



STEPHAN PANZNER

UMWELTAUSWIRKUNGEN UND EMPFEHLUNGEN
FÜR EINE UMWELTSCHONENDE PRODUKTION

META-LIFE CYCLE

ASSESSMENT

IN DER TEXTILINDUSTRIE

Stephan Panzner

**Meta-Life Cycle
Assessment
in der Textilindustrie**

**Umweltauswirkungen und
Empfehlungen für eine
umweltschonende Produktion**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Impressum:

Copyright © Studylab 2019

Ein Imprint der GRIN Publishing GmbH, München

Druck und Bindung: Books on Demand GmbH, Norderstedt, Germany

Coverbild: GRIN Publishing GmbH | Freepik.com | Flaticon.com
| ei8htz

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis V

Tabellenverzeichnis..... VI

AbkürzungsverzeichnisVII

1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit..... 1

2 Grundlagen des Life Cycle Assessments (LCA)..... 6

2.1 Funktion und Definition des LCA..... 6

2.2 Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen..... 11

2.3 Sachbilanzierung (LCI)..... 17

2.4 Wirkungsabschätzung (LCIA) 18

2.5 Auswertung..... 23

**3 Wertschöpfungsstufen der industriellen Fertigung von
Kleidung 27**

3.1 Produktion von textilem Garn..... 29

3.2 Produktion textiler Flächen 32

3.3 Veredelung textiler Flächen..... 34

3.4 Konfektionierung von Kleidungsstücken 37

4 Qualitative Literaturanalyse von LCA-Studien zu Umweltauswirkungen entlang der industriellen Fertigung von Kleidung.....	38
4.1 Methodik	38
4.2 Ergebnisse der qualitativen Literaturanalyse	43
4.3 Diskussion und Implikationen	156
4.4 Limitationen.....	167
5 Fazit.....	169
Literaturverzeichnis.....	173
Anhang.....	186

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten einer Ökobilanz (LCA) nach ISO EN 14040:2006	9
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Systemfließbildes eines Produktsystems	15
Abbildung 3: Rahmen der Wirkungskategorien für die Charakterisierungsmodellierung auf Midpoint- und Endpointbene.....	22
Abbildung 4: Anteil der verwendeten Faserarten in der EU 2015 gekaufter Kleidung	28
Abbildung 5: Anzahl der Studien zu definierten Untersuchungskategorien	45
Abbildung 6: Häufigkeit von Wirkungsindikatoren mit hoher Ausprägung in der Garnproduktion.....	52
Abbildung 7: Häufigkeit von Wirkungsindikatoren mit hoher Ausprägung in der textilen Flächenproduktion	77
Abbildung 8: Produktionsphasen als Hotspots nach Anzahl untersuchter Studien.....	82
Abbildung 9: Häufigkeit von Umweltwirkungsindikatoren: Färbung, Druck und Bleichung.....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitliche Verteilung der analysierten Publikationen	44
Tabelle 2: Literaturübersicht mit Abdeckungsgrad der Untersuchungskategorien und Einordnung in Effekthierarchie	50
Tabelle 3: Hotspots entlang der Garnproduktion	57
Tabelle 4: Hotspots entlang der Produktion textiler Flächen	76
Tabelle 5: Hotspots entlang der textilen Veredelung	94
Tabelle 6: Hotspots entlang der textilen Konfektionierung	119
Tabelle 7: Hotspots in der Lieferkette der textilen Produktion	125
Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse zu Technologien und Ansätzen zur Reduzierung produktionsbedingter Umweltauswirkungen	140

Abkürzungsverzeichnis

AA	Air Acidification
ADP	Abiotic Depletion Potential
AEP	Aquatic Eutrophication Potential
AP	Acidification Potential
AT	Air Toxicity
BAT	Best Available Techniques
BREF	Best Available Techniques Reference Document
ca.	circa
CBD	non-silicate Cold Batch Dying
CFP	Carbon Footprint
CLP	Classification, Labelling, Packaging
COST628	European Cooperation in Science and Technology 628
DALY	Disability-Adjusted Life Years
dtex	decitex
EP	Eutrophierungspotenzial
et al.	et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union

f.	folgend
FAETP	Freshwater Aquatic Ecotoxicity
FEP	Freshwater Eutrophication
FETP	Freshwater Ecotoxicity Potential
ff.	fortfolgend
FSP	Flammsprühpyrolyse
FWE	Freshwater Ecotoxicity
GHG	Greenhouse Gas Protocol
GWP	Global Warming Potential
GWP100	Global Warming Potential Time Horizon of 100 Years
HTP	Human Toxicity Potential
KEA	Kumulierter Energieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
MAETP	Marine Aquatic Ecotoxicity Potential
ODP	Ozone Layer Depletion Potential
PAC	Polyacrylate
PlaSqu	plasma polymerization with silver co- sputting

POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
PVA	Polyvinylalkohol
RMD	Raw Material Depletion
TEP	Terrestrial Eutrophication Potential
TETP	Terrestrial Ecotoxicity Potential
vgl.	vergleiche
WD	Water Depletion
z. B.	zum Beispiel

1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit

Die weltweiten Exporte in der Bekleidungsindustrie sind wertmäßig in den letzten zehn Jahren um 29,2 % gestiegen (vgl. World Trade Organization 2018). Eine stetig wachsende Weltbevölkerung sowie verbesserte Verhältnisse des Pro-Kopf-Einkommens in aufstrebenden Schwellenländern wie den BRICS-Staaten stellen bedeutsame Treiber für diese Entwicklung dar (vgl. Manda et al. 2015, S. 47). Einen verstärkenden Faktor bildet der *fast fashion trend*, wodurch am Markt bestehende Modelinien auf einem möglichst niedrigem Preisniveau in immer kürzeren Zeitintervallen durch neue Trendmodellinien ersetzt werden. Dies führt insgesamt zu einem verkürzten Produktlebenszyklus und somit zu einer stetig steigenden Nachfrage an neuer Kleidung und infolgedessen zu steigenden Produktionsvolumina (vgl. Fletcher 2014 S. 189ff.; Roos et al. 2015, S. 5). Der Preisdruck zieht sich folglich durch die gesamte Wertschöpfungskette, was die Verlagerung der Produktion in Niedriglohnländer des asiatischen Raums und die Fertigung mit möglichst kostengünstiger Produktionstechnologie zur Folge hat (vgl. McNeill/ Moore 2015, S. 213). So stellt derzeit China wertmäßig mit Abstand den größten Importeur von Kleidung für den europäischen Markt (EU-28) dar, gefolgt von Bangladesch und der Türkei (vgl. EURATEX 2018, S. 2). Neben negativen sozialen Auswirkungen wie unfairer Entlohnung und mangelhaftem Arbeitsschutz entstehen durch die Textilindustrie, verstärkt durch den *fast fashion trend*, zudem signifikante negative Einflüsse auf die Umwelt, beispielsweise durch hohe Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbräuche sowie Ab-

wasseremissionen (vgl. Baydar et al. 2015, S. 213; Choudhury 2014, S. 1ff.; Fletcher 2014, S. 189ff.).

Mithilfe der Ökobilanzierung, methodisch gleichbedeutend mit der englischsprachigen Terminologie Life Cycle Assessment (LCA), ist eine wissenschaftlich detaillierte Erfassung, Analyse und anschließende Auswertung aller entlang des Produktlebenszyklus von Kleidung entstehenden Umwelteinflüsse und damit verbundenen potenziellen ökologischen Auswirkungen möglich (vgl. Klöpffer/ Grahl 2009, S. 1f.). So kann beispielsweise auf Basis verschiedener LCA-Studien, welche den gesamten Produktlebenszyklus von Kleidung untersuchen, die Nutzungsphase aufgrund der Wasch- und Trockenzyklen als ein Bereich im Lebenszyklus von Kleidung mit besonders hohen potenziellen Umweltauswirkungen bezeichnet werden (vgl. Baydar et al. 2015; Busi et al. 2016; Hicks/ Theis 2017; Manda et al. 2015; Walser et al. 2011).

Doch auch entlang der gesamten Produktion von Kleidung entstehen signifikante Einflüsse auf die Umwelt, beispielsweise in Form eines erhöhten Energieverbrauchs in der Garnproduktion oder durch einen hohen Wasserverbrauch und Emissionen kritischer Chemikalien während der Färbung (vgl. Allwood et al. 2008, S. 1245; vgl. Parisi et al. 2015, S. 514). Aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs und der umweltschädigenden Emissionen rückt die Thematik einer nachhaltigeren textilen Produktion zunehmend in den Fokus von Regierungen, Kunden und Lieferanten sowie der Wissenschaft (vgl. Zhang et al. 2015, S. 994). In der Forschung existiert hierzu bereits eine

Vielzahl an Studien, welche die Produktion von Kleidung entlang der Produktionsstufen Rohstoffherstellung, Faserproduktion, Produktion textiler Flächen, Vorbehandlung, Färbung, Veredelung und Konfektionierung im Rahmen eines LCA auf Umwelteinflüsse und damit verbundene potenzielle Umweltauswirkungen untersuchen, Hotspots identifizieren und daraus Handlungsempfehlungen für eine umweltverträglichere Produktion ableiten (vgl. Piontek/ Müller 2018, S. 759ff.).

Die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse wird jedoch häufig aufgrund von diversen funktionellen Einheiten als Referenzgröße, unterschiedlich getroffenen Annahmen, bedingt durch Datenlücken und der verwendeten LCA-Methode sowie durch die unterschiedliche Auswahl der Umweltwirkungskategorien erschwert (vgl. Piontek/ Müller 2018, S. 760). Die Art und das Ausmaß der Umweltwirkungen hängen zudem signifikant von der verwendeten Technologie und der geografischen Lage der Produktionsstätten des untersuchten Produktsystems ab (vgl. Nieminen et al. 2007, S. 1261; Zhang et al. 2015, S. 995). Gerade neuen Technologien wird hierbei enormes Potenzial hinsichtlich einer effektiven Reduzierung von negativen Umwelteinflüssen vorausgesagt, was sich in der Empfehlung der European Cooperation in Science and Technology (COST 628) für die Entwicklung neuer umweltverträglicherer Technologien auf Basis von LCA-Forschung widerspiegelt (vgl. Agnhage et al. 2017, S. 1221). Die Vielzahl an Untersuchungen, methodischen Herangehensweisen sowie Ergebnissen führt zu der Notwendigkeit, diese in einem einheitlichen Rahmen zusammenzu-

bringen und die Umweltauswirkungen der Produktion innerhalb der Textilindustrie daraus abzuleiten.

Ziel dieser Arbeit ist, die in der Literatur vorhandenen LCA-Studien zur Herstellung von Kleidungsstücken qualitativ auf Hotspots zu untersuchen und kritisch zu reflektieren. Dabei soll eine Literaturübersicht hinsichtlich der als wesentlich zu beurteilenden potenziellen Umweltauswirkungen und Verbesserungspotenziale geschaffen werden. Der Untersuchungsrahmen erstreckt sich von der Faserproduktion über die Produktion textiler Flächen, Vorbehandlung, Färbung, Veredelung bis zur Konfektionierung der Kleidung. Transporte zwischen den Produktionsphasen werden ebenfalls berücksichtigt. Mittels dieser qualitativen Analyse sollen somit folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

Welche potenziellen Umweltauswirkungen entstehen durch die industrielle Fertigung von Bekleidung? Welches sind die größten potenziellen Umweltauswirkungen in den einzelnen Produktionsphasen sowie in der Gesamtproduktion? Welche spezifischen Hotspots in der Produktion können dafür verantwortlich gemacht werden?

Im Zuge dessen soll auch auf technologische Unterschiede im Herstellungsprozess und regionale Unterschiede eingegangen werden, welche das Maß der Umweltauswirkungen beeinflussen. Als wesentlichen Anknüpfungspunkt für Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit sollen zudem Einsparpotenziale identifiziert werden.

Hierzu wird zunächst in Kapitel 2 der Begriff des Life Cycle Assessments (LCA) definiert. Insbesondere gilt es dabei den Zweck und den methodisch grundlegenden Aufbau einer LCA-Studie aufzuzeigen, wodurch Elemente des LCA identifiziert werden sollen, welche die Qualität der Ergebnisse eines LCA grundlegend beeinflussen. Um ein Verständnis für die einzelnen Produktionsabschnitte und Subprozesse der Kleidungsproduktion als Grundlage für die folgende qualitative Analyse zu schaffen, werden diese in Kapitel 3 vorgestellt. Anschließend folgt in Kapitel 4 eine qualitative Literaturanalyse relevanter LCA-Studien, welche die Ergebnisse innerhalb des festgelegten Untersuchungsrahmen hinsichtlich der definierten Fragestellungen analysiert. Zunächst wird hierzu das methodische Vorgehen beschrieben. Die Ergebnisse der qualitativen Analyse und kritischen Reflexion relevanter Studien hinsichtlich der Umweltauswirkungen, technologischer Unterschiede, Forschungslücken und Verbesserungsmöglichkeiten werden darauffolgend auf Ebene der definierten Produktionsabschnitte dargestellt. Weiterhin werden Hotspots in der Fertigung, welche eine besonders hohe potenzielle Umweltauswirkung erzeugen, aufgezeigt. Anschließend werden die Ergebnisse diskutiert, Implikationen für Forschung und Produzenten abgeleitet sowie identifizierte Forschungslücken und Limitationen aufgezeigt. Kapitel 5 schließt die Arbeit mit einem Fazit ab.

2 Grundlagen des Life Cycle Assessments (LCA)

Der methodische Aufbau des LCA lässt sich gliedern Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz (LCI), Wirkungsabschätzung (LCIA) und Auswertung. Die einzelnen Phasen werden nachfolgend erläutert.

2.1 Funktion und Definition des LCA

Das Life Cycle Assessment (LCA), im deutschen Sprachgebrauch als Ökobilanzierung bezeichnet, stellt eine Methode zur ganzheitlichen Analyse potenzieller Umweltwirkungen dar, welche die Erfassung und Bewertung sämtlicher entlang des Lebenszyklus eines Produktsystems (von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling) einfließender Inputs und austretender Outputs umfasst (vgl. DIN EN ISO 14044:2006 2006, S. 1; Klöpffer/ Grahl 2014, S. 1). Als Produktsystem wird hierbei die Gesamtheit aller relevanten Prozessmodule mit ihren Elementar- und Produktflüssen bezeichnet. Diese modellieren den Lebensweg eines Produktes und erfüllen mehrere festgelegte Funktionen (vgl. Klöpffer/ Grahl 2009, S. 12). Prozessmodule stellen dabei die kleinsten Bestandteile in der Sachbilanz einer LCA-Studie dar, für die „[...] Input- und Outputdaten quantifiziert werden“ (DIN EN ISO 14040:2006 2006, S. 5, eigene Übersetzung). Somit wird nicht lediglich ein Gut oder eine Dienstleistung auf Umweltwirkungen untersucht, sondern ein System, welches sämtliche Prozesse, Inputs und Outputs entlang des gesamten Lebenszyklus beinhaltet, um die Funktion eines

Guts bzw. einer Dienstleistung zu erfüllen (Bjørn et al. 2018, S. 12).

Das LCA fokussiert sich ausschließlich auf die ökologischen Aspekte eines Produktsystems, wonach soziale und ökonomische Aspekte nicht analysiert werden (vgl. Klöpffer/ Grahl 2014, S. 2). Neben der Identifizierung und Quantifizierung von potenziellen ökologischen Umweltauswirkungen erfüllt das LCA zudem eine wesentliche Aufgabe im Kontext der Identifizierung potenzieller ökologischer Verbesserungsmöglichkeiten entlang des Lebenszyklus eines bestehenden Produktsystems sowie im Rahmen der Entwicklung neuer, nachhaltigerer Produkte (vgl. Jolliet et al. 2016, S. 7). Letzterer Prozess erfordert jedoch zwingend die Einbeziehung, Analyse und Bewertung sowohl sozialer als auch ökonomischer Faktoren (vgl. Klöpffer/ Grahl 2014, S. 2). Einen weiteren essenziellen Zweck des LCA bildet die Möglichkeit des direkten Vergleichs von Produkten, einzelner Prozesse, Systeme oder bestimmter Produktlebenszyklusphasen anhand ihrer potenziellen Umweltwirkungen, wodurch wiederum Schwachstellen an Produkten und Prozessen in Form erhöhter negativer Umweltwirkungen festgestellt und Verbesserungspotenziale aufgezeigt werden können (vgl. Bjørn et al. 2018, S. 13; Jolliet et al. 2016, S. 7). Die Anwendungsbereiche und Gründe für die Durchführung eines LCA sind vielfältig. So wird es beispielsweise auch dazu verwendet, umweltbelastende Hotspots entlang des Lebenszyklus eines Produktsystems zu identifizieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten (vgl. Weidema 1998, S. 238), Entscheidungsträger aus Industrie, Politik und NGOs mit Informationen zu

versorgen sowie als Grundlage für Marketingmaßnahmen, beispielsweise in Form von Umweltproduktdeklarationen, zu dienen (vgl. DIN EN ISO 14040:2006 2006, S. 8ff.).

Der Rahmen eines LCA setzt sich aus der Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens zusammen, gefolgt von der Zusammenstellung einer Sachbilanz (LCI), einer Wirkungsabschätzung (LCIA) auf Basis der Sachbilanzergebnisse sowie der Auswertung der Ergebnisse (siehe Abbildung 1).

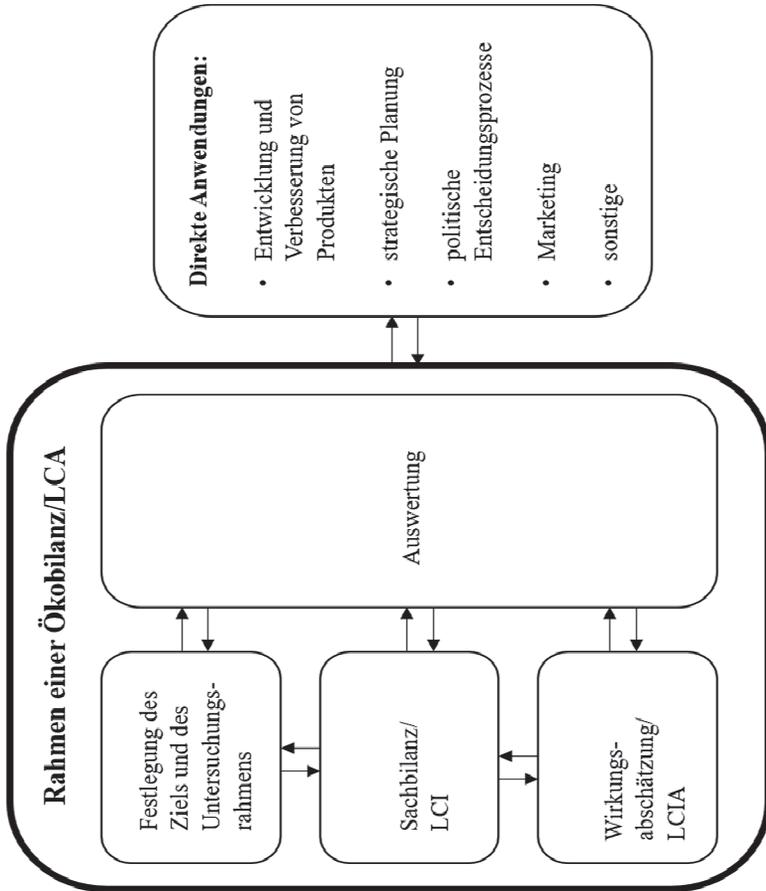


Abbildung 1: Komponenten einer Ökobilanz (LCA) nach ISO EN 14040:2006
(Quelle: in Anlehnung an Klöpffer/ Grahl 2009, S. 12).

Zwar bauen die einzelnen Phasen des LCA aufeinander auf, jedoch stehen diese, wie in Abbildung 1 durch Pfeilverbindungen dargestellt, in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Hierdurch wird eine iterative Vorgehensweise verfolgt, die es ermöglicht, Änderungen innerhalb einer bestimmten Phase in allen vor- und nachgelagerten Phasen zu erfassen und zu berücksichtigen und somit die Konsistenz und Vollständigkeit einer Studie zu gewährleisten. Insbesondere den Untersuchungsrahmen gilt es bei relevanten Änderungen in den verschiedenen Phasen anzupassen, um der Zieldefinition zu entsprechen (vgl. DIN EN ISO 14040:2006 2006, S. 7ff.).

Damit ein direkter Vergleich der Ergebnisse verschiedener LCA-Studien möglich ist, sollten sich sowohl die getroffenen Annahmen als auch der Kontext der zu vergleichenden Studien decken. Zudem schreibt die DIN EN ISO Norm 14044 vor, dass die funktionelle Einheit, die Wahl der Systemgrenze, die Datenqualität, Regelungen zur Bewertung von In- und Outputs und deren Auswirkungen sowie Allokationsmaßnahmen identisch sein müssen (vgl. DIN EN ISO 14044:2006 2006, S. 11). Folglich können nur Systeme miteinander verglichen werden, die einen vergleichbaren Nutzen aufweisen (vgl. Klöpffer/ Grahl 2014, S. 4). Ein wichtiger Grund, weshalb das LCA per Definition die Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus oder mehrerer Lebenszyklusphasen eines Produktes erfasst und bewertet, anstatt nur eine Lebenszyklusphase zu betrachten, ist die Vermeidung des Risikos der Verlagerung von Umweltwirkungen. Dies kann beispielsweise durch Maßnahmen zur Verringerung von negativen Umweltwirkungen in einem Lebens-