

Nachhaltigkeit berechnen – Die CO₂-Bilanz von PET- und Glasflaschen im einfachen Modell mit Lego®-Steinen ermitteln und vergleichen

Julia J. J. Guggi & Philipp Spitzer

Die Dekade der Bildung für nachhaltige Entwicklung und aktuell auch die Fridays for Future-Demonstrationen haben zu einem Nachdenken über Konsum und Ressourcenverbrauch beigetragen. Vor allem die jüngere Generation mahnt einen nachhaltigeren Lebensstil an (siehe auch das Themenheft 3/2020 von PlusLucis). Dabei sorgt die Debatte in der Gesellschaft bereits für erste Veränderungen: Plastiksackerl gibt es nicht mehr im Supermarkt und für alternative Varianten aus Papier, kompostierbaren Kunststoff oder Baumwolle wird nicht selten eine Gebühr erhoben. Ein vermeintlich einfacher und wirkungsvoller Schritt zur Schonung der Umwelt. Aber ist er auch sinnvoll? Auch im Bereich der Getränke gibt es Bestrebungen zum ressourcenschonenderen Verpacken: In Wien haben sich große Getränkehersteller zusammengetan und in eine Recyclinganlage für Einweg-PET-Flaschen investiert (www.pet2pet.at). Recycling von Einweg-PET-Flaschen ist ein sinnvoller Schritt wie (1) anhand der Betrachtung des Energieverbrauchs zeigen. Die im Artikel getätigten Modellrechnungen sind dabei auch für den Unterricht geeignet. In diesem Beitrag möchten wir ebenfalls das Augenmerk auf den Vergleich von PET- und Glasflaschen lenken und die beiden Verpackungsarten auf ihre Nachhaltigkeit hin untersuchen. Der Fokus liegt auf der Entwicklung eines einfachen Modells, mit dem Schüler*innen die Möglichkeit haben, eigene Abwägungen und Überlegungen anzustellen und mit Hilfe des Modells zu überprüfen. Das Modell wurde so angelegt, dass konkrete Berechnungen möglich sind, aber in der Arbeit mit dem Modell nicht unbedingt notwendig werden. Die Ergebnisse werden anschaulich mit Bausteinen verdeutlicht.

1. Nachhaltigkeit berechnen?

Nachhaltigkeit als Berechnungsstandard gibt es nicht. Bei der Berechnung der Nachhaltigkeit eines Produkts kann der Fokus auf unterschiedliche Aspekte gelegt werden. Die bekanntesten Methoden und Größen sind die Energiebetrachtung, die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks und die CO₂-Bilanz. Bei der Berechnung der CO₂-Bilanz bzw. des Treibhauspotentials (Global Warming Potential, GWP) werden alle Treibhausgasemissionen berücksichtigt und in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Dieser Wert wird oft auch als Klimafußabdruck (Carbon Footprint) bezeichnet. Nicht zu verwechseln ist dieser Wert mit dem ökologischen Fußabdruck, der die benötigte biologisch aktive Fläche angibt, um die Schädigung durch ein Produkt zu kompensieren (2).

Die „Nachhaltigkeit“ muss für jedes Produkt individuell berechnet und anhand mehrerer Methoden verglichen werden. Hierzu werden zunächst alle Schritte im Produktleben identifiziert. Angefangen bei der Gewinnung der Rohstoffe, ihrem Transport, der Herstellung des eigentlichen Produkts und letztendlich Befüllung und Verwendung, sowie Entsorgung nach dem Gebrauch. Das sogenannte Life-Cycle-Assessment (LCA) betrachtet alle Faktoren, die mit dem Produkt in Zusammenhang stehen (3). Der gesamte Lebenszyklus des Produkts wird erfasst und in einem Flussdiagramm aufgetragen. Im Anschluss werden die einzelnen Punkte bilanziert und interpretiert. Das Verfahren beruht auf mehreren DIN-Normen (4), allerdings handelt sich letztendlich immer um Modelle mit Abschätzungen. Die Analyse des Lebenszyklus ist zudem sehr produkt- und herstellerepezifisch, da die individuellen Transportwege, Herstellungsprozesse und Rohstoffquellen betrachtet werden. Die Berechnung kann somit schnell komplex werden. Für den Chemieunterricht hat (5) dies am Beispiel der Herstellung von entionisiertem Wasser dargestellt.

Für den Vergleich von PET- und Glasflaschen haben wir uns für den Carbon Footprint, also die Berechnung von CO₂-Äquivalenten entschieden. Hierfür haben wir ein einfaches Modell zugrunde gelegt.

2. Beschreibung des Modells

Die LCA ist für Laien ohne Zugang zu umfassenden Datenbanken und Einblicke in Produktionsprozesse sehr schwierig. Mit unserem Modell möchten wir eine einfache Darstellung des Prozesses ermöglichen und auf aufwendige Berechnungen beim Umgang mit dem Modell verzichten. Unser Modell und die zugrundeliegenden Berechnungen basieren im Wesentlichen auf einer Vergleichsstudie zur CO₂-Bilanz von Softdrinks (6) und den Studien zur Berechnungen des LCA der Schweizer Limonadenmarke Rivella® (7,8). Da vor allem in der Berechnung des LCA von Rivella sehr produktspezifische Annahmen stecken, haben wir diese Modelle teilweise (z.B. beim Transport) verallgemeinert. Unser Modell besteht aus den Einheiten **Rohstoffe**, **Herstellung**, **Befüllung**, **Verpackung** und **Distribution**. Zusätzlich kann auch der Recyclingprozess betrachtet werden. Im Folgenden sollen wichtige Überlegungen zu den einzelnen Einheiten dargestellt werden. Die Daten der unterschiedlichen Flaschengrößen in den Berichten wurden

für unser Modell für jeweils einen Liter Fassungsvermögen berechnet.

Der Abschnitt **Rohstoffe** beinhaltet alle mit der Beschaffung und dem Transport der Rohstoffe in Verbindung stehende Kohlenstoffdioxidäquivalente. Das Modell beinhaltet keine Details zu den einzelnen Rohstoffen. Hier liefert die Untersuchung von (8) detailliertere Angaben. Ebenso wurden die Punkte **Herstellung** und **Befüllung** in unserm Modell nicht weiter spezifiziert. Die unterschiedlichen CO₂-Äquivalente bei dem Aspekt **Verpackung** ergeben sich aus der sogenannten Sekundär- und Tertiärverpackung der Flaschen. Hierzu zählt beispielsweise das Einschweißen in Folie zu Gebinden von sechs PET-Flaschen. Insgesamt verursacht dieser Prozess bei PET-Flaschen eine größere Anzahl an CO₂-Äquivalenten. Die meisten Anpassungen mussten wir im Bereich **Distribution** vornehmen. Hier fanden sich im Bericht zu Rivella® (8) sehr viele produktspezifische Annahmen. Im Vertrieb mussten beispielsweise die Glasflaschen, anders als die Flaschen aus PET, für den weiteren Vertrieb erst zu Brauereien transportiert werden. Dies führt zu längeren Transportwegen der Glasflaschen bei Rivella®. Unser Modell haben wir diesbezüglich vereinfacht und die Annahmen angepasst. Als durchschnittlichen Verbrauch eines LKW haben wir 35 Liter Diesel auf 100 Kilometer angenommen wobei ein Liter Diesel 2,65kg CO₂-Äquivalenten entspricht (9). Somit kann von 92,75 kg CO₂-Äquivalenten pro 100 Kilometer ausgegangen werden. Das Volumen der Flaschen ist bei der Distribution gleich (jeweils ein Liter), allerdings hat eine Glasflasche in etwa die doppelte Masse. Aus diesem Grund gehen wir von den doppelten CO₂-Äquivalenten bei Glasflaschen aus. Um den Transportweg in unserem Modell variieren zu können, geben wir die Äquivalente hier pro 100km an.

Für die anschauliche Darstellung haben wir Lego®-Steine verschiedener Farben verwendet. Als kleinste Einheit konnten wir somit von 5g (1er-Stein) ausgehen. In der Praxis kann auch überlegt werden, diese kleinste Einheit zu vernachlässigen

und bei 10g zu beginnen. Die Zuordnung der Lego®-Steine zu den CO₂-Äquivalenten kann der Abbildung 1: Modell zur Berechnung des Carbon Footprints von PET- und Glasflaschen mit Lego®-Steinen entnommen werden.

3. Verwendung im Unterricht

Unser Modell vereinfacht das Konzept der Lebenszyklusanalyse für den Unterricht. Der Einsatz der Bausteine ermöglicht eine exemplarische Auseinandersetzung mit dem Prozess ohne aufwendige Berechnungen. Trotzdem können durch die Steine konkrete Werte ermittelt werden und so die Nachhaltigkeit beider Produkte verglichen werden. Für eine noch detailliertere Auseinandersetzung kann das Modell anhand der beiden zugrundeliegenden Berichte (beide sind im Internet frei verfügbar) beliebig verfeinert werden. Hierfür eignet sich in einem ersten Schritt besonders der Abschlussbericht von (7). Für die Diskussion weiterer Produkte im Unterricht sei auch auf das Buch „How bad are bananas?“ verwiesen (2), welches CO₂-Äquivalente vieler Alltagsprodukte angibt.

Durch die einfache Gestaltung unseres Modells haben die Schüler*innen auch Gelegenheit, den Recyclingprozess der beiden Verpackungen zu diskutieren (siehe Abbildung 2: Überlegungen zum Recyclingprozess). Entsprechende Überlegungen werden mit Hilfe der Arbeitsblätter angeleitet (Link am Ende des Artikels). Vereinfacht wird hier davon ausgegangen, dass bei den PET-Flaschen nur noch ein Viertel der CO₂-Äquivalente der Produktion/Herstellung anfallen (10).

Der Transport zur Recyclinganlage kann analog zur Distribution berechnet werden. Möchte man das Modell hier realistischer gestalten, kann eine Kapazität des LKW von 15000 1-Liter Glasflaschen angenommen werden (11). Der Rücktransport der PET-Flaschen kann vernachlässigt werden, ebenso wie das Waschen der Mehrweg-Glas-Flaschen vor dem Wiederbefüllen. Eine Mehrweg-Glasflasche kann bis zu 40-mal neu befüllt werden (12). Eine weitere Überlegung kann die

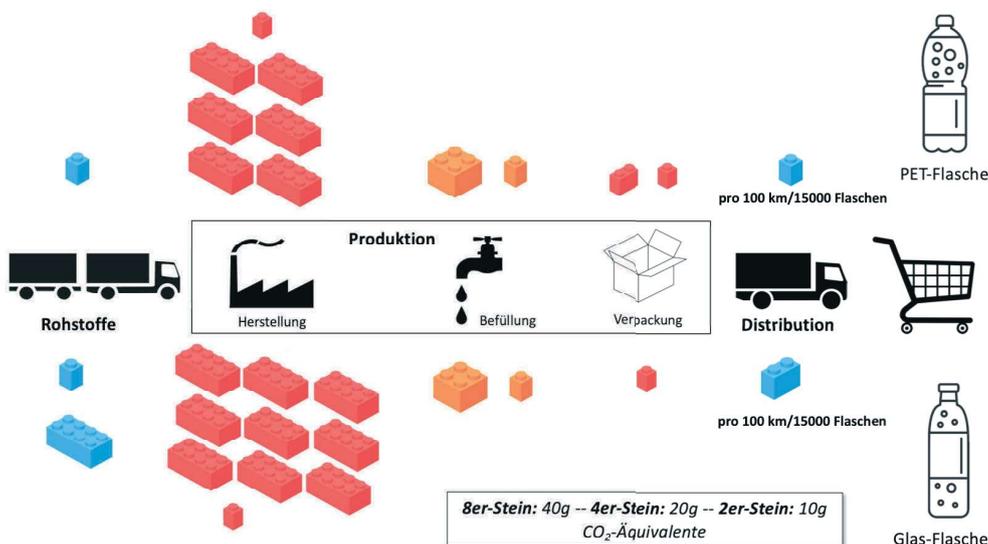


Abbildung 1: Modell zur Berechnung des Carbon Footprints von PET- und Glasflaschen mit Lego®-Steinen

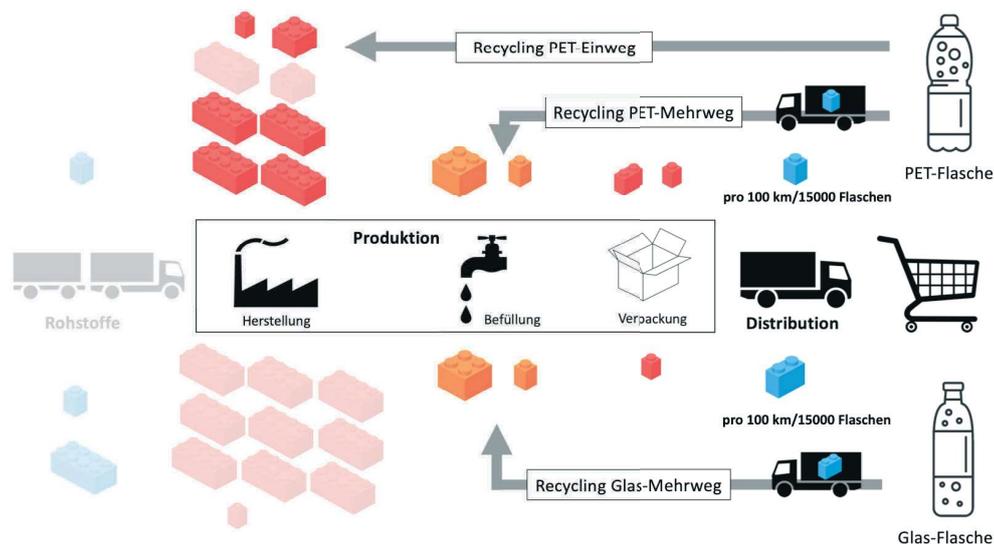


Abbildung 2: Überlegungen zum Recyclingprozess

Verwendung von Mehrweg-PET-Flaschen sein. Auch dies kann anhand des Modells durchgespielt werden. Hier muss beim Recycling jedoch der Transport berücksichtigt werden. Eine Mehrweg-PET-Flasche kann 20-mal wiederverwendet werden (12).

4. Fazit: Bewusste Entscheidungen treffen (üben)

Das hier vorstellte anschauliche Modell ermöglicht eine Auseinandersetzung mit dem Prozess des LCA. Es stellt eine fundierte Diskussionsgrundlage für die Abschätzung der Nachhaltigkeit von PET- und Glasflaschen im Unterricht dar. Die Glasflasche als Einwegprodukt verursacht jedoch deutlich mehr CO₂-Äquivalente als die PET-Einweg-Flasche. Erst bei Betrachtung des Recyclingprozesses und der Nutzung als Mehrwegflasche wird der Vorteil der Mehrweg-Glasflasche sichtbar. In der Arbeit mit dem Modell wird auch der Vorteil der Mehrweg-PET-Flasche deutlich. Das Modell kann unterschiedliche Transportwege und ihren Einfluss auf die

Bewertung der Flaschen berücksichtigen. Eine Erweiterung um zusätzliche Produkte (z.B. Getränkedosen) ist ebenso wie die Verwendung anderer Berechnungsgrößen für die Nachhaltigkeit generell möglich, jedoch mit Recherche- und Berechnungsaufwand verbunden.

Unser Modell eignet sich gut für die exemplarische Auseinandersetzung mit der Ermittlung der Nachhaltigkeit von PET- und Glasflaschen und die Diskussion der verschiedenen Einflussfaktoren. Die Auseinandersetzung ist durch die Verwendung von Lego®-Steinen anschaulich und kann zudem auf verschiedenen Anforderungsniveaus erfolgen.

Materialien für die Umsetzung im Unterricht können auf der Heftseite und unter www.spottingscience.com/material heruntergeladen werden.

Julia J. J. Guggi *Institution* →
 Philipp Spitzer *Institution* ↶

Literatur

- [1] Hull MM, Spitzer P, Hopf M. Facts about Plastics and the Environment that Every Physics Teacher Should Know. *Phys Teach.* 23. Jänner 2020;58(2):86–8.
- [2] Berners-Lee M. How bad are bananas? the carbon footprint of everything. Vancouver: Greystone Books; 2011. 232 S.
- [3] Klöpffer W. Life cycle assessment. *Environ Sci Pollut Res.* 1. Dezember 1997;4(4):223–8.
- [4] Ausberg L, Ciroth A, Feifel S, Franze J, Kaltschmitt M, Klemmayer I, u. a. Lebenszyklusanalysen. In: Kaltschmitt M, Schebek L, Herausgeber. Umweltbewertung für Ingenieure: Methoden und Verfahren [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. S. 203–314. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-642-36989-6_5
- [5] Horn S. Ökobilanzen im Chemieunterricht - Darstellung eines experimentellen und computerunterstützten Zuganges [Internet]. [Frankfurt am Main]: Johann Wolfgang Goethe-Universität; 2002 [zitiert 11. März 2021]. Verfügbar unter: <https://d-nb.info/964739925/34>
- [6] Amienyo D, Gujba H, Stichnothe H, Azapagic A. Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. *Int J Life Cycle Assess.* Jänner 2013;18(1):77–92.
- [7] Bürgi M. SUSTAINABLE SOFT DRINKS - Ein Projekt der ETH-Plattform Seed Sustainability und der Rivella AG Abschlussbericht April 2013 [Internet]. Zürich: ETH Seed Sustainability; 2013 [zitiert 4. März 2021]. Verfügbar unter: https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/nachhaltigkeit/infomaterial/Seed-SUST/SUST%20SEED%20Rivella_Schlussbericht.pdf
- [8] Doublet G. LCA of Rivella and Michel soft drinks packaging - A Seed Sustainability project [Internet]. ETH Zürich; 2012 [zitiert 4. März 2021]. Verfügbar unter: <http://esu-services.ch/fileadmin/download/doublet-2012-masterarbeit.pdf>
- [9] Shell. Geringere Kraftstoffkosten und weniger Emissionen für Ihren Fuhrpark [Internet]. Shell diesel; [zitiert 8. März 2021]. Verfügbar unter: https://www.energidirect.at/media/pdf/40/e4/fd/CO2_Factsheet.pdf

- [10] ALPLA. Studie belegt hervorragende CO₂-Bilanz von rezykliertem PET [Internet]. 2017 [zitiert 12. März 2021]. Verfügbar unter: <https://blog.alpla.com/de/press-release/newsroom/studie-belegt-hervorragende-co2-bilanz-von-rezykliertem-pet/08-17>
- [11] Bund Getränkeverpackungen der Zukunft. „Es war einmal ...“ Die Mär vom Mehrweg [Internet]. 2018 [zitiert 12. März 2021]. Verfügbar unter: <https://einweg-mit-pfand.de/beitrag/es-war-einmal-die-maer-vom-mehrweg.html>
- [12] Die Wiener Volkshochschulen, Herausgeber. Getränkeverpackungen am Prüfstand - Nachhaltiger Getränkekonsum: Mehrweg gewinnt [Internet]. Die Umweltberatung; 2014 [zitiert 12. März 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltberatung.at/download/?id=getrankeverpackung-1105-umweltberatung.pdf>