



Textilien und nachhaltige Entwicklungsziele

J. Lederer · A. Bartl

Angenommen: 2. Februar 2024 / Online publiziert: 5. März 2024
© The Author(s) 2024

Zusammenfassung Textilien sind nicht nur eines der ersten von Menschenhand hergestellten Produkte, sie waren über die Jahrhunderte auch wichtiges Handels- und Tauschobjekt, Motor der Industrialisierung und Sinnbild eines neuen Wirtschaftssystems. Heute werden Textilien oft als reines Konsumgut gesehen, dessen Bereitstellung für viele Gesellschaften dieser Erde eine Selbstverständlichkeit darstellt. Allein aus dieser Selbstverständlichkeit ergibt sich ein direkter Zusammenhang mit den nachhaltigen Entwicklungszielen der Vereinten Nationen, von Alpha bis Omega, also der Produktion der Rohstoffe bis hin zur Abfallwirtschaft. In diesem Beitrag soll dieser Zusammenhang, auch aus sozial- und wirtschaftsgeschichtlicher Perspektive, kurz dargestellt werden. Im Anschluss soll auch auf die Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft von Textilien zur Erreichung der nachhaltigen Entwicklungsziele eingegangen werden.

Schlüsselwörter Textilien · Textilabfälle · Alttextilien · Kreislaufwirtschaft · Nachhaltige Entwicklungsziele

Textiles and sustainable development goals

Abstract Textiles are not only one of the first products made by human hands. They have also been an important object of trade and exchange of societies over centuries, a driver of industrialization as well as a symbol of a new economic system. Today, textiles are often seen as pure consumer goods, the provision of which is a matter of

course for many societies around the world. This obviousness alone results in a direct connection with the sustainable development goals of the United Nations, from Alpha to Omega, i.e. the production of raw materials for textile production to textile waste management. This article will briefly present this connection, also from a social and economic historical perspective. The possibilities of a circular economy of textiles to achieve the sustainable development goals will also be discussed.

Keywords Textiles · Second hand textiles · Textile waste · Circular economy · Sustainable Development Goals

1 Der Stoff aus dem die Welt ist

Auf ihrer Webseite fordert die Ellen MacArthur Foundation, eine der wichtigsten Lobbyorganisationen für Kreislaufwirtschaft, eine komplette Neuerfindung von Mode und Kleidung, um Umweltprobleme wie Mikroplastikverunreinigungen der Meere zu reduzieren (Ellen MacArthur Foundation 2023). „Textilien sind das neue Plastik“, titelt etwa das Textil-Branchenmagazin TVP und meint damit die steigende Bedeutung von Textilien im Kreislaufwirtschaftsdiskurs (TVP 2020). Und tatsächlich, die Liste an mehr oder weniger bedeutungsschwangeren Aussagen zu Textilien und insbesondere Textilabfällen ließe sich endlos fortführen. Nachdem Textilien lange Zeit ein wichtiger Bestandteil des Abfallwirtschaftsdiskurses waren – man denke nur an die vielzitierten Lumpensammlerinnen und Fetzentandler, welche Textilabfälle für die Herstellung von Papier sammelten –, verschwanden sie im Laufe des 20. Jahrhunderts aus der abfallwirtschaftlichen Wahrnehmung. Seit einigen Jahren feiern sie jedoch ein großes Comeback, auch in Österreich, wo sie prominent Eingang in den Abfallwirtschaftsplan sowie die nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie gefunden haben (BMK 2021, 2023). Doch wie kam es dazu, dass der Umgang mit Textili-

en heute wieder so präsent ist? Eine Erklärung ist eine neue Blickweise auf die Welt, vor allem auf ihre Probleme, welche sich in den 17 Zielen für eine Nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen widerspiegeln. Auf diese Probleme wird im Kap. 2 in diesem Beitrag eingegangen. Die Nachhaltigen Entwicklungsziele zeigen aber nicht nur Probleme auf, sondern weisen auch auf Lösungen hin. Diese werden am Beispiel unseres Kerngebiets, nämlich dem Umgang mit Alttextilien und insbesondere dem Recycling von Textilabfällen, in Kap. 3 thematisiert. Doch bevor wir das tun, ist es notwendig, einen kurzen historisch-statistischen Überblick zu Textilien zu geben.

1.1 Textilien aus geschichtlicher Perspektive

Textilien sind ein Produkt der Superlative. Kaum ein anderes Produkt kann auf eine so lange Geschichte zurückblicken. Funde von wilden Flachsfasern in der Dzudzuana-Höhle in Georgien konnten auf ein Alter von 30.000 Jahren datiert werden (Kvavadze et al. 2009). Jede der sogenannten Hochkulturen entwickelte eigene Textilherstellung und setzte dabei auf unterschiedliche Naturfasern – Indien und Peru auf Baumwolle, Ägypten auf Flachs, Mesopotamien auf Wolle oder China auf Seide (Wilson 2021). Nach letzterer wurde sogar eine der wichtigsten Handelsrouten der Globalgeschichte benannt, was wiederum zeigt, dass Textilien auch über lange Zeit eines der wichtigsten Handelsgüter und somit Motor der Globalisierung wurden (Wilson 2021). Die Art und Weise jedoch, wie dieser Handel besonders in der frühen Neuzeit und Moderne ausgestaltet wurde, ist eines der dunkelsten Kapitel der Geschichte der Menschheit. Um sich Luxusgüter aus Asien wie Baumwolle und vor allem Seide leisten zu können, brauchten die Europäischen Handelsnationen im 15. Jahrhundert große Mengen an Gold und Silber. Die Suche nach diesen Edelmetallen führte etwa Portugal und im Anschluss daran auch Spanien,

Ass.-Prof. DI Dr. J. Lederer (✉) · DI Dr. A. Bartl
Christian Doppler Labor für recyclingbasierte Kreislaufwirtschaft, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, Getreidemarkt 9/166.1, 1060 Wien, Österreich
jakob.lederer@tuwien.ac.at

die Niederlande, England oder Frankreich, bis an die Westküste Afrikas. Dort diente wiederum die aus Indien importierte Baumwolle als Tauschmittel gegen Goldstaub. Nachdem sich das Außenhandelsbilanzdefizit der europäischen Handelsmächte gegenüber Indien, den Gewürzinseln und vor allem China trotzdem weiter verschlechterte, wurde nach anderen Möglichkeiten gesucht, wie etwa kürzeren Seerouten nach Asien, um die Transportkosten zu reduzieren. Gefunden, unter Anführungszeichen, wurden die Amerikas und damit nicht nur riesige Mengen an Gold und Silber. Beide wurden der ansässigen Bevölkerung geraubt, um weiter Luxuswaren aus Asien nach Europa importieren zu können. Weil sich die Handelsbilanz auch dadurch nicht verbesserte, entwickelten die europäischen Handelsmächte ein gänzlich neues System des Handels und der Produktion. Auf den riesigen Flächen der Amerikas wurden zunächst Zuckerrohr und später auch Baumwolle als *Cash Crop* eingeführt. Verarbeitet wurde Letztere in Europa zu Stoffen, die zum Teil an die Westküste Afrikas exportiert wurden, jedoch nicht mehr zum Tausch gegen Goldstaub, sondern gegen den wichtigsten Produktionsfaktor für den Zuckerrohr- und Baumwollanbau: Arbeitskraft in Form von Sklaven. Der große Atlantische Dreieckshandel war geboren und entvölkerte nicht nur große Teile Afrikas und der Amerikas, sondern ermöglichte erst das, was heute als industrielle Revolution bezeichnet wird (French 2021). Tatsächlich war die industrielle Revolution des 18. Jahrhunderts eine Textilrevolution, die nicht nur technische Innovationen befeuerte, sondern auch zu einer neuen Einteilung der Gesellschaft in Kapitalistinnen und Proletariat führte (O'Brien et al. 2012). Dass sich daraus auch neue gesellschaftliche Ideen und politische Kräfte formten, ist in Anbetracht der Evolution des Menschen kein Wunder und es ist auch nicht überraschend, dass mit Robert Owen und Friedrich Engels zwei Textilunternehmer hier an vorderster Front standen (Rogers 2018). Textilien beziehungsweise deren Herstellung wurde somit zum Politikum, und das blieb auch so. Nachdem die britische Kolonialmacht die indische Textilproduktion zerstört und das Land zum Lieferanten billiger Baumwolle für die Textilfabriken im Mutterland degradiert hatte, forderte Mahatma Gandhi seine Landsleute auf, es ihm gleich-

zutun, sprich Textilien aus britischer Produktion zu boykottieren und nur mehr in Indien produzierte Baumwolltextilien zu tragen (Shikwati 2011). So entstand nach der Unabhängigkeit in Südasien und später auch in China oder Südostasien ein riesiger Textilsektor. Grundvoraussetzung dafür waren neben der Baumwollindustrie sowohl billige neue Rohstoffe wie Polyester, aber auch ausländische Direktinvestitionen multinationaler Konzerne und vor allem eines: günstige Arbeitskraft. Damit war auch die Vormachtstellung der europäischen Textilindustrie gebrochen, weil ein Großteil der Produktion nach China, Indien, Vietnam, oder Bangladesch ausgelagert wurde (Gleba und Ulla 2012). Und da sich die Menschheit zwar durch große Innovationskraft auszeichnet, jedoch oftmals wenig aus Fehlern der Vergangenheit lernt, ist es kein Wunder, dass die unmenschlichen Arbeitsbedingungen des Manchesterkapitalismus in Ländern wie Bangladesch auch heute noch zu finden sind (Saxena 2014). Doch nicht nur die Textilverarbeitung, auch die Produktion von Naturfasern wie Baumwolle hat sich verlagert, wenn auch mit geringerer Ausprägung. Zwar dominieren immer noch Indien, China, die USA, Brasilien, Pakistan und die ehemaligen Sowjetrepubliken Zentralasiens den Weltmarkt, jedoch nimmt der Marktanteil von Produzenten wie Argentinien oder verschiedenen Ländern in Sub-Sahara Afrika stark zu (Mollae et al. 2019). Gemessen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche etwa ist das Westafrikanische Benin heute einer der größten Baumwollproduzenten der Welt (FAOSTAT 2023).

1.2 Textilien und Textilabfälle: eine zahlenmäßige Einordnung

Auch wenn Textilien aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken sind, so stellt sich die Frage, wie diese definiert sind. Gemäß der DIN 60.000 (DIN 1969) wird darunter ein Sammelbegriff für:

- textile Faserstoffe (Textilfasern),
- textile Halb- und Fertigfabrikate sowie
- die daraus hergestellten Fertigwaren

verstanden. Ein Textil ist also ein Produkt, das hauptsächlich aus Fasern besteht, wobei die EU-Verordnung Nr. 1007/2011 des Europäischen Parlaments und des Rats vom 27.09.2011 darüber hinaus festgelegt, dass der

Massenanteil an Textilfasern mindestens 80 % betragen muss.

Eine Faser wiederum steht für einen morphologischen Begriff für linienförmige Gebilde, die sich durch ihre Flexibilität, ihre Feinheit und ihr hohes Verhältnis von Länge zu Querschnittsfläche auszeichnen (BISFA 2017). Textilfasern müssen sich zudem zusätzlich textil verarbeiten lassen (DIN 1969). Je nach Länge wird bei Textilfasern zwischen Stapelfasern (Fasern begrenzter, aber spinnbarer Länge) und Filamenten (Fasern praktisch unbegrenzter Länge, sogenannte Endlosfasern) unterschieden. Kurze, nicht verspinnbare Fasern werden Flockfasern oder Flock genannt (BISFA 2017; DIN 1969).

Neben der Morphologie ist bei Fasern die Herkunft von großer Bedeutung. Dabei wird zwischen Naturfasern auf der einen Seite und Chemiefasern auf der anderen Seite unterschieden. Naturfasern können pflanzlichen (z. B. Baumwolle), tierischen (z. B. Wolle) und mineralischen (z. B. Asbest) Ursprungs sein. Chemiefasern, die auch als Kunstfasern bezeichnet werden, stammen aus technischen Prozessen, wobei das Fasermaterial sowohl aus natürlichen (z. B. Zellulose) als auch synthetischen Polymeren (z. B. Polyethylenterephthalat) oder auch aus anorganischen Werkstoffen (z. B. Glas) stammen kann. Die Abkürzungen für Naturfasern und Kunstfasern sind gemäß Normen definiert (BISFA 2017; DIN 2001, 2022).

Die Produktion von Fasern ist in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Wie in Abb. 1c gezeigt, stieg die Produktion von Textilfasern (d. h. Chemie- und Baumwolle) von rund 24 im Jahr 1975 auf 114 Mio. t im Jahr 2022 (IVC 2023) bzw. gemäß anderen Quellen auf 117 Mio. t (Textile Exchange 2023). Das entspricht nahezu einer Verfünffachung. Noch dramatischer ist der Anstieg bei Chemiefasern (Abb. 1b), die sich von rund 11 (1975) auf 88 (2022) Millionen verachtfacht haben (IVC 2023). Dies ist darin begründet, dass der Anbau von Baumwolle von 1975 bis Anfang der 2000er-Jahre zwar von 13 auf 20 Mio. t gestiegen ist, seitdem aber zwischen rund 22 und 28 Mio. t stagniert (Abb. 1a). Der erwähnte Anstieg der Baumwollproduktion ist in einer Steigerung des Hektarertrags begründet, der von ca. 600 auf 800 kg/ha stieg, wobei die Anbaufläche von Baumwolle seit den 1990er-Jahren bei rund 0,30 und 0,36 Mio. km² (das sind 30 bis 36 Mio. ha) konstant geblieben ist

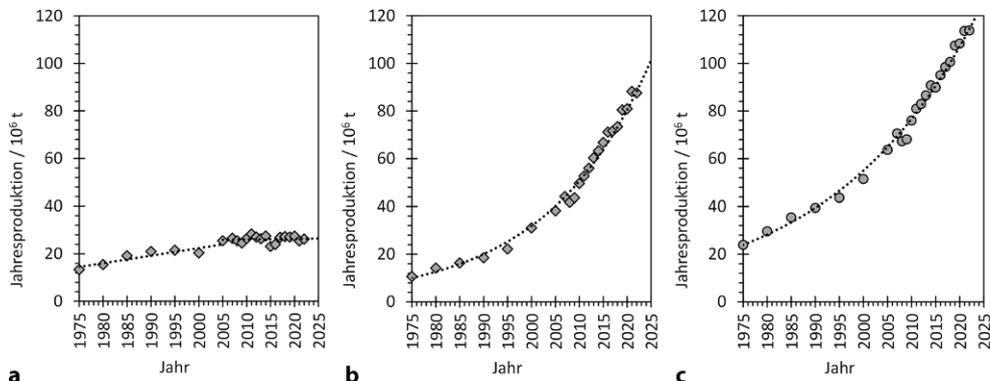


Abb. 1 Weltweite Produktionsmenge von Textilfasern (Baumwolle und Chemiefasern) im Zeitraum von 1975 bis 2022 (IVC 2023)

(USDA 2021). Mit einer signifikanten Ausweitung der Baumwollproduktion in Zukunft ist nicht zu rechnen, da weder der Hektarertrag (Einsatz von Agrarchemikalien und genmodifizierten Pflanzen ist weitgehend ausgereizt) noch die Anbaufläche (steht in Konkurrenz zu Lebensmitteln) weiter gesteigert werden können.

Eine genauere Aufschlüsselung der Faserproduktion für das Jahr 2022 nach Faserarten findet sich in Abb. 2. Der Anteil der Naturfasern liegt bei rund 29 %, wobei Baumwolle mit 25,5 Mio. t den Löwenanteil ausmacht. Die anderen, pflanzlich basierten Naturfasern liegen mit 6,0 Mio. t abgeschlagen, wobei Jute

(3,4 Mio. t) und Kokos (1,3 Mio. t) alleine rund 77 % dieser Kategorie ausmachen. Von untergeordneter Bedeutung sind heutzutage tierische Naturfasern (1,9 Mio. t), wobei davon etwa 1,1 Mio. t auf Wolle entfallen.

Die Chemiefasern liegen mit 83,3 Mio. t beim 2,5-fachen Volumen der Naturfasern. Hervorzuheben sind dabei die PET-Fasern, die mit 63,3 Mio. t weit vor allen anderen Fasern liegen und einen Anteil von 75 % an der Chemie- bzw. 54 % an der Textilfaserproduktion haben. Zellulosische Chemiefasern, die aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden, konnten in den letzten Jahren deutlich zulegen (von 2,6 Mio.

t im Jahr 2000 (IVC 2023)) und lagen 2022 bei 7,3 Mio. t.

Die Daten zeigen, dass die Produktion von Textilfasern zu nahezu zu 2/3 auf fossilen Rohstoffen basiert (d.h. PET, PA und andere Chemiefasern liegen bei 76 Mio. t) und nur zu 1/3 auf nachwachsenden Rohstoffen (Naturfasern und zellulosische Chemiefasern liegen bei 41 Mio. t). Ein Vergleich der 76 Mio. t synthetischer Chemiefasern, die auf Basis Erdöl produziert werden, mit der globalen Erdölfördermenge, die im Jahre 2022 bei 4,79 Mrd. t lag (Energy Institute 2023), könnte den (falschen) Schluss zulassen, dass die

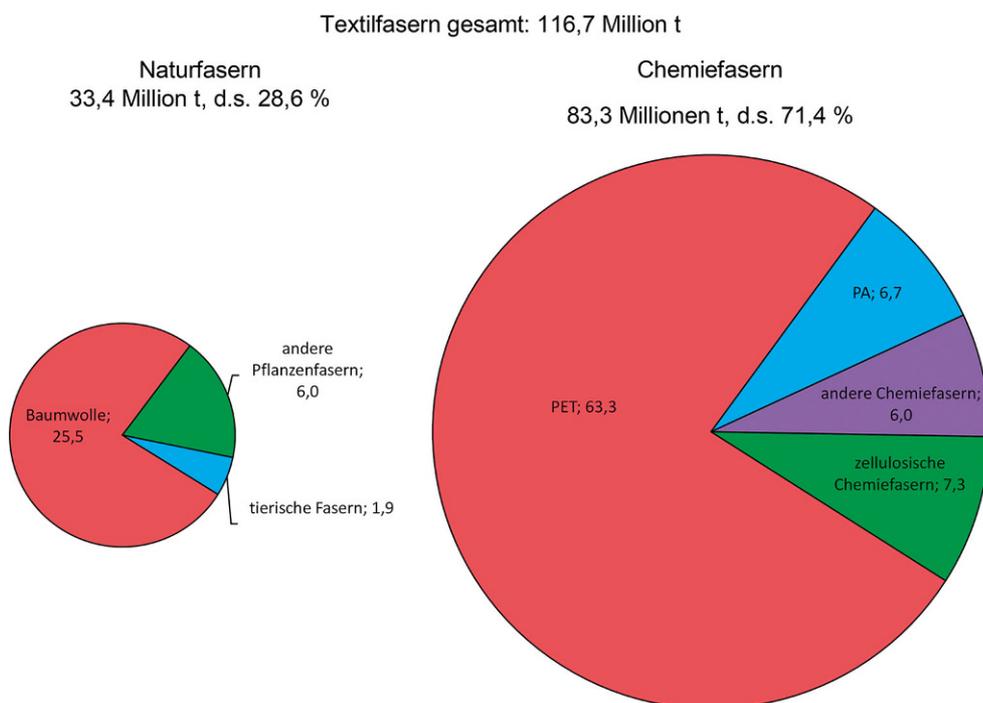


Abb. 2 Produktion von Natur- und Chemiefasern nach den wichtigsten Fasertypen im Jahr 2022 (Textile Exchange 2023). Die Fläche der Kreise entspricht den Produktionsvolumina

Textilwirtschaft nur unwesentlich am Ressourcenverbrauch involviert ist.

Schon allein für die Faserproduktion synthetischer Chemiefasern werden zwischen 90 und 130 GJ/t benötigt, das entspricht rund 2 bis 3 t Erdöl (d. h. 1 t für den Werkstoff und 1–2 t für die Energie zur Herstellung). Naturgemäß wird auch für die Produktion von Naturfasern (ca. 55–60 GJ/t bzw. rund 1,3–1,4 t Erdöl) und zellulosischen Chemiefasern (70–100 GJ/t bzw. 1,7–2,4 t Erdöl) (fossile) Energie benötigt. Besonders bei Baumwolle muss noch der extrem hohe Wasserverbrauch berücksichtigt werden.

Fasern stellen jedoch kein Endprodukt dar, sondern nur ein vorgefertigtes Rohmaterial, das erst zu einem Produkt weiterverarbeitet werden muss. Die Textilfasern müssen zu einem Garn versponnen, zu einem Flächengebilde gewebt oder gestrickt, gefärbt und ausgerüstet sowie schließlich zugeschnitten und genäht werden. Die benötigten Energieverbräuche können massiv schwanken und hängen in hohem Maße von der Garnstärke und der Grammatik des Textils ab. Für das fertige Textil sind Energieverbräuche zwischen 100 und 420 GJ/t notwendig, was bedeutet, dass für 1 t Bekleidung zwischen 2,5 und 10 t Erdöl benötigt werden. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Bedarfs von 260 GJ (d. s. 6 t Erdöl) für 1 t Textil und einer Inputmenge von 117 Mio. t Fasern ergibt sich ein Gesamtbedarf von 700 Mio. t Erdöl (d. s. 15 % der globalen Erdölförderung).

2 Textilien aus Perspektive der Nachhaltigen Entwicklung

Die komplexe und vielschichtige Geschichte der Textilien, die Vielseitigkeit der möglichen Anwendungen sowie die riesigen Mengen an produzierten und entsorgten Textilien lassen es schon erahnen: Zwischen Textilien und den 17 Zielen für eine Nachhaltige Entwicklung lässt sich leicht eine Verbindung herstellen. In gewisser Weise gilt das für alle Ziele. In diesem Beitrag sollen aber nur einige ausgewählte Zusammenhänge diskutiert werden, da für eine tiefere Betrachtung schlicht und einfach der Platz fehlt. In diesem Kapitel soll speziell auf die Defizite bei der Erreichung einiger der wichtigsten Ziele der Nachhaltigen Entwicklung eingegangen werden.

2.1 Textilien als Weg in die Armut – oder aus der Armut?

Das erste UN-Entwicklungsziel ist die Reduktion von vor allem materieller Armut. Dies soll durch wirtschaftliche Entwicklung und soziale Sicherungssysteme gelingen. Erstere soll Arbeitsplätze schaffen, sodass arme Personen durch Lohnarbeit ein größeres Einkommen haben. Zweitere soll jene Personen, die aus verschiedenen Gründen nicht arbeiten beziehungsweise ein zu niedriges Einkommen haben, aus der Armut bringen oder vor Armut bewahren. Textilien spielen hier eine zweifache Rolle. Zum einen sind Textilien ein notwendiges Konsumprodukt, welches mit seinem Preis Teil des Warenkorbs ist. Dieser wird üblicherweise zur kaufkraftbereinigten Definition von ökonomischen Armutsgrenzen herangezogen (Piachaud 1992). Günstige Textilien, für Armutsdefinitionen etwa als „ordentliche Bekleidung“ bezeichnet, wirken dadurch armutsreduzierend (Zimmermann 1993). Dies kann jedoch im Widerspruch stehen zur zweiten Rolle der Textilien in Zusammenhang mit Armut, nämlich Textilien als Produkt. Für deren Herstellung können sich selbstständige oder lohnarbeitsabhängige Personen ein Einkommen schaffen, welches sie laut neoklassischer ökonomischer Theorie vor Armut bewahren soll. Aus diesem Grund ist auch die Textilproduktion eine Strategie der nachholenden Industrialisierung von Ländern mit niedrigem Einkommen (Staritz und Morris 2015). Zur Bereitstellung von günstigen Textilien und zur Absicherung von Gewinnen stehen jedoch in einigen Ländern die Einkommen von Kleinbäuerinnen und Erntehelfern, Arbeiterinnen und Händlern unter Druck (Stamm et al. 2019). Die Auswirkungen dieser Preispolitik wie die Überschuldung von Baumwollbäuerinnen in Indien oder Streiks der Textilfabrikarbeiter in Bangladesh werden inzwischen auch international wahrgenommen (Khan et al. 2020; Merriott 2016). Es scheint also einen gewissen Widerspruch zwischen leistbaren Textilprodukten für Personen mit geringem Einkommen und angemessene Löhne von Personen in der Textilverarbeitung zu geben. Bei einer solchen einfachen und anschaulichen Erklärung bleiben jedoch viele Punkte unbeachtet. Zum einen stellt sich die Frage, um wie viel der Preis für Textilien durch existenzsichernde Löhne entlang der Produktionskette

tatsächlich verteuert werden würde. Eine kürzlich von der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) veröffentlichte Studie etwa schätzt, dass die Produktionskosten eines nach Umwelt- und Sozialstandards hergestellten T-Shirts einen Herstellungspreis von 3,64 € hätte, während ein vergleichbares Produkt, welches konventionell produziert wurde, hier bei 3,33 € liegt (Ferenschild und Mürlebach 2021). Dieser Unterschied dürfte also keine relevanten Auswirkungen auf den Endpreis haben, den Konsumenten für das Textilprodukt bezahlen, und es stellt sich automatisch die Frage nach den Profitmargen und deren Verteilung. Erst wenn diese Frage beantwortet und auch entsprechend gelöst wird, können Textilien ihre Doppelrolle als notwendiges Produkt, das allen Menschen in genügender Menge zur Verfügung steht, sowie als wichtige einkommenssichere Branche erfüllen (Mair et al. 2016).

2.2 Textilien, Hunger und Krankheit

Zwei wichtige Merkmale von Armut sind Hunger und Krankheit. Deswegen fordern die UN-Entwicklungsziele 2 und 3 auch weniger Unterernährung und eine bessere Gesundheitsvorsorge und -versorgung. Textilien spielen hier insbesondere in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen eine gewisse Rolle, aus zwei Gründen. Zum einen ist in diesen Ländern die Prävalenz von Hunger und Krankheit bedeutend größer als in Ländern mit hohem Einkommen. Zum anderen befinden sich in dieser Ländergruppe nicht nur einige der größten Textilindustrien, sondern auch wichtige Produzenten von Baumwolle, wie Indien, Pakistan, Brasilien, Indonesien, Mali, Benin, Burkina Faso, Tansania, Kamerun, Sudan und Äthiopien. Vor allem in den Sub-Saharaländern Afrikas in dieser Gruppe kann der Anbau von Baumwolle in Flächenkonkurrenz zum Anbau von Grundnahrungsmitteln stehen. Baumwolle ist für diese Länder ein wichtiges Exportgut, um an Devisen zu kommen. Der Anbau von Grundnahrungsmitteln wie Mais, Reis, Weizen, Hirse oder Maniok ist jedoch wichtig zur Versorgung der Bevölkerung. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass der Anbau von Baumwolle in bestimmten Fällen die Ernährungssouveränität dieser Länder beeinträchtigen kann, wobei hier zwischen den Erzeugerinnen wie Kleinbäuerinnen und Konsumenten wie Stadtbewohnern un-

terschieden werden muss. Zwar erhöht Baumwollanbau die Ernährungssicherheit von Kleinbäuerinnen, da diese die Baumwolle zusätzlich zu ihrem Eigenbedarf an Grundnahrungsmitteln anbauen und durch den Verkauf ein höheres Einkommen erzielen können. Jedoch kann sich diese Art des kleinbäuerlichen Baumwollanbaus negativ auf die Ernährungssicherheit von Stadtbewohnern auswirken, da diese nicht mehr günstige Überschüsse an Grundnahrungsmitteln lokaler Bäuerinnen kaufen können, sondern auf teurere Importe zurückgreifen müssen. Aus diesem Grund empfehlen auch Organisationen wie das International Food Policy Research Institute (IFPRI) staatliche Eingriffe, um einen entsprechenden Versorgungsmix landwirtschaftlicher Produkte zu gewährleisten, etwa durch entsprechende Fruchtfolgen zwischen Exportgütern und Grundnahrungsmitteln sowie Mischanbau (Kaminski et al. 2009; Theriault und Tschirley 2014). Viel mehr noch als die Konkurrenz um Land scheint jedoch die Konkurrenz um landwirtschaftliche Inputs wie Bewässerung und vor allem Düngemittel und Biozide zu bestehen. In einigen Regionen Sub-Sahara-Afrikas wird etwa davon ausgegangen, dass Kleinbäuerinnen teure Düngemittel eher für reine Exportgüter wie Kaffee oder eben Baumwolle verwenden als für Grundnahrungsmittel, was zur Folge hat, dass die Preise für Grundnahrungsmittel aufgrund geringerer Erträge steigen (Hillocks 2014). Zwar wurde beobachtet, dass die Bäuerinnen bei sinkenden Handelspreisen von Baumwolle ihre Flächen und Düngemittel wieder für Grundnahrungsmittel einsetzen, vor allem für jene, welche gleichzeitig für den Export dienen können (wie eben Mais), jedoch ist auch in diesem Fall eine gewisse Übergangsphase mit geringen Einkommen (wegen niedriger Weltmarktpreise für Baumwolle) und steigenden Preisen (weil Nahrungsmittel importiert werden müssen) zu überbrücken (Laris et al. 2015).

Während auf die Herausforderung der Ernährungssicherheit in Zusammenhang mit Baumwollanbau und damit Textilien innerhalb einiger Monate bis Jahre reagiert werden kann, ergeben sich aus der Verwendung anderer landwirtschaftlicher Inputs längerfristige Herausforderungen, insbesondere für die Gesundheit von Kleinbäuerinnen: die Verwendung von Bioziden. So dürfte der Pestizideinsatz für Baumwolle in

einigen Regionen bedeutend höher sein als für andere Feldfrüchte (Williamson et al. 2008). Gleichzeitig sind Schutzmaßnahmen wie Atemschutzmasken oder Sicherheitskleidung eine zusätzliche Aufwendung, auf die Kleinbäuerinnen oft verzichten (Kuye et al. 2008). Nicht nur im Sinne der Gesundheitsvorsorge wären hier sowohl Aufbringungsmenge, als auch Anwendungspraxis zu evaluieren, da ein übermäßiger Einsatz von Pestiziden auch Gewässer und die Umwelt beeinträchtigt, wie im folgenden Kapitel diskutiert wird.

2.3 Textilien, saubere Gewässer und Umwelt

Eine gewisse Menge der Pestizide, die auch in der Baumwollproduktion verwendet werden, gelangen in Gewässer, in den Boden, also in die Umwelt. Wird hier ein Schwellenwert überschritten, so steht dies im Widerspruch zu den UN-Entwicklungszielen Nummer 6, 14 und 15. Gleichzeitig werden in manchen Ländern traditionelle Anbaugelände erweitert, um die Produktion landwirtschaftlicher Exportprodukte zu erhöhen. Ein klassisches Beispiel ist der Landwirtschaftssektor in Brasilien, welchem insbesondere im Bundesstaat Mato Grosso Wälder zum Opfer fallen, um Soja, Weizen und auch Baumwolle für den Export anzubauen (Vieira et al. 2022; Yoshikawa 2023). Eine weitere Auswirkung neben diesen Landnutzungsänderungen ist der enorme Verbrauch von Wasser für die Bewässerung von Baumwolle. Die Baumwollproduktion hat in manchen Gegenden der Erde ganze Gewässer beinahe trockengelegt – man denke nur an den Tschadsee in Zentralafrika oder den Aralsee in Zentralasien (Micklin 2014; Onuoha 2008). Während sich die Situation durch besseres Wassermanagement in manchen Baumwollanbaugeländen entspannte, droht mit der globalen Erwärmung neues Ungemach, welches dazu führen könnte, dass einige der wichtigsten Baumwollanbaugelände der Welt, vor allem in Indien, Pakistan und Usbekistan, mit massiven Einbrüchen in der Baumwollproduktion rechnen müssen (Jans et al. 2021). Eine Substitution mit Polyester wäre hier zwar eine Lösung in Punkto Wasserverbrauch, jedoch benötigen die Herstellung dieser Textilien etwa 60% mehr Energie als Baumwolltextilien (Boschmeier et al. 2023c).

Aber nicht nur beim Anbau von Baumwolle, auch bei der Produktion von Textilien und deren Nutzung kann die Umwelt beeinträchtigt werden (Madhav et al. 2018; Roy Choudhury 2014; Yacout und Hassouna 2016). Ein Gutteil der Mikroplastikbelastung in den Gewässern dürfte Mikrofasern vor allem von synthetischen Textilien wie Polyester oder Polyamid geschuldet sein, nicht nur aus Fischernetzen, sondern auch von Kleidungsstücken (Henry et al. 2019). Und auch die Entsorgung von Textilabfällen führt zu Umweltauswirkungen, vor allem in den Ländern des globalen Südens, wobei auf diesen Punkt nochmals gesondert in Kap. 3 eingegangen wird (Bartl 2019).

2.4 Textilien: es gibt noch Hoffnung

Die Aufzählung der negativen Auswirkungen von Textilien auf Mensch, Gesundheit, Umwelt und Gesellschaft im Kap. 2 in diesem Beitrag gleicht einer Dickens'schen Aufzählung des Grauens. In der Tat unterscheidet sich der Textilsektor hier wahrscheinlich nicht besonders von anderen globalen Sektoren wie dem Elektronik- oder dem Nahrungsmittelsektor. Tatsächlich ist es aber notwendig, den Finger in die Wunde zu legen, gleichzeitig aber auch die riesengroßen Möglichkeiten zu nutzen, die der Textilsektor für die menschliche Entwicklung leisten kann. Und hier sind besonders die Möglichkeiten durch einen sinnvollen Umgang mit Alttextilien und Textilabfällen zu erwähnen (Bartl 2020), wie im folgenden Kapitel diskutiert wird.

3 Kreislaufwirtschaft von Textilien zur Erreichung der Nachhaltigen Entwicklungsziele

Wer nach dem Lesen von Kap. 2 das Gefühl hat, dass die Situation hoffnungslos ist, der sei gesagt: Textilien bieten nicht nur Risiken, sondern vor allem Chancen für eine nachhaltige Entwicklung. Es wurde bereits andiskutiert – faire Löhne entlang der Produktionskette kombiniert mit sozialen und landwirtschaftlichen Innovationen können Armut, Hunger, Krankheit und Umweltauswirkungen massiv reduzieren. Nicht weniger wichtig sind jedoch technische Innovationen, und die schlagen sich auch im Entwicklungsziel 12 nieder: nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion.

3.1 Nachhaltiger Konsum, Abfallvermeidung und Reuse von Textilien

Nachhaltiger Konsum beginnt grundsätzlich damit, das Richtige im Sinne der Nachhaltigen Entwicklungsziele auf den Markt zu bringen. Das bedeutet im Fall von Textilien umweltschonende Produktion mit hohen sozialen Standards. Eine Konsequenz daraus sind natürlich teurere Produkte. Für Menschen mit hohem Einkommen dürfte das weniger ein Problem sein als für jene mit niedrigem Einkommen, weswegen eine ausreichende Entlohnung natürlich nicht nur Produzentinnen, sondern auch Konsumenten betrifft. Wenn durch teurere, weil umweltschonendere und fairer hergestellte Produkte der Konsum sinkt, muss natürlich die oberste Prämisse moderner Gesellschaften sein, dass die wichtigsten Grundbedürfnisse der Bevölkerung befriedigt werden. Weniger Rohstoffe, dafür Güter von höherer Qualität zu konsumieren, darf nicht auf Kosten von Bevölkerungsschichten mit geringem Einkommen gehen. Es ist also eine gesamtgesellschaftliche Suffizienz ohne Armut anzustreben (Sandberg 2021; Vollmann et al. 2021).

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht wären die Auswirkungen dieser Form eines gesamtgesellschaftlichen, nachhaltigeren Konsums die, dass durch höhere Qualität der Textilien eine längere Lebensdauer erreicht werden könnte und dadurch weniger Textilabfälle und Alttextilien erzeugt werden würden, sprich Abfall entsprechend der Abfallhierarchie vermieden werden würde. Eine diese ergänzende Form der Abfallvermeidung wäre auch die Wiederverwendung von Textilien über Flohmärkte, Tausch- und Handelsbörsen, da in diesem Falle, laut Umweltbundesamt, die Entledigungsabsicht fehlt und es sich dadurch nicht um Abfälle im eigentlichen Sinne handelt (Bernhardt et al. 2022).

Ist die Entledigungsabsicht gegeben, so kann man zwar von Abfällen sprechen, jedoch ist auch hier eine Wiederverwendung möglich. Alttextilien, die wiederverwendet werden können, werden von gewinnorientierten, karitativen sowie kommunalen Sammlern gesammelt, händisch sortiert und dann der Wiederverwendung zugeführt. Wie schon der Tausch oder Verkauf von Textilien über Börsen und Märkte weist auch diese Form der Wiederverwen-

dung einen ökologischen Vorteil gegenüber etwa der energetischen oder stofflichen Verwertung auf (Keßler et al. 2021; Koligkioni et al. 2018; Woolridge et al. 2006). Was die Ergebnisse aus diesen Studien jedoch massiv beeinflusst, sind die Annahmen bezüglich tatsächlicher Wiederverwendungsraten, wirkliche Mengen an Sortierresten sowie realen Entsorgungswegen von diesen. Wie in vielen anderen Ländern Europas ist auch hierzulande ein großes Problem, dass ein nicht unbeträchtlicher Teil der Sortierung von Textilien zur Wiederverwendung nicht im Land stattfindet. Das bedeutet, dass sich die Datenlage über einen großen Teil der getrennt gesammelten Alttextilien schlicht und einfach der nationalen Abfallstatistik entzieht. Zwar wurde für den Fall eines karitativen österreichischen Alttextiliensammlers eine Untersuchung zu Behandlungs- und Entsorgungswegen durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass der Großteil der im Ausland sortierten Ware in Europa der Wiederverwendung oder der stofflichen beziehungsweise energetischen Verwertung zugeführt wurde (Karigl et al. 2019). Dem gegenüber stehen jedoch riesige Berge an Alttextilien, die in den Häfen vieler Länder des globalen Südens als Ballenware verpackt ankommen, dort weiter sortiert, verkauft oder entsorgt werden, letzteres aufgrund mangelnder Abfallinfrastruktur auch auf Deponien und Müllhalden. Die Handelswege sind leider, auch aufgrund mangelnder Transparenz, wenig untersucht, weswegen der Anteil der Textilien, welche diese Wege nehmen, schwer quantifizierbar ist (Sumo et al. 2023). Die Aufdrucke auf T-Shirts, die einem der Autoren dieser Zeilen im Rahmen seiner Projektreisen in Ghana, Kenia, Tansania oder Uganda begegnet sind, legen auch nahe, dass es beim Alttextilhandel einen regen Austausch zwischen Europa und etwa Sub-Sahara-Afrika gibt. Auch wenn einige der Alttextilien aus Österreich so ihren Weg in Länder des Südens finden, so bedeutet das noch nicht zwangsläufig, dass die Nachteile dadurch die Vorteile überwiegen. Leistbare Textilien und Kreislaufwirtschaftsziele stehen den negativen Auswirkungen auf lokale Textilproduktion und die Umwelt bei unsachgemäßer Entsorgung gegenüber (Nørup et al. 2019b; Repp et al. 2021). Trotzdem ist es wichtig, sich der Thematik bewusst zu sein und vor allem Licht ins Dunkel der Behandlungs- und Entsorgungswege von Alttextilien zu

bringen, denn nur dann ist es möglich, etwa zu evaluieren, ob ein Recycling in Europa oder in einem anderen Land dem Export von Alttextilien in einkommensschwache Länder vorzuziehen ist.

3.2 Hochwertiges Recycling als Teil einer nachhaltigen Produktion von Textilien

Im Gegensatz zu anderen Abfällen ist das Recycling von Textilabfällen eine etwas komplexere Geschichte. Der Grund dafür ist, dass es für Textilabfälle nicht eine oder zwei, sondern gleich mehrere Recyclingmöglichkeiten gibt. Bartl (2020) etwa zählt, je nachdem wie weit in der textilen Verarbeitungskette zurückgegangen wird, vier Recyclingmöglichkeiten auf:

3.2.1 Herstellung von Putzlappen

Dabei erfolgt keine bzw. nur eine geringfügige Veränderung (d.h. Zerschneiden auf ca. 20×20 cm große Stücke) der physischen und chemischen Eigenschaften des Textils. Die so hergestellten Putzlappen sind Einwegprodukte und werden nach ihrer Verwendung einer thermischen Verwertung zugeführt. Prinzipiell wäre es auch denkbar, Altkleider nur so weit zu zerkleinern, dass die textilen Flächengebilde direkt zur Herstellung neuer Textilien verwendet werden können, wie dies in Forschungsprojekten versucht wird (HSLU 2023).

3.2.2 Recycling unter Erhaltung der Faserstruktur

Dabei erfolgt eine Zerstörung des textilen Flächengebildes, es werden aber die Fasern erhalten. Zum einen können dafür Reißmaschinen eingesetzt werden, die Fasern produzieren, welche sich anschließend zur Herstellung eines Garns eignen oder in die Vliesstoffproduktion gehen. Eine Reduktion der Faserlänge (d.h. Verringerung der Qualität) ist dabei meist unvermeidlich (Gulich 2006). Zum anderen können die Textilien zu Flock verarbeitet werden. Darunter versteht man Kurzfasern, die sich nicht mehr textil verarbeiten lassen und etwa als Additiv für Baustoffe eingesetzt werden können (Bahardoust et al. 2006; Bartl 2011).

3.2.3 Recycling unter Erhalt des zugrundeliegenden Polymers

Dabei werden die physikalischen Eigenschaften verändert (d.h. Schmelzen oder Lösen), wobei die chemische Struktur erhalten bleibt. Das geschmolzene oder gelöste Polymer wird einem Faserspinnprozess zugeführt. Beispielsweise können Baumwolltextilien (d.h. Zellulose) als Rohstoff zur Herstellung von Lyocell-Fasern eingesetzt werden. Dabei wird (natives) Holz substituiert und die hergestellten Recyclingfasern sind den Fasern aus neuen Rohstoffen gleichwertig (Lenzing AG. 2017). Auch beim Schmelzspinnprozess von PET-Fasern kann natives Polymer (zumindest teilweise) durch Recyclingmaterial ersetzt werden. Im Jahr 2022 wurden von 63,3 Mio. t PET-Fasern 8,6 Mio. t (d. s. 13,6 %) aus Recycling-PET hergestellt. Allerdings stammt das rezyklierte PET nahezu ausschließlich aus Getränkeflaschen (Textile Exchange 2023). Eine Verwendung von PET aus Textilien ist aufgrund ihrer deutlich komplexeren Zusammensetzung bislang erst im Labormaßstab möglich (Piribauer et al. 2021).

Haupthindernis für diese Methode ist, dass beim Textilrecycling vielfach zwei oder mehrere Polymere gleichzeitig vorhanden sind, für die erwähnten Methoden jedoch hohe Reinheiten erforderlich sind. Eine hochwertige Sortierung nach Materialien und/oder weitere Trennschritte (mechanisch, chemisch, biochemisch) ist zumeist unerlässlich (Boschmeier et al. 2023b; Mihalyi et al. 2023), ist aber industriell noch nicht realisiert.

3.2.4 Recycling auf Ebene des/der zugrundeliegenden Monomers/e

Dabei wird die Faser physikalisch und chemisch verändert. Beispielsweise werden Fasern aus PA6 zu Polycaprolactam umgesetzt, das wiederum für eine neuerliche Polymerisation zu PA6 eingesetzt wird (Aquaflil 2020).

Die ersten zwei Optionen bedeuten zwar einen geringeren Verlust an Energie, jedoch auch Produkte, die nur beschränkte und untergeordnete Anwendbarkeit haben. Recycling-Putzlappen benötigen zur Herstellung keine nativen Rohstoffe, erfüllen aber als Einwegprodukt nur bedingt die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft. Umgekehrt sind die Optionen drei und vier mit höherem Energieeinsatz ver-

bunden, da die textile Kette zum Teil nochmals durchlaufen werden muss. Dafür können dadurch hochwertige Textilien mit einem bedeutend höheren ökonomischen und auch ökologischen Wert hergestellt werden. Im Sinne einer ökologischen Nachhaltigkeit, aber auch der technologischen Innovation, sind daher die Optionen 3 und 4 zu bevorzugen (Bartl 2019; Boschmeier et al. 2023c; Piribauer und Bartl 2019).

Eine wichtige Voraussetzung, um hochwertiges Textilrecycling zu gewährleisten, ist zunächst einmal eine genaue Kenntnis der Zusammensetzung von Alttextilien und Textilabfällen. International gibt es hier schon einige wenige Untersuchungen, etwa aus Dänemark (Nørup et al. 2018, 2019a). In Österreich hat erst kürzlich unser Institut an der TU Wien damit begonnen, Alttextilien und Textilabfälle nach ihrer Faserzusammensetzung zu untersuchen (Kählig et al. 2023). Die Ergebnisse sind überraschend, vor allem im Vergleich zur globalen Faserproduktion. Wichtig dabei ist es deshalb, diese Analysen zu verifizieren, etwa mittels sensorbasierter Methoden, wie bei unseren Projektpartnerinnen an der Montanuniversität Leoben praktiziert wird (Tischberger-Aldrian et al. 2023). Jedoch auch dann sind noch chemische Analysen notwendig, etwa für die Bestimmung von Störstoffen wie Elastan (Boschmeier et al. 2023a).

Wichtig bei der Bestimmung der Charakteristika von Textilien ist es jedoch, dass sowohl jene in getrennt gesammelten Alttextilien, als auch von Textilabfällen, etwa im Restmüll, bestimmt werden, wie bei Kählig et al. (2023) gezeigt. Zum einen ist davon auszugehen, dass zukünftig mehr Textilabfälle mit der getrennten Sammlung von Alttextilien erfasst werden. Dadurch ändert sich die Zusammensetzung der getrennt gesammelten Alttextilien. Kennt man nun die Zusammensetzung der Textilien in beiden Abfallströmen, so kann man diese veränderte Zusammensetzung modellieren. Zum anderen stellt sich vor allem zukünftig die Frage, ob nicht auch Textilabfälle aus dem Rest- oder Gewerbemüll automatisiert aussortiert werden, so wie dies bei anderen Abfällen bereits passiert (Lederer et al. 2022).

Außerdem müssen die Charakteristika von Alttextilien und Textilabfällen bekannt sein, um effiziente und effektive Sortier- und Aufbereitungstechnologien zu entwickeln. Erst durch

diese kann ein hochwertiges Recycling der Textilien erreicht werden. So müssen für ein Faser-zu-Faser-Recycling unter Erhalt der chemischen Eigenschaften, wie es etwa der Refibra™-Prozess von Lenzing für Baumwolltextilien vorsieht, möglichst homogene Baumwolltextilien zur Verfügung stehen. Daher müssen zunächst Textilien mit hohem Baumwollanteil aussortiert werden, wobei sich eine Kombination aus manuell und natürlich auch maschinell, d.h. sensorbasiert, anbietet. Der erste, manuelle Schritt, kann wiederverwendbare Produkte aus der Alttextilsammlung aussortieren und die Restfraktion noch vorsortieren, um diese in speziellen Anlagen aufzubereiten. Solche Anlagen dafür existieren bereits in den Niederlanden, Schweden und Finnland (Tischberger-Aldrian et al. 2023). Es wäre wünschenswert, auch in Österreich Anlagen dieser Art zu betreiben, wobei hier auch noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, muss doch die Anlagentechnik auf den österreichischen Alttextil- und Textilabfallmix angepasst sein. Auch hinsichtlich des Betriebs kann Österreich hier Vorreiter sein, etwa durch die Arbeitsteilung zwischen Unternehmen und Organisationen, die Textilien für die Wiederverwendung aussortieren, und jenen, deren Stärke eher im Betrieb von maschineller Sortierung liegt. Die bei dieser Aussortierung für das Faser-zu-Faser-Recycling hergestellten Fraktionen müssen häufig noch einer weiteren Störstoffentfernung unterzogen werden, nicht nur um Knöpfe oder Reißverschlüsse zu entfernen, sondern auch, um gewisse Textilbestandteile, also Fremdfasern, zu entfernen. Hier geht es oft um die Entfernung beziehungsweise Trennung von Baumwolle, Polyester und Elastan. Biochemische und chemische Methoden dazu existieren, wie jüngste Arbeiten an der TU Wien in dem Bereich zeigen (Bartl et al. 2010; Boschmeier et al. 2023a, b; Ipsmiller et al. 2019; Kählig et al. 2021, 2022).

Mit diesen verbesserten und teilweise neuen Methoden kann es gelingen, dass auch das Recycling von Textilabfällen zu den Nachhaltigen Entwicklungszielen beiträgt.

4 Fazit

Textilien und Nachhaltige Entwicklungsziele – geht das zusammen? Nach Lektüre der ersten zwei Kapitel in die-

sem Beitrag würde das Urteil eher negativ ausfallen. Kreislaufwirtschaft jedoch, wie im Kapitel drei skizziert, bietet eine Möglichkeit, die skizzierten Herausforderungen zu meistern. In dem Sinne sollten auch die diesbezüglichen Vorgaben, von welcher Stelle sie auch kommen mögen, als Chance und nicht als Bürde gesehen werden. So wie Deponierungsreglements und Verpackungsverordnung in der Vergangenheit.

Danksagung Wir danken unseren Kollegen von der TU Wien, Wolfgang Ipsmiller, Emanuel Boschmeier und Pablo Kählig, sowie unseren Kolleginnen von der Montanuniversität Leoben, Alexia Tischberger-Aldrian und Hana Stipanovic. Durch ihre Arbeiten haben sie wesentliche Grundlagen für diesen Beitrag geleistet.

Förderung Der vorliegende Beitrag entstand im Rahmen der Forschungsinitiative „Christian Doppler Labor für Recyclingbasierte Kreislaufwirtschaft“ am Institut für Verfahrenstechnik, Um-

welttechnik und Technische Biowissenschaften der TU Wien. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, die Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung und die Christian Doppler Forschungsgesellschaft. Gleichzeitig bedanken wir uns bei unseren Unternehmenspartnern: Abfallbehandlung Ahrental GmbH, Altstoffrecycling Austria AG, Borealis AG, Brantner Österreich GmbH, Lenzing AG, Linz Service GmbH (eine Tochter der Linz AG), Mayer-Melnhof Board & Paper, OMV Downstream GmbH, Wien Energie GmbH und Wopfinger Transportbeton Ges.m.b.H. Die Open-Access-Publikation dieses Artikels wurde durch die Bibliothek der Technischen Universität Wien ermöglicht.

Funding Open access funding provided by TU Wien (TUW).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffent-

licht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Aquafil (2020):** Some see trash. Others see treasure. Discover the process behind the breakthrough material. Aquafil. <https://www.econyl.com/the-process/>
- Bahardoust, M., Marini, I., Neubacher, F., Mihalyi, B. & Bartl, A. (2006):** „Verfahren zur Verwertung von Polymerarmierten Elastomerprodukten, Faserfraktion, Bituminöses Mischgut, Baumaterial und Vorrichtung“; Patent: Österreich, No. WO 2004/089610 A2; submitted: 04-08-2004, granted: 10-21-2004. Created from the Publication Database of the Vienna University of Technology.
- Bartl, A. (2011):** From fluff to stuff: An economic solution? Waste Management World, 12, 14–18.
- Bartl, A. (2019):** Chapter 16—End-of-Life Textiles. In T. M. Letcher & D. A. Vallero (Eds.), Waste (Second Edition) (pp. 323–336): Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00010-4>
- Bartl, A. (2020):** Chapter 10—Textiles production and end-of-life management options. In T. M. Letcher (Ed.), Plastic Waste and Recycling (pp. 251–279): Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00010-4>
- Bartl, A., Haner, S., Pico, D., Marini, I., Kasser-Heil, G. & Slanovc, J. (2010):** Wissenschaftliche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung der textilen Restfraktion durch mechanische Verfahrensschritte und Entwicklung eines geschlossenen Gesamtkreislaufes Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Ed.) Berichte aus Energie- und Umweltforschung. TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Wien.
- Bernhardt, A., Brandstätter, C., Karigl, B., Neubauer, C., Stoifl, B. & Eygen, E. V. (2022):** Auf-
- kommen und Behandlung von Textilabfällen in Österreich. Umweltbundesamt, Wien.
- BISFA (2017):** Terminology of man-made fibres. <https://bisfa.org/wp-content/uploads/2021/08/2017-BISFA-Terminology-final-update.pdf>
- BMK (2021):** Die österreichische Kreislaufwirtschaft. Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien.
- BMK (2023):** Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) 2023 Teil 1. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien.
- Boschmeier, E., Archodoulaki, V.-M., Schwaighofer, A., Lendl, B. & Bartl, A. (2023a):** A novel quantification tool for elastane in textiles using thermal treatment. Polymer Testing, 118, 107920. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107920>
- Boschmeier, E., Archodoulaki, V.-M., Schwaighofer, A., Lendl, B., Ipsmiller, W. & Bartl, A. (2023b):** New separation process for elastane from polyester/elastane and polyamide/elastane textile waste. Resources, Conservation and Recycling, 198, 107215. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107215>
- Boschmeier, E., Ipsmiller, W. & Bartl, A. (2023c):** Market assessment to improve fibre recycling within the EU textile sector. Waste Management & Research, 0(0), 0734242X231178222. <https://doi.org/10.1177/0734242X231178222>
- Roy Choudhury, A. K. (2014):** Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment. In S. S. Muthu (Ed.), Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing: Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain (pp. 1–39): Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-287-110-7_1
- DIN (1969):** DIN 60000 Textilien Grundbegriffe. In: Deutsches Institut für Normung (DIN).
- DIN (2001):** DIN 60001-1 Textile Faserstoffe – Teil 1: Naturfasern und Kurzzeichen. In: Deutsches Institut für Normung (DIN).
- DIN (2022):** DIN EN ISO 2076 Textilien – Chemiefasern – Gattungsnamen. In: Deutsches Institut für Normung (DIN).
- Energy Institute (2023):** Weltweite Erdölproduktion in den Jahren 1965 bis 2022. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/40120/umfrage/welt-ingesamt-erdoelproduktion-in-tausend-barrel-pro-tag/>
- FAOSTAT (2023):** Crop and livestock products. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome.
- Ferenschild, S. & Mürlebach, M. (2021):** Nachhaltigkeit ist nicht umsonst. Preisgestaltung nachhaltiger Textilien in der Beschaffung durch Großverbraucher.
- French, H. W. (2021):** Born in blackness: Africa, Africans, and the making of the modern world, 1471 to the Second World War. Liveright Publishing.
- Gleba, M. & Ulla, M. (2012):** Textiles and textile production in Europe from prehistory to AD 400. Oxbow Books.
- Gulich, B. (2006):** Development of products made of reclaimed fibres. In Y. Wang (Ed.), Recycling in textiles (pp. 117–136): Woodhead Publishing.
- Henry, B., Laitala, K. & Klepp, I. G. (2019):** Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. Science of The Total Environment, 652, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>

- Hillocks, R. J. (2014):** Addressing the Yield Gap in Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture*, 43(2), 85–90. <https://doi.org/10.5367/oa.2014.0163>
- HSLU (2023):** Textiles Remanufacturing 2.0. Hochschule Luzern (HSLU): <https://www.hslu.ch/en/lucerne-university-of-applied-sciences-and-arts/research/projects/detail/?pid=6334>
- Ipsmiller, W., Piribauer, B., Vecchiato, S., Bartl, A., Gübitz, G. & Ruppert, G. (2019):** Circular economy solution for flame-retardant protective clothing. *Technical Textiles*, 62, 185–188.
- IVC (2023):** Chemical fiber production worldwide from 2000 to 2022, by fiber type. Industrievereinigung Chemiefaser. <https://www.statista.com/statistics/271651/global-production-of-the-chemical-fiber-industry/>
- Jans, Y., von Bloh, W., Schaphoff, S. & Müller, C. (2021):** Global cotton production under climate change—Implications for yield and water consumption. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25(4), 2027–2044. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2027-2021>
- Kählig, P., Ipsmiller, W. & Bartl, A. (2021):** Investigating possibilities for the recycling of pet / cellulose mixed textile waste Sardinia 2021 18th International Symposium on Waste management and Sustainable landfilling, Santa Margherita di Pula.
- Kählig, P., Ipsmiller, W. & Bartl, A. (2022):** Alkaline and enzymatic hydrolysis of different pet / cotton blends from textile waste. SUM2022 6th Symposium on Circular economy and Urban mining, Capri.
- Kählig, P., Ipsmiller, W., Bartl, A. & Lederer, J. (2023):** Composition of textile waste in Vienna Sardinia 2023 19th International Symposium on Waste management and Sustainable landfilling, Santa Margherita di Pula.
- Kaminski, J., Headey, D. & Bernard, T. (2009):** Institutional reform in the Burkina Faso cotton sector and its impacts on incomes and food security. *International Food Policy Research Institute*, 45.
- Karigl, B., Bernhardt, A. & Hauer, W. (2019):** Verwertung von gesammelten Alttextilien.
- Keßler, L., Matlin, S. A. & Kümmeler, K. (2021):** The contribution of material circularity to sustainability—Recycling and reuse of textiles. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 32, 100535. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100535>
- Khan, M.A., Brymer, K. & Koch, K. (2020):** The Production of Garments and Textiles in Bangladesh: Trade Unions, International Managers and the Health and Safety of Workers. *South Asian Journal of Human Resources Management*, 7(2), 276–292. <https://doi.org/10.1177/2322093720944270>
- Koligkioni, A., Parajuly, K., Sorensen, B. L. & Cimpan, C. (2018):** Environmental Assessment of End-of-Life Textiles in Denmark. *Procedia CIRP*, 69, 962–967. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.090>
- Kuye, R. A., Donham, K. J., Marquez, S. P., Sanderson, W. T., Fuortes, L. J., Rautiainen, R. H., Culp, K. R. (2008):** Pesticide Handling and Exposures Among Cotton Farmers in The Gambia. *Journal of Agromedicine*, 12(3), 57–69. <https://doi.org/10.1080/10599240801887876>
- Kvavadze, E., Bar-Yosef, O., Belfer-Cohen, A., Boaretto, E., Jakeli, N., Matskevich, Z. & Meshveliani, T. (2009):** 30,000-Year-Old Wild Flax Fibers. *Science*, 325(5946), 1359–1359. <https://doi.org/10.1126/science.1175404>
- Laris, P., Foltz, J. D. & Voorhees, B. (2015):** Talking from cotton to grow maize: The shifting practices of small-holder farmers in the cotton belt of Mali. *Agricultural Systems*, 133, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.010>
- Lederer, J., Bartl, A., Blasenbauer, D., Breslmayer, G., Gritsch, L., Hofer, S., . . . Mühl, J. (2022):** A review of recent trends to increase the share of post-consumer packaging waste to recycling in Europe. *Detritus*, 19, 3–17. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2022.15198>
- Lenzing AG. (2017):** Refibra™ Faser – Lenzing's Beitrag zur Kreislaufwirtschaft in der Modebranche. Lenzing AG. Retrieved 16.07.2019 from <https://www.lenzing.com/de/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung/article/news/detail/refibratm-faser-lenzings-beitrag-zur-kreislaufwir/>
- Ellen MacArthur Foundation (2023):** Redesigning the future of fashion. Ellen MacArthur Foundation.
- Madhav, S., Ahamad, A., Singh, P. & Mishra, P. K. (2018):** A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. *Environmental Quality Management*, 27(3), 31–41. <https://doi.org/10.1002/tqm.21538>
- Mair, S., Druckman, A. & Jackson, T. (2016):** Global inequities and emissions in Western European textiles and clothing consumption. *Journal of Cleaner Production*, 132, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.082>
- Merriott, D. (2016):** Factors associated with the farmer suicide crisis in India. *Journal of Epidemiology and Global Health*, 6(4), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.jegh.2016.03.003>
- Micklin, P. (2014):** Irrigation in the Aral Sea Basin. In P. Micklin, N. V. Aladin & I. Plotnikov (Eds.), *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake* (pp. 207–232): Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02356-9_8
- Mihalyi, S., Tagliavento, M., Boschmeier, E., Archodoulaki, V.-M., Bartl, A., Quartinello, F. & Guebitz, G. M. (2023):** Simultaneous saccharification and fermentation with Weizmannia coagulans for recovery of synthetic fibers and production of lactic acid from blended textile waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 196, 107060. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107060>
- Mollaee, M., Mobli, A., Mutti, N. K., Manalil, S. & Chauhan, B. S. (2019):** Challenges and Opportunities in Cotton Production. In *Cotton Production* (pp. 371–390): <https://doi.org/10.1002/9781119385523.ch18>
- Nørup, N., Pihl, K., Damgaard, A. & Scheutz, C. (2018):** Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste. *Waste Management*, 79, 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.008>
- Nørup, N., Pihl, K., Damgaard, A. & Scheutz, C. (2019a):** Quantity and quality of clothing and household textiles in the Danish household waste. *Waste Management*, 87, 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.020>
- Nørup, N., Pihl, K., Damgaard, A. & Scheutz, C. (2019b):** Replacement rates for second-hand clothing and household textiles—A survey study from Malawi, Mozambique and Angola. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1026–1036. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.177>
- O'Brien, P., Griffiths, T. & Hunt, P. (2012):** Technological change during the first industrial revolution: the paradigm case of textiles, 1688–1851. In *Technological change* (pp. 155–176): Routledge.
- Onuoha, F. C. (2008):** Environmental degradation, livelihood and conflicts: A focus on the implications of the diminishing water resources of Lake Chad for north-eastern Nigeria. *African journal on conflict resolution*, 8(2), 35–61.
- Piachaud, D. (1992):** Wie Misst Man Armut? In S. Leibfried & W. Voges (Eds.), *Armut im modernen Wohlfahrtsstaat* (pp. 63–87): VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-322-83590-1_4
- Piribauer, B. & Bartl, A. (2019):** Textile recycling processes, state of the art and current developments: A mini review. *Waste Management & Research*, 37(2), 112–119. <https://doi.org/10.1177/0734242x18819277>
- Piribauer, B., Bartl, A. & Ipsmiller, W. (2021):** Enzymatic textile recycling—best practices and outlook. *Waste Management & Research*, 39(10), 1277–1290. <https://doi.org/10.1177/0734242x211029167>
- Repp, L., Hekker, M. & Kirchherr, J. (2021):** Circular economy-induced global employment shifts in apparel value chains: Job reduction in apparel production activities, job growth in reuse and recycling activities. *Resources, Conservation and Recycling*, 171, 105621. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105621>
- Rogers, C. (2018):** Robert Owen, utopian socialism and social transformation. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 54(4), 256–271.
- Sandberg, M. (2021):** Sufficiency transitions: A review of consumption changes for environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126097. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126097>
- Saxena, S. B. (2014):** Made in Bangladesh, Cambodia, and Sri Lanka: The labor behind the global garments and textiles industries. Cambria Press, Amherst, New York.
- Shikwati, J. (2011):** Redefined Governance-Key to Africa's Development. In Nebe, J.M. (Ed.), *Herausforderung Afrika*, Seite 166–171. Nomos Verlag, Baden.
- Stamm, A., Altenburg, T., Müngersdorff, M., Stoffel, T. & Vrolijk, K. (2019):** Soziale und ökologische Herausforderungen der globalen Textilwirtschaft: Lösungsbeiträge der deutschen Entwicklungszusammenarbeit.
- Staritz, C. & Morris, M. (2015):** Still a path for industrial development? *Routledge handbook of industry and development*, 222.
- Sumo, P. D., Arhin, I., Danquah, R., Nelson, S. K., Acha, L. O., Nweze, C. N., Ji, X. (2023):** An assessment of Africa's second-hand clothing value chain: a systematic review and research opportunities. *Textile Research Journal*, 93(19–20), 4701–4719. <https://doi.org/10.1177/00405175231175057>
- Textile Exchange. (2023):** Materials Market Report Textile Exchange. <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2023/>
- Theriault, V. & Tschirley, D. L. (2014):** How Institutions Mediate the Impact of Cash Cropping on Food Crop Intensification: An Application to Cotton in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 64, 298–310. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.06.014>
- Tischberger-Aldrian, A., Stipanovic, H., Kuhn, N., Bäck, T., Schwartz, D. & Koinig, G. (2023):** Automatisierte Textilsortierung – Status quo, Herausforderungen und Perspektiven. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. <https://doi.org/10.1007/s00506-023-01004-5>
- TVP (2020):** Textilien sind das neue Plastik. TVP Fachzeitschrift für Textilveredlung und Promotion, 18. Februar 2020. <https://tvp-textil.de/textilien-sind-das-neue-plastik/>
- USDA (2021):** Cotton: World Markets and Trade. US Department of Agriculture. <https://apps.fas.usda.gov/pds/online/circulars/cotton.pdf>
- Vieira, D. C., Sanches, I. D. A., Montibeller, B., Prudente, V.H. R., Hansen, M. C., Baggett, A. & Adami, M. (2022):** Cropland expansion, intensification, and reduction in Mato Grosso state, Brazil, between the crop years 2000/01 to 2017/18. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100841. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100841>
- Vollmann, A. R., Zanini-Freitag, D. & Hackl, J. (2021):** Potenziale alternativer Konsummodelle für nachhaltige Entwicklung. In M. Jonas, S. Nessel & N. Tröger (Eds.), *Reparieren, Selbermachen und Kreislaufwirtschaften: Alternative Praktiken*

für nachhaltigen Konsum (pp. 217–236): Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31569-6_11

Williamson, S., Ball, A. & Pretty, J. (2008): Trends in pesticide use and drivers for safer pest management in four African countries. *Crop Protection*, 27(10), 1327–1334. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.04.006>

Wilson, K. (2021): A history of textiles. Routledge.

Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M. & Gandy, S. (2006): Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste

textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.006>

Yacout, D. M. M. & Hassouna, M. S. (2016): Identifying potential environmental impacts of waste handling strategies in textile industry. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8), 445. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5443-8>

Yoshikawa, S. (2023): Agro-Pastoral Expansion and Land Use/Land Cover Change Dynamics in Mato Grosso, Brazil. *Earth*, 4(4), 823–844. <https://www.mdpi.com/2673-4834/4/4/44>

Zimmermann, G. E. (1993): Armut: Konzepte, Definitionen und Operationalisierungsansätze in der BRD: wider ein Ende der Grundsatzdiskussion. *Soziale Probleme*, 4(2), 193–228.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.