

Vergleichende Ökobilanz der Kaffeezubereitung mittels verschiedener Zubereitungssysteme

Dennis Kompalla und Christof Menzel

Kurzfassung

In der vorliegenden Ökobilanz werden die Umweltbelastungen des gesamten Lebenswegs trinkfertigen Röstkaffees, hergestellt mit drei gängigen Haushaltskaffeemaschinen, betrachtet. Dabei wird untersucht, mit welchem Zubereitungssystem die meisten potenziellen Umweltauswirkungen verursacht werden. Die Studie betrachtet die Einheit einer Tasse heiß gebrühtem schwarzen Kaffee (125 ml) der Sorte Arabica aus konventionellem Anbau (Herkunft: Brasilien) mit Verarbeitung und Zubereitung in Deutschland. Die Ergebnisse zeigen, dass das Filterverfahren in der Gesamtbilanz die meisten Umweltbelastungen verursacht, gefolgt vom Kapselverfahren und dem Padverfahren. Dabei haben die Phasen „Kaffeeproduktion“ und „Kaffeezubereitung“ den größten Einfluss auf die Umweltwirkung.

Schlagerworte: Ökobilanz, Kaffee, Zubereitung, Verpackung, Haushalt

Comparative life cycle assessment of the preparation of coffee using different preparation systems

Abstract

This Life Cycle Assessment examines the environmental impact of the entire life cycle of ready to drink coffee using three household coffee machines. It is examined which preparation system causes the most potential environmental impacts. The study considers the unit of a cup of hot brewed black coffee (125 ml) of Arabica coffee from conventional cultivation (origin: Brazil) with processing and preparation in Germany. The results show that the filtering system causes the most environmental pollution, followed by the capsule system and the pad system. The phases of "coffee production" and "coffee preparation" are the biggest factors influencing the environmental impact.

Keywords: Life cycle assessment, coffee, preparation, packaging, household

Vergleichende Ökobilanz der Kaffeezubereitung mittels verschiedener Zubereitungssysteme

Dennis Kompalla und Christof Menzel

Einleitung

In der vorliegenden Ökobilanz werden der gesamte Lebensweg und somit die gesamten ökologischen Auswirkungen einer Tasse (125 ml) trinkfertigen Röstkaffees vom Anbau und der Aufbereitung des grünen Kaffees über die verschiedenen Transportwege, die Produktion, die Verpackung und den Konsum bis hin zur Entsorgung des Kaffeesatzes und der Verpackung untersucht. Das Ziel ist die Identifizierung von wesentlichen Umweltauswirkungen der drei Kaffeesysteme „Padkaffee“, „Kapselkaffee“ und „Filterkaffee“. Die Auswirkung der Zubereitung wird durch Erhebung eigener Messdaten präzise betrachtet.

Stand der Wissenschaft

Die Umweltauswirkungen einer Tasse Kaffee hängen zum einen ganz wesentlich davon ab, wie dieser zubereitet wird. Zum anderen ist die Kaffeekultivierung im Ursprungsland ein entscheidender Belastungsfaktor in der Bilanz. Untersuchungen des Öko-Instituts für die Tchibo GmbH ergeben dies exemplarisch im Rahmen des „Product Carbon Footprint (PCF) Pilot Project Germany“ im Jahr 2008 (Dierks 2008: 26-33).

Die Untersuchungen ergeben bezogen auf die Wirkungskategorie Klimawandel, dass die Kaffeezubereitung mit etwa 30 % und die Kaffeekultivierung mit etwa 56 % zu den gesamten klimarelevanten Emissionen beitragen. Sie stellt aber auch heraus, dass die Menge der Gesamtemissionen mit der Art der Kaffeezubereitung variieren kann. Untersucht wird die Zubereitung mit einer Filterkaffeemaschine, einem Kaffeevollautomaten und einer *French-Press*-Maschine.

Zahlreiche vorangegangene Ökobilanzen zum Thema „Kaffeezubereitung“ kommen zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Haupteinflussfaktoren auf die Emissionen.

Methoden

Die Ökobilanzierung erfolgt nach DIN EN ISO 14040/14044 mit der Software Umberto LCA+. Material- und Energieflüsse der verschiedenen Sachbilanz-Phasen stammen aus eigenen Messungen (Zubereitungsphase) sowie Literatur bzw. Ecoinvent-Datensätzen (Ecoinvent 2020) (z. B. Kaffeeproduktion). Die zu Grunde liegenden Ecoinvent-Datensätze werden in Bezug auf zeitliche und geografische Systemgrenzen möglichst passend gewählt.

Im Rahmen dieser Ökobilanz wird die Wirkungsabschätzungsmethode „ReCiPe Midpoint (H) w/o LT“ (*without long-term effects*) angewendet, d. h. den Sachbilanzergebnissen werden insgesamt bis zu 18 Wirkungskategorien auf der Midpoint-Ebene zugeordnet (teilaggregierende Methode) (Goedkoop et al. 2009).

Im Fokus der Betrachtung steht die Wirkungskategorie „Klimawandel“ (GWP100), da die Unterschiede im Ausmaß der Umweltauswirkungen in den einzelnen Lebensweg-Phasen vor allem in dieser Wirkungskategorie stark ausgeprägt sind. Diese Wirkungskategorie berechnet die CO₂-Eq.-Emissionen. Zusätzlich wird die Wirkungskategorie „Verbrauch fossiler Rohstoffe“ (FDP) betrachtet. Sie beschreibt das Ressourcenverknappungspotenzial fossiler Brennstoffe mittels Rohöläquivalenzfaktor (oil-Eq.). Es zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den Zubereitungsverfahren vor allem in diesen Wirkungskategorien ausgeprägt sind.

Die funktionelle Einheit, die als Grundlage für den Vergleich zwischen den Kaffeesystemen festgelegt wird, ist „eine Tasse heiß gebrühter trinkfertiger schwarzer Kaffee (125 ml) der Sorte Arabica aus konventionellem Anbau (Herkunft: Brasilien) mit Verarbeitung und Zubereitung in Deutschland.“

Untersucht wird die Kaffeezubereitung mit einer Padmaschine (Senseo HD 6553), einer Kapselmaschine (De'Longhi EN680.M) und einer Filterkaffeemaschine (AEG CM2052; maximales Füllvolumen 1,2 l). Um das alltägliche Konsumentenverhalten möglichst ganzheitlich zu untersuchen, werden beim Filtersystem drei Füllmengen volumina untersucht: 1.200 ml (max. Füllvolumen gemäß Betriebsanleitung), 600 ml und 300 ml (min. Füllvolumen gemäß Betriebsanleitung). Die Systeme werden vergleichend gegenübergestellt. Im Padsystem und Kapselsystem werden je 20 Proben untersucht - eingeteilt in vier Zyklen à fünf Proben mit zwischengeschalteter Abkühlungsphase.

In den drei Filtersystemen (1.200 ml, 600 ml, 300 ml) werden jeweils sechs Messungen durchgeführt. Der Maschinentank wird jeweils mit exakt abgewogenem temperiertem Wasser (ca. 18 °C) befüllt. Anschließend wird der Brühvorgang zeitlich und energetisch mittels Leistungsmessgerät aufgezeichnet. Gemessen werden einerseits der Heizvorgang ab Maschinenstart und andererseits der Brühvorgang selbst ab dem ersten Tropfen trinkfertigen Kaffees in der Tasse.

Nach dem Brühvorgang erfolgt das Abschalten der Maschine, um Messungen weiterer Heizvorgänge während der Vorbereitungszeit neuer Proben zu vermeiden. Nach jedem Zyklus folgt eine Abkühlungsphase von 15 Minuten. So sollen die Heizvorgänge einer kalten Maschine á fünf Proben gemessen werden. Mittels Waagen mit Messgenauigkeiten von $d=0,01$ g bis $d=0,001$ g werden die Pads, die Kapseln und der Filterkaffeersatz vor und nach dem Brühvorgang sowie der Wasserinput und -output gewogen. Datengrundlage für die Berechnungen bilden jeweils die Mittelwerte aus den einzelnen Messungen je System.

Neben der Brüfung wird zusätzlich die Entkalkung der Maschinen nach Betriebsanleitung durchgeführt und untersucht. Je Zubereitungssystem werden fünf Entkalkungsdurchläufe vermessen.

Für die Ökobilanz werden folgende Grundannahmen getroffen, welche die Limitationen und Systemgrenzen der Bilanz beschreiben:

1. Der verarbeitete Kaffee entstammt zu 100 % der Sorte Arabica.
2. Der Kaffee kommt zu 100 % aus dem Anbauland Brasilien (Transportweg).
3. Der Kaffee stammt aus konventionellem Anbau (Düngereinsatz).
4. Die Verarbeitung des Rohkaffees findet in Deutschland statt. Es wird keine Zwischenverarbeitung in anderen Ländern angenommen (Transportweg, Energieeinsatz).
5. Der Kaffee wird nach dem Verfahren der Mediumröstung verarbeitet. Daraus ergibt sich ein Masseverlust von 15 % (Jokanovic et al. 2012: 25).
6. Die Entkalkungsroutinen ergeben sich aus den Systembetriebsanleitungen.
7. Für die *Last Mile* (Einkaufsfahrt) wird der Datensatz nach Sima et al. 2012 für eine Supermarktbefragung angenommen. Für die *Last Mile* wird ein durchschnittlicher Einkauf von 7,4 kg ermittelt, der über eine Gesamtstrecke von durchschnittlich 8,1 km transportiert wird (Sima et al. 2012). Das Thema Einkaufswege wird von Mohr erweitert betrachtet (Mohr 2017).
8. Gebrauchte Kaffeekapseln werden zu 100 % über den Restmüll entsorgt (Feifel et al. 2009: 221). Der Kaffeesatz aus dem Filter- und Padsystem wird zu 53 % über den Restmüll und zu 47 % über den Biomüll entsorgt (Kern et al. 2012: 10).
9. Verwendet werden Kaffeekapseln der Marke Jacobs „Aluminium Lungo 6 Classico – 10 Stück“. Die verwendeten Kaffeekapseln bestehen zu 100 % aus Aluminium (Jacobs Douwe Egberts 2019).
10. Verwendet werden die Kaffeepads der Marke Rewe ja! „ja! Kräftige Kaffeepads 100 % Arabica – 20 Stück“. Die Kaffeepads sind lose, ohne weitere Einzelumverpackung, in einer Triplexverbundverpackung verpackt.

Der betrachtete Lebensweg dieser Ökobilanz sowie die verwendeten Datenquellen für die Prozesse sind in Abb. 1 dargestellt.



Abb. 1: Betrachtete Prozesskette im Rahmen dieser Ökobilanz sowie die jeweils verwendeten Datenquellen

Ergebnisse

Nach Auswertung der Daten (siehe Abb. 2 und Abb. 3) zeigen die absoluten Summen der CO₂-Eq. in der Wirkungskategorie „GWP100“, dass das Filtersystem 300 mit 119,61 g CO₂-Eq. die meisten Emissionen verursacht. Betrachtet man die Ergebnisse für alle drei untersuchten Filtersysteme, kann für das Filtersystem festgestellt werden, dass es um bis zu 11 – 36 % mehr Emissionen produziert als die anderen Systeme. Die geringsten Emissionen von 87,88 g CO₂-Eq. entstehen beim Padsystem. Im Mittelfeld liegt das Kapselsystem mit 94,08 g CO₂-Eq. Das Mehr an Emissionen im Vergleich zum Padsystem beträgt ca. 7 %.

Bei allen Filtersystemen sowie dem Padsystem werden knapp 90 % der Emissionen in den Phasen „Kaffeeproduktion“, „Zubereitung“ und „Restmüll-Entsorgung“ verursacht. Beim Kapselsystem steht die Phase „Verpackung“ bzgl. der produzierten Emissionen mit 13,75 % an zweiter Stelle und damit im Gegensatz zu den anderen Systemen noch deutlich vor der „Restmüll-Entsorgung“. Transportprozesse sowie Kaffeeverarbeitungsprozesse haben in allen Systemen gleichermaßen einen geringen Anteil an der CO₂-Bilanz und sind von der Größenordnung her identisch (siehe Abb. 2 und 3).

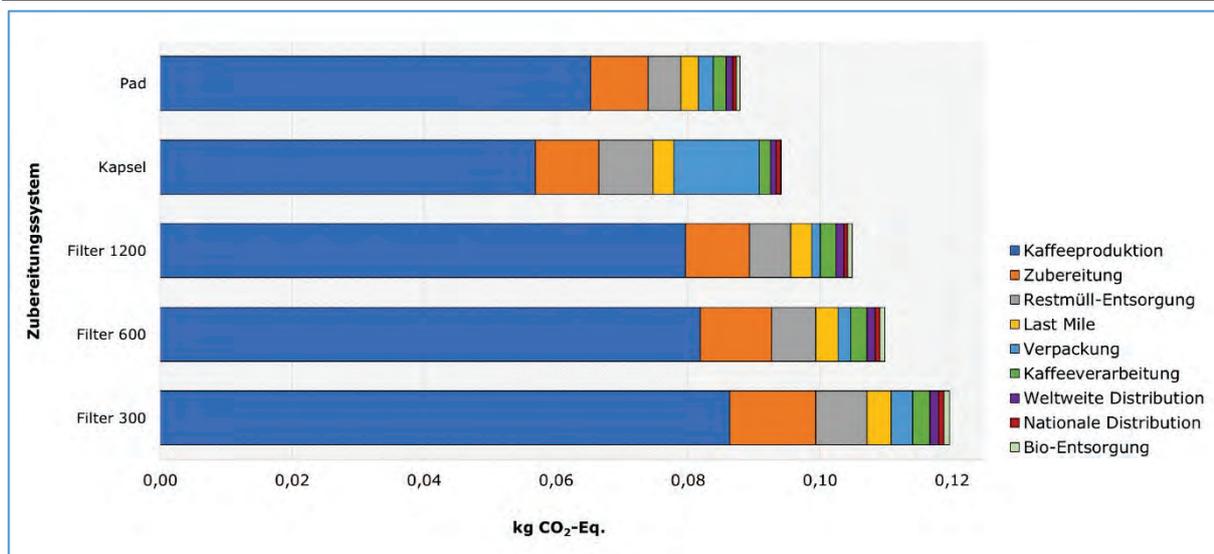


Abb. 2: Umweltauswirkungen in der Wirkungskategorie GWP100 (Klimawandel). Absolute Verteilung der CO₂-Eq.-Emissionen der verschiedenen Zubereitungssysteme in den einzelnen Lebensweg-Phasen.

Der Kaffeepulvereinsatz unterscheidet sich je nach verwendetem Zubereitungssystem, wodurch unterschiedliche Mengen an produzierten Emissionen auf die Phase „Kaffeeproduktion“ entfallen. Abb. 4 erläutert den Zusammenhang von eingesetztem Kaffeepulver je Tassenportion bezogen auf die resultierende Menge an produzierten Emissionen in der Phase „Kaffeeproduktion“.

	Filter 1200		Filter 600		Filter 300		Kapsel		Pad	
	kg CO ₂ -Eq.	%								
Kaffeeproduktion	0,07955	75,77	0,08184	74,52	0,08630	72,15	0,05690	60,49	0,06521	74,20
Zubereitung	0,00977	9,31	0,01083	9,86	0,01307	10,93	0,00959	10,19	0,00875	9,96
Restmüll-Entsorgung	0,00622	5,92	0,00670	6,10	0,00771	6,45	0,00824	8,76	0,00496	5,65
Last Mile	0,00316	3,01	0,00334	3,04	0,00370	3,09	0,00313	3,33	0,00265	3,02
Verpackung	0,00131	1,25	0,00193	1,76	0,00326	2,73	0,01294	13,75	0,00222	2,53
Kaffeeverarbeitung	0,00237	2,26	0,00244	2,22	0,00257	2,15	0,00170	1,80	0,00194	2,21
Weltweite Distribution	0,00120	1,14	0,00124	1,13	0,00131	1,10	0,00086	0,92	0,00099	1,12
Nationale Distribution	0,00058	0,69	0,00076	0,69	0,00084	0,70	0,00071	0,76	0,00060	0,69
Bio-Entsorgung	0,00069	0,66	0,00074	0,68	0,00085	0,71	0,00001	0,01	0,00054	0,61
Summe CO ₂ -Eq. in kg	0,10499		0,10982		0,11961		0,09408		0,08788	
Summe CO ₂ -Eq. in g	104,99		109,82		119,61		94,08		87,88	

Abb. 3: Ergebnisse in der Wirkungskategorie GWP100 (Klimawandel). Absolute Werte in kg CO₂-Eq. sowie die daraus resultierende relative Verteilung in % je Zubereitungssystem entlang der einzelnen Lebensweg-Phasen. Grau hinterlegt sind jeweils die drei emissionsstärksten Phasen des betrachteten Zubereitungssystems.

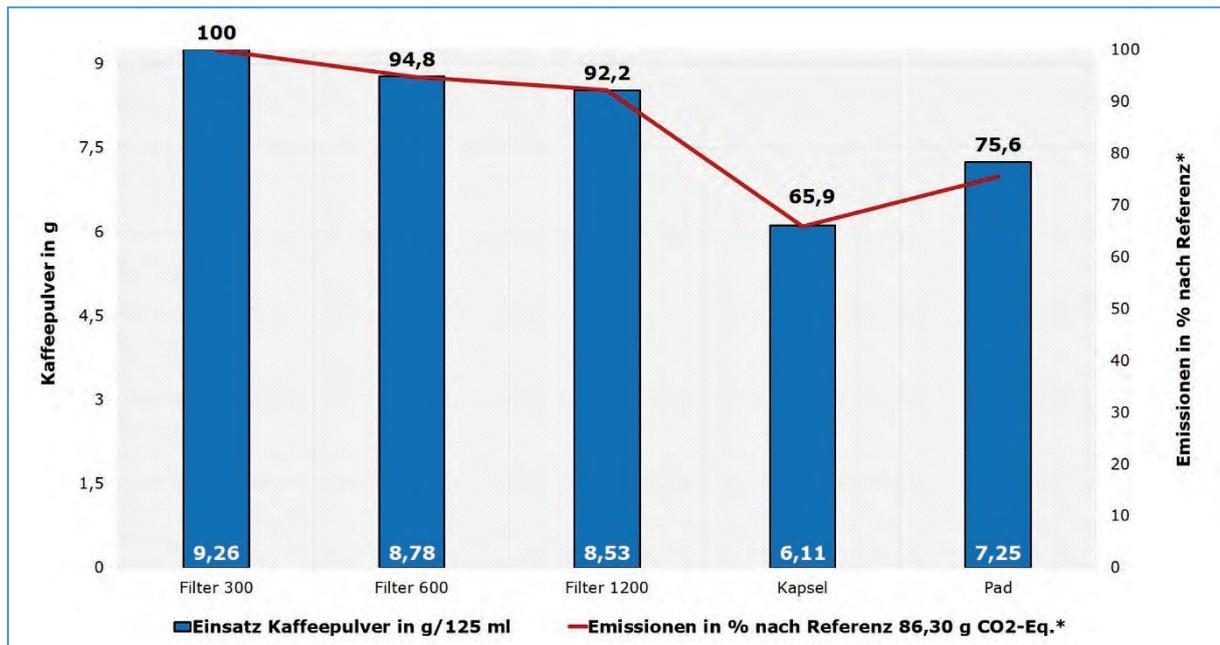


Abb. 4: Eingesetzte Kaffeepulvermengen je 125 ml trinkfertigen Kaffee sowie die damit verbundenen Emissionsschwankungen in % nach Referenz. *Der Höchstwert von 100 % (\cong 86,30 g erzeugten CO₂-Eq. beim Filtersystem 300) bildet die Referenz für die anderen Systeme (Bench).

Die absoluten Summen der oil-Eq. in der Wirkungskategorie „FDP“ zeigen, dass das Filtersystem 300 mit 19,81 g oil-Eq. die meisten Ressourcen verbraucht. Betrachtet man die Ergebnisse für alle drei untersuchten Filtersysteme, so kann für das Filtersystem im Allgemeinen festgehalten werden, dass es um bis zu 9 – 34 % mehr Ressourcen verbraucht als die anderen Systeme (Kapsel/Pad). Der geringste Verbrauch von 14,68 g oil-Eq. entsteht beim Padsystem. Im Mittelfeld liegt das Kapselsystem mit 15,69 g oil-Eq. Das Mehr an Emissionen im Vergleich zum Padsystem beträgt ca. 7 % (siehe Abb. 5 und Abb. 6).

Bei allen Filtersystemen sowie dem Padsystem werden knapp 90 % der Ressourcenverbräuche in den Phasen „Kaffeeproduktion“, „Zubereitung“ und „Last Mile“ verursacht. Beim Kapselsystem steht die Phase „Verpackung“ bzgl. der verbrauchten Ressourcen mit 17,56 % an zweiter Stelle und damit im Gegensatz zu den anderen Systemen noch deutlich vor der „Last Mile“.

Transportprozesse sowie Kaffeeverarbeitungsprozesse haben in allen Systemen gleichermaßen einen geringen Anteil an der CO₂-Bilanz und sind von der Größenordnung her identisch. Dennoch liegen sie vor den Müll-Entsorgungsprozessen.

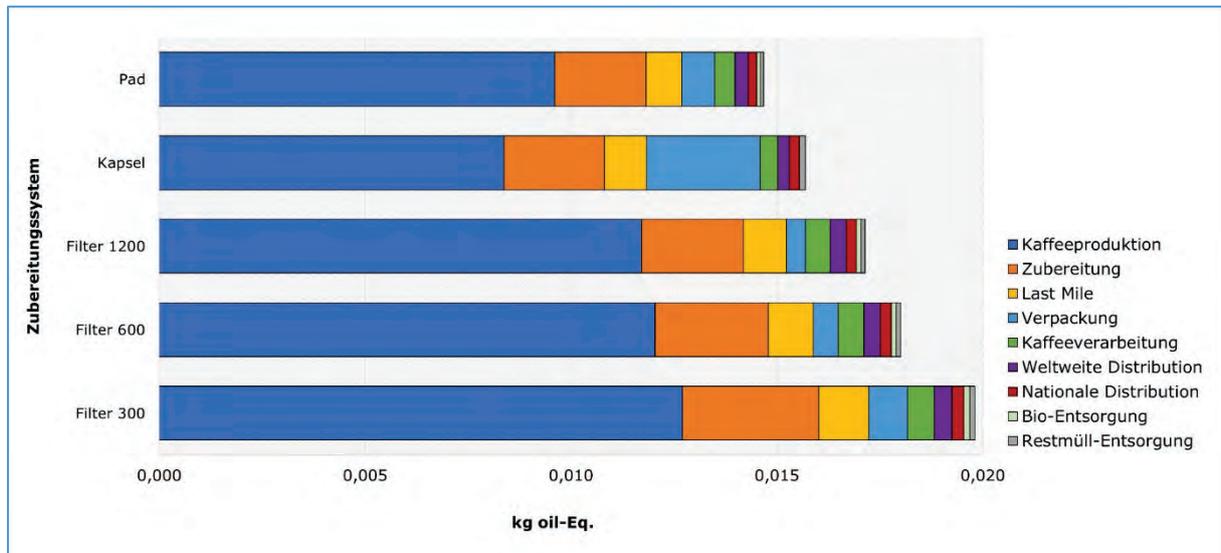


Abb. 5: Umweltauswirkungen in der Wirkungskategorie FDP (Verbrauch fossiler Rohstoffe). Absolute Verteilung der oil-Eq. der verschiedenen Zubereitungssysteme in den einzelnen Lebensweg-Phasen.

	Filter 1200		Filter 600		Filter 300		Kapsel		Pad	
	kg oil-Eq.	%								
Kaffeeproduktion	0,01171	68,32	0,01204	66,85	0,01270	64,10	0,00837	53,36	0,00960	65,36
Zubereitung	0,00248	14,47	0,00275	15,27	0,00332	16,76	0,00244	15,53	0,00222	15,15
Last Mile	0,00104	6,07	0,00109	6,07	0,00121	6,11	0,00102	6,53	0,00087	5,92
Verpackung	0,00046	2,68	0,00061	3,39	0,00094	4,74	0,00276	17,56	0,00080	5,44
Kaffeeverarbeitung	0,00060	3,50	0,00062	3,44	0,00065	3,28	0,00043	2,75	0,00049	3,37
Weltweite Distribution	0,00039	2,28	0,00040	2,24	0,00043	2,17	0,00028	1,79	0,00032	2,19
Nationale Distribution	0,00025	1,46	0,00027	1,47	0,00029	1,48	0,00025	1,58	0,00021	1,44
Bio-Entsorgung	0,00011	0,64	0,00012	0,66	0,00014	0,71	0,00000	0,01	0,00009	0,59
Restmüll-Entsorgung	0,00010	0,58	0,00011	0,61	0,00013	0,66	0,00014	0,91	0,00008	0,55
Summe oil-Eq. in kg	0,01714		0,01802		0,01981		0,01569		0,01468	
Summe oil-Eq. in g	17,14		18,02		19,81		15,69		14,68	

Abb. 6: Ergebnisse in der Wirkungskategorie FDP. Absolute Werte in kg oil-Eq. sowie die daraus resultierende relative Verteilung in % je Zubereitungssystem entlang der einzelnen Lebensweg-Phasen. Grau hinterlegt sind jeweils die drei ressourcenbelastendsten Phasen.

Diskussion

Methodendiskussion

Indikator	Reliabilität des Flusses der Massen und Energien
1	Verifizierte Daten basierend auf Messungen am eigenen Prozess
2	Verifizierte Daten basierend auf einer Kalkulation oder nicht verifizierte Daten basierend auf allgemeinen Messungen
3	Nicht verifizierte Daten basierend auf einer Kalkulation anhand eines technischen Datenblattes
4	Begründete Schätzung
5	Unbegründete Schätzung

Abb. 7: Pedigree-Matrix zur Bewertung der Datenqualität (modifiziert nach Edelen und Ingwersen 2016: 8).

Die Bewertungsmethode aus Abb. 7 dient als Grundlage für die Bewertung der Datenqualität dieser Ökobilanz, die in Abb. 8 dargestellt ist.

Phasen	Filtersystem		Kapselsystem		Padsystem	
	Massenflüsse	Energieflüsse	Massenflüsse	Energieflüsse	Massenflüsse	Energieflüsse
Kaffeeproduktion	2	2	2	2	2	2
Kaffeeverarbeitung	4	3	4	3	4	3
Verpackung	1	3	1	3	1	3
Weitweite Distribution	---	2	---	2	---	2
Nationale Distribution	---	3	---	3	---	3
Last Mile	2	2	2	2	2	2
Zubereitung	1	1	1	1	1	1
Restmüll-Entsorgung	1	---	1	---	1	---
Bio-Entsorgung	1	2	1	2	1	2

Abb. 8: Bewertung der Datenqualität in der vorliegenden Ökobilanz einer Tasse trinkfertigen Kaffee - hergestellt mittels drei verschiedener Kaffeesysteme. Aufgeführt sind die einzelnen Prozessphasen. Je System werden die Massenflüsse und Energieflüsse betrachtet. Grün markiert sind die Werte, die einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf das Gesamtergebnis haben und auf einer guten Datenqualität von 1 oder 2 beruhen. Gelb markiert sind die Werte, die einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf das Gesamtergebnis haben und auf einer mittleren Datenqualität von 3 beruhen. Die Indikatoren 1-5 sind in Abb. 7 beschrieben.

Bezüglich der Methodik spielen im Allgemeinen auch Unsicherheiten eine Rolle. Parameterunsicherheiten können als die Abweichung einer ermittelten Größe von ihrer tatsächlichen Größe definiert werden (Finnveden et al. 2009: 14). Kritisch sind daher Datenquellen zu betrachten, die nicht direkt zum Zweck der Ökobilanzstudie erhoben wurden (Sekundärquellen) und z. B. auf Basis von Schätzungen oder Annahmen erhoben wurden. Einige Literaturdaten, die für diese Ökobilanz verwendet werden, bieten Näherungswerte (z. B. Transportwege) bzw. Schätzwerte (z. B. Kaffeeverarbeitung), die zur Modellierung herangezogen werden. Sie variieren im Zeitbezug, Technologiebezug oder auch im Datentyp und führen daher zwangsläufig zu Unsicherheiten in der Modellierung.

Weiter spielen auch Modellunsicherheiten eine Rolle. Durch die Festlegung von Systemgrenzen, Annahmen und Limitationen sowie die Vernachlässigung von Beziehungen können Unsicherheiten in den Ergebnissen entstehen. In der vorliegenden Ökobilanz werden diese Annahmen und Limitationen im Methodenteil erläutert. Des Weiteren sind nach der Abschneideregeln die Herstellung und Entsorgung der Kaffeemaschinen nicht Teil der Modelle, da die Umweltauswirkungen pro Tasse Kaffee < 5 % am Gesamtsystem ausmachen und damit vernachlässigbar sind (Meyer et al. 2006: 24). Auch z. B. Verarbeitungsmaschinen sowie Aufwendungen für die Bereitstellung einer Kaffeetasse oder nachgelagerte Prozesse wie das Spülen der Kaffeetasse nach dem Kaffeekonsum wurden in dieser Ökobilanz nicht betrachtet.

Dagegen weisen die selbst erhobenen Messdaten (z. B. Gewichte, Verbräuche etc.) in der Phase „Zubereitung“ eine geringe Standardabweichung auf. Die Messergebnisse weisen somit eine hohe Genauigkeit auf. Gleichzeitig belegen die geringen statistischen Abweichungen ein hohes Maß an Sorgfalt bei der Erhebung und Messung der Daten.

In den Entsorgungsphasen wird der Aspekt eines möglichen Recyclings bisher nicht betrachtet. Quoten und Szenarien müssen im Nachgang noch untersucht werden. Beispielsweise könnte sich eine Gutschrift durch ein Aluminiumrecycling im Nachgang zusätzlich positiv auf das bisherige Ergebnis (vor allem beim Kapselsystem) auswirken und den Vorteil eines Kapselsystems weiter herausstellen.

Ergebnisdiskussion

Im Rahmen der Ökobilanz wird deutlich, dass der mit Abstand größte Faktor für die Umweltbelastung in der Wirkungskategorie „Klimawandel“ die Landwirtschaft beim Kaffeeanbau ist. Die Kaffeeproduktion trägt in allen Systemen mit ca. 60 – 76 % zur Umweltbelastung bei. Dabei wird für je 125 ml Kaffee bei der Zubereitung mit dem Filtersystem am meisten Kaffeepulver benötigt, im Kapselsystem wird am wenigsten Kaffeepulver benötigt. Der große Unterschied in den erzeugten Emissionen, der durch minimale Differenzen in der Kaffeepulvermenge entsteht, ist in Abb. 4 dargestellt.

Im Extremfall (Filter 300 System gegen Kapselsystem) machen ca. 3 g mehr oder weniger Kaffeepulver einen Unterschied von 34 % in den Emissionen aus, die durch den Mahlkaffee verursacht werden. Die Dosierung des Kaffeepulvereinsatzes hat demnach einen entscheidenden Einfluss auf die entstehende Umweltauswirkung.

Das Pad- und das Kapselsystem sind sogenannte portionierende Zubereitungssysteme. Die Kaffeemenge wird in diesen Systemen für den Verbraucher durch Pad und Kapsel vorgeschrieben. Beim Filtersystem muss eine selbstständige Kaffeedosierung erfolgen. Da hier keine starren Maßvorgaben existieren, besteht ein höheres Risiko einer Überdosierung. Des Weiteren brühen die portionierenden Zubereitungssysteme exakt die Wassermenge auf, die für eine Tasse auch notwendig ist. Beim Filtersystem muss eine Mindestmenge gebrüht werden, die über das Maß von 125 ml hinausgeht. Dadurch entstehen ggf. überflüssige Portionen, die nicht konsumiert und folglich weggeschüttet werden, aber dennoch Emissionen verursachen.

Nach der Kaffeeproduktion hat die Phase der „Zubereitung“ den durchschnittlich zweitgrößten Einfluss auf die Umweltauswirkungen des Kaffeekonsums. Die Zubereitung trägt in allen Systemen mit ca. 9,3 – 10,9 % zur Umweltbelastung in der Kategorie Klimawandel bei.

Das Padsystem verbraucht je Liter trinkfertigen Kaffee ca. 0,108 kWh. Im System werden ca. 92 % des Inputwassers zu trinkfertigen Kaffee umgesetzt. Damit ist das Padsystem das energieeffizienteste System von allen, was sich auch in den Emissionen widerspiegelt.

Das Kapselsystem verbraucht je Liter trinkfertigen Kaffee ca. 0,121 kWh und liegt energetisch hinter dem Padsystem, jedoch vor dem Filter 300- und Filter 600 System. Im System werden ca. 90 % des Inputwassers zu trinkfertigen Kaffee umgesetzt. Das Kapselsystem ist demnach weniger effizient als das Padsystem, weist aber einen ebenso geringen Massenverlust (Verdampfung und Wasserrückstand in Kaffeesatz) bei der Brühung auf wie das Padsystem.

Das Filtersystem weist eine gute Energieeffizienz auf, wenn große Mengen gebrüht werden. Dann liegt das Filtersystem 1200 energetisch vor dem Kapselsystem. Die Systeme Filter 300 und Filter 600 liegen energetisch deutlich hinter allen anderen Systemen. Durch die hohen Massenverluste beim Filterverfahren von bis zu 19 % schneidet das Filterverfahren im Gesamten in der Bilanz am schlechtesten ab und erzeugt die höchsten CO₂-Eq. absolut. Die Entkalkung belastet das Filterverfahren zusätzlich nachteilig, da es mit 0,267 kWh je Durchgang 2,3-mal so viel Energie wie beim Kapselsystem und 1,5-mal so viel Energie wie beim Padsystem verbraucht (Entkalkung nach Herstellervorgaben der Betriebsanleitung).

Die Phase „Restmüll-Entsorgung“ hat durchschnittlich den drittgrößten Einfluss auf die Umweltauswirkungen des Kaffeekonsums. Die Restmüll-Entsorgung trägt in fast allen Systemen mit ca. 5,7 – 8,8 % zur Umweltbelastung in der Kategorie Klimawandel bei. Nur beim Kapselsystem hat die Phase „Verpackung“ mit 13,75 % einen höheren Einfluss und liegt damit sogar noch vor der Zubereitungsphase. Die Phase „Verpackung“ hat beim Kapselsystem deshalb einen großen Einfluss, da die betrachteten Kapseln zu 100 % aus Aluminium bestehen. Im Vergleich zu den anderen Systemen kommt im Kapselsystem 23- bis 52-mal mehr Aluminium zum Einsatz (Ergebnis der Kalkulation). Die Auswirkung auf die Bilanz in der Phase „Verpackung“ durch diesen Rohstoff ist daher auch um ein Vielfaches höher (12,94 g CO₂-Eq. beim Kapselsystem; durchschnittlich 2,18 g CO₂-Eq. bei allen anderen Systemen).

Aluminium ist in der Herstellung sehr energieaufwendig und umweltbelastend, kann jedoch gut zu Sekundäraluminium recycelt werden. Gutschriften durch Recycling werden in dieser Ökobilanz nicht betrachtet. Die Herstellung der Verpackung ist beim Kapselsystem aufgrund des hohen Aluminiumanteils zwar mit hohen Emissionen verbunden, trotzdem verursacht das Kapselsystem in der Kategorie „Klimawandel“ in der Gesamtbilanz immer noch 11 % weniger Emissionen als das emissionsärmste Filtersystemszenario (Filter 1200).

Transportprozesse und Verarbeitungsprozesse haben eine nachrangige Bedeutung bei der Gesamtbetrachtung, da sie in allen Systemen einen in etwa vergleichbar geringen Anteil von 0,5 – 3 % an den Emissionen haben.

In der Wirkungskategorie FDP werden bei dem Filter- und Padsystem die meisten Ressourcen in den Phasen „Kaffeeproduktion“, „Zubereitung“ und „Last Mile“ verbraucht (vgl. Abb. 6). Der Verbrauch fossiler Energieträger ist in diesen Phasen besonders hoch, da vor allem z. B. Treibstoff zum Betrieb von Maschinen oder auch der Stromverbrauch in der Gesamtbetrachtung hier am höchsten ausfällt. Im Unterschied zu den anderen Systemen werden beim Kapselsystem nach der Phase „Kaffeeproduktion“ die meisten Ressourcen in der Phase „Verpackung“ (17,56 %) verbraucht. Da der verwendete Aluminiumanteil im Kapselsystem um ein Vielfaches höher ist als bei den anderen Systemen und die Aufbereitung von Aluminium sehr energieintensiv ist, entfällt ein bedeutender Anteil des Gesamtverbrauchs fossiler Rohstoffe beim Kapselsystem auf diese Phase. Nichtsdestotrotz liegt das Kapselsystem auch in dieser Wirkungskategorie in der Gesamtbilanz immer noch um ca. 9 % vor dem Filtersystem.

Quellen

- Dierks S (2008): Case Study Tchibo Privat Kaffee Rarity Machare by Tchibo GmbH; Case Study Undertaken within the PCF Pilot Project Germany. Öko-Institut. Berlin: 26-33.
- Ecoinvent. Ecoinvent – the world's most consistent & transparent life cycle inventory database. <https://www.ecoinvent.org/> (zuletzt abgerufen am: 15.02.2020).
- Edelen A, Ingwersen W (2016): Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data, Version 1. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC: 8.
- Europäisches Komitee für Normung (CEN): DIN EN ISO 14044 (2006). Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018.
- Europäisches Komitee für Normung (CEN): DIN EN ISO 14040 (2006). Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006.
- Feifel S, Walk W, Wursthorn S, Schebek L (2009): Ökobilanzierung 2009 Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. Tagungsband der fünften Ökobilanz-Werkstatt. KIT Scientific Publishing. Campus Weihenstephan, Freising: 221.
- Finnveden G, Hauschild, M Z, Ekvall T, Guinée J B, Heijungs R, Hellweg S, Koehler A, Pennington D, Suh S (2009): Recent developments in life cycle assessment. Journal of environmental management (91) 1: 14.
- Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M A J, Schryver A De, Struijs J, Van Zelm R (2009): ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition Report I: Characterisation.
- Jacobs Douwe Egberts (JDE) (2019): Schriftliche Mitteilung vom 15.07.2019.
- Jokanovic M, Dzinic N, Cvetkovic, B, Grujic S, Odzakovic B (2012): Changes of physical properties of coffee beans during roasting. Acta per tech (43): 25.
- Kern M, Raussen T, Graven T, Bergs C, Hermann T (2012): Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2012), Referat Öffentlichkeitsarbeit. Berlin: 10.

Meyer L, Walk W, Uihlein A (2006): Viel davor. Viel dahinter. Ökobilanz einer Tasse Kaffee. Präsentation am Tag der offenen Tür 23.09.2006. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft. Institut für Technische Chemie. Karlsruhe: 24.

Mohr M (2017): Empirische Erhebungen zum Consumer Carbon Footprint (CCF) beim Lebensmitteleinkauf. Hauswirtschaft und Wissenschaft 04/2017: 202-203. Zweitveröffentlichung in Hauswirtschaft und Wissenschaft 2018 (ISSN 2626-0913) DOI: https://doi.org/10.23782/HUW_06_2017

Sima A, Möhrmann I, Thomae D, Schlich E (2012): Einkaufswege als Teil des Consumer Carbon Footprints (CCF) - Zum Anteil des Endverbrauchers an der Klimarelevanz von Prozessketten im Lebensmittelbereich. Ernährungs-Umschau, 59: 524-530.

Autoren

Dennis Kompalla (Korrespondenzautor) und Prof. Dr. Christof Menzel, Professur für Mathematik/Statistik und angewandte EDV, Hochschule Niederrhein, Fachbereich Oecotrophologie, Masterstudiengang Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften.

Kontakt: dennis.kompalla@gmx.de



© D. Kompalla

Interessenkonflikt

Es besteht kein Interessenkonflikt. Der Beitrag beruht auf den Ergebnissen eines unabhängigen Forschungsprojekts zum Thema „Vergleichende Ökobilanz der Kaffeezubereitung mittels verschiedener Zubereitungssysteme“ (Hochschule Niederrhein, Betreuer: Prof. Dr. Menzel und Prof. Dr. Großmann).

Zitation

Kompalla D & Menzel Ch (2020): Vergleichende Ökobilanz der Kaffeezubereitung mittels verschiedener Zubereitungssysteme. Hauswirtschaft und Wissenschaft (68) 2020, ISSN online 2626-0913. <https://haushalt-wissenschaft.de> DOI: 10.23782/HUW_19_2019