

Monte-Carlo-Simulationen in Ökobilanzen – Chancen und Grenzen

Andreas Meyer-Aurich¹

Abstract: Dieser Beitrag untersucht die Bedeutung der Spezifikation von Monte-Carlo-Simulationen, insbesondere Wahl der Verteilungsfunktionen und Korrelation von Inputgrößen für Ökobilanzen. Hierfür werden verschiedene Verteilungsfunktionen und Korrelationen zwischen Inputgrößen in Szenarien untersucht. Die Spezifikation der Monte-Carlo-Simulation hat Auswirkungen auf die Gesamtvarianz der durch die Simulation erzeugten Daten und auch auf die Datenstruktur, insbesondere die Regressionskoeffizienten der Parameter mit der Outputgröße. Letzteres ist wichtig, um die Einflussgrößen der betrachteten Prozesse identifizieren zu können. Die dargestellten Simulationsbeispiele haben aber auch gezeigt, dass trotz unterschiedlicher Verteilungsfunktionen und Korrelationsmatrizen die relative Bedeutung der Inputgrößen in gleicher Weise gewichtet würde. In diesem Fall hat die Spezifikation daher keinen gravierenden Einfluss gehabt.

Keywords: Ökobilanz, LCA, Monte-Carlo-Simulation

1 Einleitung

Ökobilanzen oder Lebenszyklusanalysen (LCA) sollen die Umweltwirkungen von Produkten oder Dienstleistungen kommunizieren, um die relative Vorzüglichkeit verschiedener Produkte oder Verfahren der Herstellung gegenüber stellen zu können [Gu02]. In der Praxis werden die Umweltwirkungen der untersuchten beteiligten Prozesse vielfach deterministisch mit Einzelwerten aus Datenbanken hinterlegt, die zu suggerierten Genauigkeiten führen, welche in der Realität vielfach nicht gegeben sind [LR07]. Unsicherheiten können mit Hilfe von Szenarien oder Monte-Carlo-Simulationen analysiert werden. Mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen können auf der Basis von stochastischen Simulationsalgorithmen Daten generiert werden, die für eine Unsicherheitsanalyse herangezogen werden können. Hierzu müssen die für die Inventarisierung der Umweltwirkung herangezogenen Prozesse mit definierten Eintrittswahrscheinlichkeiten miteinander verknüpft werden, sodass für die Umweltwirkungen Erwartungswerte und deren Verteilungen abgebildet werden können. Insbesondere bei der Analyse von Umweltwirkungen von landwirtschaftlichen Prozessen wird diese Methode vermehrt eingesetzt [de03; Me12]. Neben der Darstellung der Unsicherheit der Umweltwirkungen können so auch Parameter identifiziert werden, deren Unsicherheit für den Gesamtprozess von besonderer Bedeutung ist [LR07]. Die Implementierung von Monte-Carlo-Simulationen bedarf allerdings der Spezifizierung der Verteilungsfunktionen der relevanten Stoffflüsse.

¹ Leibniz Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Max-Eyth Allee 100, 14469 Potsdam, ameyeraurich@atb-potsdam.de

Dieser Beitrag soll die Bedeutung der Spezifizierung der Verteilungsfunktionen für die Ergebnisse einer Unsicherheitsanalyse auf der Basis einer Fallstudie untersuchen.

2 Daten, Model und Methodik

Für die Modellrechnungen wurde ein Model zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen durch die Bereitstellung von elektrischer Energie aus Biogas mit einem LCA-Ansatz herangezogen [Me12]. Die Spezifizierung der Monte-Carlo-Analyse erfolgte mit gleichschenkligen Dreiecksverteilungen über eine Spanne, bzw. dem natürlichen Logarithmus der Dreiecksverteilung (LN Dreieck in Tab. 2.1), die sich aus der Literatur ableiten ließ (siehe Tab. 2.1, weitere Details siehe [Me12]). Die betrachteten Prozesse wurden als voneinander unabhängig modelliert.

Nr.	Variable	Verteilungsfunktion	Parameterspannweite (%)
1	N ₂ O-N Emissionsfaktor	LN Dreieck	0,3 – 3
2	N ₂ O-N Emissionsfaktor von indirekten Emissionen (NH ₃)	LN Dreieck	0,2 – 5
3	N ₂ O-N Emissionsfaktor von indirekten Emissionen (Auswaschung und Abfluss)	LN Dreieck	0,05 – 2,5
4	Verflüchtigungen von synthetischen Düngern (N)	LN Dreieck	0,03 – 0,3
5	Verflüchtigung von organischen Düngern (N)	LN Dreieck	4 – 39
6	N-Auswaschung/ Abfluss	LN Dreieck	1 – 80
7	CH ₄ Emissionen aus Rinderdunglagerung	Dreieck	0,7 – 13
8	Direkte N ₂ O emissionen aus Rinderdunglagerung	LN Dreieck	0,25 – 0,1
9	NH ₃ Verluste bei Rinderdunglagerung	LN Dreieck	1,6 – 5,6
10	Biogasertrag aus Maissilage	Dreieck	-20 – 20
11	Elektrische Effizienz des Blockheizkraftwerks	Dreieck	34 – 40
12	Energieverbrauch des Rührwerks	Dreieck	5 – 12
13	Methanemission aus Biogasanlage	Dreieck	0 – 1

Tab. 2.1: Parameterspezifikation der Monte-Carlo-Simulation in [Me12]

In dieser Studie wird untersucht, inwiefern die Art der Verteilungsfunktion und eine mögliche Korrelation der betrachteten Prozesse die Ergebnisse verändert hätten. Hierzu wurden neben der in der Veröffentlichung gewählten Spezifikation zwei alternative Spezifikationen gewählt (Tab. 2.2). In der einen Spezifikation (Szenario II) wurden alle Verteilungsfunktionen als „uniform“ modelliert, das heißt, jeder Wert innerhalb der Spanne wird mit gleicher Wahrscheinlichkeit in der Monte-Carlo-Simulation berücksich-

tigt. In Szenario III wurden alle Variablen mit N₂O Emissionsfaktoren mit dem Faktor 0.3 korreliert (Variablen 1, 2, 3) und alle Emissionen aus Rinderdung sind mit Faktor 0.3 korreliert (Variablen 7, 8, 9). Hintergrund der Überlegung ist für die N₂O Emissionen, dass ggf. standörtliche Voraussetzungen die N₂O Emissionen determinieren, die für die indirekten und direkten Emissionen in gleicher Weise wirken. Für die Emissionen aus dem Rinderdung war die Überlegung, dass wenn die Bedingungen für die Emissionen des einen Klimagases gegeben sind, es auch bedingt wahrscheinlich ist, dass für die anderen Klimagase entsprechende Bedingungen vorherrschen.

Szenario		Verteilungsfunktion	Korrelation der Prozesse
I	Monte-Carlo Parametrisierung wie in [Me12]	Dreieck und LN Dreieck	keine
II	Uniform	Uniform	keine
III	Korreliert	Dreieck und LN Dreieck, wie [Me12]	Variablen 1, 2, 3 und 7,8,9 jeweils mit 0.3 korreliert

Tab. 2.2: Szenarien für Parametrisierung der Monte-Carlo-Simulation

3 Ergebnisse

Die Monte-Carlo-Simulation der drei Szenarien hat erwartungsgemäß zu einer gegenüber dem Szenario I (MW: 0,191, Stdabw.: 0,08) höheren Varianz bei Szenario II (MW:0,30, Stdabw.: 0,14) geführt. Der Mittelwert der Simulationswerte ist im Szenario II erwartungsgemäß höher als im Szenario II, da die Verteilung einiger Eingangsparameter im Szenario I lognormal verteilt waren. Mittelwert und Varianz bei Szenario III (MW: 0,191, Stdabw. 0,08) entspricht dem von Szenario I. Die Regressionskoeffizienten der multiplen Regression der Inputvariablen auf die Outputvariable zeigt in allen drei Szenario ein ähnliches Muster. Die Wahl der Verteilungsfunktion (Szenario II) scheint die Regressionskoeffizienten stärker zu beeinflussen als die Korrelation der Inputvariablen.

4 Schlussfolgerungen

Die Spezifikation von Monte-Carlo-Simulationen, insbesondere Wahl der Verteilungsfunktionen und Korrelation von Inputgrößen hat Auswirkungen auf die Gesamtvarianz der durch die Monte-Carlo-Simulation erzeugten Daten und auch auf die Datenstruktur, insbesondere die Regressionskoeffizienten der Parameter mit der Outputgröße. Letzteres ist wichtig, um die Einflussgrößen der betrachteten Prozesse identifizieren zu können. Die dargestellten Simulationsbeispiele haben aber auch gezeigt, dass trotz unterschiedlicher Verteilungsfunktionen und Korrelationsmatrizen die relative Bedeutung der Inputgrößen in gleicher Weise gewichtet würde. In diesem Fall hat die Spezifikation daher

darauf keinen gravierenden Einfluss gehabt.

Variable Nr.	Szenario		
	I	II	III
1	0,73	0,67	0,69
2	-0,04	-0,02	-0,03
3	0,17	0,21	0,17
4	0,02	0,04	0,02
5	-0,11	-0,15	-0,10
6	0,2	0,25	0,18
7	-0,11	-0,08	-0,10
8	-0,12	-0,10	-0,10
9	-0,11	-0,15	-0,11
10	-0,35	-0,40	-0,33
11	-0,29	-0,32	-0,28
12	0,03	0,04	0,03
13	0,29	0,24	0,28

Tab. 3.1: Regressionskoeffizienten einer stufenweisen Regression der Szenarien

Literaturverzeichnis

- [de03] de Vries, W. et al.: Uncertainties in the fate of nitrogen II: A quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66, S. 71-102, 2003.
- [Gu02] Guinée, J. B et al.: Handbook on life cycle assessment-operational guide to the ISO standard. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht; 2002.
- [LR07] Lloyd S. M., Ries R.: Characterizing, propagating, and analyzing uncertainty in life-cycle assessment - A survey of quantitative approaches. *Journal of Industrial Ecology* 11, S.161-179, 2007.
- [Me12] Meyer-Aurich A. et al.: Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renewable Energy* 37 (2012), S. 277-284.