

The top of the page features a photograph of several stacks of white, folded linens, likely bed sheets or towels, arranged in a way that creates a sense of depth and texture. The lighting is soft and even, highlighting the clean, crisp nature of the fabric.

DiTex

DIGITALE TECHNOLOGIEN ALS ENABLER

EINER RESSOURCENEFFIZIENTEN KREISLAUFFÄHIGEN B2B-TEXTILWIRTSCHAFT

Kim Hecht, Serge Lang, Anja Gerhardts, Barbara Boldrini,
Martina Gerbig, Kai Nebel

Kreislauffähige Bettwäsche für den B2B-Bereich

Ergebnisse der textiltechnologischen und
spektroskopischen Untersuchungen

Impressum

Autor/innen:

Dr. Kim Hecht (Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH)
Serge Lang (Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH)
Dr. Anja Gerhardts (Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH)
Barbara Boldrini (Hochschule Reutlingen)
Martina Gerbig (Hochschule Reutlingen)
Kai Nebel (Hochschule Reutlingen)

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 Forschung für Nachhaltigkeit (FONA).

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

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
Fax +49-30-882 54 39
frieder.rubik@ioew.de
www.ioew.de



| i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Zitervorschlag:

Hecht, K., Lang, S., Gerhardts, A., Boldrini, B., Gerbig, M., Nebel, K. (2023), Kreislauffähige Bettwäsche für den B2B-Bereich – Ergebnisse der textiltechnologischen und spektroskopischen Untersuchungen.

Berlin, Juni 2023

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
gGmbH
Wilckensstr. 3
D-69120 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

Zusammenfassung

Der jährlich steigende Konsum von Textilien und die hohe Anzahl an wechselnden Kollektionen („Fast Fashion“) haben gewaltige Auswirkungen auf die Umwelt und werden zunehmend kritisch diskutiert. Ein Lösungsansatz zur Verringerung des ökologischen Fußabdrucks und zur Schonung der Ressourcen stellt die textile Kreislaufführung mit funktionierenden Recyclingkanälen dar. DiTex untersucht diesen Ansatz im B2B-Geschäftsbereich anhand von drei verschiedenen Produktlinien (Poloshirt, Polizei-Hemd, Bettwäsche). Die Miettextilien wurden von den Praxispartnern in Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern designt und in der Anwendung unter Praxisbedingungen erprobt. Für das Design spielten neben der Funktionalität die Kriterien Recyclingfähigkeit und Leasing-Eignung eine zentrale Rolle. Zur Beurteilung der Qualität wurden Textilprüfungen und spektroskopische Untersuchungen im Neuzustand sowie im Verlauf der Anwendung durchgeführt. Dabei sollten mögliche Veränderungen der Textilien während der Nutzungsphase detektiert und die Eignung der Textilien für den Einsatz im B2B-Bereich bewertet werden. Das vorliegende Dokument fasst die Ergebnisse der Textilprüfungen und spektroskopischen Untersuchungen für die DiTex-Bettwäsche zusammen.

Abstract

Increased consumption of textiles and the growing number of new collections per year (“fast fashion”) have a huge impact on the environment. A potential solution for this problem is a circular economy with working recycling channels, which can help to reduce the environmental footprint and to save resources. The project DiTex analyzes the concept of a textile circular economy for the B2B business sector. In the project, three different products (polo shirt, business shirt, bedlinen) were designed for application in the textile service and tested in practice. In the design process, recyclability as well as the suitability for leasing played a key role next to the functionality of the textiles. The field test was accompanied by a variety of textile technological tests and a broad spectroscopical analysis of new and used textile items in order to assess potential changes of quality during the service life and to evaluate the quality and suitability of the textiles for leasing. This document contains a summary of the textile technological and spectroscopical results for bedlinen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Methoden	6
2.1	Grundlagen Textilprüfungen	6
2.2	Grundlagen Spektroskopie	9
3	Anwendungsphase – Rahmenbedingungen Praxistest und Hochwaschen	12
4	Ergebnisse	13
4.1	Textilprüfungen	13
4.2	Spektroskopische Untersuchungen	20
5	Zusammenfassung	22
6	Literaturverzeichnis	23
7	Anhang	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die wichtigsten Bereiche für die optische Spektroskopie des elektromagnetischen Spektrums (Quelle: Hochschule Reutlingen).....	9
Abbildung 2: Mehrfachstreuung in stark streuenden Systemen (Quelle: Hochschule Reutlingen)	9
Abbildung 3: Vorgehensweise zur Durchführung der Qualitätsuntersuchungen in der Anwendungsphase.....	12
Abbildung 4: Auswahl der Proben der DiTex-Bettwäsche aus dem Praxistest.....	13
Abbildung 5: Zugfestigkeit des Gewebes in Kett- (oben) und Schussrichtung (unten) in Anlehnung an DIN EN ISO 13934-1 (Abweichung Norm: Mittelwert aus 3 Einzelmessungen). Die Werte der Neuware (Prototyp) beziehen sich auf einen ungewaschenen Bettbezug (identischer Wert für Bett- und Kissenbezüge).	15
Abbildung 6: Scheuerbeständigkeit des Gewebes nach DIN EN ISO 12947-2. Entsprechend der Norm wird die Prüfung je Probe an jeweils 3 Messproben durchgeführt (blau, orange, grau). Auf der horizontalen Achse ist die Probenbezeichnung angegeben.	16
Abbildung 7: Pillneigung des Gewebes nach DIN EN ISO 12945-2 (modifiziertes Martindale-Verfahren). Auf der horizontalen Achse ist die Probenbezeichnung angegeben.	17
Abbildung 8: Weißqualität des Gewebes nach Praxistest und Hochwaschen: Grundweißwert Y-420 (oben) und Weißgrad W-GG (unten)	18
Abbildung 9: FTIR (oben) und UV-VIS-NIR (unten) der Bettwäsche Prototypen (Quelle: Hochschule Reutlingen)	21
Abbildung 10: UV-Vis Mittelwertspektren der Bettgarnitur (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Zyklen) (Quelle: Hochschule Reutlingen).....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Spektrometer und die verwendeten Einstellungen. Mit λ = Wellenlänge, res = Auflösung, t_{int} = Integrationszeit, $\tilde{\nu}$ = Wellenzahl und n = Anzahl an Spektren.	11
Tabelle 2: Ergebnis der visuellen Abmusterung der Proben aus dem Praxistest (25 Bettbezüge, 25 Kissenbezüge) und nach dem Hochwaschen auf 100 Zyklen (25 Bettbezüge, 25 Kissenbezüge) anlehnend an die Anforderungskriterien des HQS 705.	14
Tabelle 3: Thermophysiologische Eigenschaften der DiTex-Bettwäsche bestimmt über das Hautmodell anlehnend an DIN EN ISO 11092 (Abweichung: Durchschnitt aus 2 Messwerten). Der Soll-Wert beruht auf Erfahrungswerten aus der Praxis.	19
Tabelle 4: Hautsensorische Eigenschaften der DiTex-Bettwäsche. Die Soll-Werte beruhen auf Erfahrungswerten aus der Praxis	20

Abkürzungsverzeichnis

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
B2B.....	business-to-business
bzw.	beziehungsweise
HQS.....	Hohenstein Qualitätsstandards
PES	Polyester
rPES	recyceltes Polyester
s.....	siehe
u. A.	unter Anderem
u. U.	unter Umständen
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Das Ziel von DiTex war es, die textile Kreislaufführung anhand von drei verschiedenen Produktlinien für den B2B-Bereich zu erproben. An das Design der Textilien wurden dabei besondere Anforderungen gestellt. So müssen Miettextilien in einer Kreislaufwirtschaft so konstruiert sein, dass sie einfach recycelt werden können. Für eine möglichst lange Nutzungsdauer spielt daneben die Gebrauchstauglichkeit eine entscheidende Rolle – und das auch unter industriellen Pflegebedingungen. In DiTex wurde neben diesen Kriterien der Einsatz von Primärrohstoffen betrachtet und dieser – um negative Umweltauswirkungen zu reduzieren – möglichst niedrig gehalten.



Auf Basis dieser Überlegungen wurde eine Bettwäsche-Garnitur aus 50 % Lyocell und 50 % rPES entworfen, die im Praxistest im Hotelwesen zum Einsatz kam. Die Bettwäsche enthält einen Hotelverschluss ohne weitere Verschlusselemente wie Knöpfe oder Reißverschlüsse, sodass sie nach der Nutzung ohne Detrimming, d.h. ohne Entfernung von Zutat, direkt ins Recycling überführt werden kann. Für das Satingewebe wurde anstelle von Baumwolle Lyocell verwendet, welches viele vergleichbare Eigenschaften zeigt (z.B. gute Hautfreundlichkeit und Feuchtaufnahme), aber geringere negative Umweltauswirkungen aufweist. Da Lyocell durch Übertrocknung geschädigt werden kann, ist eine präzise Prozesskontrolle (speziell Mangeltemperatur) erforderlich. Weitere konstruktionsspezifische Details der Bettwäsche sind im Produkt-Datenblatt enthalten.

Die Gebrauchstauglichkeit der DiTex-Textilien wurde über verschiedene textiltechnologische Prüfungen und Untersuchungen der Komforteigenschaften analysiert. Ergänzend dazu wurden spektroskopische Untersuchungen an der textilen Fläche durchgeführt, die Veränderungen der Oberfläche und Zusammensetzung detektieren und somit zur Qualitätskontrolle genutzt werden können. Im Folgenden werden die verwendeten Prüf- bzw. Untersuchungsmethoden kurz vorgestellt; darüber hinaus sind detaillierte Prüfabläufe und -bedingungen im Anhang beschrieben. Daran anschließend werden die Ergebnisse diskutiert und eine Zusammenfassung mit Ausblick gegeben.

2 Methoden

2.1 Grundlagen Textilprüfungen

Basis für die Textilprüfungen sind die Hohenstein Qualitätsstandards (HQS) 701ff, welche Anforderungen an Leasing-Textilien für verschiedene Anwendungsbereiche definieren [Hohenstein 2017]. Als Grundlage für die Untersuchungen dient das Textil im Neuzustand und Anforderungen werden an das textile Flächenmaterial, die verschiedenen Zutat sowie das konfektionierte Gesamttextil gestellt. Die Pflege der Textilien (z.B. zur Bewertung der Pflegeeigenschaften) erfolgt nach genormten Prüfverfahren gemäß DIN EN ISO 15797, welche die Industrewäsche simulieren. Maßgeblich für die DiTex-Bettwäsche ist der HQS 705. Bei den Qualitätsuntersuchungen in DiTex wurde der Fokus auf das Flächenmaterial gelegt. Im Folgenden wird eine kurze Zusammenfassung der

verschiedenen Prüfverfahren gegeben; weitere Details zu den Prüfbedingungen sind im Anhang zu finden.

Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften beschreiben die Beständigkeit von textilen Flächengebilden gegenüber mechanischer Beanspruchung. Die mechanischen Eigenschaften lassen sich über verschiedene Prüfverfahren analysieren (Details in jeweiliger Norm zu finden):

Zugfestigkeit: Die Zugfestigkeit beschreibt die Beständigkeit von Textilien unter Zugbeanspruchung. Das Verfahren gilt hauptsächlich für Gewebe. Die Zugfestigkeit und Höchstzugkraft-Dehnung können nach dem Streifen-Versuch gemäß DIN EN ISO 13934-1 ermittelt werden. In dem Prüfverfahren wird ein Messstreifen definierter Größe mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit gedehnt, bis er bricht. Dabei werden die Höchstzugkraft (maximale Zugkraft) und Höchstzugkraft-Dehnung (Dehnung bei Höchstzugkraft) aufgezeichnet.

Scheuerbeständigkeit: Die Scheuerbeständigkeit beschreibt, wie stabil ein textiles Flächengebilde gegen die Einwirkung einer Scheuerbelastung ist. Sie kann mithilfe des Martindale-Verfahrens nach DIN EN ISO 12947-2 bestimmt werden. Hierbei wird eine kreisrunde Messprobe unter definierter Belastung gegen ein Standardgewebe als Scheuermittel bewegt. Dies erfolgt translatorisch in Form einer Lissajous-Figur. Der Probenhalter ist dabei zusätzlich drehbar um die Achse senkrecht zur Probenebene. Die Scheuerbeanspruchung wird bis zur Zerstörung der Probe durchgeführt, wobei der Zustand der Messprobe nach festgelegten Untersuchungsintervallen überprüft wird. Das Intervall (d.h. die entsprechende Anzahl der Scheuertouren), bei dem die Messprobe noch intakt ist, wird aufgezeichnet.

Pillneigung: Pills sind kleine, kugelförmige Gebilde, die auf der textilen Oberfläche entstehen können. Sie bilden sich, wenn Fasern aus der textilen Oberfläche heraustreten und verknäueln. Die Beständigkeit von textilen Flächengebilden gegenüber Pillbildung kann über ein modifiziertes Martindale-Verfahren nach DIN EN ISO 12945-2 bestimmt werden. Dabei wird eine kreisförmige Messprobe bei definierter Belastung gegen ein Scheuermittel des gleichen Materials in Form einer Lissajous-Figur bewegt. Die Probe ist leicht um die Achse senkrecht zur Probenebene drehbar. Nach festgelegten Intervallen erfolgt eine visuelle Bewertung der Pillbildung.

Pflegeeigenschaften

Maßänderung: Die Maßänderung von Textilien wird nach einer festgelegten Anzahl von Wasch- und Trocknungszyklen nach DIN EN ISO 5077 bestimmt. Sie ergibt sich aus der Differenz der Maße vor und nach der Behandlung, bezogen auf die Ausgangsmaße.

Für die DiTex-Bettwäsche wurde die Maßbeständigkeit mithilfe von Proben aus der Anwendungsphase abgeschätzt. Dazu wurden die Maße eines neuen Bettbezugs mit den Maßen der verschiedenen Proben aus der Anwendung verglichen. Die Länge wurde an einer der Seitennähte entlang der Längsachse vermessen. Die Breite wurde auf der Hälfte der Längsachse vermessen.

Thermophysiologische und hautsensorische Eigenschaften („Komfort“)

Thermophysiologie: Unter den thermophysiologischen Eigenschaften werden das Feuchtigkeits- und Wärmemanagement von Textilien verstanden. Dieses lässt sich über das sogenannte Hautmodell untersuchen, das die Wärme- und Feuchteabgabe der menschlichen Haut simuliert. Bei der Messeinrichtung handelt es sich um eine elektrisch beheizbare, poröse Sintermetallplatte, der Wasser zugeführt wird. Sie befindet sich in einer Klimakammer, in der sich Temperatur, Feuchtigkeit und Luftbewegung einstellen lassen, sodass verschiedene Umgebungsbedingungen simuliert werden können. Stationäre Messungen simulieren „normale“ Tragebedingungen, unter denen die Feuchtigkeitsabgabe von der Haut über Wasserdampf erfolgt und eine konstante Wärme- und Feuchtigkeitsabgabe stattfindet. Auch Schweißimpulse bei körperlicher Anstrengung können über

instationäre Hautmodellmessungen nachgestellt werden. Die Messeinrichtung ist in der DIN EN ISO 11092 beschrieben. Mit dem Hautmodell lassen sich spezifische thermophysiologische Kennzahlen ermitteln (weitere Details s. Anhang):

- Der Wärmedurchgangswiderstand R_{ct} („Wärmeisolation“) gibt an, inwieweit ein Textil den (trockenen) Wärmefluss von der Haut drosselt und isolierend wirkt.
- Der Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} („Atmungsaktivität“) beschreibt den Widerstand, den die textile Fläche Wasserdampf entgegensetzt.
- Der Feuchtedurchgangsindex imt bezieht die Atmungsaktivität auf die Wärmeisolation und eliminiert den Einfluss der Textildicke (dickere Textilien sind weniger atmungsaktiv). Der Wert ist somit konstruktionsspezifisch und errechnet sich aus der Gleichung $imt = R_{ct}/R_{et} * 60 \text{ Pa/K}$. Es können Werte zwischen 0 und 1 erreicht werden. Je höher der Wert, desto besser die Thermophysiologie.

Hautsensorik: Neben den thermophysiologischen haben die hautsensorischen Eigenschaften von Textilien einen Einfluss auf das Komfortgefühl, insbesondere dann, wenn sich das Textil im direkten Kontakt mit der Haut befindet. Die Hautsensorik beschreibt das Empfinden, das durch das Textil auf der Haut ausgelöst wird (z. B. Kratzen). Folgende materialspezifische Kenngrößen können zur Beschreibung der hautsensorischen Eigenschaften herangezogen werden (Prüfdetails s. Anhang):

- Der Klebeindex i_k beschreibt, wie stark ein Textil auf der schweißnassen Haut anklebt. Je kleiner der Index, desto angenehmer das Komfortgefühl.
- Der Benetzungsindex i_b stellt die Sorptionsgeschwindigkeit von Wasser in die textile Fläche dar. Je kleiner der Index, desto angenehmer das Empfinden (weniger „Nässe/Feuchtigkeit“) auf der Haut.
- Der Oberflächenindex i_o beschreibt, inwieweit sich ein Textil auf der Haut rau/kratzig oder zu glatt („seifig“) anfühlt.
- Die Kontaktpunktzahl n_k stellt die Zahl der Kontaktpunkte zwischen Textil und Haut n_k dar. Je kleiner die Anzahl der Kontaktpunkte, desto angenehmer das Komfortgefühl.
- Die Steifigkeit eines Textilstreifens wird über die Kenngröße s beschrieben. Eine hohe Steifigkeit ist in der Regel mit einem unangenehmen Komfortgefühl verbunden.

Der **hautsensorische Komfort** ergibt sich aus der Gesamtheit der verschiedenen, materialspezifischen Kennzahlen der Hautsensorik. In einem vergangenen Forschungsprojekt [Hohenstein 1990] wurde ein Bewertungssystem auf Basis von Schulnoten entwickelt, in das die verschiedenen Kennzahlen einfließen – die hautsensorische Komfortnote TK_H . Die Genauigkeit liegt bei 0,3 (Standardabweichung). Subjektiv empfunden werden Unterschiede von 0,5 und mehr.

Weißqualität

Die Weißqualität wird von der Qualität der Textilien und insbesondere den Wasch- und Trocknungsbedingungen beeinflusst. Die Weißqualität lässt sich mithilfe von Spektralphotometern ermitteln, die die spektrale Reflexion von Proben bei definierter Messgeometrie und Normlichtart messen. Aus den spektralen Daten lassen sich verschiedenen Kennzahlen der Weißmetrik berechnen. Zur Beschreibung der DiTex-Bettwäsche wurden zum einen der Weißgrad nach Ganz/Griesser (W-GG) herangezogen, der ein Zahlenmaß für den vom menschlichen Auge empfundenen Weißeindruck darstellt. Daneben wurde der Grundweißwert (Y-420) ermittelt, der den Weißgrad nach Abzug von UV-Anteilen der Lichtquelle darstellt und somit Effekte durch optische Aufheller (Fluoreszenz) ausblendet. Des Weiteren wurde die Farbtonabweichungszahl (FAZ) bestimmt, welche die Farbtonabweichung vom Neutralweiß des Weißstandards beschreibt. W-GG, Y-420 und FAZ sind typische Kennzahlen zur Beschreibung der Weißqualität von Textilien.

2.2 Grundlagen Spektroskopie

Die optische Spektroskopie umfasst ein vielfältiges Forschungsgebiet, das die Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie untersucht. Diese spektroskopischen Verfahren erstrecken sich über ein breites Frequenzspektrum, von UV/Vis-Bereich bis Mittelinfrarot (MIR) (s. Abbildung 1) und bieten dadurch umfassende Erkenntnisse über die molekulare, supramolekulare und morphologische Beschaffenheit von Materialien.

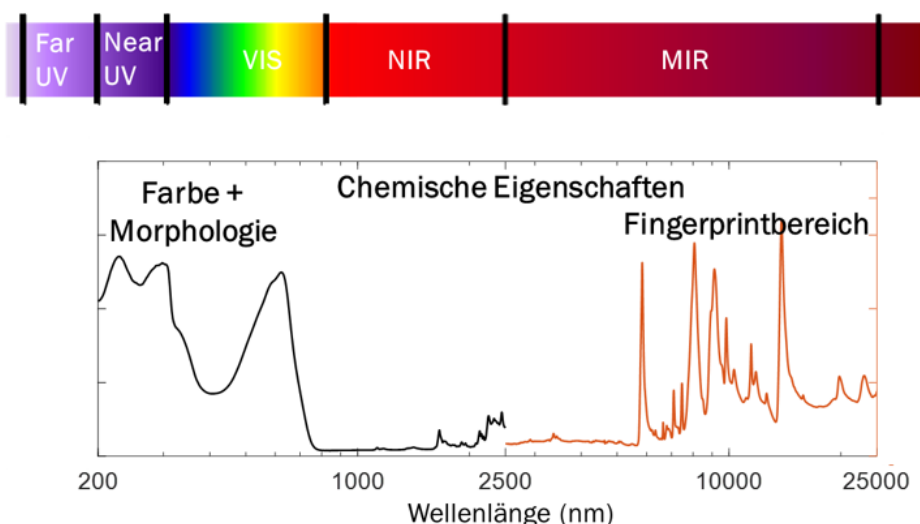


Abbildung 1: Die wichtigsten Bereiche für die optische Spektroskopie des elektromagnetischen Spektrums (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Textilien sind heterogene, meist gefärbte und stark lichtstreuende Materialien. Die Lichtausbreitung in solchen festen Systemen wird von zwei Prozessen bestimmt: Lichtabsorption und Lichtstreuung. Ursache der Streuung sind Unterschiede in dem Brechungsindex innerhalb Komponenten einer festen Phase oder zwischen fester Phase und Medium (z.B. Luft).

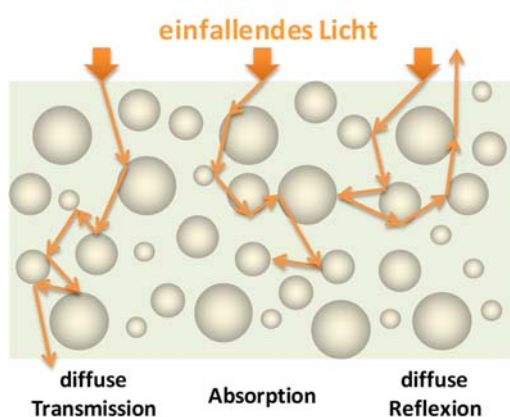


Abbildung 2: Mehrfachstreuung in stark streuenden Systemen (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Wie in Abbildung 2 dargestellt, kann das einkommende Licht ein absorbierendes und streuendes System, oft durch mehrere Streueignisse, durchdringen (diffuse Transmission), absorbiert werden (Absorption) oder wieder aus der Eintrittsoberfläche austreten (diffuse Reflexion). Die Absorption elektromagnetischer Wellen gibt Aufschluss über die chemische Zusammensetzung, das gestreute Licht über die Morphologie.

Die Anwendung von spektroskopischen Messmethoden in der textilen Analytik bietet im Vergleich zu Standard-Textilprüfungen gewisse Vorteile: die optische Spektroskopie ist eine zerstörungsfreie Analysetechnik, ist schnell und effizient und kann zur Analyse einer Vielzahl von textilen Eigenschaften eingesetzt werden, wie Zusammensetzung, Struktur, Farbe, Feuchtigkeitsgehalt usw. Im Rahmen des Projektes wurde

eine Kombination von UV-Vis-, Nahinfrarot- (NIR) sowie Mittelinfrarot- (MIR) Spektroskopie angewendet.

UV-Vis-Spektroskopie

Die UV-Vis-Spektroskopie (auch Elektronenspektroskopie genannt) befasst sich mit der Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit sogenannten chromophoren Gruppen (farbgebende Strukturgruppen). Diese findet im Bereich von 200 bis 800 Nanometer (nm) Wellenlänge statt. In festen Systemen wie Textilien, sind die Farbinformationen und Streuungseffekte im UV-Vis-Bereich stark überlappend. Damit ist nicht nur die Beurteilung von Farbe und Farbechtheit möglich, sondern auch durch Veränderungen in der Materialstruktur die Qualität von Oberflächen.

NIR und MIR Spektroskopie

Die IR-Spektroskopie teilt sich in den nahen und mittleren IR-Bereich auf. Die Wellenlänge des mittleren Infrarots erstreckt sich von 2500 - 25000 nm (Wellenzahlbereich 4000 - 500 cm^{-1}). Hier werden Molekülschwingungen aktiviert. Besonders wichtig ist in MIR der Bereich zwischen 1300 - 1000 cm^{-1} , der sogenannte Fingerprint-Bereich. Der Fingerprint-Bereich ist charakteristisch für jede Verbindung, wodurch es möglich wird, verschiedene Substanzen anhand ihrer individuellen spektralen Signaturen zu identifizieren und zu analysieren.

Der NIR-Bereich schließt direkt an den sichtbaren Bereich an und umfasst Wellenlängen von 800 - 2500 nm. In diesem Bereich absorbieren Obertöne und Kombinationsschwingungen.

Durch die starke Überlappung von Kombinations- und Obertönen zeigen NIR-Spektren sehr breite Banden.

Für die Auswertung der Spektren ist eine univariate Analyse nicht mehr ausreichend. Es werden daher geeignete rechnerische Auswerteverfahren benötigt, die das Selektivitätsproblem statistisch lösen. Dazu werden multivariate Verfahren eingesetzt.

Multivariate Datenanalyse

Die multivariate Datenanalyse ist eine statistische Methode zur Untersuchung von komplexen Datensätzen. Mit Hilfe der multivariaten Datenanalyse können Zusammenhänge zwischen Variablen identifiziert, Muster erkannt und Schlussfolgerungen gezogen werden. Dies kann dazu beitragen, verborgene Strukturen oder Trends in den Daten aufzudecken. Mit der Hilfe von Algorithmen wie PCA (Principal Component Analysis; Hauptkomponentenanalyse) lassen sich die Spektren mit den Qualitätsparametern korrelieren.

Dabei werden verschiedene Datenvorverarbeitungen der Spektren eingesetzt, um aus der Messung des Gesamtspektrums die Streuinformation möglichst genau von der Absorptionsinformation zu trennen.

Verwendete Spektrometer

In der textilen Analytik wird üblicherweise die Reflexionsspektroskopie eingesetzt. Dabei wird der Lichtstrahl auf die Probe geführt und dort aufgrund der rauen Oberfläche reflektiert.

Die Vermessung der Proben erfolgte mit verschiedenen Spektrometern.

Für präzise spektrale Untersuchungen der Prototypen im Labor wurden Hochleistungs-Desktopspektrometer-Geräte eingesetzt, um genaue und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten.

- Perkin Elmer FTIR Spektrometer Frontier mit UATR-KRS5 Messeinheit (4000-450 cm^{-1})
- Perkin Elmer UV/Vis/-NIR Spektrometer Lambda 1050 mit 150 mm Spectralon® Ulbrichtkugel (nur NIR Bereich, 900-2500 nm)

Die Untersuchungen an Prototypen dienten zur Optimierung der Messparameter und Messgeometrie, zur Bestimmung der Wiederholbarkeit und Messgenauigkeit der Geräte und zur Charakterisierung und Ermittlung des spektralen Fingerprints der ausgewählten Textilien.

Um die spektroskopischen Messungen in Echtzeit während der Praxisphase direkt vor Ort in den Wäschereien durchführen zu können, wurden 3 verschiedene mobile Spektrometer angewendet, die zusammen in Sinne der Datenfusion den kompletten optischen Bereich von 300 nm bis 15 μm abdecken können:

- Prozess-Ulbrichtkugel Avasphere mit integrierter Halogenbeleuchtung der Firma Agilent gekoppelt mit Prozessspektrometer NIR Bereich (Tec5 PGS, 300-1100 nm)
- FTNIR Mikrospektrometer Neospectra SiLab (1300-2500 nm)
- FTIR Handheld Spektrometer 4300 mit Diamant ATR Messkopf der Firma Agilent (4000-650 cm^{-1} , 2.5-

Die mobilen Geräte sind tragbar, einfach zu bedienen und erfordern keine aufwändige Laborumgebung.

In Tabelle 1 sind die Spektrometer und die für die jeweilige Messung verwendeten Parameter dargestellt. Bei der MIR- Messung wird eine Mehrfachbestimmung durchgeführt. Hierfür wird jeweils dreimal hintereinander die Probe an verschiedenen Punkten vermessen.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Spektrometer und die verwendeten Einstellungen. Mit λ = Wellenlänge, res = Auflösung, t_{int} = Integrationszeit, $\tilde{\nu}$ = Wellenzahl und n = Anzahl an Spektren.

UV/Vis/NIR (Prototypen)

Spektrometer: Perkin Elmer® Lambda 1050 mit Ulbrichtkugel 150 mm Spectralon
Messanordnung: diffuse Reflexion

λ / nm	res / nm	t_{int} / s
200–2500	2	0,52

MIR (Prototypen)

Spektrometer: Perkin Elmer® Frontier FT-IR mit ATR Accessory
Messanordnung: abgeschwächte Totalreflexion

$\tilde{\nu}$ / cm^{-1}	res / cm^{-1}	n
450-4000	4	16

UV-Vis (Praxistest)

Spektrometer: UV-Vis Spektrometer Tec5 PGS + Prozess-Integrationskugel Avasphere
Messanordnung: diffuse Reflexion

λ / nm	res / nm	t_{int} / ms	n
300-1100	1	1,5	100

NIR (Praxistest)

Spektrometer: FTNIR Neospectra Micro SiLab
Messanordnung: quasi diffuse Reflexion

λ / nm	res / nm	t_{int} / s
1300-2500	5	2

MIR (Praxistest)

Spektrometer: FTIR Handheld Agilent 4300 mit ATR Kristall
Messanordnung: abgeschwächte Totalreflexion

$\tilde{\nu}$ / cm^{-1}	res / cm^{-1}	n
650-4000	4	16

3 Anwendungsphase – Rahmenbedingungen Praxistest und Hochwaschen

Über den Praxispartner Dibella fand im Rahmen der Entwicklung der Bettwäsche eine umfangreiche Prüfung der Prototypen statt. Die Untersuchungen am HIT konzentrierten sich auf die Proben aus der Anwendungsphase, z. T. wurden auch Vergleichswerte an der Neuware bestimmt. Spektroskopische Messungen wurden bei etwa 20 Nutzungszyklen auch vor Ort in der Wäscherei durchgeführt. Die textiltechnologischen und spektroskopischen Untersuchungen zielten darauf ab, mögliche gebrauch- und waschbedingte Veränderungen am Textil zu detektieren und die allgemeine Performance der Textilien unter Praxisbedingungen zu bewerten. Die Vorgehensweise zur Durchführung der Untersuchungen ist in Abbildung 3 gezeigt.

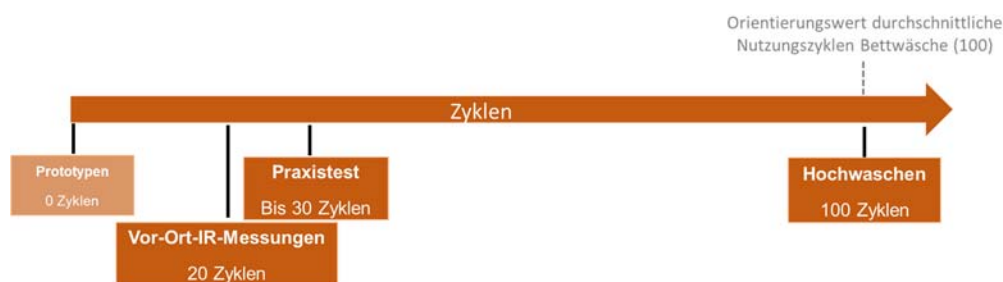


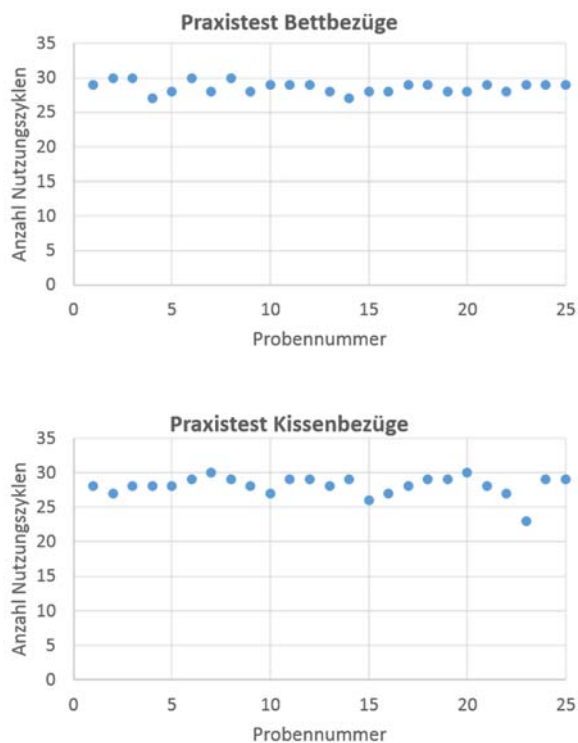
Abbildung 3: Vorgehensweise zur Durchführung der Qualitätsuntersuchungen in der Anwendungsphase

Auf Basis von Literaturdaten wird für Bettwäsche im Leasing-Bereich von durchschnittlich rund 100 Nutzungszyklen ausgegangen [Witteveen 2022]. Diese Zahl an Nutzungszyklen konnte im Rahmen des Praxistests aufgrund der begrenzten Dauer des Forschungsprojekts nicht erreicht werden. Die Bettwäsche durchlief im Praxistest rund 30 Nutzungszyklen, die Gebrauch sowie Pflege beinhalteten. Nach Abschluss des Praxistests wurde ein kleiner Teil der Textilien auf 100 Zyklen „hochgewaschen“, d.h. es wurden weitere Pflegezyklen unter Praxisbedingungen durchlaufen. Dabei waren die Textilien nicht im Gebrauch, d.h. eine Gebrauchsbelastung fand nicht statt.

Jede Produktlinie war mit rund 1.000 Textilien in der Anwendung. Anlehnend an die DIN EN ISO 2859-1 wurde je Produktlinie ein Probenumfang von ca. 80 Textilien im Vergleich zur Neuware abgemustert und spektroskopisch analysiert. An einzelnen Proben wurden zusätzlich Textilprüfungen durchgeführt, deren Ergebnisse mit den spektroskopischen Daten korreliert wurden. Im Detail wurden 25 Bettbezüge und 25 Kissenbezüge aus dem Praxistest (bis 30 Nutzungszyklen) untersucht. Zusätzlich wurden je 25 Bezüge untersucht, die auf 100 Pflegezyklen unter industriellen Pflegebedingungen hochgewaschen wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Textilprüfungen



Die Proben aus der Anwendung wurden zunächst visuell abgemustert, um einen Gesamteindruck bzgl. des Zustands der Textilien zu erhalten und pflege- und gebrauchsbedingte Veränderungen festzustellen. Die Ergebnisse der Abmusterung sind in

dargestellt.

Pflegebedingte Änderungen der Maße konnten im Rahmen des Praxistests nicht präzise bestimmt werden, da dies gemäß DIN EN ISO 5077 und DIN EN ISO 3759 ein Anbringen von Markierungen erfordert, die vor und nach der Pflege vermessen werden. Um dennoch eine grobe Abschätzung zur Maßbeständigkeit machen zu können, wurde ein Teil der Bettbezüge nach der Anwendung vermessen (ca. 20 Proben) und mit einem Neuteil verglichen.

Abbildung 4: Auswahl der Proben der DiTex-Bettwäsche aus dem Praxistest

Prüfkriterium	Praxistest (bis 30 Zyklen)	Hochwaschen (100 Zyklen)
Maßänderung (Bettbezüge)*	Länge und Breite: ca. -1 bis -3 % (20 Bettbezüge)	Länge und Breite: ca. -2 bis -4 % (22 Bettbezüge)
Schrägverzug (visuell)	Bettbezüge: keine Auffälligkeiten (15 Proben); Mangelverzug (10 Proben), teilweise mit Mangelfalten (6) und Verfärbungen (3) Kissenbezüge: überwiegend keine Auffälligkeiten (23)	Bettbezüge: kein gravierender Verzug, ovale Verformung am Sackende Kissenbezüge: keine Auffälligkeiten
Verarbeitung der Kanten und/oder Nähte (visuell)	keine Auffälligkeiten	Überwiegend keine Auffälligkeiten, einzelne Proben mit Nahtöffnung (1) und herausstehenden Fasern (5)

* Abschätzung der Maßänderung für die Bettbezüge durch einen Vergleich der Maße eines Neuteils (Prototyp) mit den Maßen der verschiedenen Proben aus der Anwendung.

Tabelle 2: Ergebnis der visuellen Abmusterung der Proben aus dem Praxistest (25 Bettbezüge, 25 Kissenbezüge) und nach dem Hochwaschen auf 100 Zyklen (25 Bettbezüge, 25 Kissenbezüge) anlehnend an die Anforderungskriterien des HQS 705.

Die Kissen- und Bettbezüge aus der Anwendung wiesen nach bis zu 100 Pflegezyklen ein überwiegend positives Warenbild auf. Insgesamt ließen sich visuell keine gravierenden Veränderungen an der textilen Oberfläche feststellen. Lediglich einzelne Proben zeigten auf der linken Wareenseite lokal leicht aufgeraute Bereiche bzw. eine leicht wellige Struktur. Die im Saum eingenähten Tags (Tracking-IDs) zeichneten sich aufgrund ihrer Größe auf der Textiloberfläche ab und führten vereinzelt zu Verfärbungen (braune Stellen).

Es zeigte sich ein leichter Schrumpf für die Bettbezüge, der im Bereich der Anforderung des HQS 705 liegt (nach 5 Zyklen: max. $\pm 3\%$) und der mit Zunahme der Pflege auf 100 Zyklen leicht anstieg. Ein Teil der Bettbezüge aus dem Praxistest wies Mängelschäden auf, die in Form von Verzügen am Sackende, Mangelfalten sowie vereinzelt Verfärbungen sichtbar wurden. Zur Analyse der Ursache wurden einzelne Bezüge (3 Proben) mit vergleichsweise starkem Verzug erneut gewaschen (1 Wäsche nach DIN EN ISO 15797) und abgemustert. Diese gewaschenen Textilien zeigten nahezu keinen Verzug, sodass die Textilkonstruktion selbst als Ursache für die Mängelschäden ausgeschlossen wird und eine prozessbedingte Schädigung (z. B. Fehler Mangleingabe) angenommen wird. Für die Bezüge, die nach dem Praxistest bis 100 Zyklen weitergewaschen wurden, ließen sich keine Mängelschäden beobachten. Die Bezüge wiesen an den Enden eine leichte, durch den Mangelprozess bedingte Verformung auf (ovale Öffnung), die für 100 Pflegezyklen als angemessen eingestuft wird. Im Bereich der Verarbeitung wurden nahezu keine Auffälligkeiten festgestellt. Nahezu alle hochgewaschenen Bezüge waren nach 100 Zyklen weiter einsatzfähig.

Mechanische Eigenschaften

Um eine mögliche Veränderung der mechanischen Eigenschaften im Verlauf der Anwendung festzustellen, wurden exemplarisch an einzelnen Proben textiltechnologische Prüfungen durchgeführt.

Messungen der **Höchstzugkraft** in Anlehnung an DIN EN ISO 13934-1 wurden an der Neuware und jeweils 3 Proben nach dem Praxistest und Hochwaschen durchgeführt, um die Festigkeit des Gewebes zu analysieren. Die Ergebnisse der Höchstzugkraft-Messungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

Im Neuzustand zeigt das Gewebe eine gute Festigkeit und erfüllt die Anforderungen nach HQS 705 (Kette ≥ 600 N, Schuss ≥ 500 N). Nach der Anwendungsphase lässt sich eine leichte Abnahme der Zugfestigkeit beobachten, wobei der Reißkraftverlust im Bereich von etwa 10-20 % liegt. Der Reißkraftverlust hängt nicht nur von der Qualität der Textilien, sondern auch stark von den Wasch- und Trocknungsbedingungen ab. Anforderungen bzgl. des Reißkraftverlusts nach der Wäsche werden nach HQS nicht gestellt. Der Reißkraftverlust nimmt in Kettrichtung mit Zunahme der Pflegezyklen leicht zu, während in Schussrichtung keine gravierende Veränderung zwischen Praxistest (ca. 30 Zyklen) und Hochwaschen (100 Zyklen) zu beobachten ist. Insgesamt bleiben die mechanischen Zugeigenschaften des Gewebes zwischen 30 und 100 Zyklen vergleichsweise stabil und lassen kein Ende der Einsatzfähigkeit absehen.

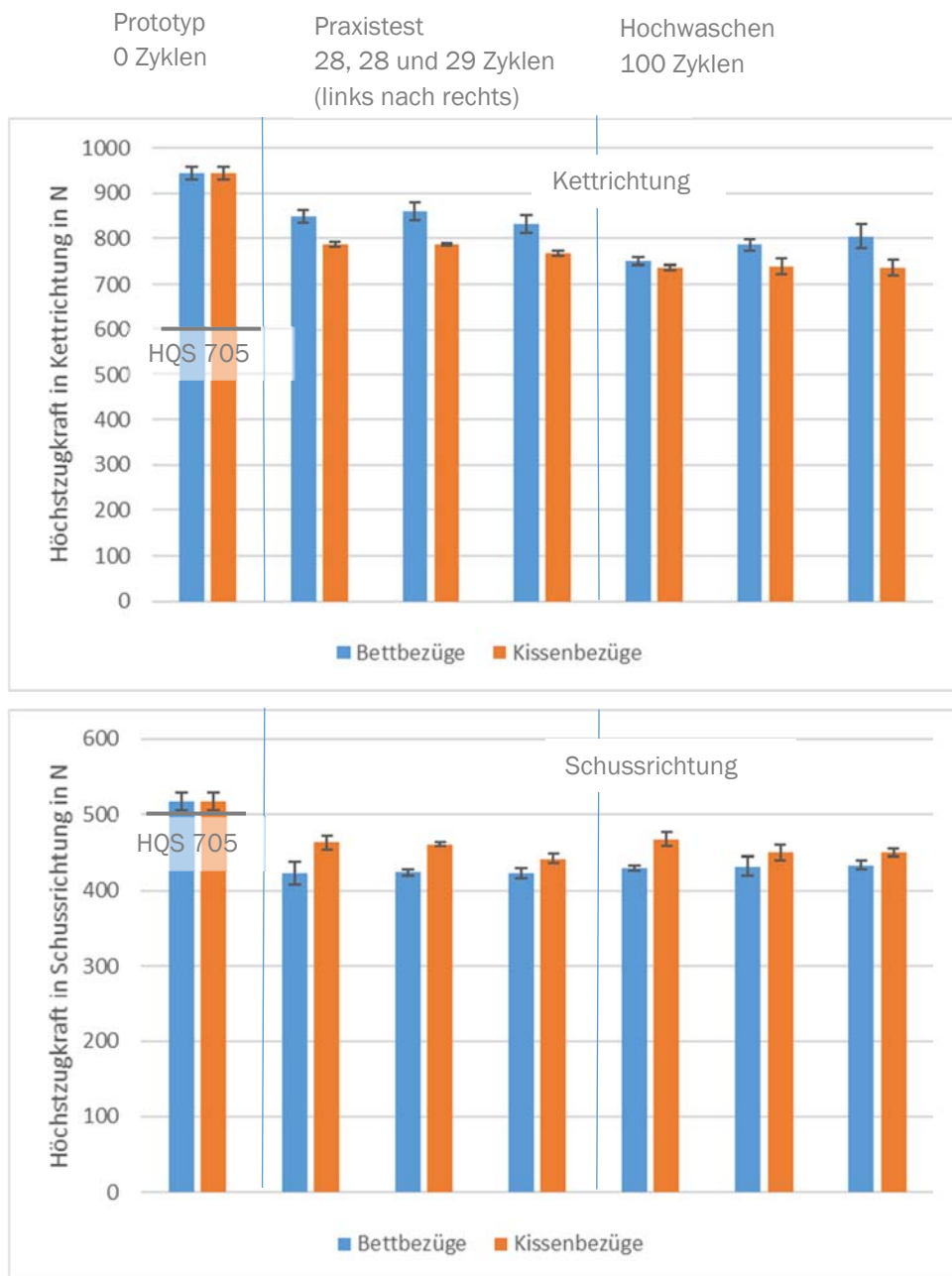


Abbildung 5: Zugfestigkeit des Gewebes in Kett- (oben) und Schussrichtung (unten) in Anlehnung an DIN EN ISO 13934-1 (Abweichung Norm: Mittelwert aus 3 Einzelmessungen). Die Werte der Neuware (Prototyp) beziehen sich auf einen ungewaschenen Bettbezug (identischer Wert für Bett- und Kissenbezüge).

Die **Scheuerbeständigkeit** wurde als Maß für die Festigkeit des Gewebes unter abrasiver Beanspruchung untersucht. In der Anwendung ist Bettwäsche einer vergleichsweise geringen Scheuerbelastung ausgesetzt. So kann beispielsweise die Bewegung des Nutzers eine Reibung zwischen Bezug und Haut bzw. zwischen Bezug und Laken bei geringer Belastung/Druck verursachen. Daneben können abrasive Beanspruchungen während des Pflegeprozesses auftreten, u. A. ein Scheuern während des Wasch- und Mangelprozesses.

Ausschlaggebend für die Scheuerbeständigkeit nach dem Martindale-Verfahren sind die mechanischen Eigenschaften des Fadens sowie der einzelnen Fasern innerhalb des Fadens. Durch abrasive Belastungen können Fasern aus der textilen Fläche herausgezogen, Pills gebildet und die 3-dimensionale Struktur verändert werden. Die Fasern werden dabei ausgelenkt, was mit zunehmendem Zug dazu führt, dass diese reißen/brechen. Auch Material kann an der Faseroberfläche abgetragen werden, was im Martindale-Verfahren eine eher untergeordnete Rolle spielt. Alle Effekte führen zu einer Verminderung der Festigkeit des textilen Flächengebildes [Mayer-Gall 2017].

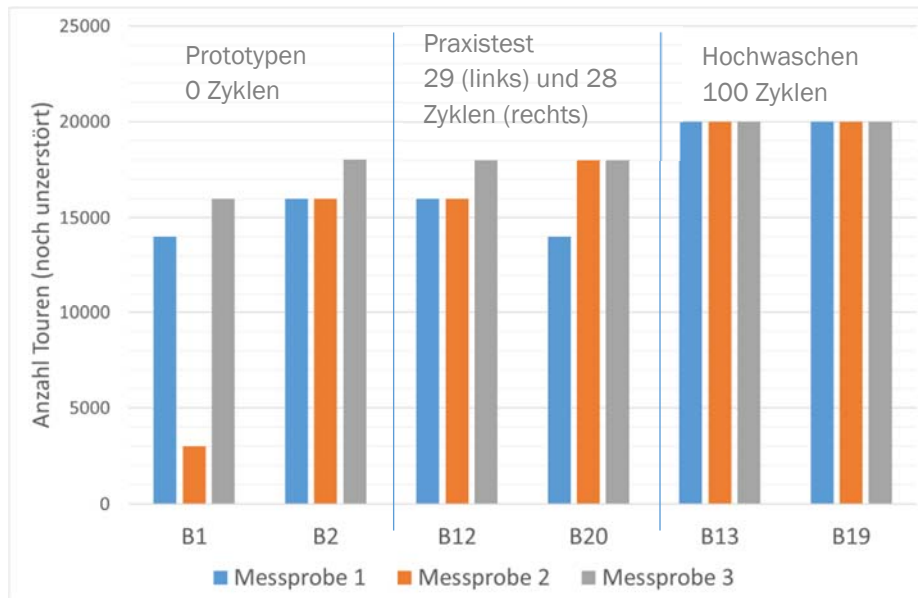


Abbildung 6: Scheuerbeständigkeit des Gewebes nach DIN EN ISO 12947-2. Entsprechend der Norm wird die Prüfung je Probe an jeweils 3 Messproben durchgeführt (blau, orange, grau). Auf der horizontalen Achse ist die Probenbezeichnung angegeben.

Die Scheuerbeständigkeit wurde exemplarisch an jeweils 2 Proben im Neuzustand (Prototypen), nach dem Praxisversuch (28/29 Zyklen) und dem Hochwaschen (100 Zyklen) bestimmt und ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Scheuerbeständigkeit des Gewebes bleibt mit Zunahme der Pflegezyklen stabil bzw. verbessert sich leicht. Dies lässt darauf schließen, dass nach bis zu 100 Pflegezyklen keine gravierende Veränderung der Gewebe-, Faden- und Faserstruktur stattgefunden hat und die Festigkeit unter Reibbelastung erhalten bleibt. Es ist anzunehmen, dass dies insbesondere durch die hohe Stabilität der Polyesterfasern ermöglicht wird. Die leichte Verbesserung wird auf den Schrumpf des Gewebes zurückgeführt, der zu einer kompakteren Struktur und einer geringeren Auslenkung und somit Belastung der Fasern im Scheuerprozess führt. Mit Ausnahme von Messprobe 2, Probe B1, liegt die Scheuerbeständigkeit im Neuzustand etwa im Bereich der Anforderungen des HQS 705 (15.000 Touren).

Neben der Scheuerbeständigkeit wurde die **Pillneigung** des Gewebes bei abrasiver Belastung mithilfe des modifizierten Martindale-Verfahrens nach DIN EN ISO 12945-2 untersucht. Wie oben beschrieben kann durch Reibung, z. B. zwischen Haut und Bettbezug, eine unerwünschte Veränderung der Oberfläche in Form von Pills („Knötchenbildung“) hervorgerufen werden. Das Ergebnis des Martindale-Verfahrens ist abhängig von den Eigenschaften der Fasern, des Garns und der Gewebekonstruktion, welche die verschiedenen Prozesse der Pillneigung und deren Geschwindigkeiten beeinflussen.

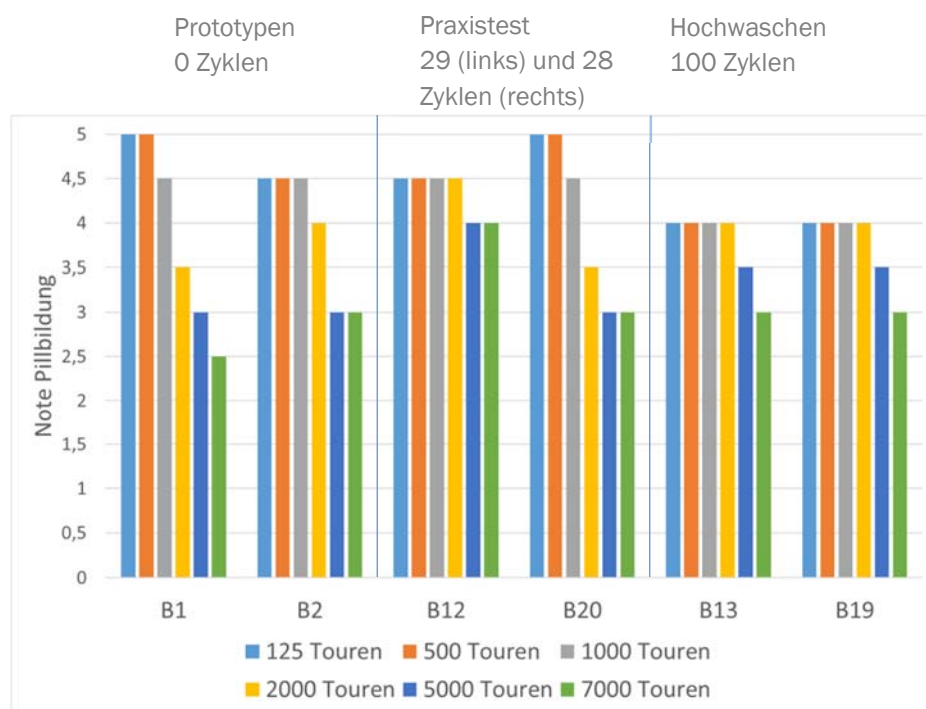


Abbildung 7: Pillneigung des Gewebes nach DIN EN ISO 12945-2 (modifiziertes Martindale-Verfahren). Auf der horizontalen Achse ist die Probenbezeichnung angegeben.

Die Ergebnisse der Prüfungen in Abbildung 7 zeigen für alle Proben eine Zunahme der Pillbildung bei ansteigender Scheuerbelastung (Touren). Tendenziell werden weniger starke Oberflächenveränderungen beobachtet, wenn sich die Anzahl der Pflegezyklen erhöht. Dies wird darauf zurückgeführt, dass lose bzw. lockere Fasern an der Geweboberfläche im Gebrauchs- und Pflegeprozess herausgelöst werden und im gewaschenen Zustand nicht mehr zum Pilling beitragen. Die Pillneigung im Neuzustand liegt im Bereich der Anforderungen des HQS 705 (bis 7.000 Touren Note ≥ 3).

Weißqualität

Ergänzend zu den textiltechnologischen Untersuchungen wurden Messungen der **Weißqualität** nach der Anwendungsphase durchgeführt. Die Weißqualität hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere den Wasch- und Trocknungsbedingungen. Messungen der Weißqualität können daher Hinweise zur Güte eines Pflegeverfahrens geben bzw. helfen, geeignete Verfahrensparameter abzuleiten. Für eine möglichst lange Nutzungsdauer in der Praxis sollten die Beschaffenheit des Textils und die Pflegebedingungen aufeinander abgestimmt sein.

Die Ergebnisse in Abbildung 8 zeigen, dass die Bett- und Kissenbezüge auch nach bis zu 100 Zyklen eine hohe Weißqualität aufweisen. Zur Orientierung können Grenzwerte des RAL Gütezeichens 992/1 für Objekt- und Haushaltswäsche herangezogen werden. In diesem sind für einen Kontrollstreifen aus Baumwolle bei sachgemäßer Pflege Mindestwerte von 87 und 170 für Grundweißwert bzw. Weißgrad

nach 25 und 50 Waschzyklen vorgegeben. Die Kissenbezüge zeigen im Vergleich zu den Bettbezügen eine etwas stärkere Vergrauung, was auf die Trocknungsbedingungen in der Mangel zurückgeführt wird. Die Maschine orientierte sich am Design und der Größe der Bettbezüge, während keine spezifische Anpassung für die Kissenbezüge möglich war. Es ist anzunehmen, dass es für die Kissenbezüge zur leichten Übertrocknung kam, was sich in einer stärkeren Vergrauung widerspiegelt. Die orientierenden Grenzwerte der Weißqualität werden jedoch bei jeder Probe eingehalten.

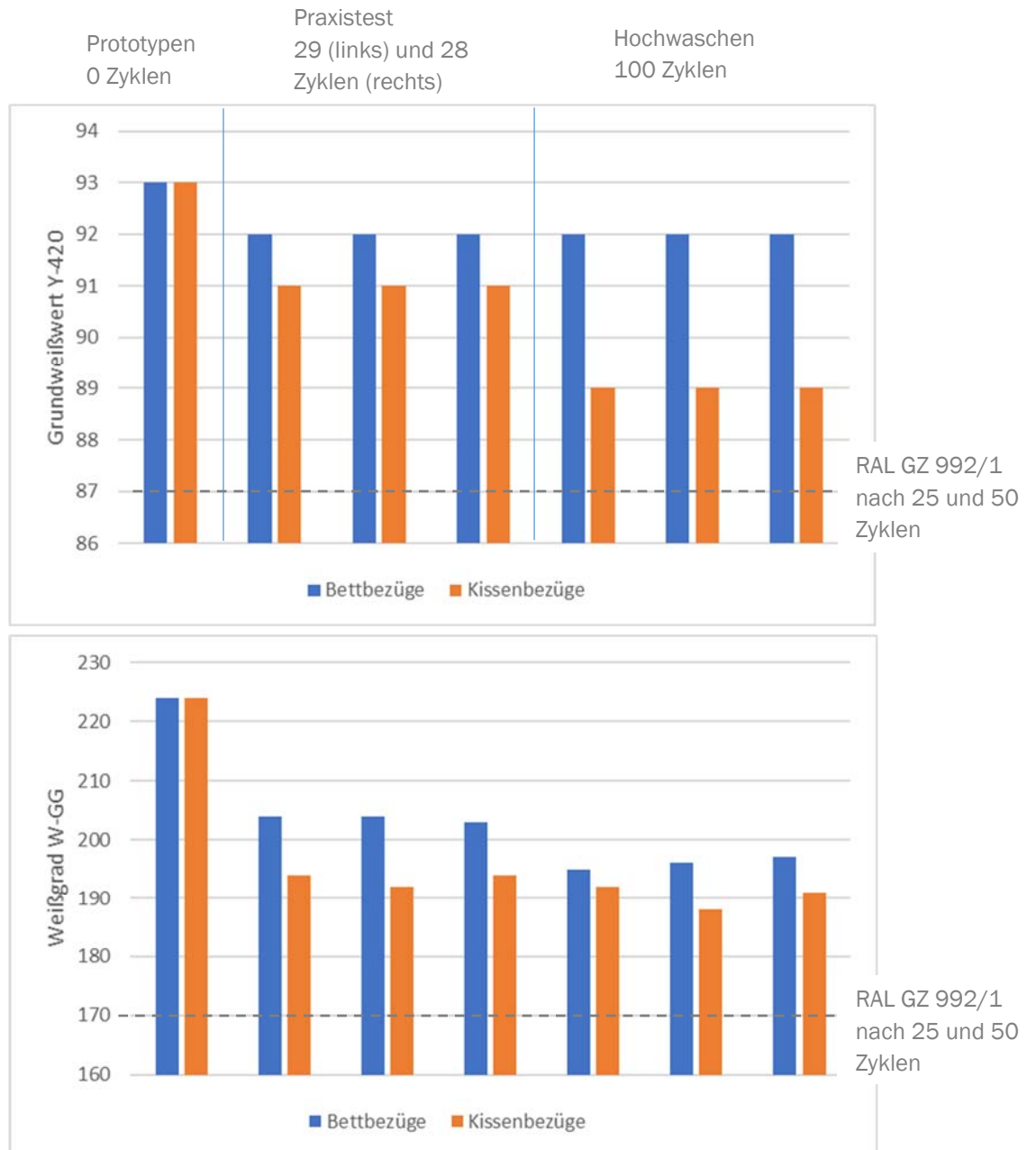


Abbildung 8: Weißqualität des Gewebes nach Praxistest und Hochwaschen: Grundweißwert Y-420 (oben) und Weißgrad W-GG (unten)

Hautsensorischer Tragekomfort

Da sich Bettwäsche zum Teil im direkten Kontakt mit der Haut befindet, spielen für den Schlafkomfort des DiTex-Gewebes die hautsensorischen Eigenschaften eine zentrale Rolle. Daneben sind das Feuchtmanagement (Atmungsaktivität) und die Wärmeisolation von Relevanz. Tabelle 3 und Tabelle 4 fassen die thermophysiologicalen und hautsensorischen Kennzahlen der DiTex-Bettwäsche im Neuzustand und nach der Anwendungsphase zusammen. Es lassen sich keine gravierenden Veränderungen der verschiedenen Kennzahlen des Gewebes nach bis zu 100 Pflegezyklen beobachten. Dies lässt darauf schließen, dass die Oberflächeneigenschaften sowie die Beschaffenheit der Fasern und Fläche vergleichsweise beständig sind. Die leichte Zunahme des Benetzungs- und Oberflächenindex könnte mit einem Aufräumen der Textiloberfläche nach 100 Pflegezyklen erklärt werden. Auch eine Ablagerung von Waschsubstanzen könnte damit in Verbindung stehen.

Der Wasserdampfdurchgangsindex i_{mt} liegt mit etwa 0,15 in einem Bereich, der – beruhend auf Erfahrungswerten – für Bettwäsche als Mindestwert angestrebt wird, um ein gutes Feuchtmanagement zu gewährleisten. Das Gewebe weist eine gute Benetzbarkeit (i_B) auf und führt somit flüssigen Schweiß effektiv von der Haut ab. Der Klebekraftindex i_K als Maß für ein Ankleben des Textils auf der schweißnassen Haut ist im Soll-Bereich zwischen 5 und 15, was sich positiv auf das Komfortgefühl auswirkt. Die Kontaktpunktzahl n_K liegt an der oberen Grenze des Sollbereichs und zeigt eine vergleichsweise hohe Anzahl an Kontaktpunkten mit der Haut auf. Dies kann dazu beitragen, dass sich das Gewebe auf schweißnasser Haut klamm/feucht anfühlt. Der niedrige Oberflächenindex i_O weist auf eine glatte, nicht kratzige Oberfläche hin, welche u. U. als zu glatt empfunden werden kann. Die Steifigkeit des Gewebes liegt etwas oberhalb des Sollbereichs.

In vergangenen Forschungsprojekten wurde ein Schulnotensystem (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend) erarbeitet, um aus den verschiedenen Kennzahlen ein Maß für den hautsensorischen Komfort des Gewebes zu errechnen. Das DiTex-Gewebe der Bettwäsche schneidet mit der Note 2 gut ab (Neuware: Note 1,9, 30 Zyklen: Note 2,2, 100 Zyklen: Note 2,2). Aufgrund dessen, dass erst ab einer Änderung von 0,5 Noten vom Menschen Unterschiede hinsichtlich des hautsensorischen Komforts wahrgenommen werden können, ist der Komfort nach 100 Pflegezyklen als „neuwertig“ einzustufen.

Tabelle 3: Thermophysiological Eigenschaften der DiTex-Bettwäsche bestimmt über das Hautmodell anlehnend an DIN EN ISO 11092 (Abweichung: Durchschnitt aus 2 Messwerten). Der Soll-Wert beruht auf Erfahrungswerten aus der Praxis.

Anzahl Zyklen	Thermophysiological		
	Wärmeisolation R_{ct} in m^2K/W	Atmungsaktivität R_{et} in m^2P/W	Feuchteindex i_{mt} in K/Pa
0	0,0045	2,14	0,13
28	0,0032	2,13	0,09
100	0,0049	1,46	0,20

Soll: $i_{mt} > 0,15$ (Bettwäsche)

Tabelle 4: Hautsensorische Eigenschaften der DiTex-Bettwäsche. Die Soll-Werte beruhen auf Erfahrungswerten aus der Praxis

Anzahl Zyklen	Hautsensorik				
	Benetzungsindex i_B in s	Oberflächenindex i_O	Klebekraftindex i_K in 1/cN	Kontaktpunktzahl n_K	Steifigkeit s
0	2,60	2,31	9,66	1469	29,9
28	2,39	2,37	8,15	1564	30,3
100	5,01	5,79	10,51	1576	33,4

Soll: $i_B < 270$,
 $5 < i_K < 15$ (>15 „klebend“, <5 „kitzelnd“),
 $3 < i_O < 15$ (<3 „seifig“, >15 „kratzig“),
 $n_K < 1500$,
 $5 \leq s \leq 27$ (<5 „lappig“, >27 „unangenehm steif“)

4.2 Spektroskopische Untersuchungen

Prototypen

Die NIR spektroskopischen Untersuchungen der Prototypen sind gut reproduzierbar und zeigen eine deutliche spektrale Signatur. Die Unterschiede zwischen den Spektren liegen in dem Offset und in den Intensitäten. Das liegt an der Messtechnik (kleine Messoberfläche, große lokale Inhomogenität der Probe) und nicht an den globalen spektralen Eigenschaften der untersuchten Materialien.

Da die Bettwäsche aus einer Mischung von Polyester und Lyocell (50/50) besteht, setzen sich die Spektren aus einer Kombination der charakteristischen Peaks und Absorptionsbanden für die funktionellen Gruppen beider Materialien zusammen:

Lyocell (Cellulose):

- Hydroxylgruppen (OH) in Cellulose: breite Bande bei ca. 3300 cm^{-1} .
- C-H-Streckungen von Methyl- und Methylen-Gruppen: zwischen 2850 und 2970 cm^{-1} .
- C=O-Streckung in Acetylgruppen: 1740 cm^{-1} .
- C-O-Streckung in Pyranose-Ringen: zwischen 1000 und 1150 cm^{-1} .

r-PET:

- C-H-Streckungen von Methyl- und Methylen-Gruppen: zwischen 2850 und 2970 cm^{-1} .
- C=O-Streckung in Estergruppen: bei etwa 1725 cm^{-1} .
- C-O-C-Streckung in Estergruppen: bei 1100 - 1250 cm^{-1} .
- Aromatische C=C-Streckung: bei 1600 cm^{-1} .

Eine Bestimmung des Weißgrades in VIS-Bereich ist aufgrund von optischen Aufhellern nicht möglich,

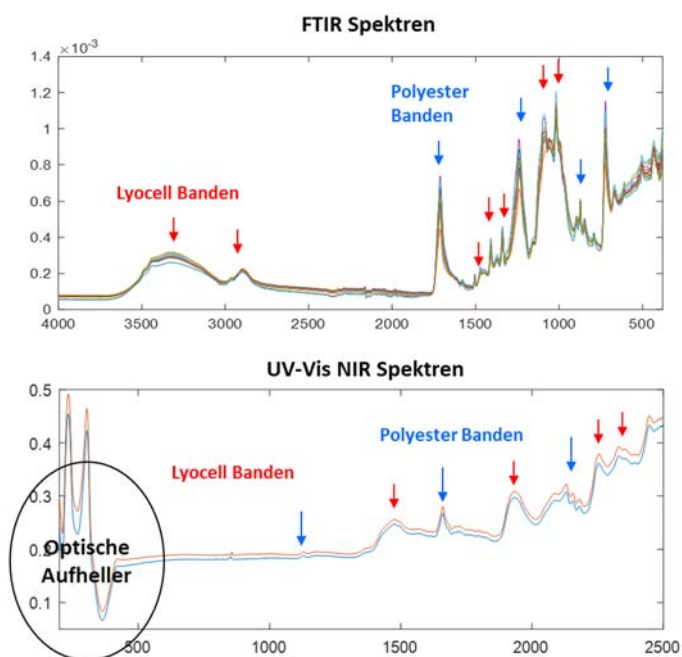


Abbildung 9: FTIR (oben) und UV-Vis-NIR (unten) der Bettwäsche Prototypen (Quelle: Hochschule Reutlingen)

Praxisphase

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

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

Im sichtbaren Bereich wurde eine leichte Änderung des Weißgrades beobachtet (siehe Abbildung 10). Dies könnte auf Veränderungen in den physikalischen Eigenschaften der Textilien oder auf Verunreinigungen zurückzuführen sein, die während des Praxistests auftraten. Die Durchführung der multivarianten Datenanalyse hat gezeigt, dass diese Änderung geringfügig ist. Die Bettwäsche im Neuzustand erfüllt den Hohensteiner Qualitätsstandard 705 (HQS 705) [Hohenstein 2017]. Im Bereich 450 - 600 nm ist die Änderung des Weißgrades zu erkennen.

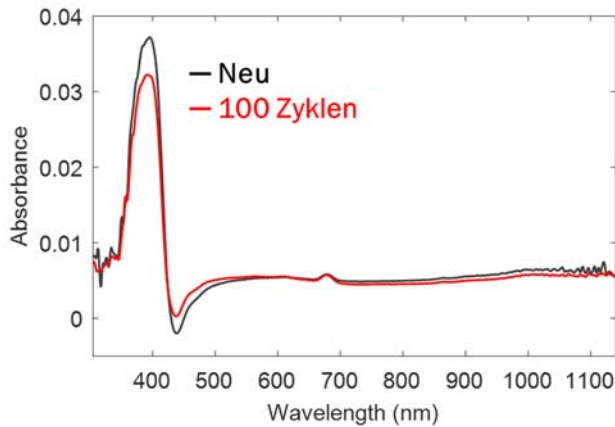


Abbildung 10: UV-Vis Mittelwertspektren der Bettgarnitur (schwarz: Neuzustand, rot: 100 Zyklen)
(Quelle: Hochschule Reutlingen)

5 Zusammenfassung

Das Gewebe aus 50 % Lyocell und 50 % rPES zeigt nach der Anwendungsphase nach bis zu 100 industriellen Pflegezyklen ein robustes Warenbild. In der visuellen Abmusterung sind kaum bzw. nahezu keine Veränderungen am Flächenmaterial erkennbar, welche auf einen Materialabbau hindeuten. Diese Beobachtung wird durch die spektroskopischen Ergebnisse bestätigt, die eine stabile Zusammensetzung bis nach der Anwendungsphase aufzeigen. Der Festigkeitsverlust liegt nach 100 Zyklen bei etwa 10-20 %, wobei keine gravierende Abnahme zwischen Praxistest (30 Zyklen) und Hochwaschen (100 Zyklen) beobachtet wird. Ein Ende der Einsatzfähigkeit kann nach 100 Pflegezyklen nicht abgesehen werden. Aufgrund der begrenzten Dauer des Praxistests kann der Einfluss der Gebrauchsbelastung nicht vollständig bewertet werden. Hier bedarf es weiterführender Forschungsarbeiten unter praxisnahen Bedingungen, um Nutzungsdaten systematisch zu erfassen und zu analysieren und den Einfluss der Gebrauchsbelastung auf die Einsatzdauer der Textilien zu untersuchen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse das Potential von recyceltem Polyester und Lyocell für den Einsatz im gewerblichen Bereich.

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

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

6 Literaturverzeichnis

AIF-Forschungsvorhaben 7169, Abschlussbericht des Bekleidungsphysiologischen Institutes Hohenstein e. V, Quantifizierung, Messung und Bewertung des hautsensorischen Tragekomforts von Textilien durch ein Vorhersagemodell, 1990.

Hohenstein Qualitätsstandard 701ff – Anforderungskataloge zum Einkauf von leasinggeeigneten Textilien, 2017.

M. Witteveen, K. Hecht, Arbeitspapier DiTex – Nutzungsdauer von Arbeitskleidung und Bettwäsche im Textilservice – Marktzahlen und Übertragbarkeit auf Ditex-Textilien, 2022.

T. Mayer-Gall, T. Textor, J. S. Gutmann, Entwicklung von Ausrüstungen zur Verbesserung der Scheuer- bzw. Abrasionsbeständigkeit von textilen Flächengebilden, DTNW-Mitteilung Nr. 108, ISSN 1430-1954, 2017.

7 Anhang

Thermophysiologie

Mithilfe des Hautmodells, beschrieben in DIN EN ISO 11092, lassen sich spezifische thermophysiologische Kennzahlen für Textilien ermitteln:

Wärmedurchgangswiderstand R_{ct} („Wärmeisolation“): Der Wärmedurchgangswiderstand ist definiert als die Temperaturdifferenz zwischen der Ober- und Unterseite der textilen Fläche, dividiert durch den Wärmefluss entlang des Temperaturgradienten (je Flächeneinheit). Er wird unter stationären Bedingungen ermittelt.

Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} („Atmungsaktivität“): Der Wasserdampfdurchgangswiderstand ist definiert als die Differenz des Wasserdampfpartialdrucks zwischen der Ober- und Unterseite der textilen Fläche, dividiert durch den Verdampfungswärmefluss entlang des Partialdruckgradienten (je Flächeneinheit). Er wird unter stationären Bedingungen ermittelt.

Hautsensorik

Folgende materialspezifische Kenngrößen können zur Beschreibung der hautsensorischen Eigenschaften herangezogen werden:

Klebeindex i_K - Klebewirkung auf schweißfeuchter Haut: Der Klebeindex beschreibt, wie stark ein Textil auf der schweißnassen Haut anklebt. Die Bestimmung des Klebeindex erfolgt mithilfe einer Sinterglasplatte, deren poröse Oberfläche die menschliche Haut simuliert und in der Rauigkeit vergleichbar ist. Nach Benetzung der Sinterglasplatte mit destilliertem Wasser wird das zu untersuchende Textil horizontal über die Oberfläche gezogen, während die dafür notwendige Zugkraft zeitlich aufgezeichnet wird. Das Mittel der Messwerte in Längs- und Querrichtung geht in die Bestimmung des Klebeindex ein. Je kleiner die Klebewirkung (und i_K), desto besser ist das Komfortempfinden. Idealerweise sollte er unter 15 liegen (Erfahrungswert).

Prüfbedingungen: s. BPI 3.1^A

Prüfklima: $T_a = 20^\circ\text{C}$; $\varphi_a = 65\%$ r.F.

Mittel aus 10 Einzelmessungen pro Muster. Messgenauigkeit 1,2 (Standard-Abweichung).

Benetzungsindex i_B – Sorptionsgeschwindigkeit von Wasser in die textile Fläche: Beim Schwitzen werden Textilien hautsensorisch umso angenehmer empfunden, je schneller die Schweißtropfen von der Haut wegtransportiert werden. Die Sorptionsgeschwindigkeit wird bestimmt, in dem ein Wassertropfen definierter Größe aus einer konstanten Höhe (5 cm) auf die Innenseite des Textils getropft wird. Über eine Videoaufnahme des Vorgangs lässt sich der Randwinkel des Wassertropfens verfolgen und das Zeitintervall extrapolieren, nach dem eine vollständige Absorption des Tropfens erfolgt ist. Das Zeitintervall beschreibt den Benetzungsindex, der möglichst klein und erfahrungsgemäß unter 270 liegen sollte.

Prüfbedingungen: s. BPI 3.2^A

Prüfklima: $T_a = 20^\circ\text{C}$; $\varphi_a = 65\%$ r.F.

Mittel aus 5 Einzelmessungen pro Muster. Messgenauigkeit 10 % (Varianz).

Oberflächenindex i_O : Der Oberflächenindex i_O beschreibt, inwieweit sich ein Textil auf der Haut rau/kratzig oder zu glatt („seifig“) anfühlt. Der Index wird bestimmt aus der Anzahl und Länge von Faserenden, die von der Oberfläche abstehen. Dies erfolgt mithilfe eines Bildanalyse-Systems, das ein vergrößertes Bild des Textilquerschnitts aufnimmt. Als hautsensorisch gut wird ein Oberflächenindex zwischen 3 und 15 bewertet.

Prüfbedingungen: s. BPI 3.3^A

Prüfklima: $T_a = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi_a = 65\%$ r.F.

Mittel aus 10 Einzelmessungen pro Muster. Messgenauigkeit 0,63 (Standard-Abweichung).

Zahl der Kontaktpunkte zwischen Textil und Haut nk: Aus Forschungsarbeiten hat sich gezeigt, dass Textilien sich weniger klebend/klamm auf der Haut anfühlen, wenn ihre Auflagefläche möglichst klein ist. Die Auflagefläche ist abhängig von der Oberflächenstruktur des Textils. Ein Maß für die Auflagefläche stellt die Anzahl der Kontaktpunkte zwischen Haut und Textil dar, welche mithilfe eines Topographen bestimmt werden kann. Der Topograph erstellt ein dreidimensionales Bild der Textiloberfläche, aus dem sich mithilfe eines Bildanalyse-Systems spezifische Kennzahlen bzgl. der Oberflächenstruktur ermitteln lassen (z.B. Hoch- und Tiefpunkte) und die Kontaktpunktzahl (Musterfläche 12,25 cm²) ermittelt werden kann. Je kleiner die Kontaktpunktzahl, desto besser das hautsensorische Empfinden auf der Haut. Idealerweise sollten Werte unter 1500 erreicht werden.

Prüfbedingungen: s. BPI 3.4^A

Prüfklima: $T_a = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi_a = 65\%$ r.F.

Mittel aus 10 Einzelmessungen an 10 verschiedenen Probenabschnitten pro Muster. Messgenauigkeit 56 (Standard-Abweichung).

Steifigkeit s: Die Steifigkeit wird aus dem Biegewinkel eines Textilstreifens (ca. 2 cm x 10 cm) gegenüber der Vertikalen ermittelt. Je größer der Winkel, desto größer die Steifigkeit s. Es können Werte zwischen 0 (vollständig schlaff) und 90 (vollständig steif) erreicht werden. Die Steifigkeit ergibt sich aus dem Mittelwert in Längs- und Querrichtung sowie vorwärts und rückwärts.

Prüfbedingungen: s. BPI 3.5^A

Prüfklima: $T_a = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi_a = 65\%$ r.F.

Mittel aus 10 Einzelmessungen pro Muster. Messgenauigkeit 2,0 (Standard-Abweichung).

