

08/2018

Parchomenko, A.; Nelen, D.; Gillabel, J.; Rechberger, H. (2018) „Measuring the Circular Economy - An assessment of metrics and the measured characteristics as a guidance for further metrics development“, In: Proceedings 8. Wissenschaftskongress „Abfall- und Ressourcenwirtschaft“, Bockreis, A.; Faulstich, M.; Flamme, S.; Kranert, M.; Mocker, M.; Nelles, M.; Quicker, P.; Rettenberger, G.; Rotter, V.S. (Hrsg.), Innsbruck University Press, Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e.v. (DGAW), 15.-16. März 2018, BOKU Wien, p. 21-25, ISBN 978-3-903187-10-8

Measuring the Circular Economy – An assessment of metrics and the measured characteristics as a guidance for further metrics development

Abstract: *The main contribution of this paper is the provision of a refined picture of the current stock of circular economy (CE) metrics, including the identification of methodology clusters and the related assessment perspectives. In our study 23 features relevant to CE, e.g. recycling efficiency, longevity and residence time, and 37 metrics used to assess these features are analyzed by the method of Multiple Correspondence Analysis (MCA). MCA was used to assess how the different CE features are related to each other and how they are associated with the metrics. Also, it was determined which combinations of CE features are frequently assessed together. The analysis results in the identification of three main clusters of metrics, (1) a macro-scale resource-efficiency cluster, (2) a materials stocks and flows cluster, (3) a product-/system-centric cluster. Around 40% of all assessed metrics can be allocated to the macro-scale resource-efficiency cluster. The analysis shows that product and macro-scale perspectives are rarely integrated and that the product-centric perspective is least frequently assessed. The materials-cluster has the largest overlap with other clusters regarding the assessed CE features and has therefore a large potential for linking the different perspectives.*

1 Einleitung

Die Europäische Kommission definiert die Kreislaufwirtschaft als ein System, in dem der Wert von Produkten, Komponenten und Materialien über einen maximalen Zeitraum erhalten bleibt (EC, 2015). Die Kreislaufwirtschaft stellt einen integrierten Lösungsweg für Herausforderungen wie Ressourcenknappheit, Abfallerzeugung und steigende Umweltbelastungen dar, wobei diese gleichzeitig auch eine Entwicklungsstrategie bereitstellt, da wirtschaftliche Aspekte einen wichtigen Teil des Konzeptes bilden (Lieder und Rashid, 2016). Trotz des forcierten Übergangs von einer linearen Wirtschaftsweise hin zu einer Kreislaufwirtschaft fehlt zur Zeit ein allgemein akzeptierter Rahmen zur Messung dieser Entwicklung (EC, 2015). Dies stellt den Ausgangspunkt und die Motivation für unsere Analyse dar, in der wir aktuell vorhandene Metriken zur Messung der Kreislaufwirtschaft anhand der von diesen berücksichtigten Perspektiven (im folgenden *Elemente*) strukturieren. Des Weiteren erlaubt eine solche Analyse aktuelle Bewertungsschwerpunkte zu erkennen, komplementäre Bewertungsmethoden zu identifizieren und somit zur Weiterentwicklung der Messmethoden beizutragen.

2 Methode

2.1 Identifizierung der durch die Metriken berücksichtigten Perspektiven

Im Folgenden bezeichnen wir eine Metrik als quantitatives Maß für ein Phänomen. Dies ermöglicht es uns ein breites Spektrum von Messinstrumenten, wie Indikatoren, Indizes und Scoreboards zu berücksichtigen. Die Identifizierung der Metriken basiert vor allem auf den Arbeiten von Lieder und Rashid (2016), und Ghisellini et al. (2016), die explizit Kreislaufwirtschaftsmetriken identifizieren. Zusätzliche Literatur wurde über Abfragen von Google Scholar und Web of Science und das Suchwort „Circular Economy“ identifiziert, wobei eine manuelle Auswahl von Metriken, Indikatoren und Indizes erfolgte. Die identifizierte Literatur wurde zur Ableitung der berücksichtigten Elemente der Kreislaufwirtschaftsmetriken verwendet. Ein Zwischenergebnis ist eine Matrix, in der jede Metrik über binäre Variablen (Y = Ja, N = Nein) bezüglich der Kreislaufwirtschaftselemente klassifiziert wird.

2.2 Multiple Korrespondenzanalyse zur Strukturierung der Metriken und Elemente

Die Korrespondenzanalyse ist eine etablierte Methode innerhalb der Familie multivariater Datenanalyseverfahren (Blasius, 2001; Le Roux und Rouanet, 2010). Sie stellt eine explorative Methode zur graphischen Darstellung von Assoziationen zwischen Variablen großer kategorischer Datensätze dar, um deren Beziehungen zu untersuchen (Clausen, 1998). Ziel der Multiplen Korrespondenz Analyse (MKA) ist es, die ursprüngliche Datenmatrix möglichst in wenigen Dimensionen graphisch darzustellen (Hoffman und Franke, 1986). Die MKA wird auf die kategorisierte Matrix, die aus Metriken und den identifizierten Kreislaufwirtschaftselementen besteht angewandt. Für die Analyse der resultierenden Matrix verwenden wir den von Husson et al. (2010) für die Statistiksoftware R entwickelten Algorithmus.

Die Haupteigenschaften für die Interpretation der resultierenden Plots sind die Abstände der Objekt- und Kategoriepunkte, ihre Abstände zu den Achsen und zum Mittelpunkt des Hauptkomponentenraums, der den Durchschnitt der berücksichtigten Metriken darstellt (Le Roux und Rouanet, 2010). Die Varianz von Objekten innerhalb eines Clusters wird durch die Verteilung von Datenpunkten und ihren Abständen zueinander dargestellt. Allgemein lässt sich sagen, dass mit größerer Entfernung der Metriken zu einander die Unterschiede in Bezug auf die berücksichtigten Elemente zunehmen. Ebenso lässt sich ein größerer Abstand der Datenpunkte zum Ursprung als größere Abweichung von der durchschnittlichen Metrik in Richtung der angrenzenden Elemente interpretieren. Ähnliches lässt sich über die Distanzen zwischen den Kreislaufwirtschaftselementen sagen. Je näher diese beieinander liegen, desto häufiger werden sie gemeinsam in einer Metrik berücksichtigt. Liegen Elementpunkte einander entgegengesetzt, bedeutet es, dass sie selten oder nie gemeinsam auftreten. Befindet sich ein Metrikpunkt weit außen im Hauptkomponentenraum, kann es als größere Spezialisierung der Metrik auf die ihn angrenzenden Elemente interpretiert werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der MKA zeigen die Beziehungen zwischen einzelnen Metriken, einzelnen Elementen und den Assoziationen zwischen Elementen und Metriken. Zur besseren Übersicht führen wir die 30 einflussreichsten Elementdatenpunkte aus. Weniger einflussreiche Elemente werden durch schattierte Symbole dargestellt, die sich am Schnittpunkt der Achsen befinden. Bei den 23 Kategorien und 37 Metriken können

die ersten beiden Dimensionen des Hauptkomponentenraums 34,5% der gesamten Datenvarianz erklären. Die 37 Metriken können dabei in drei Hauptcluster unterteilt werden (Abbildung 1).

Cluster 1: Makro-Ressourceneffizienzcluster

Das erste Cluster enthält rund 40% aller bewerteten Metriken. Im Vergleich zu den anderen Clustern hat es eine relativ geringe Varianz was bedeutet, dass die beinhalteten Metriken eher ähnliche Kreislaufwirtschaftselemente berücksichtigen. In dieser Gruppe identifizieren wir das Kreislaufwirtschaftsindikatoren-System Chinas (SEIS) und die europäischen Pendanten, die vor allem durch das *Raw Materials Scoreboard* (RMS) und das *Resource Efficiency Scoreboard* (RES) repräsentiert sind. Das chinesische Kreislaufwirtschaftsindikatoren-System wird auch auf der Industrieparkskala (EIP-indicator-set) und auf der Unternehmensskala (CE-enterprise-index) angewendet. Zwei energiebasierte Metriken, die als *Emergy* und *Cumulated Exergy Extraction from Natural Environment* (CEENE) bezeichnet werden, befinden sich im oberen Teil des Clusters, was auf eine einseitigere Ausrichtung dieser bezüglich der Elemente hindeutet. Im Zentrum des ersten Clusters befinden sich Metriken, die räumliche, energetische, recycling- und Ressourcenproduktivitätselemente gleichzeitig berücksichtigen. Dabei bezieht sich das räumliche Element auf die Berücksichtigung von räumlich-

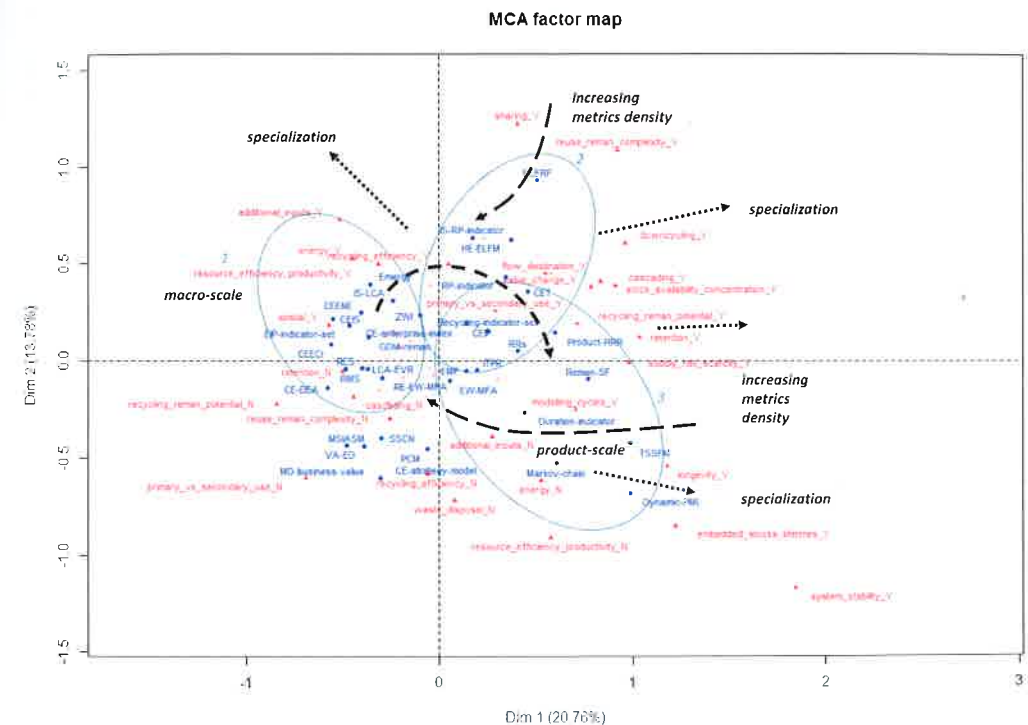


Abbildung 1: MKA-Faktorkarte der Metriken (blau), der Elemente (rot) mit den drei identifizierten Clustern und generellen Tendenzen, die durch Pfeile angezeigt wird.

statistischen Einheiten, Elemente, die sich weit außerhalb des ersten Clusters befinden, wie Kaskadennutzung, Verweildauer, Ressourcenbestände unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Lebensdauern und Systemstabilität, werden nicht von den Metriken des ersten Clusters berücksichtigt (Abbildung 1).

Cluster 2: Materialcluster

Für das zweite Cluster beobachten wir die Berücksichtigung von Elementen wie der Entsorgung von Abfällen und der expliziten Berücksichtigung der Destination von Ressourcenflüssen. Weitere Elemente sind die Evaluierung der Ressourcenbestände und ihrer Konzentration, des Downcyclings und Qualitätsverluste, sowie die Berücksichtigung des Recycling- und Wiederaufbereitungspotenzials (Abbildung 1). Im Vergleich zu den bereits vorgestellten typischen Elementen des ersten Clusters, werden die Elemente des zweiten Clusters insgesamt weniger häufig berücksichtigt (siehe Zusatzmaterial). Sie liegen jedoch näher beieinander und werden, obwohl seltener berücksichtigt, meist gemeinsam betrachtet. Beispiele für Metriken des zweiten Clusters, die vor allem die Stoffebene berücksichtigen sind der *Reuse Potential Indicator* (RP-Indicator), der die Nützlichkeit eines Materials für seine Wiederverwendung bewertet, oder *IS-RP-Indicator*, der eine Stoffflussanalyse mit einem Ressourcenproduktivitätsindikator kombiniert.

Cluster 3: Produkt-/systemcluster

Das dritte Cluster enthält drei Arten von Metriken. Produktbezogene Metriken werden unter anderem durch den *Durability-Indicator* repräsentiert, der die Lebensdauer von Ressourcen in Zeiteinheiten berechnet. Ein ähnlicher Ansatz ist die *Product-Level-Circularity-Metric* (PCM), die anstatt zeitlichen Einheiten, monetäre Einheiten als alternative Kennzahl verwendet. Andere Metriken in diesem Cluster bewerten Systemaspekte für die Wiederaufbereitung und Wiederverwendung, klassifizieren Produkte entsprechend ihrer Produktressourcen-Wiederaufbereitungspfade (Product-RRR) oder identifizieren wichtige Faktoren, die die Aufbereitungsrate von Komponenten beeinflussen (Reman-SF). Darüber hinaus werden dynamische oder quasi-dynamische Metriken durch das *Product-Multiple-Lifecycle-Model* (Dynamic-PML) repräsentiert, welches den Effekt von Ressourcenknappheit durch Kausalschleifen berücksichtigt. Des Weiteren evaluiert das *Markov-Chain-Model*, die Verweildauer anhand von Transferwahrscheinlichkeiten zu einer bestimmten Destination im System am Beispiel von Elektroaltgeräten in China. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Metriken des dritten Clusters sich zu einem großen Teil im entgegengesetzten Spektrum gegenüber des ersten Clusters befinden was bedeutet, dass ihre Elemente derzeit selten integriert sind.

4 Schlussfolgerung

Die Kurzfassung der Arbeit, die ihnen vorliegt, gibt einige wichtige Anhaltspunkte für die Kategorisierung und Strukturierung der existierenden Metriken für die Messung der Kreislaufwirtschaft. Unter Berücksichtigung der großen Vielfalt der messbaren Elemente einer Kreislaufwirtschaft, verbessert die einfache Kategorisierung in Form von binären Variablen und einer anschließenden Anwendung der MKA die Visualisierung des gesamten Bereichs der Kreislaufwirtschaftsmetriken in dem Umfang, dass eine Strukturierung der vorhandenen Kreislaufwirtschaftsmetriken erfolgt und zukünftige Entwicklungen von Metriken, z.B. durch das Aufzeigen von selten oder nicht kombinierten Elementen der Kreislaufwirtschaft dargestellt werden. Die Analyse zeigt außerdem, dass die Bewertungsmethoden für die Kreislaufwirtschaft am stärksten auf die Makroebene ausgerichtet sind, während eine Betrachtung auf der Produktebene und eine System (-dyna-

mische) Perspektive in geringerem Maße vorhanden sind. Insbesondere die typischen Elemente der Produkt- und Makroebene (Cluster 1 und 2) werden selten gleichzeitig in einer Metrik integriert. Die niedrigste Konzentration von Metriken befindet sich in der Nähe von Elementen der Systemstabilität und eingebetteter Ressourcenbestände, oder der Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensdauern von Produkten und Ressourcen. Außerdem, bietet das zweite Cluster, das einen größeren Fokus auf die Materialebene legt, die größte Überlappung mit benachbarten Clustern, sodass ein gewisses Potenzial für die Verknüpfung der verschiedenen Perspektiven durch die Elemente des zweiten Clusters aufgezeigt wird.

Literatur/Quellen

- Blasius, J. (2001). *Korrespondenzanalyse* (1st ed.). München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- European Commission. (2015). Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy, 614, 21.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.
- Hoffmann, D. L., & Franke, G. R. (1986). Correspondence Analysis : Graphical of Categorical Data in Marketing Research. *Journal of Marketing Research*, 23(3), 213–227.
- Husson, F., Josse, J., & Pagès, J. (2010). Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data? Technical Report.
- Le Roux, B., Rouanet, H. (2010). *Multiple Correspondence Analysis*. SAGE Publications.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51.

Additional sources to the full set of considered metrics and more detailed description of CE elements can be found under: <https://drive.google.com/open?id=1qXyqWtgo60jqNny948PGD2F3ageT25g>

Kontakt

Alexej Parchomenko, MSc., Projektassistent
 TU Wien, Institut für Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement,
 Karlsplatz 13/226, A-1040 Wien, Austria
<http://iwr.tuwien.ac.at/ressourcen/home/>

VITO, 200 Boeretang, 2400 Mol, Belgien,
<https://vito.be/en> Tel.-Nr. +321433512
 Email: alexej.parchomenko@tuwien.ac.at

Unterstützung: Diese Arbeit wurde durch einen gemeinsamen PhD-Grant zwischen VITO (BE) und TU Wien (AT) ermöglicht und wird vom Industriepartner Altstoff Recycling Austria AG (ARA) unterstützt.