

# ÖKOBILANZIERUNG: MEHR ALS DER CO<sub>2</sub>-FUSSABDRUCK

## QUANTIFIZIERUNG VON UMWELTWIRKUNGEN UND BEWERTUNG DER ÖKOLOGISCHEN NACHHALTIGKEIT VON PRODUKTEN UND DIENSTLEISTUNGEN



Bild 1: Flachkollektoren auf einem Hausdach in München

Die Auswirkungen des Klimawandels werden schon jetzt immer deutlicher spürbar. Eine schnelle und umfassende Transformation des Energiesystems, weg von fossilen Energieträgern, hin zu Erneuerbaren Energien ist daher essenziell.

Gleichzeitig und auch gerade deswegen, rückt die ökologische Wirkung und damit verbunden die Klima- und Umweltverträglichkeit von Produkten immer mehr in den Fokus der Gesellschaft. Produkte werden mit Labels versehen und die Begriffe der Nachhaltigkeit und Klimaneutralität sind häufig zu lesen. Aber was bedeutet das überhaupt? Und wie kann man bewerten, ob Produkte nachhaltig sind oder nicht?

Grundsätzlich wird von den drei Säulen der Nachhaltigkeit gesprochen: ökologisch, ökonomisch und sozial. Im Sprachgebrauch ist in der Regel die ökologische Nachhaltigkeit gemeint, wenn etwa von nachhaltigen Produkten die Rede ist. Besser wäre jedoch, in diesen

Fällen präzisere Formulierungen zu nutzen und zum Beispiel von ökologischer Nachhaltigkeit bzw. Umweltverträglichkeit zu sprechen.

### Methoden der Bilanzierung

In der Energiewende spielt die Sonnenenergie sowohl im Strom-, als auch im Wärmesektor eine entscheidende Rolle. So deckt die Photovoltaik in Deutschland aktuell 13,5 %<sup>1)</sup> des Strombedarfs. Solarthermische Kollektoren werden in der Regel in der Kombination mit anderen Wärmeerzeugern installiert und stellten 2022 rund 5 %<sup>2)</sup> des Wärmebedarfs bereit. Solarthermische Kollektoren, wie auch PV-Systeme verursachen keine direkten Emissionen in ihrer Nutzungsphase und sind damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz. Trotzdem sind auch diese Systeme nicht frei von (auch negativen) Umweltwirkungen, da sie produziert, transportiert und am Lebensende entsorgt, beziehungsweise recycelt werden müssen.

Die Ökobilanzierung ist eine etablierte Methode zur Quantifizierung von Umweltwirkungen und der Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen. Sie ist in den beiden ISO-Normen 14040 und 14044 definiert. In der Ökobilanz oder auch Life Cycle Assessment (LCA) werden potenzielle Umweltwirkungen in verschiedenen Wirkungskategorien quantifiziert und

bewertet. Die wohl bekannteste Form der Ökobilanz ist die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks eines Produkts.

Die Lebenszyklusemission und ihre Umweltwirkung in verschiedenen Kategorien ausgewertet. Die LCA folgt dabei einem iterativen Prozess aus vier grundlegenden Schritten (siehe auch Bild 2).

### 16 Wirkungskategorien und mehr

Zunächst wird das Ziel und der Untersuchungsrahmen der Analyse definiert. Dabei wird das zu untersuchende System bzw. Produkt definiert und festgelegt, welche Prozesse und Materialien erfasst werden sollen und welche außerhalb der Systemgrenzen liegen. Außerdem erfolgt hier die Definition der sogenannten funktionellen Einheit, auf die sich am Ende die Ergebnisse beziehen.

Bei der Bewertung von Energietechnologien wird hier zum Beispiel üblicherweise 1 kWh produzierter Strom oder Wärme gewählt. Aber auch Bezugsgrößen wie 1 kWp Leistung oder 1 m<sup>2</sup> Modul- bzw. Kollektorfläche sind je nach Zielsetzung der LCA gängige funktionelle Einheiten. Letztlich werden auch die Auswertungsmethode und damit verbunden, auch die zu untersuchenden Wirkungskategorien festgelegt. Eine verbreitete Methode ist hier der „Environmental Footprint“ der EU (EF3.0)<sup>3)</sup>. Hier werden standardmäßig 16 Wirkungskategorien erfasst. Dazu gehören unter anderem Klimawandel, Humantoxizität, Ökotoxizität, Ozonabbau, Feinstaubbelastung, und Ressourcenverbrauch, um nur mal ein paar Beispiele zu nennen. Je nach Zielsetzung können alle Wirkungskategorien oder auch nur wenige bestimmte betrachtet werden. Für die Analyse von Photovoltaiksystemen gibt es zusätzlich zu den Normen weitere Richtlinien und Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Annahmen und Auswertungskategorien. So werden im Rahmen des Photovoltaic Power Systems Program (PVPS)<sup>4)</sup> der Internationalen Energieagentur zum Beispiel einheitliche Annahmen zur Sonneneinstrahlung und

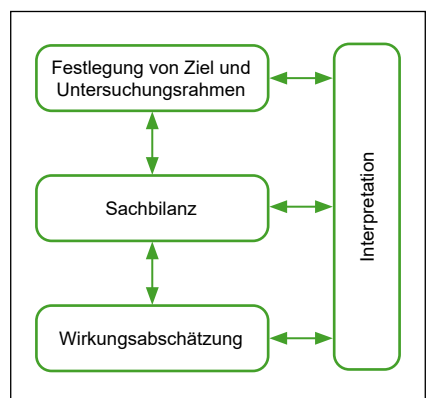


Bild 2: Struktur einer Ökobilanz

Degradation, sowie einzelne Wirkungskategorien als besonders relevant empfohlen.

Der zweite Schritt ist die Erhebung von Sachbilanzdaten. Hier werden Energie- und Materialflüsse der ausgewählten Prozesse, sowie Abfallströme und Emissionen, erfasst. Es wird die komplette Prozesskette, die im ersten Schritt definiert wurde, abgebildet. Datenlücken werden identifiziert und müssen über Datenbankwerte, Literaturdaten oder Expertenschätzungen gefüllt werden.

Bei mangelnder Datenverfügbarkeit kann eine entsprechende Anpassung der Systemgrenzen notwendig sein. Die zusammengetragenen Daten werden anschließend mit Hilfe einer LCA-Software modelliert und ausgewertet. In diesem Schritt werden potenzielle Umweltwirkungen quantifiziert.

### Einflüsse und Annahmen

Schließlich werden die Ergebnisse interpretiert und in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet. Dabei werden die (Haupt-)Ursachen für verschiedene Umweltwirkungen identifiziert, das geschieht in der sogenannten Hotspotanalyse. Hieraus lassen sich schließlich Verbesserungspotentiale ableiten. Unsicherheiten, die durch Annahmen entstehen, werden über Sensitivitätsanalysen transparent aufbereitet. Hierbei werden Annahmen variiert und die Auswirkung dieser Änderung auf das Gesamtergebnis quantifiziert. Geringe Änderungen des Gesamtergebnisses trotz deutlicher Variation der Annahmen, deuten auf valide und verlässliche Ergebnisse hin, da die Annahmen in dem Fall das Endergebnis wenig bis gar nicht beeinflussen. Bei signifikantem Einfluss auf das Endergebnis, und fehlender gesicherter Datenquelle sollte eine ausreichend große Variation der Annahme durchgeführt werden, um die Extrema der möglichen Ökobilanzergebnisse zu erfassen.

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Ökobilanzen hängt insbesondere von der Übereinstimmung der funktionellen Einheit und der gewählten Systemgrenzen ab.

Aber auch die Auswertungsmethode, die genutzte Software, sowie die Hintergrunddatenbank können die Ergebnisse beeinflussen. Ein transparentes Reporting aller Parameter, die der LCA zu Grunde liegen, ist daher die Voraussetzung zur späteren Vergleichbarkeit und Einordnung.

Wie erwähnt ist die Environmental Footprint Methode eine gängige Auswertungsmethode. Jede der 16 Kategorien wird in einer eigenen Einheit quantifiziert. So werden Umweltwirkungen in

Produkt	Menge	Einheit
Solkollektor	1	m <sup>2</sup>
<b>Inputs</b>		
Vorprodukt A	4	kg
Material B	2	kg
Material C	3	kg
Hilfsstoff D	0,02	kg
Infrastruktur	1,5E-7	p
Strom	1	kWh
Transport	20	tkm
<b>Outputs</b>		
CO <sub>2</sub> in die Luft	0,02	kg
Abfall zur Behandlung	0,5	kg

Funktionelle Einheit: alle weiteren Input/Output-Daten beziehen sich auf diese Größe

Prozessinputs aus Vorprodukten in der Produktionskette, weiteren Materialien und Hilfsstoffen, Energieflüssen, Transport, Infrastruktur (z.B. Fabrik), ...

(nicht genutzte) Prozessoutputs in Form von Emissionen in Luft/Wasser/Boden, sowie Abfall- und Abwasserströme zur Weiterbehandlung, Recycling, Verbrennung oder Deponierung.

Tabelle 1: Beispielhaftes Format einer Input-Output-Tabelle eines Produktionsschrittes.

der Kategorie Klimawandel in kg CO<sub>2</sub>eq<sup>5)</sup> dargestellt, während die Ökotoxizitätscharakterisierung von Chemikalien in CTU<sub>e</sub><sup>6)</sup> und der Ressourcenverbrauch, Mineralien und Metalle in kg Sb-äq<sup>7)</sup> quantifiziert werden. Diese unterschiedlichen Kategorien lassen einen Wirkungskategorie-übergreifenden Vergleich nicht zu. Daher besteht die Möglichkeit, diese Umweltwirkungen in eine gemeinsame Einheit zu konvertieren, sprich zu normalisieren. Je nach Auswertungsmethode werden dabei pro Wirkungskategorie Gewichtungsfaktoren angewandt, um so die Ergebnisse der einzelnen Kategorien vergleichen und aufsummieren zu können (Bild 4). Dadurch können die Ergebnisse in einem einzelnen Wert zusammenge-

fasst werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass dadurch auch die Unsicherheit in den Ergebnissen weiter gesteigert wird.

### Leicht vergleichbar ist schwierig

Während für die umfassende ökologische Bewertung von Produkten weitaus mehr, als der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck relevant ist, wird oft die Kommunikation auf diesen Indikator reduziert. Das liegt unter anderem an der Komplexität der LCA-Ergebnisse. In der Kommunikation muss immer eine Abwägung zwischen Detailgrad und einfachem Verständnis getroffen werden. Je umfangreicher und komplexer Ergebnisse kommuniziert werden, desto verlässlicher können sie zu anderen

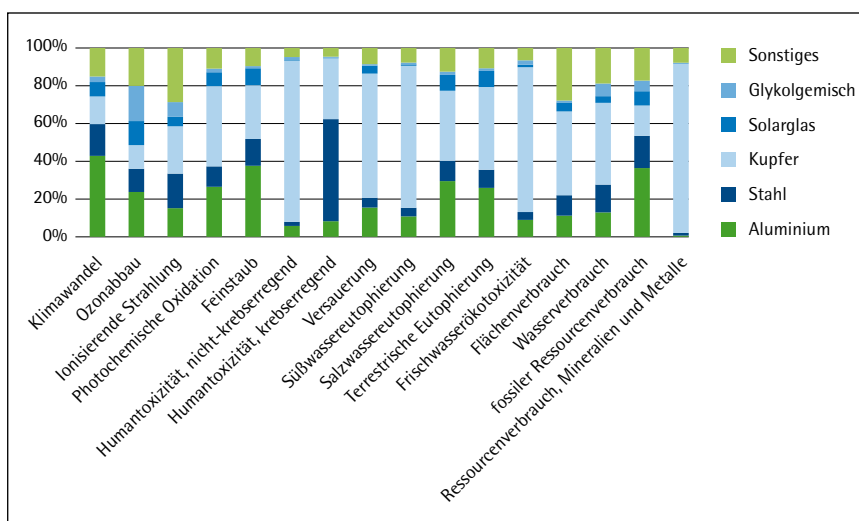
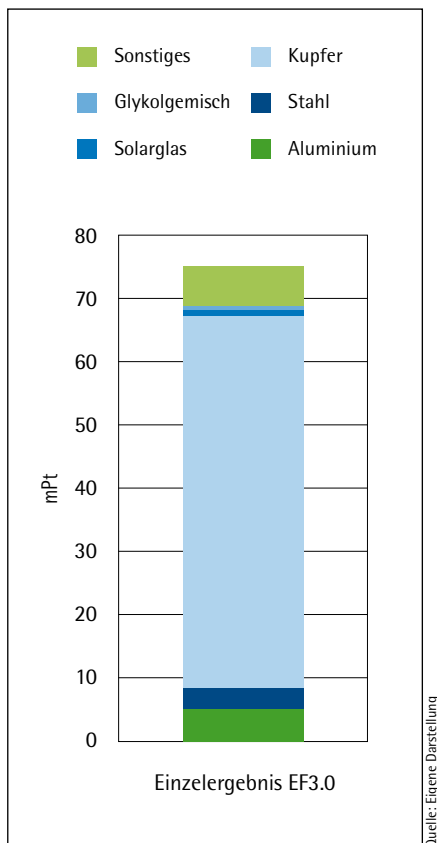


Bild 3: Umweltwirkungen eines Flachkollektors nach Komponente und Wirkungskategorie. Die Beiträge der jeweiligen Bauteile/Komponenten sind relativ pro Wirkungskategorie dargestellt. (Auswertungsmethode EF3.0. Funktionelle Einheit: 1 m<sup>2</sup> Kollektorfläche)

Quelle: Eigene Darstellung



**Bild 4:** aggregiertes Einzelresultat der Umweltwirkungen eines Flachkollektors nach Komponente. Die Wirkungen der jeweiligen Kategorien (siehe Bild 3) sind hier normalisiert, gewichtet und aufsummiert dargestellt. (Auswertungsmethode EF3.0. Funktionelle Einheit: 1 m<sup>2</sup> Kollektorfläche.

Produkten verglichen werden, da hierbei auch die Grenzen der Vergleichbarkeit erkennbar gemacht werden. Aggregiert man die Bilanzergebnisse in einen einzelnen Wert, um Konsument:innen nicht zu überfordern, können essenzielle Informationen verloren gehen. Die Einflüsse verschiedener Wirkungskategorien und deren Gewichtung beispielsweise sind dann nicht mehr transparent. Auch bei der Kommunikation von nur einzelnen Wirkungskategorien (z.B. Beschränkung auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) werden potenziell andere wichtige Wirkungen vernachlässigt und können somit einen Produktvergleich verzerren.

Das Ziel sollte hier immer eine möglichst große Transparenz sein, während man die Praktikabilität nicht aus den Augen verliert.

Auch politisch wird die Umweltverträglichkeit von Produkten weiter forciert. So werden verschiedene Regularien, Richtlinien, und freiwillige Labels erarbeitet, die die Umweltperformance von Produkten zunächst quantifizieren sollen. Dadurch sollen Konsument:innen die Möglichkeit haben, umweltfreundliche(re) Produkte zu identifizieren. Dabei gibt es verschiedene Konzepte.

- Die Waste of electrical and electronic equipment (WEEE) Richtlinie, sowie die REACH Verordnung („Regulation on the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals“) regeln die Verantwortung zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten und geben Grenzwerte für bestimmte umweltschädliche Stoffe vor. So zum Beispiel Blei. Im konkreten Beispiel von PV sind die Bleigrenzwerte aktuell noch ausgesetzt.
- Die Ecodesign Richtlinie<sup>8)</sup> soll dafür sorgen, dass nach und nach jeweils das ökologisch schlechteste Produkt einer Gruppe aus dem Markt gedrängt wird.
- Die Umweltproduktdeklaration (EPD = environmental product declaration)<sup>9)</sup> ist eine freiwillige Möglichkeit, die Umweltverträglichkeit eines Produkts zu verifizieren und zu kommunizieren. Hierfür wird eine Ökobilanz nach bestimmten Richtlinien erstellt, die von einer unabhängigen Stelle geprüft und validiert wird. Das EPD ist keine Zertifizierung, da keine Grenzwerte o.Ä. vorgeschrieben werden. Das reine Vorhandensein eines EPDs sagt also erstmal nichts über die Umweltverträglichkeit aus, entscheidend sind die kommunizierten Ökobilanzergebnisse. Auch hier ist die Vergleichbarkeit eingeschränkt bis unmöglich. Lediglich EPDs, die demselben Regelset folgen können verglichen werden.

Die mangelnde Vergleichbarkeit von Ökobilanzergebnissen stellt aktuell ein großes Problem dar, insbesondere im Wärmesektor. Im Projekt „Effizientes Heizen“<sup>10)</sup> sollen diese Forschungslücken geschlossen werden. Hier werden einheitliche methodische Richtlinien erstellt, die die Vergleichbarkeit von LCA-Ergebnissen gewährleisten und vereinfachen sollen. Des Weiteren werden für zehn Heizsysteme repräsentative Ökobilanzen erstellt, darunter auch Systeme mit Solarthermie und PV-Komponenten.

### Fazit

Die LCA ist eine etablierte und verlässliche Methode, um die Umweltverträglichkeit von Produkten und Dienstleistungen zu quantifizieren. Sie ist nach ISO 14040/44 genormt und über wird darüber hinaus je nach Produkt über verschiedene weitere Richtlinien und Empfehlungen zusätzlich vereinheitlicht. Trotzdem besteht weiterhin ein großer Forschungsbedarf. Letztendlich ist eine LCA ist immer nur so verlässlich, wie ihre

Inputdaten. Viele Annahmen (bedingt durch Datenlücken) in den Inputdatensätzen erhöhen die Unsicherheit. Insbesondere die Datenverfügbarkeit und die Harmonisierung von Annahmen müssen weiter verbessert werden. In der direkten Anwendung und Nutzbarmachung von Ökobilanzergebnissen (z.B. als Entscheidungsgrundlage) ist vor allem auch die Aufklärung und Sensibilisierung von Endverbraucher:innen für die Komplexität dieser Ergebnisse entscheidend.

### Fußnoten

- 1) Fraunhofer ISE: Energy Charts, [www.energy-charts.info/](http://www.energy-charts.info/) (Stand: 18.08.2023)
- 2) Umweltbundesamt (2023): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme> (Stand: 18.08.2023)
- 3) <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>
- 4) <https://iea-pvps.org>
- 5) CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden mithilfe des Global Warming Potential (GWP) umgerechnet. Das GWP normiert die Wirkung aller Treibhausgase auf die Wirkung von CO<sub>2</sub>, welches daher den GWP-Wert 1 erhält.
- 6) Comparative Toxic Unit for Ecosystems
- 7) Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)
- 8) [www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie](http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie)
- 9) [www.eco-platform.org/eco-epd-40.html](http://www.eco-platform.org/eco-epd-40.html)
- 10) [www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/effizientes-heizen.html](http://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/effizientes-heizen.html)

### ZUR AUTORIN:

► Marie Fischer, M.Sc.

Team Gebrauchsdaueranalyse und Materialcharakteristik, Fraunhofer ISE  
marie.fischer@ise.fraunhofer.de