

## Die digitale Kreislaufwirtschaft entwickeln - Konzepte und Tools für Circular Economy/ Circular Ecosystems

Das Thema Circular Economy bzw. Kreislaufwirtschaft hat seit wenigen Jahren an Aktualität gewonnen, sie wird als zukunftsfähiges Wirtschaftsmodell angesichts des Klimawandels gesehen. Laut Wikipedia ist *„Eine Kreislaufwirtschaft (englisch circular economy) (ist) ein regeneratives System, in dem Ressourceneinsatz und Abfallproduktion, Emissionen und Energieverschwendung durch das Verlangsamen, Verringern und Schließen von Energie- und Materialkreisläufen minimiert werden; dies kann durch langlebige Konstruktion, Instandhaltung, Reparatur, Wiederverwendung, Remanufacturing, Refurbishing und Recycling erzielt werden. Das Recycling ist dabei zumeist das Mittel letzter Wahl“* ([de.wikipedia.org/Kreislaufwirtschaft](https://de.wikipedia.org/Kreislaufwirtschaft)).

Bislang vorherrschend ist die Linearwirtschaft („Wegwerfwirtschaft“), die mit hohem Aufwand Energie und menschliche Arbeitskraft einsetzt, um Stoffe industriell zu Gütern und Waren zu verarbeiten, die oft nach kurzer Nutzung zu Abfall werden; Folgen für Ökologie und Klima spielen dabei kaum eine Rolle.

Vorschläge und Konzepte zur Kreislaufwirtschaft gibt es schon seit längerem. Zum Beispiel vom deutschen Chemiker Michael Braungart und vom US-amerikanischen Architekt William McDonough, die Ende der 1990er-Jahre mit dem Cradle-to-Cradle-Prinzip („Von Wiege zu Wiege“) vorschlugen, ein Konzept für eine durchgängige und konsequente Kreislaufwirtschaft. Leitbild ist der natürliche Stoffkreislauf, der Nutzungen ohne Abfälle (zero waste) oder Emissionen (zero emission) erreichen möchte. Ziel ist Ökoeffektivität, also Produkte, die entweder als biologische Nährstoffe in biologische Kreisläufe zurückgeführt werden können oder als „technische Nährstoffe“ kontinuierlich in technischen Kreisläufen gehalten werden.

Im September 1994 wurde bereits in Deutschland das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, abgekürzt Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG, später Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG) verabschiedet, das die Grundsätze der angestrebten Kreislaufwirtschaft formuliert: „Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit, in zweiter Linie stofflich zu verwerten oder zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung)“.

Die internationale Diskussion nutzt heute die Begriffe *Circular Economy* und *Circular Ecosystem*. Circular Ecosystem verweist darauf, dass es unter Nachhaltigkeitsaspekten suboptimal ist, wenn einzelne Unternehmen isoliert ihre Kreislaufwirtschaft entwickeln, ohne die Abhängigkeit von Vorprodukten beteiligter Akteure einzubeziehen. *Circular Ecosystem*

strebt an, einen Verbund von kooperierenden Unternehmen mit dem Ziel der zirkulären Wertschöpfung zu etablieren. „Circular Ecosystems ermöglichen die Zusammenarbeit einer Vielzahl von rechtlich unabhängigen Unternehmen und Akteuren, die unterschiedliche Geschäftsmodelle verfolgen und aus unterschiedlichen Sektoren stammen, etwa den Bereichen Entwicklung, industrielle Produktion, Dienstleistung, Vertrieb, Reparatur, Wiederaufarbeitung und Recycling.“ (Piétron, Staab, Hofmann, 2023)

Um effektive *Circular Ecosystems* aufzubauen, braucht es Daten und digitale Technologien. „Je mehr Informationen über die Zusammensetzung, Verwendung und Umwelteffekte von Produkten digital erfasst, geteilt, analysiert und verarbeitet werden, desto leichter lassen sich Rohstoffe und Produkte im Kreis führen bzw. zirkuläre Geschäftsmodelle und Ökosysteme entwickeln und skalieren“ (Piétron, Staab, Hofmann 2023).

Die These der Autoren: Die Politik muss die Rahmenbedingungen für eine Datenpolitik schaffen, die Unternehmen verpflichtet, bestimmte ökorelevante Produktdaten zu teilen. Darüber hinaus müssen beispielsweise digitale Produktpässe verbindlich eingeführt werden und öffentliche Produktdatenplattformen aufgebaut werden, in die Zusammensetzung, Verwendung und Umwelteffekte der verwendeten Produkte eingetragen und festgelegt werden. Ein Regelwerk muss festlegen, wie Daten zu verarbeiten sind und wer darauf Zugriff hat. Es geht um die Festlegung von Entscheidungsrechten und Regeln im Umgang mit Daten, was von interessierten Stellen als weitere Bürokratisierung kritisiert werden wird. Dennoch wird es nicht anders gehen, mit der Konsequenz, dass Wissenschaft, Unternehmen und Politik bei der Entwicklung von digitalen Infrastrukturen und Tools kooperieren müssen, um so die Transformation der Wirtschaft hin zu *Circular Ecosystems* voranzubringen.

Wie dringlich der Aufbau von *Circular Ecosystems* ist, zeigen - zugegeben etwas veraltete Daten - aus dem Jahr 2005. Damals betrug die Materialflüsse der Weltwirtschaft etwa 62 Milliarden Tonnen, wobei 58 Milliarden Tonnen aus neu gewonnenen Rohstoffen stammten und vier Milliarden Tonnen (bzw. ca. sechs Prozent) aus recycelten Gütern. 44 Prozent der gesamten Materialflüsse (28 Milliarden Tonnen) wurden zur Energiegewinnung eingesetzt, insbesondere fossile Energieträger, die bei der Nutzung verbraucht werden und daher nicht recycelt werden können. Daran wird auch deutlich, welche wichtige Vorbedingung die Energiewende, der Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energien, zum Erreichen der Kreislaufwirtschaft ist.

### *Daten, Software und Tools für die Circular Economy*

In Publikationen finden sich die Parameter und Abläufe der Kreislaufwirtschaft in ähnlicher Weise: Der Fokus liegt auf Produkten, die in

den Phasen Design, Produktion, Vertrieb/Konsum, Wiederverwendung und Recycling unterteilt werden (s. Abb.1).

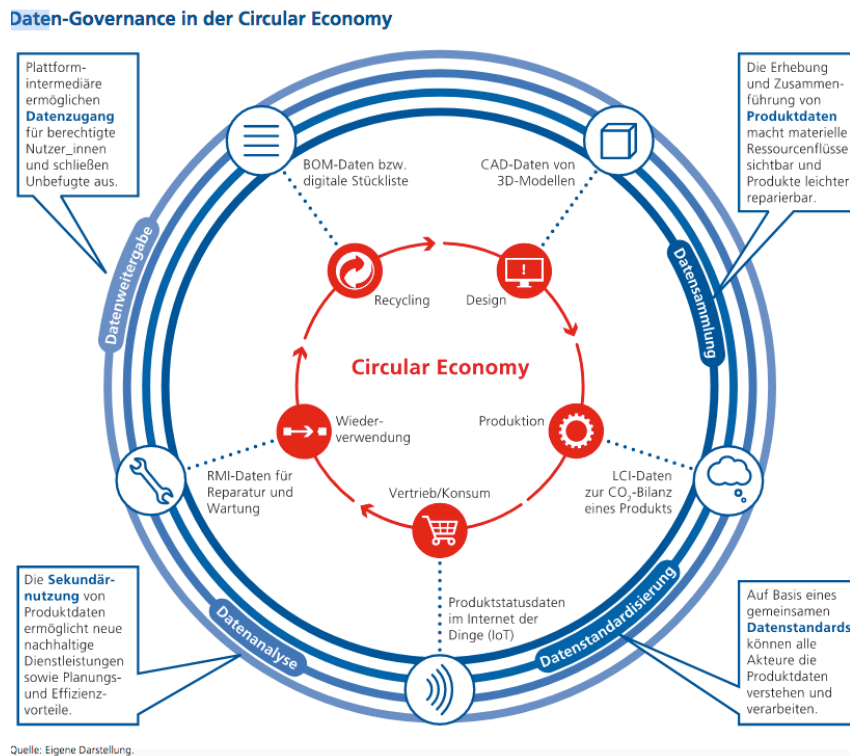


Abb. 1 Daten-Governance und Circular Ecosystem (Piétron, Staab, Hofmann, 2023)

Die Kernerarbeit besteht zunächst einmal darin, angemessene Konzepte, Software und Tools zu entwickeln bzw. einzusetzen, die in der Lage sind, die Umweltauswirkungen von Produkten zu identifizieren. Relevante Fragen sind:

Wie lässt sich der Produktlebenszyklus mit Hilfe grafischer Modellierung darstellen und berechnen. Welche Life-Cycle-Assement (LCA)-Methoden sind vorhanden? Welche überbetrieblich nutzbaren Datenbanken liefern verlässliche Umweltdaten, auf die zugegriffen werden kann, um Umweltwirkungen und Nachhaltigkeitsinformationen analysieren zu können? Wie lassen sich besonders schädliche Umweltfolgen von Produkten identifizieren und berechnen. Schließlich steht für Unternehmen immer auch die Frage im Vordergrund, wie lassen sich Ressourcen und Kosten einsparen bzw. was kostet die Umsetzung umweltadäquater Maßnahmen?

### *Der Lebenszyklus eines Produktes aus ökologischer Perspektive - Darstellung, Berechnung und Optimierung*

Die traditionelle Betriebswirtschaftslehre setzt seit langer Zeit ihre Energie dafür ein, *Wertschöpfungsprozesse* und *Güter* in Unternehmen darzustellen, zu berechnen und zu optimieren.

Nicht ihr Ding war, die dabei entstehenden *Schadschöpfungsketten* und *Übel* zu berücksichtigen.

Diese Perspektive lässt sich in vereinfachter Weise am Beispiel der Erstellung eines *Spaghetti-Gerichtes* zeigen.

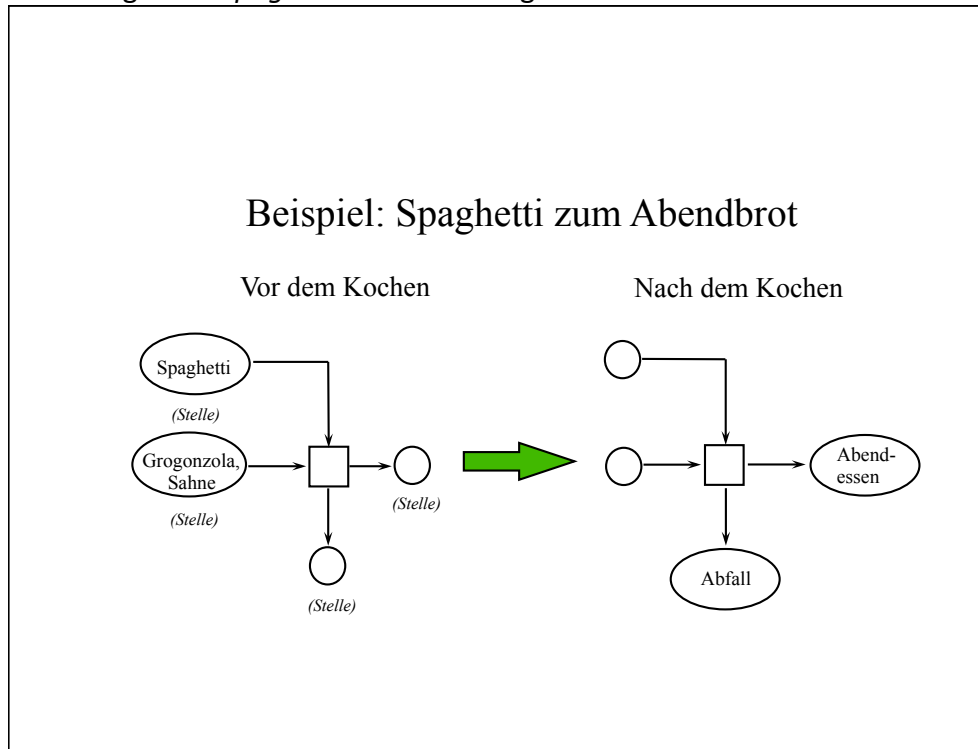


Abb. 2 Grafische Darstellung des Produktes „Spaghetti-Erstellung zum Abendbrot“ (Möller/ Rolf, 1994)

Die graphische Darstellung nutzt als methodische Basis die in der Informatik entwickelten Petri-Netze. Es ist ein Modell mit strenger Systematik zur formalen Beschreibung und Analyse komplexer, parallelablaufender Systeme auf graphischer Ebene, die auch Berechnungen einschließt. Das Beispiel des Spaghetti-Gerichtes zeigt in einfacher Form die wichtigsten Energie- und Materialströme und ihre Transformationen innerhalb eines Produktes. Die Elemente der Petri-Netze zeigt Abb. 3.

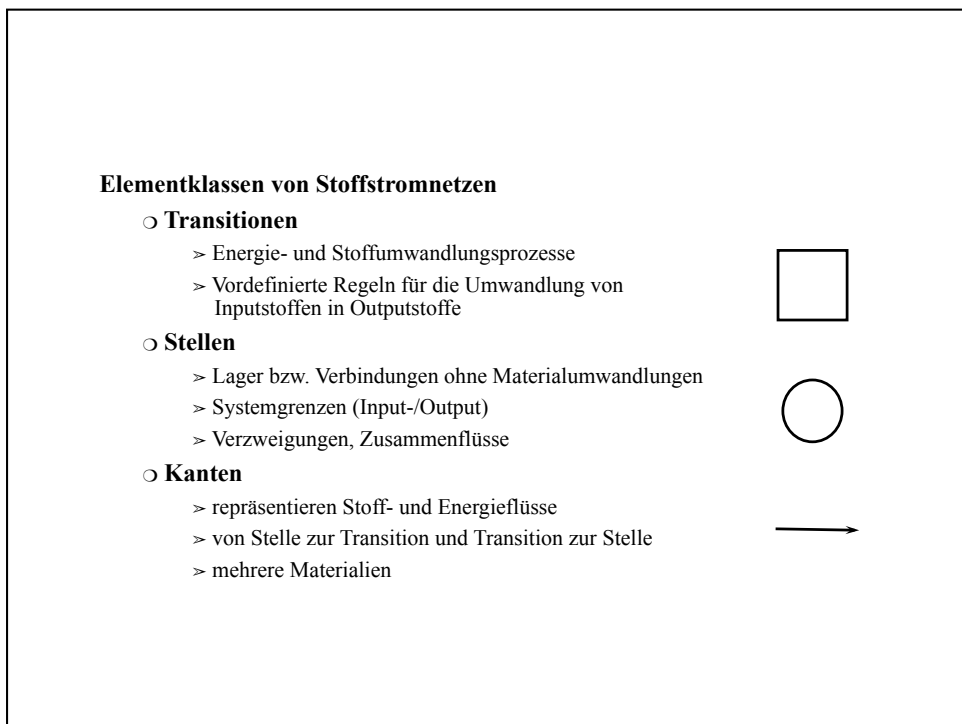


Abb. 3 Elemente der Petri-Netze

Die methodische Darstellungsform mit sog. Stoffstromnetzen ist mittlerweile verbreitet. Sie erlaubt sowohl Produktbilanzen – zumeist Life-Cycle Assessment (LCA) genannt – wie die zusammenhängenden Produktionsströme eines ganzen Betriebes darzustellen (Betriebsbilanz, siehe Abb.4). Bei der Produktbilanz/LCA werden vom betrachteten Produkt die einzelnen eingegangenen Güter und Übel „up-stream“ identifiziert. Bei der Betriebsbilanz geht die Betrachtung von Werktor zu Werktor „down-stream“ vor. Die Methode wurde unter dem Begriff Stoffstromnetze an der Universität Hamburg, Fachbereich Informatik entwickelt (A. Möller/A. Rolf, 1995)

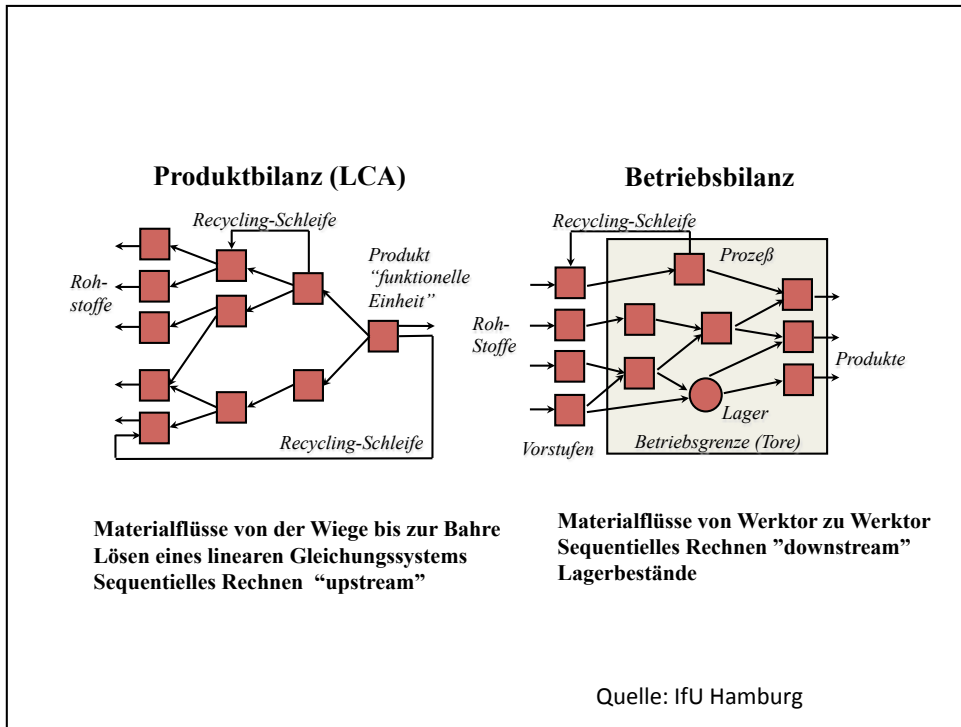


Abb. 4 Die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Erstellung von Produkt- und Betriebsbilanzen

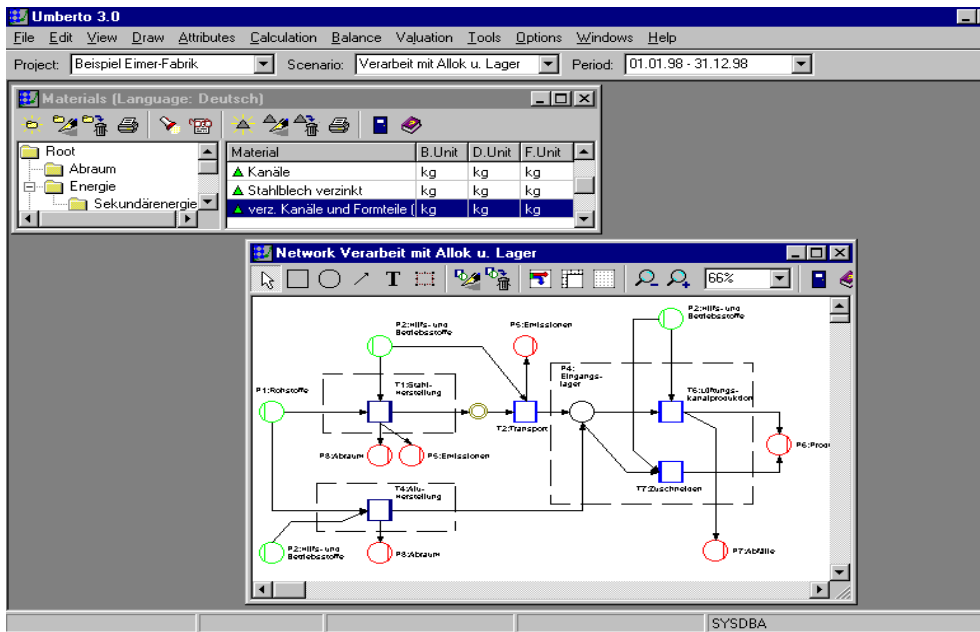


Abb. 5 Softwareunterstützung der Stoffstromnetze mit der Software Umberto (IfU)

Produktbilanzen (LCA) wie Betriebsbilanzen lassen sich mit der Software Umberto erstellen. Die Ströme und ihre Vernetzung können graphisch dargestellt (Abb. 5) werden, gleichzeitig werden die eingehenden Materialien und Energien (Input) berechnet und dem Output in Form von Emissionen und gefertigten Produkten gegenübergestellt (Abb. 6).

Input:			Output:		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
Energie			Emissionen		
▲ Erdgas	10974.36	m3	Luftschadstoffe		
▲ Erdöl	8.19	t	▲ Kohlendioxid	323.09	kg
Sekundärenergie			▲ Kohlenmonoxid	0.80	kg
▲ Diesel	122.31	Liter	▲ Schwefeldioxid	0.31	kg
▲ Elektrischer Strom	13702.78	kWh	▲ Stickoxide	4.09	kg
			Produkte		
			▲ Eimer-Deckel	10000.00	St
			▲ Eimer-Korpus	10000.00	St
			▲ Gießkanne	5000.00	St
			▲ PE-Reste	0.10	t
Sum			Sum		
kJ	4.933E7	kJ	kg	8928.28	kg
kg	16851.76	kg			

Abb. 6 Softwareunterstützung der Stoffstromnetze mit der Software Umberto IFU

Die Software *Umberto* wird genutzt, um die relevanten Daten aus dem Lieferantennetzwerk und der internen Produktion sowie Daten aus der Nutzungsphase und dem Recycling und der Wiederverwendung zu sammeln und zu kombinieren. So erhalten Unternehmen einen Überblick über mögliche Umweltrisiken und Eingriffsmöglichkeiten.

#### Sankey-Diagramme –

*Eine Software zum schnellen Identifizieren der Bads, Goods und Neutrals*

Bei der Vielzahl der eingehenden Daten ist es hilfreich, schnell und zuverlässig, die unerwünschten Bads/Übel (rot), die es zu minimieren gilt, sowie Goods/Güter (grün) und neutrale Flows (gelb) auf einen Blick identifizieren zu können. Goods, und Flows sind Inputs und gehen als Rohmaterial ein. Bads verlassen als Emissionen und Recyclingmaterial die Analyse. Neutrals sind By-Faktoren und gehen als By-Produkte raus. Die Software wird unter dem Namen *Sankey-Diagramme* angeboten.

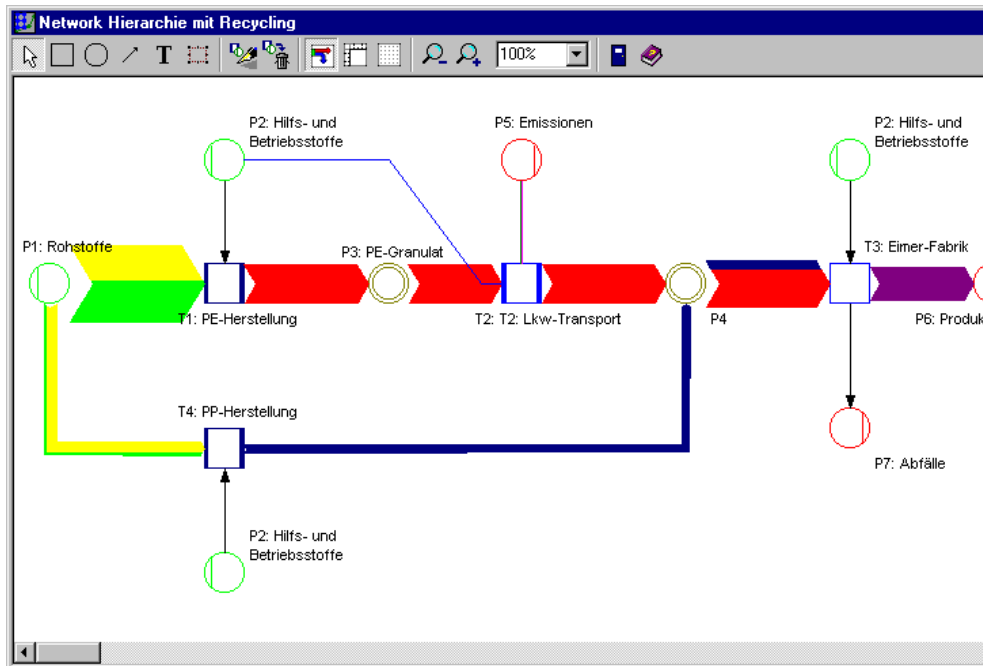


Abb. 7 Darstellung in Sankey-Diagrammen (IFU)

### Die Produktdatenplattform Ecoinvent – Eine weltweit verbreitete Ökoinventar-Datenbank

Wir haben auf die Notwendigkeit des Zugriffs auf überbetrieblich nutzbare Datenbanken hingewiesen, die verlässliche Umweltdaten liefern, um Umweltwirkungen und Nachhaltigkeitsinformationen von Produkten analysieren zu können. Exemplarisch greifen wir im Folgenden die Produktdatenplattform *Ecoinvent* heraus, die von einem gemeinnützigen Verein mit Sitz in Zürich, der von den Trägerinstitutionen Agroscope, Empa, ETH Lausanne, ETH Zürich und vom Paul-Scherrer-Institut gegründet wurde. Sie ist die weltweit führende Ökoinventar-Datenbank, die für Ökobilanzierungsprojekte, Öko-Design oder Produkt-Umweltinformationen genutzt wird (Ecoinvent|TUM University Library).

Sie hat über 2500 Nutzer und Nutzerinnen in über 40 Ländern. Sie enthält über 13.300 Datensätze. Die Ecoinvent-Daten werden in Ökobilanzen, Umweltproduktdeklarationen, in CO<sub>2</sub>-Bilanzen, in der Integrierten Produktpolitik, im Life Cycle Management, im Umweltdesign, in der Umweltzertifizierung und anderen Anwendungen genutzt. Sie enthält Daten zu Energie (Strom, Öl, Kohle, Erdgas, Biomasse, Biotreibstoffe, Bioenergie, Wasserkraft, Atomenergie, Photovoltaik, Windkraft, Biogas), Materialien (Chemikalien, Metalle, Mineralische Rohstoffe, Kunststoffe, Papier, Biomasse, Biomaterialien), Abfallentsorgung (Kehrichtverbrennung, Deponie, Abwasserreinigung), Transporte (Straße, Schiene, Luft, Wasser), landwirtschaftliche Produkte und Prozesse, Elektronik, Metallverarbeitung und Gebäudelüftung (ESU-Services).



## *Digitale Produktpässe - Eine Ergänzung der Produktbilanzen/LCA*

Digitale Produktpässe basieren auf Produktbilanzen/LCA. Sie erweitern LCAs digital um zusätzliche Informationen und fügen verschiedene Nutzungszwecke hinzu.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz beschreibt den digitalen Produktpass wie folgt: „Der digitale Produktpass ist ein Datensatz, der die Komponenten, Materialien und chemische Substanzen oder auch Informationen zu Reparierbarkeit, Ersatzteilen oder fachgerechter Entsorgung für ein Produkt zusammenfasst. Die Daten stammen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus und können in allen Phasen für verschiedene Zwecke genutzt werden (Design, Herstellung, Nutzung, Entsorgung).

Die Strukturierung umweltrelevanter Daten in einem standardisierten, vergleichbaren Format ermöglicht allen Akteuren in der Wertschöpfungs- und Lieferkette, gemeinsam auf eine Kreislaufwirtschaft hinzuarbeiten. Der digitale Produktpass ist zugleich eine wichtige Grundlage für verlässliche Konsumenteninformation und nachhaltige Konsumententscheidungen im stationären wie auch im Online-Handel“ (BMUV 2023).

## *Der ökologische Fußabdruck - Eine Maßzahl für tolerierbaren Lebensstil und Lebensstandard*

„Der ökologische Fußabdruck (englisch *ecological footprint*) bezeichnet die biologisch produktive Fläche auf der Erde, die notwendig ist, um den Lebensstil und Lebensstandard eines Menschen (unter den heutigen Produktionsbedingungen) dauerhaft zu ermöglichen. Damit ist der ökologische Fußabdruck ein Indikator für Nachhaltigkeit. Das schließt Flächen ein, die zur Produktion von Kleidung und Nahrung oder zur Bereitstellung von Energie benötigt werden, aber z. B. auch zur Entsorgung von Müll oder zum Binden des durch menschliche Aktivitäten freigesetzten Kohlenstoffdioxids. Der Fußabdruck kann dann mit der Biokapazität der Welt oder der Region verglichen werden, also der verfügbaren biologisch produktiven Fläche“ (Wikipedia: Ökologischer Fußabdruck).

„Wir Menschen leben auf zu großem Fuß. 1,75 Erden bräuchte die Weltbevölkerung, um ihren aktuellen Lebensstil aufrecht zu erhalten. Der Earth Overshoot Day (Erdüberlastungstag) macht uns dabei deutlich, wann die ökologischen Ressourcen eines Jahres aufgebraucht sind. Der Tag wird vom Global Footprint Network berechnet, indem der globale ökologische Fußabdruck in das Verhältnis zur gesamten globalen Biokapazität gesetzt wird. 2022 war der Earth Overshoot Day bereits am 28. Juli erreicht.

Lebensmittelproduktion, Viehzucht, die Herstellung von Konsumgütern,

Energiegewinnung, Transport und Reisen - nahezu alles, was wir tun, verbraucht Ressourcen. Dazu zählt auch die Entsorgung von Abfällen und die Aufnahme von Kohlenstoff-Emissionen, die wir ausstoßen. Der ökologische Fußabdruck wird ermittelt, indem unser tatsächlicher Verbrauch von Ressourcen und Fläche in Verhältnis zur Biokapazität der Erde gesetzt wird“ (Quelle: Welthungerhilfe).

Im Idealfall sollte jeder Mensch nicht mehr Ressourcen verbrauchen, als die, die ihm zur Verfügung stehen. In der Realität sieht das leider anders aus. In Deutschland stehen jedem Menschen 1,6 gha zur Verfügung, der Verbrauch liegt derzeit aber bei 4,9 gha. Würden alle Menschen so leben wie wir, bräuchten wir sogar drei Erden (Quelle: footprintnetwork).

Wenig bekannt ist, wer den ökologischen Fußabdruck ins Spiel brachte. Es war der Ölmulti *British Petroleum (BP)*, der schon frühzeitig eine Greenwashing-Kampagne ins Leben rief und sich eine zeitlang in *Beyond Petrol (BP)* umbenannte. Auf der Internetseite konnte sich jeder seinen persönlichen Fußabdruck ausrechnen lassen. So wurde der ökologische Fußabdruck populär. Der Ökonom Achim Wambach sieht den ökologischen Fußabdruck kritisch: „Damit nehmen wir aber den Druck von Politik und Unternehmen und laden die Verantwortung beim Einzelnen ab. ... Häufig ist der Einzelne damit völlig überfordert“ (Wambach 2023).

#### *Die Materialflusskostenrechnung (MFCA) - Ein methodischer Ansatz zur Identifizierung der Kosten von Materialverlusten*

Für Unternehmen ist relevant, ob und wie sich Ressourcen und Kosten einsparen lassen und wie die Umsetzung umweltadäquater Maßnahmen zu Buche schlägt. Ein methodischer Ansatz ist die Materialflusskostenrechnung (MFCA):

„MFCA ist eine Methode, die von Unternehmen zur Verbesserung ihrer Materialeffizienz eingesetzt wird und durch die ISO 14051 standardisiert ist. Die Methode konzentriert sich speziell auf die Materialverluste, die bei der Produktion entstehen.

In der konventionellen Kostenrechnung werden diese Verluste als Abfallkosten budgetiert oder im besten Fall mit einem Marktpreis belegt, wenn sie für eine weitere Verwendung recycelt werden können. Durch die Vermeidung dieser Materialverluste (Abfälle) können Energie, Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

Sowohl in der konventionellen Bilanzierung als auch im Life Cycle Assessment (LCA) werden die Kosten für die Abfallentsorgung dem Produkt zugerechnet. Dies ist betriebswirtschaftlich sinnvoll, um z.B. die Gewinnmarge zu berechnen.

Die Materialflusskostenrechnung geht jedoch noch einen Schritt weiter, indem sie die mit dem Abfall verbundenen Energie-, Material-, Personal-

und alle anderen Gemeinkosten anteilig ausweist - so wie man diese Kosten auch für das Produkt selbst berechnen würde. Durch diese Methode wird eine tatsächliche Kalkulation der Materialverluste erreicht, die eine wesentlich breitere Palette von Faktoren einschließt. Selbst wenn Sie in der Lage sind, verschwendetes Material als Ressource zu verkaufen, ist der Gesamtwertverlust wahrscheinlich viel höher, als Sie annehmen“ (Die Materialflusskostenrechnung MFCA).

### *Schlussbemerkung*

Auch wenn das Konzept *Circular Ecosystem* ein wesentlicher Baustein zu einer nachhaltigen Entwicklung darstellt, greift ein isolierter Fokus darauf zu kurz. Eine kritische Orientierung am Paradigma der Kreislaufwirtschaft ist sinnvoll, wenn die gleichzeitige Berücksichtigung und Eindämmung von Rebound-Effekten durch Systemdenken, Degrowth und Ressourceneffizienz mitgedacht wird (siehe dazu ausführlich den Essay „Grünes-, Null-Wachstum oder EU-Emissionszertifikatehandel? – Wie kommen wir auf den 1,5-Grad-Pfad ?“)

### *Fragen:*

1. Weshalb geht der Begriff Circular Ecosystem über das Verständnis von Kreislaufwirtschaft und Circular Economy hinaus?
2. Wie lässt sich der Lebenszyklus eines Produktes aus ökologischer Perspektive (LCA) grafisch darstellen und berechnen?
3. Zu welchem Zweck werden Sankey-Diagramme und Produktdatenplattformen genutzt?

### *Literatur:*

- **Kreislaufwirtschaft**  
de.wikipedia.org/wiki/Kreislaufwirtschaft
- Dominik Piétron, Philipp Staab, Florian Hofmann 2023:  
***Daten für die Circular Economy - Wie zirkuläre Daten-Governance nachhaltiges Wirtschaften ermöglicht***  
<https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/19831-20221219.pdf>
- Möller/Rolf 1995  
***Methodische Ansätze zur Erstellung von Stoffstromanalysen unter besonderer Berücksichtigung von Petri-Netzen***
- bmuv  
Bundesministerium Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz  
<https://www.bmuv.de/faq/was-ist-ein-digitaler-produktpass>

- ESU-Services  
<https://esu-services.ch/de/daten/ecoinvent/>
- Wambach, Achim:  
***Der Klimadeckel.***  
In: DIE ZEIT, Interview mit Kolja Rudzio und Marc Widmann 2023
- Wikipedia:  
***Ökologischer Fußabdruck***  
<https://www.fussabdruck.de>
- footprintnetwork :  
***It's official: Footprints for monitoring biodiversity health***  
footprintnetwork.org
- ***Materialflusskostenabrechnung (MFCA) – Definition***  
<https://www.ifu.com/de/materialflusskostenrechnung/>
- Welthungerhilfe  
<https://www.welthungerhilfe.de/lebensmittelverschwendung/was-ist-der-oekologische-fussabdruck>
- ecoinvent  
***LCI-Datenbank in Umberto LCA+***  
<https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/>

### *Fundstücke:*

- Circular Economy Forum Austria  
***Österreichische Unternehmen auf dem Weg in eine moderne Kreislaufwirtschaft***  
[www.circulareconomyforum.at](http://www.circulareconomyforum.at)
- Ecoinvent | TUM University Library  
<https://www.ub.tum.de/en/datenbanken/details/100443>
- Wuppertal-Institut  
<https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/7858>
- Wikipedia:  
***Ökologischer Fußabdruck***  
[https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96kologischer\\_Fu%C3%9Fabdruck](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96kologischer_Fu%C3%9Fabdruck)
- Andreas Möller, Mario Schmidt, Arno Rolf  
***Ökobilanzen und Kostenrechnung von Produkten***  
[http://enviroinfo.isep.at/UI%2098/PDF%20-%20UI-98/165-178%20z2M%F6ller\\_schmidt\\_Rolf.pdf](http://enviroinfo.isep.at/UI%2098/PDF%20-%20UI-98/165-178%20z2M%F6ller_schmidt_Rolf.pdf)

- Arno Rolf & Andreas Möller  
***Sustainable Development: Gestaltungsaufgabe für die Informatik***  
Informatik-Spektrum volume 19, pages 206–213 (1996)
- Heise online:  
***Kreislaufwirtschaft: Neue Strategien für die zirkuläre Wirtschaft***  
<https://www.heise.de/hintergrund/Kreislaufwirtschaft-Neue-Strategien-fuer-die-zirkulaere-Wirtschaft-6510749.html>
- Gabi-Sphera:  
***Kreislaufwirtschaft – Circular Economy***  
<https://gabi.sphera.com/deutsch/loesungen/kreislaufwirtschaft/>
- Rat für Nachhaltige Entwicklung:  
***Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft***  
<https://www.nachhaltigkeitsrat.de/nachhaltige-entwicklung/ressourcenschonung-und-kreislaufwirtschaft/>
- Umweltbundesamt:  
***Abfall- und Kreislaufwirtschaft***  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfall-kreislaufwirtschaft>
- NABU:  
***Kreislaufwirtschaft NABU***  
<https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/kreislaufwirtschaft/index.html>
- Hans Böckler Stiftung (2022)  
***Chemie – Ein langer Weg in die Kreislaufwirtschaft***  
Langfristig möchte die chemische Industrie die Digitalisierung dazu nutzen, Produkte wiederzuverwerten und Rohstoffe nachhaltig zu nutzen. Stellenausschreibungen zeigen die neuen Anforderungen an die Branche.  
<https://boeckler.de/atlas-der-arbeit>  
<https://bit.ly/3rn2MTp>