

## Life Cycle Assessment (LCA) und Ökobilanz

Die Entnahme, Verarbeitung und Nutzung von Ressourcen hat immer Auswirkungen auf die Umwelt, also den Boden, das Wasser und die Luft. LCA und Ökobilanzen von Produkten werden erstellt, um diese Umweltauswirkungen ausgehend von der Gewinnung der Rohstoffe, über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse, bis hin zu Verteilung, Vertrieb und Verwendung, zu messen und zu vergleichen. Die Ergebnisse einer Ökobilanz können dazu dienen, Prozesse zu optimieren und Umweltbelastungen zu verringern.

Um die ermittelten Daten vergleichen zu können, erfolgt die Erstellung der Ökobilanz eines Produkts nach internationalen Normen <sup>[1]</sup>. Eine Ökobilanz beginnt mit der Festlegung des Umfangs der Bewertung, d. h. der Grenzen für die in die Berechnungen einzubeziehenden Inputs und Outputs. Ein System könnte beispielsweise den gesamten Produktlebenszyklus umfassen, d. h. alles von der Gewinnung der Rohstoffe aus der Erde bis zur Entsorgung auf einer Mülldeponie. Dies wird als Ökobilanz "von der Wiege bis zur Bahre" („cradle-to-grave“-LCA) bezeichnet. Alternativ kann das System verkleinert werden und dabei alles von den Rohstoffen bis zum Ausgang der Produktionsanlage („cradle-to-gate“-LCA) oder nur die Vorgänge vom Eingang bis zum Ausgang der Produktionsanlage („gate-to-gate“-LCA) selbst umfassen.

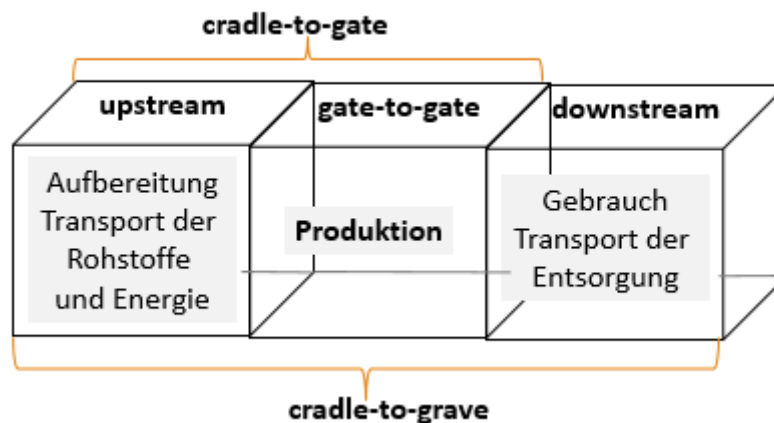


Abbildung 1: LCA-Studien zur Bestimmung der ökologischen Belastung in Produktionsprozessen.

Wie groß oder klein das betrachtete System ist, wirkt sich unmittelbar auf das Ergebnis aus. Ein größerer Rahmen führt zu umfassenderen Ergebnissen, aber auch zu einer komplizierteren Analyse. Umgekehrt ist ein engerer Rahmen relativ einfach durchzuführen, kann aber dazu führen, dass bedeutende ökologische Auswirkungen nicht erfasst werden.

Als Beispiel soll die Synthese von Ethylenoxid aus Ethylen dienen. Es handelt sich bei dieser Reaktion um eine der wichtigsten Produktionsprozesse in der chemischen Industrie!

Im herkömmlichen Verfahren (4) wird mit Luft als Oxidationsmittel bei hohen Betriebstemperaturen etwa 15 % des Ausgangsmaterials Ethylen verbrannt, was dieses Verfahren zu einem der größten CO<sub>2</sub>-Emittenten in der Industrie macht. Das neue Flüssigphasenverfahren von Ghanta et al. (3) eliminiert die Verbrennung und somit die Emission von CO<sub>2</sub> durch Umsetzung bei milden Temperaturen mit flüssigem Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel und Methyltrioxorhenium (MTO) als Katalysator.

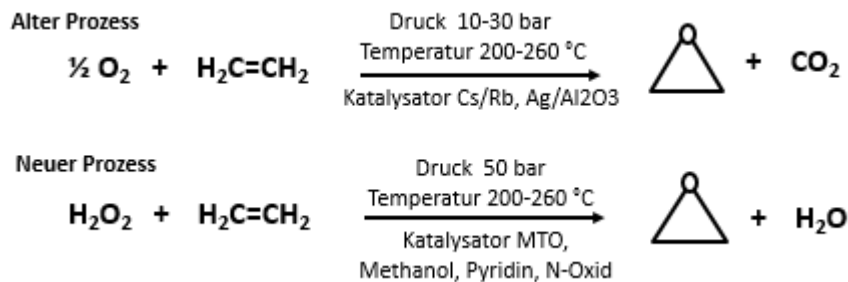


Abbildung 2: Vergleich zweier Synthesen von Ethylenoxid aus Ethylen und einem Oxidationsmittel.  
(nach Bode et al., *J. Chem. Educ.* 2017, 94, 11, 1798-1801)

Die Eliminierung der energieintensiven Verbrennung könnte zu der Annahme führen, dass die LCA-Kennzahlen in Bezug auf die Treibhausgasemissionen günstiger ausfallen. Das ist aber nicht der Fall! Diese Annahme ist zu eng gefasst, weil sie die vorgelagerten Auswirkungen der Energieerzeugung und der Verarbeitung der Rohstoffe außer Acht lässt.

Erweitert man den Umfang der Ökobilanz, um sowohl die ökologischen Belastungen vor Ort als auch die vorgelagerten Bereiche einzubeziehen, ergibt sich ein ganz anderes Bild. Die Ökobilanz von Ghanta et al. (8) quantifiziert diese vorgelagerten Auswirkungen und sagt voraus, dass das neue Verfahren etwas höhere Treibhausgasemissionen verursacht als das herkömmliche Verfahren (etwa 100 Millionen kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr und 200.000 Tonnen Ethylenoxidproduktion).

Warum ist das so? Wenn der neue Prozess das CO<sub>2</sub>-Nebenprodukt eliminiert, wie kann er dann mehr CO<sub>2</sub> emittieren? Die Antwort liegt im Herstellungsverfahren für Wasserstoffperoxid, das seinen Wasserstoff aus der Dampfreformierung von Methan bezieht. Dies gleicht die CO<sub>2</sub>-Einsparungen im neuen Verfahren aus, denn für jedes Mol reformiertes Methan werden 4 Mol H<sub>2</sub> und 1 Mol CO<sub>2</sub> erzeugt.

Dieses Beispiel verdeutlicht, wie wichtig es ist, in größeren Zusammenhängen zu denken. Ökobilanzen müssen die Auswirkungen bewerten, die stromaufwärts von der Fabrik bis zum Ausgangstor der Fabrik („cradle-to-gate“-LCA) und stromabwärts von der Fabrik („cradle-to-grave“-LCA) auftreten, um die ökologischen Belastungen vollständig zu erfassen.

Es ist wichtig, Ökobilanzen in einem frühen Stadium des Entwurfsprozesses durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Auswirkungen tatsächlich gemildert und nicht nur verlagert werden!

## QUELLEN

- [1] DIN ISO 14040/14044 Ökobilanz: [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/3\\_Werkzeuge/a\\_Basis-Werkzeuge/i\\_Leitfaden\\_Ressourceneffizienz/OEkobilanz\\_DIN\\_EN\\_ISO\\_14040.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/3_Werkzeuge/a_Basis-Werkzeuge/i_Leitfaden_Ressourceneffizienz/OEkobilanz_DIN_EN_ISO_14040.pdf)
- [2] Bode, C. et al (2017): Developing Students' Understanding of Industrially Relevant Economic and Life Cycle Assessments. *J. Chem. Educ.* 2017, 94, 11, 1798–1801. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00548>
- [3] Curan, M A.: *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*; U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, 2006.
- [4] Ghanta et al. (2013): Is the Liquid-Phase H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Based Ethylene Oxide Process More Economical and Greener Than the Gas-Phase O<sub>2</sub>-Based Silver-Catalyzed Process? *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013, 52 (1), 18–29.
- [5] Rebsdatt, S.; Mayer, D. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Hawkins, S., Russey, W. E., Pilkart-Muller, M., Eds.; Wiley-VCH: New York, 2005; Vol. 13, p 23
- [6] Technology Roadmap: Energy and GHG Reductions in the Chemical Industry via Catalytic Processes; International Energy Agency: Paris, 2013; [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Chemical\\_Roadmap\\_2013\\_Final\\_WEB.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Chemical_Roadmap_2013_Final_WEB.pdf) (accessed November 2016).