

Ökobilanz von Haferdrink als Beispiel für Nachhaltigkeitsunterschiede bei zentraler und dezentraler Produktion

Sophie Schwinn und Christof Menzel

Kurzfassung

Die Lebensmittelindustrie in Deutschland verarbeitet Lebensmittel in großen, zentralisierten Fabriken. Eine dezentrale Produktion dagegen, die auf lokaler Produktion in kleinem Maßstab basiert, ist in letzter Zeit als Alternative aufgekommen. Um Vor- und Nachteile der Systeme aufzuzeigen, werden für ein Beispiel beider Produktionssysteme (Haferdrink) Ökobilanzen mit der Software „Umberto 11“ und auf Basis von Daten aus ecoinvent 3.9.1 modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass der allgemeine Wechsel von Kuhmilch zum Haferdrink den CO₂-Ausstoß auf ein Viertel reduziert. Zusätzlich senkt die Umstellung von zentraler auf dezentrale Produktion die Emissionen in der Kategorie Klimawandel um weitere 20 %, was hauptsächlich auf das geringere Transportgewicht und die effizientere Herstellung des Haferdrinks zurückzuführen ist.

Schlagerworte: Ökobilanz, Lebensmittelproduktion, Haferdrink, Zentral, Dezentral

Life cycle assessment of oat milk as an example of sustainability differences in centralized and decentralized production

Abstract

The food industry in Germany processes food in large, centralized factories. Decentralized manufacturing, on the other hand, based on small-scale local production, has recently emerged as an alternative. In order to show the advantages and disadvantages of the systems, life cycle assessments are modeled for an example of both production systems (oat drink) using the software "Umberto 11" and based on data from ecoinvent 3.9.1. The results show that the general change from cow milk to oat drink reduces CO₂ emissions to a quarter. In addition, the conversion from centralized to decentralized production reduces emissions in the climate change category by a further 20 %, which is mainly due to the lower transport weight and more efficient production of the oat drink.

Keywords: life cycle assessment, food production, oat milk, centralized, decentralized

Ökobilanz von Haferdrink als Beispiel für Nachhaltigkeitsunterschiede bei zentraler und dezentraler Produktion

Sophie Schwinn und Christof Menzel

Ausgangslage und Fragestellung

Die Ernährung der Menschheit (Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Formen der Landnutzung) ist weltweit für einen Anteil von bis zu 30 % der anthropogenen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich (Garnett 2011). In diesem Zusammenhang kommt der Reduktion der ernährungsbedingten THG-Emissionen zur Verringerung des Treibhauseffektes eine entscheidende Bedeutung zu. Entsprechend gilt es zu untersuchen, ob und wann eine dezentrale Lebensmittelproduktion nachhaltiger als eine zentrale Produktion ist und welche Einflussfaktoren dafür ausschlaggebend sind.

Derzeit werden die meisten Lebensmittel in großen, zentralisierten Fabriken mit dezentralisierten Einzelhandelssystemen verarbeitet, wodurch Lebensmittelverarbeiter von Skaleneffekten profitieren können. Diese Vorgehensweise ist im Hinblick auf die Produktion effizient, jedoch können dadurch langwierige und starre Lieferketten mit höheren Transportkosten und Umweltauswirkungen entstehen (Almena et al. 2019). Dies ist teilweise erforderlich oder mindestens vorteilhaft (beispielsweise bei Orangensaft, der vorteilhafterweise zentral gepresst und abgefüllt wird), teilweise nicht möglich (beispielsweise bei Kaffee, der nicht ohne erhebliche sensorische Verluste zentral aufgebriht und abgefüllt werden kann).

Eine dezentrale Lebensmittelproduktion bezeichnet demgegenüber die Herstellung von Lebensmitteln in vielen kleinen, lokal verteilten Einheiten, meist am Ort des Konsums selbst, anstelle einer zentralen, großindustriellen Produktion. Dezentrale Produktionen sind bereits fester Bestandteil des täglichen Lebens, wie das Beispiel der Kaffeeproduktion verdeutlicht. Die Kaffeebohnen werden als trockener Rohstoff verpackt und an den Endverbraucher verkauft. Dort wird die Kaffeebohne in einer Kaffeemaschine zu Kaffee verarbeitet.

Bislang überwiegt jedoch die zentrale Lebensmittelproduktion, wie am Beispiel Bier ersichtlich. Die Rohstoffe Gerste, Hopfen und Wasser werden industriell zu einem alkohol- und kohlenstoffhaltigen Getränk verarbeitet. Dieses wird in Flaschen abgefüllt und im Einzelhandel verkauft.

Die beiden Modelle der zentralen Produktion und Verteilung in verbrauchsfertiger Form sowie der dezentralen Verteilung und Vor-Ort-Produktion werden für verschiedene Produkte entsprechend eingesetzt.

Wir erörtern am Beispiel des Haferdrinks im Folgenden, ob sich unter Einsatz der Ökobilanzierung allgemeine Hinweise finden lassen, wo und wann eine der beiden Alternativen ökologisch günstiger ist. Im Interesse einer ökologischen, nachhaltigen Produktion ist es daher erforderlich, die Vor- und Nachteile zentraler und dezentraler Produktionsprozesse in Bezug auf bestimmte Wirkungskategorien zu untersuchen. Diese Erkenntnisse können als Grundlage für zukünftige wirtschaftliche und politische Entscheidungen dienen.

Methodik

Für beide Produktionssysteme wird eine Ökobilanz gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 14040/14044 durchgeführt. Zur Erstellung des Modells und zur Berechnung wird die Software Umberto 11.11 und die Datenbank ecoinvent 3.9.1 verwendet. Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen der Ökobilanz erläutert. Die Analyse wurde für die drei Wirkungskategorien Climate Change, Freshwater Eutrophication und Land Use der Wirkungsbewertungsmethode ReCiPe 2016, Mid-point Hierarchist zur Folgenabschätzung ohne Langzeiteffekte durchgeführt. Die dezentrale Produktion wurde anhand von Informationen eines KMU modelliert und quantifiziert, welches eine Haferdrink-Maschine für die dezentrale Produktion von Haferdrink herstellt. Für die zentrale Produktion wurden veröffentlichte Daten der Firma Oatly herangezogen (Keijzer et al. 2023; Koch et al. 2023).

Rahmenbedingungen

Das Produkt, welches für die Erstellung der Ökobilanz betrachtet wird, ist der Haferdrink, welcher eine pflanzliche Alternative zur herkömmlichen Kuhmilch darstellt. Der Drink besteht größtenteils aus Wasser, Hafermehl und Öl.

Bei beiden Produktionssystemen wird der Anbau der pflanzlichen Rohstoffe in verschiedenen Ländern betrachtet und der Point of Sale und Konsum in Deutschland. Als funktionelle Einheit wird für beide Produktionssysteme „1 Liter Haferdrink, trinkfertig ohne Gefäß am Ende der Produktion vor dem Konsum“ definiert. Die ermittelten Umweltauswirkungen beziehen sich auf die jeweilige produzierte Menge des Haferdrinks.

Das betrachtete System reicht von der Wiege bis zum Ausschicken des Haferdrinks, wie in Abb. 1 dargestellt. Um die gesamte Wirkung der Verpackung angemessen widerzuspiegeln, wird auch das End of Life (EoL) der Verpackung berücksichtigt.

Folgende Prozesse liegen außerhalb der Systemgrenze und werden daher im Modell nicht betrachtet:

- Aspekt der Regionalität: Die Dimension „Regionalität der Rohstoffe“ muss bei beiden Modellen gleichbehandelt werden. Die Regionalität und Nicht-Regionalität können nicht zwingend einer Produktionsform zugeordnet werden. Es besteht die Möglichkeit, dass sowohl zentrale als auch dezentrale Produktionsstätten ihre Rohstoffe regional oder nicht regional beziehen können.
- Anlagegüter sowie die allgemeine Unternehmensinfrastruktur werden nicht betrachtet.
- Rezepturen: Der Haferdrink wird jeweils identisch modelliert, es gibt keinen Produkt-Unterschied zwischen zentraler und dezentraler Produktion.

Diese Aspekte sind für beide Produktionsformen identisch. Außerdem werden Materialien (samt Herstellung und Entsorgung) mit vernachlässigbar geringen Massen- und Energieverbräuchen und damit geringen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis nicht betrachtet (sog. Abschneideregeln).

Der Abschneideregeln unterliegen folgende Flüsse:

- Enzyme, Vitamine und Mineralstoffe, die in der Rezeptur verwendet werden;
- Schrumpffolie, die zum Transport der Ware verwendet wird sowie
- Reinigungsmittel zur Reinigung der Produktionsanlagen.

Prozessmodellierung

Zur Modellierung der Prozesse werden jeweils Aktivitäten der ecoinvent-Datenbank verwendet, die in Bezug auf sachliche Angemessenheit und räumliche Nähe dem abzubildenden Prozess möglichst nahekommen. In Abb. 1 ist der gesamte Prozessverlauf des jeweiligen betrachteten Produktsystems schematisch dargestellt. Dabei steht jeder Block für eine eigene Phase, in der mindestens ein Prozess stattfindet. Die Auflösung nach Phasen ermöglicht insbesondere eine Einteilung in eher wichtige und eher unwichtige Teile des Lebenswegs. Die konkreten Inhalte und Arbeitsschritte der einzelnen Phasen sowie die jeweiligen Quellen der verwendeten Daten und die Datenqualität sind in Tab. 2 und 3 zu finden.

Neben dem Haferdrink wird außerdem der Prozess zur Herstellung von Kuhmilch modelliert, um so einen alltäglichen Vergleich herstellen zu können. Dazu wird alleinig der Datensatz „Cow milk, GLO“ aus der ecoinvent-Datenbank verwendet.

Beide Systeme beginnen mit dem Anbau der Rohstoffe Hafer und Raps, welche anschließend geerntet und weiter zur Produktionsstätte transportiert werden. Das Getreide wird als Schüttgut transportiert, der Raps in Form von Raps-Rohöl. Der geerntete Hafer wird anschließend geschält, getrocknet und zu Hafermehl verarbeitet. Abwasser, Faserreste und Spelzen sind Nebenprodukte dieses Prozesses, die hier als Abfälle betrachtet und behandelt werden. Das Rohöl wird zu Rapsöl raffiniert, wobei keine Nebenprodukte betrachtet werden.

In der zentralen Produktion wird das Hafermehl nun in eine sogenannte Haferbasis umgewandelt, eine Mischung aus Hafer, Wasser und Enzymen. In einem anschließenden Verarbeitungsschritt wird die Haferbasis unter Zugabe von Wasser, Vitaminen, Mineralstoffen und dem Rapsöl zum Endprodukt formuliert. Nach der Herstellung wird das Produkt wärmebehandelt und in einen Getränkekarton abgefüllt. Der Haferdrink wird an Einzelhandelsgeschäfte vertrieben. Der Verbraucher entsorgt zum Schluss die Haferdrink-Verpackung.

In der dezentralen Produktion werden die Rohstoffe hingegen zuerst abgepackt, das Hafermehl in PE-Beutel und das Rapsöl in Glasflaschen. Anschließend werden sie in einem Paket zusammengestellt und an den lokalen Produzenten (beispielsweise ein Café) versendet. Dort angekommen, werden die Zutaten vom Verbraucher ausgepackt und in die Haferdrink-Maschine gegeben. Im Anschluss werden die Zutaten unter Zugabe von Wasser zum Endprodukt formuliert. Der Haferdrink kann aus der Maschine abgezapft werden. Eine weitere Verpackung wird nicht betrachtet.

In beiden Grundmodellen werden die Transportprozesse hinsichtlich der Distanz und eingesetzten Transportmittel identisch modelliert.

Eine Sensitivitätsanalyse wird bei den Phasen durchgeführt, welche in der Wirkungskategorie GWP die Datenqualität 3 oder schlechter aufweisen und zugleich der Einfluss auf das Gesamtergebnis relativ hoch ist (mehr als 20 %).

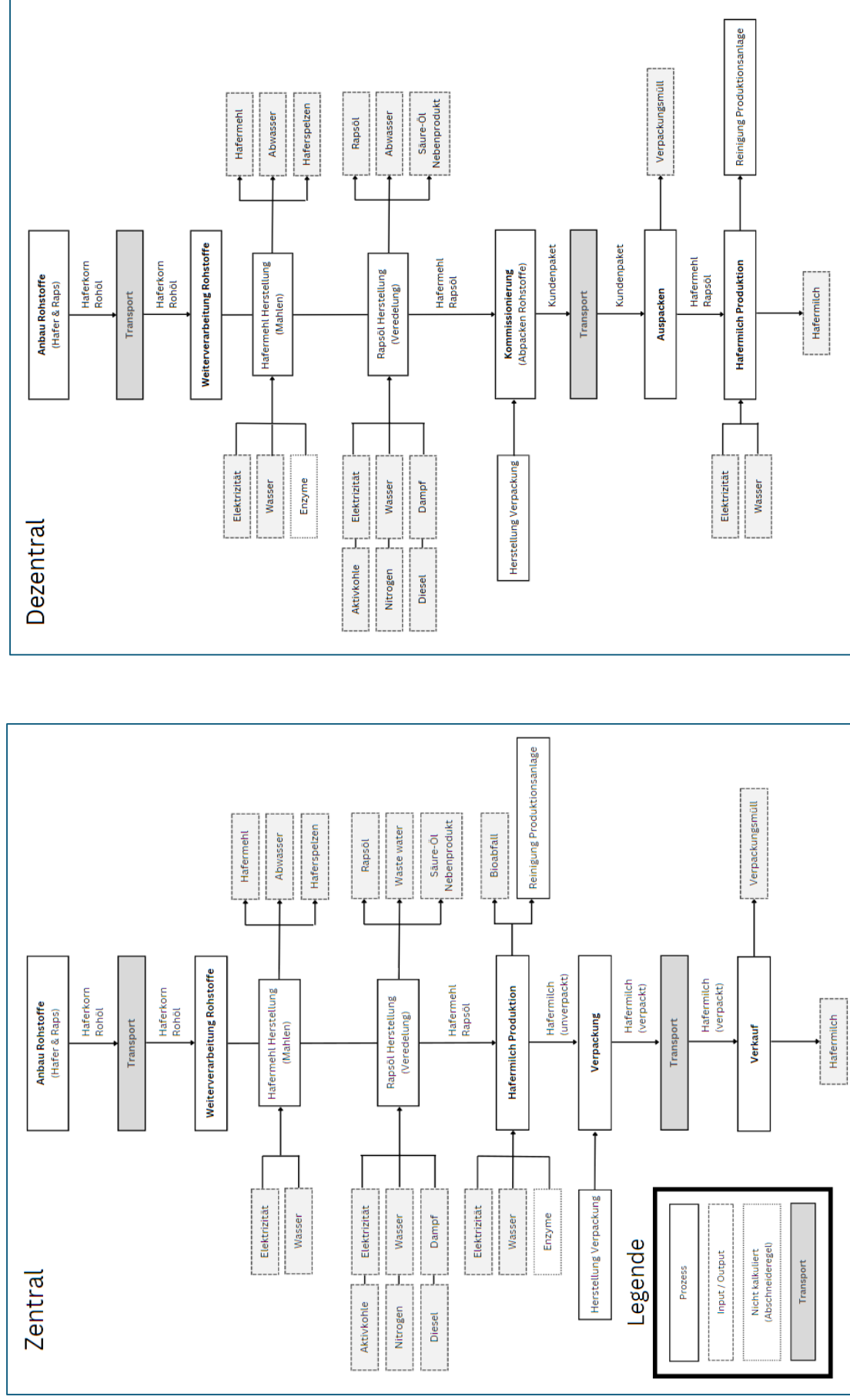


Abb. 1: Prozessflussdiagramm und Systemgrenzen eines Haferdrinks für die beiden Szenarien der zentralen und dezentralen Produktion. Das Diagramm zeigt nur die wichtigsten Inputs und Outputs. Eine Liste der ausgeschlossenen Prozesse wird in den Rahmenbedingungen beschrieben. Eine detaillierte Prozessbeschreibung ist in Tab. 2 und 3 zu finden.

Datenerhebung und Qualität der verwendeten Daten

Um einen Vergleich zwischen den beiden Produktionsformen zu ermöglichen, muss sichergestellt werden, dass alle Vor- und Zwischenprodukte auf der gleichen Grundlage bewertet werden. An den Stellen, an denen beide Produktionsformen miteinander vergleichbar sind, wie beispielsweise beim Anbau der Rohstoffe, erfolgt eine identische Modellierung. Weitere Anforderungen an eine Vergleichsstudie nach DIN EN ISO 14044 ist die Bewertung der Datenqualität (einschließlich Vollständigkeit und Repräsentativität der verwendeten Daten für beide Systeme) sowie eine Unsicherheitsbetrachtung.

An allen Stellen, wo weder eine konkrete Messung noch eine sinnvolle Berechnung möglich ist, wird eine begründete Schätzung vorgenommen. Die Datenqualität wird anhand der in Tab. 1 dargestellten allgemeinen Pedigree-Matrix zur Bewertung der Datenqualität einer Ökobilanz beurteilt.

Tab. 1: Pedigree-Matrix zur Bewertung der Datenqualität (mod. nach EPA 2016:18)

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

Die Bewertung aus Tab. 1 dient als Grundlage für die konkrete Bewertung der Datenqualität dieser Ökobilanz in Tab. 2 und 3. Diese Bewertung ist aufgeteilt in die zwei betrachteten Produktionssysteme sowie in die jeweiligen Phasen des Prozesses.

Life Cycle Inventory

Zentrale Produktion: Beschreibung des Modells

Tab. 2: Übersicht der aufeinanderfolgenden Phasen der zentralen Produktion mit Prozessbeschreibung und Datenquellen sowie deren Qualität

Life Cycle Stage	Prozessbeschreibung	Datenquelle; -qualität
Anbau Rohstoffe	Hafer: Berücksichtigung anbaubezogener Inputs und Ressourcen sowie Emissionen im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Inputs und Ressourcen (Distickstoffmonoxid, Ammoniak, Nit-	Datensatz ecoinvent; 2

Life Cycle Stage	Prozessbeschreibung	Datenquelle; -qualität
	rat, etc.). Emissionen aus Landnutzungsänderung und Torfoxidation sind ebenfalls enthalten.	
	Rohöl: Das Rohöl ist ein aus Raps gewonnenes Pflanzenöl und wird durch Kaltpressung in einer Ölmühle hergestellt.	Datensatz ecoinvent; 2
Transport zum Produzenten	Transport zum Verteilerzentrum, Einsatz Klasse Euro 6, >32 metric ton, durchschnittl. Distanz 500km angenommen.	Datensatz ecoinvent; (Statista 2024) 3
Herstellung Hafermehl	Reinigen, Sieben, Darren, Entspelzen, Flockieren und Mahlen in einem Schritt zusammengefasst Nebenprodukt Spelzen werden als Bioabfall betrachtet	Datensätze ecoinvent; (Decker et al. 2014) 3
Herstellung Rapsöl	Reinigung Raps, Destillation und Raffination in einem Schritt zusammengefasst Nebenprodukte werden nicht weitergehend betrachtet, da sie unter die Abschneideregeln fallen	Datensätze ecoinvent; (Hetherington 2014) 2
Haferdrink-Produktion	Prozessschritte: Vermischen, Rühren, Erwärmen, Fermentieren, Dispergierung, UHT-Erhitzung, Abfüllen Der Verbrauch (Energie, Wärme, Wasser) zur Erzeugung der Haferbasis und des fertigen Produkts wurde von Oatly auf der Grundlage von Daten aus den betreffenden Produktionsstätten bereitgestellt. Der Wasserverbrauch umfasst hier Wasser in der Rezeptur (Endprodukt) und die Wassermenge, die der Abwasserbehandlung zugeführt wird.	Datensatz ecoinvent; (Keijzer et al. 2023; Koch et al. 2023) 3
Herstellung Verpackung	Herstellung Getränkekarton: Verpackungsgewicht: 35g Materialien des Getränkekartons: 75 % Karton, 21 % Polyethylen (LDPE), 4 % Aluminium	Datensatz ecoinvent; (Rausing 1991) 2
Reinigung Produktionsanlage	Daten beruhen auf Schätzungen angelehnt an Produktionsdaten. Es wird Wasser, das für die Verarbeitung (hauptsächlich Reinigung) verwendet wird, betrachtet. Auch die Wassermenge, die der Abwasserbehandlung zugeführt wird, wird erfasst.	Datensatz ecoinvent; (DairyNZ 2024) 4
Transport zum Point-of-Sale	Weitertransport zum Einzelhandel, Einsatz Klasse Euro 5, >32 metric ton,	Datensatz ecoinvent; (Statista 2024)

Life Cycle Stage	Prozessbeschreibung	Datenquelle; -qualität
	durchschn. Distanz 500 km angenommen.	3
Entsorgung Verpackung	Entsorgung der Verpackung (Getränkkarton) über Haushaltsrestmüll.	Datensatz ecoinvent; 4

Dezentrale Produktion: Beschreibung des Modells

Tab. 3: Übersicht der aufeinanderfolgenden Phasen der dezentralen Produktion mit Prozessbeschreibung und Datenquellen sowie deren Qualität

Phase	Prozessbeschreibung	Datenquelle; -qualität
Anbau Rohstoffe	Hafer: Berücksichtigung anbaubezogener Inputs und Ressourcen sowie Emissionen im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Inputs und Ressourcen (Distickstoffmonoxid, Ammoniak, Nitrat, etc.). Emissionen aus Landnutzungsänderung und Torfoxidation sind ebenfalls enthalten.	Datensatz ecoinvent; 2
	Rohöl: Das Rohöl ist ein aus Raps gewonnenes Pflanzenöl und wird durch Kaltpressung in einer Ölmühle hergestellt.	Datensatz ecoinvent; 2
Transport zum Produzenten	Transport zum Verteilerzentrum, Einsatz Klasse Euro 6, >32 metric ton, durchschnittliche Distanz von 500 km	Datensatz ecoinvent; (Statista 2024) 3
Herstellung Hafermehl	Reinigen, Sieben, Darren, Entspelzen, Flockieren und Mahlen in einem Schritt zusammengefasst Nebenprodukt Spelzen werden als Biowaste betrachtet	Datensatz ecoinvent; (Decker et al. 2014) 3
Herstellung Rapsöl	Reinigung Raps, Destillation und Raffination in einem Schritt zusammengefasst Nebenprodukte werden nicht weitergehend betrachtet	Datensatz ecoinvent; (Hetherington 2014) 2
Zusammenpackung Paket	Hafermehl wird mit einer Enzymmischung vermengt und in PE-Beutel abgefüllt (à 0,5 kg). Rapsöl wird in 0,5 L Glasflasche abgefüllt. Es werden je 4 Hafermehlbeutel und 1 Öl-Flasche in einen Karton verpackt und versendet.	Datensatz ecoinvent; (Eigene Messungen) 1
Transport zum Point-of-Sale	Weitertransport zum Endverbraucher,	Datensatz ecoinvent; (Statista 2024)

Phase	Prozessbeschreibung	Datenquelle; -qualität
	Einsatz Klasse Euro 5, >32 metric ton, durchschnittliche Distanz 500 km.	3
Entsorgung Verpackung	Entsorgung der Verpackung über Haushaltsrestmüll und Altglas.	Datensatz ecoinvent; 2
Haferdrink Produktion	Prozessschritte: Entsorgung Verpackung der Rohstoffe Vermischen, Rühren, Erwärmen, Fermentieren	Datensatz ecoinvent; (Eigene Messungen) 1
Reinigung Produktionsanlage	Reinigung erfolgt nach der Herstellung von 5L Haferdrink und wird daher auf 1 L umgerechnet.	Datensatz ecoinvent; (Eigene Messungen) 1

Auswertung und Interpretation

Wirkungskategorien und -indikatoren

Umweltauswirkungen werden bis zur Ebene der Wirkungskategorien (ReCiPe-Midpoint Methodik ohne Berücksichtigung der Langzeiteffekte) berechnet. Die ausgewählten Wirkungskategorien werden in Tab. 4 dargestellt und erläutert (Huijbregts et al. 2017; DIN EN ISO 14044).

Beim Klimawandel handelt es sich um eine Leitkategorie der ökologischen Debatte. Die weiteren Wirkungskategorien stehen in engerem Zusammenhang mit der Erzeugung von Lebensmitteln.

Tab. 4: Ausgewählte Wirkungskategorien mit Einheit des zugehörigen Wirkungsindikators zur Bestimmung der Umweltauswirkungen

Midpoint-Wirkungskategorie	Einheit	Wirkungsindikator
Climate Change	kg CO ₂ -Eq	Global Warming Potential (GWP)
Freshwater Eutrophication	kg P eq.	Freshwater Eutrophication Potential (FEP)
Land Use	Annual Crop eq. y	Agricultural Land Occupation Potential (ALOP)

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Ökobilanz in den einzelnen Wirkungskategorien sind in Tab. 5 dargestellt. In der Kategorie Climate Change schneidet die dezentrale Produktionsform besser ab. Im Folgenden werden die einzelnen Wirkungsindikatorwerte näher untersucht.

Tab. 5: Ergebnisse der Berechnungen für die Wirkungskategorien GWP, FEP und ALOP der zentralen und dezentralen Produktion von 1 L bzw. 1000 L Haferdrink. Die dezentrale Produktion weist in Kategorien GWP und ALOP geringere Werte auf, in der Kategorie FEP hingegen einen geringfügig höheren Wert.

Midpoint Indicators	Einheit	Zentral	Dezentral	Relative Abweichung (Dezentral/Zentral)
Climate Change	kg CO ₂ -Eq (1 L Haferdrink)	0,387	0,306	79 %
Freshwater Eutrophication	kg P eq. (1000 L Haferdrink)	0,193	0,198	103 %
Land Use	Annual Crop eq. Y (1 L Haferdrink)	0,670	0,656	98 %

Durch die Beitragsanalyse ist eine Bewertung des Einflusses einzelner Lebenszyklusphasen auf die Ergebnisse der Wirkungskategorien möglich. Dadurch lassen sich die Phasen identifizieren, die den größten Einfluss auf die Wirkungskategorien tragen. Die in Abb. 2, 3, und 4 dargestellte Beitragsanalyse bezieht sich genauer auf die zentralen Kategorien Climate Change, Freshwater Eutrophication und Land Use.

Der ausschlaggebende Unterschied in der Wirkungskategorie GWP ist der Transport zum Point of Sale. Abb. 2 zeigt, dass im zentralen System der fertige Haferdrink transportiert wird und damit auch das enthaltene Wasser. Dies verursacht ein deutlich höheres Transportgewicht als das Kundenpaket im dezentralen System. Entsprechend werden auch mehr Emissionen beim Transport verursacht. Eine genauere Untersuchung des Transportprozesses erfolgt mittels einer Sensitivitätsanalyse.

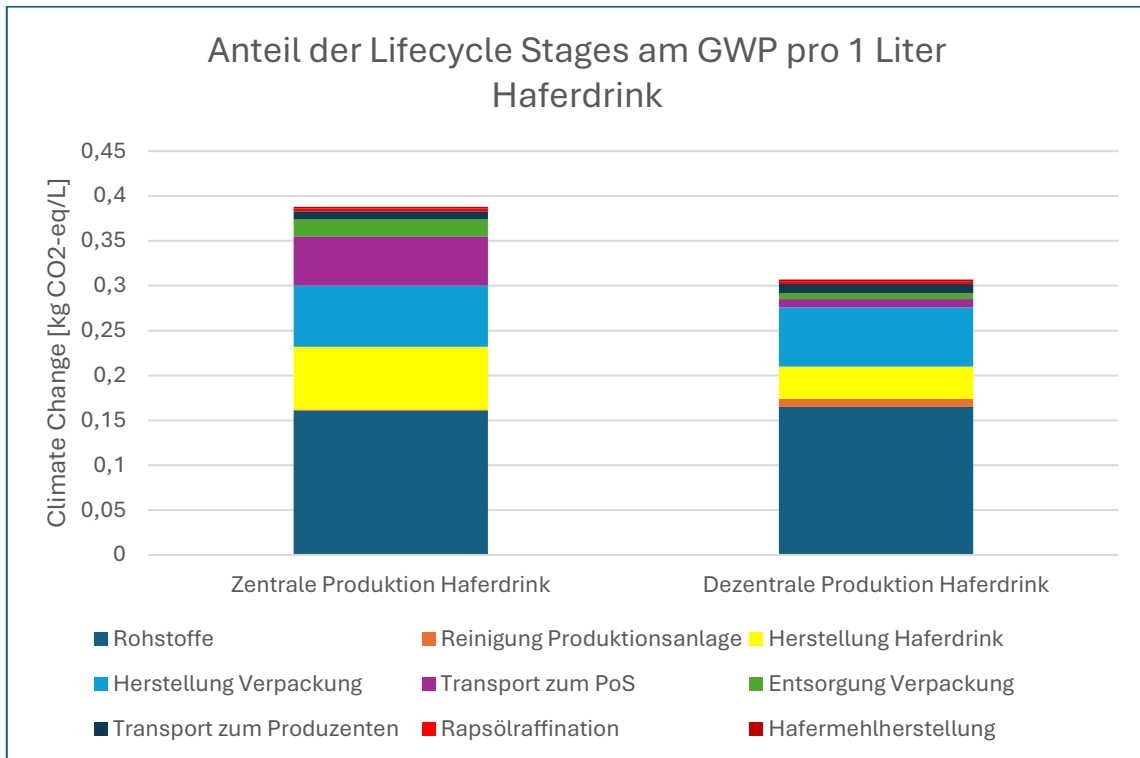


Abb. 2: Darstellung der Anteile aller Lebenszyklusphasen der zentralen und dezentralen Produktion von 1 Liter Haferdrink an der Wirkungskategorie Klimawandel. Der Transport zum PoS weist in der zentralen Produktion im Vergleich zur dezentralen Produktion einen deutlich höheren CO₂-Ausstoß auf. Die Phase Herstellung des Haferdrinks weist im zentralen Produktionssystem ebenfalls höhere Werte auf. Die Reinigung der Produktionsanlage fällt ausschließlich bei der dezentralen Produktion ins Gewicht. Alle weiteren Phasen zeigen vergleichbare Ergebnisse.

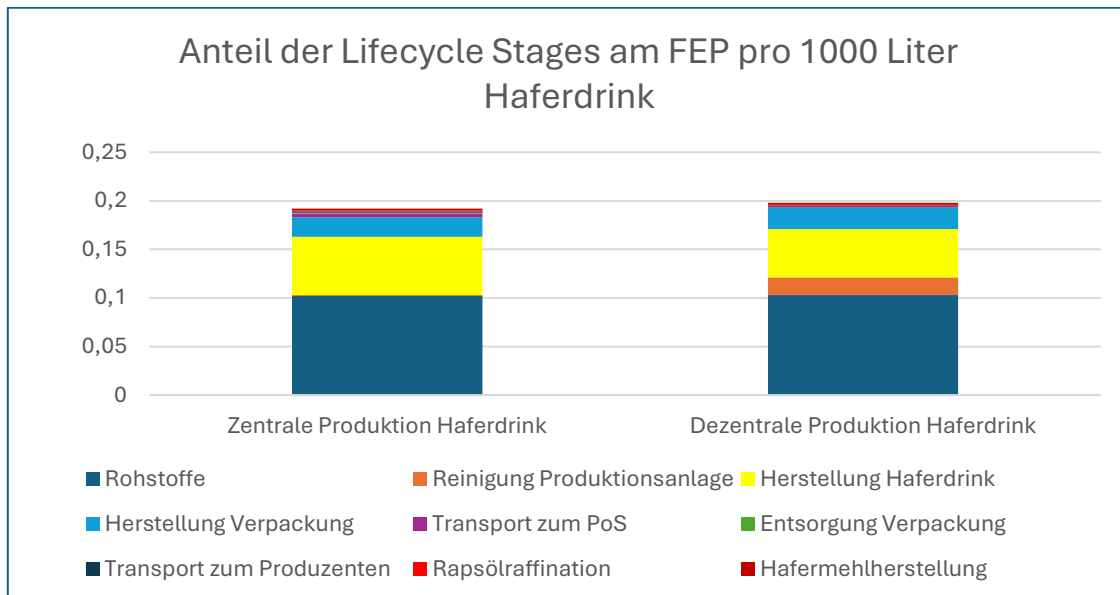


Abb. 3: Darstellung der Anteile aller Lebenszyklusphasen der zentralen und dezentralen Produktion von 1000 L Haferdrink an der Wirkungskategorie Frischwasser-Eutrophierung. Die Reinigung der Produktionsanlage hat auch hier allein in der dezentralen Produktion Einfluss auf das FEP. Alle weiteren Phasen weisen vergleichbare Ergebnisse auf. Der Unterschied ist gering und geht in der Datenunsicherheit unter.

Um in der Wirkungskategorie Freshwater Eutrophication sichtbare Ergebnisse zu erhalten, wird die funktionelle Einheit auf 1000 Liter Haferdrink geändert. Wie in Abb. 3 ersichtlich, liegt der ausschlaggebende Unterschied in der Phase „Reinigung der Produktionsanlage“. Das ist darauf zurückzuführen, dass verhältnismäßig in der dezentralen Produktion ein höherer Wasser- und Stromverbrauch zur Reinigung erforderlich ist.

In der Wirkungskategorie Land Use gibt es kaum ausschlaggebende Unterschiede zwischen den Produktionssystemen, lediglich der Anteil der Lebenszyklusphasen unterscheidet sich. Wie in Abb. 4 ersichtlich, ist im zentralen System der Landverbrauch hinsichtlich des Rohstoffanbaus geringfügig niedriger. Die Herstellung der Verpackung verursacht hier jedoch einen höheren Landverbrauch als im dezentralen System, da der verwendete Getränkekarton einen Holzanteil hat.

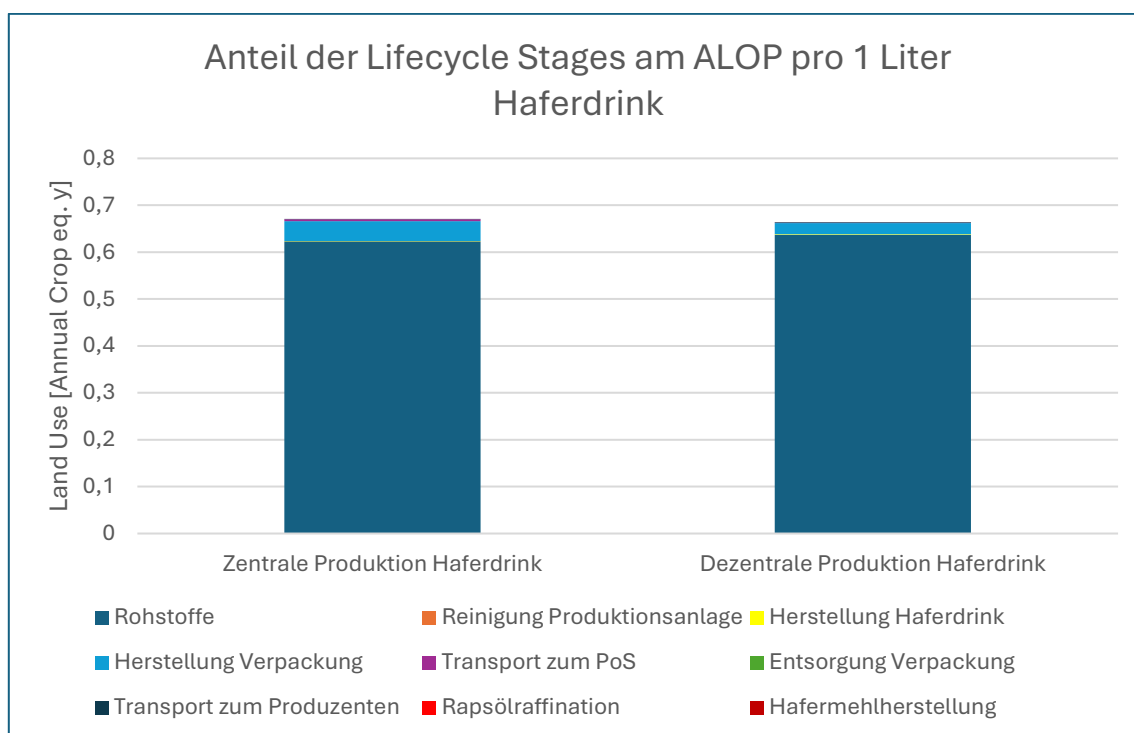


Abb. 4: Darstellung der Anteile aller Lebenszyklusphasen der zentralen und dezentralen Produktion von 1 Liter Haferdrink an der Wirkungskategorie Landverbrauch. Der Anbau der Rohstoffe trägt fast ausschließlich zum Landverbrauch bei. Daneben weist die Herstellung der Verpackung im zentralen Produktionssystem geringfügig höhere Werte als in der dezentralen Produktion auf. Alle weiteren Phasen sind zu vernachlässigen. Insgesamt ist der Unterschied gering und geht in der Datenunsicherheit unter.

Zur Einordnung der Ergebnisse zeigt Abb. 5 einen Vergleich von 1 Liter Haferdrink aus der zentralen und dezentralen Produktion (von der Wiege bis zum Ausschank) mit 1 Liter Kuhmilch (nur Rohproduktion). Die Kuhmilch weist im Allgemeinen ein um mehr als das Dreifache größeres GWP auf als der Haferdrink.

Demgegenüber fällt die Differenz zwischen zentraler und dezentraler Erzeugung deutlich geringer aus. Der Wirkungsindikatorwert der dezentralen Produktion ist um weitere 20 % niedriger als bei der zentralen Produktion.

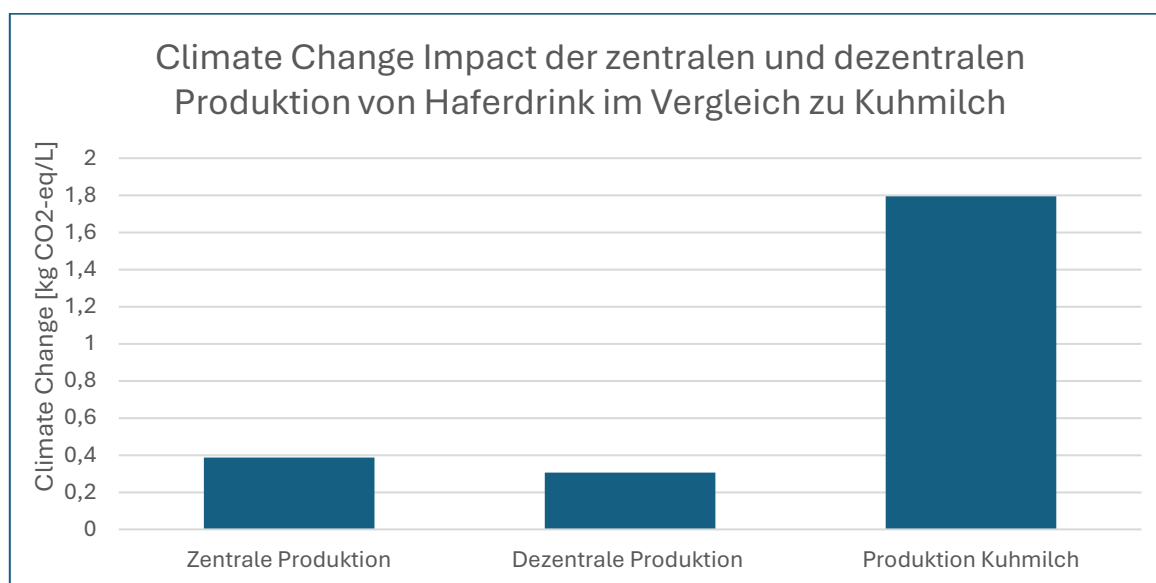


Abb. 5: Vergleich von 1 Liter Haferdrink aus der zentralen und dezentralen Produktion (von der Wiege bis zum *Ausschank*) mit 1 Liter Kuhmilch (nur Rohproduktion) in der Wirkungskategorie Climate Change Impact. Die Kuhmilch weist ein deutlich höheres GWP auf. Im Gegensatz dazu ist der Unterschied zwischen zentraler und dezentraler Produktion klein.

Sensitivitätsanalyse

Der Transportprozess der Haferdrink bzw. des Kundenpakets verursacht einen erheblichen Unterschied zwischen der zentralen und dezentralen Produktion. In beiden Modellen wird der Prozess zunächst mit identischer Transportstrecke und Fahrzeugen modelliert. Im Folgenden wird eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Transportprozesse durchgeführt, um diese in einer realistischeren Form abzubilden.

In der dezentralen Produktion erfolgt der Versand der Kundenpakete über einen externen Versanddienstleister. Hierbei werden gesammelt Pakete am Unternehmensstandort durch das Versandunternehmen abgeholt und zu einem Paketzentrum transportiert. Dort erfolgt der Weitertransport in ein Zustell-Depot in der Region des Empfängers. Beide Strecken werden mit einem 7,5 t Lkw durchgeführt. Von dort aus werden die Pakete in Kleintransporter geladen und an den Kunden zugestellt.

Tab. 6: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für eine differenzierte Transportmodellierung in der dezentralen Produktion im Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen. Der differenzierte Transportprozess verursacht in der Kategorie GWP mehr CO₂-Ausstoß. In den beiden anderen Wirkungskategorien sind die Unterschiede marginal.

Wirkungskategorie	Bisherige Transportmodellierung	Differenzierter Transportmodellierung
Climate Change	0,306 kg CO ₂ -Eq	0,365 kg CO ₂ -Eq
Freshwater Eutrophication	0,193 kg P eq. (1000 L Haferdrink)	0,204 kg P eq. (1000 L Haferdrink)
Land Use	0,656 Annual Crop eq. y	0,657 Annual Crop eq. y

Im zentralen Produktionssystem erfolgt der Versand meist über eine interne Versandlogistik. Die Haferdrink wird palettenweise in einem >32 t Lkw an ein Logistikzentrum transportiert und von dort in einem 16-32 t Lkw an den Einzelhandel.

Tab. 7: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für eine differenzierte Transportmodellierung in der zentralen Produktion im Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen. Der differenzierte Transportprozess verursacht in der Kategorie GWP mehr CO₂-Ausstoß. In den beiden anderen Wirkungskategorien sind die Unterschiede marginal.

Wirkungskategorie	Bisherige Transportmodellierung	Differenzierter Transportmodellierung
Climate Change	0,387 kg CO ₂ -Eq	0,404 kg CO ₂ -Eq
Freshwater Eutrophication	0,198 kg P eq. (1000 L Haferdrink)	0,194 kg P eq. (1000 L Haferdrink)
Land Use	0,670 Annual Crop eq. y	0,670 Annual Crop eq. y

Durch eine realistischere Modellierung der Transportprozesse verschlechtern sich beide Produktionsformen hinsichtlich des CO₂ Ausstoßes. Dennoch schneidet die dezentrale Produktion besser ab.

Diskussion

Im Vergleich zur zentralen Produktion weist die dezentrale Produktion von Haferdrink gemäß Tab. 5 in der Wirkungskategorie Climate Change eine deutliche und, wie die Sensitivitätsanalyse zeigt, signifikante Verbesserung um 20 % auf, während die anderen Wirkungskategorien in der Summe keine nennenswerten Unterschiede aufweisen. Innerhalb der einzelnen Phasen zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede in den Auswirkungen, je nach gewähltem Produktionssystem. In Bezug auf alle drei Wirkungskategorien lässt sich festhalten, dass der Anbau der Rohstoffe einen maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse ausübt, wobei dies für beide Produktionssysteme gleichermaßen gilt. In der Lebenszyklusphase des Rohstoffanbaus kann aus der vorliegenden Untersuchung kein Verbesserungspotential abgeleitet werden, zumal Anbau- und Haltungsmethode nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind.

Einzig die geographische Verortung kann ausschlaggebend sein, da diese die Transportdistanz zwischen Anbauort und Produktionsstätte beeinflusst. In Bezug auf die Phase der Transporte ist eine differenzierte Betrachtung erforderlich. Zum einen spielt der Standort des Anbau-Ortes der Rohstoffe in Bezug auf den CO₂-Ausstoß eine große Rolle, zum anderen auch der Standort des Unternehmens und Transport zum Kunden, da mit zunehmender Distanz der jeweiligen Transportwege sich auch die Auswirkungen auf die Wirkungskategorien erhöhen. Daher ist es empfehlenswert, den Ort des Rohstoffanbaus und den Unternehmensstandort in räumlicher Nähe zueinander zu planen. So können geringe Distanzen gewährleistet werden. Ebenfalls ist es von Vorteil, kurze Versandwege zwischen Unternehmen und Endkunde zu erreichen.

Eine detaillierte Analyse der Wirkungskategorie ALOP zeigt, dass neben der Phase Rohstoffe auch die Herstellung der Verpackung in beiden Systemen einen hohen Einfluss hat. Dies resultiert daraus, dass zur Herstellung von Verpackungsmaterialien ebenfalls Rohstoffe wie beispielsweise Holz angebaut werden müssen und dafür folglich auch Anbauflächen benötigt werden. Eine Reduktion der verwendeten Verpackungen sowie der Einsatz von nachhaltigen Materialien kann zu einer Verbesserung in dieser Phase beitragen.

Hinsichtlich der Wirkungskategorie FEP hat erneut die Phase der Rohstoffe den größten Einfluss, da es durch den Einsatz von Düngemitteln beim Anbau zur Überdüngung der Gewässer kommt. Zur Einordnung dieser Ergebnisse ist ein Vergleich mit dem Wirkungsindikator der FEP der Kuhmilch notwendig. So beschreibt Khanpit et al. (2024) einen durchschnittlichen Phosphor-eq.-eintrag von 0,004 kg P-eq/kg Kuhmilch. Der Phosphor-Eintrag der zentralen Produktion mit 0,000198 kg P-eq/kg Haferdrink und dezentrale mit 0,000193 kg P-eq/kg Haferdrink fällt damit deutlich geringer aus. Auch hier zeigt sich, dass ein Umstieg von Kuhmilch auf Haferdrink eine erheblich größere Verbesserung hervorruft als der Wechsel von zentraler zu dezentraler Herstellung.

Im allgemeinen Vergleich zu Kuhmilch weist der Haferdrink in der Wirkungskategorie GWP eine deutlich bessere Bilanz auf, wie in Abb. 5 ersichtlich. Es gilt jedoch zu beachten, dass der Haferdrink in seiner Produktion nur ein geringes Potential für eine ökologische Verbesserung aufweist. Demgegenüber führt der Wechsel von Kuhmilch zu Haferdrink zu einer signifikanten Reduktion der CO₂-Emissionen, so dass eine weitere Verbesserung kaum mehr ins Gewicht fällt. Insofern kann ein genereller Umstieg auf einen Haferdrink empfohlen werden.

Es kann festgehalten werden, dass im Falle des Haferdrinks die dezentrale Produktion hinsichtlich der Ökobilanz besser abschneidet und damit im Sinne der Nachhaltigkeit zu bevorzugen ist.

Um die hier getroffenen Aussagen zur Nachhaltigkeit der Produktionssysteme verallgemeinern zu können, ist eine Ausweitung der Betrachtung auf weitere Produkte erforderlich. Ein wichtiger sich ergebender Hinweis lautet, dass bei Produkten, die als Ausgangsstoff ein geringes Gewicht, als fertiges Produkt jedoch ein hohes Gewicht aufweisen, die Transportprozesse nennenswert ins Gewicht fallen. Demgegenüber lässt sich der Hinweis entnehmen, dass die Reinigungsaufwendungen bei dezentraler Produktion um ein Vielfaches wichtiger sein können als bei zentraler Produktion. Dabei ist wichtig zu beachten, dass die dezentrale Produktionsform nicht für jedes Produkt geeignet ist oder nicht eingesetzt werden sollte. Durch die industrielle Verarbeitung von Lebensmitteln kann die Haltbarkeit oder Nährstoffverfügbarkeit verbessert werden sowie der Geschmack optimiert und unerwünschte Stoffe entfernt werden. Im Falle des Haferdrink wird dieser häufig mit lebensmitteltechnologisch oder pharmazeutisch produzierten Nahrungsergänzungstoffen angereichert. Kuhmilch enthält hingegen naturbelassene Inhaltsstoffe wie Kalzium und Vitamin C. Diese Unterschiede sind jedoch für unsere Betrachtung irrelevant, da die ernährungsphysiologisch zugefügten Nährstoffe unter die Abschneideregeln fallen. Infolgedessen ist eine Abwägung erforderlich, in welcher Produktgruppe eine dezentrale Produktion sinnvoll angewandt werden kann.

Des Weiteren ermöglicht die Durchführung von Sensitivitätsanalysen die Bestimmung des Einflusses einzelner Prozessparameter auf das Gesamtergebnis. So ist es möglich, durch geringfügige Modifikationen eine weitere Optimierung der Produktionssysteme zu erzielen. Das gesamte Potential zur Verbesserung der Ökobilanz ist in diesem Fall jedoch als gering einzustufen.

Literatur

Almena A, Lopez-Quiroga E, Fryer PJ, Bakalis S (2019): Towards the decentralization of Food manufacture: effect of scale production on economics, carbon footprint and energy demand. In: Energy Procedia 161 (2019) 182-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.080>.

BVE – Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie (2020): Jahresbericht 2019/20, Berlin. <https://www.bve-online.de/download/bve-jahresbericht-ernaehrungsindustrie-2020>, (zuletzt abgerufen am 23.10.2024).

DairyNZ (2024): Cleaning your milking system. <https://www.dairynz.co.nz/-milking/milking-plant-maintenance/cleaning-your-milking-system/> (zuletzt abgerufen am 29.09.2024).

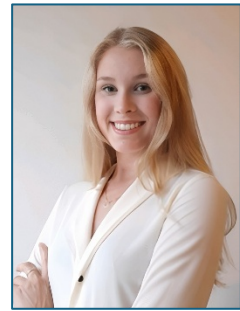
Decker E, Rose D, Steward D (2014): Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. In: British Journal of Nutrition 112 (2014) 58-64. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000711451400227X>.

- EPA -U.S. Environmental Protection Agency (Hg.) (2016): Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=321834 (zuletzt abgerufen am 11.11.2024).
- 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.
- 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.
- Garnett T (2011): Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? In: Food Policy 36 (2011) 23-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.010>.
- Hetherington A (2014): Life Cycle Assessment of The Production Of Edible Oil Emulsions. Comparing A Novel Process Route Using Aqueously Extracted Oil-Bodies Against Existing Technology. Dissertation. University of Bath. https://pure-host.bath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/187947482/Hetherington_AC_Thesis_Approved.pdf (zuletzt abgerufen am 10.10.2024).
- Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira M, Zijp M, Hollander A, van Zelm R (2017): ReCiPe2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In: Int. Journal of Life Cycle Assessment 22 (2017) 138–147 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.
- Keijzer E, te Pas C, Herrera E, Takou V (2023): LCA of Oatly Original US and compare with cow milk. LCA Report. <https://blonksustainability.nl/news/footprint-of-oatly> (zuletzt abgerufen am 23.10.2024).
- Khanpit V, Viswanathan S, Hinrichsen O, (2024): Environmental impact of animal milk vs plant-based milk: Critical review. In: Journal of Cleaner Production 449 (2024) 141703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141703>.
- Koch L, Schott L, Murnik J, Repp A, Späte M, Schreiter L (2023): Ökobilanzierung der Haferdrinkherstellung. Unveröffentlichtes Manuskript. Hochschule Niederrhein.
- Rausing H (1991): Pack for liquids. US4998668A Tetra Pak International AB. <https://patents.google.com/patent/US4998668A/en> (zuletzt abgerufen am 24.10.2024).
- Statista (2024): Anzahl der gemeldeten Nutzfahrzeuge in Deutschland nach Schadstoffgruppen am 1. Januar 2024. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/287009/umfrage/anzahl-der-lkw-in-deutschland-nach-schadstoffgruppen> (zuletzt abgerufen am 15.09.2024).

Autor/in

Sophie Schwinn *BEng* (Korrespondenzautorin) und Prof. Dr. Christof Menzel, Fachbereich Oecotrophologie, Hochschule Niederrhein, 41065 Mönchengladbach, Rheydter Straße 277

Kontakt: sophieschwinn@gmx.de



© S. Schwinn

Interessenkonflikt

Es besteht kein Interessenkonflikt. Der Beitrag beruht auf den Ergebnissen eines unabhängigen Forschungsprojekts zum Thema „Ökobilanz von Haferdrink als Beispiel für Nachhaltigkeitsunterschiede bei zentraler und dezentraler Produktion“ (Hochschule Niederrhein, Betreuer: Prof. Dr. Menzel).

Zitation

Schwinn S & Menzel Ch (2025): Ökobilanz von Haferdrink als Beispiel für Nachhaltigkeitsunterschiede bei zentraler und dezentraler Produktion. *Hauswirtschaft und Wissenschaft* (73) 2025 (ISSN online 2626-0913) <https://haushalt-wissenschaft.de> doi: 10.23782/HUW_11_2024