

Der Circular Economy Analyst

Ein Tool zur Quantifizierung des Umweltnutzens von Kreislaufstrategien

Autoren (Stephan Schmidt, Rainer Pamminer, Wolfgang Wimmer)

**TU Wien, Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung,
Forschungsgruppe Ecodesign**

Zusammenfassung: In einer Kreislaufwirtschaft sollen Produkte, Komponenten und Materialien über die längst mögliche Dauer auf höchster Wertebene im Kreislauf geführt werden. Modelle wie das „Butterfly-Diagramm“ (Ellen MacArthur Foundation et al. 2015) oder der „Value Hill“ (Achterberg et al. 2016) zeigen, dass Kreislaufstrategien hierarchisch nach ihrem Werterhalt gegliedert werden können. Demnach ist aus Ressourcensicht, die Strategie Wartung/Reparatur der Wiederverwendung und diese wiederum dem Remanufacturing vorzuziehen. Inwieweit das im Einzelfall zutrifft, muss aber für jedes Produkt einzeln untersucht werden. Der vorliegende Beitrag stellt eine Methodik und ein Tool vor, mit dem auf Basis von Ökobilanzdaten eines Produktes, dessen theoretisches Kreislaufpotenzial für acht verschiedene Kreislaufstrategien quantifiziert werden kann. Der ermittelte Wert beschreibt, den maximal möglichen Anteil der Umweltwirkungen (z.B. ausgedrückt in CO₂-eq.) der mit einer bestimmten Kreislaufstrategie beeinflusst werden kann. In einem weiteren Schritt können die Umweltwirkungen dieser Strategien modelliert werden. Daraus ergeben sich Entscheidungsgrundlagen für die Wahl der umweltwirksamsten Strategie und erste Ansatzpunkte für Verbesserungen am Weg zum kreislauffähigen Produkt bzw. Geschäftsmodell.

1. Hintergrund

Das beschriebene Tool wird gegenwärtig im Rahmen des Erasmus+-Projekts „KATCH_e – Knowledge Alliance on Product-Service Development towards Circular Economy and Sustainability in Higher Education“ entwickelt. Im Projekt werden Lehrunterlagen für tertiäre Bildungseinrichtungen und Unternehmen entwickelt welche Kompetenzen zur Entwicklung von kreislauffähigen Produkten und Produktdienstleistungen vermitteln sollen. Die Inhalte nehmen vor allem Bezug auf Produkte der Bau- und Möbelbranche, jedoch können die erarbeiteten Tools auch für andere Produkte welche vorrangig im technischen Kreislauf (vgl. Ellen MacArthur Foundation et al. 2015) angesiedelt sind, angewandt werden. Der CE Analyst wird Teil eines Webtool-Pakets bestehend aus drei Tools, welches Hilfestellung bei

der Erhebung von Kreislaufwirtschafts-Potenzialen von bestehenden Produkt-Systemen liefern soll. Mit dem Webtool-Paket können folgende Fragestellungen adressiert werden:

- Wie kann das Geschäftsmodell kreislaforientierter gestaltet werden? („CE Strategist“)
- Wie muss das Produktdesign angepasst werden um das Geschäftsmodell bestmöglich zu unterstützen? („CE Designer“)
- Welche Umwelteffekte können erwartet werden? („CE Analyst“)

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der letzten Fragestellung und beschreibt die Methodik des Webtools.

2. Einleitung

Der Begriff Kreislaufwirtschaft stammt ursprünglich aus der Abfallwirtschaft (vgl. z.B. „Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1996, KrW-/AbfG“) und beschrieb dabei v.a. das Ideal einer möglichst hohen Recyclingquote. Heute wird im Kontext der Kreislaufwirtschaft auf die Wichtigkeit der „inneren Kreisläufe“ wie Wartung, Reparatur, Wiederverwendung und Remanufacturing hingewiesen (vgl. Kirchherr et al. 2017). Zeitgemäße, modellhafte Beschreibungen der Kreislaufwirtschaft wie z.B. Value Hill (Achterberg et al. 2016) zeigen wie Kreislaufstrategien hierarchisch nach ihrem „Wert“-Erhalt gegliedert werden können (siehe Abbildung 1).

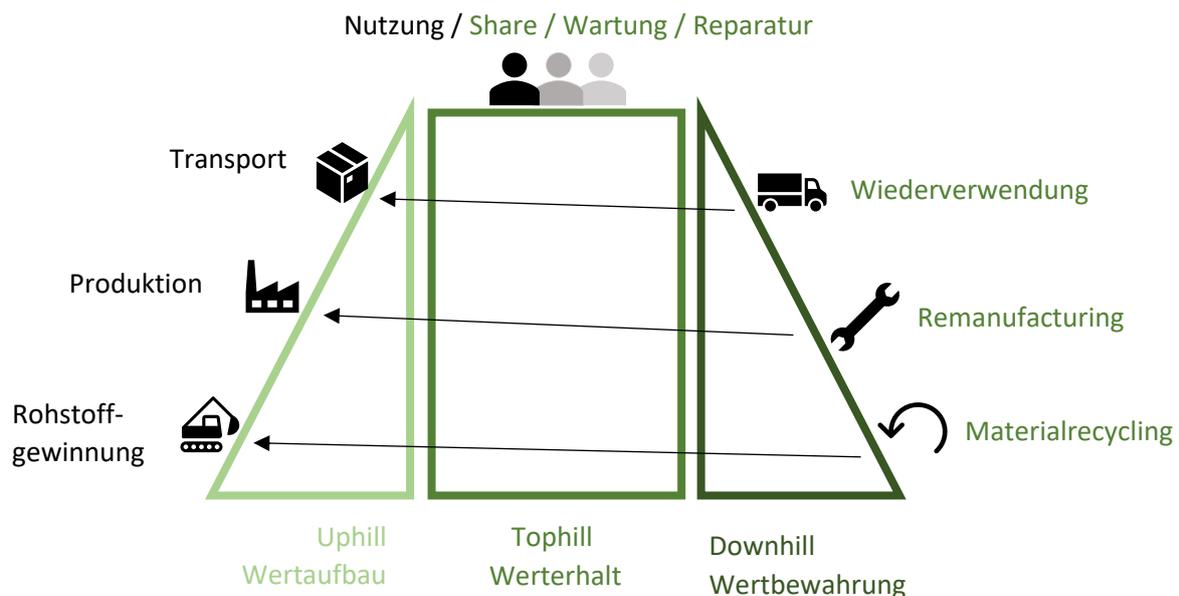


Abbildung 1: Der Value Hill einer Kreislaufwirtschaft (eigene Darstellung, adaptiert von Achterberg et al. 2016)

In den Phasen der Rohstoffgewinnung, der Herstellung und dem Transport (der Uphill-Phase) findet ein kontinuierlicher Wertaufbau statt. In einem linearen – vor allem verkaufszahlenorientierten - Wirtschaftsmodell fällt dieser Wert schnell ab. Wenige der in grün geschriebenen Strategien des Werterhalts (in der Tophill- und Downhillphase) werden genutzt. Im Gegensatz dazu steht die Kreislaufwirtschaft, bei der schon in der Uphill-Phase durch entsprechendes Produktdesign Weichenstellungen gesetzt werden, damit Kreislaufstrategien in der Tophill- und Downhill-Phase wirken können.

Was im Value Hill-Modell als Wert beschrieben wird, kann im Umkehrschluss auch als kumulierte Umweltwirkung betrachtet werden. Werden z.B. durch Recycling nur die Materialien eines Produktes wiedergewonnen, ist auch der Umweltnutzen aufgrund der Vielzahl an notwendigen Folgeschritten für einen weiteren Produktlebenszyklus, entsprechend gering. Wie hoch der Umweltnutzen ist, ist natürlich höchst abhängig vom Umweltprofil des betrachteten Produkts. Die Berechnung von Umweltindikatoren wie z.B. dem Carbon Footprint von Produkten (ISO 14067) geben Aufschluss darüber, welche Lebenswegphasen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen besonders relevant sind. Damit geben Umweltdaten eines Produktes über die definierten Lebenszyklusphasen (das „Produktumweltprofil“) auch Aufschluss darüber inwieweit Verbesserungen der Umweltperformance durch Kreislaufstrategien bestehen. Auf diesem Verständnis baut das Tool, der „CE Analyst“ auf.

Für die Verwendung des Tools werden quantitative Ökobilanzdaten (z.B. Carbon Footprint, kumulierter Energieaufwand, etc.) eines zu analysierenden „linearen“ Produkts über die fünf Lebenszyklusphasen benötigt. Linear in diesem Zusammenhang bedeutet, dass noch keine der unten beschriebenen Kreislaufstrategien realisiert wurden, und das Produkt am Ende seiner Nutzungsdauer entsorgt wird. Im Folgenden werden jene acht Kreislaufstrategien beschrieben, welche mithilfe des Tools modelliert werden können.

Tabelle 1: Übersicht und Definition der modellierbaren Kreislaufstrategien

Lebenszyklusphase / Kreislaufstrategie		Definition
Uphill-Phase	1 Verwendung kreislauffähiger Materialien	Wiedergewinnbare bzw. rezyklierte Materialien mit einem geringeren ökologischen Fußabdruck substituieren bestehende Materialien
	2 Erhöhung der Produktionseffizienz	Erhöhung der Energieeffizienz und/oder der Materialeffizienz in der Herstellung (z.B. durch Industrial Symbiosis, Bevorzugung erneuerbarer Energieträger, Abwärmenutzung, etc.)
	3 Kreislaufdesign	Veränderung des Produktdesigns welches unmittelbar auf eine Verlängerung der Nutzungsdauer des Produkts und/oder eine Erhöhung der Energieeffizienz in der Nutzungsphase abzielen (durch Modularität, Reparierbarkeit, Standardisierung, etc.)
Tophill-Phase	4 Nutzungsdauer-verlängernde Services	Angebot von Ersatzteilen / Verbrauchsmaterialien welche die Produktnutzungsdauer verlängern bzw. Angebot von Reparatur- und Wartungsdienstleistungen
	5 Sequentielle Nutzung	Dasselbe Produkt wird z.B. durch ein pay-per-use Modell sequentiell von mehreren Nutzern hintereinander verwendet
	6 Gemeinsame Nutzung („Pooling“)	Dasselbe Produkt wird zur gleichen Zeit von mehreren Nutzern verwendet
Downhill-Phase	7 Wiederverwendung	Nachdem das Produkt das Ende seiner Nutzungsphase erreicht hat wird es für den gleichen Zweck ohne Wiederaufbereitungs-Maßnahmen für andere Kunden zugänglich gemacht
	8 Remanufacturing	Das Produkt wird dem Hersteller zurückgegeben, wiederaufbereitet und dem Kunden zugänglich gemacht.

3. Methodik

Das Ergebnis des Tools zeigt den Vergleich der Umweltwirkungen zwischen einem linearen Produkt-System und einem modellierten kreislauforientierten Produkt-System. Im Folgenden werden die drei Anwendungsschritte des Tools beschrieben.

3.1 Definition des linearen Referenzszenarios

Im ersten Schritt wird ein lineares Referenzszenario definiert. Dafür werden die Ökobilanzdaten des zu analysierenden Produktes über den gesamten Lebensweg als Anteile für die fünf Phasen Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Nutzung und Entsorgung eingetragen. Die definierten Lebensphasen richten sich nach dem Standard ISO 14067 zur Berechnung des Carbon Footprints von Produkten, jedoch können auch andere quantitative Umweltdaten eingetragen werden.

Um eine Vergleichsbasis für die Gegenüberstellung zu ermöglichen, wird zunächst ein lineares Referenzszenario berechnet. Zu diesem Zweck wird die durchschnittliche Produktnutzungsdauer herangezogen und durch diese dividiert um die Umweltwirkungen pro Zeiteinheit mit einer bestimmten Nutzungsintensität zu ermitteln, z.B. für einen Bürostuhl mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren, kann „ein Jahr Bürostuhlbenutzung mit einer bestimmten Nutzungsintensität“ als lineares Referenzszenario definiert werden (siehe Tabelle 2). Dadurch wird ein Vergleich zu einem kreislauforientierten Szenario mit längeren Nutzungsdauern (z.B. durch Reparatur) oder höherer Nutzungsintensität (z.B. sequentielle Nutzung) ermöglicht. Dies ist vor allem dann relevant, sofern in der Nutzungsphase relevante Umweltwirkungen auftreten.

Tabelle 2: THG-Emissionen aus der Ökobilanz eines Bürostuhls

Daten in [kg.CO ₂ -e]	Rohstoff-gewinnung	Produktion	Transport	Nutzung	Entsorgung	Nutzungsintensität	Nutzungsdauer
Ausgangsdaten	67,8	27,7	3,7	0	3,4	1 Person, 8 Std. / Tag, 5 Tage / Woche	15 Jahre
Lineares Referenzszenario	4,5 (65%)	1,7 (25%)	0,4 (6%)	0	0,2 (3%)	1 Person, 8 Std. / Tag, 5 Tage / Woche	1 Jahr

Quelle: (Steelcase Inc. 2004)

3.2 Ermittlung des Maximalen Einflusspotentials der Kreislaufstrategien

Ausgehend vom linearen Referenzszenario wird im nächsten Schritt ermittelt, wie hoch das maximale Einflusspotential der vordefinierten Kreislaufstrategien ist, d.h. den Maximalwert der potenziellen Verbesserung der Umweltperformance. Dies erfolgt durch die Aufsummierung der Einzelanteile des Umweltdaten der betroffenen Lebenswegabschnitte.

So wird beispielsweise durch die Strategie „gemeinsame Nutzung“, das gesamte Umweltprofil des Referenzszenarios beeinflusst, da die Strategie auf der höchsten Wertebene ansetzt (vgl. Abbildung 1). Des Weiteren können durch die vergleichsweise intensivere Nutzung auch die Umweltwirkungen der Nutzungsphase verringert werden (z.B. Fahrgemeinschaften vs. Einzelnutzung eines Fahrzeugs). Auf der anderen Seite beeinflusst die Strategie „Verwendung kreislauffähiger Materialien“ nur die Lebensphasen der Rohstoffgewinnung und Entsorgung (vgl. Abbildung 1). Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Einflussbereiche der Kreislaufstrategien auf die einzelnen Lebenszyklusphasen.

Der ermittelte Indikator des Maximaleinflusses gibt eine erste Orientierung, für die potentielle Wirksamkeit verschiedener Ansätze. Dieser ist je nach Produkttyp höchst unterschiedlich. In dem in Tabelle 2 beschriebenen Beispiel des Bürostuhls - einem rohstoffintensiven Produkt - ist der Indikator in allen Strategien vergleichsweise hoch, d.h. dass auch Maßnahmen wie z.B. die Verwendung von rezyklierten Materialien schon eine hohe Umweltwirkung aufweisen können (vgl. Tabelle 3). Demnach ergibt sich aus dem Umweltprofil eine Erstorientierung für passgenaue kreislaforientierte Maßnahmen.

Tabelle 3: Von Kreislaufstrategien betroffene Lebenszyklusphasen

Lebenszyklusphase / Kreislaufstrategie		Von der Strategie betroffene Lebenszyklusphasen					Maximales Einfluss-Potenzial am Beispiel Bürostuhl
		Rohstoff-gewinnung	Produktion	Transport	Nutzung	Entsorgung	
Uphill-Phase	1 Verwendung kreislauffähiger Materialien	x				x	68%
	2 Erhöhung der Produktionseffizienz	x	x			x	94%
	3 Kreislaufdesign	x	x	x	x	x	100%
Tophill-Phase	4 Nutzungsdauer-verlängernde Services	x	x	x		x	100%
	5 Sequentielle Nutzung	x	x	x		x	100%
	6 Gemeinsame Nutzung („Pooling“)	x	x	x	x	x	100%
Downhill-Phase	7 Wiederverwendung („Reuse“)	x	x	x		x	100%
	8 Remanufacturing	x	x			x	94%

3.3 Modellierung des kreislaforientierten Vergleichsszenarios

Nach der in Punkt 3.2 beschriebenen ersten Potenzialerhebung, können im nächsten Schritt die einzelnen Kreislaufstrategien modelliert werden und zu einem Vergleichsszenario zusammengefasst und kombiniert werden. Methodisch wird dafür das lineare Umweltproduktprofil herangezogen und gemäß den möglichen Einflussparametern (in Abhängigkeit von der Strategie) neu berechnet (siehe Tabelle 4).

Bei der Modellierung von Kreislaufstrategien in der Uphill-Phase (Nr. 1-3) bedeutet dies, dass die Umwelteffekte in den betroffenen Lebenszyklusphasen abgeschätzt werden können (z.B. Veränderung in der Phase der Rohstoffgewinnung durch die Verwendung von Rezyklaten). Bei den Strategien der Tophill- (Nr. 4-6) und Downhill-Phasen (Nr. 7-8)

sind Faktoren wie Nutzungsintensität, durchschnittliche Nutzungsdauerverlängerung und die Abschätzung von zusätzlich auftretenden Effekten (z.B. zusätzliche Transporte) definierbar.

Dabei ist auch die Kombination mehrerer Einzelstrategien möglich. Wird ein Produkt hinsichtlich seines Designs kreislauffähiger gestaltet, ist es nur naheliegend, dass dadurch auch entsprechende Strategien im Tophill (z.B. Sharing-Geschäftsmodelle) und im Downhillbereich attraktiv werden (z.B. Remanufacturing).

Das Ergebnis zeigt den Vergleich der Umweltperformance des linearen Referenzszenarios und des kreislaforientierten Vergleichsszenarios in absoluten Werten (z.B. in CO₂-e).

Tabelle 4: Modellierbare Parameter je Kreislaufstrategie

Lebenszyklusphase / Kreislaufstrategie		Modellierbare Parameter
Uphill-Phase	1 <i>Verwendung kreislauffähiger Materialien</i>	Abschätzung der Umweltwirkungen in den Phasen: - Rohstoffgewinnung - Entsorgung
	2 <i>Erhöhung der Produktionseffizienz</i>	Abschätzung der Umweltwirkungen in den Phasen: - Rohstoffgewinnung - Produktion - Entsorgung
	3 <i>Kreislaufdesign</i>	Abschätzung der Umweltwirkungen in den Phasen: - Rohstoffgewinnung - Produktion - Distribution - Nutzung - Entsorgung - Veränderung der Nutzungsdauer des Produktes
Tophill-Phase	4 <i>Nutzungsdauer-verlängernde Services</i>	- Anteil des funktionsfähigen Produktes - Verlängerung der Nutzungsdauer - Anzahl der zusätzlichen Lebenszyklen - Distributionsaufwand der Ersatzteilbereitstellung
	5 <i>Sequentielle Nutzung</i>	- Anzahl der Nutzer pro Produkt - Veränderung der Nutzungsintensität pro Nutzerin - Veränderung der durchschnittlichen Nutzungsdauer
	6 <i>Gemeinsame Nutzung („Pooling“)</i>	- Anzahl gleichzeitiger Nutzer - Einfluss auf die Produktnutzungsdauer
Downhill-Phase	7 <i>Wiederverwendung („Reuse“)</i>	- Transportaufwand - Nutzungsdauer im zweiten Lebenszyklus
	8 <i>Remanufacturing</i>	- Anteil des funktionsfähigen Produktes - Transportaufwand zum Hersteller und Kunden - Produktionsaufwand - Nutzungsdauer nach Wiederaufbereitung - Anzahl der zusätzlichen Nutzungszyklen

4. Ausblick und Diskussion

Das Tool zeigt eine Methodik wie bestehende Ökobilanzdaten eines Produkts verarbeitet werden um (1) Umweltpotenziale verschiedener Kreislaufstrategien zu ermitteln, (2) diese zu modellieren und zu einem kreislauforientierten Szenario zu kombinieren und (3) dadurch einen Vergleich der Umweltperformance zum Referenzszenario zu ermöglichen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt befindet sich das Tool in der Entwicklungs- und Testphase. Ziel ist es mit einem einfach anwendbaren, nachvollziehbaren Tool eine schnelle Orientierung hinsichtlich des Kreislaufpotential eines Produktsystems zu liefern, und die zu erwartenden Effekte in einer vereinfachten Form modellieren zu können. Diesem Ziel kann entsprochen werden, jedoch sollen an dieser Stelle auch die Grenzen der Anwendbarkeit diskutiert werden.

Insbesondere bei tiefergreifenden Geschäftsmodellinnovationen (z.B. von einem Verkaufsmodell zu einer pay-per-use-Produktdienstleistung) kann das Tool nicht immer alle erwartbaren Umwelteffekte abbilden. Dies liegt auch daran, dass methodisch die Veränderungen auf Basis des linearen Referenzszenarios definiert werden. Jedoch sind aber nicht immer alle Folgewirkungen aus den Eingangsdaten ableitbar. Beispielsweise sollten, z.B. bei Sharing-Szenarien auch etwaige Rebound-Effekte berücksichtigt werden (z.B. durch sich änderndes Nutzungsverhalten) welche dann in die Ergebnisinterpretation einfließen (vgl. Coulombel et al. 2018).

Das Tool wird voraussichtlich im Juli 2019 auf der Webseite des Erasmus+-Projekts KATCH-e (www.katche.eu) online verfügbar sein.

5. Literatur

Achterberg, E.; Hinfelaar, J.; Bocken, N. (2016): Master Circular Business With the Value Hill. Unter Mitarbeit von A. Heideveld, J. Kerkhof, A. Fischer und B. Ahsmann. Hg. v. Circle Economy.

Coulombel, N.; Boutueil, V.; Liu, L.; Viguié, V.; Yin, B. (2018): Substantial rebound effects in urban ridesharing. Simulating travel decisions in Paris, France. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. DOI: 10.1016/j.trd.2018.12.006.

Ellen MacArthur Foundation; SUN; McKinsey Center for Business and Environment (Hg.) (2015): Growth Within: A Circular Economy Vision for a competitive Europe.

Kirchherr, Julian; Reike, Denise; Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy. An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 127, S. 221–232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Steelcase Inc. (Hg.) (2004): EPD Environmental Product Declaration. A presentation of quantified environmental life cycle Product information for the Think work chair in North America. Online verfügbar unter <http://www.ofisme.com/media/591696/environmental%20product%20declaration%20%28epd%29.pdf>, zuletzt geprüft am 19.02.2019.

ISO/DIS 14067:2017, 06.10.2017: Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung.