



Hochschule Magdeburg –Stendal  
Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

## Hausarbeit Stoffstrom- und Ressourcenmanagement

im Studiengang Ingenieurökologie

# Ökobilanzierung von Papaya: Ein Vergleich vom Tropenhaus „Klein Eden“ mit dem konventionellen Anbau in der Landwirtschaft

Eingereicht von: Vincent Rochell

Matrikelnummer: 2016 3185

Prüfer: Prof. Dr. Petra Schneider

Abgabedatum: 02.06.2023

# Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis .....	iii
II.	Tabellenverzeichnis .....	iv
1.	Einleitung und Ausgangssituation .....	1
2.	Aufgabenstellung und Methodik .....	2
2.1	Aufgabenstellung .....	2
2.2	Methodik .....	3
3.	Grundlagen .....	3
3.1	Der Anbau von Papaya und seine Bedeutung im globalen Kontext .....	3
3.2	Nachfrage und Transportwege von Papaya bezogen auf Deutschland .....	5
3.3	Alternativer Ansatz tropisches Gewächshaus Klein Eden .....	6
4.	Ökobilanzierung .....	8
4.1	Festlegung der Ziele und des Untersuchungsrahmens .....	8
4.1.1	Ziele .....	8
4.1.2	Untersuchungsrahmen .....	9
4.2	Sachbilanz .....	11
4.2.1	Natürliche Ressourcen .....	12
4.2.2	Energieverbrauch .....	12
4.2.3	Düngemittel und Pestizide .....	13
4.2.4	Transport .....	14
4.3	Wirkungsabschätzung .....	16
4.3.1	Klimawandel .....	16
4.3.2	Wasserverbrauch .....	19
4.3.3	Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen .....	22
4.4	Auswertung .....	25
5.	Zusammenfassung und Ausblick .....	26
	Literaturverzeichnis .....	28

## I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bio-Papaya Plantage in Sri Lanka, Quelle: Pripa-exotic.de o. J. ....	4
Abbildung 2: Wichtigste europäische Importeure von Papaya 2013 - 2017 in 1000 Tonnen (innereuropäischer Handel inbegriffen), Quelle: CBI Ministry of Foreign Affairs 2018 .....	5
Abbildung 3: Papayabaum im Tropenhaus „Klein Eden“, Quelle: (Genussregion-Oberfranken o. J.).....	7
Abbildung 4: Darstellung der entstehenden Treibhausgase in CO <sub>2</sub> - Äq. aus den betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus: Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleich Tabelle 3), (eigene Darstellung) .....	17
Abbildung 5: Darstellung der aus dem Flugtransport resultierenden Treibhausgasemissionen im konventionellem Papayaanbau in kg CO <sub>2</sub> -Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung).....	18
Abbildung 6: Anteil aller relevanten Inputflows in der Wirkungskategorie "Klimawandel" für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeinsatz (Variante 2). Darstellung in kg CO <sub>2</sub> -Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung) .....	19
Abbildung 7: Darstellung des Wasserverbrauchs in m <sup>3</sup> je kg Papaya für die betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus. Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleich Tabelle 3), (eigene Darstellung) .....	20
Abbildung 8: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Wasserverbrauch“ im konventionellem Papayaanbau. Darstellung in m <sup>3</sup> je kg Papaya. (eigene Darstellung) .....	21
Abbildung 9: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Wasserverbrauch“ für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeinsatz (Variante 2). Darstellung in m <sup>3</sup> je kg Papaya (eigene Darstellung) .....	22
Abbildung 10: Darstellung der Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen in kg Öl-Äq. je kg Papaya für die betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus. Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleich Tabelle 3), (eigene Darstellung) .....	23

Abbildung 11: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Erschöpfung fossiler Brennstoffe“ im konventionellem Papayaanbau. Darstellung in kg Öl-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung) .....	24
Abbildung 12: Anteil aller relevanten Inputflows in der Wirkungskategorie „Erschöpfung fossiler Brennstoffe“ für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeeinsatz (Variante 2). Darstellung in kg Öl-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung) .....	24

## II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herkunftsländer Papayaimporte nach Deutschland im Jahr 2021, Quelle: Tridge 2022 eigene Darstellung .....	5
Tabelle 2: Transportdistanzen je Herkunftsland von Papaya, Quelle: <a href="http://www.entfernungsrechner.net">www.entfernungsrechner.net</a> o. J.; <a href="http://www.entfernungsrechner.net">www.entfernungsrechner.net</a> o. J.; <a href="http://www.luftlinie.org">www.luftlinie.org</a> o. J.....	15
Tabelle 3: Zusammenfassung alle Inputwerte (eigene Darstellung) .....	15
Tabelle 4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die gewählten Wirkungskategorien (eigene Darstellung).....	16

# 1. Einleitung und Ausgangssituation

Der Konsum von tropischen Früchten erfreut sich in Deutschland seit Jahren einer wachsenden Beliebtheit. Bis auf das Jahr 2022 ist ihr Import nach Deutschland stetig gestiegen (Statista 2023). In verschiedensten Formen werden sie an der Supermarktkasse als frisches Obst, Tiefkühlprodukt, in weiterverarbeiteter Form oder verzehrfertiges Convenience Food verkauft. Diese Produkte haben allerdings alle eine Gemeinsamkeit, die ihren Vertrieb problematisch macht. Aufgrund der großen Anfälligkeit beinahe aller tropischen und subtropischen Pflanzen gegenüber Frost sowie ihren Ansprüchen an ein warmes und feuchtes Klima, um als Feldfrüchte kultivierbar zu sein, ist der europäische Markt größtenteils auf ihren Import aus Regionen mit eben diesen tropischen Klimabedingungen angewiesen – begleitet von hohen CO<sub>2</sub> Emissionen aufgrund von weiten Transportwegen bis in die deutschen Supermärkte (Schmitt et al. 2014). Besonders ausschlaggebend ist hierbei die Art des Transportes. Laut dem Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung wird der größte Anteil von nicht in der EU produziertem Obst- und Gemüse mit dem Schiff über die Ozeane nach Deutschland transportiert (Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung o.J.). Gewisse Obstsorten, wie Papaya, werden jedoch größtenteils per Flugzeug in die Bundesrepublik importiert, um im Supermarkt frisch zum Verkauf verfügbar zu sein und dies hat möglicherweise weitreichende Umweltauswirkungen. Die täglich 140 Tonnen an Lebensmitteln, die als Luftfracht in Deutschland landen, machen „weniger als ein Prozent des gesamten Lebensmittelangebots aus - verursachen aber 10 bis 16 Prozent der durch Lebensmitteltransporte entstandenen Treibhausgase“ (Keller 2010).

Noch deutlicher werden diese Statistiken anhand von Produkten, die sowohl per Containerschiff als auch über den Lufttransport ihren Weg nach Europa finden. Das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg ermittelte in einer Studie aus dem Jahr 2020 verschiedene „Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland“ in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Hierbei wurden die untersuchten Produkte auch unter Einbezug verschiedener Transportwege, sowie Verpackungs- und Produktionsformen betrachtet. Demnach wurde zum Beispiel Obst in die Kategorien Lufttransport und Transport mit dem Schiff unterteilt. Hierbei zeigten sich Ergebnisse, die unter Anbetracht der hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die ein Flug verursacht, nicht überraschend sind. Beispielsweise verursacht der Transport von einem Kilogramm frische Ananas, welches über den Seeweg nach Deutschland gelangt, nur

0,6 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, während bei der gleichen Menge Ananas, welche per Lufttransport in die deutschen Supermärkte transportiert wurde, ganze 15,1 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent an Emissionen entstehen (Reinhardt et al. 2020).

Eine Alternative könnte bei nicht heimischem Obst- und Gemüse mit weiten Transportwegen der lokale Anbau dieser Produkte in Gewächshäusern sein. Dafür müssten entsprechende Anbaubedingungen für die exotischen Feldfrüchte auch in nicht-tropischen Klimazonen ganzjährig geschaffen werden. Dieses Konzept ist aber mit erhöhtem Energieaufwand verbunden, wie das Ergebnis einer Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg zeigt. Tomaten aus dem Gewächshaus verursachen etwa dreimal so viel CO<sub>2</sub> wie ihr biologischer Anbau im Freien (Reinhardt et al. 2020). Wenn sich alternative Wege finden lassen, solche Produkte ohne einen unverhältnismäßigen Energieaufwand lokal zu produzieren und auf dem deutschen Markt anzubieten, könnten dadurch lange Transportwege vermieden und erhebliche Mengen an Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Das Tropenhaus „Klein Eden“ in Tattau versucht sich seit 2014 mit eben diesem Ansatz. Eine Produktion tropischer Früchte wie Papaya, Sternfrucht und Maracuja im Gewächshaus soll erhebliche ökologische Vorteile gegenüber dem konventionellen Anbau in den Tropen bieten. Um den Energiebedarf dieser Produktion so nachhaltig wie möglich abzudecken, wird hierfür die Abwärme einer nahegelegenen Glasfabrik genutzt (Schmitt et al. 2014). Mit diesem Konzept lässt sich ein kleinerer Ökologischer Fußabdruck im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft erwarten.

Diese Hausarbeit befasst sich daher mit einer Ökobilanzierung des konventionellen Anbaus einer tropischen Frucht im Vergleich zum alternativen Ansatzes Klein Edens am Beispiel Papaya gemäß den DIN ISO-Normen 14040 und 14044.

## 2. Aufgabenstellung und Methodik

### 2.1 Aufgabenstellung

Die folgenden Ausführungen beinhaltet die Erstellung einer Stoffstromanalyse im Rahmen einer Ökobilanz sowie die Darstellung einer Wertschöpfungskette für das Produkt Papaya aus zwei verschiedenen Anbauformen. Zum einen wird die Kultivierung von Papaya in herkömmlicher Form behandelt und zum anderen der Anbau von Papaya im Tropengewächshaus Klein Eden betrachtet. Als Ergebnis der Bilanzierung bietet sich ein Vergleich der beiden Systeme an, um eine Abschätzung

ökologischer Vor- und Nachteile beider Methoden zu ermöglichen. Die Ökobilanzierung erfolgt gemäß ISO-Normen 14040 und 14044.

## 2.2 Methodik

In den grundlegenden Kapiteln dieser Arbeit werden die Ausgangssituation und erklärende Hintergründe bezüglich des Papayaanbaus, dem Handel von Papaya und dem Konsumverhalten beschrieben. Zudem wird, aufbauend auf der im Rahmen dieser Arbeit erfolgten Recherche, die Wertschöpfungskette der Papayaproduktion dargestellt. Die Recherche sowie die Auswertung der Betriebs- und Forschungsdaten des Gewächshauses Klein Eden werden für die Sachbilanz der Ökobilanzierung ausgewertet. Für die Wirkungsabschätzung der zu ermittelnden Umweltauswirkungen im Papayaanbau wird das Programm OpenLCA Version 1.11.0 angewendet. Die Datengrundlage für die Ökobilanzierung stammt zum einen aus der Datenbank ecoinvent und zum anderen aus den Forschungsergebnissen und Betriebserfahrungen des Tropenhauses Klein Eden. Für die Wirkungsabschätzung der Ökobilanzierung wurde als Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Method ReCiPe Midpoint (H) 2016 verwendet. Hierfür getroffene Annahmen werden in Kapitel 4.2 (Sachbilanz) dargestellt.

## 3. Grundlagen

### 3.1 Der Anbau von Papaya und seine Bedeutung im globalen Kontext

Seit den 1960er Jahren erlebte die Papaya als kommerziell kultivierte Feldfrucht einen enormen Anstieg in der globalen Produktion sowie der allgemeinen Nachfrage. Bis in das Jahr 2013 stieg die Gesamtproduktion seit 1960 weltweit von 1 Millionen Tonnen auf 10 Millionen Tonnen an. Mittlerweile gilt Papaya damit zu den fünf am häufigsten angebauten tropischen Früchten. Die Hauptproduzenten sind hierbei Indien, Nigeria, Brasilien, Mexiko und Indonesien (Fuentes und Santamaría 2013).

Die Papayafrucht wächst an tropischen und subtropischen Standorten und zeichnet sich durch eine problemlose Anzucht aus, wobei erste Erträge nach bereits 10-12 Monaten erzielt werden können. Tatsächlich ist sie unter der Voraussetzung, dass tropische, bzw. subtropische Klimabedingungen herrschen, sowie entsprechend nährstoffreiche Böden und eine ganzjährig kontinuierliche Bewässerung gewährleistet sind, recht anspruchslos in ihrem Anbau. So kann sie auf großen Flächen kultiviert

werden, ohne eine zu hohe finanzielle oder arbeitsmäßige Belastung darzustellen (Kütke und Spoerhase 1974).

Papaya wird häufig in großflächigen Plantagen angebaut. Zwischenfruchtanbau in Papayaplantagen kommt nicht zum Einsatz. Allerdings lassen sich Papayas in Obstbaumpflanzungen aufgrund ihrer Größe als Zwischenfrüchte integrieren. Dennoch ist die häufigste Form der Papayakultivierung in Form von Monokulturen vertreten (Agrifarming o. J.). Die Pflanzen können hierbei in Reihen mit einem Abstand von ca. 2 m angebaut werden (Kütke und Spoerhase 1974).



*Abbildung 1: Bio-Papaya Plantage in Sri Lanka, Quelle: Pripa-exotic.de o. J.*

Aufgrund ihrer unproblematischen Kultivierung und der schnellen Erträge bildet die Papaya häufig einen wichtigen wirtschaftlichen Faktor in ihren Anbauregionen. Sie wird in global gesehen wirtschaftlich schwächeren Regionen als lukrative Einkommensquelle genutzt und trägt durch die geschaffenen Arbeitsplätze während der Erntesaison einen großen sozialen Wert (Fuentes und Santamaría 2013).

### 3.2 Nachfrage und Transportwege von Papaya bezogen auf Deutschland

Deutschland und die Niederlande sind die führenden Papayaimporteure auf dem europäischen Markt (siehe Abbildung 2). Die Niederlande sind jedoch zu großen Teilen ein Umschlagplatz für Papaya. Sie werden von hier aus weiter an andere europäische Staaten gehandelt, während die nach Deutschland importierte Papaya direkt von der Bevölkerung konsumiert wird.

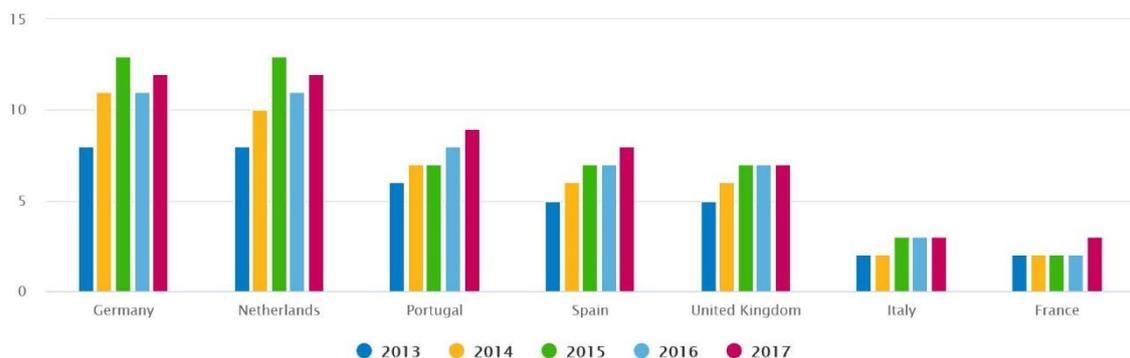


Abbildung 2: Wichtigste europäische Importeure von Papaya 2013 - 2017 in 1000 Tonnen (innereuropäischer Handel inbegriffen), Quelle: CBI Ministry of Foreign Affairs 2018

Da Papaya (mit Ausnahme des Gewächshausanbaus) nur in tropischen und subtropischen Regionen gedeiht, muss sie teilweise über sehr lange Strecken transportiert werden. 9 von 10 Papayas gelangen hierbei mit dem Flugzeug nach Europa (Keller 2010). Nur ein geringerer Anteil wird nahe genug an Deutschland produziert (z.B. in Spanien und Griechenland) um sie per Lkw zu transportieren.

Die Anteile der Hauptexporteure am Import nach Deutschland sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Herkunftsländer Papayaimporte nach Deutschland im Jahr 2021, Quelle: Tridge 2022 eigene Darstellung

Papayaexporteur	Anteil an Gesamtimport
Brasilien	78,3 %
Spanien	8,56 %
Ghana	5,51 %
Thailand	2,49 %
Mexiko	1,97 %
Niederlande	1,61 %
Peru	0,53 %
Griechenland	0,28 %
Dominikanische Republik	0,11 %

Für eine Ökobilanzierung der importierten Papaya aus der konventionellen landwirtschaftlichen Produktion sind nun durchschnittliche Längen der Transportwege für den Luft- sowie Landtransport nötig. Diese werden in Kapitel 4.2.4 Transport aufgeführt.

### 3.3 Alternativer Ansatz tropisches Gewächshaus Klein Eden

Das Tropenhaus Klein Eden in Klein Tattau in Oberfranken verfolgt hingegen ein alternatives Konzept für den Anbau von tropischen- und subtropischen Früchten, insbesondere mit der Absicht, lange Transportwege bei Obst und Gemüse zu vermeiden.

Im Jahr 2011 entstand eine Gewächshausanlage mit einer Gesamtfläche von ca. 3 500 m<sup>2</sup> Fläche als Referenzprojekt für die energieeffiziente industrielle Abwärmenutzung im Niedrigtemperaturbereich. Das Projekt Klein Eden zeichnet sich dementsprechend durch ein Konzept aus, bei dem die Prozesswärme des benachbarten Glasindustriebetriebs Heinz-Glas GmbH verwendet wird, um die nötigen Betriebstemperaturen in den Gewächshäusern ohne zusätzlichen Energieaufwand zu schaffen. Anderweitig würde diese Wärme ohne weitere Nutzung entweichen. So allerdings kann eine Temperatur von 20 – 34°C erzeugt werden. Der einzige Aspekt, der mit externem Energieaufwand verbunden ist, sind die verwendeten Wärmepumpen. Zusammen mit einer Luftfeuchtigkeit von 70 % können auch in der gemäßigten Klimazone Deutschlands Anbaubedingungen für tropische Pflanzen geschaffen werden. Es werden unter anderem Guave, Chili und auch Papaya angebaut (Schmitt et al. 2014).



*Abbildung 3: Papayabaum im Tropenhaus „Klein Eden“, Quelle: (Genussregion-Oberfranken o. J.)*

Das Gewächshaus setzt zudem auf das Polykultursystem und Kaskadennutzung. Hierdurch sollen Stoffkreisläufe möglichst geschlossen werden. Wasser und Nährstoffe sollen hierbei mehrfach verwendet werden. Durch Unterkulturen (z.B.: Aubergine, Chili und Zitronengras) wird die Fläche effizient genutzt und der Flächenertrag optimiert. Es handelt sich bei den Gewächshäusern um ein geschlossenes System, indem zum Beispiel Sickerwasser aus der Bewässerung für Gefäßkulturen aufgefangen wird, somit nicht das Grundwasser belastet und stattdessen wiederverwendet werden kann. Bodenkulturen werden ausschließlich bedarfsgerecht durch Besprühen der Pflanzen bewässert. Auch viele andere Emissionen, die bei konventionellem Plantagenanbau entstehen, werden durch das geschlossenen Gewächshaussystem unterbunden (Schmitt et al. 2014).

Die Produktion Klein Edens ist bislang nur für die Belieferung von Verbraucher\*innen in der direkten Umgebung vorgesehen. Hierbei werden nach eigener Aussage die Ernteerträge mit einem Pkw in einem Umkreis von etwa 60 km beispielsweise zu Restaurants transportiert. Ein Drittel der Ernte wird direkt vor Ort verkauft.

## 4. Ökobilanzierung

Eine Ökobilanzierung befasst sich gemäß DIN ISO 14040 mit den Umweltaspekten, sowie potenziellen Umweltwirkungen (z.B. den verbrauchten Ressourcen und potenziellen Umweltauswirkungen) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (DIN ISO 14040, 2006).

Sie wird hierbei in die vier Phasen einer Ökobilanzstudie unterteilt (DIN ISO 14040, 2006):

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

Anhand dieses Aufbaus erfolgt in den folgenden Kapiteln die Ökobilanzierung von Papayaanbau aufgeteilt in die in Kapitel 3 beschriebenen Methoden.

### 4.1 Festlegung der Ziele und des Untersuchungsrahmens

#### 4.1.1 Ziele

Ziel der Ökobilanzierung ist die Ermittlung verschiedener Umweltauswirkungen der zuvor beschriebenen Anbaumethoden von Papaya. Die Kategorien der betrachteten Umweltauswirkungen sind:

- Klimawandel gemessen in kg CO<sub>2</sub>-Äq.
- Wasserverbrauch in m<sup>3</sup>
- Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen in kg Öl-Äq.

Es soll ein Vergleich beider Anbaumethoden aus ökologischen Gesichtspunkten ermöglicht werden. Hierbei sind allerdings Besonderheiten in der gegenwärtigen Datenlage zu berücksichtigen. Der optimale Düngemiteleinsatz für Papaya befindet sich im Gewächshaus Klein Eden aktuell noch im Versuchsstand. Gegenwärtig wird noch ermittelt, welche Menge an Dünger für optimale Substrateigenschaften der Böden und Ernteergebnisse sorgt. Da hier bislang nur eine Spannweite an Werten als Daten zur Verfügung stehen, wurden drei Szenarien mit verschiedenen möglichen Düngewerten (ein Minimalwert, ein Maximalwert und ein Mittelwert) an Dünger für den dauerhaften Betrieb des Gewächshauses gebildet. Hierdurch lässt sich innerhalb der

Auswertung einschätzen, unter welchen Düngebedingungen bzw. welchem Szenario das alternative Modell Klein Eden gegenüber der konventionellen Landwirtschaft ökologische Vor- und Nachteile haben könnte.

#### 4.1.2 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanzierung bestimmt, welche Stoffströme und Prozesse für die Ermittlung der Umweltauswirkungen eines Produktes betrachtet werden (DIN ISO 14040, 2006).

##### Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit, anhand welcher die Umweltauswirkungen quantifiziert werden, dient hier 1 Kilogramm Papaya. Alle Inputs und Outputs, sowie ermittelte Umweltauswirkungen beziehen sich auf die funktionelle Einheit. Somit ist jeder Inputwert auf die Produktion und den Transport von einem Kilogramm Papaya ausgerichtet. Gleiches gilt für Outputs, aus welchen auch die angesprochenen Umweltauswirkungen bilanziert werden. Diese beziehen sich ebenfalls auf die funktionelle Einheit von einem Kilogramm Papaya.

##### Allgemein

Für die Ökobilanzierung werden, soweit die Datenlage das zulässt, alle Stoffströme und deren Umweltauswirkungen, von der Ressourcengewinnung über die Energieerzeugung und Materialherstellung, sowie dem Transport und der Anwendung, mitbetrachtet. Diese Ökobilanzierung bezieht sich auf die geerntete Frucht Papaya und ihre Transportwege bis zum Konsumenten bzw. bis zur Weiterverarbeitung. Die Weiterverarbeitung von Papaya in weiteren Produkten liegt außerhalb des Untersuchungsrahmens und wird nicht mitbetrachtet. Im Folgenden werden alle im Papayaanbau relevanten Inputs und Stoffströme genannt und hinsichtlich ihrer Datenlage und Betrachtungsweise für den Untersuchungsrahmen beschrieben.

##### Variantenbetrachtung

Da wie bereits erwähnt noch Unklarheiten hinsichtlich der in Zukunft eingesetzten Düngemittel und Mengen herrschen, werden die Düngeinputs für das Gewächshaus Klein Eden hier für drei Varianten untersucht: Es wird ein Minimalwert, ein Mittelwert und ein Maximalwert an Dünger betrachtet (siehe Tabelle 3).

## Dünger

Im Falle der konventionellen Landwirtschaft wird die Herstellung der verwendeten Dünger, inklusive der Transportwege aller verwendeten Ressourcen zu den Produktionsorten, sowie des fertig produzierten Düngers in die Region, in der er angewendet wird, einbezogen. Die Herstellung und Abfallbehandlung von Katalysatoren sowie die Beschichtung und Verpackung der Düngemittelendprodukte wird aufgrund von mangelnden Daten nicht berücksichtigt. Für den Transport der Düngemittel aus der Lagerstätte bis zur Anwendung fehlt es zum Teil an Daten. Sie werden daher bei beiden Produktsystemen nicht berücksichtigt. Informationen zu der Produktkette der verwendeten Dünger liefert die Datenbank ecoinvent (ecoinvent Association 2018).

Da die Versuchsstände bezüglich Dünger im Gewächshaus Klein Eden ebenfalls mit Chemiedünger durchgeführt werden und bislang die Frage, welches Düngemittel in Zukunft angewendet werden sollte, ungeklärt ist, wurde im Rahmen dieser Ökobilanzierung ebenfalls Chemiedünger als Input angenommen.

Es handelt sich hierbei um die Düngemittel Kaliumnitrat, Triple-Superphosphat und Kaliumsulfat.

## Elementarflüsse

Als direkt aus der Natur stammende Inputs (sogenannte Elementarflüsse) wird Wasser für die Bewässerung in den Untersuchungsrahmen einbezogen. Außerdem wird der Land- bzw. Flächenbedarf, unterteilt jeweils in Ackerland und Gewächshausfläche, je Kilogramm Papaya mitbetrachtet.

## Energieverbrauch

Zudem wird der Energiebedarf beider Systeme einbezogen. In der landwirtschaftlichen Produktion handelt es sich um Energieverbräuche, die aus dem Anbau und der Verarbeitung der Frucht resultieren und im Gewächshaus um den Strombedarf der Wärmepumpen, die erforderlich sind, um die Abwärme in das Gewächshaus Klein Eden zu leiten. Die genutzte Abwärme im Gewächshaus wird als eingesparte Energie betrachtet und wirkt sich somit positiv auf die Energiebilanzierung aus.

## Transportwege

Mitbilanziert werden auch die Transportwege der reifen Papayafrucht bis zum Verbrauch. Hierbei wird auch die Produktion der Transportmittel, der genutzten Infrastruktur und der Kühlung der Produkte (falls notwendig) mitbetrachtet. Diese Informationen sind ebenfalls in der Datenbank ecoinvent enthalten. Sie werden in Kapitel „4.2 Sachbilanz“ detaillierter betrachtet.

## Weitere Aspekte

Nicht in den Untersuchungsrahmen einbezogen werden der Bau des Gewächshauses und die Errichtung der Infrastruktur, um die Abwärme aus der Glasproduktion für den Betrieb des Gewächshauses nutzbar zu machen, da diese Aspekte nicht auf die funktionelle Einheit bezogen werden können. Ebenfalls ausgeklammert wird die Glasproduktion der Glasfabrik selbst, bei der die genutzte Abwärme entsteht.

Da keine genaueren Informationen zur Abfallbehandlung bezüglich Anbau, Verarbeitung und Transport von Papaya in beiden Produktionsformen vorliegen (z.B. als Kompostierung o.ä.), wird dieser Aspekt ebenfalls nicht in den Untersuchungsrahmen einbezogen und bleibt bei der Ökobilanzierung unbeachtet.

## 4.2 Sachbilanz

Laut DIN ISO 14040 umfasst die Sachbilanz die Datenerhebung aller relevanten Input- und Outputflüsse des betrachteten Produktsystems. Zudem sind die Berechnungsverfahren zur Quantifizierung der Umweltauswirkungen in der Sachbilanz mit enthalten (DIN ISO 14040, 2006). Die Berechnungsmethoden sind in diesem Fall innerhalb der Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Method enthalten. Hier wird die LCIA-Methode ReCiPe Midpoint (H) 2016 angewendet (siehe Kapitel 2.2 Methodik).

Der Anbau von Papaya, bzw. die Zucht eines Papayabaums, betrachtet als Produktsystem, bedarf einer relativ übersichtlichen Anzahl an Inputs. Die Vorketten einiger Inputs sind jedoch äußerst umfangreich (Transport, Düngeproduktion etc.), was eine lange Wertschöpfungskette nach sich zieht. Im Rahmen dieser Hausarbeit wird ein kurzer Überblick über alle direkt erforderlichen Inputs, ihre Vorprozesse und damit der Wertschöpfungskette gegeben.

#### 4.2.1 Natürliche Ressourcen

Als direkt aus der Natur stammende Inputs (sogenannte Elementarflüsse) sind, wie für jeden Obst- und Gemüseanbau, die Bewässerung der Pflanzen als auch ihr Flächenbedarf die relevantesten Aspekte. Für den Papayaanbau ist eine ganzjährige Bewässerung notwendig (Küthe und Spoerhase 1974). In tropischen Regionen sind die Niederschläge ganzjährig gleich verteilt und fallen zudem grundlegend hoch aus. Hier ist eine zusätzliche Bewässerung abhängig von der Intensität der Bewirtschaftung und kann deshalb durchaus vorkommen. In subtropischen Regionen können jedoch längere Trockenphasen eine künstliche Bewässerung unabdingbar machen (zum Beispiel in Spanien und Griechenland) (Galán Saúco und Rodríguez Pastor 2007). Hier kann beispielsweise eine Tröpfchenbewässerung als effiziente Bewässerungsmethode Anwendung finden. Gemäß der Datenbank ecoinvent wird für diese Ökobilanzierung eine Bewässerung von 0,143 m<sup>3</sup> Wasser für den konventionellen Papayaanbau angenommen.

Für die Bewässerung im Tropenhaus Klein Eden wird aufgefangenes Regenwasser verwendet. Über die Dachfläche des Gewächshauses wird der Niederschlag mit Hilfe von Regen- und Schichtenwassersammelbecken aufgefangen und für die Bewässerung eingesetzt. Der aktuelle Betrieb erfordert etwa 45 L Wasser je kg Papaya. Im Programm ecoinvent wird dieser Elementarfluss in Kilogramm angegeben.

#### 4.2.2 Energieverbrauch

Die Landwirtschaft hängt auch heute noch stark von nicht erneuerbaren Energien wie fossilen Brennstoffen ab, um landwirtschaftliche Geräte und Maschinen zu betreiben sowie den Transport jeglicher Materialien und der geernteten Ware zu ermöglichen. Im Papayaanbau kann zudem die Bewässerung energieaufwändig sein (Chilur und Yadachi 2017).

Das Tropenhaus Klein Eden hingegen hat an Energiebedarf nur den Verbrauch der Wärmepumpen und Wärmeleitsysteme zu decken, welche erforderlich sind, um die Abwärme aus der Glasfabrik ins Gewächshaus zu befördern. Der hierfür verwendete Strom wird aus dem deutschen Stromnetz bezogen und weist daher die dazugehörige Wertschöpfungskette auf. Für das Produktsystem Klein Eden wurden basierend auf den Statistiken aus dem Jahr 2022 der deutsche Strommix mit den jeweiligen Anteilen der Energieträger am Stromnetz genutzt (Statistisches Bundesamt 2023).

Die wiederverwendete Abwärme der anliegenden Glasproduktion wird als recycelter Stoff- bzw. Energiestrom mitbilanziert. Das bedeutet, dass dieser als eingesparter Input betrachtet wird, welcher ansonsten anfallende Emissionen vermeidet und sich positiv auf die Bilanzierung auswirkt.

#### 4.2.3 Düngemittel und Pestizide

Für den Papayaanbau sind neben einer ausreichenden Wasserversorgung der Pflanzen nährstoffreiche Böden der Schlüssel für optimale Erträge (Küthe und Spoerhase 1974). Weisen Böden eine geringere Fruchtbarkeit auf, so kann die Produktion durch den Einsatz von Düngemitteln erhöht werden, was in der intensiven Landwirtschaft der Regelfall ist. Im Falle eines Gewächshausanbaus in Mitteleuropa kann es erforderlich sein, die geringere Sonneneinstrahlung dieser Klimaregion durch optimale Bewässerung und Nährstoffversorgung der Pflanzen zu kompensieren. Auch dies erfolgt über Düngung. Wie in Kapitel 4.1.2 bereits erwähnt, wird für die Ökobilanzierung in dieser Arbeit von Chemiedünger als Düngeinput ausgegangen.

Hierbei werden jeweils drei Düngemittel für die drei relevanten Nährstoffe Nitrat, Phosphor und Kalium als Inputs bilanziert.

Der Stickstoffdünger in dem Produktsystem der intensiven Papayabewirtschaftung in den Tropen und Subtropen ist Ammoniumnitrat mit einem N-Gehalt von 35 %. Es handelt sich um eine industrielle Herstellung des Düngers aus Ammoniak und Salpetersäure (ecoinvent Association 2018).

Im Produktsystem Klein Eden wird Kaliumnitrat als Hauptbestandteil für die Stickstoffdüngung angenommen. Hier ist der europäische Markt mit dem entsprechenden Ressourcenverbrauch, allen dazugehörigen Zwischenschritten in der Produktion und Transportwegen einbilanziert. Die Daten liefert auch hier die Datenbank ecoinvent (ecoinvent Association 2018).

Der Phosphordünger und seine Wertschöpfungskette wird im Falle des Papayaanbaus in den Tropen und Subtropen gemäß der Datenbank ecoinvent aus dem globalen Markt für Phosphordünger mit allen dazugehörigen Produktionsschritten und Transportwegen angenommen.

Für den Anbau im Gewächshaus wird Triple-Superphosphat mit allen dazugehörigen Produktionsketten in der Bilanzierung mitbetrachtet. Es handelt sich um die Herstellung von Tripelsuperphosphat aus Phosphorsäure und Rohphosphat.

Transporte von Rohstoffen und Zwischenprodukten zur Düngemittelfabrik sowie der Transport des Düngemittelprodukts von der Fabrik zum regionalen Warenhaus wurden einbezogen.

Zudem wird im Tropenhaus Klein Eden mit Kaliumsulfat gedüngt. Dieses wird aus Kaliumchlorid und Schwefelsäure hergestellt. Die hierfür verwendete Datengrundlage liefert ebenfalls ecoinvent (ecoinvent Association 2018).

Bei allen Düngemitteln bleiben die Abfallbehandlung von Katalysatoren sowie die Beschichtung und Verpackung der Düngemittelendprodukte unberücksichtigt. Die Infrastruktur wird mit Hilfe eines Proxy-Moduls einbezogen.

Für die konventionelle Landwirtschaft wird auch der Düngemittelstreuer inklusive dessen Treibstoffverbrauch in die Wertschöpfungskette integriert. Im Gewächshaus werden keine landwirtschaftlichen Gerätschaften für das Ausbringen des Düngers verwendet.

Auch kommen im konventionellen Anbau Pestizide zum Einsatz. Die Datenbank ecoinvent berücksichtigt für den von ihr angegebenen Input an Pestiziden für ein Kilogramm Papaya ebenfalls alle Transportwege (ecoinvent Association 2018). Das Tropenhaus Klein Eden verwendet keine Pestizide.

#### 4.2.4 Transport

Wie bereits erwähnt resultiert ein großer Teil der Umweltbelastungen aus dem Handel von tropischen Früchten nach Europa und den damit verbundenen Transportwegen, die unter anderem mit dem Flugzeug absolviert werden.

Im Rahmen dieser Hausarbeit wurden abhängig von dem jeweiligen Marktanteil der Herkunftsländer am Papayaimport nach Deutschland der durchschnittliche Transportweg eines Kilogramms Papaya per Flugzeug und per LKW ermittelt. Die Datenbank ecoinvent stellt die jeweiligen Transportformen mit den dazugehörigen Vorketten sowie Umweltauswirkungen bereit.

Sie berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus des Verkehrs. Das heißt, innerhalb der Wertschöpfungskette der Transportwege sind die Produktion der Transportmittel (LKW oder Flugzeug) mit der dazugehörigen zu erwartenden Lebensdauer der Vehikel, die Gewinnung, Herstellung und den Verbrauch der Treibstoffe, sowie die Errichtung der

Infrastruktur (z.B. Straßennetz) mit einer zu erwartenden Lebensdauer und Wartung eben dieser einkalkuliert (ecoinvent Association 2018).

Tabelle 2: Transportdistanzen je Herkunftsland von Papaya, Quelle: [www.entfernungsrechner.net](http://www.entfernungsrechner.net) o. J.; [www.entfernungsrechner.net](http://www.entfernungsrechner.net) o. J.; [www.luftlinie.org](http://www.luftlinie.org) o. J.

Herkunftsland	Länge Transportweg in km	Transportart
Brasilien	10000	Flugzeug
Spanien	2000	LKW
Ghana	5000	Flugzeug
Thailand	8700	Flugzeug
Mexico	9500	Flugzeug
Niederlande	490	LKW
Peru	10500	Flugzeug
Griechenland	2200	LKW
Dominikanische Republik	7800	Flugzeug

Aus den in Tabelle 2 dargestellten Werten ergibt sich eine durchschnittliche Transportdistanz in Abhängigkeit vom jeweiligen Importanteil der Herkunftsländer von 8577,5 Flugkilometern und 185,2 Kilometer LKW-Fahrt bezogen auf 1 kg Papaya.

Zusammenfassend werden in Tabelle 3 alle Inputs des Untersuchungsrahmens mit den dazugehörigen Werten der jeweiligen Varianten dargestellt.

Tabelle 3: Zusammenfassung alle Inputwerte (eigene Darstellung)

	Inputflows	konventionelle Landwirtschaft	Tropenhaus "Klein Eden"		
			Variante 1	Variante 2	Variante 3
Dünger	Stickstoff in kg	0.00471	0.00529	0.04758	0.08988
	Phosphor in kg	0.0016	0.00133	0.01463	0.02792
	Kalium in kg	0.00839	0.00688	0.07560	0.14433
	Düngemittelstreuer in ha	0.00034		–	
Elem. Flows	Wasser in m <sup>3</sup>	0.143		0.456	
	Flächenbedarf in m <sup>2</sup>	0.0651		0.417	
	Energieverbrauch in kWh	0.0225		0.1169	
	positive Energiebilanz in kWh	–		-15.3649	
Transportwege	Pestizide in kg	0.00018		–	
	Transport PKW in km	–		40	
	Transport Flugzeug in km	8577.46		–	
	Transport Lastwagen in km	186.14		–	

Die Varianten dienen zur Veranschaulichung verschiedener möglicher Mengen an Dünginput im Gewächshaus (siehe Kapitel 4.1.2 unter Variantenbetrachtung). Variante 1 stellt den Minimalwert an Dünger im aktuellen Versuchstand dar. Variante 2 bildet den Mittelwert, während Variante 3 der maximale Input an Dünger in den aktuellen Untersuchungen darstellt.

### 4.3 Wirkungsabschätzung

In der Phase der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz werden Daten der Sachbilanzphase mit den betrachteten Wirkungskategorien verknüpft, um die Umweltauswirkungen des Produktsystems ausgehend von der funktionellen Einheit einschätzen zu können (DIN ISO 14040, 2006).

Die betrachteten Wirkungskategorien sind Klimawandel, Wasserverbrauch und fossiler Raubbau.

*Tabelle 4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die gewählten Wirkungskategorien (eigene Darstellung)*

Wirkungskategorien	konventioneller Anbau	Tropenhaus "Klein Eden" mit Abwärme		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3
Klimawandel in kg CO <sub>2</sub> -Äq.	9.738	-2.556	-2.325	-2.095
Wasserverbrauch in m <sup>3</sup>	1.113	-0.024	0.098	0.220
Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen in kg Öl-Äq.	3.219	-0.521	-0.464	-0.407

Die Tabelle 4 zeigt alle Ergebnisse der zwei Produktsysteme, inklusive der drei Dünger-Input-Varianten für das Tropenhaus Klein Eden.

Die Wirkungskategorien werden in den folgenden Kapiteln noch einmal gesondert betrachtet und ausgewertet.

#### 4.3.1 Klimawandel

Die Wirkungskategorie Klimawandel gehört zu den output-bezogenen Wirkungskategorien und beruht demnach auf der Berechnung von Treibhausgasemissionen, die als Folge des Papayaanbaus und aller relevanten Vor- und Nebenprozessketten der betrachtete Inputflüsse entstehen. Sie wird in der Einheit CO<sub>2</sub>-Äq. angegeben. Hierdurch werden alle Treibhausgase in ihrer Wirkungsweise auf den Klimawandel zur Vereinfachung auf eine Masseneinheit CO<sub>2</sub> bilanziert. Der Massenwert beläuft sich hierbei auf ein Kilogramm CO<sub>2</sub> je kg Papaya. Allgemein soll so die Auswirkungen der Referenzmenge auf den Klimawandel quantifiziert werden.

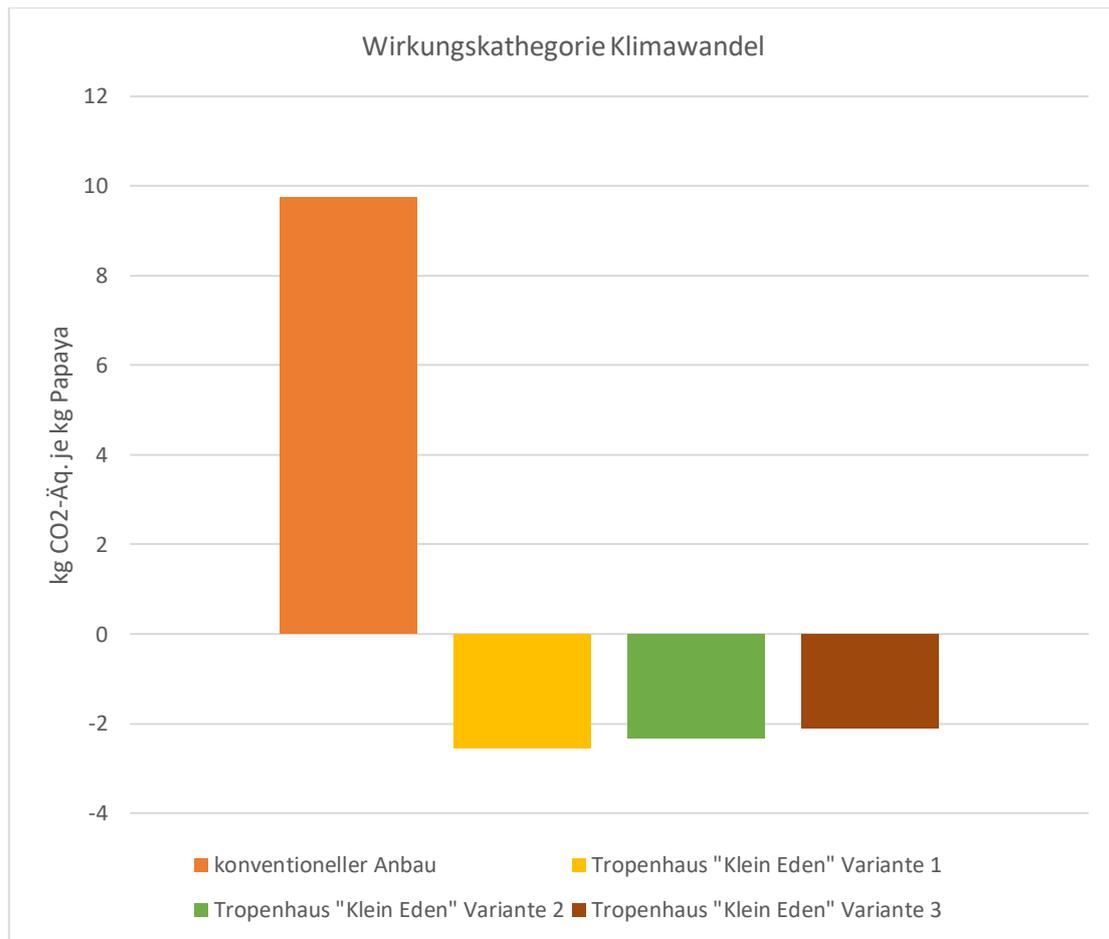


Abbildung 4: Darstellung der entstehenden Treibhausgase in CO<sub>2</sub> - Äq. aus den betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus: Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleiche Tabelle 3), (eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Wirkungskategorie Klimawandel sind in Abbildung 4 zur Veranschaulichung als Säulendiagramm dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Anbau von Papaya nach dem Konzept Klein Eden nicht nur wesentlich geringere Treibhausgasemissionen als der Papayaanbau in den Tropen und Subtropen verursacht, sondern auch größere Mengen an Treibhausgasemissionen einspart.

Der konventionelle Anbau verursacht 9,738 kg CO<sub>2</sub>-Äq. je Kilogramm Papaya. Im Gewächshaus ist hingegen ein negativer Wert erkennbar, der eine Vermeidung von Treibhausgasemissionen darstellt. Die Werte belaufen sich bei minimalem Düngeinsatz (Variante 1) auf -2,556 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und bei maximalem Düngerverbrauch (Variante 3) auf -2,095 kg CO<sub>2</sub>-Äq. je geerntetes Kilogramm Papaya. Die Auswirkungen, die sich durch verschiedene Mengen an Düngeinsatz ergeben, sind gering, aber dennoch erkennbar.

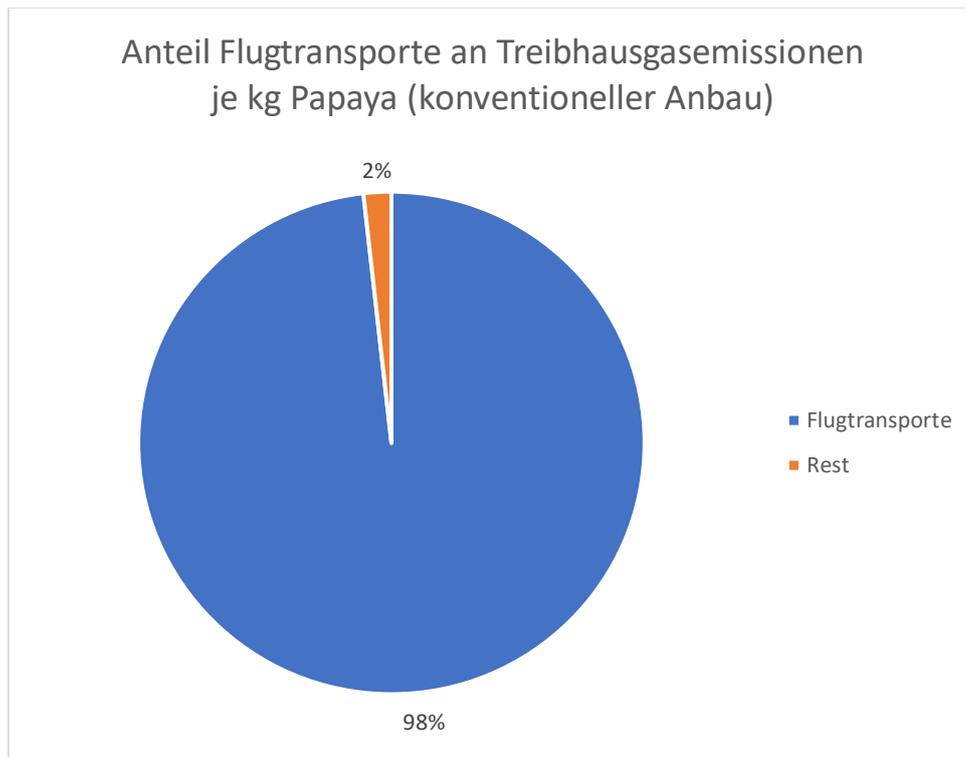


Abbildung 5: Darstellung der aus dem Flugtransport resultierenden Treibhausgasemissionen im konventionellem Papayaanbau in kg CO<sub>2</sub>-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung)

Ursache für die hohen Treibhausgasemissionen des konventionellen Anbaus sind die langen Transportwege per Flugzeug. Die Anbaumethoden selbst sind von geringerer Bedeutung für die Wirkungskategorie Klimawandel und aufgrund der natürlichen klimatischen Bedingungen zum Teil sogar effizienter als der Anbau im Gewächshaus, was die Mittelwerte an Dünge-, Wasser- und Platzbedarf angeht (siehe Tabelle 3). Die entstehenden Treibhausgasemissionen resultieren fast vollständig aus den anfallenden Transportwegen nach Deutschland (siehe Abbildung 5)

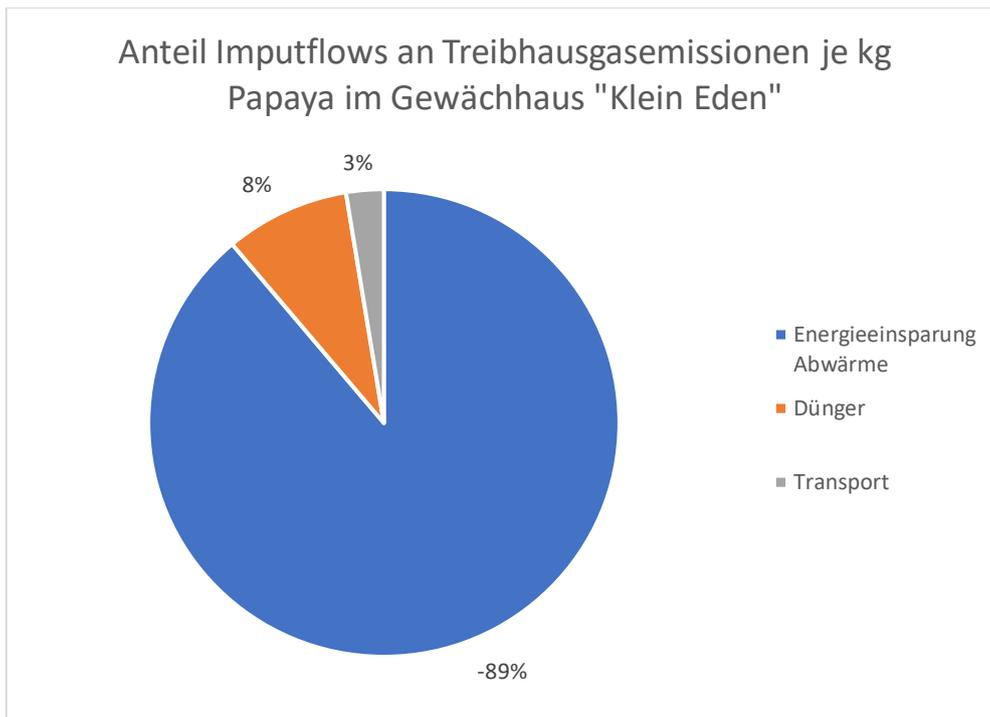


Abbildung 6: Anteil aller relevanten Inputflows in der Wirkungskategorie "Klimawandel" für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeinsatz (Variante 2). Darstellung in kg CO<sub>2</sub>-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung)

Die negativen Werte an CO<sub>2</sub>-Äq. im Gewächshausanbau hingegen stellen wie bereits erwähnt die eingesparten Treibhausgasemissionen im Papayaanbau durch die Wiederverwendung von Abwärme dar. Diese würde ansonsten ohne eine erneute Verwendung aus den energieaufwändigen Prozessen der Glasproduktion ungenutzt entweichen. Negativ auf die Klimabilanz der Gewächshausproduktion wirken sich die Produktion der eingesetzten Düngemittel und in geringem Maße die Transportwege der geernteten Frucht aus (siehe Abbildung 6).

#### 4.3.2 Wasserverbrauch

Die Wirkungskategorie Wasserverbrauch ist eine Input-bezogene Wirkungskategorie. Sie wird in m<sup>3</sup> angegeben.

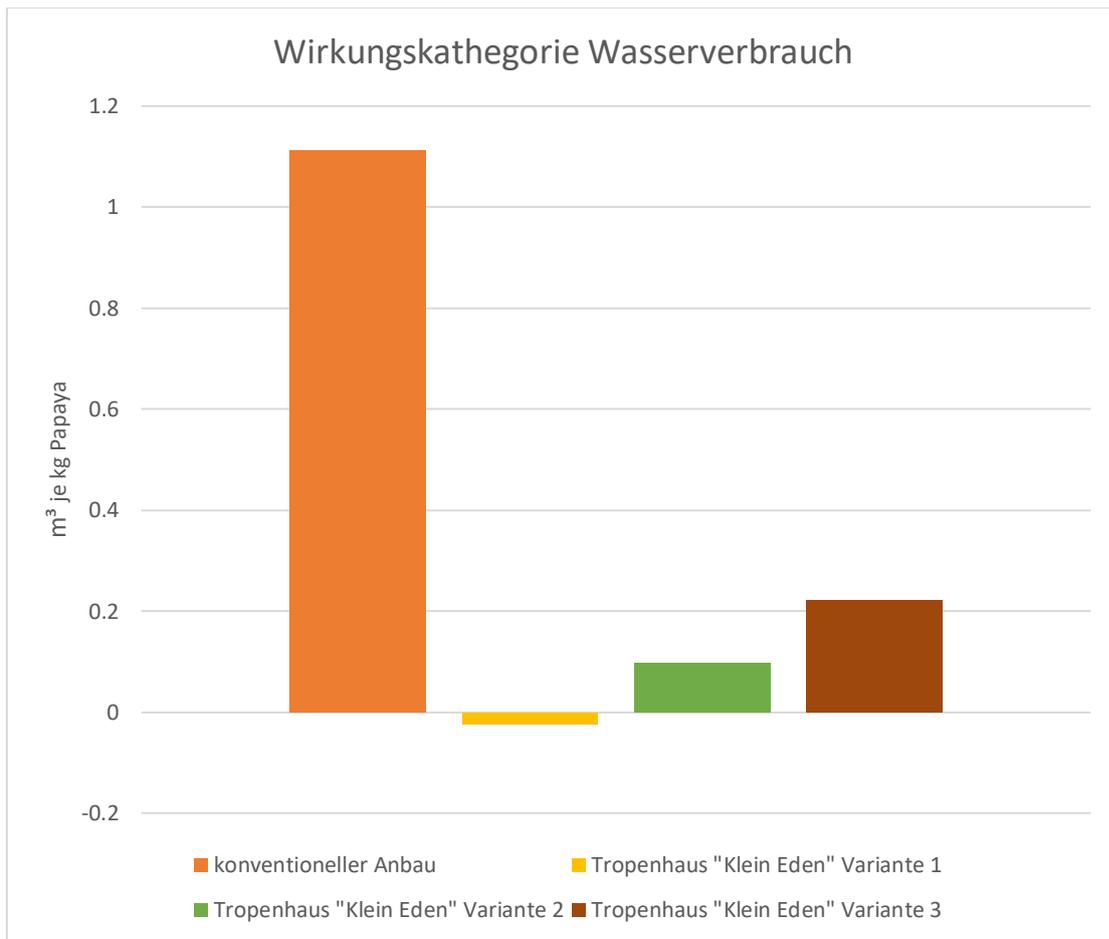


Abbildung 7: Darstellung des Wasserverbrauchs in m<sup>3</sup> je kg Papaya für die betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus. Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleiche Tabelle 3), (eigene Darstellung)

Abbildung 7 verdeutlicht den Wasserverbrauch der verschiedenen Anbaumethoden und ihrer Varianten. Im konventionellen Papayaanbau werden 1,1 m<sup>3</sup> Wasser je kg Papaya verbraucht. Hierbei ist der Aspekt der Plantagenbewässerung jedoch zweitrangig. Der Großteil des Wasserverbrauchs fällt für den Transport der Früchte und die damit verbundenen Vorprozesse an. Danach folgt die Bewässerung. Weitere Aspekte, die zum Wasserverbrauch beitragen, sind die notwendige Energieerzeugung und der Düngebedarf, wobei letzteres nur einen geringen Anteil am Gesamtverbrauch aufweist (siehe Abbildung 8).

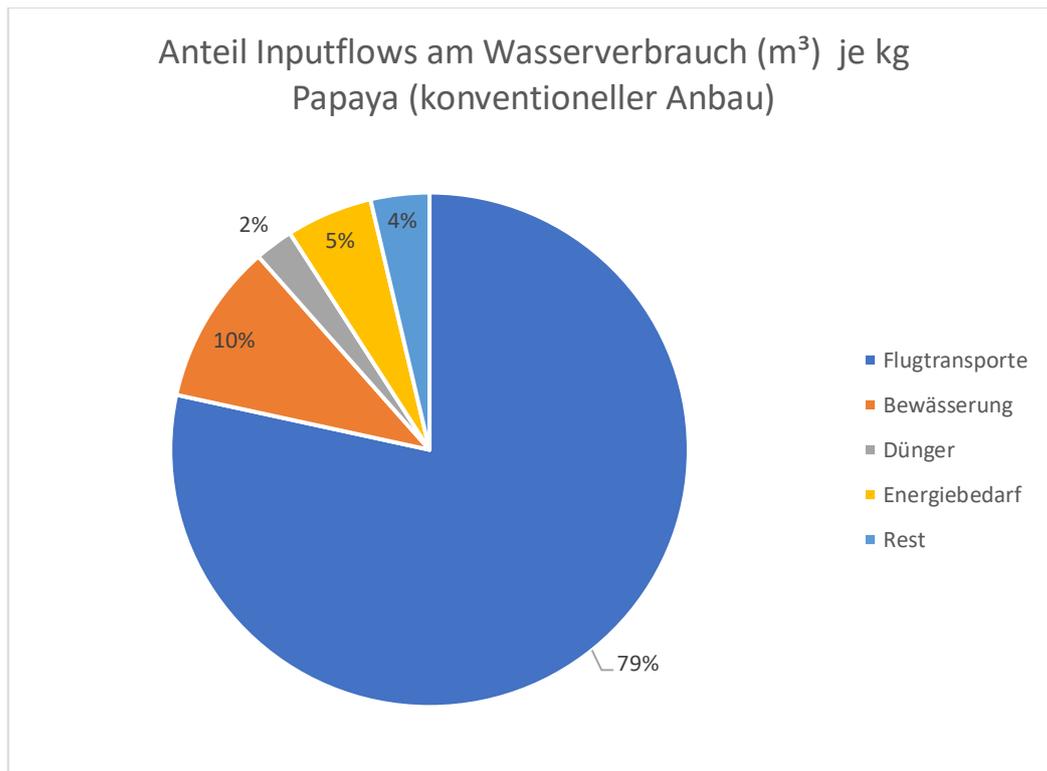


Abbildung 8: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Wasserverbrauch“ im konventionellem Papayaanbau. Darstellung in m<sup>3</sup> je kg Papaya. (eigene Darstellung)

Positiv für den Wasserverbrauch im Gewächshaus ist die Verwendung von Regenwasser, das auf den Dachflächen der Gebäude aufgefangen, gesammelt und zur Bewässerung verwendet wird. Hierdurch wird die Belastung anderer Wasserressourcen wie Grundwasser vermieden. Aus diesem Grund fällt der Aspekt der Bewässerung für die Kategorie Wasserverbrauch nicht ins Gewicht. Eingesparte Wasserressourcen (siehe Variante 1 in Abb. 7) ergeben sich auch in dieser Wirkungskategorie wieder aus dem eingesparten Energieverbrauch durch die Wiederverwendung von Abwärme. Dadurch, dass nur eine geringe Stromerzeugung für den Betrieb des Gewächshauses nötig ist, werden also grundsätzlich auch Wasserressourcen gespart.

Besonders auffällig ist jedoch, dass sich zwischen dem minimalen Düngerbedarf und dem Mittel- bis Maximalwert an Düngeinsatz der Wasserverbrauch von einem negativen zu einem positiven Wert wandelt. Das bedeutet, dass bei einem geringen Düngeinsatz noch Wasserressourcen eingespart werden, während ein erhöhter Düngeverbrauch auch einen höheren Verbrauch von Wasserressourcen mit sich führt. Dies ist auf den Wasserbedarf der industriellen Düngemittelproduktion und der damit verknüpften Prozesse zurückzuführen.

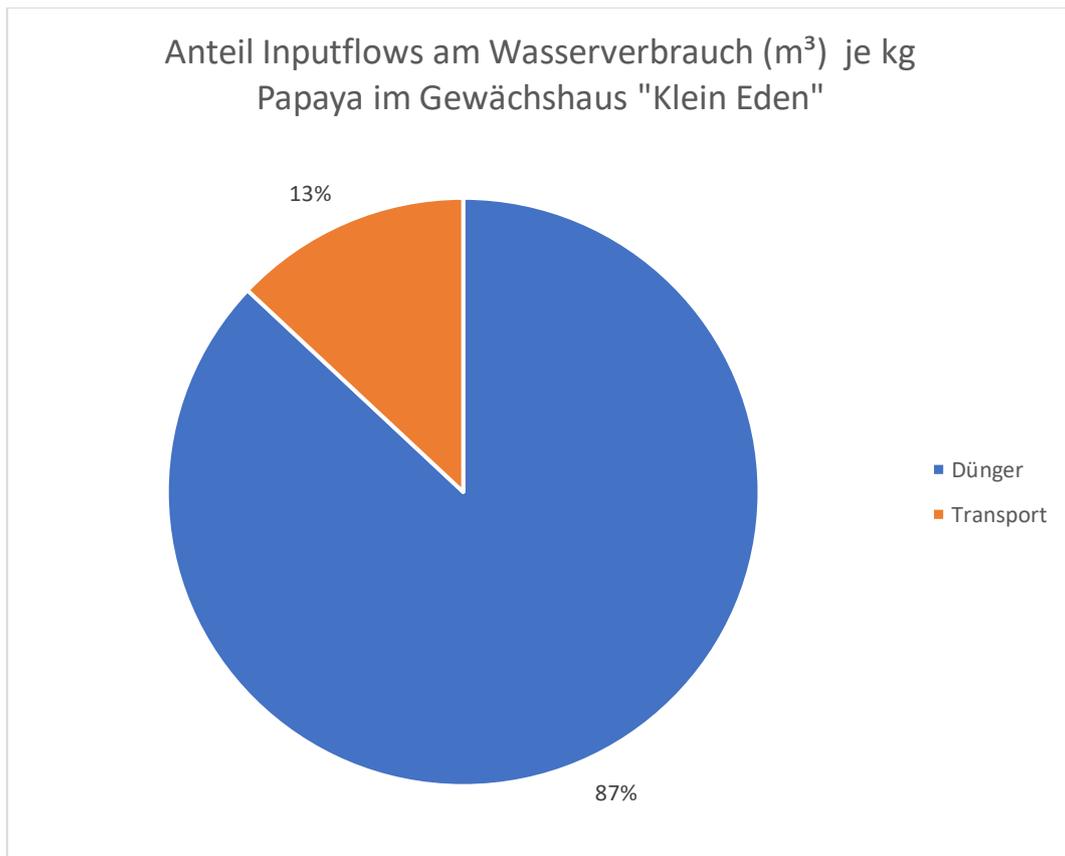


Abbildung 9: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Wasserverbrauch“ für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeinsatz (Variante 2). Darstellung in m<sup>3</sup> je kg Papaya (eigene Darstellung)

In Abbildung 9 ist die Verteilung der wasserzehrenden Aspekte der Variante 2 mit dem Mittelwert an Dünginput dargestellt. Hier lässt sich erkennen, dass der größte Anteil an Wasser aus dem Düngeinsatz bzw. der Produktion der verwendeten Düngemengen resultiert.

#### 4.3.3 Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen

Bei der Wirkungskategorie Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen wird der Verbrauch aller fossilen Energieträger innerhalb der Wertschöpfungskette betrachtet. Die hierfür verwendete Einheit lautet Kilogramm Öl-Äquivalent und stellt den Energiegehalt von Energieträgern, bezogen auf den Heizwert eines Kilogramms Erdöl dar (Paschotta 2020). Auch diese Wirkungskategorie ist eine input-bezogene Kategorie.

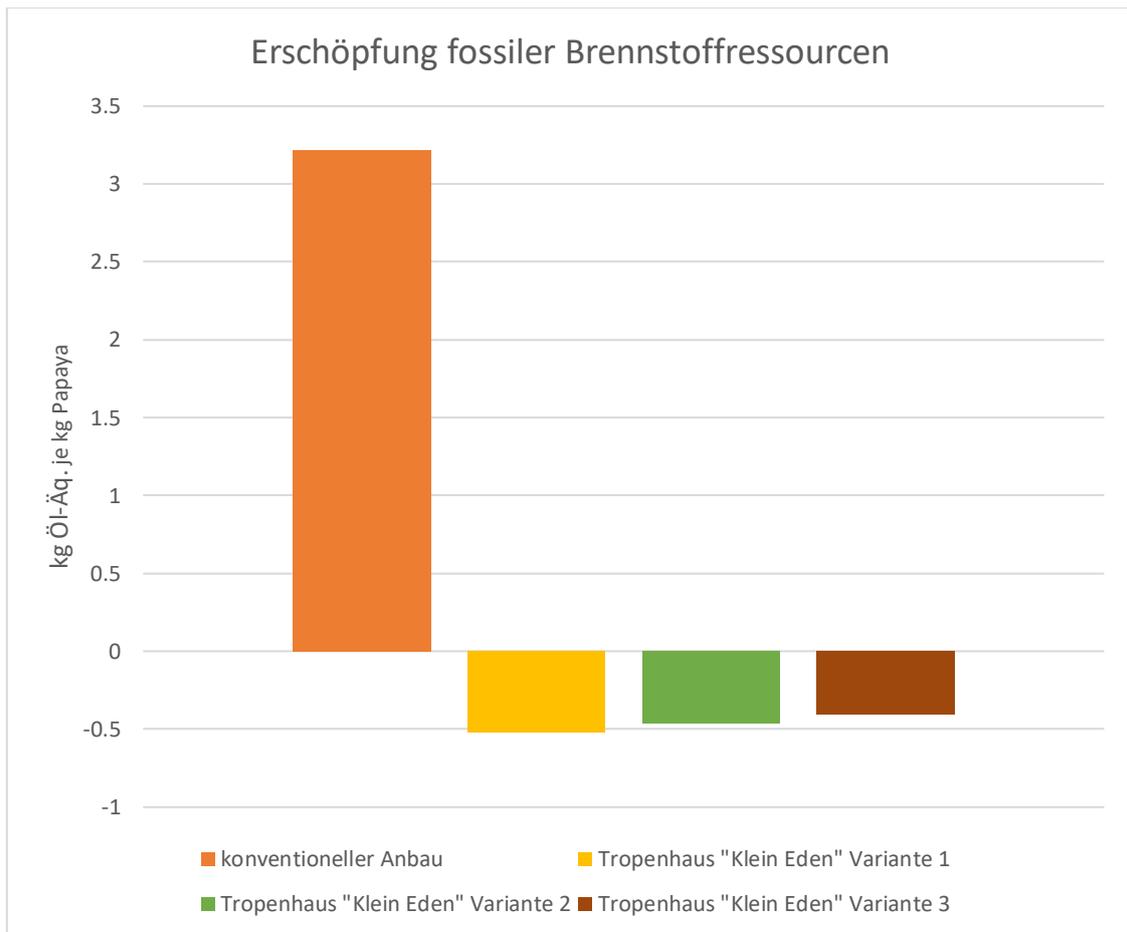


Abbildung 10: Darstellung der Erschöpfung fossiler Brennstoffressourcen in kg Öl-Äq. je kg Papaya für die betrachteten Anbaumethoden. Die Variantenbetrachtung bezieht sich hierbei auf unterschiedliche Mengen eingesetzten Düngers im Gewächshaus. Variante 1: minimaler Düngeinsatz, Variante 2: Mittelwert des eingesetzten Düngers, Variante 3: maximaler Düngeinsatz (vergleiche Tabelle 3), (eigene Darstellung)

Auch die Darstellung des Verbrauchs fossiler Energieträger in Abbildung 10 spiegelt die weiten Transportwege der Papaya aus den tropischen und subtropischen Regionen wider. Für ein Kilogramm Papaya werden etwa 3,22 kg Öl-Äquivalent an fossilen Energieträgern benötigt.

Dahingegen spart die genutzte Abwärme in allen drei Varianten des Papayaanbaus im Gewächshaus bis zu 0,52 kg Öl-Äquivalent ein. Auch hier sind die Unterschiede zwischen den drei Düngevarianten eher gering, womit der eingesetzten Menge an Dünger kein größerer Einfluss auf den Verbrauch fossiler Energieträger unterstellt werden kann.

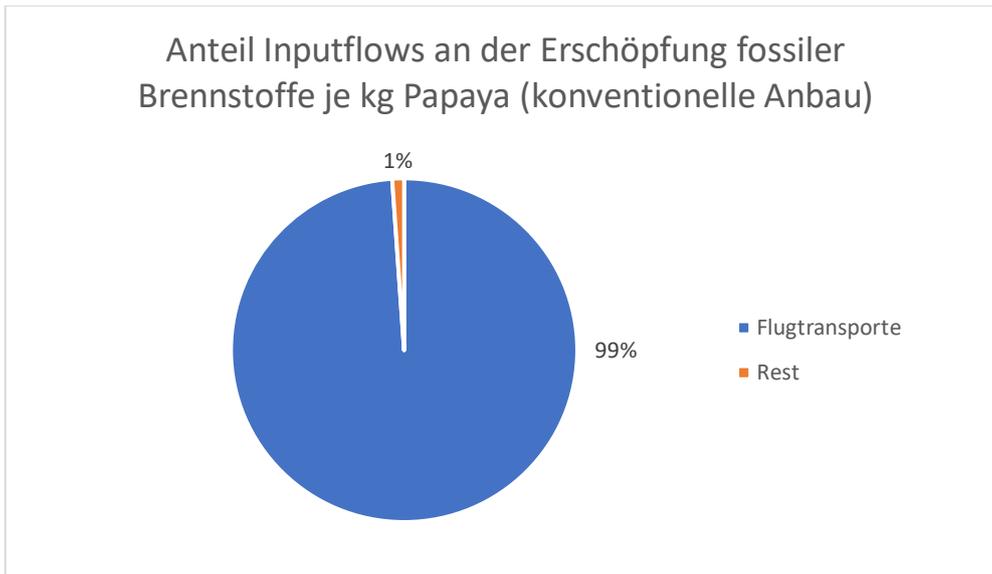


Abbildung 11: Anteil aller relevanten Inputflows an der Wirkungskategorie „Erschöpfung fossiler Brennstoffe“ im konventionellem Papayaanbau. Darstellung in kg Öl-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung)

In Abbildung 11 wird der Anteil der Flugtransporte am Verbrauch fossiler Brennstoffe deutlich.

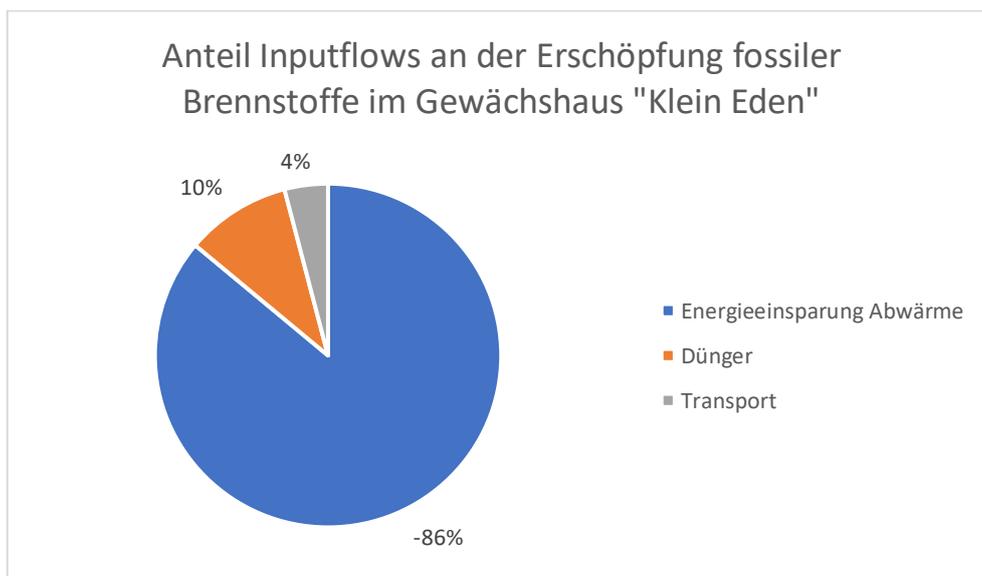


Abbildung 12: Anteil aller relevanten Inputflows in der Wirkungskategorie „Erschöpfung fossiler Brennstoffe“ für das Gewächshaus "Klein Eden" bei mittlerem Düngeinsatz (Variante 2). Darstellung in kg Öl-Äq. je kg Papaya (eigene Darstellung)

Abbildung 12 stellt die Anteile von Dünger und Transport der geernteten Frucht am Verbrauch fossiler Energieträger gegenüber den eingesparten Ressourcen durch die Wiederverwendung von Abwärme im Gewächshaus Klein Eden dar.

## 4.4 Auswertung

Als Ergebnis der Ökobilanzierung von Papaya als Produkt der intensiven konventionellen Landwirtschaft und des alternativen Ansatzes im Tropenhaus Klein Eden lässt sich festhalten, dass der Anbau im Gewächshaus unter den angenommenen Rahmenbedingungen in allen betrachteten Wirkungskategorien geringere Umweltauswirkungen mit sich führt als der Anbau in tropischen und subtropischen Regionen, unter Berücksichtigung der von dort aus anfallenden Transportwege.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung beruhen auf einem relativen Ansatz und zeigen demnach die potenziellen Umweltauswirkungen der Prozesse, bilanziert mit dem Programm OpenLCA. Hier werden keine tatsächlichen Wirkungen auf Wirkungsendpunkte, Grenzwertüberschreitungen von Schwellenwerten, Sicherheitsspannen oder Gefahren vorausgesagt (DIN ISO 14040, 2006).

Grundsätzlich lässt sich bereits in der Darstellung der Inputflows beider Anbaumethoden erkennen, dass der Gewächshausanbau höhere Inputwerte an Dünger, Wasser, Fläche und Energie benötigt (siehe Tabelle 3). Dies könnte auf die für den Papayaanbau suboptimalen abiotischen Faktoren der gemäßigten Klimazone wie beispielsweise die hier herrschenden Lichtverhältnisse zurückzuführen sein. Demnach kann der konventionellen Kultivierung von Papaya eine höhere Effizienz, was die eben genannten Faktoren anbelangt, zugeschrieben werden. Es wird an dieser Stelle erwähnt, dass die Datengrundlage für diese Schlussfolgerung auf der Datenbank ecoinvent basiert und die tatsächlichen Inputwerte für den Papayaanbau von Region zu Region, sowie je nach Anbaumethode, variieren können.

Die genutzten Anbaumethoden und Betriebsweisen im Gewächshaus Klein Eden können jedoch durch nachhaltige und alternative Ansätze viele Umweltauswirkungen so gering wie möglich halten. So ist die Verwendung von Regenwasser eine ressourcensparende Praxis. Auch Ansätze für geschlossene Stoffkreisläufe, die in Zukunft für den Betrieb des Gewächshauses vorgesehen sind, vermögen die Nachhaltigkeit und Effizienz weiter zu verbessern. Das geschlossene System Gewächshaus reduziert zudem mögliche Schadstofftransporte in die Umwelt. Biologische und ökologische Ansätze wie der Verzicht auf Pestizide werden durch die Infrastruktur Gewächshaus ermöglicht und vermeiden gegenüber anderen Verfahrensweisen in der intensiven Landwirtschaft potenziell schädliche Stoffeinträge

in die Umwelt. Eine besondere Relevanz für die positiven Ergebnisse in allen Wirkungskategorien der Wirkungsabschätzung hat jedoch der Verwendung der Abwärme aus der Glasproduktion des Glasindustriebetriebs Heinz-Glas GmbH. Hierdurch werden erhebliche Mengen an Energie eingespart. Nach dem in dieser Ökobilanzierung angewendeten Bilanzierungsansatz werden damit andernfalls auftretende Umweltauswirkungen vermieden. Den Düngeinsatz betreffend können in allen drei betrachteten Betriebsvarianten Treibhausgasemissionen und der Verbrauch fossiler Brennstoffe reduziert werden. Einen weiteren erwähnenswerten Aspekt stellt der variable Einsatz von Dünger dar. Für die Wirkungskategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Energieträger sind, besonders verglichen mit den Ergebnissen aus dem konventionellen Anbau, die Unterschiede unter den jeweiligen Betriebsvarianten relativ gering. Was den Wasserverbrauch angeht, sind jedoch größere Unterschiede zwischen minimalem, mittlerem und maximalem Düngeinsatz erkennbar. Dies verdeutlicht, dass die verwendete Menge an Dünger eine mögliche Stellschraube für die weitere Optimierung der Nachhaltigkeit in Klein Eden darstellt. Gleichzeitig konnte aber auch festgestellt werden, dass, verglichen mit dem konventionellen Anbau, selbst bei zehnmal höherem Dünginput die Auswirkungen auf die Umwelt geringer sind, als die von den Transportwegen beim Import von Papaya verursachten Folgen.

Ein für die Ökobilanzierung der konventionellen Landwirtschaft ausschlaggebender Aspekt sind die langen Transportwege von Papaya mit dem Flugzeug bis nach Deutschland. Da die Nachfrage für Papaya auf dem deutschen Markt zu sehr großen Anteilen aus Ländern Süd- und Mittelamerikas sowie dem asiatischen Raum gedeckt wird, fallen lange Transportwege an, die mit Flugtransporten bewältigt werden. Der Verbrauch von Treibstoff und die Bereitstellung der Infrastruktur des Flugverkehrs verursacht hierbei hohe Umweltauswirkungen. Diese werden im Vergleich zum Gewächshausanbau in Kapitel 4.3 Wirkungsabschätzung deutlich. Abschließend ist auch der ausschließlich lokale Vertrieb der Produkte Klein Edens ein weiterer Faktor, der das Konzept des Gewächshauses zu einer nachhaltigen Alternative gegenüber importierter Papaya macht.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Frucht Papaya erfährt als Lebensmittel seit Jahren eine steigende Nachfrage in Deutschland. Diese Nachfrage wird aktuell beinahe vollständig aus dem Papayaanbau in Regionen der Tropen und Subtropen gedeckt. Die hierbei anfallenden

Transportwege werden, wie zuvor erwähnt, hauptsächlich mit dem Flugzeug bewältigt. Diese Transporte ziehen hohe Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbräuche nach sich und schädigen so die Umwelt.

Eine regionale Produktion von Papaya in Deutschland wäre eine Möglichkeit, diese Umweltauswirkungen zu vermeiden. Das Konzept Klein Eden, in dem Abwärme für den Betrieb eines Gewächshauses genutzt wird, stellt nach den Ergebnissen dieser Arbeit eine nachhaltige Alternative für die Produktion von Papaya dar, besonders unter Berücksichtigung vermiedener Transportwege. Ähnliche Schlussfolgerungen könnten sich auch für andere tropische Früchte mit langen Transportwegen treffen lassen, besonders, wenn die Transporte mit dem Flugzeug erfolgen.

Zukünftig kann also für Prozesse und Produktionen, bei denen ungenutzte Abwärme entsteht, aus Gründen der Nachhaltigkeit in Erwägung gezogen werden, diese Abwärme für den Gewächshausbetrieb zu nutzen. Hierdurch lassen sich potenziell nachhaltige Alternativen zur konventionellen Landwirtschaft schaffen. Entscheidend ist hierbei der Vermeidung anfallender Transportwege und Transportmittel.

Weitere relevante Aspekte wie die Wirtschaftlichkeit der hier betrachteten alternativen Anbaumethode bleiben im Rahmen dieser Arbeit unberücksichtigt. Außerdem ist nicht absehbar, in welchen Größenordnungen die alternativen Methoden eingesetzt werden müssen, um einen relevanten Einfluss auf die vom Import tropischer Früchte resultierenden Umweltauswirkungen zu haben.

Dennoch lässt sich zusammenfassend sagen, dass das hier betrachtete Modell Klein Eden in allen berücksichtigten Aspekten nachhaltiger sein kann als der Import von Papaya.

## Literaturverzeichnis

Agrifarming (o. J.): Papaya Farmin Techniques, Cultivation Tips - A Full Guide. o. O. Online verfügbar unter <https://www.agrifarming.in/papaya-farming>, zuletzt geprüft am 14.04.2023.

Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (o.J.): Obst und Gemüse aus den Regionen der Welt. Vielfalt auf dem deutschen Markt. Online verfügbar unter [https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/VermarktungsnormenObstGemuese/Flyer/Infokarte.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/VermarktungsnormenObstGemuese/Flyer/Infokarte.pdf?__blob=publicationFile&v=1).

CBI Ministry of Foreign Affairs (2018): Exporting fresh papayas to Europe. Online verfügbar unter <https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/papayas#product-definition>, zuletzt geprüft am 22.02.2023.

Chilur, Rudragouda; Yadachi, Shiddanagouda (2017): Energy Audit of Maize Production System of Selected Villages of North Karnataka, India. In: *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 6 (8), S. 3564–3571. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.608.427.

ecoinvent Association (Hg.) (2018): ecoinvent Database. Online verfügbar unter <https://ecoinvent.org/>.

Fuentes, Gabriela; Santamaría, Jorge M. (2013): Papaya (*Carica papaya* L.): Origin, Domestication, and Production 43, S. 3–15. DOI: 10.1007/978-1-4614-8087-7\_1.

Galán Saúco, V.; Rodríguez Pastor, M.AC. (2007): GREENHOUSE CULTIVATION OF PAPAYA. In: *Acta Hort.* (740), S. 191–195. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.740.22.

Genussregion-Oberfranken (o. J.): Kleintettau: Das Tropenhaus 'Klein-Eden'. o. O. Online verfügbar unter <https://www.genussregion-oberfranken.de/erleben/kleintettau-das-tropenhaus-klein-eden/>, zuletzt geprüft am 27.05.2023.

Keller, M. (2010): Flugimporte von Lebensmitteln und Blumen nach Deutschland. In: *Institut für alternative und nachhaltige Ernährung (IFANE)*.

Küthe, G.; Spoerhase, H. (1974): Anbau und Nutzungsmöglichkeiten von Papaya (*Carica papaya* L.). In: *Der Tropenlandwirt, Zeitschrift für die Landwirtschaft in den Tropen u. Subtropen* 1974, S. 129–139.

Paschotta, R. (2020): Energie-Lexikon. Online verfügbar unter <https://www.energielexikon.info/oelaequivalent.html>.

Pripa-exotic.de (o. J.): Vielfalt in bester BIO-Exoten-Qualität. o. O. Online verfügbar unter <https://pripa-exotic.de/about/agriculture>, zuletzt geprüft am 19.03.2023.

Reinhardt, G.; Gärtner, S.; Wagner, T. (2020): Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Reinhardt-Gaertner-Wagner-2020-Oekologische-Fu%C3%9Fabdruecke-von-Lebensmitteln-und-Gerichten-in-Deutschland-ifeu-2020.pdf>.

Schmitt, R.; Lauerer, M.; Messinger, J. (2014): Klein-Eden - Ein zukunftsweisendes Umweltprojekt. Anbau tropischer Früchte mittels Abwärme im Niedertemperaturbereich. Sachbericht Projekt Nr. 129: „Klein-Eden“-Tropenhaus am Rennsteig GmbH Europäischer. Online verfügbar unter <https://www.tropenhaus-am-rennsteig.de/ver%C3%B6ffentlichungen-downloads/>.

Statista (2023): Import von tropischen und subtropischen Früchten nach Deutschland in den Jahren 2009 bis 2022. Hamburg. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/153671/umfrage/importmenge-von-suedfruechten-nach-deutschland/>.

Statistisches Bundesamt (2023): Bruttostromerzeugung in Deutschland. Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html>, zuletzt geprüft am 20.04.2023.

Tridge (2022): Fresh Papaya. o. O. Online verfügbar unter <https://www.tridge.com/intelligences/papaya/DE/import>, zuletzt geprüft am 22.02.2023.

DIN ISO 14040, 2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006).

www.entfernungsrechner.net (o. J.). o. O. Online verfügbar unter  
<https://www.entfernungsrechner.net>, zuletzt geprüft am 03.03.2023.

www.luftlinie.org (o. J.). o. O. Online verfügbar unter <https://www.luftlinie.org>, zuletzt  
geprüft am 03.03.2023.