

DBU Projekt

Cotton 4.0

Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung
von Baumwolle.

Tobias Herzog
5.8.2019

Inhalt

1. Why Organic Cotton Matters?	2
2. Systeme zur Rückverfolgbarkeit von Textilien	4
3. Cotton 4.0 im Kontext von Anforderungen an Rückverfolgbarkeit und anderen Technologien	5
3.1. Cotton 4.0 - Rückverfolgbarkeit von Biobaumwolle und deren Quantifizierung in der Wertschöpfungskette	6
3.1.1. Quantifizierung von Baumwolle im Fertigungsprozess	10
3.1.2. Projektprotokoll der einzelnen Phasen	14
4. Ergebnisse und Diskussion zur Rückverfolgbarkeit von Bio-Baumwolle und anderen kritischen Rohstoffmärkten	21
4.1. Kostenstruktur	21
4.2. Marktchancen der Technologie in der BioBaumwolle:	22
4.3. Weitere Potentiale der Technologie	22
5. Öffentlichkeitsarbeit	23
6. Fazit und Ausblick	24
Literaturverzeichnis	26
Annex 1 Eingesetzte Sensoren:	28
Annex 2 Versuche und Ergebnisse die zusätzlich in dieses Projekt aufgenommen wurden	29

1. Why Organic Cotton Matters?

Unter den Fasern, die in der Textilindustrie verwendet werden, stellen Naturfasern immer noch einen signifikanten Anteil dar. Das Dokument FAO-ICAC 2013 berichtet, dass der Naturfaserverbrauch im Jahr 2010 bei beinahe 40% des Gesamtverbrauchs lag. Davon entfallen über 80% des Naturfaserverbrauchs auf Baumwolle [1].

Der Anbau von Baumwolle ist in mehrfacher Hinsicht sehr ressourcenintensiv: Bemerkenswerte Beispiele sind der Wasserverbrauch bis zu 17000 l/kg [1] oder die große Menge an synthetischen Düngemitteln und Pestiziden, die benötigt werden. Obwohl Recycling auch in der Baumwolle ein gangbarer Weg zur Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs in der Textilindustrie wäre, muss ein solcher Prozess mit dem Design von Textilien beginnen um diese sortenrein trennen zu können. Doch selbst nach sortenreiner Trennung kann die recycelte Faser nur einmal erneut verwendet werden, da sie für einen zweiten Zyklus zu kurz wäre.

Dem Anbau von Bio-Baumwolle kommt damit eine tragende Rolle zu, wenn es darum geht eine Naturfaser mit besserer Bilanz hinsichtlich Energie- und Ressourcenverbrauch einzusetzen. Die hierbei gültigen Richtlinien regulieren den Einsatz von Kunstdünger sowie Herbiziden, Insektiziden und Entlaubungsmitteln [1].

Diese Richtlinien setzen eine signifikante Hürde für den Erzeuger der von konventionellen Anbau auf Biobaumwolle umstellen will. Mit der Substitution kann der Ernteertrag um bis zu 50% sinken kann, auch wenn der Ertrag nach einigen Jahren wieder auf 100% steigen kann. [1], [2], [3], [4]. Diese Verluste bei der Umstellung und die strengen Richtlinien zeigen die soziale Dimension der Biobaumwolle. Es stellt sich daher für jeden Erzeuger die Frage nach der kaufmännischen Grundlage für den Bio-anbau. Biobaumwolle erzielt als entkörnte Produkt im Ballen (Lint) durchweg 30-40% mehr am Markt als konventionelle Ware.

Organic Matters? Aus ökologischer Sicht kann diese Frage mit einem klaren „Ja“ beantwortet werden. Aus ökonomischer Sicht muss diese Frage für Erzeuger geklärt sein, damit Biobaumwolle überhaupt relevant wird. Die Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung von Bio-Baumwolle wird damit zum tragenden Element für den Schutz eines Premiumproduktes dessen Verfälschung und Vermischung gerade in den ersten Stufen der Wertschöpfung mit niedrigschwelliger krimineller Energie möglich ist.

1.1. Auswirkungen von ökologischem Ackerbau im Vergleich zu konventioneller Baumwolle

Unterschied zwischen Bio- und konventioneller Baumwolle	
Bio-Baumwolle	Konventionelle Baumwolle
Gentechnisch veränderte Organismen sind nicht am Produktionsprozess beteiligt.	Gentechnisch veränderte Organismen sind aktiv beteiligt
Es werden organische Gülle, natürliche Pestizide und Insektizide verwendet	Chemische Düngemittel und Pestizide werden verwendet
Der Boden wird von Giftstoffen befreit.	Eine Bodenentgiftung findet nicht statt
Es können mehrere Fruchtfolgen praktiziert werden	Es wird nur eine Kultur angebaut
Eine Saatgutbehandlung ist nicht erforderlich	Die Saatgutbehandlung mit Insektiziden und Pestiziden erfolgt vor der Kultur
Umweltfreundlich und schadlos für Lebewesen	Führt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch übermäßigen Einsatz von toxischen Chemikalien.
Schützt die Biodiversität	Das ökologische Gleichgewicht wird gestört

Die Variablen, die für eine angemessene Bewertung der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden müssen, gehen weit über die reinen Umweltvariablen hinaus und reichen bis in den sozialen und kommerziellen Bereich des Faserhandels. Weitere Aufmerksamkeit muss der Komplexität des Variablen-Koabhängigkeits-Netzwerks geschenkt werden. Für eine schematische Darstellung vgl. Abbildung 1 [5].

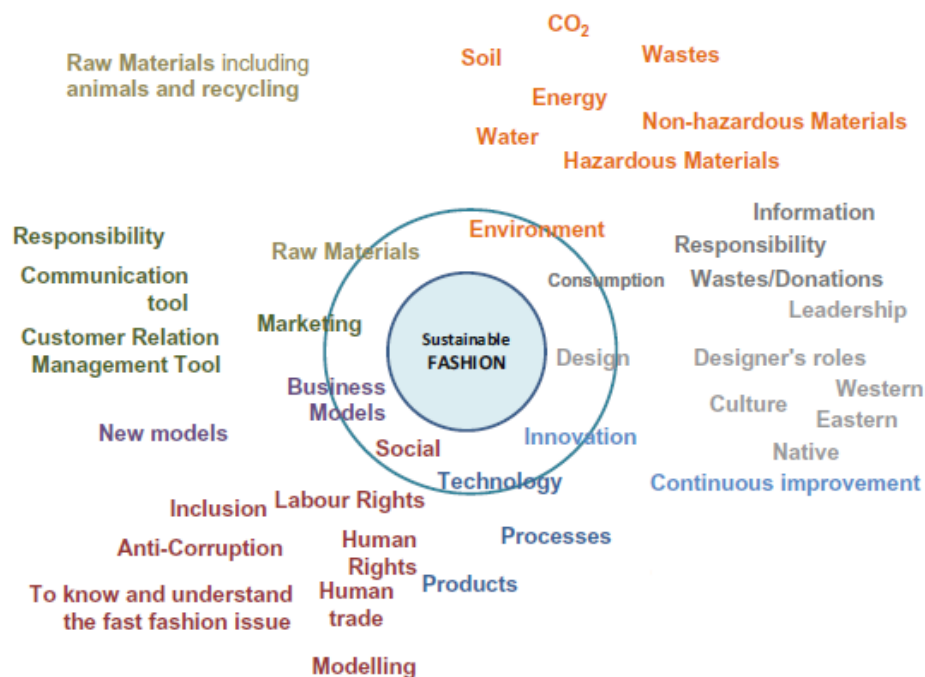


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Variablen, die mit der Rückverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit der Baumwollindustrie zusammenhängen.

Bio-Baumwolle bekommt erst im Stadium des Endprodukts ein Label (z.B. HangTag), doch zu Beginn der Wertschöpfung gleicht die Bio-Baumwolle der Baumwolle.



Abbildung 2 Gin Nordindien

Damit ist klar, nicht nur die Rückverfolgbarkeit von Biobaumwolle ist essentiell sondern auch deren Quantifizierung, d.h. die Erfassung von Volumina während der Transaktion um Verschneiden oder Vermischen zu vermeiden. Die durch dieses Projekt geförderte Technologie ist der Schlüssel für eine kosteneffiziente Umsetzung dieser Ziele. Bevor diese Technologie näher erläutert wird, sollen im folgenden Abschnitt die Begriffe Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung näher erläutert werden.

2. Systeme zur Rückverfolgbarkeit von Textilien

2.1. Begriffsbestimmung und Anforderungen an Systeme zur Rückverfolgbarkeit von Textilien

Im vorliegenden Projektbericht werden die Begriffe Rückverfolgbarkeit und Traceability synonym verwendet. Bei der Rückverfolgbarkeit von Produkten finden sich eine Vielzahl von Definitionen und Ausprägungen [6], [7], [8], welche auf die Anforderungen des jeweiligen Marktes zugeschnitten sind. So nutzen automatisierte Industriezweige Merkmale der Rückverfolgbarkeit zur Steuerung von Produktionsflüssen, andere Systeme beschränken sich auf die Rückverfolgbarkeit von Chargen oder Produktionseinheiten bestimmter Lieferquellen. Bei „sozialen Standards“ wie etwa FairTrade setzt man auf eine fiskale Transparenz oder etwa Audit-Systeme.

Im Kontext der Rückverfolgbarkeit von Biobaumwolle sollen vier wiederkehrende Leistungsmerkmale betrachtet werden:

- 1.) Abdeckung: Ab wann kann ein Produkt markiert werden, d.h. welche Stufen der Wertschöpfung sind durch die Markierung abgedeckt.
- 2.) Ausdifferenzierung: Die Frage, wie individualisiert eine Markierung sein kann. Ab wann macht es Sinn, Produkte unter einer Markierung zusammenzufassen oder wann wird eine Einzelteilrückverfolgbarkeit zum Feld erforderlich?
- 3.) Skalierbarkeit der Traceabilitylösung: Kann eine Lösung auch tatsächlich im Markt eingesetzt werden, ohne unverhältnismäßigen Personalaufwand oder Eingriffe in den Prozessablauf zu verursachen.
- 4.) Glaubwürdigkeit: Teilweise werden bestehende Mass-Balance Systeme oder Zertifikate und Audits von Marktkennern eher zynisch betrachtet, während der Konsument sich zunehmend im „Label-Dschungel“ befindet [9].

3. Cotton 4.0 im Kontext von Anforderungen an Rückverfolgbarkeit und anderen Technologien

Die übliche Anforderung an die Abdeckung oder auch Reichweite von Rückverfolgbarkeit von Baumwolle lautet „from Field to Fabric“, also vom Erzeugerfeld bis zum Produkt. Die Isotopenanalyse oder etwa DNA-Tagging in wässriger Lösung auf dem Feld wurden für dieses Ziel in Erwägung gezogen. Allerdings ist die Verteilung und Besprühung von einzelnen Biobaumwollfeldern nicht kosteneffektiv und zudem nicht GOTS-konform [10]. Die Isotopenanalyse wiederum braucht Bodenproben sämtlicher Regionen der Erzeugerfelder, welche jährlich neu aufgenommen und kartographiert werden müssen. Diese Bodenproben sind erforderlich, um den Fingerabdruck der Ernte mit dem Produkt in Verbindung bringen zu können. Zwischen Bodenprobe und Laboranalyse ist die Isotopenanalyse wie auch die künstliche DNA blind, d.h. die Verantwortung für ein kontaminiertes Produkt ist nicht mehr zurechenbar und kann, wie zuvor beschrieben, keine Aussage über den „Weg der Baumwolle“ treffen.

Diese „Wertkettenblindheit“ lässt sich, wie bei der künstlichen DNA, nur durch Laborproben und ständiges Monitoring aller Produktionsstätten auflösen. Der Aufwand dafür ist (finanziell & prozesstechnisch) sehr hoch und kann dennoch mit dem schnellen Umschlag der Güter nicht mithalten.

Das vorliegende Konzept baut auf eine prozessneutrale Einmischung und Überwachung. Cotton 4.0 konzentriert sich auf den Bereich großer zusammenhängender Materialströme zwischen Baumwollmühle und Weberei. Nach dem Verweben (o.ä. Prozessen), macht es nur noch wenig Sinn einen Vermischungsversuch im bestehenden Textil vorzunehmen. Hier könnten auch erstmals Informationsträger der Logistik (Barcode, RFID etc.) genutzt werden, um die Produktionseinheiten zu markieren und die Authentifizierung durch Cotton 4.0 komplementär zu ergänzen.

Neben den hier genannten Technologien wird auch die Blockchain-Technologie als dezentrales Authentifizierungsmerkmal gehandelt. Tatsächlich wären die Möglichkeiten sehr beeindruckend, wenn es einen gemeinsamen technologischen Standard gäbe. Allerdings scheitern Pilotversuche mit Blockchaintechnologie regelmäßig im logischen Bruch des Marktes von geernteter Ware (Seed Cotton), entkörnter Ware (lint) und gesponnenen Garn: Einmal vom Feld geerntet, kann die Bio-Baumwolle

verschnitten, gemischt bzw. komplett substituiert werden, da die Ware mittels Blockchain nicht augenscheinlich authentifiziert werden kann und somit auch die Sicherheit verliert, dass sie ökologisch erzeugt wurde. Daneben besteht beim Tokenizing¹ das Problem des natürlichen Materialverlustes. So können z.B. Kilo-basierte „Token“ immer nur 1:1 getauscht werden, dies ist jedoch mit dem natürlichen Materialverlust beim Spinnen oder Entkörnen nicht vereinbar. Der Schlüssel zur Durchsetzung der Blockchain-Technologie wird in der Standardisierung einer Technologie liegen. Wenn sich ein Blockchain-Standard durchsetzt, wird dennoch ein physisches Merkmal benötigt werden. Die erarbeiteten Ergebnisse in diesem Projekt können der komplementäre Bestandteil dazu sein. Diese Ergebnisse tragen den Projektnamen Cotton 4.0 und werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

3.1. Cotton 4.0 - Rückverfolgbarkeit von Biobaumwolle und deren Quantifizierung in der Wertschöpfungskette

„Cotton 4.0“ ist heute das technische Konzept hinter IntegriTEX, einer marktfähigen Lösung zur sicheren Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung von Baumwolle. Cotton 4.0 ermöglicht Rückverfolgbarkeit ab der Baumwollmühle (Cotton Gin) und sichert dadurch in einem sehr frühen Stadium der Wertschöpfung den Warenstrom: vom Ursprung und für alle nachfolgende Schritte. Anders als bei üblichen Markierungsmethoden wie etwas Taggants, RFIDs oder Codes vermischt sich die Markierung im Rahmen des herkömmlichen Produktionsprozesses mittels einer Markierfaser mit der Roh-Baumwolle und wird somit zum Merkmal des Produkts, zum untrennbaren Sicherheitsfeature seiner Herkunft, welches nicht nachträglich verändert werden kann, ohne das Produkt selbst zu zerstören. Die Markierfaser ist eine Chemiefaser auf Basis von regenerierter Zellulose (Viskose), chemisch identisch mit der ursprünglichen Zellulose [11], welche mit einem inerten, anorganischen und lumineszierenden Material angereichert wird. Sowohl Faser als auch Lumineszenz können für den Nutzer individualisiert werden: Die Markierfasern können den Charakteristika der zu markierenden Baumwolle angepasst und die Lumineszenz gleich einem Fingerabdruck einzigartig angelegt werden.

Der optische Fingerabdruck gehört dabei zum speziellen Knowhow von Tailorlux, da mittels individualisierter Emission und dafür speziell entwickelten Spektrometern ein Sicherheitsmerkmal ähnlich dem „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ erstellt wird. Im Ergebnis erhält der Nutzer ein mit dem menschlichen Auge nicht sichtbares und maschinenlesbares Sicherheitsmerkmal (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4).



Abbildung 3 „Tufts“ aus verschiedenen Viskose Markerfasern unter sichtbarem Licht

¹ Tokenizing (i.Z.m Blockchain) meint die Operationalisierbarkeit von Waren durch einheitliche Bezugsgröße “den Token”, welcher als Einheit einen Wert repräsentiert (Z.b. Kilo Baumwolle)

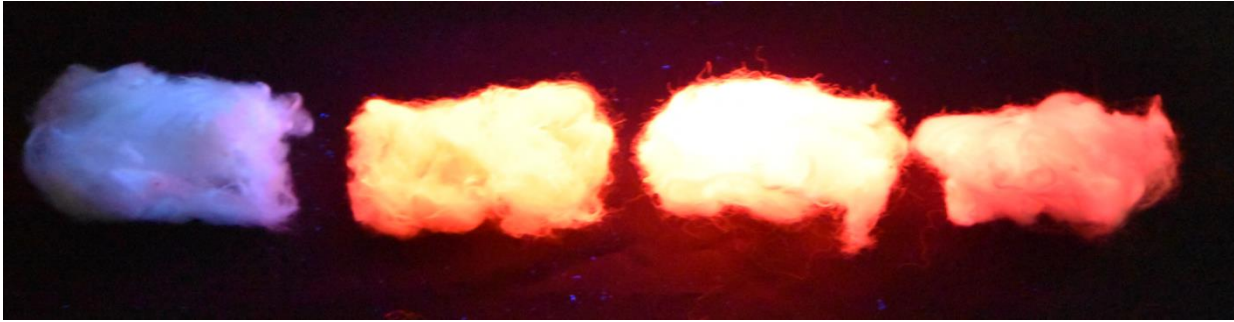


Abbildung 4 „Tufts“ verschiedener Viskose Markierfasern unter UV-Licht, die eine fluoreszierende Reaktion zeigen.

Cotton 4.0 ist mit einem Netzwerk von Sensoren kompatibel, welche die beigemischte Markierfaser auslesen können, um die Messergebnisse anschließend in einer zentralen Datenbank zu speichern. Dabei setzt Cotton 4.0 auf so genannten IoT-Verification Points (IVP), also logistische Engstellen, an denen ein Sensor die Markierung der Baumwolle ausliest.

Sensorik und Performance der Markierung sind so aufeinander abgestimmt, dass bereits eine Einmischung von nur 1 Kilogramm Markierfaser für eine Tonne entkörnte Baumwolle ausreicht. Damit befindet sich Cotton 4.0 mit der Beimischung von nur einem Promille weit unterhalb des durch den Global Organic Textile Standard definierten Schwellwertes für Fremdfasern [12]. Für die Rückverfolgbarkeit ab der Entkörnung musste zunächst eine Maschine entwickelt werden, welche die Beimischung der Markierfaser in solch geringen Dosen erst ermöglicht. In zukünftigen Projekten ist dies der erste IoT-Verifikationspunkt (IVP), um zu dokumentieren, wieviel Faser für welche Gin zugemischt wurde, also wieviel markierte Baumwolle von einem Entkörnungsbetrieb überhaupt für eine Transaktion zur Verfügung steht.

Exkurs Zugabe der Markierfaser bei der Biobaumwolle:

Die teilweise geringen Mengen an organischer Baumwolle welche in kleinen Entkörnungsbetrieben einmal pro Saison verarbeitet werden, lässt einen wirtschaftlichen Maschineneinsatz für die Beimischung fraglich erscheinen. Zudem besteht bereits beim Entkörnen ein großes Risiko für die Vermischung (siehe Bild 1). Die Lehre aus diesem Projekt ist daher, dass Organic Cotton Traceability sich auf eine Kooperative stützen muss, welche entweder selbst den Einmischungsprozess händisch in der Gin durchführt oder mittels Handkarde bereits am Sammelplatz der Erntegemeinschaft eine Markierung zuführt.

Nach der Markierung der Baumwolle wird nun das entsprechende Transaktionsdokument (integriTAG²) abgesichert und mittels Tailor-Spec (Standardsensor mit USB Schnittstelle, siehe S.14) eingelesen. Einlesen heißt in diesem Zusammenhang sichern des Dokuments und Hochladen der Dokumentenart, Dokumentennummer, Volumina und Ausprägung.

² IntegriTAG ist eine Produktschutzlösung von Tailorlux um Dokumente mit einem nachträglichen Sicherheitsfeature auszustatten. Dazu werden etwa Dokumentenwachs oder Thermo-transfer mit dem optischen Fingerabdruck ausgestattet und untrennbar mit dem Dokument verbunden.



Abbildung 5 Handgeschriebene Rechnung des Entkörnungsbetriebes wird mit einem Sicherheitswachs ausgestattet, verifiziert und hochgeladen.

In einer automatisierten Datenbank können nun der erste Abgleich zwischen IVP 1 „Zugabe Markierfaser“ und der kaufmännischen Abrechnung erfolgen. Dieses Vorgehen ist nichts weniger als das schnellere und sicherere Prinzip der Transaktionszertifikate.

Nach der Erfassung dieser Daten kann außerdem auch eine stichprobenartige Prüfung der Ballen mit demselben Sensor vorgenommen werden. Die Spinnerei kann beim Empfang der Ware das Gleiche tun, kann sich aber im Prinzip auf den IVP 2 verlassen, die Quantifizierung am laufenden Kardenband.



Abbildung 6 : InlineVerification Point 2 – die Quantifizierung am Kardenband.

Der hier eingesetzte Sensor hat sich bereits in anderen industriellen Anwendungen bewährt und konnte auch widrigsten Umständen in Indien trotzen. Da die Spinnerei immer nur ganze Linien der Kardenmaschinerie ansteuern kann, ist es ausreichend den Sensor an einer Maschine zu installieren, um über das Signalmuster des vorbeilaufenden Kardenbandes zu erkennen, ob die Markierung ausgedünnt wurde, also nicht markierte Ware in die Produktion eingemischt wurde. (Siehe im Detail hierzu: „Die Quantifizierung im Fertigungsprozess“)

Die Abbildung zeigt den Wechsel von IVPs und Transaktionen die jeweils durch die Maschinen zu Maschinen Kommunikation verifiziert werden kann.

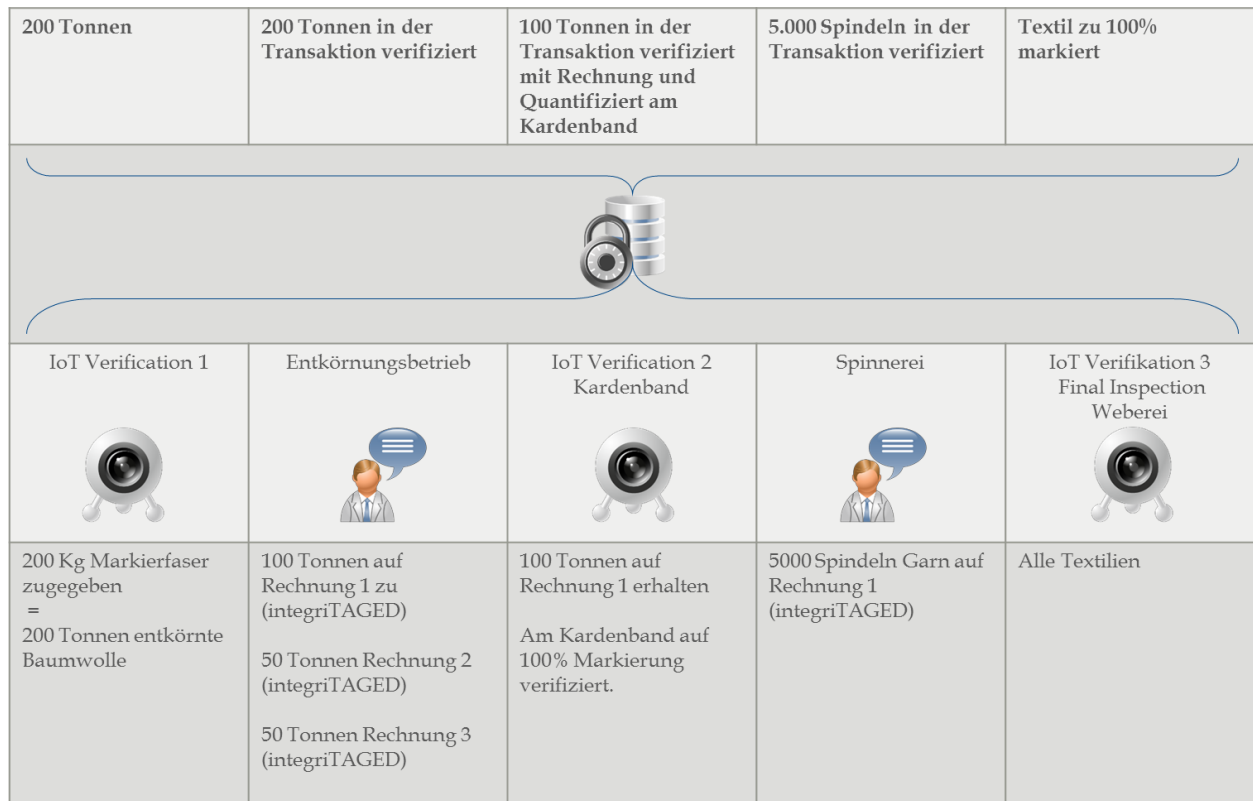


Abbildung 7 Schematischer Ablauf Cotton 4.0. Die IoT Verifikation bestätigt das Volumen und die Authentizität

Damit wird die Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung von Biobaumwolle mit Cotton 4.0 zu einem System wechselseitiger Plausibilitätsprüfung zwischen maschinengestützter und manueller Verifikation. Es gibt keinerlei zusätzliche Prozessschritte, welche die hochindustriellen und arbeitsteiligen Prozesse stören würden.

Im weiteren Prozess erfolgt die nächste Quantifizierung am Gestricke in der Weberei. Hierzu wird die so genannte „Final-Inspection Machine“ genutzt, über die das Material geführt wird. Hier kann mit ähnlicher Logik wie am Kardenband die Quantifizierung vorgenommen werden. Der Einsatz des Sensors an diesem Punkt wird aktuell vorbereitet und durch einen Kunden erprobt.



Abbildung 8 Beispiel einer Textile Inspection Linie

Als letzter Punkt folgt nun die Messung im Feld. Hierzu wird ein, speziell für dieses Projekt entwickelter Handsensor zum Einsatz gebracht (Siehe auch Anhang 1 „Tailor-Spec“). Dabei handelt es sich um ein Handspektrometer, welches auf die Markierung eingestellt ist und die Markierfaser auch im fertigen Produkt wiedererkennen kann.

Es konnte im Rahmen dieses Projektes bewiesen werden, dass verschiedenste Färbungsprozesse, unterschiedliches Finishing und auch Waschen nur geringen Einfluss auf die Lesbarkeit im Feld haben. Neben den Laborversuchen bei Spinnereien wurden auch unabhängige Färbungen mit dem deutschen Institut für Textil und Faserforschung durchgeführt [13]. Dazu wurden markierte Textilien einem industriellen Wasch- und Trocknungsprozess nach DIN ISO 15797 zusammen mit dem wfk – Cleaning Technology Institute e.V. vorgenommen. Alle Textilien konnten auch nach den Behandlungen weiterhin detektiert werden.

Cotton 4.0 in seiner jetzigen Ausprägung setzt damit auf eine Prozessabsicherung zwischen Entkörnung und Weberei, welche einen Verschnitt der Baumwolle verhindert und im Feld basierend auf diesem Vorgang die Echtheit der Baumwolle nachweisen kann. Dieser Vorgang funktioniert jedoch nur bei 100% Baumwolle da der Handsensor im Feld (noch) keine Quantifizierung vornehmen kann. Dieser Umstand wird im nun folgenden Abschnitt zur Quantifizierung genauer erläutert.

3.1.1. Quantifizierung von Baumwolle im Fertigungsprozess

Die tatsächliche Diskrepanz von echter Bio-Baumwolle und falsch deklarierte Ware auf dem Markt lässt sich nur schwer abschätzen, bemerkenswerte Beispiele sind die der Türkei [14] und Indien. Ökologische Baumwolle zeichnet sich in der Regel nicht durch eine besondere Faserlänge oder andere Merkmale aus, die eine Unterscheidung im Feld zuließen. So kann in den Stufen Ernte, Entkörnung und Spinnerei eine „wundersame“ Vermehrung von Biobaumwolle entstehen, da die Hindernisse des Vermischens niedrig

sind. Die Quantifizierung, d.h. die Erfassung der Volumina bei den kritischen Transaktionen von der Entkörnung bis zur Weberei wird damit untrennbarer Teil der Rückverfolgbarkeit.

Zwischen Entkörnungsbetrieb und Spinnerei wird der Ballen gehandelt. Er wird lediglich durch ein Papier ohne Sicherheitsfeatures im so genannten „wrapping“ markiert. Betrachtet man die preisliche Differenz von 0,8 bis 1,0 USD pro Kilo Bio-Lint zu kommerzieller Baumwolle, ist der Anreiz für Beimischungen hoch. Quantifizierung im Kontext dieses Projekts hatte deshalb den Anspruch, Beimischungen in Täuschungsabsicht zu detektieren, daneben können natürlich auch absichtliche Vermischungen detektiert werden (z.B. Polyester oder Elastan-Einmischung). Der Zielwert für die Quantifizierungserkennung liegt im ersten Versuch bei 30-40% und soll auf 1-5% ausgebaut werden. Dazu wird ein selbstlernender Algorithmus eingesetzt, welcher die Spektren am Kardenband und an der Inspektionsmaschine der Weberei sammelt und miteinander in Beziehung setzt. Die wesentliche Voraussetzung für die Quantifizierung am Kardenband wird bereits durch den ersten Prozessschritt der Spinnerei geschaffen: Die homogene Vermischung der Markierfaser im Blow-Room. Der Blow-Room oder auch Ballenöffnung ist im Wesentlichen ein Prozess zur Reinigung und Öffnung der Faser bevor diese zu einem Kardenband zusammengeführt wird. In diesem Prozessschritt werden auch Fremtteile durch die Fremdfasererkennung ausgeblasen.



Abbildung 9 Blow-Room der Spinnerei (1)



Abbildung 10 Blow-Room der Spinnerei (2)

Alle Einmischungsversuche in Entkörnungsbetrieben wie auch direkt am Ballenöffner wurde mit verschiedenen Konzentrationen durchgeführt. Dabei wurde bewiesen, dass verschiedene Konzentrationen sicher erkannt werden können.

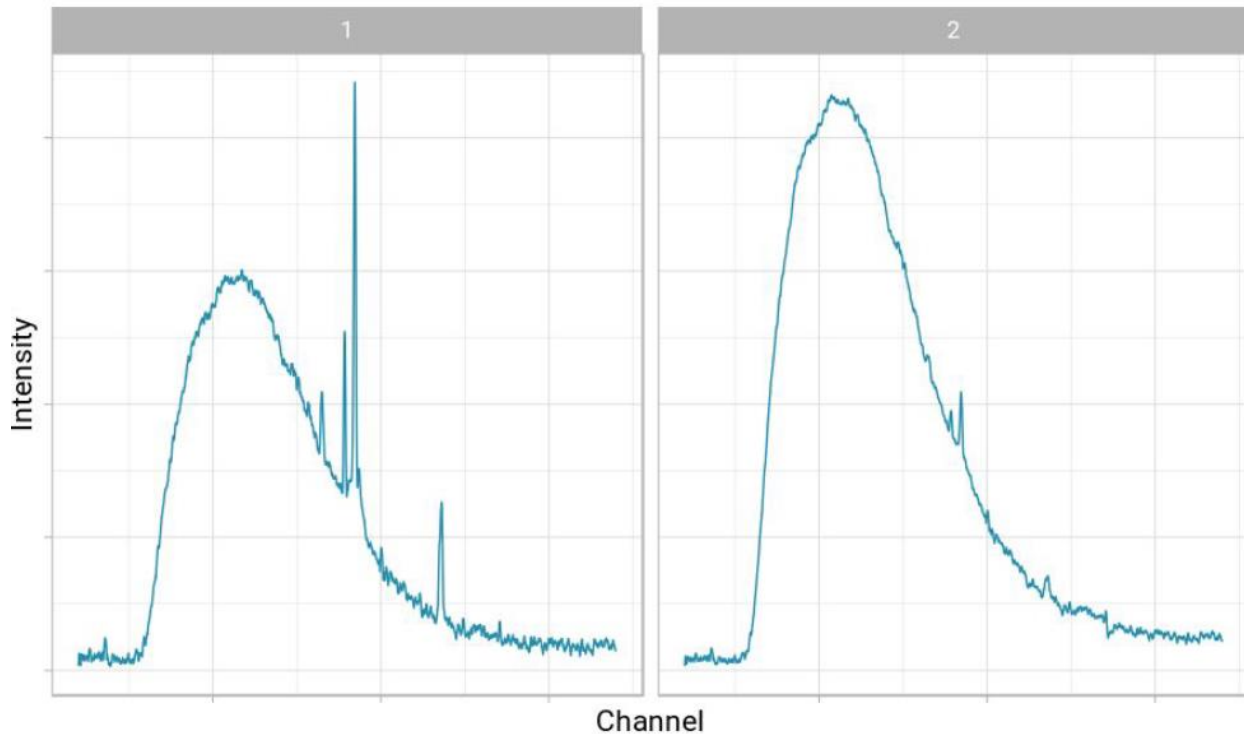


Abbildung 11 Vergleichsspektren vom Januar 2019 bei 1,6 und 0,6 Promille

Ferner wurde bewiesen, dass die Markierung sich durch den Blow Room-Prozess gleichmäßig in Garne und Textilien verteilt. Durch die Homogenität entstehen wiederkehrende Signalmuster die sich je nach Markeranteil in der Produktionseinheit anders verhalten. So verhält sich der gemittelte Wert eines Spektrums am Kardenband anders, wenn komplett markierte Baumwolle angeliefert wurde, als bei Produktionseinheiten, denen nicht-markierte Baumwolle beigemischt wurde. Die Baumwolle kann

quantifiziert werden. Für die sichere Quantifizierung muss die Bio-Baumwolle mindestens solange überwacht werden bis diese durch ein Gestrick fest miteinander verbunden ist. Diese Vorgehensweise weicht vom ursprünglichen Vorhaben in der Projektskizze ab, da geplant wurde die Quantifizierung mit einem Handsensor vornehmen zu können.

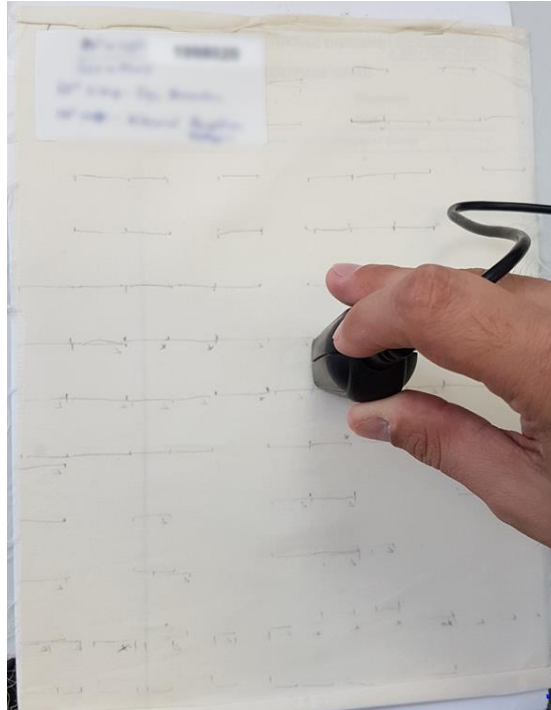


Abbildung 12 Vermessung von markierten Textilien mit aufgezeichneten Suchraster zur Quantifizierung.

Der Sensor konnte zwar für die Detektion deutlich verbessert werden, allerdings zeigte sich bereits in den ersten Versuchen, dass eine Quantifizierung mit einem Handsensor im Feld durch Dritte nicht prozesssicher ist. Fremdlichteinflüsse, Lage des Textiles oder auch Sensorbedienung sind untragbare Fehlerquellen für eine sichere Quantifizierung mittels Handsensor.

Dieser Umstand wäre ein großer Nachteil, wenn man davon ausgehen muss, dass alle Cotton 4.0 Produkte zu 100% Baumwolle Produkte sein müssten. So könnte ein Hersteller, welcher eine Produktlinie (Bsp. Hemden) mit 50% Polyester mischt und die andere (Bsp. Hosen) mit 100% Bio-Baumwolle anfertigen lässt, bei Hemd wie auch Hose lediglich das Ergebnis „enthält Biobaumwolle“ messen. Tailorlux nutzt deshalb den am Kardenband erprobten Algorithmus sowie den dort eingesetzten stationären Sensor zusammen mit einem Roboterarm ein, welcher den Sensorkopf unter gleichen Lichtbedingungen (Verdunklung durch Abdeckung) in immer gleicher Weise über das Textil führen kann.

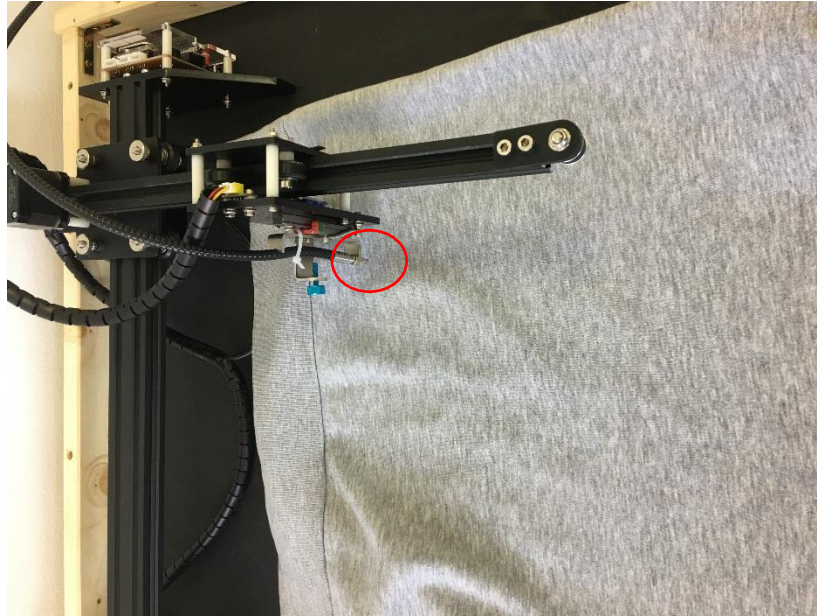


Abbildung 13 Quantifizierung eines Flächentextils (Sensorkopf im roten Kreis)

Diese Entwicklung ist ein Sekundäreffekt des Projektes und wird aktuell weiter von Tailorlux untersucht, da ein „stationärer Quantifizierungssensor“ bereits vom Markt angefragt wurde. Parallel dazu muss an der Quantifizierung für Handsensoren weitergearbeitet werden (siehe Ausblick und Diskussion) um die Technologie weiter zu etablieren.

3.1.2. Projektprotokoll der einzelnen Phasen

Das Projekt wurde in insgesamt elf Phasen unterteilt und durchgeführt. Im Rahmen der Projektdurchführung gab es bereits kommerzielles Interesse an weiteren Pilotprojekten, deren Ergebnisse in dieses Projekt eingeflossen sind. Die Phase 11 (Dokumentation) ist durch dieses Dokument umgesetzt und daher nicht weiter aufgeführt.

Phase 1 Markersynthese:

Die Synthese der Markierung gehört zum üblichen Knowhow von Tailorlux. Dazu werden anorganische Lumineszenzpigmente so synthetisiert, dass eine individuelle Emission entsteht, die von einem Sensor ausgelesen werden kann. Die ROHS- und REACH-konforme Stoffe sind inert und entsprechen der GOTS-Richtlinie.

Der Schwerpunkt bei der Auswahl der zu synthetisierenden Wirtsstrukturen lag zum einen auf der bereits in der Literatur veröffentlichten Photolumineszenz(PL)-Effizienz und zum anderen auf der hohen chemischen Inertheit der Materialien, damit sie gefahrlos in Textilien eingesetzt werden können. In Abbildung 1 ist eine Auswahl der untersuchten Stoffe dargestellt, die die Variabilität der Arbeiten illustriert.

Während der Versuche zu den Materialien stellte sich heraus, dass ein Leuchtstoff mit der internen Bezeichnung TL-0065 die besten Photolumineszenz-Eigenschaften aller untersuchten Leuchtstoffe aufwies bei gleichzeitig sehr guter chemischer Stabilität. Des Weiteren lässt sich der Leuchtstoff in Partikelgrößen herstellen, welche auf die Herstellung geeigneter Viskosefasern optimal angepasst ist. Das Pigment wurde in ausreichender Menge synthetisiert und optisch sowie morphologisch charakterisiert. Es wurde auf Emissionsintensität, Partikelgrößenverteilung und Röntgenpulverdiffraktogramme überprüft.

Phase 2 Markerintegration:

Die Integration der Synthese wurde in Zusammenarbeit mit dem Thüringischen Textilinstitut und anderen Partnern verwirklicht. Integriert wurde der Sicherheitsmarker in verschiedenen Fasern auf Zellulosebasis und der Markenfaser Lyocell, da diese Faser chemisch der Baumwolle gleicht. Dazu wurden verschiedene Versuche zu Korngröße der Partikel und Ausspinnung unternommen.

Phase 3 Einbringungsprozess:

Im ursprünglichen Projektplan war zunächst die Einbringung in einer Spinnerei vorgesehen. Dieser Ansatz konnte jedoch um die Wertschöpfungsstufe erweitert werden. So konnte die Technologie im Rahmen des Projektes von einer Entkörnungsanlage aus erprobt werden. Durch zusätzliche Projektakquisition hat Tailorlux heute Erfahrung mit verschiedenen Einmischungsverfahren in drei indischen Spinnereien und zwei Entkörnungsbetrieben. Der bisher manuelle Prozess wird aktuell automatisiert, um zukünftig den ersten IoT-Verifikationspunkt durch entsprechende Daten der Maschine und die angefragten industriellen Los-Größen anderer Baumwollarten zu realisieren.

Für die Biobaumwolle ist jedwede Automatisierung bzw. Technisierung äußerst kritisch zu betrachten. Die Lohnbetriebe für die Entkörnung der Baumwolle sind wenig am Betrieb zusätzlicher Maschinen interessiert. Die Einmischung setzt deshalb erneut auf die Kooperative und deren Marktinteresse an markierter Ware für die Durchsetzung eines Premiumpreises. Für kommende Projekte ist zu prüfen, ob es den Bauern durch einfache „Handkarden“ ermöglicht werden kann, Ihre eigene Ernte selbst zu markieren, nachdem ihnen Markierfaser in Volumen entsprechend ihrer Ackerfläche gegeben wird.

Phase 5 Verifikation der Baumwolle im Verarbeitungsprozess:

Für die Verifikation des Warenstroms im Produktionsprozess ab dem Entkörnungsbetrieb wurden zunächst die beigestellten Mengen an Markierfaser für den Betrieb dokumentiert.



Abbildung 14 Manuelle Messung und Dateneingabe der Tuftmasse bei der Entkörnung

Neben der eigentlichen Produktmarkierung wurde dem Entkörnungsbetrieb eine eigene Markierung (bzw. Synthese) zugewiesen, die über ein Siegelwachs appliziert werden sollte. Durch dieses Wachs erhielt die Rechnung des Entkörnungsbetriebes ein Sicherheitsmerkmal, das durch den Handsensor des Betriebes eingelesen und durch die Spinnerei ausgelesen werden kann. Dazu kann der Entkörnungsbetrieb Eckdaten der Rechnung (Rechnungsnummer, Datum, Volumen) eingeben, die durch den Scan des Siegelwachses in eine cloudbasierte Datenbank hochgeladen werden.

PartitionKey	RowKey	Timestamp	StartOfMeasurement	EndOfMeasurement	MeasurableProductId
0006-001-16-01-124	9ff1ee3a-ae9c-43cf-96e2-634b56480e84	2018-11-03T20:46:37.736Z	2018-11-03T20:46:37.687Z	2018-11-03T20:46:37.687Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	12db4f26-c7c1-4210-bce0-6135b3c7cf51	2018-11-03T20:45:38.713Z	2018-11-03T20:45:38.671Z	2018-11-03T20:45:38.671Z	Certificate
0006-001-16-01-124	653b392f-1a36-4ab9-b2a7-492f141feb9	2018-11-03T20:39:28.978Z	2018-11-03T20:39:28.865Z	2018-11-03T20:39:28.865Z	Bail Tag
0006-001-16-01-124	44302c1	2018-11-06T15:01:33.746Z	2018-11-06T15:01:33.710Z	2018-11-06T15:01:33.710Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	ffffba	2018-11-06T16:44:07.831Z	2018-11-06T16:44:07.791Z	2018-11-06T16:44:07.791Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	9cb4d7d	2018-11-06T16:44:19.513Z	2018-11-06T16:44:19.479Z	2018-11-06T16:44:19.479Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	b5dab67	2018-11-07T11:39:49.728Z	2018-11-07T11:39:49.689Z	2018-11-07T11:39:49.689Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	10c148	2018-11-03T21:08:38.921Z	2018-11-03T21:08:38.865Z	2018-11-03T21:08:38.865Z	Bail Tag
0006-001-16-01-124	8e0b96b5-0f15-4bcf-9cf4-096121e38397	2018-11-03T20:46:18.045Z	2018-11-03T20:46:17.999Z	2018-11-03T20:46:17.999Z	Kunstleder
0006-001-16-01-124	94c7c6b7-bd2d-4833-adf7-2ecd7f19b2b	2018-11-06T16:43:05.722Z	2018-11-06T16:43:05.726Z	2018-11-06T16:43:05.726Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	5b3d9b83-6fc5-46b8-8281-911a07d0023e	2018-11-07T14:54:27.986Z	2018-11-07T14:54:27.944Z	2018-11-07T14:54:27.944Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	a0b43c45-b651-4830-8f16-9a1e9d68688c	2018-11-03T21:07:11.336Z	2018-11-03T21:07:11.300Z	2018-11-03T21:07:11.300Z	Bail Tag
0006-001-16-01-124	a0c1d0d0-e4ca-4cc6-b2ab-f2f15a684a9a	2018-11-06T16:43:56.071Z	2018-11-06T16:43:56.024Z	2018-11-06T16:43:56.024Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	c9b51b74-2e8c-4f45-8675-d96fffbde565	2018-11-06T16:43:17.797Z	2018-11-06T16:43:17.757Z	2018-11-06T16:43:17.757Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	cea45024-8c3d-4fd8-b377-51eb706427cb	2018-11-07T11:38:48.751Z	2018-11-07T11:38:48.703Z	2018-11-07T11:38:48.703Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	cf4bd2e9-8ba3-41fc-9718-dd176d1671a	2018-11-03T20:43:05.902Z	2018-11-03T20:43:05.871Z	2018-11-03T20:43:05.871Z	Certificate
0006-001-16-01-124	d6a9e827-a580-4a45-b5fd-878098c880db	2018-11-03T21:07:56.341Z	2018-11-03T21:07:56.302Z	2018-11-03T21:07:56.302Z	Bail Tag
0006-001-16-01-124	e2172ce5-c825-4516-b6c1-917c560a9a49	2018-11-03T20:45:57.599Z	2018-11-03T20:45:57.562Z	2018-11-03T20:45:57.562Z	Bail Tag
0006-001-16-01-124	e57c7278-5ffa-46e2-8785-906c6765f971	2018-11-06T16:43:37.912Z	2018-11-06T16:43:37.882Z	2018-11-06T16:43:37.882Z	Zertifikat
0006-001-16-01-124	faa26b78-2b96-4795-8a41-c835d721c507	2018-11-07T11:38:37.194Z	2018-11-07T11:38:37.156Z	2018-11-07T11:38:37.156Z	Tamil Nadu Harvest 2017
0006-001-16-01-124	49d6feb5-e330-45c4-b9bd-fdc6700aa23a	2018-11-03T21:00:37.473Z	2018-11-03T21:00:37.432Z	2018-11-03T21:00:37.432Z	Bail Tag
0006-001-16-01-148	2ccfb3c3-00f1-45f1-9de0-7cb03adadde8	2018-10-31T17:21:53.708Z	2018-10-31T17:21:53.573Z	2018-10-31T17:21:53.573Z	3
0006-001-16-01-148	3f953cf5-3a1b-4b0a-9860-0858e5f9b371	2018-11-01T12:44:19.333Z	2018-11-01T12:44:19.289Z	2018-11-01T12:44:19.289Z	2
0006-001-16-01-148	a0554a9a-a4c9-403d-b0d0-0e12b0e62cfe	2018-12-11T16:06:56.439Z	2018-12-11T16:06:56.310Z	2018-12-11T16:06:56.310Z	Zertifikat
0006-001-16-01-148	dc9fec8-e3e1-442d-a997-4f5969b1554c	2018-10-31T17:22:07.233Z	2018-10-31T17:22:07.199Z	2018-10-31T17:22:07.199Z	2
0006-002-16-02-163	803d3454-9a29-4d11-8b0b-609b43ebe096	2018-11-05T05:47:25.409Z	2018-11-05T05:47:25.360Z	2018-11-05T05:47:25.360Z	Sicherheitsfarbe
0006-002-16-02-163	06be49cb-3b6b-489f-889f-a97d1b7dd8a2	2018-11-04T12:58:07.051Z	2018-11-04T12:58:07.005Z	2018-11-04T12:58:07.005Z	Sicherheitsfarbe

Abbildung 15 Auszug aus dem Azure Storage Explorer

Diese cloudbasierte Datenbank ist ein zentrales Element der Rückverfolgbarkeit, da hier sowohl Daten der Inline-Verifikationspunkte als auch Realdaten der sonstigen Begleitdokumente gespeichert werden können.

Im Ergebnis erhält man eine zentralisierte Datenbank gesicherter Transaktionsdokumente die dem aktuellen System der Transaktionszertifikate in vielen Belangen überlegen ist. Hier öffnet sich die Chance für ein transparentes „Blockchainähnliches“ Businessmodell, welches zum Abschluss dieses Berichts näher betrachtet werden soll.

Phase 6 Homogenitätsprüfung:

Die homogene Verteilung der Markierfaser im Rahmen des üblichen Verarbeitungsprozesses musste als zwingende Voraussetzung für die Quantifizierungsmethode überprüft und nachgewiesen werden. Über die Anzahl der sicher erfassten Referenzspektren aller Aufzeichnung unter gleichen Bedingungen können Rückschlüsse auf die Homogenität gewonnen werden und letztlich auch das Quantifizierungsmodell realisiert werden.

Tailorlux hat für die Homogenitätsprüfung zwei Sensoren eingesetzt (Siehe vorheriges Kapitel zur Quantifizierung). Dazu wurden die folgenden Methoden zur Überprüfung der Homogenität durchgeführt:

- 1.) Kardenband: Hierzu wurde der TailorInline unter gleichen Messbedingungen direkt an der Karde eingesetzt, um zwei verschiedene Konzentrationen im Blow-Room zu identifizieren.
- 2.) Kardenband im Labor: Blindproben und weitere Kardenbänder mit verschiedensten Konzentrationen wurden im Labor getestet.
- 3.) Drawbot am Textil: Hierzu wurde ein InLine Sensor mittels Robotik unter gleichen Messbedingungen über ein Textil geführt, um die durchschnittliche Hit-Rate zu überprüfen. (Abbildung 13)
- 4.) Punktmessung mit T-Spec: Hierzu wurden manuelle Punktmessungen auf einem Prüfraster auf einem Flächentextil durchgeführt. (Abbildung 12)

Dabei konnten die folgenden Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Markierungsfaser verteilt sich im Blow-Room gleichmäßig (Getestet in 3 Spinning Mills)
- Diese Erkenntnis wird abgeleitet aus der gleichmäßigen Hit-Rate bei der Überprüfung der Textilien, des Garns und der Kardenbänder.

Phase 7 & 8 Verschiedene Textile Anwendung:

Verschiedene Konzentrationen / Flächengewichte / Farben

Im Laufe des Projektes sind für ein mögliches Quantifizierungsmodell eine Probenmatrix aus verschiedenen Produktionsstätten erstellt worden.

Diese teilen sich in verschiedenen Proben auf. Zunächst sind verschiedene Konzentrationen bzw. verschiedene Anteile an markierten Fasern zum Spinnprozess dazu gegeben worden. Unter die Konzentrationen an Markermaterial (Markierfaser) sind 56 ppm (560 ppm), 100 ppm (1000 ppm), 173 ppm (1730 ppm) und 300 ppm (3000 ppm). Dabei wurden zusätzlich zwei verschiedene Arten von Markierfasern getestet. Bei den Markierfasern handelte es sich zunächst um Lyocell und anschließend um Viskosefasern.

Die Markierfasern sind unterschiedlich der Baumwolle hinzugegeben worden. Sowohl in bereits bestehende Baumwollballen, als auch während des Entkörnungsprozesses. Diese sind in Form von Büscheln zu der Baumwolle dazugegeben worden.

Aus den hergestellten Garnen, die am Ende auf Spulen aufgewickelt werden, sind Rohtextilien angefertigt worden, die sowohl unterschiedliche Garnstärken hatten als auch in verschiedene Flächengewichte gewebt worden sind.

Des Weiteren wurden die Stoffe in verschiedenen Farben gefärbt. Die Stoffe aus der Rohbaumwolle sind zuvor gebleicht worden, um auch die letzten Restbestandteile wie Blätter und Teile an Saatgut zu entfernen. Hierbei reicht die Farbpalette von schwarz über verschiedene Blautönen, bis hin zu weißen Textilien.

Probe	LOT#	Lyocell / Visko Farbe	Form	gewaschen (ja/nei)	Beschreibung
1	1998036	Viskose schwarz	Textil	ja	Waschtests mit Textil schwarz (1998032 und 1999008), A und B und C, gewaschen in Deconex, Waschpulver und Wasser
2	1998035	Viskose rosa	Textil	nein	Pratibha, Textil in rosa gefärbt, Charge 2
3	1998034	Viskose blau	Textil	nein	Pratibha, Textil in blau gefärbt, Charge 2
4	1998033	Viskose hellblau	Textil	nein	Pratibha, Textil in hellblau gefärbt, Charge 2
5	1998032	Viskose schwarz	Textil	nein	Pratibha, Textil in schwarz gefärbt, Charge 2 (auch die 1999008)
6	1998031	Viskose blau	Textil	nein	Pratibha, Textil in blau gefärbt, Charge 1
7	1998030	Viskose hellblau	Textil	nein	Pratibha, Textil in hellblau gefärbt, Charge 1
8	1998029	Viskose rosa	Textil	nein	Pratibha, Textil in rosa gefärbt, Charge 1
9	1998028	Viskose beige	Rohtextil	nein	Pratibha, Cloth - Rohtextil, Mit der Aufschrift Charge 1
10	1998027	Viskose beige	Rohtextil	nein	Pratibha, Cloth - Rohtextil, Mit der Aufschrift Charge 2
11	1998026	Viskose beige	Sliver	nein	Pratibha, pre Sliver, Beschriftung Charge 2
12	1998025	Viskose beige	Sliver	nein	Pratibha, Combed Sliver, Beschriftung Charge 2
13	1998024	Viskose beige	Garn	nein	Pratibha C & A, Cone gelb aus Kunststoff, Charge unbekannt
14	1998023	Viskose beige	Garn	nein	Pratibha C & A, Cone mit braunem Kopf, LOT# G127940 Charge 2
15	1998022	Viskose beige	Garn	nein	Pratibha C & A, Cone mit der Beschriftung LOT1, blauer Kopf, LOT# G127900 Charge 1
16	1998021	Viskose beige	Rohtextil	nein	GHCL Fabric, #3, Kette mit Marker und Schuss sind 3 mit und 2 ohne Marker
17	1998020	Viskose beige	Rohtextil	nein	GHCL Fabric, #2, nur der Schuss wurde Markiert, die Kette hat keinen Marker
18	1998019	Viskose beige	Rohtextil	nein	GHCL Fabric, #1 Besitzt sowohl im warp, als auch im weft markiert
19	1998018	Viskose beige	Sliver	nein	GHCL Sliver, wurde mit Viskose markiert, in Rohform
20	1998017	Viskose blau	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T9 - CTMRPN, blau gefärbt
21	1998016	Viskose blau	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T8 - CTMRPN, blau gefärbt
22	1998015	Viskose weiß	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T7 - CTMRPN, gebleicht und weiß
23	1998014	Viskose beige	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T6 - CTMRPN, unbehandelt
24	1998013	Viskose beige	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T5 - CTMRPN, unbehandelt
25	1998012	Viskose beige	Spinnversuch	nein	Spinnproben von BEXT 360, T4 - CTMRPN, unbehandelt
26	1998011	Lyocell beige	Rohtextil	nein	Großes Textilstück, unbehandelt, 300 ppm aus der KKP Weberei, Lyocell
27	1998010	Lyocell weiß, gelb, dunkel	Textil	nein	Textilstücke gefärbt bzw. gebleicht in weiß, gelb und dunkelblau, 300 ppm aus KKP Weberei/Färberei, Lyocell markiert
28	1998009	Lyocell weiß, gelb, dunkel	Textil	ja (Nach DINXXX)	Textilstücke gefärbt bzw. gebleicht in weiß, gelb und dunkelblau, 300 ppm aus KKP Weberei/Färberei, Lyocell markiert
29	1998008	Lyocell beige	Garn	nein	Garn, 300 ppm aus KKP Spinnerei, wurde mit Lyocell markiert
30	1998007	Lyocell beige	sliver	nein	combed sliver, 300 ppm aus KKP Spinnerei, wurde mit Lyocell markiert
31	1998006	Lyocell Rohfaser	Kämmling (Comber)	nein	combed noil, 300 ppm auf KKP Spinnerei, wurde mit Lyocell markiert

Abbildung 16 Probenliste

Phase 9 Aufbau einer cloudbasierten Serverstruktur:

Die zentralisierte Datenbank, das Deployment des Algorithmus wie auch die Applikation für den Handsensor wurden mit Microsoft Azure verwirklicht. Azure ist der Cloud-Computing Service von Microsoft. Durch die Nutzung dieser Plattform kann Tailorlux auf die Services des IoT-Hub zur Steuerung der InLine-Verifikation sowie die vorhandenen Machine-Learning Methoden für das Quantifizierungsmodell zurückgreifen. Die Architektur ist leicht skalierbar und kann auch große Projekte realisieren, so kann Tailorlux bereits mit einem einfachen Account bis zu 200 Geräte steuern, was einer textilen Wertschöpfung mit 200 Betrieben gleicht.

Phase 10 Algorithmus zur Quantifizierung erstellen:

Der Quantifizierungsprozess des maschinellen Lernens hat seine Wurzeln in binären Klassifizierungsproblemen, die durch die intelligente Implementierung effizienter Algorithmen gelöst werden. Im Bereich der Spektroskopie können so ein Vollspektrum in eine Reihe von multidimensionalen Arrays transformiert und anschließend eine Hyperebene bestimmt werden, die Klassen von Datenpunktverteilungen teilen. Der Output wird in der Wahrscheinlichkeit der Hörigkeit zu einer von zwei Klassen angegeben.

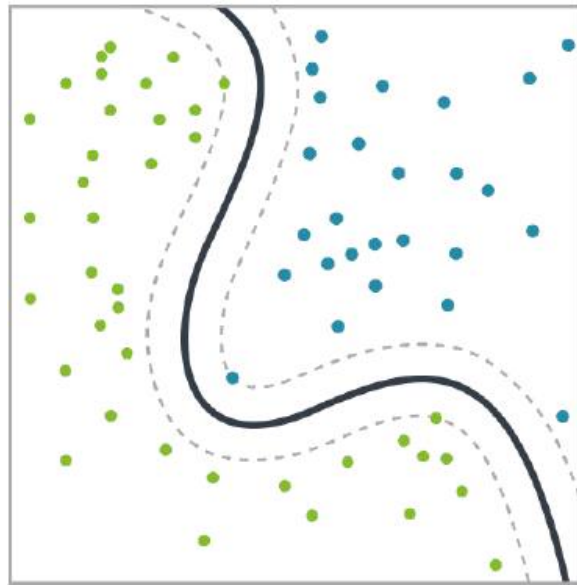


Abbildung 17 Schematisches Beispiel von Klassen von Datenpunkten und Divisions-Hyperebene. Zur Vereinfachung der Darstellung ist eine zweidimensionale Projektion eines n -dimensionalen Raumes gegeben.

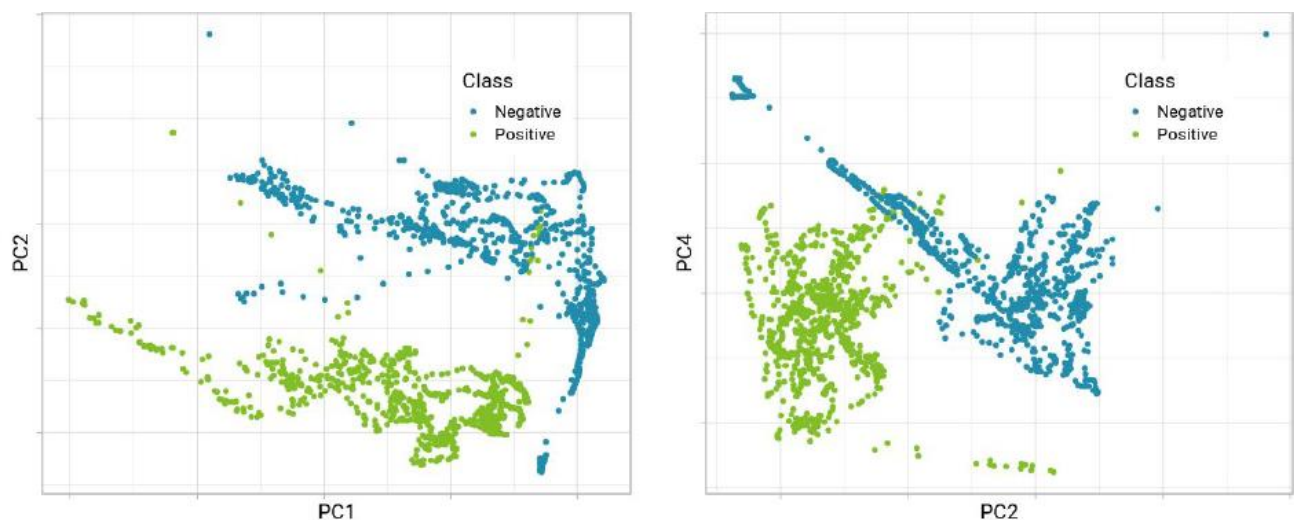


Abbildung 18 Experimentelles Ergebnis der Anwendung eines binären Klassifikationsalgorithmus. Zur Vereinfachung der Darstellung sind zweidimensionale Projektionen eines n -dimensionalen Raumes gegeben. Datenpunkte, die sich in 2 Dimensionen zu überlappen scheinen, sind im 10-dimensionalen Raum tatsächlich gut getrennt.

Steht ein ausreichend großer Datensatz zur Verfügung, können Regressionsalgorithmen für eine präzise Bestimmung der Markerkonzentration verwendet werden. Tailorlux hat, unter anderem, bereits die folgenden Muster getestet:

- Random forests
- Gradient boosting
- Support vector regression

Für eine umfassende Evaluation werden Daten von verschiedenen Spektrometern mit verschiedenen Markern und verschiedenen Konzentrationen benötigt. Mit der Verfügbarkeit größerer und besserer Datensätze wird der Algorithmus seine Leistung verbessern und ein immer genaueres Ergebnis liefern. Schematische Beispiele zur Auswirkung der Datenmenge sind zu sehen unter Abbildungen 4 und 5:

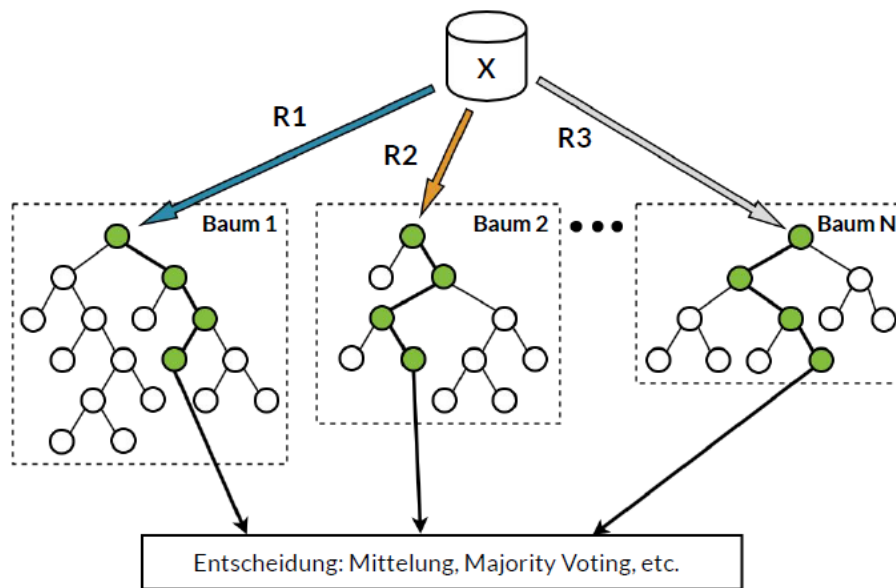


Abbildung 19 Schematische Darstellung des Arbeitsprozesses eines Random Forests Algorithmus.

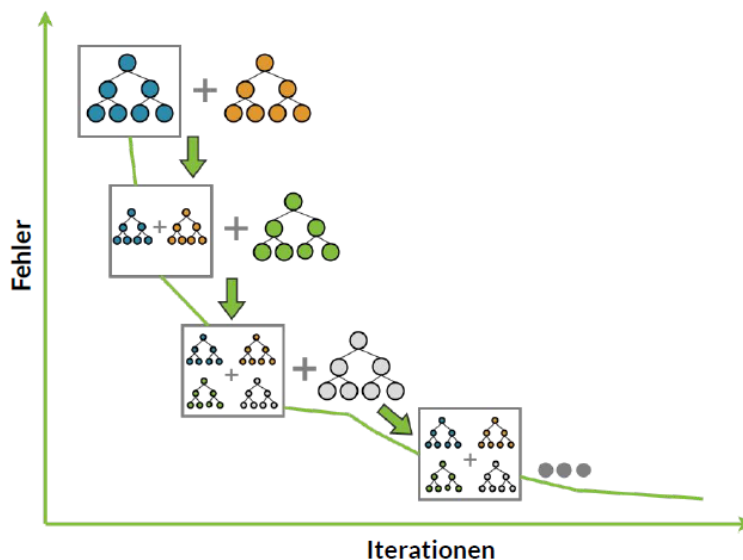


Abbildung 20 Schematische Darstellung des Arbeitsprozesses eines Gradient Boosting Algorithmus.

Dies soll durch die Datenerfassung aus verschiedenen Textilien (Phase 7 und 8) sowie die Nutzung der Konnektivität durch die Cloud-basierte Serverstruktur wie in Phase 9 realisiert werden.

4. Ergebnisse und Diskussion zur Rückverfolgbarkeit von Bio-Baumwolle und anderen kritischen Rohstoffmärkten

Das DBU Projekt hat gezeigt, dass ein maschinenlesbarer Tracer die Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung von Bio-Baumwolle möglich ist und neue Chancen für transparentere Transaktionen in der textilen Wertschöpfungskette eröffnet.

4.1. Kostenstruktur

Die folgenden Elemente der Cotton 4.0 Lösung prägen die Kostenstruktur:

- 1.) Markierfaser (Rohstoffe, Ausspinnung und Logistik)
- 2.) Inline-Verifikationspunkte pro Kardenlinie und Inspektionsmaschine
- 3.) Eindosiermaschine
- 4.) Sensoren im Feld
- 5.) Cloudservices

Durch die flexiblen und dezentralisierten Bezugswege können diese Elemente kostenmäßig nicht auf einzelne Teilnehmer der Wertschöpfung verteilt werden. So wird etwa ein Entkörnungsbetrieb keine Eindosiermaschine beschaffen, um vielleicht 2% des saisonalen Geschäftes abzudecken. Ferner hat auch die Kooperative auf Ebene der Farmer kein freies Kapital für die Beschaffung einer Markierfaser. Dazu kommt der jeweilige Aufschlag aller Beteiligten, welcher gerade im preissensiblen Fashion-Bereich nicht tragbar wäre.

Taylorlux bietet Cotton 4.0 unter dem Branding integriTEX deshalb als Dienstleistung an; Traceability as a Service“. Dadurch muss der an integriTEX interessierte Kunde lediglich Bezugsweg und Volumen der zu markierenden Baumwolle nennen und kann mit einem festen Aufschlag auf ein Kilo entkörnte Baumwolle rechnen. Dabei gilt, je komplexer die Wertschöpfungskette und geringer das Volumen, desto höher der preisliche Aufschlag.

In einem aktuellen Projekt beaufschlagt integriTEX 10 Eurocent pro Kilo entkörnte Baumwolle bei einem 3-Jahres Vertrag über 12.000 Tonnen Baumwolle mit 5 maschinellen Verifikationspunkten.

In Relation wären diese 10€Cent etwa 5% Aufschlag auf den aktuellen Preis entkörntem BioLint von 2,20€. Vergleicht man diese Kosten etwa mit dem Aufschlag auf BCI-Cotton (5 Cent pro KiloLint) liegt die Technologie in einem Rahmen, die vom Markt akzeptiert wird.

Dabei wurden etwaige Kostenvorteile durch die Lösung noch nicht voll ausgeschöpft. So könnten etwa die Transaktionskosten (etwa durch das Regime der Transaktionszertifikate) ersetzt werden. Große Retailer die Massenware von größeren Erzeugern abnehmen prüfen die Echtheit der Ware über einen Zugang zur Clouddatenbank automatisch ab, ohne Labortests oder komplexes Dokumentenhandling.

4.2. Marktchancen der Technologie in der BioBaumwolle:

Verbunden mit der Kostenstruktur ist die Frage, wer Beauftragt integriTEX? Der schnelle Erfolg im Markt wurde aktuell durch einen vertikal-integrierten Hersteller realisiert [15]. Der Anwendungsfall mit diesem Kunden ist weniger komplex als die Rückverfolgbarkeit von Bio-Baumwolle, weil die Absicherung der Bio-Baumwolle ein weiteres Element braucht. Dieses weitere Element ist die Kooperative und ihr wirtschaftliches Interesse ein Premiumprodukt zu Premiumpreisen zu verkaufen.

Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass einzelne Kooperativen dieses Kapitalrisiko auf sich nehmen wollen oder können. Bio-Baumwolle braucht einen besonderen Stellenwert in der Beschaffung welcher sich nur durch ein eigenes Preissystem verwirklichen lässt. Es braucht letztlich eine Branchenlösung über alle Wertschöpfungsstufen hinweg. Auch hier muss ein wirtschaftliches Interesse gegeben sein um den Entscheidern der Branche die Durchsetzung eines Bio-Traceability-Standards schmackhaft zu machen. Dieses Interesse wiederum ist eng verbunden mit der Positionierung einer Marke und dem allgemeinen Bewusstsein des Konsumenten für biologische Baumwolle.

Das Produkt biologische Baumwolle wird ja nicht durch seine besonderen Produkteigenschaft zum Wert, sondern durch seine Art der Erzeugung. Diese Art der Erzeugung manifestiert sich durch die Arbeit der Kooperative bzw. den weiteren Verarbeitungsweg.

Die Marktchance der Technologie liegt genau hier verankert, die Marken und Hersteller können ihr Produkt dank Cotton 4.0 mit der Art der Erzeugung in Verbindung bringen. Es entsteht eine Brücke zwischen Erzeuger und End-Produkt, die finanziellen Pfeiler dieser Brücke entstehen dazu aus einem Teil aus den Margen der Marken, den Kosteneinsparungen im Falle falsch deklarierter Marken und einem veränderten Preisbewusstsein auf Konsumentenseite.

4.3. Weitere Potentiale der Technologie

Das Projekt hat gezeigt, dass die maschinelle Rückverfolgbarkeit und Quantifizierung nicht nur die einzelnen Elemente der Wertschöpfung verbindet sondern auch mengenmäßig überprüfbar macht. Dadurch ergeben sich weitere Potentiale für digitale Businessmodelle, die das altmodische System der Transaktionszertifikate zugunsten umfassender Transparenz ablösen könnte:

Ökologischen Fußabdruck Ermitteln: In der Diskussion um den ökologischen Fußabdruck werden auch im Zusammenhang mit Textilien mehr und mehr Konzepte wie „Carbon Pricing“ oder „Nearshoring“ [16] diskutiert. Das hier zum Abschluss gebrachte Projekt legt einen Grundstein für die Authentifizierung von Warenströmen und kann diesen Konzepten direkt zuarbeiten, um dem Einkäufer neben betriebswirtschaftliche KPIs auch Zahlen für eine ökologische Einordnung zu liefern wie Sie zum Beispiel durch das Textilbündnis definiert wurden.

Cotton 4.0 als Komplementär der Blockchain: Die innovative „Kassenbuchtechnologie“ hat aktuell noch den Makel einer neuen Technologie: Ein Standard hat sich noch nicht durchgesetzt und Sekundäreffekte (Stromverbrauch und Kostenstruktur) sind noch ungeklärt. Sollte die Blockchain in der Bio-Baumwolle zum Einsatz kommen, braucht es auch hier eine Branchenlösung. Cotton 4.0 wird jedoch auch beim Einsatz einer Blockchain benötigt, um Dokumente und Produktechtheit zu verifizieren. Man könnte auch andersherum alle Ergebnisse der Cloudstruktur in eine Blockchain überführen, wenn die Sensoren im Feld

entsprechend verifiziert sind um automatische Zertifikate abzurufen. Ein entsprechendes Konzept wurde bereits mit dem holländischen Blockchainanbieter Circularise erarbeitet.

5. Öffentlichkeitsarbeit

<u>Datum</u>	<u>Medium</u>	<u>Medium</u>	<u>Link</u>
09.02.2018	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	Online	https://www.dbu.de/123artikel37485_2362.html
09.02.2018	Neue Osnabrücker Zeitung	Online	https://www.noz.de/lokales/osnabrueck/artikel/1017989/neues-markierungsverfahren-zur-rueckverfolgung-von-bio-baumwolle
			http://www.onlinezeitung.co/news/datum/2018/02/11/nachhaltigen-stoffen-auf-der-spur-bleiben
20.07.2018	Packaging Journal	Print	**
23.08.2018	Textil Wirtschaft	Print	*
01.09.2018	Textil Wirtschaft Special	Print	*
20.09.2018	Transparent Magazine	Online/Print	*
07.10.2018	Süddeutsche Zeitung	Online/Print	https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/nahaufnahme-leuchtende-biofasern-1.4159329
23.10.2018	Ecotextile	Online	https://www.ecotextile.com/2018102323814/materials-production-news/tailorlux-takes-to-the-field.html
25.10.2018	Horesga	Online	http://www.horesga.de/presse/Dibella-Renate-Kuenast-uebernimmt-Patenschaft-fuer-Projekt-zur-Baumwollmarkierung-von-Tailorlux-und-Dibella
25.10.2018	Sourcing Journal	Online	https://sourcingjournal.com/topics/raw-materials/tailorlux-dibella-organic-cotton-traceability-125252/
25.10.2018	Sourcing Journal Newsletter	Mailing	**
29.10.2018	Innovation in Textiles	Online	https://www.innovationintextiles.com/german-politician-sponsors-cotton-marking-project/
26.10.2018	CSR News	Online	https://www.csr-news.net/news/2018/10/26/renate-kuenast-uebernimmt-patenschaft/
26.10.2018	CSR News Newsletter	Mailing	**

25.10.2018	UPJ	Online	https://www.upj.de/nachrichten_detail.81.0.html?&tx_ttnews%5btnews%5d=4009&tx_ttnews%5bbackPid%5d=20&cHash=154d68b3ba
26.10.2018	UPJ	Twitter	twitter.com/upj

Die Projektergebnisse wurden von Tailorlux, im Rahmen der Möglichkeiten eines kleinen Unternehmens aktiv vermarktet. Es sind auch zukünftig weitere Messeauftritte und Artikel geplant. Dies schließt die Annäherung an politische Initiativen wie den „Gründen Knopf“ nicht aus. Weiterhin ist auch eine Teilnahme am Tag der Umwelt 2020 geplant.

6. Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes wurde circa 200 Tonnen Bio-Baumwolle markiert. Auf der Basis dieses Projektes werden im Herbst 2019 über 2.500 Tonnen Ägyptische Baumwolle markiert werden. Organisationen wie der Organic Cotton Accelerator [17] haben integriTEX für die Rückverfolgbarkeit von Baumwolle fest eingeplant.

Das Projekt hat einen wichtigen Grundstein für eine Technologie gelegt, welche sich potentiell zu einem Marktstandard entwickeln kann und auch schon vom Markt angenommen wird.

Tailorlux möchte schon jetzt Vordenken und den Handsensor im Feld grundsätzlich neu konzipieren, um das Gerät einfach und ohne Bedienfehler einsetzen zu können und die maschinelle Lernfähigkeit zu erhöhen. Die hier geschaffene Cloudarchitektur soll den Keim eines neuronalen Netzwerkes bilden, welches zukünftig auch einzelne Partner der Wertschöpfung an der „Einmischungssignatur“ erkennen kann. Für die Finanzierung dieser Vorhaben müssen größere Marktanteile gewonnen werden. Dies lässt sich leichter umsetzen, wenn der Markt entsprechende Kosteneinsparungen erkennt.

Dazu wird Tailorlux ein Folgeprojekt beantragen, welches sich mit dem „Digitalisierten Transaktionszertifikat“ für Biobaumwolle auseinandersetzt. Die Fragestellung wird sein, wie die hier entwickelte Technologie den so genannten „grünen KPIs“ wie CO2 Fußabdruck oder Wasserverbrauch zuarbeiten kann. Dabei geht es nicht nur um den Bereich der Biobaumwolle welcher in Indien geerntet, in China versponnen und der Türkei gefinished wird, es geht auch um die Messung von Recyclingkreisläufen mittels maschineller Markierung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematischer Darstellung der Variablen, die mit der Rückverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit der Baumwollindustrie zusammenhängen.	3
Abbildung 2 Gin Nordindien.....	4
Abbildung 3 „Tufts“ aus verschiedenen Viskose Markerfasern unter sichtbarem Licht.....	6
Abbildung 4 „Tufts“ verschiedener Viskose Markierfasern unter UV-Licht, die eine fluoreszierende Reaktion zeigen.	7
Abbildung 5 Handgeschriebene Rechnung des Entkörnungsbetriebes wird mit einem Sicherheitswachs ausgestattet, verifiziert und hochgeladen.	8
Abbildung 6 : InlineVerification Point 2 – die Quantifizierung am Kardenband.	8
Abbildung 7 Schematischer Ablauf Cotton 4.0. Die IoT Verifikation bestätigt das Volumen und die Authentizität.....	9
Abbildung 8 Beispiel einer Textile Inspection Linie.....	10
Abbildung 9 Blow-Room der Spinnerei (1).....	11
Abbildung 10 Blow-Room der Spinnerei (2).....	12
Abbildung 11 Vergleichsspektren vom Januar 2019 bei 1,6 und 0,6 Promille.....	12
Abbildung 12 Vermessung von markierten Textilien mit aufgezeichneten Suchraster zur Quantifizierung.	13
Abbildung 13 Quantifizierung eines Flächentextils (Sensorkopf im roten Kreis).....	14
Abbildung 14 Manuelle Messung und Dateneingabe der Tuftmasse bei der Entkörnung.....	16
Abbildung 15 Auszug aus dem Azure Storage Explorer.....	16
Abbildung 16 Probenliste.....	18
Abbildung 17 Schematisches Beispiel von Klassen von Datenpunkten und Divisions-Hyperebene. Zur Vereinfachung der Darstellung ist eine zweidimensionale Projektion eines n-dimensionalen Raumes gegeben.	19
Abbildung 18 Experimentelles Ergebnis der Anwendung eines binären Klassifikationsalgorithmus. Zur Vereinfachung der Darstellung sind zweidimensionale Projektionen eines n-dimensionalen Raumes gegeben. Datenpunkte, die sich in 2 Dimensionen zu überlappen scheinen, sind im 10-dimensionalen Raum tatsächlich gut getrennt.	19
Abbildung 19 Schematische Darstellung des Arbeitsprozesses eines Random Forests Algorithmus.....	20
Abbildung 20 Schematische Darstellung des Arbeitsprozesses eines Gradient Boosting Algorithmus.....	20

Literaturverzeichnis

- [1] FAO-ICAC, World Apparel Fiber Consumption Survey. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Cotton Advisory Committee,, Washington, D.C., USA, 2013.
- [2] O. Exchange, Organic Farm and Fiber Report, 2007 .
- [3] S. Lakhal, Comparing conventional and certified organic cotton supply chains: the case of Mali., Int. J. Agric. Res. Gov. Ecol. 7, 243–255, 2008.
- [4] Gardetti, Organic Cotton, Textile Science and Clothing Technology, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8782-0_6.
- [5] G. MÁ, Textiles y moda ¿Qué es ser sustentable?, Buenos Aires: LID Editorial Empresarial, S.R.L., 2017.
- [6] P. Olsen, How to define traceability, Trends in Food Science & Technology, Volume 29, Issue 2, February 2013, Pages 142-150.
- [7] T. S., Development of a Metamodel to Foster Interoperability along the Product Lifecycle Traceability, Interoperability of Enterprise Software and Application, 2006.
- [8] Jansen-Vullers, Managing traceability information in manufacture, Int. Journal of Information Management 23, S. 395–413, 2003.
- [9] J. Zentek, Fair Fashion – ein Überblick über den Label-Dschungel, <https://www.bluewin.ch/de/leben/stil/fair-fashion-hier-ein-ueberblick-ueber-den-label-dschungel-227556.html>, 2018.
- [10] Global Organic Textiel Standard Version 5.0, 2017.
- [11] W. Burchard, Polysaccharide – Eigenschaften und Nutzung, Springer-Verlag, 1985, ISBN 3-540-13931-1, S. 92..
- [12] Global Organic Textile Standard Version 5.0, März 2017.
- [13] Deutsches Textil Forschungsinstitut, Prüfbericht Nr. E-046-C18.
- [14] P. Ton, Organic Cotton: An Opportunity for Trad, Geneva, Switzerland: International Trade Centre UNCTAD/WTO (ITC), Technical Paper, Doc. No.MDS-07.121.E, 2007.
- [15] Zugriff am 24.05.2019, <https://www.youtube.com/channel/UCm7amypsCp-GgupHRU8i7TQ>..
- [16] McKinsey, State of Fashion, 2019.
- [17] O. C. Accelerator, <https://www.organiccottonaccelerator.org/>.

Annex 1 Eingesetzte Sensoren:

Der Tailor-Line

Tailor-Inline® ist das Messinstrument für die schnelle, kontinuierliche, maschinelle Kontrolle am Kardenband. Tailor Inline® lässt sich einfach in bestehende Produktionsprozesse integrieren und ist dank seines intelligenten Thermomanagements für den Dauerbetrieb 24-7-365 in der Fertigung konzipiert. Tailor-Inline® kann individuell programmiert werden. Die Ansteuerung erfolgt über die serielle Schnittstelle oder USB 2.0 Tailor-Inline® kann wahlweise direkt an ein Qualitätssicherungssystem angebunden werden oder die Daten an einen Windows-Rechner liefern. Der Sensor erfüllt damit alle Voraussetzung für die Quantifizierung in der Spinnerei und später auf Weberei oder anderen automatisierten Prozessen. Für Cotton 4.0 wird der Sensor über eine IoT-Box an die Cloud-Architektur angebunden.

Der Tailor-Spec



Bild 8: Der Tailor-Spec Handsensor

Der Tailor-Spec wird über einen Windows gesteuerten Computer an ein USB-Port angeschlossen und kann anschließend verwendet werden.

Dazu muss deutlich werden, dass der T-Spec 3 als „Flächensensor“ speziell für dieses Projekt ein Upgrade bekommen musste, um in besonders niedrigen Konzentrationen zuverlässige Ergebnisse zu erreichen.

Annex 2 Versuche und Ergebnisse die zusätzlich in dieses Projekt aufgenommen wurden

1. Erstellung von Leuchtstoffsystemen, welche sich für die Markierung von Baumwolle eignen
2. Herstellung unterschiedlicher Fasern bei unterschiedlichen Herstellern (Jan. – Juni 2018)
3. Vorbereitung Markierung von Biobaumwolle in einer Spinnerei in Namakkal (KKP). Spinnversuch mit zunächst 300 ppm → Hier wurden die markierten Fasern des TITK verwendet (Lyocell)
4. Die Lyocellfaser wurde in einem Schichtsystem händisch in die Biobaumwolle eingemischt und ist anschließend allen nötigen Prozessschritten und Parametern wie z.B. der Fremdfasererkennung etc. durchlaufen.
5. Anschließend in der Weberei zu Textilien verarbeitet, welche untersucht werden konnten.
6. Färbe und Waschprozesse mit Bleichprozessen nach DIN ISO 15979
7. Besuch Indien Januar 2019 Ginning in Indore: Erstellung von zwei Produktionseinheiten mit absichtlicher Vermischung.
8. Baumwollentkörnung in Adilabad für die Fa. Dibella. Dafür sind 100 ppm eindosiert worden.
9. Spinnversuche in Bangladesh mit Aware Cotton