieb kommen.
- Die Textillogistik muss der Kreislaufwirtschaft angepasst werden. Das soll möglichst ohne Lieferverzögerungen bei laufenden Aufträgen passieren.

Neben dem Nachhaltigkeitsnutzen werden bei einem gelungenen Umbau ebenfalls ein ökonomischer und gesamtgesellschaftlicher Nutzen entstehen.

Das Interesse der Textilwirtschaft ist vorhanden. Die wertvolle Mitarbeit der Unternehmen in Forschungsvorhaben wie etwa DiTex zeigt das beispielhaft.

Ökobilanzen und Reboundeffekte

Mittels der durchgeführten Übersichtsökobilanzen konnte gezeigt werden, dass die im DiTex-Vorhaben konzipierten und angewandten Produktdesigns aus Umweltschutz- und Nachhaltigkeitssicht Vorteile gegenüber gängigen Referenzprodukten aufweisen können. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse können zwar teilweise auf andere Textilien übertragen werden, jedoch befinden sich die Prozesse und Kapazitäten beim chemischen Recycling noch in der Pilotierungsphase, so dass zum einen die Kapazitäten erheblich ausgebaut werden und zum anderen positive Nachhaltigkeitseffekte (Ressourceneffektivität, Chemikalienrückgewinnung usw.) durch weitere Ökobilanzen und Sensitivitätsanalysen verifiziert und Reboundeffekte vermieden werden müssen. So werden bspw. Abfälle wertvoller, die in eine Ressource verwandelt werden. Dadurch erhöht sich das Risiko eine größere Nachfrage nach diesen Abfällen zu schaffen. Die Gefahr ist gegeben, dass eine Kreislaufwirtschaft auch die lineare Wirtschaft antreibt („Waste-Ressource-Paradox“).

Der Preis für die recycelten Textilien sollte dem Preis der konventionellen Textilien angepasst werden. Bei großen Preisunterschieden zu Ungunsten der recycelten Ware werden sich diejenigen, die Mietwäsche nutzen, wahrscheinlich für das kostengünstigere Produkt entscheiden. Die Situation ist sehr komplex. Hier ist anzustreben, dass sich die Wertschätzung für textile Produkte in der Gesellschaft erhöht, so dass ein angemessener Preis für qualitätsvolle Ware gezahlt wird.

Politik und Gesellschaft

Von der Politik wird ein klares Bekenntnis zur Kreislaufwirtschaft erwartet. Dieses kann z. B. im Green Deal und dem CEAP der EU und auch in den Vergabekriterien für den öffentlichen Einkauf manifestiert werden. Vorstellbar sind Innovationsförderungen entsprechender (chemischer) Recyclinganlagen und für die Infrastruktur. Auch gezielte Steuererleichterungen tragen dazu bei, eine qualifizierte Kreislaufwirtschaft im Textilservice anzustoßen. Textile Transformation bedeutet, dass ein sinnvolles, durchführbares Konzept erstellt wird, das den Prozess beschreibt. Eine moderierende Begleitung der Transformation

(Transformationsmoderation) dient dazu, die Akzeptanz der Veränderungen sowohl in Großunternehmen als auch bei KMU, der Gesellschaft und der Politik zu erhöhen. Damit die Akzeptanz steigt, sollte der Umbau transparent und nachvollziehbar erfolgen. Dazu gehört auch, dass sich der Label-Dschungel lichtet. Das würde bedeuten, dass die Nachhaltigkeitsstandards (auch Label) weiterentwickelt, harmonisiert und ggf. modularisiert werden. In der Bevölkerung muss die Wertschätzung für Textilien erhöht werden. Dazu zählt das Erkennen der Qualität eines Kleidungsstückes sowie das generelle Wissen um den zur Herstellung von Bekleidung erforderlichen Aufwand. Parallel dazu soll die Rückgabe von Alttextilien durch smarte Rückführungssysteme vereinfacht werden.

8 Ausblick: Nächste Schritte im DiTex-Vorhaben

Für 2021/22 sind Praxistests aller drei DiTex-Textilien (Nutzung und Tragen sowie gewerblicher Textilservice) terminiert. Der siebenmonatige Praxistest der Bettwäsche startete mit der Auslieferung der Textilien an die Testanwender im Juni 2021. Die Tragetests von Poloshirt und Businesshemd folgen im September 2021 mit einer Länge von vier bzw. fünf Monaten. Der jeweilige Textilservice sorgt im Rahmen einer regelmäßigen Dienstleistung (ca. wöchentlich) für das Bringen der sauberen Ware, das Abholen der Schmutzware, das Waschen und die Pflege der Textilien sowie eventuelle Reparaturen an diesen. Die Hersteller Wilhelm Weishäupl e.K. und Dibella GmbH verantworten die Übergabe der Ware an die Textilservices vor Beginn der Praxistests sowie die Rückführung der Artikel an die Recycler nach dem Ende.

Während der Praxistests findet ein prozessbegleitendes Monitoring und im unmittelbaren Anschluss an diese Testnutzung bei den Großverbrauchern eine weitere Prüfserie statt. Die textiltechnologischen Prüfungen an den pilotierten Textilien werden wieder vom HIT durchgeführt und durch die HSRT wissenschaftlich unterstützt. Ein ergänzendes Monitoring der Performance der Textilkomposition erfolgt via Tracking-IDs durch HSRT und circular.fashion. Die Praxistests werden damit relevante Daten zu Qualitätsänderungen liefern, die am Vorhabensende bei der Formulierung abschließender Empfehlungen eine entscheidende Rolle spielen werden. Zudem werden die Ökobilanzen der drei DiTex-Textilien mit realen Daten aus den Praxistests präzisiert.

Nach den Praxistests ist ein Recycling der DiTex-Textilien durch Verwertungsunternehmen avisiert. Auch diese Abläufe werden Gegenstand von Prozessmonitoring, Tracking und Bewertung sein.

Zum Ende des Vorhabens ist 2022 eine Abschlussbewertung geplant, die die Anwendungserfahrungen hinsichtlich Aufwand, Nutzen, Erfolgchancen, Beitrag zur Ressourcenschonung, Übertragbarkeit und fördernde/hemmende Rahmenbedingungen für eine textile Kreislaufführung bündelt. In diesem Zuge werden zentrale Ergebnisse als Materialsammlung aufbereitet und gebündelt. Sie soll alle relevanten Dokumente aus den Analyse-, Dialog-, Test- und Bewertungsphasen umfassen. Zur Verbreitung der Ergebnisse ist vorgesehen, eine eintägige Konferenz mit etwa 100 Teilnehmenden aus Textilindustrie, Beschaffung und dem Textilservice durchzuführen.

9 Quellen

AlSCO. (o. J.). Nachhaltigkeit in Produkt und Dienstleistung. Zugriff am 6.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.alsco.de/nachhaltigkeit/>

Andersson, J., Berg, A., Hedrich, S., Ibanez, P., Janmark, J. & Magnus, K.-H. (2018). *Is apparel manufacturing coming home? Nearshoring, automation, and sustainability: establishing a demand-focused apparel value*. McKinsey&Company; McKinsey Apparel, Fashion & Luxury Group. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.de/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Deutschland/News/Presse/2018/2018-10-16%20Modeproduktion%20kehrt%20vermehrt%20nach%20Europa%20zurueck/McKinsey-Is-apparel-manufacturing-coming-home.pdf>

Anton-Katzenbach, S., Oerder, K. & von Rothkirch, C. (2020). *Branchenreport 2020: Berufs- und Schutzkleidung*. Köln: Marketmedia24. Zugriff am 3.1.2022. Verfügbar unter: https://www.marketmedia24.de/PDFs/Shop/Berufsbekleidung_PSA/Inhaltsverzeichnis_BR_Berufsbekleidung_2020.pdf

bardusch. (o. J.-a). Der bardusch Textilservice-Kreislauf für Mietwäsche. Zugriff am 4.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.bardusch.com/de/de/textilservice/service-kreislauf.html>

bardusch. (o. J.-b). Industriewäscherei Deutschland: Mietwäsche für die Industrie. Zugriff am 5.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.bardusch.com/de/de/unternehmen/standorte/industriewaescherei-deutschland.html>

Bartneck, N., Klaas, V. & Schönherr, H. (2008). *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID: Grundlagen, Problemlösung und Anwendungsbeispiele*. Berlin: Siemens.

Bech, N. M., Birkved, M., Charnley, F., Laumann Kjaer, L., Pigosso, D. C. A., Hauschild, M. Z. et al. (2019). Evaluating the Environmental Performance of a Product/Service-System Business Model for Merino Wool Next-to-Skin Garments: The Case of Armadillo Merino®. *Sustainability*, 11(20), 5854. <https://doi.org/10.3390/su11205854>

Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry*. New York: Harper Perennial.

Better Buying Institute. (2020). *Special Report: Payment and Terms and the Need for New Practices*. Better Buying Institute. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://betterbuying.org/wp-content/uploads/2020/06/Better-Buying-Special-Report-Payment-Terms-and-the-Need-for-New-Practices.pdf>

BMU. (2020). *Eckpunkte der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG)*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19._Lp/krwg_novelle/Entwurf/krwg_novelle_hintergrundpapier_bf.pdf

BMZ & UBA. (2020). *Leitfaden der Bundesregierung für eine nachhaltige Textilbeschaffung der Bundesverwaltung*. Bonn, Dessau-Roßlau: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.bmz.de/de/aktuelles/55960-55960>

- Bocken, N., de Pauw, I., Bakker, C. & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- 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., Short, S. W., Rana, P. & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuilière, M. J., Manzardo, A. et al. (2018). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2), 368–378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Bresanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M. & Sacconi, N. (2018). Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. *Sustainability*, 10(3), article numer 639. <https://doi.org/10.3390/su10030639>
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2020). Grüner Knopf Standard 1.0 - Unternehmens- und produktbezogene Anforderungen. Zugriff am 18.6.2020. Verfügbar unter: <https://www.gruener-knopf.de/kriterien.html>
- Bundesregierung. (2020). Bundesregierung baut Nationale Gesundheitsreserve auf. *Bundesregierung*. Pressemitteilung, Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/nationale-reserve-1821502>
- circular.fashion. (2020). *Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd*.
- circular.fashion. (2021). *Circularity.ID: The transformation to data-driven circularity in fashion*. White Paper. Berlin. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: https://circularity.id/static/circular.fashion_circularityID_white_paper_2021.pdf
- Cradle to Cradle NGO. (2020). Das Cradle to Cradle Designkonzept. Zugriff am 25.11.2020. Verfügbar unter: <https://c2c.ngo/c2c-konzept/designkonzept/>
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2017). Recycled Content Materials Assessment Methodology. Zugriff am 24.11.2020. Verfügbar unter: https://cdn.c2ccertified.org/resources/certification/guidance/MTD_Recycled_Content_Materials_Assessment_FINAL_040420.pdf
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2019). Material Health Assessment Methodology. Verfügbar unter: https://cdn.c2ccertified.org/resources/certification/guidance/MTD_Material_Health_Assessment_FINAL_030220.pdf
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2020). Cradle to Cradle Certified Product Standard Version 4. Zugriff am 25.11.2020. Verfügbar unter: https://cdn.c2ccertified.org/resources/certification/standard/v4_2nd_draft_docs_FOR_PUBLICATION_COMMENT_FINAL_071420.pdf

CWS-boco. (o. J.). Nachhaltigkeit als Geschäftsmodell. Zugriff am 6.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.cws.com/de-DE/uber-uns/nachhaltigkeit-als-geschäftsmodell>

DBL. (2020). Die Trends der Berufsmode – das erwartet uns 2020. Pressemitteilung, Zugriff am 5.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.dbl.de/die-dbl/pressebereich/news/die-trends-der-berufsmode-das-erwartet-uns-2020.html>

DBL. (o. J.). Nachhaltigkeit des DBL-Verbundes. Zugriff am 6.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.dbl.de/textilservice/nachhaltigkeit.html>

Destatis. (2019). Umsatz der Branche Wäscherei und chemische Reinigung in Deutschland von 2011 bis 2017 und Prognose bis zum Jahr 2023. *Statistisches Bundesamt (Statista)*. Zugriff am 20.7.2020. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/prognosen/314309/waescherei-und-chemische-reinigung-umsatz-in-deutschland>

Destatis. (2020a). Anzahl der Unternehmen im Wäscherei- und Reinigungsgewerbe in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018. *Statistisches Bundesamt (Statista)*. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157712/umfrage/anzahl-der-chemischen-reinigungen-in-deutschland-seit-2002/>

Destatis. (2020b). *Unternehmen und Arbeitsstätten: Kostenstruktur bei Wäschereien und chemischen Reinigungen*. Nr. Fachserie 2 Reihe 1.6.8. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis). Zugriff am 20.7.2020. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Dienstleistungen/Publikationen/Downloads-Dienstleistungen-Kostenstruktur/kostenstruktur-waeschereien-2020168189004.pdf?__blob=publicationFile

DTV. (o.J.a). Ziele und Aufgaben. *Deutscher Textilreinigungs-Verband (DTV)*. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.dtv-deutschland.org/ziele-und-aufgaben.html>

DTV. (o.J.b). Textil Service. *Deutscher Textilreinigungs-Verband (DTV)*. Zugriff am 21.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.dtv-deutschland.org/textil-service.html>

DTV. (o.J.c). Arbeits- und Berufskleidung. *Deutscher Textilreinigungs-Verband (DTV)*. Zugriff am 20.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.dtv-deutschland.org/Arbeitskleidung.html>

DTV & Wirtex. (2019). *Zusammenschluss von Verbänden der textilen Dienstleistungen: DTV und WIRTEX werden eins*. Pressemitteilung. Bonn, Frankfurt am Main: Deutscher Textilreinigungs-Verband (DTV), Wirtschaftsverband Textil Service e.V. (Wirtex).

ECAP. (2017). *ECAP: European Textiles & Workwear Market - The role of Public Procurement in making textiles circular*. European Clothing Action Plan (ECAP), Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/10/ECAP-Workwear-Report.pdf>

EMF. (2013). *Towards the circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Nr. 1. Cowes: Ellen MacArthur Foundation (EMF). Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o>

- EMF. (2016). *Intelligent Assets: Unlocking the Circular Economy Potential*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation (EMF). Verfügbar unter: <https://emf.thirdlight.com/link/1tb7yclizlea-116tst/@/preview/1?o>
- EMF. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. Ellen MacArthur Foundation. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://emf.thirdlight.com/link/2axvc7eob8zx-za4ule/@/preview/1?o>
- ETSA. (2014). *Quantifying the opportunity: European Market Sizing Study for ETSA*. European Textile Services Association (ETSA), Deloitte. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.textile-services.eu/news/deloitte-estimates-textile-services-in-europe-could-reach-turnover-of--46-billion.cfm>
- EU. (2018). *Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle*. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 150/109. Europäische Union. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=de>
- EU. (2020). Circular Economy Action Plan. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- 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. Zugriff am 30.11.2020. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1403869165475&uri=OJ:JOL_2014_174_R_0015
- Europäische Kommission. (2017). 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). Zugriff am 30.11.2020. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32017D1392>
- Europäische Kommission. (2020). *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft - Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa*. Brüssel. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Reinhardt, G. & Busch, M. (2019). *Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Fläche bzw. Naturraum in Ökobilanzen [Land use in life cycle assessment: proposal for an indicator and application guidelines]*. Heidelberg, Germany: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Verfügbar unter: www.ifeu.de/ifeu-papers/
- 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>
- Foss, N. J. & Saebi, T. (2017). Fifteen Years of Research on Business Model Innovation: How Far Have We Come, and Where Should We Go? *Journal of Management*, 43(1), 200–227. <https://doi.org/10.1177/0149206316675927>

- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M. & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
- Geissdoerfer, M., Vladimirova, D. & Evans, S. (2018). Sustainable business model innovation: A review. *Journal of Cleaner Production*, 198, 401–416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240>
- Graedel, T. E. & Allenby, B. R. (1995). *Industrial Ecology*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Gütegemeinschaft Sachgemäße Wäschepflege e.V. (o.J.). *RAL-Gütezeichen 992 Sachgemäße Wäschepflege: Mit Sicherheit eine saubere Sache!* Bönningheim. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: https://www.waeschereien.de/fileadmin/user_upload/2_GG_Waeschereien/Aktuelles/Downloads/GG_Imagebroschuere_RAL-GZ_992_DE.pdf
- Haase, T. (2021). Eine Folge der Pandemie: Produktion wird nach Europa zurückverlagert. *Deutschlandfunk Nova: Hielscher oder Haase*. Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: https://share.deutschlandradio.de/dlf-audiothek-audio-teilen.html?audio_id=945692
- Hahne, S. (2021). Lieferengpässe bei Halbleitern: Die Macht der Mikrochips. *Deutschlandfunk*. Zugriff am 18.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunk.de/lieferengpaesse-bei-halbleitern-die-macht-der-mikrochips-100.html>
- Hohenstein. (o. J.). Güte- und Qualitätssicherung in gewerblichen Wäschereien. Zugriff am 29.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.hohenstein.de/de/kompetenz/textilpflege/gewerbliche-waescherei/>
- ISO. (2006a). *ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2006b). *ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization.
- Karell, E. & Niinimäki, K. (2019). Addressing the Dialogue between Design, Sorting and Recycling in a Circular Economy. *The Design Journal*, 22(sup1), 997–1013. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1595413>
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., Niero, M., Bech, N. M. & McAlloone, 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>
- Koszevska, M. (2018). Circular Economy — Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18(4), 337–347. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- 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>

- Lindström. (o. J.). Arbeitskleidung. *Lindström - Germany*. Zugriff am 4.8.2020. Verfügbar unter: <https://lindstromgroup.com/de/services/arbeitskleidung/>
- Lüdeke-Freund, F., Massa, L., Bocken, N., Brent, A. & Musango, J. (2016). *Business Models for Shared Value - Main Report*. Verfügbar unter: http://www.businessmodelcommunity.com/fs/Root/deje1-NBS_SA_Main_Report_161128.pdf
- Lyle, J. T. (1994). *Regenerative Design for sustainable development*. New York: John Wiley & Sons.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution* (1. Auflage). Klagenfurt: gesis - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press.
- MEWA. (2016). Jeden Tag perfekt gekleidet mit MEWA Businesskleidung. Pressemitteilung, Zugriff am 5.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.mewa.de/newsroom/presse/pressemitteilungen/2016/de/so-werden-mitarbeiter-zu-markenbotschaftern/>
- MEWA. (o. J.-a). So funktioniert das MEWA-Dienstleistungssystem. Zugriff am 4.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.mewa.de/dienstleistung/unser-system/fuer-arbeitskleidung/>
- MEWA. (o. J.-b). Wie MEWA durch teilen europäischer Marktführer wurde. Zugriff am 29.11.2020. Verfügbar unter: <https://mewa.de/unternehmen/historie/>
- Müller, R. (2013). Nachhaltige öffentliche Beschaffung in Deutschland: Wo bleibt die Implementierungsoffensive? *Ökologisches Wirtschaften*, 2, 30–34.
- OEKO-TEX Service GmbH. (2020a). Standard – Standard 100 by OEKO-TEX®. Edition 03.2020. Zugriff am 30.11.2020. Verfügbar unter: 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. Zugriff am 30.11.2020. Verfügbar unter: 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®. Zugriff am 30.11.2020. Verfügbar unter: https://www.oeko-tex.com/importedmedia/downloadfiles/STeP_by_OEKO-TEX_R_-_Standard_de.pdf
- Oxford Economics & FCG. (2021). *Status Deutscher Mode 2021*. Oxford: Oxford Economics, Fashion Council Germany (FCG). Zugriff am 22.12.2021. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/status-deutscher-mode-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- Pauli, G. A. (2010). *The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs*. Taos, NM: Paradigm Publications.

Pearce, D. W. & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

R+WTextilservice. (2016). Weniger Wäscheverlust dank RFID. Zugriff am 18.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.rw-textilservice.de/weniger-waescheverlust-dank-rfid/150/19665/330017>

R+WTextilservice. (2017). Effizienter arbeiten mit RFID. Zugriff am 18.1.2022. Verfügbar unter: <https://www.rw-textilservice.de/ef-fizienter-arbeiten-mit-rfid/150/19663/355137/1>

Rubik, F., Müller, R., Hinke, C., Reitze, F., Roser, A., Toro, F. et al. (2015). *Marktmacht bündeln: Großverbraucher als Treiber für Innovationen beim nachhaltigen Konsum*. Nr. 51/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Zugriff am 3.12.2020. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_51_2015_marktmacht_buendeln_1.pdf

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). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38807-6_7

Sarnow, T. & Schröder, M. (2019). Supply-Chain-Risiken in der Textilindustrie: Aktuelle Forschungsergebnisse 2018 (Tagungsband des 11. Wissenschaftlichen Symposiums „Supply Management“). In C. Bode, R. Bogaschewsky, M. Eßig, R. Lasch & W. Stölzle (Hrsg.), *Supply Chain Management* (S. 255–276). Wiesbaden: Springer Gabler. Verfügbar unter: [10.1007/978-3-658-23818-6_12](https://doi.org/10.1007/978-3-658-23818-6_12)

Schallmo, D. R. A. (2013). *Geschäftsmodell-Innovation: Grundlagen, bestehende Ansätze, methodische Vorgehen und B2B-Geschäftsmodell*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Schweyen, S. (2016). Heißt es Leasingwäsche oder Mietwäsche? *Wäscherei-Suche*. Zugriff am 20.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.waescherei-suche.de/heisst-es-miet-oder-leasingwaesche.html>

Sitex. (o. J.). Service-Kreislauf. Zugriff am 4.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.sitex.de/kundenservice/service-kreislauf/?L=518>

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

Tukker, A. (2004). Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246–260. <https://doi.org/10.1002/bse.414>

Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 76–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049>

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

World Textile Information Network. (2019). *Digital Transformation Outlook: Global textile and apparel industry report 2019*. UK.

Zink, T. & Geyer, R. (2016). There Is No Such Thing as a Green Product. *Stanford Social Innovation Review*. Zugriff am 27.8.2020. Verfügbar unter:
https://ssir.org/articles/entry/there_is_no_such_thing_as_a_green_product

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

Zott, C., Amit, R. & Massa, L. (2011). The Business Model: Recent Developments and Future Research. *Journal of Management*, 37(4), 1019–1042.
<https://doi.org/10.1177/0149206311406265>

10 Anhang

10.1 Muster zirkulärer Ökosysteme nach Takacs et al. (2020)

Kreislaufschließung (Takacs et al., 2020, S. 12)

C3 Re- & Upcycling: ... beschreibt die Erhaltung oder Verbesserung des Materialwertes durch mechanische oder chemische Umwandlung von „Abfall“-Produkten oder –Materialien in neue Materialien oder Produkte. Dies ermöglicht einen zyklischen Fluss von Ressourcen, erhält den Materialwert und unterstützt sogar die Herstellung von Produkten mit höherem Wert.

C4 Intelligentes Design und Modularisierung: ... beschreiben ein Entwurfsmuster, das eine Voraussetzung für weitere Schritte auf dem Weg zu einer circular economy ist. Da das Design alle Phasen der circular economy beeinflusst und maßgeblich prägt, kann ein intelligentes Design Modularität und reversible Verbindungstechniken unter Vermeidung gemischter Materialien nutzen, um die Montage zu vereinfachen, die Reparatur während der Nutzungsphase zu verbessern und die Demontage des Produkts am Ende seines Lebenszyklus zu erleichtern.

C6 Abfall als Input: Abfall als Input zielt auf die Suche und Erschließung neuer, ökologisch und sozial verwertbarer Quellen für gebrauchte Ressourcen, Nebenprodukte und Post-Consumer-Abfälle ab. Ziel ist es, die Nutzung klassischer, virgin Ressourcen zu beenden. Material, das zunächst wertlos erscheint, kann so einen neuen Wert erhalten.

C7 Rücknahmelogistik: ... umfasst alle logistischen Prozesse, die notwendig sind, um einen Kreislauf durch Rückgabe der Produkte oder Materialien nach der Nutzungsphase zu schließen. Dabei werden die Prozesse der Sammlung, des Transports, der Lagerung, des Umschlags und der Auswahl sowie der Aussortierung von Produkten oder Produktbestandteilen umfassend betrachtet. Darüber hinaus sollten die externen Umwelteffekte durch die Optimierung von Faktoren wie den eingesetzten Fahrzeugen, der Wahl des Kraftstoffs oder der Routenplanung minimiert werden.

Verbesserung der Kreislaufführung (Takacs et al., 2020, S. 12f.)

I1 Erhöhte Langlebigkeit: Dieses Muster zielt darauf ab, geplante Veralterung zu verhindern und die Produktlebensdauer zu verlängern. Dies kann durch produktbezogene Änderungen (z.B. Oberflächenhärtung, Reduzierung von Verschleißteilen), Designänderungen (z.B. modularer Produktaufbau, zeitloses Aussehen) oder Änderungen der Positionierung und des Marketings (z.B. Markenbildung, Qualität, Schaffung von Kundenbewusstsein) erreicht werden.

I2 Reparatur & Instandhaltung: Dieses Muster beschreibt die Wartung, Früherkennung von Defekten sowie Reparatur von Produkten während der Nutzungsphase, um einen möglichst langen Produktlebenszyklus zu ermöglichen. Dies gilt allgemein als eine der umweltschonendsten und effizientesten Maßnahmen der circular economy zur Reduzierung des Gesamtressourcenverbrauchs; sie beeinflusst häufig die Abwicklung von Gewährleistungen, Änderungen der Produktqualität und -konstruktion und die Einbeziehung der Kundschaft in den Prozess.

I3 Smartes Zubehör: Ein Problem der circular economy ist das mangelnde Wissen der Hersteller über den Zustand und den Standort ihrer verkauften Produkte. Die zunehmende, flächendeckende Vernetzung von intelligenten Assets und Internet of Things-Anwendungen mit Sensortechnologien schafft Transparenz, vereinfacht die Rückverfolgbarkeit von Produkten oder Ressourceneinheiten und ermöglicht eine datengesteuerte Entscheidungsfindung. Dies vereinfacht Muster wie Instandhaltung und Reparatur und ermöglicht Rücknahmesysteme.

I4 Öko-Effizienz: Bei diesem Muster geht es darum, den für die Herstellung von Produkten und die Erbringung von Dienstleistungen erforderlichen Ressourceneinsatz zu minimieren und dadurch die Öko-Effizienz zu verbessern. Je weniger Ressourcen benötigt werden, desto weniger Abfall, Emissionen und Umweltverschmutzung fallen bei der Herstellung des Produkts an. Die daraus resultierenden Kosteneinsparungen durch verringerten Ressourceneinsatz, Abfallreduzierung und erhöhte Umweltverträglichkeit können zu höheren Einnahmen und Wettbewerbsvorteilen führen.

I6 Ökologische Materialien & Beschaffung: Dieses Muster beschreibt die Verringerung der Umweltbelastung durch die Verwendung von umweltfreundlichen Materialien (z.B. Materialien auf Faserbasis oder Öko-Zement). Diese Materialien reduzieren die Umweltbelastung über den gesamten Lebenszyklus bei vergleichbarer Leistung. Diese Materialien sind oft bereits vorhanden, aber nicht erschwinglich oder in gewünschten Mengen beschaffbar. Auch der Art und Weise, wie Rohstoffe oder Produktkomponenten beschafft werden, muss Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Monetarisierung des Kreislaufes (Takacs et al., 2020, S. 14)

M2 Mieten statt kaufen: Die Kund/in kauft ein Produkt nicht, sondern mietet es stattdessen. Dies senkt das Kapital, das typischerweise benötigt wird, um Zugang zu dem Produkt zu erhalten. Das Unternehmen selbst profitiert von höheren Gewinnen bei jedem Produkt, da das Unternehmen für die Dauer der Mietperiode bezahlt wird. Beide Parteien profitieren von einer höheren Effizienz bei der Produktnutzung, da die Zeit der Nichtnutzung, die unnötigerweise Kapital und Ressourcen bindet, für jedes Produkt reduziert wird. Darüber hinaus ermöglicht die Beibehaltung des Eigentums den Unternehmen, den Zugriff auf die Produkte zu behalten, was ihre Wiederverwendung oder ihr Recycling vereinfacht.

M9 Rücknahme: Entscheidend für den Erfolg der circular economy ist, wie die Produkte den Weg aus den Händen der Anwender in die "Wiederaubereitungs"-Phase finden. Ohne vertragliche Vereinbarungen sollte es eine anreizgesteuerte Rücknahme geben. Zwei Anreizsysteme sind üblich: Der Hersteller erhebt ein Pfand, das bei der Rückgabe des Produkts zurückgezahlt wird, oder der Hersteller kauft das Produkt zurück, wenn die Kund/in es nicht mehr besitzen will.

Anregung des Kreislaufs (Takacs et al., 2020, S. 15)

E8 Kommunikation von Verantwortung: Ein Hersteller, der die Verantwortung für den gesamten Lebenszyklus seiner Produkte übernimmt, ist die Grundlage für die CE. Um dies auf gewinnbringende Weise zu ermöglichen, kann der nachhaltige Ansatz dem Markt signalisiert werden. Typischerweise umfasst dies die Zertifizierung der Produkte, die Gewährleistung langer Garantien oder die Verpflichtung, das Produkt über vordefinierte Kanäle zurückzunehmen. Durch Aufklärung können die Produzenten das nachhaltige Handeln von Partnern, Arbeitnehmer/innen und Verbraucher/innen verstärken.

10.2 Circular Product Check Evaluation Reports

Result(s)

Article(s)			Recycling Cycle(s)	Results
N.	Article Name	Composition		
1	Polo Shirt	<ul style="list-style-type: none"> · Main textile · Sewing thread · Bulking thread · Brand label · Care label · Size label · Embroidery 100% recycled polyester · Ribbing (collar and cuff) 100% polyester · Buttons 95% recycled polyester, 5% plasticizers and dyes Blue, black - disperse dyes 	 	<p>This product fits the:</p> <p>Polyester Chemical Recycling Cycle Polyester Mechanical Recycling Cycle</p> <p>This product has been identified as a circular material and it has been matched to both mechanical and chemical fibre-to-fibre recycling facilities in the European region.</p>
2	Business Shirt	<ul style="list-style-type: none"> · Main textile 62% organic cotton, 38% recycled polyester · Sewing thread · Bulking thread · Brand label · Care label · Size label 100% recycled polyester · Buttons 95% recycled polyester, 5% plasticizers and dyes · Silver Button 100% Recycled Metal · Reflective Print Glass beads, aluminium film, adhesive White - yarn dyed 	 	<p>This product fits the:</p> <p>Polycotton Chemical Recycling Cycle Polycotton Mechanical Recycling Cycle</p> <p>This product has been identified as a circular material and it has been matched to both mechanical and chemical fibre-to-fibre recycling facilities in the European region.</p> <p>Please note, the Silver Button need to be removed before recycling, because it does not fit the same recycling cycle as the main textile.</p>

Abbildung 35: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 1 (circular.fashion, 2020)

Icons		Circularity Cycles	Main Purpose
	Bio-cycle	Naturally Compostable Biodegradability performance is supported by relevant biodegradability certificate(s). The material easily decomposes in soil, marine environments and conventional home composts. The material does not serve a second use as fibre.	<ul style="list-style-type: none"> • Avoiding textile waste from incineration or entering landfill. • Ensuring microfibres released through fibre shedding do not contain harmful substances, and degrade within a reasonable amount of time in natural conditions.
			Industrially Biodegradable Biodegradability performance is supported by relevant biodegradability certificate(s). The material decomposes after having been exposed to artificial conditions of heat, humidity and pressure for a discrete amount of time. The biogas released during the degradation process can be used in alternative green energy industries.
 		Mechanically Recyclable Shredding of textile waste into shorter staple fibers which are then melted and extruded into new yarn. A percentage of virgin material is always mixed with recycled content to uphold the yarn strength. There is a limited number of times regenerated fabric can be fibre-to-fibre recycled, due to continuous shortening and weakening of the fibre staple length.	<ul style="list-style-type: none"> • Avoiding textile waste from incineration or entering landfill. • Significantly reduces the dependency on virgin raw materials. • Bringing significant value back into the fashion value stream.
		 	Tech-cycle

Abbildung 36: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 2 (circular.fashion, 2020)

Article(s)			Areas of Suggestions
N.	Article Name	Material Cycle(s)	
1	Polo Shirt	Polyester Chemical Recycling Cycle	<p>Congratulations! This product demonstrates a fully mono-cycle design, by using polyester inputs in all its components - despite deriving from both virgin and recycled resources. This article is suitable for chemical recycling, a process bringing out the highest quality and recycling output for this fibre currently available on the market.</p> <p>Trims such as the labels and the buttons used do not need to be removed prior to the recycling process as they are composed of 100% recycled polyester like the rest of the product. As a result, the recycling process is more efficient and economically viable.</p>
		Polyester Mechanical Recycling Cycle	<p>This product has the ability of being mechanically recycled. During mechanical recycling, the feedstock is sorted by colour. Your choice of colour, blue and black, is optimal for the sorting process, as these are the most popular ones on the market. Currently the label is in blue, please consider to use a colour shade matching with the rest of the product to achieve more consistency of output when the feedstock will be recycled.</p> <p>All labels do not need to be removed prior to the recycling process as they are composed of 100% recycled polyester like the rest of the product.</p> <p>In the near future, there will be an increase of post-consumer recycled polyester from textile waste. Please consider this input as a better alternative to PET bottles.</p>
2	Business Shirt	Polycotton Chemical Recycling Cycle	<p>Well done! This product can be chemically recycled as a polycotton material. Based on chemical recycling, both polyester and cotton can be recovered into PET resin and cellulosic pulp accordingly.</p> <p>The choice of white color is optimal as harsh dyes won't need to be additionally removed, while making the process quicker and more economically viable.</p> <p>All labels do not need to be removed before recycling. The reflective print can be processed as well. The silver button instead, while not fitting to the same recycling cycle, will need to be taken off before processing.</p> <p>In the future, in order to increase the recycling economic viability of this product and comply to more chemical recyclers' feedstock requirements, we recommend you to explore the circular design strategy of mono-cycle and match all components to the composition of the main material.</p>
		Polycotton Mechanical Recycling Cycle	<p>This product has the ability of being mechanically recycled. However, due to its blended material composition and circular.fashion's recycling criteria, the recycling process will produce a very specific output with rather low value.</p> <p>The choice of white color is optimal for mechanical recycling as largely requested in the market.</p> <p>All labels do not need to be removed before recycling, the buttons and reflective print instead, while not fitting to the same recycling cycle, will need to be taken off before processing.</p> <p>In the future, we highly recommend to design this product for mono-cycle or adding a disassembly design strategy for the buttons and ideally printed parts with the aim to increase its quality and economical potential.</p>

Abbildung 37: Circular Product Check Evaluation Report für das DiTex Gen1 Poloshirt und Polizeihemd, Teil 3 (circular.fashion, 2020)



DiTex

DITEX-KREISLAUFWIRTSCHAFT.DE