



# SPionWEB – Lebenszyklusanalyse für Prozesse und Produkte

(Resource ID: 149)

**Prof. Michael Narodoslawsky**

**Michael Eder**

michael.eder(at)tugraz.at

This teaching resource is allocated to following University:

**TUG – Graz University of Technology**

<http://www.sustainicum.at/de/modules/view/149.SPionWEB-Lebenszyklusanalyse-fr-Prozesse-und-Produkte>



**Einzelarbeit**  
**Partnerarbeit**  
**(2er-Teams)**  
**Gruppenarbeit**



**unabhängig von**  
**der Zahl der**  
**Studierenden**



**Bis zu 3**  
**Vorlesungseinheiten**



**Internet**  
**Verbindung**  
**erforderlich**



**English, German**

Der hier vorgeschlagene web-basierte Rechner soll Lehrenden die Möglichkeit geben, im Rahmen ihrer Lehrveranstaltungen unkompliziert und auf einheitlicher methodischer Basis industrielle Prozesse bzw. die Herstellung von Produkten lebenszyklusweit ökologisch zu bewerten. Bereitgestellt wird der ökologische Fußabdruck (berechnet mit der Sustainable Process Index Methode) und das Treibhausgas-Potential des jeweiligen Lebenszyklus, sowie die Aufteilung des ökologischen Fußabdruckes in seine einzelnen Komponenten und auf die einzelnen Schritte im Lebenszyklus.

Die Idee des ökologischen Fußabdrucks ist – neben vielen anderen – eine Art der ökologischen Bewertung. Er ist ein Maß dafür, wie stark menschliches Handeln die Natur verändert und belastet. Je mehr Rohstoffe

verbraucht und je mehr Schadstoffe produziert werden, desto größer ist der ökologische Druck.

Ein Grundprinzip des ökologischen Fußabdrucks ist, dass nachhaltige Entwicklung langfristig nur auf dem natürlichen Einkommen der Sonneneinstrahlung aufbaut. Sonnenenergie treibt alle natürlichen Stoffkreisläufe an, sie ist die Grundlage des Lebens und sie stellt alle erneuerbaren Ressourcen für nachhaltiges menschliches Wirtschaften zur Verfügung. Dieses natürliche, solare Einkommen nimmt unser Planet über seine Oberfläche ein, alle natürlichen und auch menschlichen Prozesse konkurrieren in einer nachhaltigen Gesellschaft daher um diese „Ur-Ressource“ Fläche (und damit um das natürliche solare Einkommen). Daher ist „Fläche“ die Berechnungseinheit für das Konzept des ökologischen Fußabdrucks. Da die Erdoberfläche aber begrenzt ist, ist folglich auch der mögliche Flächenverbrauch limitiert. Damit entsteht das Konzept eines natürlichen Budgets: Nachhaltiges Wirtschaften bedeutet aus dieser Sicht in seiner ökologischen Dimension mit der Oberfläche unseres Planeten und dem damit verbundenen (begrenzten) natürlichen Einkommen auszukommen.

Es gibt verschiedene Arten der Berechnung des ökologischen Fußabdrucks, die unterschiedliche Bezüge zwischen Fläche und menschlichen Handlungen herstellen. Eine Berechnungsart stellt der Sustainable Process Index (SPI<sup>®</sup>) dar. Bei dieser Methode werden alle Stoff- und Energieflüsse, die im Lebenszyklus zur Herstellung eines Produkts oder der Bereitstellung einer Dienstleistung zwischen Anthroposphäre und Natur ausgetauscht werden, berücksichtigt und in Flächen umgerechnet. Dies bedeutet, dass der SPI sowohl den Verbrauch an Rohstoffen als auch entstehende Emissionen und Abfälle berücksichtigt.

Die Umrechnung dieser Stoff- und Energieflüsse geschieht nach zwei Prinzipien:

Menschliche Materialflüsse dürfen globale Stoffkreisläufe nicht verändern. Dieses Prinzip bezieht sich auf Kreisläufe, wie z.B. den Kohlenstoffkreislauf und bedeutet, dass nicht mehr fossiler Kohlenstoff (aus Kohle, Erdöl, Erdgas, ...) in Umlauf gebracht werden darf, als die Meere wieder aufnehmen und sedimentieren können. Wenn mehr in Umlauf gebracht wird (was bei weitem der Fall ist), wird eine größere Fläche benötigt.

Menschliche Materialflüsse dürfen die Qualität der lokalen Umwelt nicht verändern. Das bedeutet, dass Schadstoffeinträge in den Boden, in die Luft und ins Wasser die Aufnahmefähigkeit der lokalen Umwelt nicht überschreiten dürfen. Wenn mehr eingebracht wird, braucht es wiederum

eine größere Fläche, um die natürliche Aufnahmefähigkeit nicht zu überschreiten.

Die Gesamtfläche des Fußabdrucks setzt sich aus folgenden Teilflächen zusammen:

direkter Flächenverbrauch für Infrastruktur

Flächenverbrauch für nicht erneuerbare Ressourcen

Flächenverbrauch für erneuerbare Ressourcen

Flächenverbrauch für die Aufnahme von fossilem Kohlenstoff

Flächenverbrauch für Infrastruktur

Flächenverbrauch für die Dissipation von Emissionen im Wasser

Flächenverbrauch für die Dissipation von Emissionen im Boden

Flächenverbrauch für die Dissipation von Emissionen in der Luft

In der Bewertung konkreter Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen werden dabei immer die gesamten Lebenszyklen zu deren Bereitstellung (also von der „Wiege“ der Rohstoffproduktion bis zur „Bahre“ der Dissipation aller Emissionen und Abfälle) bewertet, wobei für die Abgrenzung der Systeme und die Aufteilung des Fußabdrucks auf Produkte und Nebenprodukte die Regeln der ISO Normen 14040 ff über Life Cycle Analysis Verwendung finden.

Mit Hilfe des ökologischen Fußabdrucks kann auf die Menge an CO<sub>2</sub> geschlossen und berechnet werden. Überschüssiges Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) wurde vor Jahrmillionen unter der Erdoberfläche eingeschlossen, wodurch geeignete Lebensbedingungen auf der Erde geschaffen wurden. Durch die Verwendung von Kohle, Erdöl und Erdgas wird dieses CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre übergeführt und verändert so deren Zusammensetzung. Ein kleiner Teil wird wieder eingeschlossen. CO<sub>2</sub> befindet sich in einem globalen Kreislauf. Ein Teil wird von den Meeren aufgenommen und ein kleiner Teil davon wird von Meereslebewesen gebunden. Wenn sie sterben und zu Boden sinken, wird dieser Kohlenstoff wieder langfristig eingeschlossen. Da wir aber weit mehr Kohlenstoff in die Atmosphäre einbringen als wieder eingeschlossen werden kann, verändert die Menschheit die Atmosphäre und handelt somit nicht nachhaltig.

In der SPI-Berechnung wird diese Aufnahmefähigkeit der Meeresfläche über die Teilfläche für fossilen Kohlenstoff dargestellt. Wenn also 1 ha Meeresfläche rund 73 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr einschließen kann und eine Person beispielsweise 10.000 km pro Jahr mit dem Auto fährt (und dadurch rund 2.800 kg CO<sub>2</sub> ausstößt), so bräuchte man für die Aufnahme dieser Art der Emission eine Fläche von rund 38 ha (oder 35 Fußballfelder), um die Atmosphäre nicht zu verändern. Zum Vergleich: nach der SPI<sup>®</sup>-Berechnung

würde man in Österreich per Definition nachhaltig handeln, wenn pro Person nicht mehr als rund 6,6 ha (oder gut neun Fußballfelder) pro Jahr verbraucht werden.

Zusätzlich zu CO<sub>2</sub> leisten auch andere Gase (etwa Methan und Lachgas) einen, oft beträchtlichen, Beitrag zum globalen Klimawandel. Entsprechend den Regeln der Berechnung des Global Warming Potential (GWP) wird deren Beitrag, gemeinsam mit dem Beitrag des CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen, für den gesamten Lebenszyklus durch SPionWEB berechnet, wobei sowohl die Bewertung mit dem ökologischen Fußabdruck als auch mit dem GWP auf der selben Datenbasis erfolgt und damit zu kompatiblen Ergebnissen führt.

Die erste Aufgabe für Bewerter besteht darin, ein umfassendes Ökoinventar aller Stoff- und Energieflüsse, die im Rahmen des Lebenszyklus eines Produktes (oder der Vorkette eines industriellen Prozesses) mit der Mitwelt ausgetauscht werden, aufzustellen. SPionWEB erlaubt den Studierenden, Lebenszyklen von Produkten einfach zu konstruieren. Dabei können die Nutzer des on-line Tools auf eine umfangreiche Datenbank zurückgreifen, die bereits viele Teilschritte von Lebenszyklen (Energiebereitstellung, Rohstoffbereitstellung, Infrastruktur, Transport etc.) anbietet.

Zusätzlich zu der Datenbank von Prozessschritten bietet der Rechner auch eine Datenbank über die ökologischen Drücke von Emissionen an. Nutzer werden durch entsprechende Suchfunktionen bei der Zusammenstellung des Lebenszyklus-Ökoinventars unterstützt. SPionWEB erlaubt auch die Bewertung von vernetzten Lebenszyklen, etwa wenn ein Produkt wieder als Ressource in den Lebenszyklus eingesetzt wird. Damit kann etwa die Produktion von Biodiesel unter der Voraussetzung einer Landwirtschaft, die selbst auf Biodiesel als Kraftstoff zurückgreift, bewertet werden.

SPionWEB stellt die Ergebnisse der Bewertung einerseits grafisch dar. Dabei werden die einzelnen Prozessschritte in ihrer Vernetztheit innerhalb des Lebenszyklus, der Anteil der einzelnen Schritte am Gesamtdruck des Lebenszyklus und schließlich auch die Aufteilung des Fußabdrucks entsprechend der ökologischen Kategorien (prozessschrittscharf) dargestellt. Andererseits erfolgt eine tabellarische (exportierbare) Ausgabe, die das gesamte Ökoinventar und dessen Umweltwirksamkeit nach Stoffströmen auflistet. In dieser Darstellung ist auch die Bewertung durch das GWP ersichtlich.

Die Bewertungsergebnisse können in unterschiedlicher Form interpretiert werden. Einerseits kann der ökologische Fußabdruck und das GWP für den gesamten Lebenszyklus zwischen unterschiedlichen Bereitstellungswegen verglichen werden (etwa Biodiesel vs. fossilem Diesel). Andererseits kann

innerhalb des Lebenszyklus jener Prozessschritt identifiziert werden, der den größten ökologischen Druck ausübt. Schließlich kann auch untersucht werden, welcher Stoffstrom (Ressource oder Emission) den ökologischen Druck eines Prozessschrittes maßgeblich bestimmt.

---

## Werkzeuge und Methoden



Computerprogramm

## Lernziele

Das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks dient vor allem dazu, das Bewusstsein der Menschen über die Folgen und Auswirkungen ihrer Tätigkeiten, ihres Lebensstils, ihres Konsumverhaltens und der verwendeten Technologien zu fördern. Erst dann können sinnvolle Alternativen des Handelns überlegt, Auswege gesucht und Verzicht geübt werden. Dieser Rechner eignet sich für alle Lehrveranstaltungen, die auf die Bewertung von Technologien aus der Sicht der Nachhaltigkeit Bezug nehmen und schärft bei Studierenden das Verständnis der ökologischen Auswirkungen von industriellen Prozessen.

## Bezug zur Nachhaltigkeit

Industrielle Produktion stellt aus der Sicht nachhaltiger Entwicklung und des Klimaschutzes einen besonders wichtigen Sektor dar. Die Abschätzung des ökologischen Drucks industrieller Prozesse und der Bereitstellung von Produkten über deren gesamten Lebenszyklus ist daher ein wesentlicher didaktischer Beitrag zum Verständnis nachhaltiger Entwicklung und daher in vielen Bereichen der Lehre einsetzbar. Der ökologische Fußabdruck ist ein Maß dafür, wie stark die Natur durch menschliches Handeln verändert und belastet wird. Je mehr Rohstoffe verbraucht und je mehr Schadstoffe produziert werden, desto größer sind der ökologische Fußabdruck und desto weniger nachhaltig sind die bewerteten Technologien. SPionWEB bietet die Möglichkeit, sowohl unterschiedliche Technologien zur Bereitstellung bestimmter Produkte oder Dienstleistungen zu vergleichen als auch die „ökologischen Hotspots“ eines Lebenszyklus zu identifizieren. Somit kann das Verständnis für eine nachhaltigere Technik und Industrie bei den Studierenden geschärft werden. Durch die genaue Aufschlüsselung der ökologischen Drücke der einzelnen Prozessschritte innerhalb eines

Lebenszyklus und durch die Identifikation der Art der ökologischen Drücke können Studierende darüber hinaus ökologische Optimierung von Lebenszyklen erlernen.

## Vorausgesetztes Wissen

Knowledge about life cycle assessment

## Vorbereitungsaufwand

Mittel

## Zugang

Free

## Quellen und Verweise

<http://spionweb.tugraz.at/de/welcome>

Krotscheck, C., M. Narodoslowsky, 1996. The Sustainable Process Index - A new Dimension in Ecological Evaluation. Ecological Engineering 6/4 (1996) pp. 241-258.

Narodoslowsky M. and C. Krotscheck, 2000. Integrated ecological optimization of processes with the sustainable process index. Waste Management 20:599-603

## Gefördert von

Gefördert vom österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung im Rahmen der Ausschreibung "Projekt MINT-Massenfächer" (2011/12)