

Sachbilanz-Studie der Zubereitung verschiedener Lebensmittel

Dominik Tempel, Uwe Großmann, Christof Menzel

Im Rahmen eines Forschungsprojektes im Masterstudiengang „Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften – Fachrichtung Management der Lebensmittelverarbeitung“ an der Hochschule Niederrhein (Fachbereich Oecotrophologie) wurde die Frage untersucht, inwiefern die zubereitete Speisemenge einen Einfluss auf das Ausmaß der Umweltauswirkungen hat, speziell, ob sich die Zubereitung einer größeren Menge eines Lebensmittels (z. B. in einer Großküche) gegenüber der Zubereitung kleinerer Mengen (z. B. im Privathaushalt) vorteilhaft auf die Umwelt auswirkt. Zu diesem Zweck wurde eigens ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe die Zubereitungen unterschiedlicher Speisemengen miteinander verglichen werden können. Erste Ergebnisse zeigen Vorteile für die Zubereitung im Großhaushalt. Für Reis und Nudeln sind die im Privathaushalt verursachten Auswirkungen je nach Wirkungskategorie etwa 1,5 bis 3,6 Mal so hoch wie für die gleichen Lebensmittel im Großhaushalt. Die Entwicklung des Verfahrens ist jedoch noch nicht endgültig abgeschlossen und wird weiterbetrieben, damit zusätzliche Aspekte berücksichtigt werden können, welche die Umweltbilanzen in den beiden Haushaltstypen ggf. beeinflussen und zu Unterschieden führen (z. B. die Lagerung der Lebensmittel in Kühlhäusern im Vergleich zur Lagerung in Kühlschränken). Diese Punkte sollen im weiteren Verlauf näher betrachtet und wenn notwendig das Verfahren dementsprechend angepasst werden.

1 Einleitung

Sämtliche Be- und Verarbeitungsschritte entlang der Wertschöpfungskette eines Produktes haben direkt oder indirekt Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. durch den Ausstoß von CO₂ oder Nutzung von Süßwasser). Um diese Umweltauswirkungen zu quantifizieren, werden sogenannte Ökobilanzen (engl.: Life Cycle Assessment oder kurz LCA) erstellt.

Verschiedene Studien und Veröffentlichungen haben gezeigt, dass der Endverbraucher durch die Zubereitung von Lebensmitteln einen beträchtlichen Anteil der gesamten Umweltauswirkungen von Lebensmitteln verursacht (Öko-Institut e.V. 2010; PCF Pilotprojekt Deutschland 2009). Auch Messungen im eigenen Hause haben dies in einem Spezialfall bestätigt (Klabunde 2010).

Im Rahmen eines Forschungsprojektes im Masterstudiengang „Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften – Fachrichtung Management der Lebensmittelverarbeitung“ an der Hochschule Niederrhein (Fachbereich Oecotrophologie) wurde diesbezüglich die Frage untersucht, inwiefern die zubereitete Speisemenge einen Einfluss auf das Ausmaß der Umweltauswirkungen hat. Speziell wurde die Frage gestellt, ob die Zubereitung einer größeren Menge eines Lebensmittels (z. B. in einer Großküche) gegenüber der Zubereitung kleinerer Mengen (z. B. im Privathaushalt) Vorteile bzgl. der Auswirkungen auf die Umwelt besitzt.

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass nicht immer ohne Weiteres klar ist, welche Varianten eines Systems die ökologisch auswirkungärmeren sind. So ergab beispielsweise eine

niederländische Studie, dass die verursachten Umweltauswirkungen bzgl. der Verwendung von Trinkgefäßen maßgeblich von den Verwendern beeinflusst werden und Kunststoff- oder Papierbecher nicht zwingend nachteilig gegenüber Porzellantassen sein müssen (Lightart und Ansems 2007). Blanke und Burdick wiesen nach, dass aus Neuseeland nach Deutschland importierte Äpfel im Monat April eine bessere Ökobilanz aufweisen als Äpfel, die in Deutschland geerntet wurden (Blanke/Burdick 2005).

Zur Untersuchung, wie sich die Zubereitung im Großhaushalt von der im Privathaushalt hinsichtlich der Umweltauswirkungen unterscheidet, und ob es hier eher Vor- oder Nachteile gibt, wurde eigens ein Verfahren entwickelt. Bei diesem können die Zubereitungen unterschiedlicher Mengen miteinander verglichen werden.

1.1 Hintergrund: Ökobilanz

Ökobilanzen bezeichnen ein methodisches Vorgehen zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen (z. B. Emissionen, Wasserverschmutzung und Bodennutzung), die mit einem Produkt zusammenhängen. Dabei werden je nach gesetzten Systemgrenzen alle Stufen der Wertschöpfungskette, der Nutzungsphase und der Entsorgung eines Produktes betrachtet (Publication Office of the European Union 2010; Hermansen/Nguyen 2012). In der Norm DIN EN ISO 14040 (Norm DIN EN ISO 14040:2009-11) über die „Grundsätze und Rahmenbedingungen“ von Ökobilanzen ist diese wie folgt beschrieben:

„Die Ökobilanz bezieht sich auf die Umweltaspekte und potenziellen Umweltwirkungen (z. B. Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d. h. 'von der Wiege bis zur Bahre')“ (Norm DIN EN ISO 14040:2009-11, S. 4).

Je nach betrachtetem Produkt ergibt sich – durch die unterschiedliche Anzahl von der eigentlichen Produktion vor- und nachgelagerten Prozessen – eine mehr oder weniger komplexe Struktur zu betrachtender Elemente. Die Festlegung der zu betrachtenden Elemente bezeichnet hierbei die Systemgrenzen. Deshalb müssen beispielsweise bei der Betrachtung der Produktion von Schweinefleisch auch die Herstellung der Düngemittel für den Anbau der Futtermittel, der Prozess des Anbaus, dieser selbst und die dazugehörigen Transport- und Emteprozesse mit berücksichtigt werden.

Das primäre Ziel einer jeden Ökobilanz ist die Evaluierung der Umweltauswirkungen, die durch Anbau/Herstellung, Be- und Verarbeitung und Entsorgung eines Produktes im Rahmen der Systemgrenzen verursacht werden. Dabei geht es vorrangig um die Identifikation der hauptsächlichen Emissionsquellen von Treibhausgasen und damit vor allem um den Energieverbrauch (aus fossilen Brennstoffen) sowie um den Ge- bzw. Verbrauch von Ressourcen (Rohstoffeinsatz) (Franchetti und Apul 2013). Zur einfacheren Vergleichbarkeit von Ergebnissen wird eine funktionelle Einheit, d. h. ein be-

stimmter quantitativer Nutzen festgelegt. Sie bestimmt, welche Menge des Produkts im betrachteten System bei den Berechnungen berücksichtigt wird (Guinée 2002; Klöpffer/Grahl 2009). Wird die funktionelle Einheit beispielsweise auf die Bereitstellung von 1 kg Schokolade festgelegt, kann dies je nach System bedeuten, dass entweder zehn Tafeln je 100 g oder vier Tafeln je 250 g für die Berechnung der Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Dennoch können beide Systeme miteinander verglichen werden, da sich die Auswirkungen auf einen identischen Nutzen beziehen.

Durch die Identifizierung dieser Kernbereiche können im Anschluss an die Betrachtung gezielte Maßnahmen durchgeführt werden, um die Prozesse effizienter zu gestalten. Somit ergeben sich neben den ökologischen Aspekten auch ökonomische Vorteile für Unternehmen: Ein geringerer Energieverbrauch und ein effizienterer Rohstoffeinsatz bedeuten auch geringere Kosten (Franchetti/Apul 2013; Green House Gas Protocol Initiative 2013).

1.2 Hintergrund: Forschungsprojekt

Seit dem Sommersemester 2014 beschäftigt sich eine Forschungsgruppe am Fachbereich Oecotrophologie der Hochschule Niederrhein mit dem Thema „Ressourcenanalyse und -bilanzierungsmethoden unter Anwendung des softwaregestützten Life Cycle Assessment (LCA) im Lebensmittelbereich“. Hintergrund hierfür ist, dass der Anteil des Ernäh-

Life cycle inventory study for the preparation of different foods

Every process along the supply chain of a product yields an indirect or direct contribution to the environment (e.g. because of the emission of CO₂ or the use of freshwater). To quantify these environmental impacts so called Life Cycle Assessments (LCA) are used. Different studies and publications have shown that the end-consumer causes a substantial amount of the environmental impact of food by cooking and cooking-related processes (Öko-Institut e.V. 2010; PCF Pilotprojekt Deutschland 2009). A study performed at the department of Food and Nutrition Science in Mönchengladbach (HS Niederrhein) also confirmed these statements for a particular case (Klabunde 2010). To have a closer look on this theme, a research project with students of the Masters course “Nutrition and food science – Food Processing Management” was founded. Within the scope of this project it was investigated to what extent the amount of food preparation yields a contribution to the amount of environmental effects. In detail the researcher considered whether the preparation of a larger amount of food (e.g. in a canteen kitchen) is more advantageous regarding environmental impacts than the preparation of smaller amounts (e.g. in private kitchens).

Different studies have shown that it is not always entirely clear which alternative of a system is the one with the least ecological effects. A Dutch study for example revealed that the environmental impact of drinking cups is dominated by the consumer and that plastic or paper cups are not necessarily more disadvantageous than porcelain cups (Lightart und Ansems 2007). Blanke and Burdick demonstrate in a study that in April apples imported from New Zealand to Germany have a better LCA than apples harvested in Germany (Blanke und Burdick 2005).

These examples show that is important to take a closer look even if the result seems to be clear, especially in the case of LCA. The researcher developed a method to answer the question whether the preparation of food in large households is different to the preparation in small households regarding the environmental impacts. With this method it is possible to compare the preparation of different amounts of food. First results show that there seems to be an advantage for the preparation of larger amounts of food in canteen kitchens. In the cases of rice and noodles the environmental impact of the preparation in a private kitchen is (depending on the impact category) 1.5 to 3.6 times higher than in a commercial one.

Nevertheless, the development of the method is still in progress and not fully finished, as there are some uncertain points the contributions of which are not clarified yet and need to be considered more closely (e.g. the storage of food in cold storage houses vs. the storage in refrigerators). If necessary the method will be adjusted due to new insights.

rungssektors an den Gesamt-Umweltauswirkungen in verschiedenen Wirkungskategorien nicht unerheblich ist. In Deutschland trägt dieser Sektor beispielsweise etwa 16-20 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei (BMELV 2008, S. 19; Wiegmann et al. 2005, S. 25). Eine Studie im Auftrag der europäischen Kommission zum „Environmental Impact of Products (EIPRO)“ hat ebenfalls ergeben, dass Produkte aus dem Bereich Lebensmittel, Getränke und Tabak für 20-30 % der insgesamt durch Konsum verursachten Umweltauswirkungen verantwortlich sind (Tukker et al. 2006). Der Anteil der hierbei direkt durch Verbraucheraktivitäten verursachten Emissionen ist relativ hoch und liegt, je nach Quelle, anteilig bei etwa 29-45 % – gemessen an den Gesamtemissionen des Ernährungssektors (Kramer et al. 1994; BMELV 2008). Der direkte Einfluss des Verbrauchers durch seinen Konsum auf die Gesamtemissionen in Deutschland liegt demnach bei etwa 6-9 %.

Die (direkte) Einflussnahme des Verbrauchers beginnt schon bei der Wahl der Einkaufsstätte und des Fortbewegungsmittels. Eine Forschergruppe der Justus-Liebig-Universität Gießen hat in verschiedenen Studien den Anteil des Einkaufsweges am Consumer Carbon Footprint (CCF) untersucht (Sima et al. 2012; Mohr/Schlich 2013). Hierbei stellte sich heraus, dass auf der „last dirty mile“ (Einkaufsfahrt des Verbrauchers) eine verhältnismäßig hohe Menge CO₂-Eq verursacht wird. Pro Kilogramm Einkauf in einem Supermarkt in Gießen werden etwa 124 g CO₂-Eq emittiert (Mohr/Schlich 2013, S. 33). Durch den Einkauf in einem Biosupermarkt in Hessen sind es durchschnittlich etwa 1.000 g CO₂-Eq (Mohr/Schlich 2013, S. 70-71). Allein durch die Wahl des Fortbewegungsmittels (z. B. Auto oder Bus) hat der Verbraucher somit eine große Einflussmöglichkeit auf die Gesamt-CO₂-Bilanz seiner Lebensmittel.

Weiterhin zeigte sich bei einer Untersuchung im Rahmen des Product-Carbon-Footprint(PCF)-Pilotprojekt Deutschland, dass bei einer Tasse Kaffee ca. 30 % der Gesamtemissionen an CO₂-Eq bei der Zubereitung (beim Endverbraucher) entstehen. Auch eine Untersuchung von Tiefkühl-Fertiggerichten ergab, dass der Verbraucher durch die Wahl der Zubereitungsmethode sehr hohe Einflussmöglichkeiten auf die Gesamt-CO₂-Eq-Emissionen hat (PCF Pilotprojekt Deutschland 2009). Durch Untersuchungen des Öko-Institut e.V. konnte dieses Ergebnis bestätigt werden. Es ermittelte, dass der Anteil der durch Kochen und Backen verursachten CO₂-Eq-Emissionen rund 30 % der jährlichen Gesamtemissionen eines Zwei-Personen-Haushaltes ausmachen (Öko-Institut e.V. 2010).

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse ergab sich die Frage, wie groß der Einfluss der Zubereitung generell ist und inwieweit die zubereitete Speisemenge sowie die Art der Zubereitung und die verwendeten Geräte einen Einfluss auf die verursachten Umweltauswirkungen haben. Zur Klärung dieser Frage wurde die Untersuchung der Lebensmittelzubereitung für verschiedene Haushaltsgrößen (Groß- und Privathaushalt) geplant. Die Zubereitung erfolgt jeweils unter Anwendung typischer Garverfahren und Geräte für Groß- bzw. Privathaushalte.

Ziel sind vor allem Erkenntnisse darüber, ob und in welchem Maße sich die Zubereitung größerer Mengen von Speisen in einer Einrichtung zur Gemeinschaftsverpflegung (Großhaushalt) im Vergleich zur Zubereitung kleinerer Mengen in einem Privathaushalt hinsichtlich der Umweltauswirkungen unterscheidet.

2 Methodik der durchgeführten Sachbilanzierung

Zur systematischen Untersuchung des Teilaspektes der Zubereitung im Lebenszyklus eines Lebensmittels wurde zuerst ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, neben der eigentlichen Sachbilanzierung auch die verschiedenen Zubereitungsmengen miteinander zu vergleichen. Neben der Lebensmittelzubereitung wird hierbei auch die Produktion und Entsorgung der Lebensmittelverpackung (Primärverpackung) mit einbezogen, damit auch ggf. entstehende Vor- bzw. Nachteile durch unterschiedliche Verpackungen bzw. Verpackungsgrößen in Privathaushalt und Gastronomie mit zu berücksichtigen sind. Es erfolgt explizit die Betrachtung und Berechnung einzelner Komponenten (z. B. Reis, Nudeln, Kartoffeln). Im Laufe der Zeit soll so ein Katalog mit Umweltdaten zur Zubereitung vieler verschiedener Lebensmittel erstellt werden. Auf diese Weise sollen zukünftig Menüs modular aus den Komponenten zusammengestellt und ihre Umweltauswirkungen berechnet werden.

2.1 Rahmenbedingungen

Die grundsätzlichen Leitlinien und Entscheidungsgrundlagen bei der Durchführung von Ökobilanzen bzw. Sachbilanzen bilden die Normen DIN EN ISO 14040 (Norm DIN EN ISO 14040:2009-11) und DIN EN ISO 14044 (Norm DIN EN ISO 14044:2006-10), die auch hier Anwendung finden. Darauf fußend wurden die im Folgenden aufgeführten Rahmenbedingungen festgelegt. Diese sind bei jeder Untersuchung nach dem entwickelten Verfahren einzuhalten, um eine Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

2.1.1 Produktsystem und verwendete Produkte

Für die Zubereitung nach Maßstab im Privat- und Großhaushalt sind jeweils identische Produkte der gleichen Art und Marke zu verwenden. Dadurch werden Abweichungen auf Grund von Unterschieden in der Produktbeschaffenheit und Sortenunterschiede weitgehend ausgeschlossen. Für die Untersuchung wurden daher nur Produkte verwendet, die sowohl in Gebindegrößen für den Privathaushalt als auch solche für einen Großhaushalt angeboten werden.

2.1.2 Zubereitungsmenge

Die Zubereitungsmengen richten sich zum einen nach den durchschnittlichen Haushaltsgrößen im jeweiligen Land. Für Deutschland gelten folgende Größen (Stand August 2015):

■ Privathaushalte in Deutschland hatten laut den statistischen Ämtern des Bundes und der Länder im Jahr 2013 eine durchschnittliche Größe von 2,02 Personen (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014). Gerundet wird eine Größe von zwei Erwachsenen zugrunde gelegt.

■ Für Großhaushalte werden 20 Erwachsenen angenommen. Diese Zahl beruht auf der Annahme, dass das Kochen ab etwa dieser Personenzahl in einem durchschnittlichen Privathaushalt nicht mehr durchgeführt wird. Grund hierfür ist die vermutete Erschöpfung der Kapazitäten (Größe und Anzahl der Kochtöpfe etc.), sodass i. d. R. mit dieser Personenzahl in Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung gespeist wird.

Die gewählte Zahl von 20 Personen für den Großhaushalt ist relativ klein. Im Jahr 1995 bereiteten 42 % der Einrichtungen zur Gemeinschaftsverpflegung im Durchschnitt etwa 200-300 Essen pro Tag zu und damit über 90 % der gesamten Außer-Haus-Essen pro Tag (Hilger 2000, zit. nach Kranert et al. 2012, S. 36). Die meisten Großhaushalte bereiten demnach wesentlich größere Speisemengen zu. Die gewählte Zahl kann daher als eine Art Minimalszenario angenommen werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist daher zu berücksichtigen, dass ein etwaiger Vorteil durch die Zubereitung größerer Mengen in einem realen Betrieb, der die Lebensmittel in größeren Mengen als 20 Portionen zubereitet, noch stärkere Auswirkungen hätte als mit diesem Verfahren ermittelt wird.

Der zweite Aspekt für die Bestimmung der Zubereitungs-menge ist eine aus ernährungsphysiologischer Sicht sinnvolle Portionsgröße. Diese wird für die entsprechende Personenzahl zubereitet. Die Portionsgröße ist einer aktuellen und wissenschaftlich fundierten Quelle zu entnehmen. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde dazu die Nährwertabelle nach Hesecker verwendet (Hesecker und Hesecker 2010).

Bei frischen Produkten, wie beispielsweise Gemüse (Blumenkohl o. Ä.), ist jeweils eine entsprechend sinnvolle Menge an Einheiten zuzubereiten, auch wenn dies die benötigte Menge übersteigt (z. B. ein ganzer Kopf Blumenkohl). Hintergrund ist die Annahme, dass auch in einem Privat- oder Großhaushalt bei diesen Produkten jeweils ganze Einheiten zubereitet und Überschüsse ggf. gelagert werden.

2.1.3 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit dient die Menge von 0,100 kg zubereitem, gegartem und verzehrfertigem Produkt. Alle Umweltauswirkungen werden – unabhängig von der zubereiteten Menge – dementsprechend jeweils auf 0,100 kg des zubereiteten Lebensmittels skaliert, wobei die im vorigen Abschnitt beschriebenen Zubereitungsmengen zugrunde gelegt werden. Dadurch können auch die Ergebnisse unterschiedlicher Mengen miteinander verglichen werden.

2.1.4 Systemgrenzen/Abschneidekriterien

Bei der Untersuchung werden die Prozesse betrachtet, die direkt mit der Zubereitung des/der Lebensmittel(s) zusammen-

hängen. Zusätzlich wird die Verpackung inklusive deren Herstellung und Entsorgung einbezogen. Es werden demnach folgende Punkte betrachtet:

■ alle Arbeitsschritte ab dem Zeitpunkt des Beginns der Zubereitung der Speisen in der Küche bis zur Servierbereitschaft/Verzehrbarkeit

■ Verwertung und Entsorgung gebrauchter Produkte und von Rüstverlusten

■ Herstellung und Entsorgung von Verpackungsmaterialien für die Lebensmittel

■ Herstellung und Entsorgung/Aufbereitung von Trinkwasser, das zur Zubereitung benötigt wird

Nicht betrachtet werden hingegen folgende Aspekte:

■ der Anbau der Rohstoffe und sonstige mit der landwirtschaftlichen Produktion zusammenhängende Aspekte (z. B. Herstellung und Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln)

■ ggf. vorangehende industrielle Verarbeitungsschritte

■ Lagerung der Lebensmittel vor und nach der Zubereitung

■ sämtliche Distributionsprozesse für den Transport der Lebensmittel zum Zubereitungsort. Es sind jedoch einzelne Transportprozesse innerhalb verwendeter Datensätze (z. B. bei der Abfallverwertung) bereits inkludiert.

■ Reinigung der Zubereitungsgeräte

■ Herstellung, Nutzung und Wartung von Maschinen, Geräten oder sonstigen Materialien, die zur Zubereitung notwendig sind

■ Beleuchtungs- und Wärmeeinrichtungen für den Zubereitungsort (mit betrachtet werden jedoch Beleuchtungen in Gargeräten, sofern diese beim Betrieb nicht manuell abgeschaltet werden können). Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit sind lediglich bei jeder Messung möglichst gleiche Umgebungsbedingungen zu schaffen (insb. bzgl. der Raumtemperatur)

■ etwaige Recycling-Prozesse bzgl. der Verwertung der Verpackungen. Es wird angenommen, dass sämtliche Verpackungsmaterialien verbrannt werden.

Anbau, Produktion und sonstige vorhergehende Behandlungen der zubereiteten Lebensmittel werden nicht mitbetrachtet. Da sowohl für die Zubereitung im Maßstab des Privat- als auch des Großhaushalts die gleichen Produkte verwendet werden, würde der Einbezug dieser Prozesse die Sachbilanzen beider Zubereitungen jeweils in gleichem Maße beeinflussen. Bei der Berechnungen der Umweltauswirkungen der Verpackungen wird jedoch in Verkaufseinheiten/Verpackungsgrößen für Privat- und Großhaushalte unterschieden, da sich diese sowohl in der Gebindegröße als auch der Materialart unterscheiden (können).

Da die Vorverarbeitungen nicht einbezogen werden, kann aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden, welches der untersuchten Lebensmittel insgesamt die geringsten Umweltauswirkungen aufweist.

2.1.5 Wirkungsfaktoren

Zur Bestimmung der Umweltauswirkungen werden die folgenden Wirkungsfaktoren gemäß der ReCiPe Midpoint Methodik (Perspektive: Hierarchist) verwendet:

Tab. 1: Betrachtete und ausgewertete Wirkungsfaktoren der ReCiPe Midpoint Methodik. Beschreibung nach PRé Consultants bv 2015

Faktor	Einheit	Beschreibung (PRé Consultants bv 2015)
water depletion	m ³	Maß für die Menge des Wasserverbrauchs
urban land occupation	m ² a	Maß für die Nutzung von Landfläche für einen bestimmten Zeitraum
ozone depletion	kg CFC-11-Eq	Maß für die Schädigung der Ozonschicht
human toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	Maß für die Humantoxizität
freshwater eutrophication	kg P-Eq	Maß für die Anreicherung von Phosphathaltigen Nährstoffen in der Umwelt
freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	Maß für die andauernde Toxizität in Frischwasser (Building Research Establishment Ltd 2015)
fossil depletion	kg oil-Eq	Maß für die Menge genutzten fossilen Brennstoffes
climate change (GWP100)	kg CO ₂ -Eq	Treibhausgaspotenzial

2.1.6 Datenerhebung

Bei den Untersuchungen sind folgende Daten mit den jeweils genannten Arten von Messinstrumenten als Primärdaten zu erheben:

- elektrische Energie
- eingesetzte Menge und Temperatur des Garmediums (z. B. Wasser)
- Menge der Lebensmittel vor der Zubereitung (Input)
- Menge der Lebensmittel nach der Zubereitung (Output)
- Abfall/Rüstverluste
- Oberflächentemperatur der Herdplatten

Die Fixierung der Daten während der durchgeführten Messungen erfolgt durch ein vorbereitetes, eigens erstelltes Formular. Die Bestimmung der Gesamtmasse sämtlicher Lebensmittel erfolgt durch den Einsatz von Waagen mit einer Genauigkeit von 0,1 g (bis zu einer Masse von 3 kg) bzw. 1,0 g (über einer Masse von 3,0 kg).

2.1.7 Ablaufplanung

Um einen reibungslosen Ablauf der Zubereitung zu gewährleisten, ist für jede zuzubereitende Speise ein detaillierter Arbeitsablaufplan zu erstellen. Dieser soll sowohl die Zubereitungsschritte und Mengen als auch die Messzeitpunkte und aufzunehmenden Daten enthalten. Die Zubereitung der Speisen soll – falls vorhanden – jeweils nach der Zubereitungsempfehlung des Herstellers erfolgen. Alternativ ist ein gängiges Zubereitungsverfahren anzuwenden.

Bei der Versuchsdurchführung ist darauf zu achten, dass jeweils möglichst gleiche Start- und Umgebungsbedingungen

herrschen. Hierbei sind insbesondere die Oberflächentemperatur der Herdplatten und die Wassertemperatur des Kaltwassers zu kontrollieren.

2.2 Prozessmodellierung

Zur Berechnung der Umweltauswirkungen werden alle Prozessmodelle mit der Software „Umberto® NXT LCA“ in Verbindung mit der Datenbank ecoinvent® kalkuliert. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf Bezeichnungen aus diesem Programm Bezug genommen. Grundsätzlich können diese Berechnungen jedoch auch mit anderen Programmen durchgeführt werden, solange die Rahmenbedingungen eingehalten werden.

Die einzelnen Prozesse bzw. Prozessschritte wurden in dem Modell in die folgenden Phasen unterteilt:

1. *Raw-Material*: Produktion aller für die Vorbereitung notwendigen Materialien, z. B. Trinkwasser (Phase vor der eigentlichen Zubereitung).
2. *Prearrangement*: Alle Prozesse zur Vorbereitung des eigentlichen Zubereitungs Vorganges, inkl. Verwertungsprozesse von Rüstabfall.
3. *Preparation of Food*: Alle Prozesse für die eigentliche Zubereitung des Lebensmittels.
4. *Aftertreatment*: Alle Prozesse die im Anschluss an die Zubereitung erfolgen, z. B. das Abschrecken von Nudeln.
5. *Use Phase*: Nutzphase des Lebensmittels, d. h. der Verzehr. Diese Phase dient nur zur Vervollständigung des Gesamtbildes ohne dass Berechnungen erfolgen.
6. *Disposal*: Alle Entsorgungs- bzw. Verwertungsprozesse von Komponenten, die nach der Nutzphase anfallen.

In jedem Modell existieren zwei getrennte Prozessstränge: ein Strang für die Zubereitung der Lebensmittel, ein Strang für alle die Verpackung betreffenden Prozesse. Die Aufteilung erfolgte, damit die Anteile der Verpackung so unabhängig von der Zubereitungsmenge anteilmäßig entsprechend der funktionellen Einheit berücksichtigt werden können. Für beide Prozessstränge gibt es jeweils einen eigenen Referenzfluss, der auf die funktionelle Einheit von 0,100 kg zubereitetem Lebensmittel skaliert ist.

3 Messungen

Zur Ermittlung erster Tendenzen wurden mit dem in Kapitel 3 beschriebenen Verfahren die Komponenten Reis, Nudeln und Kartoffeln zubereitet und die diesbezüglichen Umweltauswirkungen bestimmt.

3.1 Datenerhebung

Die Aufnahme der Messwerte für den Energiebedarf der Zubereitung im Maßstab des Großhaushaltes (Induktionskochfelder sowie Konvektomat) erfolgte mit der Messdatenerfassungs- und Analyse-Software Data Acquisition System Laboratory® (DASYLab) in der Version 13.0.0. Diese konnte

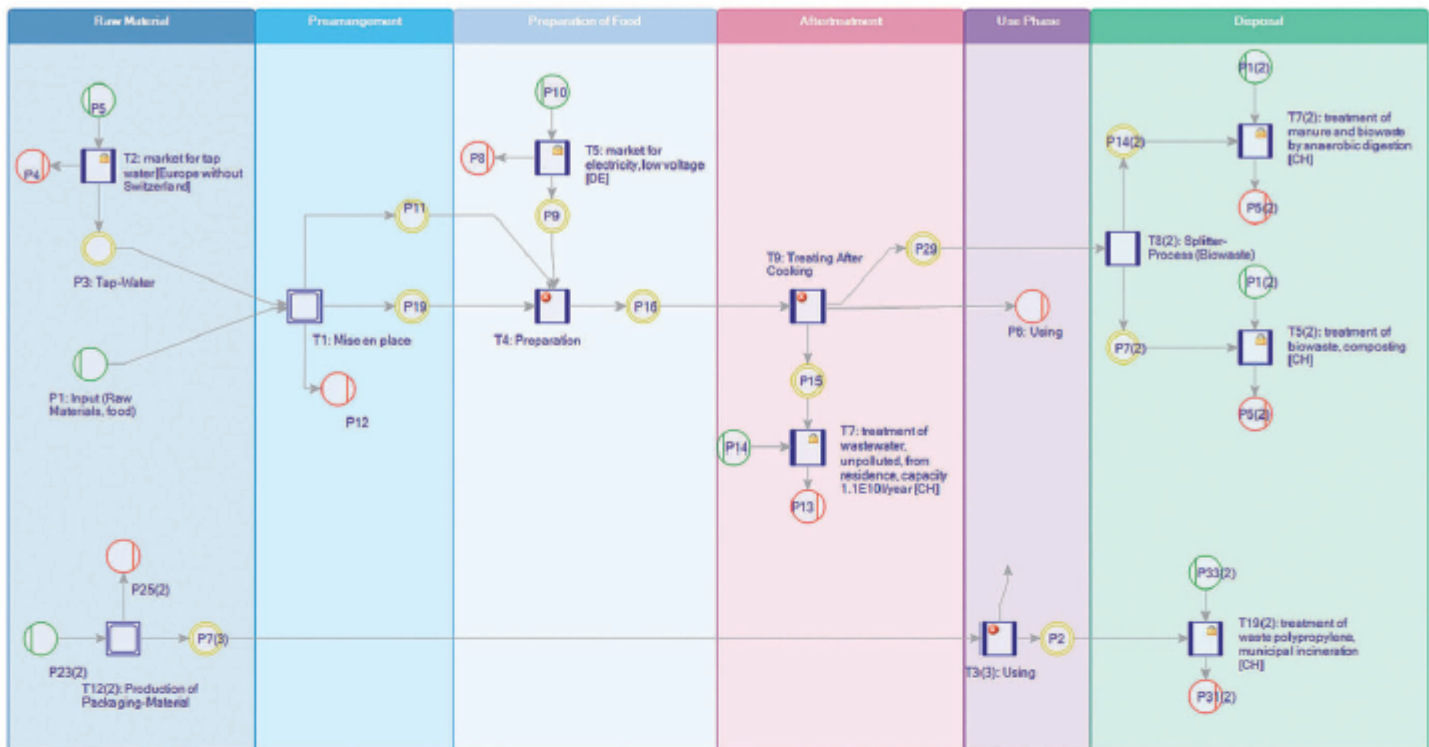


Abb. 1: Allgemeines Prozessmodell der Lebensmittelzubereitung mit den einzelnen Phasen (erstellt in „Umberto® NXT LCA“)

durch eine im Versuchslabor eingerichtete Messstation die Energieverbräuche der verwendeten Geräte aufzeichnen.

Für die Zubereitungen im Maßstab eines Privathaushalts wurde ein mobiles Ceran-Einzelkochfeld verwendet. Die Energiemessung erfolgte hierbei mit dem Messgerät CLM 1000 Professional+ der Firma Christ Elektronik.

3.2 Verwendete Produktsysteme

Bei Nudeln wurden Farfalle der Marke „Barilla“ (No. 65) verwendet. Als Besonderheit ist zu erwähnen, dass die Verpackung für den Privathaushalt aus Karton, die für den Großhaushalt aus Low Density Polyethylen (LDPE) besteht. Die Nudeln wurden nach Herstelleranleitung in Wasser gekocht.

Für die Komponente Reis wurde auf Langkomreis (lose) der Marke „Uncle Ben’s“ zurückgegriffen. Auch hier besteht die Verpackung für den Privathaushalt aus Karton. Das genaue Material der Großhaushaltsverpackung konnte nicht ermittelt werden (siehe auch Kapitel 3.4). Die Zubereitung erfolgte mit der gleichen Methode und den identischen Herdarten wie bei Nudeln.

Bei der Zubereitung von Kartoffeln wurde auf vorwiegend festkochende Speisefrühkartoffeln (Sorte: „Nandina“) der Marke „Ackergold“ zurückgegriffen, die in einem „Carry-Fresh-Beutel“ verkauft werden. Dieser besteht komplett aus Polypropylen (PP) und einer Banderole aus oriented Polypropylen (OPP). Das Garen für den Privathaushalt fand wie oben beschrieben in einem Topf mit Wasser auf einem Ceranfeld statt. Für den Garprozess im Großhaushalt wurde der Konvektomat eingesetzt. Die (geschälten und geschnittenen) Kartoffeln wurden hierzu in einen GN-Lochbehälter (1/1) ge-

füllt und anschließend mit Salz bestreut und durchmischt. Der Konvektomat (sechs Einschübe) wurde auf 100 % Luftfeuchtigkeit und 100 °C eingestellt.

3.3 Messung und Messergebnisse

Sowohl für die Zubereitung im Groß- als auch im Privathaushalt verursacht die Zubereitung von Reis in sämtlichen Kategorien die geringsten Umweltauswirkungen (siehe Tabelle 2 und 3 auf S. 82). Die Kartoffelzubereitung weist hingegen in den meisten Kategorien die stärksten Auswirkungen auf. Lediglich für die Wassernutzung zeigen sich die stärksten Auswirkungen für beide Maßstäbe bei der Zubereitung der Nudeln. Für den Privathaushalt zeigen sich hier ebenfalls die stärksten Auswirkungen bei den Kategorien Frischwasser-Überdüngung und Frischwasser-Ökotoxizität.

Die Umweltauswirkungen für die einzelnen Komponenten sind beispielhaft für die Wirkungskategorie CO₂-Eq-Emissionen in Abbildung 2 (S. 82) dargestellt.

Die Anteile der Verpackung (inkl. Produktion und Entsorgung) an den Gesamtumweltauswirkungen liegen bei allen Wirkungsfaktoren und untersuchten Komponenten unter denen der Zubereitung. Für den Großhaushalt liegen die Werte zwischen (etwas über) 0 % und ca. 8 % (s. Abb. 3, S. 83). Bei den Verpackungen für den Privathaushalt ergeben sich verhältnismäßig hohe Anteile in den Wirkungskategorien „ozon depletion“ und „urban land occupation“ für die Komponenten Reis und Nudeln (siehe Abb. 4, S. 83).

Es zeigt sich, dass im Maßstab des Großhaushalts, bezogen auf die funktionelle Einheit, jeweils geringere Auswirkungen verursacht werden als im Maßstab des Privathaushalts. Zum

Tab. 2: Gesamtergebnisse der Berechnungen für die einzelnen Wirkungsfaktoren und Komponenten im Maßstab des Großhaushaltes (für jeweils 0,100 kg verzehrfertiges Produkt)

Faktor	Nudeln	Reis	Kartoffeln
water depletion [m ³]	9,10E-04	2,88E-04	4,36E-04
urban land occupation [m ² a]	1,47E-04	6,71E-05	1,36E-03
ozone depletion [kg CFC-11-Eq]	2,80E-09	1,31E-09	9,83E-09
human toxicity [kg 1,4-DCB-Eq]	2,74E-02	1,28E-02	4,55E-02
freshwater eutrophication [kg P-Eq]	3,93E-05	1,84E-05	5,77E-05
freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DCB-Eq]	1,54E-03	7,17E-04	2,03E-03
fossil depletion [kg oil-Eq]	1,00E-02	4,86E-03	2,67E-02
climate change, GWP100 [kg CO ₂ -Eq]	3,52E-02	1,68E-02	1,05E-01

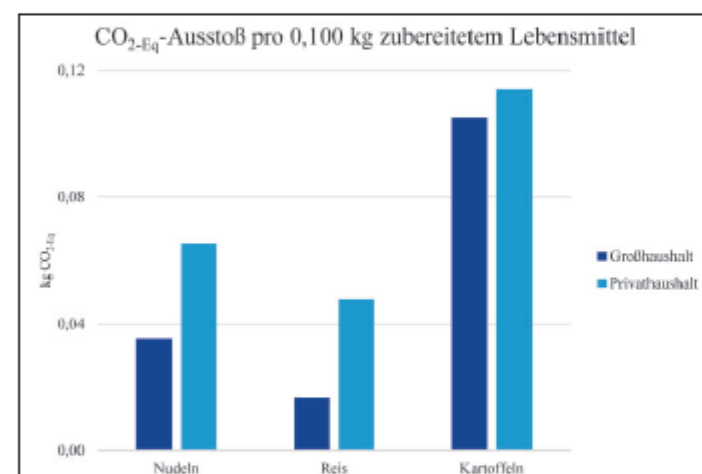


Abb. 2: Menge an CO₂-Eq, die durch die Zubereitung im Privat- und im Großhaushalt pro 0,100 kg des zubereiteten Lebensmittels freigesetzt wird

Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Wirkungsfaktoren bei der Zubereitung im Groß- bzw. Privathaushalt wird der Quotient „Privathaushalt/Großhaushalt“ ausgewertet. Bei den Komponenten Nudeln und Reis liegt dieser, je nach Wirkungskategorie, zwischen 1,5 und 3,6. Dies bedeutet, dass die Auswirkungen im Privathaushalt in etwa 1,5 bis 3,6 Mal so hoch sind wie bei der Zubereitung im Großhaushalt. Zwar fällt der Quotient bei der Kartoffelzubereitung im Durchschnitt geringer aus, jedoch liegt er auch hier in jeder Kategorie bei mindestens 1,0. Insgesamt gesehen ergeben sich bei Reis in jeder Kategorie die höchsten Quotienten (s. Abb. 5, S. 83).

3.4 Diskussion der Ergebnisse

Zunächst sei noch einmal darauf hingewiesen, dass bei allen o. g. Ergebnissen lediglich die Umweltauswirkungen bei der Zubereitung der aus dem Handel erworbenen, spezifischen Produkte und deren Verpackungen berechnet wurden. Aus diesem Grund kann aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden, welche der aufgeführten Komponenten durch den Verzehr insgesamt die wenigsten oder die meisten Umweltauswirkungen verursacht. Hierzu müssten alle vor- und nachgela-

Tab. 3: Gesamtergebnisse der Berechnungen für die einzelnen Wirkungsfaktoren und Komponenten im Maßstab des Privathaushaltes (für jeweils 0,100 kg verzehrfertiges Produkt)

Faktor	Nudeln	Reis	Kartoffeln
water depletion [m ³]	1,37E-03	5,23E-04	7,31E-04
urban land occupation [m ² a]	3,52E-04	2,42E-04	1,37E-03
ozone depletion [kg CFC-11-Eq]	5,80E-09	4,18E-09	1,05E-08
human toxicity [kg 1,4-DCB-Eq]	5,39E-02	3,93E-02	5,42E-02
freshwater eutrophication [kg P-Eq]	7,17E-05	5,34E-05	7,04E-05
freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DCB-Eq]	2,80E-03	2,06E-03	2,53E-03
fossil depletion [kg oil-Eq]	1,87E-02	1,36E-02	2,93E-02
climate change, GWP100 [kg CO ₂ -Eq]	6,53E-02	4,77E-02	1,14E-01

gerten Prozesse bzgl. des Anbaus oder von Vorverarbeitungen (z. B. Herstellung der Nudeln) einbezogen werden. Diese Prozesse wurden hier jedoch nicht berücksichtigt, weil es bei der Zielsetzung um den Vergleich der verschiedenen Zubereitungsmengen und -arten im Privat- und im Großhaushalt geht. Da in beiden Varianten identische Produkte (d. h. Produkte der gleichen Sorte und Marke) verwendet wurden, würde der Einbezug vorgelagerter Prozesse die Ergebnisse jeweils sowohl für den Privat- als auch für den Großhaushalt in gleichem Maße beeinflussen. Der Einbezug dieser Prozessschritte hätte jedoch einen Einfluss auf den Quotienten „Privathaushalt/Großhaushalt“ (vgl. Abb. 5). Dies hätte allerdings keine Auswirkungen auf die grundsätzlichen Schlussfolgerungen anhand der ermittelten Ergebnisse, da sich die Quotienten zwar dem Wert 1 annähern, diesen aber nie erreichen würden. Der ermittelte Unterschied würde sich demnach also verringern, aber niemals gänzlich entfallen.

Die Komponente Reis schneidet hinsichtlich aller Wirkungsfaktoren am besten ab. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass für die Berechnung der Umweltauswirkungen der Großhaushaltsverpackung keine Daten zu deren Zusammensetzung ermittelt werden konnten. Der Anteil der Verpackung am Gesamtergebnis fällt insgesamt jedoch eher gering aus (vgl. Abb. 3 und Abb. 4), was auch schon durch eine Untersuchung von Jungbluth festgestellt wurde (Jungbluth 2000). Auf eine chemische und/oder physikalische Analyse wurde daher verzichtet, und es wurde angenommen, dass die Verpackung aus Polypropylen besteht und die Berechnung für dieses Material durchgeführt. Das Gesamtergebnis kann insoweit als verlässlich angesehen werden, als dass eventuell falsche Annahmen hier keinen großen Einfluss haben.

Beim Vergleich der untersuchten Zubereitungsmaßstäbe zeigt sich vor allem bei den Komponenten Reis und Nudeln ein deutlicher Vorteil für den Großhaushalt. Die Zubereitung im Privathaushalt und die Prozesse rund um die Verpackung verursachen hierbei in den Wirkungskategorien zwischen 1,5- und 3,6-mal so hohe Auswirkungen wie bei der gleichen Betrachtung für den Großhaushalt (vgl. Abb. 5). Dies ist vor al-

lem darauf zurückzuführen, dass für die Zubereitung im Großhaushalt die energieeffizienteren Induktionsherde eingesetzt wurden. Zudem bestanden die Verpackungen bei diesen bei-

den Produkten für den Privathaushalt aus Karton, hingegen für den Großhaushalt aus PP bzw. LDPE. Wie in Abb. 3 und 4 zu sehen, ist der prozentuale Anteil der Verpackung an den Gesamtumweltauswirkungen bei der Zubereitung im Großhaushalt geringer als im Privathaushalt. Dies weist auf einen Vorteil für den Großhaushalt aufgrund der verwendeten Materialart hin. Es muss jedoch beachtet werden, dass, wie in Abschnitt 2.1.6 beschrieben, bei den Berechnungen keine etwaigen Recyclingprozesse berücksichtigt werden, sondern davon ausgegangen wird, dass sämtliche Verpackungsmaterialien in einer städtischen Müllverbrennungsanlage thermisch verwertet werden.

Die Zubereitung der Komponente Kartoffeln erweist sich hingegen, bezogen auf den Quotienten Privathaushalt/Großhaushalt, als ungünstig (vgl. Abb. 2, S. 82). Die Umweltauswirkungen im Privathaushalt verursachen lediglich ca. das 1,0 bis 1,8-fache der Auswirkungen im Großhaushalt und weisen damit deutlich geringere Unterschiede auf, als es bei Reis und Nudeln der Fall ist. Dies liegt vor allem an drei Aspekten: Verpackung, Rüstverluste und Zubereitungsvariante.

Die Verpackung für den Privat- und Großhaushalt war, anderes als bei den Komponenten Reis und Nudeln, identisch (Netz: PP, Banderole: OPP). Dadurch ist der Einfluss bei beiden Haushaltsvarianten gleich.

Des Weiteren kommt bei den Kartoffeln hinzu, dass bei der Vorbereitung zusätzlich biologischer Abfall entsteht (Kartoffelschalen), der entsprechend verarbeitet/verwertet wird. Diese Art Abfall entsteht bei den Komponenten Reis und Nudeln nicht. Bei dem Prozess der Kompostierung (in der Phase „Vorbereitung/Rüsten“) entstehen beispielsweise etwa 71 % der CO₂-Eq-Emissionen der gesamten Kartoffelzubereitung (s. Abb. 6).

Hierbei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass bei der Kompostierung, bedingt durch mikrobiellen Abbau, CO₂-Eq-Emissionen entstehen (v. a. Methan). Der energetische bzw. klimarelevante Vorteil des Kompostes entsteht i. d. R. erst später, wenn er beispielsweise als Torfsubstitution verwendet wird (Kern et al. 2010). Diese Betrachtung wurde bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Ein weiterer Grund für die geringen Unterschiede zwischen Privat- und Großhaushalt bei der Kartoffelzubereitung ist die Wahl der Zubereitungsmethode und -menge des Großhaushaltes. Die Zubereitung erfolgte hier mittels Dampfgarer (Konvektomat) mit Platz für ca. vier tiefe 1/1-GN-Bleche. Es wurde jedoch lediglich ein tiefes 1/1-GN-Blech mit Kartoffeln gegart,

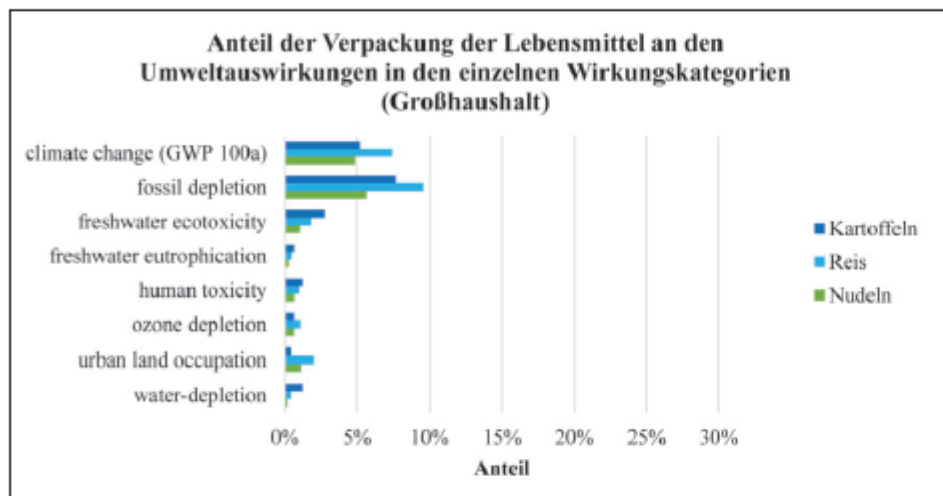


Abb. 3: Prozentualer Anteil der Verpackung an der Gesamtauswirkung in der jeweiligen Wirkungskategorie für die einzelnen Komponenten bei der Zubereitung im Maßstab des Großhaushaltes

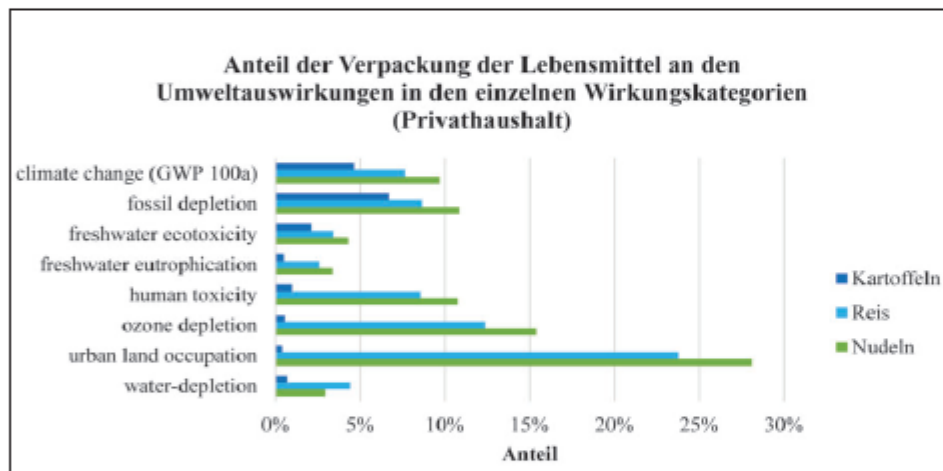


Abb. 4: Prozentualer Anteil der Verpackung an der Gesamtauswirkung in der jeweiligen Wirkungskategorie für die einzelnen Komponenten bei der Zubereitung im Maßstab des Privathaushaltes



Abb. 5: Verhältnis zwischen der Umweltauswirkung im Privat- zu der im Großhaushalt. Ein Verhältnis von 1,5 bedeutet, dass (bei der Zubereitung) im Privathaushalt 1,5-Mal so hohe Umweltauswirkungen entstehen wie im Großhaushalt

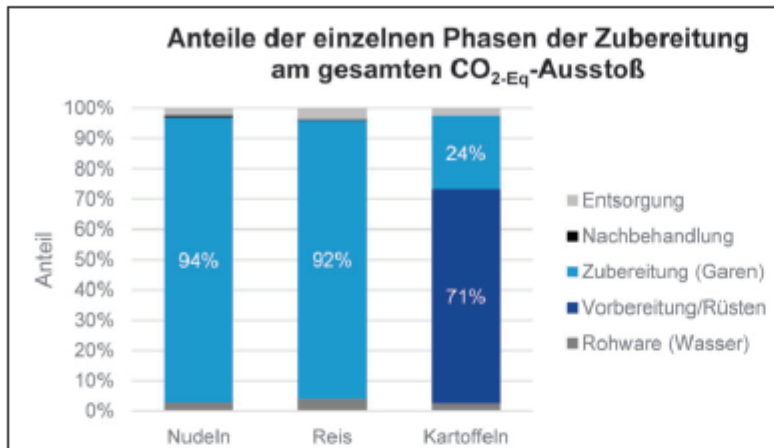


Abb. 6: Anteile einzelner Zubereitungsphasen an der Gesamt-CO₂-Eq-Bilanz der Lebensmittelzubereitung (bei der Zubereitung im Maßstab des Großhaushaltes).

da diese Menge der Anzahl von 20 Portionen entspricht. Diese Rechnung ist eher konservativ, da in einem Großhaushalt Konvektomaten i. d. R. voll bestückt genutzt werden, der Energieaufwand hierdurch jedoch nur noch geringfügig steigt. Bei einer Vollaussnutzung der Garraumgröße würde sich das Verhältnis von Privat- zu Großhaushalt noch vergrößern.

Die bisherige Datenbasis erlaubt noch keine generellen Aussagen bzgl. der Umweltauswirkungen der untersuchten Komponenten/Produkte. Die Untersuchung nur einer einzigen Sorte/Marke der jeweiligen Produkte lässt lediglich Aussagen für das jeweilige spezifische Produkt zu. Gleiches gilt ebenfalls für die verwendeten Gargeräte (Herde), Gargefäße, Zubereitungsmethoden und Zubereitungsmengen. Der genaue Einfluss dieser Faktoren (z. B. Reissorte oder Herd) ist derzeit unbekannt und kann erst nach weiteren Untersuchungen genauer bestimmt werden.

Eine generelle Aussage über die Bestätigung oder Widerlegung der aufgestellten These, dass die Zubereitung im Großhaushalt aus Sicht der Umweltauswirkungen günstiger ist als die im Privathaushalt, ist durch die vorliegenden Ergebnisse daher noch nicht uneingeschränkt möglich. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen jedoch die Tendenz, dass die Zubereitung von Mengen im Großküchenmaßstab aus Umweltsicht grundsätzlich Vorteile gegenüber der Zubereitung kleinerer Mengen bietet.

4 Ausblick

Nach der ersten Anwendung des entwickelten Verfahrens und der Ermittlung erster Tendenzen bzgl. des Verhältnisses der Zubereitung für verschiedene Haushaltsgößen sollen im weiteren Verlauf des Projektes Erfahrungen gesammelt und das Verfahren weiter verfeinert werden.

Es ist geplant, noch einmal den gesamten Lebensweg von Lebensmitteln auf Einflussfaktoren hin zu überprüfen, welche Auswirkungen auf die Zubereitung haben könnten. Hierbei sollen diejenigen Faktoren identifiziert werden, die zu einem Unterschied in der Sachbilanz bei der Verarbeitung der Lebensmittel in Privat- und Großhaushalten führen. Ein Ansatz-

punkt für Überlegungen sind hier eventuell unterschiedliche Verfahrensweisen bei der Wiederverwendung von zubereiteten Lebensmitteln. Während im Privathaushalt (theoretisch) sämtliche Lebensmittel auch nach dem Servieren wiederverwendet werden können, müssen diese in der Gemeinschaftsverpflegung aus hygienischen Gründen entsorgt werden. Die Signifikanz ausgesuchter Parameter bei der direkten Zubereitung soll anhand von Versuchsreihen bestimmt werden. Die Analyse der verschiedenen Einflüsse soll zeigen, ob die Rahmenbedingungen des entwickelten Verfahrens ggf. verändert und die gesetzten Systemgrenzen erweitert werden müssen, um ein reliables Ergebnis zu gewährleisten.

Bisher wurde in den Systemmodellen in Umberto® die Prozesse bzgl. der Entsorgung/Verwertung von Abfall keine Wiederverwertung der Stoffe berücksichtigt. Verpackungsmaterialien werden derzeit zu 100 % der (städtischen) Müllverbrennung zugeführt. Bei den durchgeführten Berechnungen für die Komponente Kartoffeln hat sich zudem gezeigt, dass durch das Anfallen von biologischem Abfall bzw. dessen Entsorgung relativ hohe Umweltauswirkungen entstehen. Diese Auswirkungen heben sich jedoch bei einer weitergehenden Betrachtung der Prozesse zum Großteil auf, da beispielsweise bei Kompost der energetische bzw. klimarelevante Vorteil i. d. R. erst später entsteht, wenn er u. a. als Torfsubstitution verwendet wird (Kern et al. 2010). Die Thematik der Entsorgung/Verwertung wird daher in Zukunft näher beleuchtet werden, um die entsprechenden Prozesse detailgetreuer abbilden zu können.

Neben der Arbeit am Verfahren selbst wird dieses derzeit von einer Bachelorstudentin angewendet, die in ihrer Abschlussarbeit die Sachbilanzen von Schweine- und Tofuschnitzeln vergleicht. Die Zubereitung ist hier ein Teilaspekt der Betrachtung. Hieraus erhofft sich die Forschergruppe weitergehende Aufschlüsse über die Anwendung des Verfahrens und ggf. Verbesserungsvorschläge.

Als langfristiges Ziel soll eine theoretische Berechnungsgrundlage geschaffen werden, mit deren Hilfe Sachbilanzen für eine beliebige Anzahl von Lebensmitteln berechnet werden können. Hierfür benötigte spezifische Werte – z. B. für den verwendeten Herd – sollen mit einem möglichst geringen Versuchsaufwand zu ermitteln sein. Ob und inwiefern dies umsetzbar ist, ist im Laufe des Projektes noch zu ermitteln. Des Weiteren soll im Laufe der Zeit eine Datenbank geschaffen werden, in welche die Sachbilanzen verschiedenster Lebensmittelzubereitungen eingepflegt werden. Mit dieser soll es zukünftig möglich sein, kumulierte Sachbilanzen für komplette Menüs zu erstellen.

Literaturverzeichnis

- Blanke, M.; Burdick, B. (2005): Energiebilanzen für Obstimporte: Äpfel aus Deutschland oder Übersee? In: *Erwerbs-Obstbau* 6 (47), S. 143-148
 Building Research Establishment Ltd (Hg.) (2015): *Ecotoxicity*. Ecotoxicity

- to freshwater and land: kg 1,4 dichlorobenzene (1,4-DB) eq. Online verfügbar unter <https://www.bre.co.uk/greenguide/page.jsp?id=2099>, 10.01.2016
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg.) (2008): Bericht des BMELV für einen aktiven Klimaschutz der Agrar-, Forst- und Ernährungswirtschaft und zur Anpassung der Agrar- und Forstwirtschaft an den Klimawandel. <http://www.bmel.de/cae/ser/vlet/contentblob/383152/publication-File/22425/Klimaschutzbericht2008.pdf>, 10.01.2016
- Franchetti, Matthew J.; Apul, Defne (2013): Carbon footprint analysis. Concepts, methods, implementation, and case studies. Boca Raton, FL: CRC Press – Taylor & Francis Group (Industrial innovation series)
- Green House Gas Protocol Initiative (Hg.) (2013): A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. Unter Mitarbeit von Janet Ranganathan, Laurent Corbier, Pankaj Bhatia, Simon Schmitz, Peter Gage und Kjell Oren
- Guinée, J. B. (2002): Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. 7. Aufl. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers (Eco-efficiency in industry and science).
- Hermansen, John E.; Nguyen, Thu Lan T. (2012): Life cycle assessment and the agri-food chain. In: Joyce I. Boye und Yves Arcand (Hrsg.): Green technologies in food production and processing. New York: Springer Science+Business Media, LLC (Food engineering series), S. 43-60.
- Heseker, Helmut; Heseker, Beate (2010): Die Nährwerttabelle. Neustadt an der Weinstraße
- Hilger, Jörg (2000): Struktur- und Absatzplanung für die Verwertung von Speiseresten als Futtermittel. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn
- Jungbluth, Niels (2000): Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Kobilanz. Abhandlung zur Erlangung des Titels Doktor der Technischen Wissenschaften
- Kern, Michael; Raussen, Thomas; Funda, Karsten; Lootsma, Auke; Hofmann, Hubertus (2010): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (43/2010)
- Klabunde, Heike (2010): Die Erstellung des Product Carbon Footprints für Schweineschnitzel. Abschlussarbeit zur Erlangung des Grades Diplom-Oecotrophologin (FH). Hochschule Niederrhein, Abtl. Mönchengladbach
- Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim
- Kramer, Peter H.; Schaffner, Joey; Müller-Reißmann, K. F. (1994): Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages. Landwirtschaft. Studienprogramm (Band I, Teilband II). Bonn
- Kranert, M.; Hafner, G.; Barabosz, J.; Schuller, H.; Leverenz, D.; Kölbig, A. et al. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Stuttgart
- Lightart, T. N.; Ansems, A. M. M. (2007): Single use Cups or Reusable (coffee) Drinking Systems: An Environmental Comparison. TNO report 2006-A-R0246(E)/B. Apeldoorn. <http://www.bekerrecycling.nl/nl/file/20110104172024/3/An-environmental-comparison-of-single-use-cups-and-reusable-cups-.html>, 10.01.2016
- Mohr, Manuel; Schlich, Elmar (2013): Consumer Carbon Footprint beim Einkauf von Bioprodukten. Aachen: Shaker
- Öko-Institut e.V. (Hrsg.) (2010): CO2-Einsparpotenziale für Verbraucher. Unter Mitarbeit von Rainer Griebhammer, Eva Brommer, Marah Gattmann, Stefanie Grether, Malte Krüger, Jenny Teufel und Wiebke Zimmer. <http://www.oeko.de/oekodoc/1029/2010-081-de.pdf>, 10.01.2016
- PCF Pilotprojekt Deutschland (Hrsg.) (2009): Product Carbon Footprinting. Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum? Erfahrungen, Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Product Carbon Footprint Pilotprojekt Deutschland. Online verfügbar unter http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht_2009.pdf, 10.01.2016
- PRé Consultants bv (Hrsg.) (2015): SimaPro Database Manual. Methods Library (2.8). <https://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>, 10.01.2016
- Publication Office of the European Union (Hg.) (2010): General guide for Life Cycle Assessment. Detailed guidance. ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System. European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. Luxemburg
- 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. In: Ernährungsumschau 59 (09), S. 524-530
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hg.) (2014): Bevölkerung in Privathaushalten am Haupt- und Nebenwohnsitz. Online verfügbar unter http://www.statistik-portal.de/statistik-portal/de_jb01_jahrtab4.asp, 10.01.2016
- Tukker, Arnold; Huppes, Gjalit; Guinée, Jeroen; Heijungs, Reinout; Koning, Arjan de; Luran, Oers van et al. (2006): Environmental Impact of Products (EIPRO). Analysis of the life-cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25. Hg. v. DG Environment und DG Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies.
- Norm DIN EN ISO 14044:2006-10, 2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. ICS 13.020.60
- Norm DIN EN ISO 14040:2009-11, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. ICS 13.020.10
- Wiegmann, Kirsten; Eberle, Ulrike; Fritsche, Uwe R.; Hünecke, Katja (2005): Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien. In: Öko-Institut e.V. Darmstadt (Hrsg): Diskussionspapier Nr. 7

Dominik Tempel

M.Sc. Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften

Dominik.Tempel@live.de

Prof. Dr.-Ing. Uwe Großmann

Lehrgebiet Physik und Technisches Gebäudemanagement

Uwe.Grossmann@hs-niederrhein.de

Prof. Dr. Christof Menzel

Mathematik/Statistik und angewandte EDV

Christof.Menzel@hs-niederrhein.de