

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung am Beispiel von PV

Oliver Mayer-Spohn

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Hessbrühlstraße 49a
70565 Stuttgart
Tel.: 0711/7806138
Email: OM@ier.uni-stuttgart.de

Die ganzheitliche Bilanzierung ist ein Ansatz aus dem Bereich der Lebenszyklusanalysen, der neben der Untersuchung von Umweltauswirkungen auch eine wirtschaftliche Bilanzierung sowie eine technische Analyse beinhaltet. Ein Produkt oder eine Technologie, wird bei der ganzheitlichen Bilanzierung in den drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Technik untersucht und bewertet.

Die ökologische Untersuchung der Bilanzierungsobjekte erfolgt dabei im Rahmen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment), die gemäß dem in ISO 14040ff definierten Standard durchgeführt wird.

Die Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung ist dadurch gekennzeichnet, dass technische Systemgrößen als Parameter in die Prozesskettenanalyse einer Ökobilanz integriert sind. Die Prozesskettenmodule sind dabei nicht wie herkömmlich durch konkrete Zahlenwerte als Faktoren verknüpft, sondern die Verknüpfungsfaktoren stellen Funktionen mit technischen Parametern dar. Diese Funktionen bilden die technischen Zusammenhänge der einzelnen Modulprozesse ab. Über die technischen Parameter in den Funktionen finden technische Rahmenbedingungen wie Dimensionierung, Wirkungsgrad, Lebensdauer, Auslastung sowie sonstige technische Charakteristika Eingang in die Ökobilanz-Berechnung. Die Werte der technischen Parameter sind in einer zentralen Parametertabelle hinterlegt.

Durch Änderungen in der zentralen Parametertabelle werden veränderte technische Rahmenbedingungen sofort in der gesamten Prozesskettenanalyse der Ökobilanz berücksichtigt. Der Einfluss auf das Ergebnis kann ohne erneute Bilanzerstellung direkt berechnet werden.

Dieser methodische Ansatz soll am Beispiel der photovoltaischen Stromerzeugung vorgestellt werden.

Untersuchungsgegenstand ist ein 55kW-Fotovoltaikmodul aus multi-kristallinem Silizium (pc-Si), das elektrischen Strom ins Stromnetz einspeist. Als technische Parameter sind Lebensdauer, Auslastung sowie der Wirkungsgrad des Moduls, die Lebensdauer sowie der Wirkungsgrad des Wechselrichters sowie der Neigungswinkel des PV-Moduls zur Sonne in die Bilanz integriert.

Es wird gezeigt, welche Auswirkung eine Variation der beschriebenen Parameter auf die in der Sachbilanz (LCI) berechneten Emissionen sowie einzelne Umweltwirkungskategorien (LCIA) hat.

Durch eine solche Parametervariation wird es möglich, Ökobilanzen für Produkte und Technologien mit verschiedenen Rahmenbedingungen und technischen Ausprägungen ohne erneuten Bilanzierungsaufwand zu erstellen. Zudem können mit diesem Ansatz eigene Ökobilanzergebnisse besser mit anderen LCA-Studien verglichen werden. Durch die ‚Einstellung der Rahmenbedingungen und Annahmen‘ einer Vergleichsstudie in der eigenen Parametertabelle, wird die größtmögliche Vergleichbarkeit zweier LCA-Studien gewährleistet.

Als nächster Schritt soll der Ansatz der parametrisierten ganzheitlichen Bilanzierung auf dem

Gebiet der Bilanzierung zukünftiger Stromerzeugungstechniken Anwendung finden. Neben der Variation von technischen Parametern soll der Parameter Zeit bei der Bilanzierung zentraler Basisdatensätze, wie Brennstoffbereitstellung oder Strommix, Einfluss finden. Dies erlaubt das Einbeziehen von zeithorizontabhängigen LCA-Basisdatensätzen in der Prozesskettenanalyse zur Berechnung der Sachbilanz.

Keywords: Ganzheitliche Bilanzierung, Life Cycle Assessment(LCA); Fotovoltaik (PV)

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung am Beispiel von Fotovoltaik

Oliver Mayer-Spohn, IER Universität Stuttgart

Gliederung des Vortrags

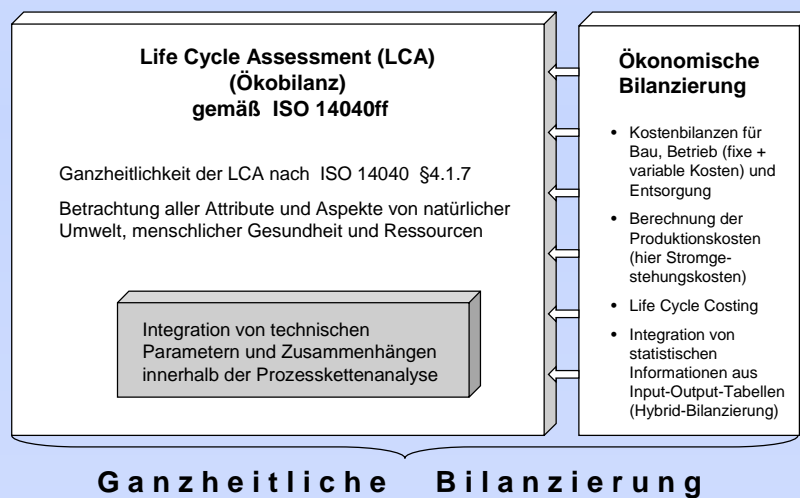
1. Ganzheitliche Bilanzierung
2. Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung
3. Anwendungsbeispiel: Studie zu Fotovoltaik (PV)
 - Prozesskettenanalyse der PV-Bilanz
 - Ergebnisse und Sensitivitätsanalysen

Ganzheitliche Bilanzierung

- Ganzheitlich = möglichst umfassend + vollständig
- Zeitliche Ganzheitlichkeit:
 - Der gesamte Lebenszyklus wird betrachtet:
Herstellung, Betrieb, Entsorgung
 - Ausgangs- und Endpunkt der Bilanzierung ist der Naturzustand – „grüne Wiese“
- Inhaltliche Ganzheitlichkeit:
 - Erweiterung der Ökobilanzierung (LCA) um Betrachtungen von wirtschaftlichen und technischen Aspekten des Bilanzierungsobjektes

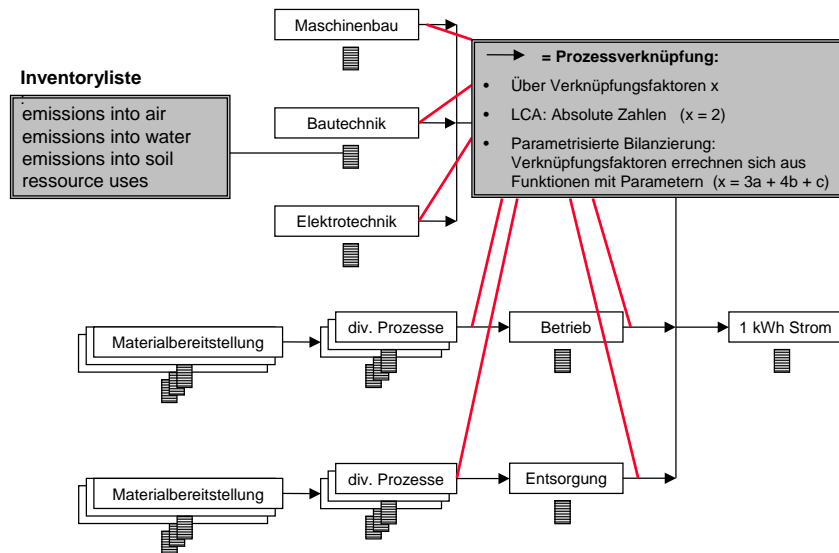
3

Ganzheitliche Bilanzierung



4

Bilanzierungstool „Prozesskettenanalyse“

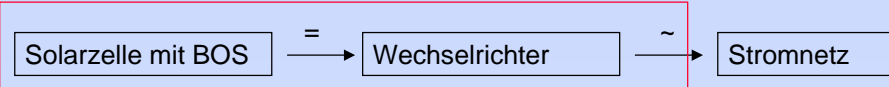


Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik

Bilanzierungsobjekt PV-System:

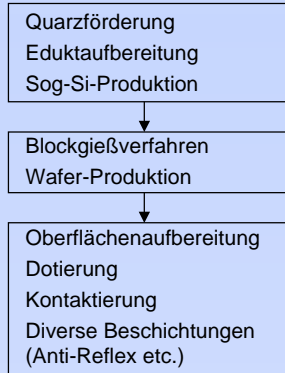
- PV-System = Polykristalline Fotovoltaikzelle + Wechselrichter
- Eine PV-Zelle besteht aus zahlreichen kleinen, zusammengeschalteten PV-Wafern, die zu einem Modul gerahmt sind
- Zur PV-Zelle gehört das Balance of System (BOS) bestehend aus Verkabelung und Aufständering

Bilanzraum



Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik

Prozesskette zur Herstellung multikristalliner Solarzellen:



Siliziumherstellung

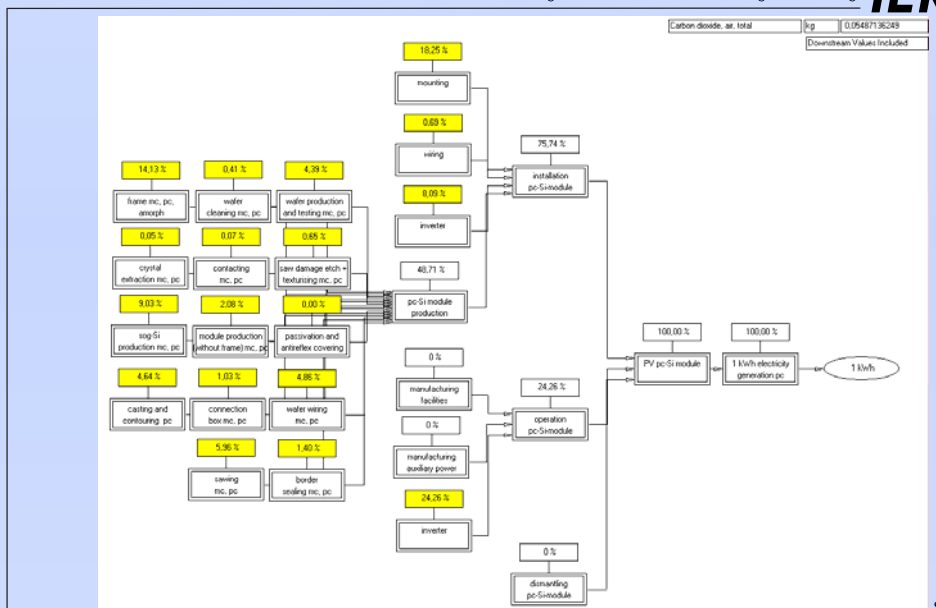
Waferherstellung

Zellenherstellung

Bei der Bilanz wurden Systemgrenzen 2. Ordnung gewählt: (Abbruch bei der Infrastruktur der Vorkette)

Multikristalline Solarzelle

7



8

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik

Parameter in der Bilanz:

- Solarzellenleistung (3,12 kW_{peak})
- Solarzellenwirkungsgrad (13%)
- Lebensdauer der Solarzelle (20 Jahre)
- Leistung des Wechselrichters (2 x 1,2kW)
- Wirkungsgrad des Wechselrichters (95%)
- Lebensdauer des Wechselrichters (5 Jahre)
- Jahresenergieertrag (für D: 900 kWh / kW_{peak})
- Neigungswinkel der Aufständerung (90°)

9

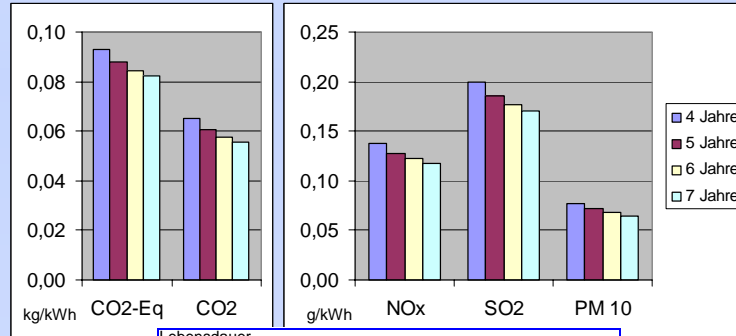
Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik

Ausgewählte Formelzusammenhänge:

- Modulfläche =
Solarzellenleistung / (Wirkungsgrad * Solarkonstante)
Solarkonstante für D = 1000W / m²
- Life Cycle – Stromerzeugung =
Solarzellenleistung * Jahresenergieertrag * Modullebensdauer * Inverterwirkungsgrad
- Wechselrichter-Ersatzteilbedarf =
$$\frac{(\text{Lebensdauer Solarzelle} / \text{Lebensdauer Wechselr.}) - 1}{\text{Leistungsverhältnis PV_Wechselr/ Leistung Wechselrichter}} * \text{Solarzellenleistung}$$

10

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik

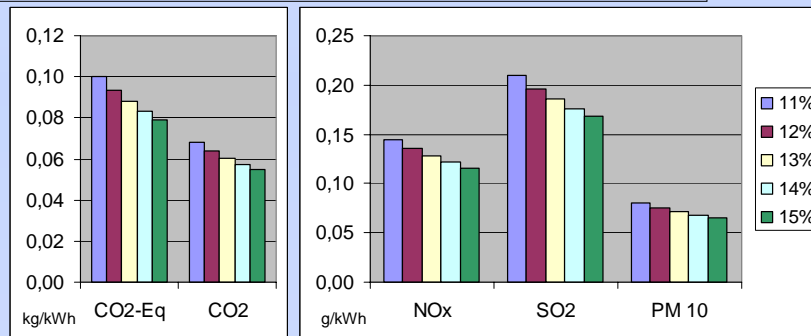


Parameter-
 variation
 Lebensdauer
 Wechselrichter

Lebensdauer		4	5	6	7
Wechselrichter (Jahre)					
CO2-Eq	kg / kWh	0,093	0,088	0,084	0,082
CO2	kg / kWh	0,065	0,061	0,058	0,056
NOx	g / kWh	0,137	0,128	0,122	0,118
SO2	g / kWh	0,199	0,186	0,176	0,170
PM 10	g / kWh	0,078	0,072	0,068	0,065

11

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung von Fotovoltaik



Parameter-
 variation
 Wirkungsgrad
 Solarzelle

Wirkungsgrad (%)		11	12	13	14	15
CO2-Eq	kg / kWh	0,100	0,093	0,088	0,083	0,079
CO2	kg / kWh	0,068	0,064	0,061	0,058	0,055
NOx	g / kWh	0,145	0,136	0,128	0,122	0,116
SO2	g / kWh	0,209	0,196	0,186	0,176	0,168
PM 10	g / kWh	0,080	0,076	0,072	0,068	0,065

12

Ausblick

Parametrisierte Ganzheitliche Bilanzierung:

- Erlaubt schnelle Abschätzungen und Sensitivitätsanalysen
- Weiterentwicklung von Komponenten des PV-Systems sowie Prozessoptimierungen können sofort durch Parametervariation abgebildet werden.
- Nächster Schritt ist die Anwendung der Parametrisierten Ganzheitlichen Bilanzierung auf weitere Stromerzeugungstechniken
- Herstellung der Vergleichbarkeit zu anderen Studien durch Parametervariation

13

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit

14

Zur Person:

Oliver Mayer-Spohn

Dipl.-Ing.

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Abteilung Energiewirtschaft und Systemtechnische Analysen (ESA)

Universität Stuttgart

Hessbruehlstr. 49a,

D - 70565 Stuttgart

Tel: +49 (0)711 685 87848

Fax: +49 (0)711 685 87873E-mail:

Oliver.Mayer-Spohn@ier.uni-stuttgart.de

15

Zur Person:

Werdegang

1999-2004 Studium der Umweltschutztechnik (Dipl.-Ing.) mit den Schwerpunkten
Planung, Verkehr und Energie an der Universität Stuttgart

Fachpraktikum sowie studienbegleitende Tätigkeit über 5 Semester beim
Ingenieurbüro Planung + Umwelt in Stuttgart

Auslandsaufenthalt und Master Thesis an der TH Chalmers in Göteborg
(Schweden)

Seit 2004 wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart

Arbeitsschwerpunkte

Ganzheitliche Bilanzierung: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) sowie
energiesystemtechnische Analysen

Untersuchung zukünftiger Stromerzeugungstechniken

16