

Studie zur Umweltbilanz (LCA) von ,Simply V'-Produkten

Ökobilanz für pflanzenbasierte Käsealternativen
der EVA GmbH und Vergleich mit
kuhmilchbasierten Molkereiprodukten

Freiburg, 14.03.2024

Im Auftrag der E.V.A. GmbH, D-88179 Oberreute

Studienersteller:

Kevin Stuber-Rousselle, Ran Liu, Dr. Florian Antony, Öko-
Institut e.V., Freiburg

Critical Review Panel:

Prof. Dr. Birgit Grahl (Chair), Mirjam Busch, Prof. Dr. Sergiy
Smetana

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	12
Begriffe und Definitionen	13
Zusammenfassung	17
1 Hintergrund und Zielsetzung	21
1.1 Zielsetzung	21
1.2 Konzept der vorliegenden Ökobilanz	21
2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens	23
2.1 Ziel der Ökobilanz	23
2.2 Untersuchungsrahmen der Studie	24
2.2.1 Allgemeine Hinweise	24
2.2.2 Auswahl der zu untersuchenden Produktsysteme	25
2.2.3 Funktion und funktionelle Einheit	25
2.2.4 Systemgrenze	27
2.2.5 Abschneidekriterien	29
2.2.6 Umgang mit Koppelprodukten und gewählte Verfahren zur Allokation	31
2.2.7 Methode für die Wirkungsabschätzung und ausgewählte Wirkungskategorien	32
2.2.8 Datentypen und –quellen, sowie Anforderungen an die Datenqualität	37
2.2.8.1 Anforderungen an die Datenqualität	37
2.2.8.2 Umgang mit fehlenden Daten	39
2.2.9 Vergleiche zwischen Systemen	39
2.2.10 Darstellung des Verfahrens zur kritischen Prüfung	40
2.2.11 Art des vorliegenden Studienberichts	41
2.2.12 Art der Auswertung der vorliegenden Studie	41
2.2.13 Annahmen, die der vorliegenden Studie zugrunde liegen und sich aus diesen Annahmen ergebende Einschränkungen	41
3 Grundlage der Sachbilanz: Modellierung und Datengrundlage	43
3.1 Rohwarenproduktion	44
3.1.1 Rohwarenbedarf für pflanzliche Käsealternativen	44
3.1.1.1 Mandelproduktion	48

3.1.1.2	Kokosfett	52
3.1.1.3	Tapiokastärke	53
3.1.1.4	Kartoffelprotein und Sonnenblumenprotein	54
3.1.1.5	Carrageen	56
3.1.2	Rohwarenbereitstellung für die kuhmilchbasierten Käseprodukte	58
3.2	Rohwarenanlieferung	62
3.2.1	Rohwarenanlieferung für pflanzliche Käsealternativen	62
3.2.2	Rohwarenlieferung, -lagerung und -vorbereitung der Rohmilch	64
3.3	Produktionsprozess	64
3.3.1	Herstellung der pflanzenbasierten Käsealternativen	64
3.3.2	Herstellung von klassischem Käse auf Kuhmilchbasis	72
3.4	Verpackung (inkl. Bereitstellung der Verpackungsmaterialien)	75
3.4.1	Verpackung von pflanzenbasierten Käsealternativen	75
3.4.2	Verpackung von kuhmilchbasiertem Käse	77
3.5	Distribution	77
3.5.1	Zusätzlicher betriebsinterner Transport zwischen den Produktionsstandorten	77
3.5.2	Externer Transport	78
3.6	Nutzungsphase im privaten Haushalt	81
3.7	End of Life der Verpackungsmaterialien	81
4	Durchführung der Wirkungsabschätzung	82
4.1	Stellungnahme zur Beurteilung von Wirkungsindikatorergebnissen im Rahmen der vorliegenden Studie	82
4.2	Gesamtergebnis	83
4.3	Darstellung der Ergebnisse der Beitragsanalyse	86
4.3.1	Treibhauspotenzial gesamt in kg CO ₂ -eq pro 100 g Produkt	86
4.3.2	Versauerungspotenzial	90
4.3.3	Eutrophierungspotenzial	92
4.3.3.1	Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	92
4.3.3.2	Süßwasser-Eutrophierungspotenzial	94
4.3.3.3	Marines Eutrophierungspotenzial	97
4.3.4	Landnutzung	99
4.3.5	Wasserinanspruchnahme	100
4.3.6	Feinstaub	103
4.3.7	Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit	104

4.3.8	Kumulierter Energieaufwand	105
4.3.8.1	Kumulierter Energieaufwand, nicht regenerativ	105
4.3.8.2	Kumulierter Energieaufwand, regenerativ	106
4.4	Sensitivitätsanalysen	107
4.4.1	Sensitivitätsanalyse: Mandelproduktion I: Modellierung mit unverändertem ecoinvent-Datensatz „almond production - US“	107
4.4.2	Sensitivitätsanalyse: Mandelproduktion II: Ökologische Mandelproduktion in Spanien	109
4.4.3	Sensitivitätsanalyse: Wasserverbrauch nach ReCiPe	113
4.4.4	Sensitivitätsanalyse Biogasproduktion	114
4.4.5	Sensitivitätsanalyse reduzierte Ausschussmengen	117
4.4.6	Sensitivitätsanalyse Milchproduktion	118
4.4.7	Sensitivitätsanalyse: Strombezug aus Erneuerbaren Energien für die Produktionsstandorte der E.V.A. GmbH	125
5	Auswertung und Diskussion der Ergebnisse	127
5.1	Zweckmäßigkeit der Festlegung des Systemnutzens, der funktionellen Einheit und der Systemgrenze	127
5.2	Identifizierung der signifikanten Parameter auf der Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	128
5.3	Relevante Ergebnisse der Wirkungsabschätzung	129
5.3.1	Relevante Wirkungskategorien	129
5.3.2	Relevante Wirkungskategorieergebnisse und wichtige (Teil-) Prozesse	130
5.4	Beurteilung unter Einbezug der Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen	133
5.4.1	Vollständigkeitsprüfung	134
5.4.2	Sensitivitätsprüfung	135
5.4.3	Konsistenzprüfung	135
5.5	Einschätzung zu Einschränkungen in Hinblick auf Schlussfolgerungen	136
6	Schlussfolgerung	138
7	Literaturverzeichnis	141
Anhang		144
Anhang I. Gutachten zur externen kritischen Prüfung		144
Anhang II. Darstellungen der Systemgrenzen		153
Anhang III. Mandelproduktion		159
Anhang IV. Verpackungsmaterial		162

Anhang V. Verpackungsmaterial der Rohwaren	164
Anhang VI. Reinigungsmittel	166
Anhang VII. Modellierung der Tapiokastärke nach Lin et al. 2021	171
Anhang VIII. Kraffuttermittelzusammensetzung für Rinder nach Antony et al (2021)	172

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Phasen einer Ökobilanz	22
Abbildung 2-1: Exemplarische Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Schnittkäsealternative (Werte bezogen auf 100 g Endprodukt)	28
Abbildung 2-2: Exemplarische Darstellung der Systemgrenze des Schnittkäses auf Kuhmilchbasis pro 100 g Produkt	29
Abbildung 3-1: Herstellungsprozess des Kartoffelproteins	54
Abbildung 3-2: Systemgrenzen für die Bereitstellung getrockneter Algen	57
Abbildung 4-1: Treibhauspotenzial, gesamt in kg CO ₂ -eq pro 100 g Produkt	86
Abbildung 4-2: Treibhauspotenzial der Bereitstellung von Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen [in Prozent]	87
Abbildung 4-3: Versauerungspotenzial in mol H ⁺ -eq pro 100 g Produkt	91
Abbildung 4-4: terrestrisches Eutrophierungspotenzial, in mol N-eq pro 100 g Produkt	93
Abbildung 4-5: Süßwasser-Eutrophierungspotenzial in g P-eq pro 100 g Produkt	95
Abbildung 4-6: Marines Eutrophierungspotenzial , in g N-eq pro 100 g Produkt	97
Abbildung 4-7: Landnutzungspotenzial, dimensionslos, pro 100 g Produkt	99
Abbildung 4-8: Wasserknappheitspotenzial in m ³ Wasser-eq Wasserknappheit pro 100 g Produkt	100
Abbildung 4-9: Feinstaub in Krankheitsinzidenzen je 100 g Produkt	103
Abbildung 4-10: Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit, in kg NMVOC-eq pro 100 g Produkt	104
Abbildung 4-11: Kumulierter Energieaufwand, nicht regenerativ in MJ pro 100 g Produkt	105
Abbildung 4-12: Kumulierter Energieaufwand, regenerativ in MJ pro 100g Produkt	106
Abbildung 4-13: Treibhauspotenzial, gesamt der pflanzlichen Käsealternativen mit europäischer Mandelproduktion im Vergleich zum Basisszenario, in kg CO ₂ -eq pro 100 g Produkt	111
Abbildung 4-14: Wasserknappheitspotenzial der Käsevarianten mit europäischer Mandelproduktion in m ³ Wasser-eq Wasserknappheit pro 100 g Produkt	112
Abbildung 4-15: Wasserverbrauch nach ReCiPe pro 100 g Produkt	113
Abbildung 4-16: Sensitivitätsanalyse: Biogas Treibhauspotenzial in Prozent	116
Abbildung 4-17: Treibhauspotenzial von Milchdatensätzen in kg CO ₂ -eq pro kg Milch	120

Abbildung 4-18: Sensitivitätsanalyse zum Treibhauspotenzial der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze	123
Abbildung 4-19: Sensitivitätsanalyse zum Süßwasser Eutrophierungspotential der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze	124
Abbildung 4-20: Sensitivitätsanalyse zum marinen Eutrophierungspotential der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze	124
Abbildung 4-18: Relatives produktionsbedingtes Treibhauspotenzial der pflanzenbasierten Käsealternativen mit und ohne Anrechnung von Öko-Strom	126
Abbildung 7-1: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Streukäsealternative für 100 g Produkt	153
Abbildung 7-2: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Streichkäsealternative für 100 g Produkt	154
Abbildung 7-3: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Hirtenkäsealternative für 100 g Produkt	155
Abbildung 7-4: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Streukäses für 100 g Produkt	156
Abbildung 7-5: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Streichkäses für 100 g Produkt	157
Abbildung 7-6: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Weichkäses für 100 g ProduktSchnitt	158

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	In der vorliegenden Ökobilanz untersuchte Produktsysteme	25
Tabelle 2-2:	Nährwertprofilen der Produktvarianten pro 100 g Produkt (Auszug)	26
Tabelle 2-3:	Allokationsregeln bei Multi-Output-Prozessen	32
Tabelle 2-4:	Überblick der ausgewerteten Wirkungskategorien und -indikatoren	35
Tabelle 2-5:	Festlegung von Anforderungen an die Datenqualität im vorliegenden Vorhaben	38
Tabelle 3-1:	Massenmäßige Zusammensetzung der Rohwaren für pflanzliche Käsealternativen [Angaben in Prozent]	44
Tabelle 3-2:	Verpackung der Rohwaren	46
Tabelle 3-3:	Schälen und Enthüllen von Mandeln, nach Kendall et al. 2015, bezogen auf 1 kg geschälte Mandeln	50
Tabelle 3-4:	Massenverhältnis der Koppelprodukte der Mandelproduktion und ökonomisch gewichtete Allokation auf Massenbasis	50
Tabelle 3-5:	Waschen, Bürsten, Trocknen und Sortieren von 1 kg geschälten Mandeln	51
Tabelle 3-6:	Rösten und Mahlen von 1kg Mandelpaste	52
Tabelle 3-7:	Produktion von 1 t Maniokwurzel	53
Tabelle 3-8:	Produktion von 1 t Tapiokastärke nach Usubharatana und Phunggrassami 2015	53
Tabelle 3-9:	Prozessparameter im Zuge der Bereitstellung des Kartoffelproteins	55
Tabelle 3-10:	Prozessparameter zur Bereitstellung von 1 kg Kartoffelprotein, flüssig	56
Tabelle 3-11:	Prozessparameter zur Bereitstellung von 1 kg Sonnenblumenprotein	56
Tabelle 3-12:	Prozessparameter zur Modellierung der Algenproduktion, nach Oirschot et al. (2017)	57
Tabelle 3-13:	Prozessparameter der Verarbeitung von 1 kg getrockneter Algen zu Carrageen	58
Tabelle 3-14:	Darstellung der untersuchten Milchproduktionssysteme (Betriebsmodelle)	61
Tabelle 3-15:	Deutscher Rohmilchmix, anteilig nach Erzeugungsregion, Haltungsform und Produktionssystem	62
Tabelle 3-16:	Transportdistanzen der Rohwaren pflanzliche Käsealternativen	63
Tabelle 3-17:	Produktionsmengen für alle ‚Simply V‘ - Produkte im Jahr 2021	65

Tabelle 3-18:	Energie- und Materialaufwendungen in Oberreute (bezogen auf 100 g Produkt)	66
Tabelle 3-19:	Energie- und Materialaufwendungen Hergatz (bezogen auf 100g Produkt)	67
Tabelle 3-20:	Hintergrunddatensätze zur Modellierung der Energie- und Wasserverbräuche	68
Tabelle 3-21:	Reinigungsmittel	69
Tabelle 3-22:	Im Produktionsprozess benötigte Zwischenverpackung (bezogen auf 100g Produkt)	70
Tabelle 3-23:	Ausschussmengen bei der Herstellung von ‚Simply V‘-Produkten	71
Tabelle 3-24:	Biogasproduktion aus 1 kg Produktionsausschuss	71
Tabelle 3-25:	Rohwareninput nach PEFCR Dairy (bezogen auf die Produktion von 100 g Käse)	72
Tabelle 3-26:	Energetische und stoffliche Aufwendungen der Herstellung von 100 g Käse nach Angabe der PEFCR Dairy	73
Tabelle 3-27:	Energieaufwand Reibe- und Schneidemaschine pro 100 g Produkt	74
Tabelle 3-28:	Trockenmassengehalte verschiedener Käsearten und Produktion von Molke / 100 g Käse	74
Tabelle 3-29:	Allokationsfaktoren Käse und Molke	75
Tabelle 3-30:	Verpackungskomponenten pro 100 g verzehrfertiges Produkt	76
Tabelle 3-31:	Sekundär- und Tertiärverpackungen, pro 100 g Produkt	77
Tabelle 3-32:	zusätzlicher betriebsinterner Transport bei den pflanzlichen Käsealternativen	78
Tabelle 3-33:	Verpackungsmaße und Verpackungsvolumen	79
Tabelle 3-34:	Energieverbrauch in der Distribution	79
Tabelle 3-35:	Modellierung der Downstream-Distribution ab Werktor pro 100 g Produkt	80
Tabelle 3-36:	Nutzungsphase je 100 g Produkt	81
Tabelle 3-37:	Anfall an zu behandelndem Verpackungsmaterial je 100 g Produkt	81
Tabelle 4-1:	Wesentlichkeitsschwellen bei den Wirkungsindikatorergebnissen	82
Tabelle 4-2:	Gesamtergebnis, pro Funktionelle Einheit (100g Produkt)	83
Tabelle 4-3:	Treibhauspotenzial aus Landnutzung und Landnutzungsänderung in kg CO ₂ -eq pro 100 g Produkt	89
Tabelle 4-4:	Regionsspezifische AWARE-Faktoren für das Central Valley (USA)	101

Tabelle 4-5:	Überblick zu den durchgeführten Sensitivitätsanalysen	107
Tabelle 4-6:	Sensitivitätsanalyse Mandelproduktion pro 100 g Produkt	108
Tabelle 4-7:	Mandelerträge in kg pro Hektar und Treibhauspotenzial pro kg ungeschälte Mandel	110
Tabelle 4-8:	Biogasausbeute bei Einsatz verschiedener Substrate	115
Tabelle 4-9:	Reduzierte Ausschussmengen bei der Produktion pflanzlicher Käsealternativen	117
Tabelle 4-10:	Sensitivitätsanalyse Reduzierte Ausschussmengen	118
Tabelle 4-11:	Milchdatensätze der Sensitivitätsanalyse	119
Tabelle 4-12:	Vergleich von Datensätzen zur Milchproduktion, je kg Rohmilch	121
Tabelle 7-1:	almond production modifiziert nach Marvinney und Kendall 2021 - US	159
Tabelle 7-2:	Verpackungsmaterial	162
Tabelle 7-3:	1 kg IBC Container	164
Tabelle 7-4:	1 kg Karton mit Kunststofffolie	164
Tabelle 7-5:	1 kg Papiersack	164
Tabelle 7-6:	1 kg Kunststofffolie	165
Tabelle 7-7:	1 kg Kunststoff-Container	165
Tabelle 7-8:	1 L Sterillium	166
Tabelle 7-9:	1 L Baktolin	166
Tabelle 7-10:	1 L Pascal	166
Tabelle 7-11:	1 L Highstar VC 77	167
Tabelle 7-12:	1 L Aluwash VA3	167
Tabelle 7-13:	1 L Divodes	167
Tabelle 7-14:	1 L Topax 990	168
Tabelle 7-15:	1 L Topax 66	168
Tabelle 7-16:	1 L Topaz AC3	169
Tabelle 7-17:	1 L OxyDes Rapid	169
Tabelle 7-18:	1 Eimer OxyDes Wipes	170
Tabelle 7-19:	Produktion von 1 kg Tapiokastärke	171

Tabelle 7-20:	Zusammensetzung des Milchleistungsfutters für konventionell wirtschaftende Betriebsmodelle (inkl. Transportaufwand)	172
Tabelle 7-21:	Zusammensetzung des Milchleistungsfutters für ökologisch wirtschaftende Betriebsmodelle (inkl. Transportaufwand)	172

Abkürzungsverzeichnis

AWARE	Available Water Remaining, Name der Wirkungsabschätzungskategorie zur Wasserinanspruchnahme im Basiszenario
CFF	Circular Footprint Formular
CH	Ländercode für die Schweiz; geografischer Bezug von ecoinvent Datensätzen
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalente
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DE	Ländercode für Deutschland; geografischer Bezug von ecoinvent Datensätzen
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
eq	Äquivalentwert; im Zuge der englischsprachigen Wirkungsabschätzungsmethoden ausgedrückt als equivalents
EOL	End of Life
FR	Ländercode für Frankreich; geografischer Bezug von ecoinvent Datensätzen
g	Gramm
GLO	Global; Angabe in ecoinvent Datensätzen, die einen globalen geografischen Bezug aufweisen
IBC	Intermediate Bulk Container
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LCA	Life Cycle Assessment
LEH	Lebensmitteleinzelhändler
LfL	Bayerisches Landesamt für Landwirtschaft
LKW	Lastkraftwagen
LLDPE	Linear Low Density Polyethylene
MJ	Megajoule
N-eq	Stickstoff-Äquivalente
NMVOC-eq	Non-Methane-Volatile-Organic-Compunds-Äquivalente

PA	Polyamide
PE	Polythylene
PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rule
P-eq	Phosphat-Äquivalente
PET	Polyethylene
Pfl.	pflanzlich/pflanzliche
PKW	Personenkraftwagen
PP	Polypropylene
QM	Qualitätsmanagement
ReCiPe	Name einer Wirkungsabschätzungsmethode, Akronym aus den an der Entwicklung beteiligten Organisationen
RER	Europa; Angabe in ecoinvent Datensätzen, die einen europäischen geografischen Bezug aufweisen
RoW	Rest of World; geografischer Bezug in ecoinvent Datensätzen
US	Ländercode für die Vereinigten Staaten von Amerika; geografischer Bezug von ecoinvent Datensätzen
v.a.	vor allem
WDP	Water Depletion Potential
z.B.	Zum Beispiel

Begriffe und Definitionen

Begriff	Begriffsdefinition
Abfall	Substanzen oder Gegenstände, die der Eigentümer für die Beseitigung vorgesehen hat oder die er beseitigen muss (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Abschneidekriterien	Festlegung der Stoffmenge, eines Energieflusses oder des Grades von Umweltrelevanz, die/der mit Prozessmodulen oder Produktsystemen verbunden sind, welche von einer Studie auszuschließen sind (DIN EN ISO 14040:2021-02).
A-Faktor	Allokationsfaktor für Belastungen und Gutschriften zwischen Lieferanten und Nutzern von recycelten Materialien Quantis Switzerland (2018).
Auswertung	Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide bezüglich des festgelegten Ziels und Untersuchungsrahmens beurteilt werden, um Schlussfolgerungen abzuleiten und Empfehlungen zu geben (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Allokation	Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen (DIN EN ISO 14040:2021-02).

Begriff	Begriffsdefinition
Betriebsstoffe	Stoffen, die in dem Prozessmodul, in dem das Produkt hergestellt wird, gebraucht werden, aber nicht Bestandteil dieses Produktes sind (DIN EN ISO 14040:2021-02).
B-Faktor	Allokationsfaktor für Energieverwertungsprozesse. Er gilt sowohl für Belastungen als auch für Gutschriften Quantis Switzerland (2018).
Charakterisierungsfaktor	Faktor, der aus einem Charakterisierungsmodell abgeleitet wurde, das für die Umwandlung des zugeordneten Sachbilanzergebnisses in die gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators angewendet wird (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Datenqualität	Eigenschaften von Daten in Bezug auf ihre Eignung, festgelegte Anforderungen zu erfüllen (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Elementarfluss	Stoff oder Energie, der bzw. die dem untersuchten System zugeführt wird und der Umwelt ohne vorherige Behandlung durch den Menschen entnommen wurde, oder Stoff oder Energie, der bzw. die das untersuchte System verlässt und ohne anschließende Behandlung durch den Menschen an die Umwelt abgegeben wird (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Emissionen	Emissionen in Luft, Einleitungen in Wasser und Verunreinigung von Boden (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Energiefluss	In Energieeinheiten quantifizierter Input in ein oder Output aus einem Prozessmodul oder Produktsystem (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Funktionelle Einheit	quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Fußabdruck	Kennzahl(en) für die Berichterstattung der Ökobilanzergebnisse zu einem Problemfeld (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Input	Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der einem Prozessmodul zugeführt wird (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Interessierter Kreis	Einzelperson oder Gruppe von Personen, die sich mit der Umweltleistung eines Produktsystems oder den Ergebnissen einer Ökobilanz beschäftigt/beschäftigen oder davon betroffen ist/sind (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Kritische Prüfung	Verfahren, das dazu dient, die Konsistenz einer Ökobilanz mit den Grundsätzen und Anforderungen der Internationalen Norm an Ökobilanzen sicherzustellen (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Konsistenzprüfung	Verfahren zur Feststellung ob die Annahmen, Methoden und Daten in der Studie einheitlich angewendet wurden und mit der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens übereinstimmen (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Koppelprodukt	Eines von zwei oder mehreren Produkten aus demselben Prozessmodul oder Produktsystem (DIN EN ISO 14040:2021-02).

Begriff	Begriffsdefinition
Lebensweg	Aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Output	Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der von einem Prozessmodul abgegeben wird (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Ökobilanz	Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Produkt	Jede Ware oder Dienstleistung (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Produktsystem	Zusammenfassung von Prozessmodulen mit Elementar- und Produktflüssen, die den Lebensweg eines Produktes modelliert und die eine oder mehrere festgelegte Funktionen erfüllt (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Prozess	Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Referenzfluss	Maß für die Outputs von Prozessen eines vorhandenen Produktsystems, die zur Erfüllung der Funktion, ausgedrückt durch die funktionelle Einheit, erforderlich sind. (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Prozessmodul	Kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den Input- und Outputdaten quantifiziert werden (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Rohstoffe/ Rohwaren	Primäres oder sekundäres Material, das zur Herstellung eines Produktes verwendet wird (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Sachbilanz	Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Sachbilanz-ergebnis	Ergebnis der Sachbilanz, das die Flüsse katalogisiert, die die Systemgrenze überschreiten und das den Ausgangspunkt für die Wirkungsabschätzung darstellt (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Sensitivitäts-analyse	Systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse einer Studie (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Systemgrenze	Grenze, die basierend auf einer Reihe von Kriterien festlegt, welche Prozessmodule Teil des untersuchten Systems sind (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Transparente Dokumentation/ Darstellung	Offene, umfassende und verständliche Darstellung/Dokumentation von Informationen (DIN EN ISO 14040:2021-02).

Begriff	Begriffsdefinition
Umweltaspekt	Bestandteil der Tätigkeiten, Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, der auf die Umwelt einwirken kann (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Wirkungsabschätzung	Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Wirkungsendpunkt	Eigenschaft oder Aspekt der natürlichen Umwelt, der menschlichen Gesundheit oder der Ressourcen, die oder der ein Umweltthema identifiziert, das Grund zur Besorgnis darstellt (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Wirkungsindikator	Quantifizierbare Darstellung einer Wirkungskategorie (DIN EN ISO 14040:2021-02).
Wirkungskategorie	Klasse, die wichtige Umweltthemen repräsentiert und der Sachbilanzergebnisse zugeordnet werden können (DIN EN ISO 14040:2021-02).

Zusammenfassung

Das Ziel der hier vorgelegten Studie ist die Erstellung einer vergleichenden Ökobilanz „from cradle to grave“ von Produkten der E.V.A. GmbH am Beispiel von vier pflanzenbasierten Käsealternativen und jeweils vier kuhmilchbasierten Vergleichsprodukten. Auf Basis dieser Ökobilanz werden quantifizierende Aussagen zu den potenziellen Umweltwirkungen durch ‚Simply-V‘-Produkte getroffen. Im vorliegenden Bericht werden auf Basis einer spezifischen Untersuchung der tatsächlich verwendeten Rohprodukte bzw. deren Verarbeitung quantifizierende Aussagen zu den potenziellen Umweltwirkungen von pflanzenbasierten Käsealternativen der Marke ‚Simply V‘ getroffen. Ebenso werden die potenziellen Umweltwirkungen der pflanzenbasierten Käsealternativen mit denen von klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis verglichen.

Die Untersuchung basiert dabei auf den von der E.V.A. GmbH zur Herstellung der betrachteten ‚Simply-V‘-Produkte eingesetzten Rezepturen bzw. der Verarbeitung der Rohwaren zu Endprodukten für den Verkauf im Lebensmitteleinzelhandel. Als Bezugsgröße wurde die **„Bereitstellung von 100 g Produkt, verzehrfertig verpackt, zum Verzehr beim Endkonsumenten in Deutschland.“** festgelegt.

Für den ökobilanziellen Vergleich werden die folgenden Teilprozesse berücksichtigt:

- Agrarprimärproduktion und Rohwarenbereitstellung
- Rohwarenanlieferung bei der E.V.A. GmbH
- Herstellung der ‚Simply-V‘-Produkte bei der E.V.A. GmbH
- Distribution und Lagerung im Lebensmitteleinzelhandel
- Einkaufsfahrt und Lagerung im Haushalt
- Entsorgung der Verpackung.

Basierend auf den Stoff- und Energieflüssen innerhalb der genannten Teilprozesse, werden die potenziellen Umweltbelastungen der acht betrachteten Produktsysteme berechnet. Dabei werden die relevanten Umweltthemen, die mit der Herstellung verbunden sind, soweit möglich abgedeckt.

Nachfolgend sind zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung dargestellt.

Darstellung der Gesamtergebnisse pro funktioneller Einheit nach Wirkungskategorie

	pflanzliche Schnittkäse-alternative	Schnittkäse	pflanzliche Reibkäse-alternative	Reibkäse	pflanzliche Streichkäse-alternative	Streichkäse	pflanzliche Hirtenkäse-	Weichkäse	Einheit
Treibhauspotenzial, gesamt	0,25	0,69	0,25	0,68	0,22	0,57	0,19	0,53	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial, biogen	0,01	0,35	0,01	0,35	0,00	0,25	0,01	0,27	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial, fossil	0,23	0,29	0,27	0,28	0,28	0,28	0,22	0,22	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial, Landnutzung und Landnutzungsänderung	0,01	0,05	-0,03	0,05	-0,06	0,04	-0,03	0,04	kg CO₂-eq
Versauerungspotenzial	2,12E-03	4,38E-03	2,55E-03	4,38E-03	2,33E-03	3,48E-03	2,10E-03	3,43E-03	mol H⁺-eq
Eutrophierungspotenzial, terrestrisch	7,71E-03	1,82E-02	9,37E-03	1,82E-02	8,27E-03	1,40E-02	7,53E-03	1,43E-02	mol N-eq
Eutrophierungspotenzial, Süßwasser	0,13	0,12	0,15	0,12	0,11	0,12	0,10	0,09	g P-eq
Eutrophierungspotenzial, marin Landnutzung	1,07	1,05	1,22	1,06	0,99	0,86	1,03	0,83	g N-eq
Wasserinanspruchnahme	13,6	31,0	14,7	32,0	12,7	22,0	14,1	24	Dimensionslos (pt)
Feinstaub	1,94E-08	3,15E-08	2,32E-08	3,16E-08	2,26E-08	2,52E-08	2,10E-08	2,47E-08	Krankheitsinzidenz
Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit	1,51E-03	1,22E-03	1,23E-03	1,23E-03	1,14E-03	1,03E-03	1,00E-03	9,60E-04	kg NMVOC-eq
KEA_{nicht regenerativ}	3,08	3,17	3,68	3,17	3,86	3,49	2,77	2,34	MJ
KEA_{regenerativ}	3,28	2,31	3,43	2,49	3,01	1,74	3,48	1,78	MJ

Quelle: eigene Berechnung

Als zentrales Ergebnis der vorliegenden Studie kann festgehalten werden, dass

- die pflanzenbasierten Käsealternativen in den Wirkungskategorien Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt), Landnutzung, Versauerung und terrestrisches Eutrophierungspotenzial jeweils geringere potenzielle Umweltauswirkungen verursachen als die kuhmilchbasierten klassischen Molkereiprodukte.
- zwischen den pflanzenbasierten Käsealternativen und den kuhmilchbasierten Molkereiprodukten für die Wirkungskategorien Süßwasser-Eutrophierungspotenzial, marines Eutrophierungspotenzial, Feinstaub und Fotochemische Bildung von Ozon in der vorliegenden Studie mit wenigen Ausnahmen, keine signifikanten Unterschiede bezüglich der potenziellen Umweltauswirkungen identifiziert wurden.
- für die pflanzlichen Käsealternativen (mit Ausnahme der Schnittkäsealternative) durchgehend höhere Ergebnisse für die Wirkungskategorien Wasserinanspruchnahme, KEA_{regenerativ} und KEA_{nicht regenerativ} abgeschätzt werden, wobei sich der insgesamt hohe Wasserbedarf im Zuge des Mandelanbaus ebenso auf das Ergebnis auswirkt wie der Einbezug einer Beurteilung der Kritikalität der Wasserinanspruchnahme, im von Wassermangel gekennzeichneten Mandelanbaugebiet in Kalifornien.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie berechneten Ergebnisse entsprechen im Wesentlichen auch den Ergebnissen und Erkenntnissen aus der einschlägigen Fachliteratur. Eine signifikante Reduktion der ernährungsbedingten Umweltauswirkungen der Ernährung kann durch einen Umstieg auf pflanzenbasierte Käsealternativen unterstützt werden – wobei dies auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht für den Wirkungsindikator Wasserinanspruchnahme gilt. Die Entwicklung von Milchersatzprodukten, wie sie unter anderem die E.V.A. GmbH mit den ‚Simply-V‘-Produkten vorantreibt, kann vor diesem Hintergrund zu einer aus Sicht der klimarelevanten Emissionen vorteilhafteren Ernährungsweise beitragen. Allerdings gehen damit Nachteile bei der Wirkungskategorie Wassernutzung einher. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse konnte gezeigt werden, dass diese Nachteile zwar nicht komplett verschwinden, jedoch nennenswert reduziert werden könnten, wenn es gelingt, den Rohwarenbezug auf Mandeln aus einem Produktionssystem ohne künstliche Bewässerung umzustellen.

Der derzeitige Produktionsprozess der ‚Simply V‘-Produkte bietet noch Optimierungspotenzial, z.B. insbesondere bezüglich der derzeit noch anfallenden Mengen an nicht verkaufsfähigen Produkten, welche als Produktionsausschuss entsorgt werden müssen. Wie im Rahmen einer weiteren Sensitivitätsanalyse gezeigt werden konnte, führt eine mögliche Reduktion des Produktionsausschusses zu nennenswertem Umweltentlastungspotenzial in allen in dieser Studie betrachteten Wirkungskategorien.

Die E.V.A. GmbH bezieht für die Produktionsstandorte in Oberreute und Hergatz Strom aus erneuerbaren Energiequellen (im Folgenden als Öko-Strom bezeichnet). Das bezogene Stromprodukt ist vom TÜV Austria zertifiziert und entsprechend als nachhaltiger Öko-Strom gekennzeichnet. Weiterhin wird angegeben, dass durch den Kauf des Öko-Stromprodukts die zusätzliche Errichtung von Neuanlagen zur Erzeugung von Ökostrom gefördert werden. Inwiefern hier tatsächlich ambitionierte Zusätzlichkeitskriterien erfüllt werden, kann auf Basis der vorliegenden Informationen nicht abschließend geklärt werden. Um den potenziellen Einspareffekt aufzuzeigen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Bei entsprechender Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom reduzieren sich die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen der

pflanzenbasierten Käsealternative um etwa 45 – 65 %. Bezogen auf das Gesamtergebnis ergibt sich gegenüber dem Basisszenario ein um 5 – 8 % reduziertes Treibhauspotenzial gesamt.

Mit der vorliegenden Studie wird die notwendige Datenbasis geschaffen, um auch quantifizierende Aussagen zu den Umweltwirkungen der vier betrachteten ‚Simply-V‘-Produkte. Die Ergebnisse der vier pflanzenbasierten Käsealternativen beruhen auf den bei der Herstellung von ‚Simply-V‘-Produkten eingesetzten Rohstoffen und deren Verarbeitung.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Um die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens, das am 4. November 2016 in Kraft trat, zu erreichen, müssen in den kommenden Jahrzehnten in allen Sektoren effektive Maßnahmen ergriffen werden. Im Bereich der deutschen Industrie sollen die Treibhausgase bis 2030 um 49 % im Vergleich zu 1990 verringert werden. Hierzu sind unter anderem tiefgreifende Umstrukturierungen der Industrie notwendig. Dies gilt auch im Konsumfeld der Ernährung, bei der die Verringerung des Konsums von Lebensmitteln aus tierischer Herkunft als ein zentraler Hebel zur Reduktion der ernährungsbedingten Umweltbelastungen identifiziert wurde (vgl. Poore J. und Nemecek (2018) (2018), Ritschie (2020)).

Die E.V.A. GmbH ist ein Hersteller von pflanzlichen Käsealternativen mit Sitz in Oberreute im Allgäu. Das Unternehmen zählt mit den unter dem Markennamen ‚Simply V‘ vermarkteten Produkten zu den bekanntesten Herstellern pflanzlicher Käsealternativen in Deutschland und hat derzeit Produkte aus vier verschiedenen Produktgruppen entwickelt und auf den Markt gebracht. Das Produktportfolio der ‚Simply V‘-Produkte umfasst Frisch- und Streichprodukte, Schnittprodukte sowie Produkte zum Streuen und Überbacken.

Das Unternehmen beabsichtigt, die Umweltleistung der eigenen Produkte systematisch zu erfassen und die potenziellen Umweltwirkungen der eigenen Produkte in Form einer Ökobilanz zu quantifizieren. Ergänzend soll auch ein Vergleich mit klassischen Molkereiprodukten auf Basis von Kuhmilch gezogen werden. Für die Erstellung der produktbezogenen Ökobilanzen und deren Dokumentation in Form des vorliegenden Studienberichts hat die E.V.A. GmbH das Öko-Institut e.V. beauftragt .

1.1 Zielsetzung

Wesentliches Ziel der hier vorgelegten Studie ist die Erstellung einer vergleichenden Ökobilanz “from cradle to grave” von Produkten der E.V.A. GmbH am Beispiel von vier ‚Simply V‘ - Produkten (Genießerscheiben, Reibegenuss, Streichgenuss, Hirtengenuss). Diese werden sowohl untereinander als auch jeweils mit Referenzprodukten auf Kuhmilchbasis verglichen. Auf Basis der vorliegenden Ökobilanz werden quantifizierende Aussagen zum Umweltbelastungspotenzial durch pflanzenbasierte Käsealternativen der E.V.A. GmbH getroffen. Sowohl die Ergebnisse des Vergleichs der ‚Simply V‘-Produkte untereinander als auch die Ergebnisse des Vergleichs der pflanzlichen Käsealternativen mit klassischen Molkereiprodukten sind zur Veröffentlichung vorgesehen (vgl. Abschnitt 2.1). Gegenstand der vorliegenden Ökobilanz ist somit der Vergleich der potenziellen Umweltwirkungen von je vier pflanzenbasierten Käsealternativen und vier klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis.

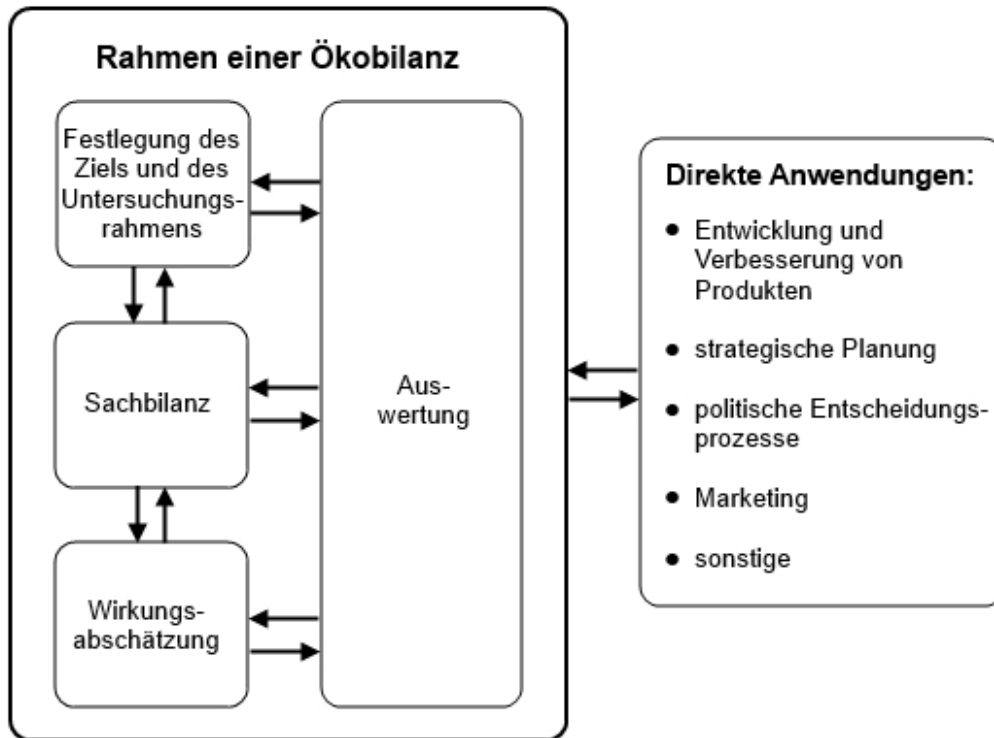
1.2 Konzept der vorliegenden Ökobilanz

Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit der Her- oder Bereitstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbundenen Umweltaspekte. Im Zuge einer Ökobilanzstudie werden die potenziellen Umweltwirkungen im Verlauf des gesamten Lebensweges eines Produktes untersucht.

Die grundlegende Methodik der Ökobilanz ist in den internationalen Normen DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 festgelegt. Durch die Einhaltung der in den Normen festgelegten Vorschriften ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

Abbildung 1-1 zeigt das grundlegende Konzept und die generelle Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ökobilanz. Dabei wird sichergestellt, dass die zu untersuchenden Systeme über die betrachteten Lebenszyklusphasen hinweg vollständig erfasst und alle ergebnisrelevanten Umweltwirkungen in der Bilanz berücksichtigt werden.

Abbildung 1-1: Phasen einer Ökobilanz



Quelle: DIN EN ISO 14040:2021

Die Ökobilanz ist eine iterative Methode. In den einzelnen Phasen einer Ökobilanz werden die Ergebnisse der anderen Phasen verwendet. Der iterative Ansatz innerhalb und zwischen den Phasen trägt zur Ganzheitlichkeit und Konsistenz der Studie bei.

Grundsätzlich folgt die Erstellung der hier vorgelegten Ökobilanz den Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02. Entsprechend folgt auch der hier vorgelegte Bericht den Vorgaben zur Berichterstattung über Ökobilanzstudien.

2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels wird zunächst das Ziel der Ökobilanz-Studie erläutert (vgl. Abschnitt 2.1.). Daran anschließend wird der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Ökobilanz dokumentiert (vgl. Abschnitt 2.2). Dabei wird beschrieben, welche Produktsysteme miteinander verglichen werden und welche methodischen Festlegungen (z.B. funktionelle Einheit, Systemgrenzen, Allokationsverfahren, Anforderungen an Daten usw.) getroffen wurden.

2.1 Ziel der Ökobilanz

Die Festlegung des Ziels einer Ökobilanz erfordert die eindeutige Festlegung der beabsichtigten Anwendung, die Gründe für die Durchführung der Studie, die angesprochene Zielgruppe und ob die Ergebnisse für die Verwendung in zur Veröffentlichung vorgesehenen vergleichenden Aussagen bestimmt sind (DIN EN ISO 14040:2021-02; DIN EN ISO 14044:2021-02).

Wesentliches Ziel der vorliegenden Studie ist es, auf Basis einer spezifischen Untersuchung der tatsächlich verwendeten Rohprodukte bzw. deren Verarbeitung eine quantifizierende Aussage zu den potenziellen Umweltwirkungen von pflanzenbasierten Käsealternativen der Marke ‚Simply V‘ zu treffen und diese mit klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis zu vergleichen. Gegenstand der vorliegenden Ökobilanz ist der Vergleich der potenziellen Umweltwirkungen von je vier pflanzenbasierten Käsealternativen und vier klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis.

Soweit zum Zeitpunkt der Erstellung der Ökobilanz absehbar, umfasst die Zielgruppe der Ökobilanz (neben der E.V.A. GmbH)

- die Fachöffentlichkeit im Bereich der ökologischen Beurteilung von Agri-Food-Systemen;
- Entscheidungsträger im Bereich der Umwelt-, Ernährungs- und Landwirtschaftspolitik;
- Entscheidungsträger im Bereich der ernährungsbezogenen Verbraucherschutzpolitik mit Fokus auf die Umweltkennzeichnung von Lebensmitteln und
- Verbraucherinnen und Verbraucher in Deutschland.

Es ist vorgesehen, die Ergebnisse der Studie zu veröffentlichen. Bei der Veröffentlichung sind auch vergleichende Aussagen zur Umweltleistung der untersuchten Produktalternativen vorgesehen. Da die vorliegende Studie für die Veröffentlichung vorgesehene vergleichende Aussagen zu Produkten der E.V.A GmbH beinhaltet, werden dementsprechend auch die erweiterten Anforderungen an die Berichterstattung an Dritte berücksichtigt. Der dem Review Panel vorgelegte Bericht enthält sensible Informationen der Auftraggeberin, die bei einer Veröffentlichung geschützt werden müssen. Das Vorgehen zum Umgang mit sensiblen Informationen in der vorliegenden Ökobilanz wird in Abschnitt 2.2.11 dargestellt. Im Rahmen der vorliegenden Ökobilanz werden vier pflanzliche Käsealternativen sowohl untereinander als auch jeweils mit Referenzprodukten auf Kuhmilchbasis verglichen. Bei den Produkten auf Kuhmilchbasis handelt es sich um realistische, anhand einschlägiger Produktkategorieregeln¹ bilanzierte Referenzprodukte, jedoch nicht um konkrete am Markt verfügbare Produkte anderer Hersteller. Ein direkter Vergleich mit Fremdprodukten bzw. Produkten anderer

¹ Für die vorliegende Studie wurde die im Zuge des PEF-Pilotprozesses von der europäischen Milchwirtschaft erarbeitete Produktkategorieregel für Milch und Molkereiprodukte (PEFCR Dairy berücksichtigt. (Quantis Switzerland (2018)). Vgl. auch die ausführliche Darstellung zum konkreten Vorgehen in Kapitel 3.

Hersteller ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Entsprechend können auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Bilanz auch keine Rückschlüsse auf konkrete Produkte anderer Hersteller gezogen werden. Entsprechend der Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 Abschnitt 7.3.3 ist die Durchführung einer kritischen Prüfung der Ergebnisse der Ökobilanz und des hier vorgelegten Studienberichts durch einen Ausschuss der interessierten Kreise (sogenanntes Panel-Verfahren) erforderlich. Eine kritische Prüfung der Ergebnisse der Ökobilanz und des hier vorgelegten Studienberichts wurde von einem externen Critical Review Panel durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.2.10). Das Prüfgutachten zur Ökobilanz ist diesem Studienbericht als Anlage beigelegt (vgl. Abschnitt Anhang I beigelegt)

2.2 Untersuchungsrahmen der Studie

2.2.1 Allgemeine Hinweise

Im Rahmen der vorliegenden Ökobilanz werden verschiedene Produkte aus dem ‚Simply V‘-Sortiment der E.V.A. GmbH untereinander und mit jeweils einem konventionellen Molkereiprodukt auf Kuhmilchbasis verglichen. Die grundlegende Funktion bzw. der Nutzen der verglichenen Systeme ist die Bereitstellung von verzehrfertig dargebotenen Lebensmitteln (z.B. Streichkäse, Schnittkäse, Reibekäse) im Haushalt der Verbraucher*innen zur Verwendung als Brotbelag bzw. als Zutat bei der Zubereitung von Gerichten.

In der Ökobilanz werden die zugehörigen Stoff- und Energieströme ebenso wie die Wirkungsabschätzung auf eine einheitliche Bezugsgröße bezogen. Hierzu werden eine geeignete funktionelle Einheit und der entsprechende Referenzfluss festgelegt. Die funktionelle Einheit muss dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Studie entsprechen, was im vorliegenden Fall unter anderem bedeutet, dass sie einen direkten Vergleich der verschiedenen betrachteten Produktsysteme erlauben muss (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Darüber hinaus umfasst die Festlegung des Untersuchungsrahmens eine Beschreibung der in der Studie berücksichtigten Prozesse (z.B. landwirtschaftliche Vorketten, Vorketten für Energieträger, Transporte, Herstellung der Produkte, Herstellung der Verpackung, Transport der verpackten Produkte zum Lebensmittelhandel, Einkauf und Lagerung im Haushalt, Behandlung von Abfällen, vgl. Abschnitt 2.2.4). In Abschnitt 2.2.6 wird festgelegt, welche Allokationsverfahren (z.B. Aufteilung der Umweltbelastung der Rinderhaltung auf die Koppelprodukte Milch und Fleisch) angewandt werden.

Die Modellierung der Produktsysteme erfolgt in der Ökobilanz-Software openLCA V.1.11.0. Für die Modellierung wird auf die Datenbank ecoinvent V3.8 sowie aktuelle wissenschaftliche Literatur zurückgegriffen. Eine ausführliche Darstellung der dieser Studie zugrunde liegenden Daten findet sich in Kapitel 3.

In der vorliegenden Ökobilanz werden landwirtschaftliche Produkte miteinander verglichen. Entsprechend ist das Vorgehen bei der Modellierung von biogenem Kohlenstoff, also CO₂, das im Rahmen der Photosynthese von Pflanzen in Sauerstoff und organischen Kohlenstoff umgesetzt wird, relevant. Im Modell wird biogener Kohlenstoff Input-seitig als Gutschrift in der Wachstumsphase der Pflanzen berücksichtigt und bleibt dann im Produkt „gespeichert“. Grundsätzlich wird der in Nahrungsmitteln gebundene biogene Kohlenstoff am Ende des Lebenszyklus im Zuge des Stoffwechsels auf unterschiedlichen Wegen (z.B. Veratmung, Verdauung) wieder an die Umwelt

abgegeben. Da hier kein praxistaugliches Verfahren existiert, nachdem die entsprechenden Stoffwechselprozesse in der vorliegenden Ökobilanz modelliert werden könnten, bleibt die Emission biogenen Kohlenstoffs am Lebenszyklusende der Produkte hier unberücksichtigt. Dies gilt analog für die pflanzenbasierten Käsealternativen wie auch für die kuhmilchbasierten konventionellen Molkereiprodukte.

2.2.2 Auswahl der zu untersuchenden Produktsysteme

Im Rahmen der Studie zur Umweltbilanz von ‚Simply V‘-Produkten sollen traditionell aus Kuhmilch hergestellte Molkereiprodukte mit jeweils einer pflanzenbasierten (veganen) Käsealternative verglichen werden (siehe Tabelle 2-1). Die ‚Simply V‘-Produkte „Streichgenuss“, „Hirtengenuss“, „Streugenuss“ und „Genießerscheiben“ wurden mit einem Streichkäse, Weichkäse, Schnittkäse und Reibekäse verglichen². In der Tabelle 2-1 sind die untersuchten Produktsysteme sowie ihre Bezeichnung in dieser Studie dargestellt.

Tabelle 2-1: In der vorliegenden Ökobilanz untersuchte Produktsysteme

Käse (auf Kuhmilchbasis)	pflanzenbasierte Käsealternativen (Produktnamen)	Bezeichnung in dieser Studie
Schnittkäse	„Genießerscheiben“	pflanzliche Schnittkäsealternative
Reibekäse	„Streugenuss“	pflanzliche Reibekäsealternative
Streichkäse	„Streichgenuss“	pflanzliche Streichkäsealternative
Weichkäse	„Hirtengenuss“	pflanzliche Hirtenkäsealternative

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Auswahl der in Tabelle 2-1 aufgeführten ‚Simply V‘-Produkte handelt es sich in Hinblick auf den Umsatz und die Bekanntheit der Produkte beim Endverbraucher um besonders relevante Produkte aus dem Produktportfolio der E.V.A. GmbH.

Die Zusammensetzung bzw. die Rezeptur der in dieser Studie betrachteten Produkte und die erforderlichen Prozesse zur Bereitstellung von Vorprodukten ist in Kapitel 3 (vgl. Tabelle 3-1) dokumentiert.

Bei den aus Kuhmilch hergestellten Molkereiprodukte handelt es sich um Käse, der aus in Deutschland produzierter Rohmilch hergestellt wird. Die Modellierung der Rohmilch der milchbasierten Käseprodukte basiert auf der Studie „Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen“ (Antony et al. 2021). Dabei wird ein auf Basis der Milchanlieferungsmengen von konventioneller und ökologischer Rohmilch abgeleiteter deutscher Durchschnitt gebildet. Die Beschreibung des dabei gewählten Vorgehens ist Abschnitt 3.1.2 zu entnehmen.

2.2.3 Funktion und funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit legt den quantifizierten Nutzen eines Produktsystems fest und dient als Bezugsgröße, auf die die Input- und Output-Daten im mathematischen Sinn normiert werden.

² Im Kontext der vorliegenden Ökobilanz werden Molkereiprodukte auf Kuhmilchbasis auf Basis eines Deutschen Milchmix bilanziert, der sowohl konventionell erzeugte Milch als auch Milch aus ökologischer Landwirtschaft enthält (vgl. Abschnitt 3.1.2).

Die ‚Simply V‘-Produkte werden in Verkaufsverpackungen mit jeweils 150 g Inhalt im Lebensmittel-einzelhandel (LEH) angeboten. Die zentrale Funktion der Produkte ist die Nutzung als Brotbelag oder, im Falle der pflanzlichen Reibekäsealternative, als Zutat zum Überbacken von Speisen. Hier ist davon auszugehen, dass die Produkte aus Sicht der Konsumierenden als funktional gleichwertig wahrgenommen und entsprechend genutzt werden. Vor dem Hintergrund dieser Funktion erfolgt der Vergleich tierischer und pflanzlicher Produkte in der vorliegenden Studie auf Basis der äquivalenten Menge an verzehrfertigem Produkt. Im Bereich von Lebensmitteln (z.B. Nährwertkennzeichnung) erfolgt die Darstellung in aller Regel bezogen auf 100 g Produkt. Vor dem Hintergrund der vorgenannten Überlegungen wird in dieser Studie die folgende funktionelle Einheit als Bezugsgröße festgelegt:

Bereitstellung von 100 g Produkt, verzehrfertig verpackt, zum Verzehr beim Endkonsumenten in Deutschland.

Neben der Masse kann bei Lebensmitteln insbesondere auch das Nährwertprofil der betrachteten Produktvarianten von Interesse sein. Als ergänzende Information sind daher in Tabelle 2-2 die Nährwertprofile der betrachteten ‚Simply V‘-Produkte aufgeführt. Zur Kontextualisierung wird zudem ein generisches Nährwertprofil für Kuhmilchkäse dargestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in der Tabelle dargestellten Werte für Kuhmilchkäse einen Durchschnitt darstellen, der die vergleichsweise große Bandbreite an kuhmilchbasierten Käseprodukten umfasst.

Tabelle 2-2: Nährwertprofilen der Produktvarianten pro 100 g Produkt (Auszug)

	„Genießer-scheiben würzig“	„Reibegenuss“	„Streichgenuss cremig, mild“	„Hirtengenuss“	Kuhmilchkäse, Durchschnitt
Brennwert	1121 kJ/269kcal	1179 kJ/284kcal	948 kJ/230kcal	905 kJ/220kcal	1450 kJ/347kcal
Fett	19 g	21 g	23 g	21 g	27,7 g
ges. Fettsäuren	17 g	18 g	15 g	14 g	18,4 g
Kohlenhydrate	24 g	20 g	0,9 g	1,7 g	0,6 g
Zucker	< 0,5 g	< 0,5 g	0,8 g	1 g	<0,5 g
Eiweiß	0,7 g	3,2 g	4,5 g	5 g	23,4 g
Salz	2,7 g	2,2 g	0,5 g	2 g	1,45 g

Quelle: für ‚Simply V‘ - Produkte = E.V.A. GmbH, für Kuhmilchkäse, openfoodfacts.org³, Mengenangaben jeweils bezogen auf 100 g Produkt

Wie aus Tabelle 2-2 hervorgeht, bestehen sowohl im Binnenvergleich der pflanzenbasierten Käsealternativen als auch im Vergleich zum Nährwertprofil von Kuhmilchkäse deutliche Unterschiede. So weisen beispielsweise die pflanzliche Schnittkäsealternative und Reibekäsealternative einen vergleichsweise hohen Anteil an Kohlenhydraten auf. Ebenso haben die pflanzlichen Käsealternativen einen insgesamt geringeren Eiweißanteil.

Es gilt festzuhalten, dass bestehende Unterschiede beim Nährwertprofil in dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Entsprechend werden in dieser Studie auch keine diesbezüglichen Schlussfolgerungen gezogen bzw. Empfehlungen abgeleitet. Wie oben bereits dargelegt, besteht die zentrale Funktion der Produkte in der Nutzung als Brotbelag bzw. im Falle der pflanzlichen

³ <https://de.openfoodfacts.org/kategorie/kuhmilchk%C3%A4se>, zuletzt abgerufen am 07.09.2022

Reibekäsealternative als Zutat bei der Zubereitung von Speisen. Entsprechend wird für die vorliegende Studie davon ausgegangen, dass die hier verglichenen Lebensmittel auf Basis der gewählten funktionellen Einheit direkt miteinander verglichen werden können.

Grundsätzlich stößt eine allein auf einzelne Produkte abzielende Beurteilung des ernährungsphysiologischen Wertes einzelner Lebensmittel an Grenzen. Letztlich ist es entscheidend, wie bzw. zu welchen Anteilen eine Vielzahl verschiedener Lebensmittel zu einem Ernährungsstil bzw. zu einer Ernährungsweise kombiniert werden.

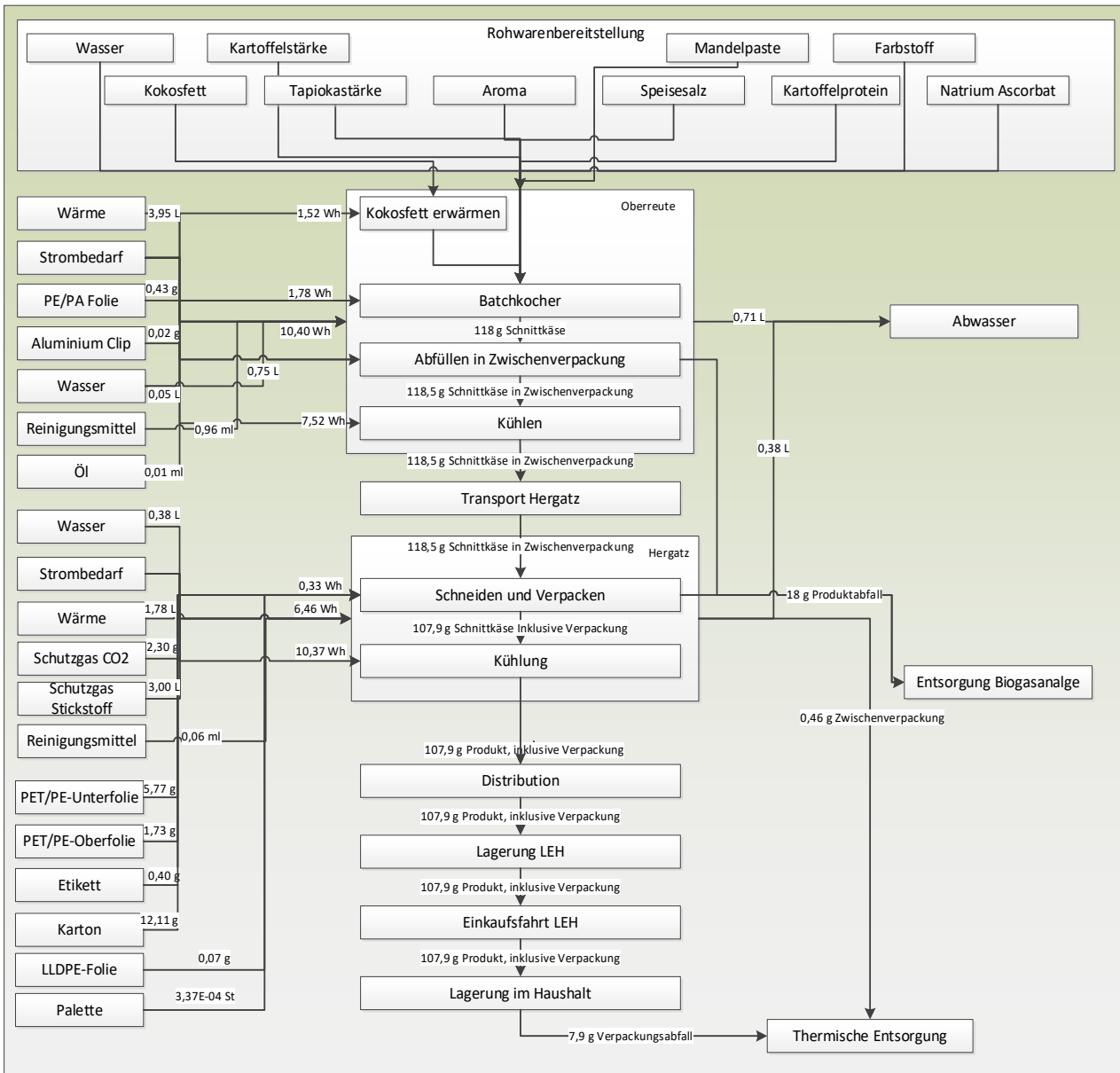
2.2.4 Systemgrenze

Die Systemgrenze legt fest, welche Prozessmodule in der Ökobilanz enthalten sein müssen. Die Auswahl der Systemgrenze muss mit dem Ziel der Studie übereinstimmen. Im vorliegenden Fall umfasst die Systemgrenze den gesamten Lebenszyklus der Produkte, also die Prozesse der Lebensmittelherstellung (inkl. Bereitstellung der tierischen und pflanzliche Rohwaren, Energie, Verpackungsmaterialien), der Distribution und Lagerung im Lebensmittelhandel, der Einkaufs- und Nutzungsphase sowie der Entsorgung der Verpackung. Es handelt sich damit bei der vorliegenden Studie um eine Bilanz von der „Wiege bis zur Bahre“ (engl. „from-cradle-to-grave“).

Bei der Festlegung zur Sachbilanz wurde geprüft, welche Teilprozesse innerhalb des Produktionssystems in Bezug auf unterschiedliche Sachbilanzindikatoren (Material-, Flächen-, Energieverbrauch etc.) besonders relevant sind.

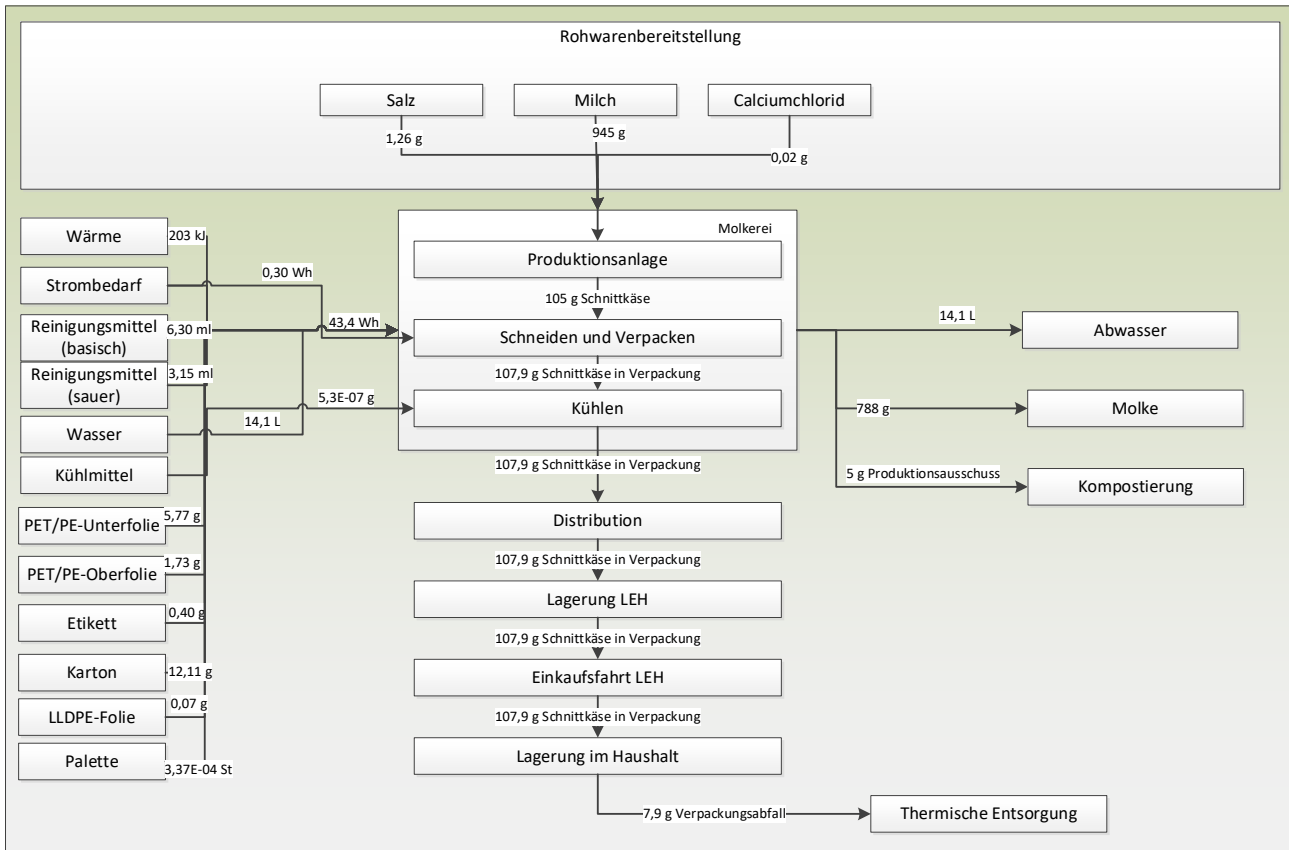
Abbildung 2-1 zeigt exemplarisch die Systemgrenze der Modellierung für pflanzliche Käsealternativen am Beispiel der pflanzlichen Schnittkäsealternative. Abbildung 2-2 zeigt ebenfalls exemplarisch die Systemgrenze der Modellierung kuhmilchbasierter Molkereiprodukte. Entsprechende Stoffflussdiagramme wurden für alle betrachteten Produktsysteme erstellt. Aus Gründen der Darstellung sind die Darstellungen zur Systemgrenzen der übrigen Produktsysteme in Anhang II dargestellt.

Abbildung 2-1: Exemplarische Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Schnittkäsealternative (Werte bezogen auf 100 g Endprodukt)



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2-2: Exemplarische Darstellung der Systemgrenze des Schnittkäses auf Kuhmilchbasis pro 100 g Produkt



Quelle: eigene Darstellung

Für alle Produktsysteme wurde die Verfügbarkeit von qualitativen und quantitativen Daten geprüft. Für die im Zuge der Datenerhebung identifizierten Datenlücken erfolgt eine transparente Dokumentation. Fehlende Daten und Informationen werden nach dem in Abschnitt 2.2.8.2 dargestellten Vorgehen abgeschätzt.

2.2.5 Abschneidekriterien

Die im Rahmen der Erstellung der Ökobilanz angewandten Abschneidekriterien⁴ müssen ebenso wie die Annahmen, unter denen diese aufgestellt werden, eindeutig beschrieben werden. In der Praxis der Ökobilanz gibt es mehrere Abschneidekriterien für die Entscheidung, welche Inputs in die Ökobilanz einzubeziehen sind, wie z.B. Masse, Energie und Umweltrelevanz. (vgl. DIN EN ISO 14044:2021-02)

- **Masse:** Bei der Anwendung der Masse als ein Kriterium ist die Aufnahme aller Inputs in die Studie erforderlich, die kumulativ mehr als 5 % Anteil zum Masseninput des zu modellierenden Produktsystems beitragen.

⁴ Als Abschneidekriterien bezeichnet man in der Ökobilanz die Festlegung der Stoffmenge, eines Energieflusses oder des Grades der Umweltrelevanz, die/der mit Prozessmodulen oder Produktsystemen verbunden sind, welche von einer Studie auszuschließen sind (DIN EN ISO 14040:2021-02)

- **Energie:** In gleicher Weise ist bei der Anwendung der Energie als ein Kriterium die Aufnahme aller Inputs in die Studie erforderlich, die kumulativ mehr als 5 % Anteil zum Energieinput des Produktsystems beitragen.
- **Umweltrelevanz:** Die Umweltrelevanz dient insofern als Kriterium, als dass die Aufnahme aller Inputs in die Studie erforderlich ist, die kumulativ mehr als 5 % Anteil zum Gesamtergebnis der ausgewerteten Wirkungsindikatoren des Produktsystems beitragen.

Bezogen auf das Kriterium Masse ist festzuhalten, dass die im Zuge der Datenerhebung erfassten Inputs und insbesondere sämtliche Rezepturbestandteile in der Modellierung berücksichtigt werden. Auf Ebene der Produktformulierung werden daher keine Inputs abgeschnitten.⁵ Ebenso werden relevante Hilfs- und Betriebsstoffe der Produktion, wie zum Beispiel Reinigungsmittel, in allen Produktsystemen berücksichtigt. Nicht berücksichtigt sind hingegen massenmäßig weniger relevante Betriebsstoffe, wie Schmierstoffe für Maschinen. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass durch die umfassende Datenerhebung in der Produktion und durch den Verzicht auf ein Abschneiden bei Rezepturbestandteilen die Vorgaben zur Einhaltung des Kriteriums Masse in der vorliegenden Studie eingehalten werden.

Bezogen auf das Kriterium Energie ist festzuhalten, dass im Zuge der Datenerhebung eine nach unserer Kenntnis vollständige Erfassung der Energieverbräuche vorgenommen wurden. Energieverbräuche, die nicht einzelnen Produkten bzw. Produktlinien zugeordnet werden können (z.B. Energiebedarf zur Kühlung von Räumen, in denen verschiedene Produkte gemeinsam gelagert werden) wurden entsprechend der in Kapitel 3 dokumentierten Annahmen allokiert. Das Kriterium bezüglich der bilanzierten Energieverbräuche wird für die Produktion der pflanzlichen Käsealternativen in den Werken der E.V.A. GmbH eingehalten, indem die Bilanz auf den in der Produktion gemessenen bzw. über die entsprechenden Abrechnungen (Stromrechnung, Gasrechnung) nachgewiesenen Verbräuche basiert. Die energetischen Aufwendungen für die Bereitstellung der Rohwaren sowie die der Produktion nachgelagerten Prozesse (Distribution, Lagerung im LEH, Einkaufsfahrt und Nutzung im Haushalt) werden in der vorliegenden Bilanz ebenfalls erfasst. Die diesbezüglichen Datengrundlagen sind in Kapitel 3 dokumentiert.

Für bestimmte Materialinputs sind keine spezifischen Informationen zur genauen massenmäßigen Zusammensetzung der Aromen nach Gewichtsanteilen verfügbar. Entsprechend mussten hier teilweise Annahmen und Analogieschlüsse getroffen werden. In der vorliegenden Studie werden Aromen vereinfachend auf Basis des mengenmäßig wichtigsten Inhaltsstoffs, dem Trägerstoff (Glukose) bilanziert, d.h. die angegebenen Mengen an Aromen werden als Glukose modelliert. Diese Annahme führt dazu, dass die Aromamischung je nach Wirkungskategorie zwischen 1 - 2 %, maximal jedoch zu 2,9 % zum Gesamtergebnis der jeweiligen Wirkungskategorie beiträgt.

Eine Einschränkung ist in Hinblick auf das Kriterium der Umweltrelevanz bezüglich der potenziellen Umweltwirkungen der in den verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren eingesetzten Pflanzenschutzmittel zu treffen. Hier wurde zwar die Bereitstellung der Pflanzenschutzmittel in der Bilanz berücksichtigt, nicht jedoch die potenziellen Umwelteffekte (z.B. human- und oder ökotoxikologische Effekte); die mit deren Nutzung verbunden sein können.

⁵⁵ In der vorliegenden Studie wurden keine Rezepturbestandteile bewusst abgeschnitten, jedoch wurde, bei mengenmäßig weniger relevanten Inputs teilweise vereinfachende Annahmen getroffen, die an entsprechender Stelle im Bericht dokumentiert sind (vgl. Kapitel 3).

Die Beurteilung toxikologischer Aspekte im Rahmen von Ökobilanzen ist nach wie vor mit erheblichen methodischen Herausforderungen verbunden und scheitert in der ökobilanziellen Praxis häufig an den unzureichenden und mit großen Unsicherheiten behafteten Datengrundlagen (u.a. in Hintergrunddatensätzen, oder aber bei der Charakterisierung und Äquivalentwertbildung komplexer Wechselwirkungen). Vor diesem Hintergrund schätzt die vorliegende Ökobilanz keine toxikologischen Aspekte ab und es werden dementsprechend auch keine Schlussfolgerungen gezogen, die auf einer toxikologischen Beurteilung der acht verschiedenen Produktsysteme beruhen (vgl. Abschnitt 5.5.).

2.2.6 Umgang mit Koppelprodukten und gewählte Verfahren zur Allokation

Der Prozess der kuhmilchbasierten Käseproduktion umfasst, ebenso wie die Herstellung der pflanzlichen Käsealternativen, mehrere Teilprozesse, bei denen als sogenannte Multi-Output-Prozesse nicht nur ein Produkt, sondern mehrere, mitunter sehr unterschiedliche Koppelprodukte entstehen. Innerhalb der Systemgrenze der vorliegenden Studie gilt dies für:

- Koppelprodukte im Zuge des Feldfruchtanbaus in Form, von oberirdischer Biomasse (d. h. verholzte Pflanzen, Blätter/Zweige, Schoten/Hüllen) und unterirdischer Biomasse (Wurzeln, Rhizome);
- die Produktion von Rohwaren und/ oder Futtermitteln (z.B. Rapsextraktionsschrot und Rapsöl oder Sojaextraktionsschrot und Sojaöl);
- die Fleischproduktion in der Milchkuhhaltung;
- den im Rahmen der Milchproduktion anfallenden Wirtschaftsdünger;
- die Herstellung von Molke im Prozess der Käseproduktion;

Nachfolgend wird dokumentiert, wie mit den jeweiligen Multi-Output-Prozessen im Rahmen der vorliegenden Studie umgegangen wird.

Implizite Allokation in den verwendeten Hintergrunddatensätzen

Als implizite Allokation werden Allokationen verstanden, die bereits bei der Erstellung von Datensätzen aus Hintergrunddatenbanken (z.B. ecoinvent V.3.8⁶) vorgenommen wurden. Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich Datensätze mit einem einheitlichen Allokationsmodell berücksichtigt. Konkret wurden in der vorliegenden Studie ausschließlich Datensätze der Datenbank ecoinvent V3.8 verwendet, die dem Systemmodell „Allocation at Point of Substitution (APOS)“ entsprechen. Die Allokation am Ort der Substitution (Allocation at the point of Substitution, kurz APOS) ist ein Allokationsansatz, der die Erweiterung von Produktsystemen nutzt, um eine Cut-off Allokation innerhalb von Produktsystemen zu vermeiden. APOS wurde so konzipiert, dass solche Zuweisungen im Allgemeinen dadurch vermieden werden, dass durch begrenzte Systemraumerweiterung solche Prozesse in die Betrachtung einbezogen werden, die zur Aufbereitung und/oder Bereitstellung von werthaltigen Koppel- bzw. Nebenprodukten erforderlich sind.

Die impliziten Allokationen innerhalb der verwendeten Datensätze können deren jeweiliger Dokumentation entnommen werden. Die Dokumentation der verwendeten ecoinvent-Datensätze

⁶ <https://ecoinvent.org/>; zuletzt abgerufen am 07.09.2022

kann nach einem entsprechenden Login auf der ecoinvent-Website abgerufen werden.⁷ Sämtliche in der vorliegenden Studie genutzten ecoinvent-Datensätze sind im Kapitel 3 „Grundlage der Sachbilanz: Modellierung und Datengrundlage und dort in den jeweiligen Tabellen dokumentiert.

Allokation auf Ebene der untersuchten Produktsysteme

In der gängigen ökobilanziellen Praxis werden für die Berücksichtigung von Koppelprodukten in der Regel Allokationsregeln festgelegt. Dabei wird anhand plausibler Kriterien entschieden, wie die Aufwendungen eines Produktionsprozesses und die resultierenden Emissionen auf die verschiedenen Koppelprodukte aufgeteilt werden. Typischerweise werden in Ökobilanzen physikalische und/oder ökonomische Allokationsverfahren angewendet. Für das Basisszenario der vorliegenden Ökobilanz wurden die folgenden Allokationsregeln bei Multi-Output-Prozessen angewandt (vgl. Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Allokationsregeln bei Multi-Output-Prozessen

Multi-Output-Prozess	Allokationsregel
Futtermittelbereitstellung (z.B. Sojafuttermittel)	Ökonomische gewichtete Massenallokation (Sojamehl, -öl)
Koppelproduktion von Milch und Fleisch	Ökonomische gewichtete Massenallokation (Bodymass-Milk-Ratio (BMR) nach Produktkategorie-regel der International Dairy Foundation (IDF))
Texturate & Isolate (Kartoffelprotein, Sonnenblumenprotein, Carrageen)	keine Allokation auf Nebenprodukte vorgenommen, 100% Allokation auf Zielprodukt
Produktion von Mandeln im Zuge des Feldfruchtanbaus und Blättern/Zweigen, Hüllen)	Ökonomische gewichtete Massenallokation
Allokation der Energie- und Materialbedarfe in der Produktion der EVA GmbH auf die verschiedenen pflanzlichen Alternativprodukte	Physikalische Allokation nach produktspezifischem Massenanteil an Gesamtproduktion
Koppelproduktion innerhalb der Molkerei (Milch, Molke, etc.)	Physikalische Allokation auf Basis des Trockenmassegehalts

Quelle: eigene Zusammenstellung

In Hinblick auf die Texturate und Isolate wurde für die vorliegende Studie dahingehend ein konservativer Ansatz gewählt, dass jeweils keine Allokation vorgenommen wurde. Dementsprechend werden sämtliche Auswirkungen dem jeweiligen Hauptprodukt zugeordnet.

2.2.7 Methode für die Wirkungsabschätzung und ausgewählte Wirkungskategorien

Im Zuge der Festlegung des Untersuchungsrahmens muss auch bestimmt werden, welche Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle in der Ökobilanz-Studie berücksichtigt werden. Die Wirkungsabschätzung orientiert sich an den Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02.

Letztere benennt die nachfolgend aufgeführten verbindlichen Bestandteile der Wirkungsabschätzung:

- Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen;

⁷ <https://ecoquery.ecoinvent.org/Account/LogOn?ReturnUrl=%2f>; zuletzt abgerufen am 07.09.2022

- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungsindikatoren (sogenannte Klassifizierung);
- Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (sogenannte Charakterisierung).

Neben den verbindlichen Teilen benennt die DIN EN ISO 14044:2021-02 auch optionale Bestandteile der Wirkungsabschätzung. Diese umfassen die Normierung, Ordnung und Gewichtung der Wirkungsabschätzungsergebnisse sowie die Analyse der Datenqualität. Eine Normierung, Ordnung oder Gewichtung der Ergebnisse wird in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen.

Die Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsfaktoren erfolgt unter Berücksichtigung des Ziels und des Untersuchungsrahmens. Die Wirkungskategorien werden anhand der Bedeutung für das System Lebensmittelproduktion ausgewählt und die zugrundeliegenden Informationen und Quellen werden dokumentiert. In der vorliegenden Studie sollen die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (LCIA-Ergebnisse) auf der Grundlage eines spezifischen, jedoch zugleich auch begründet begrenzten Sets von Indikatoren bewertet werden.

Für die Durchführung der Wirkungsabschätzung in produktbezogenen Ökobilanzen stehen verschiedene Methoden und Methodensets zur Verfügung, die regelmäßig Aktualisierungen bzw. Ergänzungen unterworfen sind und die zum Teil auch untereinander Bezug zueinander nehmen. Zu nennen sind beispielsweise die vom Centrum voor Milieukunde (CML) der Universität Leiden entwickelte CML-Methode oder die Methode ReCiPe 2016, die vom niederländischen Rijksinstituut voor Volksgezondheid (RIVM) entwickelt wurde.

In der vorliegenden Studie werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (LCIA-Ergebnisse) auf der Grundlage einer Auswahl des vom Joint Research Centre (JRC) im Rahmen der Entwicklung der PEF-Methodik⁸ zusammengestellten Sets *Environmental Footprint (EF) 3.0*.⁹ abgeschätzt. Die Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht jeweils auf Ebene der Midpoint-Indikatoren für ausgewählte Wirkungskategorien ausgewiesen.

Zunächst wird die Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethode EF 3.0.¹⁰ diskutiert. Diese begründet sich wie folgt:

- Im Lebensmittelsektor bestehen derzeit zahlreiche Ansätze die EF 3.0 als Grundlage zur Abschätzung von produktbezogenen Ökobilanzen zu nutzen. Auch der Handel, als Kunde der Firma E.V.A. GmbH, und die zuständigen Bundesministerien beschäftigen sich nach Kenntnis der Studiersteller derzeit intensiv mit dem PEF. Entsprechend wird die Verfügbarkeit von Bilanzergebnissen, die nach der EF-Methode ausgewertet werden, zunehmend nachgefragt.
- Gegenstand der vorliegenden Studie ist u.a. ein Vergleich pflanzlicher und tierischer Lebensmittel. Für die in dieser Studie betrachteten kuhmilchbasierten Vergleichsprodukte besteht in Form der PEFCR Dairy eine u.a. auf Environmental Footprint (EF) 3.0 beruhende, für die Molkereibranche relevante Produktkategorieregel.

⁸ (EU) 2021/2279: Empfehlung der der Kommission vom 15.12.2021 zur Anwendung der Methoden für die Berechnung des Umweltfußabdrucks zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen entlang ihres Lebenswegs

⁹ European Commission, EF 3.0 reference package, November 2019-<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/-/developerEF.xhtml>, zuletzt abgerufen am 01.03.2021)

¹⁰ European Commission, EF 3.0 reference package, November 2019-<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/-/developerEF.xhtml>, zuletzt abgerufen am 01.03.2021)

- Es ist zu erwarten, dass seitens der EU-Kommission in den kommenden Jahren Rechtsakte erlassen werden, die Vorgaben für zukünftige, innerhalb der EU getätigte umweltbezogene Aussagen zu Produkten an bestimmte Kriterien knüpfen wird, die auch die Wahl der Wirkungsabschätzungsmethoden betreffen. Aus Sicht der Autor*innen der Studie ist in diesem Zusammenhang zu erwarten, dass das gewählte Methodenset zukünftig weiter an Relevanz gewinnen wird.

Die Environmental Footprint (EF) 3.0-Methode enthält derzeit 16 Umweltwirkungsindikatoren, von denen jedoch nicht alle für die vorliegende Untersuchung relevant sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Product Environmental Footprint nicht allein auf Anwendungen im Bereich Landwirtschaft und Ernährung fokussiert, sondern seitens der EU-Kommission als genereller Ansatz zur Abschätzung potenzieller Umweltwirkungen entwickelt wurde. Die diesbezügliche Grundidee des PEF besteht darin, mit dem *Environmental Footprint (EF) 3.0* Indikatoren-Set eine möglichst breite, dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechende Wirkungsabschätzungsmethode bereitzustellen, aus der dann die für die jeweiligen Produktgruppen relevantesten Wirkungskategorien ausgewählt werden.¹¹ Entscheidend für die Auswahl der in dieser Studie betrachteten Wirkungsindikatoren ist die Relevanz der ausgewählten Wirkungsindikatoren für die hier angestrebte vergleichende Beurteilung tierischer und pflanzlicher Lebensmittel. Das bedeutet, dass für die vorliegende Studie insbesondere solche Wirkungsindikatoren ausgewählt werden müssen, die für eine Abschätzung relevanter Umweltwirkungen sowohl der ackerbaulichen Agrarprimärproduktion als auch der Tierhaltung geeignet sind. Dies gilt, unbenommen der bestehenden methodischen und datenspezifischen Herausforderungen, die in der vorliegenden Studie ebenfalls thematisiert werden (vgl. u.a. Abschnitt 4.3. und Abschnitt 5.5)

Zu beachten ist, dass Wirkungsabschätzungsergebnisse generell relative Aussagen sind, die keine Voraussagen über Auswirkungen auf die Wirkungsendpunkte, Schwellenwertüberschreitungen, Sicherheitsspannen oder Risiken machen können.

Grundsätzlich wurde das Ziel verfolgt, mit der Auswahl von Wirkungskategorien die für das Produktionssystem Lebensmittelproduktion relevanten Umweltthemen adäquat abzudecken. Die im Zuge der Projektbearbeitung ausgewerteten Wirkungsabschätzungsmethoden, Wirkungskategorien und -indikatoren sind in Tabelle 2-4 dargestellt. Die genannten Methoden und Indikatoren decken verschiedene, für landwirtschaftliche Produktionsprozesse besonders relevante Umweltproblem-bereiche ab.

¹¹ In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ursprünglich propagierte Ansatz im Zuge der PEFCR-Erstellung eine produktgruppenspezifische Auswahl relevanter Wirkungskategorien in der konkreten Umsetzung noch nicht final festgelegt wurde.

Tabelle 2-4: Überblick der ausgewerteten Wirkungskategorien und -indikatoren

Wirkungsindikator	In diesem Bericht verwendete Bezeichnung	Einheit	Kurzbeschreibung ¹²
Climate change	Treibhauspotential	kg CO ₂ -eq	Globales Erwärmungspotenzial über einen Zeithorizont von 100 Jahren, basierend auf IPCC AR5 (2013b).
Climate change-Biogenic	Treibhauspotential, biogen	kg CO ₂ -eq	Jeweils die Teilbeiträge zum globalen Erderwärmungspotenzials. Diese weisen den biogenen, fossilen und landnutzungsbedingten „Anteil“ am potenziellen Beitrag zum Klimawandel aus.
Climate change-Fossil	Treibhauspotential, fossil	kg CO ₂ -eq	
Climate change-Land use and land use change	Treibhauspotential, Landnutzung und Landtransformation	kg CO ₂ -eq	
Acidification	Versauerung	mol H ⁺ eq	Veränderung der kritischen Überbelastung empfindlicher Gebiete in terrestrischen und Süßwasser-Ökosystemen.
Eutrophication, terrestrial	Terrestrisches Eutrophierungspotential	mol N eq	Veränderung der kritischen Überbelastung empfindlicher Gebiete in terrestrischen Ökosystemen. (Stickstoff wird dabei als limitierender Faktor betrachtet; es werden Stickstoffemissionen in die Luft berücksichtigt)
Eutrophication, freshwater	Süßwasser Eutrophierungspotential	kg P eq	Berechnung des Grades, zu dem emittierten Nährstoffe das Süßwasser-Endkompartiment erreichen (Phosphor wird dabei als limitierender Faktor im Süßwasser betrachtet, es werden Phosphor-Emissionen in Wasser und Boden berücksichtigt).
Eutrophication, marine	Marines Eutrophierungspotential	kg N eq	Berechnung des Grades, zu dem emittierten Nährstoffe das marine Endkompartiment erreichen (Stickstoff wird dabei als limitierender Faktor betrachtet, (Stickstoff wird dabei als limitierender Faktor betrachtet; es werden Stickstoffemissionen in die Luft und in Wasser berücksichtigt)).
Particulate matter	Feinstaub	Krankheitsereignisse/kg PM	Krankheitsereignisse aufgrund von emittiertem Feinstaub (PM _{2,5}).
Land use	Landnutzung	Pt	Bodenqualitätsindex basierend auf der LANCA-Methodik.
Photochemical ozone formation	Photochemisches Oxidanzienbildungspotential	kg NMVOC eq	Ausdruck des potenziellen Beitrags zur photochemischen Ozonbildung. Die Zunahme der troposphärische Ozonkonzentration wird in Form von NO _x -Äquivalente ausgewiesen.

¹² Die ausführliche Beschreibung der Wirkungskategorien und -indikatoren ist online verfügbar unter: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf, zuletzt abgerufen am 05.07.2021

Wirkungsindikator	In diesem Bericht verwendete Bezeichnung	Einheit	Kurzbeschreibung ¹²
Water use	Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen	m ³ depriv.	Wirkungsbasierte Inanspruchnahme von Wasserressourcen basierend auf dem AWARE-Model ¹³

Quelle: eigene Zusammenstellung, (Zampori und Pant 2022)

Ergänzend wird in dieser Studie der kumulierte Energieaufwand der verglichenen Produktsysteme dargestellt. Im Ergebnisteil dieser Studie werden hierzu die Sachbilanzindikatoren KEA_{regenerativ} und KEA_{nicht regenerativ} aufgenommen.

KEA ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt werden und wird in MJ-Äquivalenten berechnet. Im KEA enthalten ist auch der Energiegehalt, der im Produkt selbst enthalten ist. Der KEA weist generell alle nicht erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte aus.

Vor dem Hintergrund der voranstehenden Überlegungen wird das ausgewählte Indikatoren-Set von den Erstellern dieser Ökobilanz als für die vorliegende Studie geeigneter Ansatz zur Abschätzung potenzieller Umweltwirkungen der betrachteten Produktsysteme angesehen.

Eine Einschränkung ist hier in Bezug auf die Relevanz potenzieller Umweltwirkungen der in den verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren eingesetzten Pflanzenschutzmittel vorzunehmen. Hier wurde zwar die Bereitstellung der Pflanzenschutzmittel in der Bilanz berücksichtigt, nicht jedoch die potenziellen Umwelteffekte (z.B. human- und oder ökotoxikologische Effekte), die mit deren Nutzung verbunden sein können. Die Beurteilung toxikologischer Aspekte im Rahmen von Ökobilanzen ist nach wie vor mit erheblichen methodischen Herausforderungen verbunden und scheitert in der ökobilanziellen Praxis häufig an den unzureichenden und mit großen Unsicherheiten behafteten Datengrundlage (u.a. in Hintergrunddatensätzen, oder aber bei der Charakterisierung und Äquivalentwertbildung komplexer Wechselwirkungen). Vor diesem Hintergrund schätzt die vorliegende Ökobilanz keine toxikologischen Aspekte ab und es werden dementsprechend auch keine Schlussfolgerungen gezogen, die auf einer toxikologischen Beurteilung der acht verschiedenen Produktsysteme beruhen (vgl. Abschnitt 5.5.).

Bezogen auf die Wirkungskategorie Landnutzung ist anzumerken, dass der ausgewählte Indikator aus Sicht der Studienersteller keine umfassende Abschätzung potenziell biodiversitätsrelevanter Umweltwirkungen darstellt. Generell werden in der vorliegenden Ökobilanz keine Biodiversitätseffekte ausgewertet bzw. es werden keine Aussagen zu biodiversitätsrelevanten Vor- oder Nachteilen der betrachteten Produktsysteme getroffen. Dies ist insofern relevant, als dass Landwirtschaft und auch Tierhaltung sich weltweit sowohl positiv wie negativ zu Biodiversität beitragen. Entscheidend sind hier etwa Aspekte der Grünlandbewirtschaftung, der eingesetzten Produktionsverfahren und -praktiken und nicht zuletzt auch etwaige Flächennutzungsänderungen durch Agrarprimärproduktion bzw. die Tierhaltung (inkl. Futtermittelbereitstellung). Jedoch lässt der gegenwärtige Stand der Methodenentwicklung und insbesondere die in dieser Hinsicht unzureichende Datengrundlage (u.a. in den für diese Studie genutzten Hintergrunddaten) keine belastbare Abschätzung biodiversitätsrelevanter Aspekte zu.

¹³ <http://wulca-waterlca.org/aware/>, zuletzt abgerufen am 01.03.2023;

2.2.8 Datentypen und –quellen, sowie Anforderungen an die Datenqualität

Die für eine Ökobilanz ausgewählten Daten hängen vom Ziel und vom Untersuchungsrahmen der Studie ab. Diese Daten können an den Produktionsstandorten gesammelt werden, die den Prozessmodulen innerhalb der Systemgrenze zugeordnet sind, oder sie können anderen Quellen entnommen oder aus diesen errechnet werden. In der Praxis können alle Datenkategorien eine Mischung gemessener, errechneter oder geschätzter Daten enthalten.

2.2.8.1 Anforderungen an die Datenqualität

Die Festlegung von eindeutigen und einheitlichen Datenqualitätsanforderungen ist notwendig, um das Ziel und den Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz erfüllen zu können. Diesem Arbeitsschritt kommt in Bezug auf Agri-Food-Systeme allgemein eine hohe Bedeutung zu. In Anlehnung an die Vorgaben der DIN EN ISO 14040:2021-02 sind die in Tabelle 2-5 genannten Anforderungen an die Datenqualität anzuwenden. Entsprechend dieser Vorgaben muss die Datenqualität durch bestimmte Kennwerte festgelegt werden, die sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte sowie die Verfahren zur Sammlung und Verwendung dieser Daten beschreiben.

Tabelle 2-5: Festlegung von Anforderungen an die Datenqualität im vorliegenden Vorhaben

Bezeichnung	Erläuterung	Beispiel
Zeitbezogener Erfassungsbereich	Beschreibt das Alter der Daten, die herangezogen werden dürfen	Daten für ergebnisrelevante Prozesse grundsätzlich nicht älter als 10 Jahre
Geografischer Erfassungsbereich	Geografischer Bereich aus dem Daten für Prozessmodule gesammelt werden sollten	Für Kuhmilchproduktion Deutschland (ggf. Europa); für bestimmte Futtermittelkomponenten ggf. Europa/Welt, Für pflanzliche Käsealternativen Europa/Welt
Technologischer Erfassungsbereich	Beschreibt die spezifische Technologie oder aber einen bestimmten Technologiemix	z.B. Betriebsgröße, verschiedene Systeme zum Düngemittelmanagement, die Behandlung von Emissionen, Bewässerungstechnik, Transportmittel
Präzision	Maß für die Schwankungsbreite der Werte für alle angegebenen Daten	z.B. durch Modellierung durchschnittlicher, typischer Produktionsverfahren innerhalb der festgelegten Produktionssysteme
Vollständigkeit	Beschreibt den prozentualen Anteil eines Energie- oder Materialflusses der gemessen oder geschätzt wird	z.B. das Intervall bzw. den Zeitraum auf den sich durch Messung erhobene Daten beziehen im Bezug zur Lebensmittelproduktion innerhalb eines Jahres
Repräsentativität	Beschreibt als qualitative Einschätzung den Grad, in dem die herangezogene Datenmenge die wahre Grundgesamtheit widerspiegelt	z.B. „Übertragbarkeit“ der Projektergebnisse auf Einzelbetriebe oder bestimmte Klassifizierungen von Produktionssystemen und Betrieben
Konsistenz	Beschreibt als ebenfalls qualitative Einschätzung, ob die Methode der Studie auf die verschiedenen Komponenten der Analyse einheitlich angewendet werden	z.B. Einschätzung zur Wahrung der Datensymmetrie (Auflösung und Qualität) beim Vergleich der verglichenen Produkte
Reproduzierbarkeit	Beschreibt qualitativ, inwiefern ein unabhängiger Ersteller mit den dokumentierten Methoden und Datenwerte die in der Studie angegebenen Datenwerte reproduzieren kann	Wird grundsätzlich über eine ausführliche, hinreichend genaue Dokumentation der verwendeten Datenbasis und ggf. zugrundeliegende Annahmen angestrebt. Kann aber aufgrund von der Vertraulichkeit unterliegenden Daten zum Produktionsprozess eingeschränkt sein.
Datenunsicherheit	Berücksichtigt die Unsicherheit der Information bei den verwendeten Daten, Modellen und Annahmen	Wird im vorliegenden Vorhaben über eine qualitative Beurteilung der Datenqualität abgedeckt.

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von DIN EN ISO 14044 (DIN EN ISO 14044:2021-02)

Vor dem Hintergrund der in Tabelle 2-5 dargestellten Anforderungen an Datenquellen und deren Qualität wurde entschieden, soweit möglich, auf im Projekt selbst zu erhebende bzw. bereitstellende Daten zurückzugreifen. Dies geschieht vor allem aus Gründen der transparenten Darstellung der Datengrundlage und steht im Einklang mit der Zieldarstellung der vorliegenden Untersuchung. Auf Ebene der Bereitstellung von Vorprodukten (agrарische Erzeugnisse), wie etwa der Bereitstellung des Futtermittels für die Rinderzucht, dem eingesetzten Gas und Strom, wurde auf Datensätze aus der Datenbank ecoinvent¹⁴ zurückgegriffen. Analog gilt dies auch für die Modellierung der Bestandteile der formulierten Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen, für

¹⁴ www.ecoinvent.org, zuletzt abgerufen am 10.09.2022.

die teilweise auf aktuelle fachwissenschaftliche Veröffentlichungen (vgl. zum Beispiel die Sachbilanzparameter zum Mandelanbau in Kalifornien in Marvinney und Kendall (2021a)) zurückgegriffen wurde, und für die ebenfalls Datensätze aus ecoinvent herangezogen wurden. Die Ausführliche Dokumentation sämtlicher verwendeter Daten(-quellen) findet sich in der Dokumentation zur Sachbilanz in Kapitel 3.

Die in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigten Datensätze stammen aus der Datenbank ecoinvent Version 3.8, welche zum Zeitpunkt der notwendigen Festlegung die aktuelle Version war. Die Datenbank ecoinvent V3.8 wurde aus verschiedenen Gründen als bevorzugte Datenbank zur Modellierung von Hintergrundprozessen ausgewählt. Dabei wurde berücksichtigt, dass ecoinvent V3.8 eine breite Verfügbarkeit für die vorliegende Untersuchung relevanter Datensätze enthält; diese in Hinblick auf Systemgrenzen (inkl. implizite Allokationen) und in Bezug auf die Wirkungsabschätzung in sich konsistent verwendet werden können und diesen Datensätzen eine vergleichsweise ausführliche und transparente Dokumentation vorliegt.

Für die vorliegende Produktökobilanzierung, die als „attributive Ökobilanz“ modelliert wurde, wurden entsprechend ausschließlich solche Datensätze verwendet, die dem Systemmodell „Allocation at Point of Substitution (APOS)“ der Datenbank ecoinvent V.3.8 entstammen oder aber einer Systemlogik folgen, die diesem Allokationsansatz methodisch entsprechen (vgl. Abschnitt 2.2.6).

2.2.8.2 Umgang mit fehlenden Daten

Trotz erheblicher Bemühungen bei der Datenerhebung konnten nicht für alle eingesetzten Rohwaren spezifische und/ oder vollständige Informationen zur Produktion bereitgestellt werden. Dies trifft für die vorliegende Studie vor allem auf Produkte zu, die in bereits vorverarbeiteter Form als Rohwaren zugegeben werden (z.B. Herstellung von Sonnenblumenprotein, Herstellung des Carrageen, Bereitstellung von Aromen). In diesen Fällen wurden zunächst plausible Annahmen zur Herstellung in der einschlägigen Literatur recherchiert. Hieraus abgeleitete Annahmen zu den jeweiligen Herstellungsverfahren wurden ebenso wie relevante Prozessparameter mit den Lieferanten der E.V.A. GmbH auf Plausibilität geprüft. Dabei wurden vor allem die energetischen Aufwendungen der entsprechenden Prozesse berücksichtigt bzw. abgeschätzt. Bei der Herstellung zusätzlich benötigte Hilfs- und Betriebsstoffe konnten jedoch aufgrund mangelnder Datenbasis nicht mitberücksichtigt werden. Das rohwarenspezifische Vorgehen bei der Modellierung ist im Kapitel 3 ausführlich dokumentiert.

2.2.9 Vergleiche zwischen Systemen

Entsprechend den Vorgaben der Norm 14044 muss bei einer vergleichenden Studie vor der Auswertung der Ergebnisse die Vergleichbarkeit der Systeme beurteilt werden (DIN EN ISO 14044:2021-02.). Demzufolge muss der Untersuchungsrahmen der Studie so festgelegt werden, dass die Systeme direkt miteinander verglichen werden können. Systeme müssen unter Anwendung derselben funktionellen Einheiten und äquivalenten methodischen Festlegungen, wie z.B. Leistung, Systemgrenze, Datenqualität, Allokationsverfahren, Kriterien zur Beurteilung von Inputs und Outputs sowie zur Wirkungsabschätzung, verglichen werden.

Im vorliegenden Bericht erlaubt die Bilanzierung „from-cradle-to-grave“ einen direkten Vergleich zwischen den Systemen, da der Vergleich auf Basis derselben funktionellen Einheit und unter äquivalenten methodischen Festlegungen (z.B. zur Systemgrenze, Datenqualität, Allokationsverfahren etc.) erfolgt. Sämtliche Produktsysteme für den Vergleich wurden so

ausgewählt, dass sie aus Sicht des bereitgestellten Produktnutzens als funktional äquivalent angesehen werden können.

Das in dieser Studie für die Modellierung der Produktsysteme zugrunde gelegte Herstellungsverfahren stellt kommerziell produzierte Lebensmittel bereit, die bereits am Markt eingeführt sind. ‚Simply V‘ – Produkte sind im LEH erhältlich. Vor diesem Hintergrund ein erscheint ein direkter Vergleich der Produktionssysteme zulässig. Zugleich kann festgehalten werden, dass die Produktion pflanzlicher Käsealternativen noch einen vergleichsweise jungen Produktionszweig darstellt, der in der hier berücksichtigten Form in Bezug auf die Gesamtproduktion noch weiter skalierbar erscheint. Zudem gibt es auch Hinweise auf noch bestehende Optimierungspotenziale (Energieeinsatz, Produktionsausschuss).

Die Darstellung der verglichenen Produktsysteme beruht zumindest in Teilen auf unterschiedlich detaillierten bzw. unterschiedlich spezifischen Inputdaten. Dies gilt konkret für die Prozesse zur Herstellung der kuhmilchbasierten Molkereiprodukte. Für die vorliegende Studie wurden keine spezifischen Daten für die Prozesse in einer Molkerei erhoben, sondern es wurde auf die Vorgaben und (Prozess-)Daten der PEFCR Dairy zurückgegriffen (Quantis Switzerland 2018). Die PEFCR Dairy stellt eine aktuelle Produktkategorieregel (sogenannte Product Environmental Footprint Category Rule) dar, die seitens der europäischen Molkereiwirtschaft kürzlich im Rahmen der EU-PEF-Initiative entwickelt wurde. Sie repräsentiert eine für den europäischen Markt typische, durchschnittliche Herstellung von Molkereiprodukten. Der Rückgriff auf die in der PEFCR Dairy hinterlegten Vorgaben und Daten zur Käseherstellung erlaubt den hier angestrebten Vergleich pflanzenbasierter Käsealternativen mit typischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis. Somit sind diesbezüglich Ziel und Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie erfüllt. Ein direkter Vergleich der verschiedenen Systeme auf Basis der gewählten funktionellen Einheit ist damit zulässig.

2.2.10 Darstellung des Verfahrens zur kritischen Prüfung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind zur Veröffentlichung vorgesehen. Da der Bericht für die Veröffentlichung vorgesehene vergleichende Aussagen zu Produkten der Firma E.V.A. GmbH sowie auch zu Fremdprodukten beinhaltet, werden dementsprechend auch die erweiterten Anforderungen an die Berichterstattung an Dritte berücksichtigt. Entsprechend der Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 Abschnitt 7.3.3 ist daher die Durchführung einer kritischen Prüfung der Ergebnisse der Ökobilanz und des hier vorgelegten Studienberichts durch ein unabhängiges, aus mindestens drei Experten bestehendes Gutachtergremium (engl. Critical Review Panel) erforderlich. Die kritische Prüfung der Ökobilanz wurde vorgenommen durch:

- Vorsitzende des Panels: Prof. Dr. Birgit Grahl, integrahl
- Co-Reviewer: Dr. Sergiy Smetana, DIL e.V.
- Co-Reviewer: Mirjam Busch, ifeu gGmbH Heidelberg

Die Anforderungen und Anleitungen zum Prozess der kritischen Prüfung und den Kompetenzen der Prüfer in der ISO/TS 14071:2014 werden eingehalten. Das abschließende Prüfgutachten der Gutachter ist diesem Bericht als Anhang I beigefügt und damit Teil dieses Berichts (vgl. Anhang I).

Die kritische Prüfung erfolgte im Anschluss an die Erstellung der Ökobilanz. Das Verfahren der Prüfung umfasste eine erste ausführliche Kommentierung des vorläufigen Endberichts sowie eine

finalen Kommentierungsrunde. Das abschließende Prüfgutachten bezieht sich auf den vorliegenden Endbericht.

2.2.11 Art des vorliegenden Studienberichts

Wie bereits in Abschnitt 2.1 dargestellt, ist es das Ziel der vorliegenden Studie, eine ökologische Beurteilung der potenziellen Umweltwirkungen von je vier pflanzenbasierten Käsealternativen und vier klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis, entlang der jeweils relevanten Lebenszyklusabschnitte vorzunehmen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind zur Veröffentlichung vorgesehen. Da der Bericht für die Veröffentlichung vorgesehene vergleichende Aussagen zu Produkten der Firma E.V.A. GmbH und Fremdprodukten beinhaltet, werden dementsprechend auch die erweiterten Anforderungen an die Berichterstattung an Dritte berücksichtigt.

Im hier vorliegenden Bericht wurde eine Reihe sensibler Detailinformationen (z.B. Rezepturen für ‚Simply V‘-Produkte) als vertrauliche Information deklariert bzw. unkenntlich gemacht. Im Zuge der kritischen Prüfung der Studie wurde dem Critical Review Panel ein Bericht zur Verfügung gestellt, indem diese Informationen vollständig enthalten waren. Entsprechend konnte im Zuge der kritischen Prüfung die Plausibilität der Studienergebnisse vor dem Hintergrund der zugrundeliegenden Daten geprüft werden. Ebenso wurde vom Critical Review Panel geprüft, ob der hier vorliegende Bericht von der Zielgruppe noch nachvollziehbar verstanden werden kann (siehe hierzu das CR Statement in Anhang I).

2.2.12 Art der Auswertung der vorliegenden Studie

Die Auswertung wird entsprechend der in DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 geforderten Bestandteile durchgeführt und beinhaltet folgende Aspekte:

- Identifizierung der signifikanten Parameter auf der Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzungs-Phasen der Ökobilanz (vgl. Abschnitt 5.2 und Abschnitt 5.3);
- eine Beurteilung, die die Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen berücksichtigt (vgl. Abschnitt 5.4);
- eine Darstellung zu Einschränkungen in Hinblick auf die Schlussfolgerungen (vgl. Abschnitt 5.5);
- die Ableitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen (vgl. Kapitel 6).

2.2.13 Annahmen, die der vorliegenden Studie zugrunde liegen und sich aus diesen Annahmen ergebende Einschränkungen

- Für die Modellierung der Herstellung der klassischen Molkereiprodukte auf Kuhmilchbasis wurde auf plausible, jedoch nicht für konkrete Produkte von Fremdherstellern spezifische Daten dieser Hersteller zurückgegriffen. Entsprechend können aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie keine spezifischen Informationen zur Optimierung der Herstellung der so modellierten Produkte abgeleitet werden. Sollten in der Zukunft, z.B. seitens der Hersteller, entsprechend spezifische Daten verfügbar gemacht werden können, könnte geprüft werden, ob eine Aktualisierung des bestehenden Modells sinnvoll ist.

- Insbesondere solche Festlegungen und Annahmen, die von hoher Relevanz für die Ergebnisse der Studie sind, wurden im Zuge einer ausführlichen Beitragsanalyse identifiziert und in darauf aufbauenden Sensitivitätsanalysen untersucht (vgl. Kapitel 4.3.8.1). Die Ergebnisse wurden im Rahmen der Auswertung der vorliegenden Studie diskutiert (vgl. Kapitel 5). In Abschnitt 5.5 erfolgt eine zusammenfassende Einschätzung zu den sich aus den getroffenen Festlegungen und Annahmen der vorliegenden Studie ergebenden Einschränkungen.

3 Grundlage der Sachbilanz: Modellierung und Datengrundlage

In diesem Kapitel wird die Grundlage der Sachbilanz und die der Modellierung zugrundeliegende Datenbasis dokumentiert. Die entsprechend der Festlegungen zur Systemgrenze berücksichtigten Prozessmodule werden dabei in Form jeweils eigener Abschnitte dargestellt.

‚Simply V‘ stellt ausschließlich auf pflanzlichen Rohstoffen basierende Käsealternativen her. Für die vorliegende Studie liegen zur Rohwarenzusammensetzung der Produkte sowie zur Produktion der fertigen Lebensmittel produktspezifische Primärdaten vor. Da das Unternehmen selbst keine kuhmilchbasierten Produkte herstellt, liegen entsprechend auch keine betriebsspezifischen Daten vor. In dieser Studie werden, aufbauend auf Vorarbeiten des Öko-Instituts (Antony et al. 2021) und ergänzt um Vorgaben und Informationen aus der PEFCR Dairy (Quantis Switzerland 2018), realistische Referenzprodukte auf Kuhmilchbasis definiert und für den Vergleich mit den pflanzenbasierten Produkten von ‚Simply V‘ herangezogen.

Die Rohmilchproduktion ist ein wichtiger Vorprozess der Käseherstellung, der erheblichen Einfluss auf die potenziellen Umweltwirkungen der Käseherstellung hat. Um den hier angestrebten ökobilanziellen Vergleich von kuhmilchbasierten Käseprodukten und pflanzlichen Käsealternativen auf einer vergleichbar guten Datenbasis durchführen zu können, wurde der für die Käseproduktion aus Umweltsicht relevante Prozess der Rohmilchproduktion auf Basis eines vom Öko-Institut entwickelten Ökobilanzmodells modelliert. Für die Modellierung der Rohmilchproduktion in der vorliegenden Studie wird entsprechend auf die Modellierung von Kuhmilch aus der Studie „Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen“ zurückgegriffen (Antony et al. 2021)¹⁵.

Für die Weiterverarbeitung der Kuhmilch zu verschiedenen Molkereiprodukten beruht die vorliegende Ökobilanz auf Anforderungen und Vorgaben der PEFCR Dairy. Die PEFCR Dairy wurde unter der technischen Leitung der IDF (International Dairy Foundation) als produktgruppenspezifische Berechnungsvorschrift bei der ökobilanziellen Beurteilung von Molkereiprodukten im Kontext der PEF-Berechnung entwickelt. Die PEFCR Dairy gibt für die verschiedenen Lebenszyklusphasen branchentypische Referenzdatensätze und Referenzwerte an. Diese werden zur Anwendung empfohlen, sofern keine Primärdaten zur Modellierung eines entsprechenden Prozessmoduls verfügbar sind. Für die vorliegende Studie basiert die Modellierung der Weiterverarbeitung der kuhmilchbasierten Käseprodukte auf den Referenzdatensätzen und Rückfallwerten der PEFCR Dairy. Hierbei sind folgende allgemeine Anmerkungen zu berücksichtigen:

- Die PEFCR enthält keine spezifischen Angaben für Reibekäse. Für die vorliegende Studie wird davon ausgegangen, dass die Rezeptur des Reibekäses der eines Schnittkäses entspricht, der anstatt in Scheiben geschnitten zu werden zu Käsestreuseln gerieben wird.
- Die PEFCR Dairy enthält ebenfalls keine spezifischen Angaben für die Rohwarenzusammensetzung von Streichkäse. weshalb die Rückfallwerte von Frischkäse übernommen und auf Basis der Trockenmassegehalte angepasst wurden. Laut PEFCR Dairy stehen die potenziellen Umweltwirkungen verschiedener Käsevarianten in proportionalem Bezug zum Trockenmassegehalt des Käses, da dieser wiederum bestimmt, wieviel Rohmilch für die Produktion eingesetzt wird. Für Frischkäse gibt die PEFCR Dairy einen Trockenmassegehalt von

¹⁵ Der vollständige Studienbericht ist online verfügbar unter URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sichtbarmachung-versteckter-umweltkosten-der>, zuletzt abgerufen am 11.10.2022.

23 g/100 g Produkt an. Streichkäse hat nach Angaben der PEFCR einen um 46% höheren Trockenmassegehalt von 33,5 g/100 g Produkt. Der Logik der PEFCR Dairy folgend, wird der für Frischkäse in der PEFCR angegebene Rohmilchbedarf um Faktor 1,46 erhöht, um somit einen für Streichkäse realistischen Rohmilchbedarf abzunehmen.

- Die in der PEFCR Dairy zur Anwendung empfohlenen Referenzdatensätze beziehen sich auf Datensätze aus der Environmental Footprint Datenbank der EU. Für die hier vorliegende Studie werden ausschließlich Datensätze der Datenbank ecoinvent V3.8 genutzt (vgl. Abschnitt). Die gleichzeitige Nutzung von Datensätzen aus den teilweise sehr unterschiedlichen Datenbanken (ecoinvent v.3.8 und EF 3.0) hat einen potenziell relevanten Einfluss auf das Ergebnis. Entsprechend wird eine Nutzung von Daten aus verschiedenen Quellen so weit als möglich vermieden. Während also die von der PEFCR Dairy vorgeschlagenen Referenzwerte unverändert übernommen werden, werden den in der PEFCR genannten Referenzdatensätze entsprechende Datensätze aus ecoinvent 3.8 zugeordnet. Die letztlich in der vorliegenden Studie verwendeten ecoinvent-Datensätze sind in den Tabellen der nachfolgenden Abschnitten transparent dokumentiert. Eine ausführliche Darstellung zum potenziellen Einfluss der Modellierungsannahmen für die Kuhmilchbereitstellung wurde in Form einer eigenen Sensitivitätsanalyse in die vorliegende Studie aufgenommen (vgl. Abschnitt 4.4.5).

3.1 Rohwarenproduktion

3.1.1 Rohwarenbedarf für pflanzliche Käsealternativen

Die pflanzlichen Rohstoffe bzw. Rohwaren sind der Ausgangspunkt der Herstellung der pflanzlichen Käsealternativen in den Werken der E.V.A. GmbH. Teilweise durchlaufen die eingesetzten pflanzlichen Rohstoffe zunächst weitere (Vor-)Verarbeitungsschritte, bevor diese als Rohwaren über eine entsprechende Rezeptur zu den fertigen Endprodukten weiterverarbeitet werden.

Die Rohwarenbereitstellung der in dieser Studie untersuchten pflanzlichen Käsealternativen ist in der Tabelle 3-1 dargestellt. Die Zusammensetzung der pflanzliche Käsealternativen ist in Form von Massenanteilen an der Rezeptur (d.h. in Massenprozent) angegeben. Ebenso aufgeführt sind die verwendeten Datensätze bzw. Verweise auf eigenen Modellierungen der Rohwarenbereitstellung.

Tabelle 3-1: Massenmäßige Zusammensetzung der Rohwaren für pflanzliche Käsealternativen [Angaben in Prozent]

Rohware	Anbau-land	eigene Modellierung	pflanzliche Streichkäse-alternative	pflanzliche Schnittkäse-alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative	pflanzliche Hirtenkäse-alternative
Wasser	DEU	market for tap water - RER	55-65	40-50	35-40	50-65
Kondensat	DEU	market for tap water - RER	5-10	5-10	5-10	5-10
Kokosfett	PHL	coconut oil production, crude - PH	12-15	15-20	12-15	15-20
Mandel-Paste	USA L.A.	Eigene Modellierung; Tabelle 3-6	15-20	1-5	5-10	
Mandelmehl	USA L.A.	Eigene Modellierung; Tabelle 3-6				5-10

Rohware	Anbau-land	eigene Modellierung	pflanzliche Streichkäse-alternative	pflanzliche Schnittkäse-alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative	pflanzliche Hirtenkäse-alternative
Kartoffelprotein	NLD	Eigene Modellierung; Tabelle 3-10		<2%		
Sonnenblumenprotein	BGR, ROU, HUN, SVK	Eigene Modellierung; Tabelle 3-11			<3%	
Kartoffelstärke modifiziert	SWE	market for potato starch - DE		<5%		
Kartoffelstärke modifiziert	NLD	market for potato starch – DE		<3%		
Kartoffelstärke	NLD	market for potato starch – DE		5-10%		
Kartoffelstärke	DEU, NLD	market for potato starch - DE			20-25%	
Speisesalz	DE, CHN	sodium chloride production, powder - RER		<3%	<3%	<3%
Meersalz	FRA	salt production from seawater, evaporation pond - GLO	<3%			
Tapiokastärke modifiziert	THA	Eigene Modellierung; Tabelle 3-8		5-10%		
Tapiokastärke	THA	Eigene Modellierung; Tabelle 3-8			<3%	
Carrageen	DNK	Eigene Modellierung; Tabelle 3-13				<3%
L-Milchsäurepulver	THA, BRA, DEU, NLD	lactic acid production - RER				<3%
Aroma	HUN	market for glucose - GLO			<3%	
Aroma	HUN	market for glucose - GLO		<3%	<3%	
Zitronensaftkonzentrat	ARG, ESP, ITA, ZAF	market for glucose - GLO	<3%			
Johannisbrotkernmehl	ESP, ITA, PRT, FRA	market for glucose - GLO	<3%	<3%		
Orange Cloudy	NLD	market for glucose - GLO		<3%	<3%	
Natrium-L-Ascorbat	CHN	market for glucose - GLO		<3%	<3%	
Aroma Sahne	HUN	market for glucose - GLO				<3%
Gellangummi	USA	market for glucose - GLO				<3%

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V

Neben Trinkwasser, das zwischen 39 % und 61 % zur Rezeptur der pflanzlichen Käsealternativen beiträgt, ist mit 13 - 20 % das eingesetzte Kokosfett der mengenmäßig wichtigste Bestandteil der Rezepturen. An zweiter Stelle kommen mit 1 – 18 % die mandelbasierten Rohwaren (Mandelpaste bzw. Mandelmehl).

Wie aus Tabelle 3-1 ebenfalls hervorgeht, kommen bei den verschiedenen pflanzlichen Käsealternativen mehrere, jeweils unterschiedliche Rohwaren auf Basis von Kartoffelstärke zum Einsatz. Diese werden allesamt vom selben Hersteller, dem in den Niederlanden ansässigen Unternehmen Avebe, bezogen. Zur Herstellung der Produkte und zu etwaigen Unterschieden bei der Produktion

der verschiedenen Rohwaren sind keine spezifischen Daten verfügbar. Für die Bereitstellung entsprechender Vorprodukte wird vereinfachend der ecoinvent Datensatz „potato starch production, DE“ genutzt.

Die in der Rezeptur der pflanzliche Käsealternativen eingesetzten Aromen sowie generell für Rohwaren mit einem Mengenanteil von < 1 % des Gesamtgewichts wurde, sofern keine spezifischen Produktinformationen verfügbar waren, vereinfachend der ecoinvent Datensatz „market for glucose“ berücksichtigt.¹⁶ Davon abweichend wurde das in einem Produkt enthaltene Sonnenblumenprotein, für welches ebenfalls keine spezifischen Informationen verfügbar sind, auf Basis des Datensatzes für Kartoffelprotein (siehe Tabelle 3-9) berücksichtigt.

Verpackungen der Rohwaren

Die Rezepturen der pflanzlichen Käsealternativen bestehen aus einer größeren Anzahl verschiedener Rohwaren als die milchbasierten Käseprodukte. Die entsprechenden Rohwaren (vgl. Tabelle 3-1) werden von der E.V.A. GmbH bei verschiedenen Lieferanten eingekauft und von diesen an die beiden Produktionsstätten des Unternehmens geliefert.

Für die Modellierung der Verpackungen der Rohwaren wurden die in Tabelle 3-2 aufgeführten rohwarenspezifischen Verpackungsmaterialien und Gebindegrößen sowie das spezifische Gewicht der Verpackungsmaterialien berücksichtigt.

Tabelle 3-2: Verpackung der Rohwaren

Verpackte Rohware	Hauptsächliches Verpackungsmaterial	Gebindegröße [kg verpackte Rohware]	Masse des Verpackungsmaterials [kg]
Kokosfett	LDPE-Stahl, Behälter (IBC)	900	56
Mandel-Paste	HDPE-Behälter	25	0,885
Mandelmehl	Papiersack	25	0,232
Kartoffelprotein flüssig Solanic 300L	HDPE-Behälter	1000	47
Sonnenblumenprotein Heliator 55	LDPE-Verpackung	20	0,853
Kartoffelstärke modifiziert Eliane VE540	Papiersack	25	0,24
Kartoffelstärke modifiziert Eliane MC160	Papiersack	25	0,24
Kartoffelstärke Eliane Gel 100	Papiersack	25	0,24
Kartoffelstärke Eliane 100	Papiersack	25	0,24
Speisesalz	LDPE-Verpackung	25	0,053

¹⁶ In der Literatur finden sich kaum Informationen zur Ökobilanz von Gewürzen und Aromen, es wird jedoch häufig betont, dass diese in der Regel von vernachlässigbarer Bedeutung bei der Ökobilanzierung von Lebensmitteln sind (vgl. Grünberg et al. 2010). In der vorliegenden Studie wurden entsprechende Rohwareneinputs auf Basis des mengenmäßig relevanten Bestandteiles Glucose bilanziert. Die Herstellung von Glucose ist ein vergleichsweise aufwändiger Prozess (vgl. z.B. Treibhauspotenzial von 1,12 kg CO₂-eq/kg Produkt), der sich jedoch deutlich von der Herstellung bestimmter Gewürzprodukte (z.B. Pfeffer, Paprika) unterscheiden kann.

Verpackte Rohware	Hauptsächliches Verpackungsmaterial	Gebindegröße [kg verpackte Rohware]	Masse des Verpackungsmaterials [kg]
Meersalz	LDPE-Verpackung	25	0,059
Tapiokastärke modifiziert Precisa 655S	Papiersack	25	0,24
Tapiokastärke	Papiersack	25	0,372
Carrageen Genulacta LP-75	Papiersack	25	0,376
L-Milchsäurepulver Purac Powder 60	HDPE-Behälter	20	1,321
Aroma Reibegenuss PN-546-794-1	LDPE-Verpackung	25	0,985
Aroma GNS würzig SE-018-967-1	Karton mit LDPE-Verpackung	25	0,985
Zitronensaftkonzentrat	Karton mit LDPE-Verpackung	20	0,777
Johannisbrotkernmehl	Papiersack	25	0,365
Färbendes Lebensmittel Orange Cloudy	HDPE-Behälter	25	0,942
Natrium-L-Ascorbat	LDPE-Verpackung	26,5	1,51
Aroma Sahne GW-860-359-7	LDPE-Verpackung	10	0,985
Gellangummi Kelcogel ADY	Papiersack	20	0,675

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Informationen von Simply V; High Density Polyethylen (HDPE); Low Density Polyethylen (LDPE)

Bei den Verpackungsmaterialien handelt es sich, bis auf die Verpackung des Kokosfetts und des Kartoffelproteins Solanic, um Einwegverpackungen, die nach Gebrauch entsorgt werden. Die entsprechenden Aufwendungen für die Entsorgung werden in der vorliegenden Bilanz, wie nachfolgend beschrieben, berücksichtigt, sind jedoch für die Umweltrelevanz des Gesamtsystems vernachlässigbar.

Für die Papierverpackungen und den Stahlanteil der IBC-Verpackung wird davon ausgegangen, dass diese nach dem Gebrauch recycelt werden. Für die restlichen Verpackungen wird eine thermische Entsorgung (ohne Energierückgewinnung) unterstellt.

Gutschriften für recyceltes Material werden anhand der Circular Footprint Formular (CFF) vergeben. Dabei wird über den sogenannten A-Faktor zunächst die Verteilung von Lasten und Gutschriften zwischen abgebendem und aufnehmendem System festgelegt. Der A-Faktor oder auch Zuteilungsfaktor von Lasten und Gutschriften ist bei Papier 0,5. Bei sehr gut recycelbaren bzw. stark nachgefragten Metallen liegt dieser bei 0,2. Hinzu wird über den sogenannten B-Faktor das Verhältnis der Qualität des Sekundärmaterials gegenüber Primärmaterial festgelegt. Durch eine Verkürzung der Fasern im Zuge des Papierrecyclings weist das Sekundärmaterial eine etwas geringere Qualität auf. Der geringeren Qualität des Sekundärmaterials wird entsprechend der Empfehlung der PEFCR Dairy in Form eines Reduktionsfaktors von 0,85 Rechnung getragen. Dies bedeutet, dass pro kg Sekundärmaterial ein Einsparpotenzial von 0,850 kg Primärmaterial ausgegangen wird. Die für die Modellierung verwendeten Datensätze sind in Anhang V dokumentiert.

Für die Rohwarenbereitstellung des Kokosfetts kommen Mehrweggebinde zum Einsatz. Allerdings muss hier festgestellt werden, dass die als Mehrwegverpackungen deklarierten Gebinde derzeit nicht in einem geschlossenen Kreislauf und somit nicht innerhalb der Lebensmittelindustrie weiterverwendet werden. Nach Gebrauch werden diese vom Unternehmen meistbietend verkauft. Häufiges Einsatzgebiet für die IBC-Container (Kunststoff-Stahl-Behälter) ist die Weiternutzung als Wasserspeicher in der Landwirtschaft. Verlässliche Informationen zur Art und Dauer der Weiternutzung liegen der E.V.A. GmbH nicht vor. Da entsprechende Daten in der vorliegenden Studie auch nicht erhoben werden konnten, wurde im Basisszenario der vorliegenden Studie konservativ eine nur einmalige Nutzung des Containers angenommen. Bei der Verpackung von Solanic handelt es sich um eine Mehrwegverpackung. Leider fehlen Informationen über die tatsächliche Häufigkeit der Nutzungen, daher wird angenommen, dass sie 10-mal wiederverwendet wird. Die Wiederverwendung der Verpackung führt vereinfacht zu einer Reduktion des Materialaufwandes um 1/10.

3.1.1.1 Mandelproduktion

Mandelanbau

Mandelbasierte Rohwaren stellen bei den pflanzlichen Käsealternativen von ‚Simply V‘ die wesentliche Proteinquelle dar. Bei allen vier untersuchten Produkten wird entweder eine Mandelpaste oder aber Mandelmehl als ein Hauptbestandteil der Rezeptur eingesetzt. Beide Rohwaren unterscheiden sich im Wesentlichen durch den Restfeuchtegehalt, der bei der Mandelpaste noch etwas höher ist als beim Mandelmehl. Gemäß Informationen des Unternehmens werden für die ‚Simply V‘-Produkte ausschließlich Rohwaren verarbeitet, bei denen die Mandeln in Kalifornien angebaut werden. Die Weltmandelproduktion hat dort einen sehr eindeutigen Schwerpunkt. So wurden im kalifornischen Central Valley im Jahr 2017 etwa 75 % der weltweit kommerziell angebauten Mandeln produziert. (Marvinney und Kendall 2021b).

Nicht zuletzt aufgrund der potenziell erheblichen Umwelteinflüsse und dem mitunter hohen Bedarf an künstlicher Bewässerung steht die Mandelproduktion im Zentrum auch kritischer Diskussionen. Marvinney und Kendall (2021a) untersuchten den ökologischen Fußabdruck von Mandelplantagen im Central Valley in Kalifornien in zwei aufeinander aufbauenden Studien. Sie konnten zeigen, dass sich aufgrund von Dürreperioden in Kalifornien der Bedarf für künstliche Bewässerung in den letzten Jahren deutlich erhöht hat. Das vermehrte Auftreten von Dürreperioden in Kalifornien wird mit dem fortschreitenden anthropogen bedingten Klimawandel in Verbindung gebracht. Direkte Folge des deutlich erhöhten Bedarfs für künstliche Bewässerung ist die zunehmende Förderung von Wasser aus Grundwasserreserven, die wiederum zu einem fortschreitenden Absinken des Grundwasserspiegels führt. Neben weiteren damit verbundenen Problemen erhöht sich auch der Energieaufwand zur Förderung von Wasser aus größerer Tiefe.

Die Modellierung der Mandelproduktion in der vorliegenden Studie basiert auf dem ecoinvent Datensatzes „almond production - US“, jedoch wurde der gegenüber dem im ecoinvent Datensatz standardmäßig berücksichtigte Wasserbedarf an die neuen Erkenntnisse angepasst. Wie ein genauerer Blick auf den Datensatz zeigt, ist der Aufwand im Zuge der künstlichen Bewässerung der Mandelplantage maßgeblich für das Treibhauspotential der Mandelproduktion verantwortlich (Kendall et al. 2015a). Entscheidend sind hier vor allem die für den Betrieb der Wasserpumpen notwendigen Diesel- und Strombedarfe.

Um den Datensatz der Mandelproduktion an die neueren Erkenntnisse anzupassen, wurde die Bewässerung und mit ihr der Diesel- und Stromverbrauch des ecoinvent Datensatzes „almond production [US]“ an den Strom und Dieselverbrauch aus der Studie von Marvinney und Kendall (2021a) angepasst. Bei dieser Studie handelt es sich um eine peer-reviewed Ökobilanzstudie die auf einer Erhebung umfangreicher und aktueller Primärdaten zur Mandelproduktion in Kalifornien beruht. Gegenstand der Untersuchung sind die drei wichtigsten Mandelanbauregionen des Central Valleys: Sacramento Valley, San Joaquin Valley und Tulare Lake. Der Durchschnittswert des Central Valleys wurde anhand dieser drei Regionen und proportional anhand der jeweiligen Mandelanbaufläche gebildet.

Der Diesel- und Stromverbrauch der Bewässerungspumpen wurde mit den folgenden ecoinvent Datensätzen modelliert:

- water pump operation, diesel – US
- water pump operation, electric– US

Laut Marvinney und Kendall (2021a) werden 53 % des Stroms auf den Mandelplantagen im Central Valley durch Photovoltaikanlagen bereitgestellt. Die Bereitstellung des Stroms für die elektrischen Wasserpumpen wurde wie folgt im Datensatz „water pump operation, electric – US“ angepasst¹⁷:

- 47 % market for electricity, medium voltage - US- Western Electricity Coordinating Council (WECC)
- 53 % electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted – US -WECC

Die Anpassung der Bewässerung des ecoinvent Datensatzes „almond production [US]“ an die Ergebnisse der Studie von Marvinney und Kendall (2021a) führt durch die vermehrte Verwendung von Microsprinklern zu einer Reduktion des Wasserbedarfs um 9 %. Allerdings steigt der Energiebedarf für das Bereitstellen des Wassers und der Bewässerung. Im Vergleich zu anderen Bewässerungssystemen, wie z.B. Sprüh- oder Tropfbewässerungssystemen, haben Microsprinkler einen höheren Energieverbrauch, da sie in der Regel mit höherem Wasserdruck arbeiten und somit mehr Energie benötigen, um das Wasser durch die Bewässerungsdüsen zu drücken.

Der ecoinvent Datensatz „almond production [US]“ nutzt einen Bewässerungsdatsatz, bei dem die Kritikalität der Wasserinanspruchnahme nicht mit den für das Central Valley typischen AWARE-Faktoren verknüpft ist. Dies hat den Effekt, dass bei einer Auswertung ohne angepasste AWARE-Faktoren die Kritikalität der Wasserinanspruchnahme unterschätzt würde. Um dies zu vermeiden, wurden die drei in der Studie von Marvinney und Kendall (2021a) beschriebenen Mandelanbaugebiete mit den dazugehörigen AWARE-Faktoren für die Wasserentnahme des Mandeldatensatzes verwendet und es wurde ein spezifischer Mittelwert gebildet (vgl. auch die Diskussion des Wirkungsindikatorergebnisses Wasserinanspruchnahme und der zugrunde gelegten AWARE-

¹⁷ Das Stromnetz bzw. der Strommarkt der USA ist in verschiedene Regionen eingeteilt. Kalifornien fällt dabei in den Bereich des WECC. Der Datensatz „market for electricity, medium voltage“ stellt einen für die Region typischen Strommix dar, der sich aus der Stromerzeugung aus verschiedenen Stromquellen speist. Er enthält jedoch keinen Strom aus Photovoltaikanlagen, womit sichergestellt ist, dass keine Doppelzählung von PV-Strom erfolgt.

Faktoren in Abschnitt 4.3.5). Der verwendete Datensatz der Mandelproduktion für die vorliegende Studie ist in Anhang III dargestellt.

Mandelverarbeitung

Mandelkerne sind bei der Ernte von einer harten Schale und einer Hülle umgeben. Diese werden unter Einsatz von Maschinen geschält. Für die Modellierung der Aufwendungen im Zuge der Mandelernte wurde ebenfalls auf Daten von (Kendall et al. 2015b) zurückgegriffen. Tabelle 3-3 zeigt den Energieaufwand für diese Prozesse bezogen auf 1 kg geschälte Mandelkerne.

Tabelle 3-3: Schälen und Enthüllen von Mandeln, nach Kendall et al. 2015, bezogen auf 1 kg geschälte Mandeln

Prozess	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Mandeln	1,84	kg	<i>almond production verändert nach Marvinney und Kendall 2021 - US</i>
Strom	0,55	MJ	<i>market for electricity, low voltage - US-WECC</i>
Propan	0,02	MJ	<i>propane, burned in building machine - GLO</i>
Diesel	0,01	MJ	<i>diesel, burned in building machine - GLO</i>
Benzin	0,01	MJ	<i>petrol, unleaded, burned in machinery - GLO</i>

Quelle: Eigene Darstellung, (Kendall et al. 2015b) *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Im Zuge der Mandelproduktion entstehen Koppel- bzw. Nebenprodukte mit eigenem finanziellen Wert. Wichtigste Koppelprodukte sind Mandelhüllen und Mandelschalen, die an die Land- und Energiewirtschaft verkauft werden. In geringen Mengen fallen auch weitere Nebenprodukte, wie sogenannte Splitterteile (Mischung aus zerkleinerten Schalen und Kernen) und Zweige, an. Für die vorliegende Studie wird davon ausgegangen, dass die Mandelhüllen und Splitterteile als Milchviehfutter verwendet werden und dass die Mandelschalen und Zweige als Vieheinstreu oder Energierohstoff verwendet werden. Dieser Studie liegt die ökonomische Allokation von (Marvinney und Kendall 2021b) zugrunde. Tabelle 3-4 zeigt das Massenverhältnis der Koppelprodukte der Mandelproduktion und die ökonomisch gewichtete Allokation auf Massenbasis zwischen Mandelkern und Nebenprodukten.

Tabelle 3-4: Massenverhältnis der Koppelprodukte der Mandelproduktion und ökonomisch gewichtete Allokation auf Massenbasis

	Massenverhältnis	Ökonomische gewichtete Allokation auf Massenbasis
Mandelkern	54%	97,2%
Mandelhülle und Splitterteile	35%	2,6%
Mandelschale und Zweige	11%	0,2%

Quelle: Eigene Darstellung, (Marvinney und Kendall 2021b)

Für die vorliegende Studie kommt die ökonomische gewichtete Allokation auf Massenbasis zur Anwendung. Während die Mandelkerne nur rund 50 % der Masse ausmacht, wird ihnen aufgrund des ökonomischen Wertes mit 97,2 % der Hauptanteil an Umweltbelastungen der Mandelproduktion zugerechnet.

Die E.V.A. GmbH nutzt in den ‚Simply V‘-Produkten nicht direkt Mandelkerne, sondern kauft diese als vorverarbeitete Rohwaren in Form von Mandelpaste und Mandelmehl von einem Lieferanten aus Italien. Dem Unternehmen liegen keine eigenen Informationen und Prozessdaten zur Verarbeitung der Mandelkerne vor. Entsprechende Daten konnten, auch auf Nachfrage beim Lieferanten, nicht erhoben werden. Daher wurde für die vorliegende Studie Angaben von (Volpe et al. 2015) übernommen. Demnach werden die Mandeln zunächst gewaschen, geschält, gebürstet und sortiert, bevor sie in einem Ofen geröstet werden. Der Energieaufwand für das Waschen, Bürsten, Trocknen und Sortieren von 1 kg geschälter Mandeln kann Tabelle 3-5 entnommen werden.

Tabelle 3-5: Waschen, Bürsten, Trocknen und Sortieren von 1 kg geschälten Mandeln

Prozess	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Geschälte Mandeln	1	kg	Eigene Modellierung, siehe Tabelle 3-3
Bürsten und Sortieren	5,6	Wh	<i>market for electricity, medium - IT</i>
Waschen und Trocknen	72,5	Wh	<i>market for heat, district or industrial, natural gas - Europe without Switzerland</i>

Quelle: Eigene Darstellung, (Volpe et al. 2015). *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Produktion von Mandelpaste

Anschließend werden die Mandeln in einem Ofen geröstet und getrocknet. Für die Modellierung der Aufwendungen für diesen Prozess werden folgende Parameter herangezogen (vgl. (Volpe et al. 2015)).

- Frische Mandeln haben einen Feuchtigkeitsgehalt von 31,5 %;
- Am Ende des Prozesses beträgt die Restfeuchte 2 %;
- Der eingesetzte Ofen hat eine Leistung von 350 kW. Im Normalbetrieb arbeitet das System mit 30 % seiner Nennleistung, um 7 % der Feuchtigkeit der Mandeln zu trocknen.
- Die Durchsatzmengen des Mandelröstofens der Firma Damiano S.p.A. unipersonale sind nicht veröffentlicht. Auf Nachfrage wurde uns jedoch mitgeteilt, dass für die Studie von (Volpe et al. 2015) ein Mandelofen mit einem Durchsatz von 700 kg Mandeln pro Stunde berücksichtigt wurde. Dieser Wert wurde auch in der vorliegenden Studie zu Grunde gelegt.

Nach dem Rösten werden die Mandeln in einer Kugelmühle zu Mandelpaste verarbeitet. Die Kugelmühle hat einen Durchlauf von 600 kg pro Stunde und einen spezifischen Energieverbrauch von 53 Wh/kg. Die für das Rösten und Mahlen von Mandeln für die Produktion von 1 kg Mandelpaste berücksichtigten Energieverbräuche sind Tabelle 3-6 zu entnehmen.

Tabelle 3-6: Rösten und Mahlen von 1kg Mandelpaste

Prozess	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
gewaschene, gebürstete, getrocknete und sortierte Mandeln	1,29	kg	<i>Eigene Modellierung, siehe Tabelle 3-5</i>
Rösten	0,62	kWh	<i>market for heat, district or industrial, natural gas - Europe without Switzerland</i>
Mahlen	0,03	kWh	<i>market for electricity, medium voltage - IT</i>
Transport aus Italien	918	km	<i>market for transport, freight, lorry, unspecified - RER</i>

Quelle: Eigene Darstellung, (Volpe et al. 2015) *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Der Unterschied in der Produktion von Mandelpaste und Mandelmehl besteht hauptsächlich darin, dass Mandeln bei der Herstellung von Mandelpaste etwas länger gemahlen werden. Um „lediglich“ Mandelmehl herzustellen, dürfen die Mandeln nur kurz gemahlen werden, sodass das Öl nicht aus den Mandelstückchen gelöst wird (Garing 2020). Es erscheint plausibel anzunehmen, dass die Produktion von Mandelmehl aufgrund des kürzeren Mahlprozesses einen etwas geringeren Energieaufwand hat als die Produktion von Mandelpaste. Da aber kein spezifischer Energieaufwand für Produktion von Mandelmehl recherchiert werden konnte, wurde vereinfachend angenommen, dass die Produktion von Mandelmehl dieselben Aufwendungen aufweist wie die Produktion der äquivalenten Menge an Mandelpaste.

3.1.1.2 Kokosfett

In allen vier pflanzlichen Käsealternativen ist Kokosfett ein relevanter Bestandteil der Produktrezeptur. Das Kokosfett macht zwischen 13 – 20 % der Masse der verzehrfertigen Produkte aus. Die E.V.A. GmbH bezieht für die ‚Simply V‘-Produkte Kokosfett von Kokosnüssen aus den Philippinen. Nach der Ernte werden die Kokosnüsse zunächst geöffnet und von der Schale gelöst. Um die Aufwendungen für den Anbau der Kokosnüsse zu berücksichtigen, wird der Datensatz „coconut production, dehusked, PH“ genutzt, der die Kokosnussproduktion auf den Philippinen abbildet. Die Aufwendungen im Zuge der weiteren Verarbeitung der Kokosnüsse zu Kokosfett werden ebenfalls berücksichtigt. Hier wird in der Modellierung der ecoinvent Datensatz „coconut oil production, crude, PH“ genutzt. Wie der Dokumentation des genutzten ecoinvent Datensatzes zu entnehmen ist, wird dieser zwar regelmäßig aktualisiert, bezieht sich jedoch in Bezug auf die technologische Repräsentativität auf bereits vergleichsweise alte Studiendaten. Im Zuge einer Plausibilitätsprüfung konnte anhand eines Abgleichs mit aktuellen ökobilanziellen Studien zur Kokosnussproduktion (vgl. Sampaio et al. (2021)) gezeigt werden, dass wesentliche Prozessparameter nach wie vor aktuell sind. Der für die vorliegende Studie genutzte Datensatz wird daher als geeignet angesehen.

3.1.1.3 Tapiokastärke

Tapiokastärke ist ein Bestandteil der Rezeptur der ‚Simply V‘-Produkte. Diese wird aus Maniokwurzeln gewonnen. Für die Modellierung der Aufwendungen im Zuge der Maniokwurzel-Produktion und Weiterverarbeitung liegen in ecoinvent keine Daten vor. Entsprechend musste auf Literaturwerte von Usubharatana und Phungrassami (2015) zurückgegriffen werden. Aus diesen gehen die der Tabelle 3-7 zu entnehmenden Inputs bei der Produktion von 1 t Maniokwurzeln in Thailand hervor.

Tabelle 3-7: Produktion von 1 t Maniokwurzel

Input	Mengen	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Organischer Dünger	124,01	kg	market for organic nitrogen fertiliser, as N - GLO
Stickstoffdünger	2,38	kg	market for inorganic nitrogen fertiliser, as N - TH
Phosphordünger	0,79	kg	market for inorganic phosphorus fertiliser, as P2O5 - TH
Kalidünger	3,17	kg	market for inorganic potassium fertiliser, as K2O - TH
Paraquat	0,06	kg	market for glyphosate - GLO
Glyphosat	0,1	kg	market for glyphosate - GLO
Diesel	1,08	kg	diesel, burned in agricultural machinery - GLO
Andere Chemikalien	0,03	kg	market for chemical, inorganic - GLO
Output			
Distickstoffmonoxid	0,04	kg	Elementarfluss
Distickstoffmonoxid	0,05	kg	Elementarfluss

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Usubharatana und Phungrassami (2015) *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Maniokwurzel hat einen Stärkeanteil von 27 – 30 % (Usubharatana und Phungrassami 2015). Nach der Ernte wird das Gemüse in einem industriellen Prozess gewaschen, geschält und zu Stärke weiterverarbeitet. Die in der Modellierung berücksichtigten Aufwendungen zur Produktion von 1 t Tapiokastärke sind Tabelle 3-8 zu entnehmen.

Tabelle 3-8: Produktion von 1 t Tapiokastärke nach Usubharatana und Phungrassami 2015

Input	Men ge	Einhe it	Lieferprozess* im Modell
Maniokwurzel	3421	kg	Maniokwurzel – Eigene Modellierung
Sulfur	0,05	kg	market for sulfur - GLO
Wasserstoffperoxid	0,01	kg	market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state - RoW
Phosphorsäure	0,01	kg	market for phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state - GLO
Natriumhydrogen sulfid	0,06	kg	market for sodium hydrogen sulfide - GLO
Natriumcarbonat	0,31	kg	market for soda ash, light, crystalline, heptahydrate - GLO
Strom	171,16	kWh	market for electricity, medium voltage - TH
Wasser	14,75	m3	market for tap water - RoW

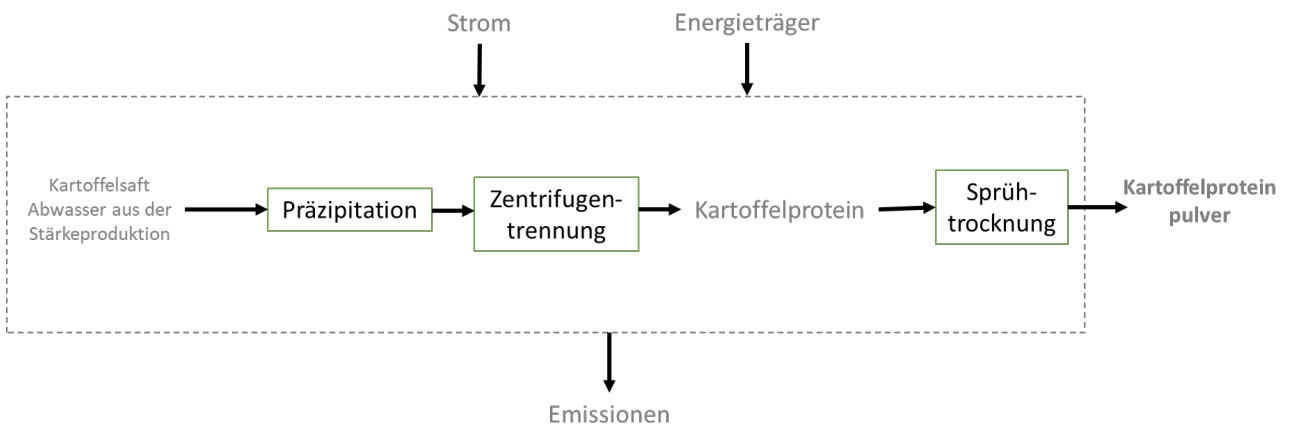
Input	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Benzin	0,04	kg	market for petrol, unleaded, burned in machinery - GLO
Diesel	2,64	kg	market for diesel, burned in agricultural machinery - GLO
Öl	10,33	kg	heat production, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating - RoW
Biogas	41,85	m ³	heat and power co-generation, biogas, gas engine - TH

Quelle: Eigene Darstellung, Usubharatana und Phungrassami (2015); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

3.1.1.4 Kartoffelprotein und Sonnenblumenprotein

Bei dem von ‚Simply V‘ verwendeten Kartoffelprotein Solanic 300 I, handelt es sich um ein flüssiges Kartoffelprotein mit einem Proteingehalt von 17,5 % auf. Kartoffelprotein wird aus Kartoffelfruchtsaft gewonnen, welcher wiederum ein Nebenprodukt der Herstellung von Kartoffelstärke ist. Kartoffelfruchtsaft enthält etwa 1,5 % Protein. Hinsichtlich der Proteinmenge ist die Kartoffel anderen pflanzliche Proteinquellen, wie z.B. Hülsenfrüchten, die mehr als 20 % Protein enthalten, unterlegen. Andererseits weist Kartoffelprotein einige ernährungsphysiologische Besonderheiten auf (hoher Gehalt an Lysin und verzweigtkettigen Aminosäuren). Für die weitere Nutzung des Kartoffelproteins ist es zunächst erforderlich die Proteine aus dem Kartoffelfruchtsaft zu isolieren. Eine exemplarische Darstellung des Herstellungsprozesses und der in der Modellierung berücksichtigten Inputs ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

Abbildung 3-1: Herstellungsprozess des Kartoffelproteins



Quelle: Eigene Darstellung

Die Herstellung des Kartoffelproteins wurde auf Basis der technischen Spezifikationen eines Anlagenherstellers modelliert. In Tabelle 3-9 sind die bei der Modellierung berücksichtigten Prozessparameter zur Bereitstellung des Kartoffelproteins dokumentiert.

Tabelle 3-9: Prozessparameter im Zuge der Bereitstellung des Kartoffelproteins

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen
Input				
Abwasser aus der Kartoffelstärkeproduktion	1	l	<i>Kartoffelfruchtsaft</i>	Da es sich um Abwasser aus der Stärkeproduktion (1,5% Proteininhalt) handelt, wurde das Abwasser als Burden free Input ohne vorgelagerte Umweltaufwendungen bilanziert
Strom für Zentrifugen-Trennung	3,52E-03	kWh	<i>market group for electricity, medium voltage - Europe without Switzerland</i>	Technische Spezifikationen zum energetischen Aufwand (3,7 kWh/t) der Hersteller (Flottweg & Gruppo Peralisi)
Sprühtrocknung	1,35E-04	kg	<i>milk spray-drying - RoW</i>	Annahme für die Trommeltrocknung des isolierten Kartoffelproteins. Pauschal von 20% bis 5% Wassergehalt. Bezugsgröße ist dabei die Menge des durch den Prozess evaporierten Wassers
Output				
Kartoffelprotein	1	kg	<i>Kartoffelprotein</i>	

Quelle: Eigene Darstellung; ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Wie aus Tabelle 3-9 hervorgeht, wurden für die Modellierung der Bereitstellung des Kartoffelproteins ausschließlich der energetische Aufwand bei der Vermahlung, der Extraktion und Aufkonzentrierung sowie der Sprühtrocknung berücksichtigt. Für die Herstellung des bei ‚Simply V‘ eingesetzten Kartoffelproteins sind keine spezifischen Daten verfügbar. Aufgrund fehlender Daten konnten hier Hilfs- und Betriebsstoffe nicht berücksichtigt werden. Es wird jedoch auch davon ausgegangen, dass die nicht Berücksichtigung von Hilfs- und Betriebsstoffen, nicht zuletzt aufgrund der nur geringen Mengenanteile dieser Rohware (0,5 %) am bilanzierten Produkt nur geringen Einfluss auf die Gesamtergebnisse der pflanzliche Käsealternativen hat.

Bei dem verwendeten Kartoffelprotein handelt es sich um ein flüssiges Kartoffelprotein mit einem Proteingehalt von 17,5 %. Es ist nicht bekannt, aus was die Flüssigkeit besteht, weshalb die restlichen 82,5 % des flüssigen Kartoffelproteins mit dem Datensatz „market for tap water - Europe without Switzerland“ modelliert wurde. Die bei der Modellierung berücksichtigten Prozessparameter zur Bereitstellung des flüssigen Kartoffelproteins sind Tabelle 3-10 zu entnehmen.

Tabelle 3-10: Prozessparameter zur Bereitstellung von 1 kg Kartoffelprotein, flüssig

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen
Input				
Kartoffelprotein	0,18	Kg	Eigene Modellierung (siehe Tabelle 3-9)	Informationen aus dem Produktdatenblatt
Wasser	0,84	Kg	<i>market group for electricity, medium voltage - Europe without Switzerland</i>	
Output				
Kartoffelprotein flüssig	1	Kg	<i>Kartoffelprotein flüssig</i>	

Quelle: eigene Darstellung; ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Das von ‚Simply V‘ verwendete Sonnenblumenprotein Heliator 55 weist einen Proteingehalt von 53,4 % auf. Auch hier wurde für die Modellierung davon ausgegangen, dass die restlichen 46,6 % aus Wasser bestehen. Hier ist anzumerken, dass keine spezifischen Informationen zur Herstellung von Sonnenblumenprotein verfügbar waren. Für die vorliegende Untersuchung musste daher vereinfachend davon ausgegangen werden, dass es sich ebenfalls um Kartoffelprotein handelt. Vor dem Hintergrund, dass Sonnenblumenprotein überhaupt nur bei einem Produkt (pflanzliche Reibekäsealternative) und dort nur mit einem Massenanteil von < 0,6 % an der Gesamt Rezeptur zum Einsatz kommt, hat diese Vereinfachung keine nennenswerten Effekte auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie und erscheint daher zulässig. Die bei der Modellierung berücksichtigten Prozessparameter zur Bereitstellung des Sonnenblumenproteins sind Tabelle 3-11 zu entnehmen.

Tabelle 3-11: Prozessparameter zur Bereitstellung von 1 kg Sonnenblumenprotein

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen
Input				
Kartoffelprotein	0,53	kg	Eigene Modellierung (siehe Tabelle 3-9)	Informationen aus dem Produktdatenblatt
Wasser	0,47	kg	<i>market group for electricity, medium voltage - Europe without Switzerland</i>	
Output				
Sonnenblumenprotein	1	kg	<i>Sonnenblumenprotein</i>	

Quelle: Eigene Darstellung; ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

3.1.1.5 Carrageen

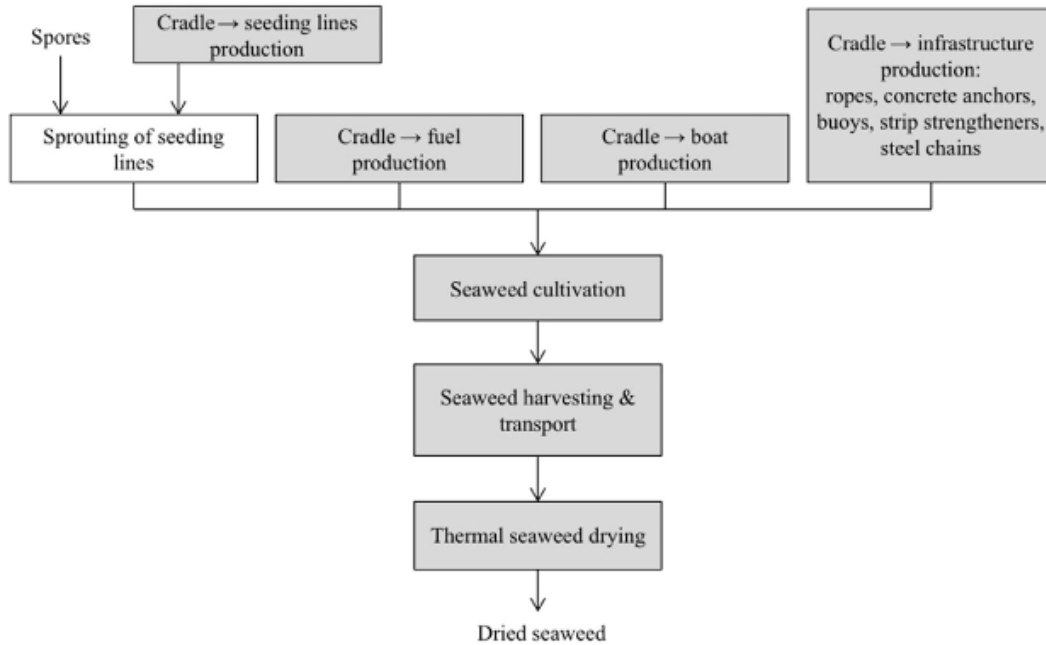
Carrageen ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe langkettiger Kohlenhydrate (Polysaccharide), wie zum Beispiel Agar-Agar oder Alginat, die aus Rotalgen gewonnen werden. Carrageen bildet ein Gel aus, das vor allem zur Bindung in Soßen und Dressings eingesetzt wird. Aufgrund seiner verfestigenden Eigenschaft kommt Carrageen als Bestandteil der Rezeptur der pflanzlichen Hirtenkäsealternative zum Einsatz.

Für die Modellierung des Carrageen wird in der vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen, dass zwei Prozessschritte erfolgen. Der Anbau der Algen und deren Verarbeitung (Carrageen-

Extraktion). Eine exemplarische Abbildung von Oirschot et al. (2017) stellt den Prozess für den Anbau bis zur Bereitstellung getrockneter Algen dar (Abbildung 3-2).

Abbildung 3-2: Systemgrenzen für die Bereitstellung getrockneter Algen

R. van Oirschot et al.



Quelle: (Oirschot et al. 2017)

Die Prozessparameter zur Modellierung der Aufwendungen bei der Bereitstellung getrockneter Algen sind Tabelle 3-12 zu entnehmen.

Tabelle 3-12: Prozessparameter zur Modellierung der Algenproduktion, nach Oirschot et al. (2017)

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Sämlinien	1,10E-03	t	fleece production, polyethylene - RER]
Seil für Anbau und Infrastruktur	2,90E-03	t	fleece production, polyethylene - RER
Ketten	6,00E-03	t	metal working, average for metal product manufacturing Steel, chromium steel 18/8
Anker	0,27	t	Concrete block
Kl. Bojen, Gr. Markierungsbojen & Streifenverstärker	1,40E-03	t	Polyvinyl chloride, bulk polymerized blow moulding
Transporte	47,55	tkm	transport, freight, inland waterways, barge

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Thermische Trocknung von Meeresalgen-Biomasse	2,95	m ³	drying of maize grain
Output			
Algen Biomasse (Trockenmasse)	21	t	Algen
End-of-Life Bojen	1,40E-03	t	treatment of waste polyvinylchloride, municipal incineration - RoW
End-of-Life Sämmlinien & Seil für Anbau und Infrastruktur	4,00E-03	t	treatment of waste polypropylene, municipal incineration - RoW

Quelle: (Oirschot et al. 2017); ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

In einem weiteren Prozessschritt wird aus den getrockneten Algen das Carrageen extrahiert. Der Prozess umfasst mehrere Teilschritte (Waschen, Alkali-Extraktion, Reinigung/Fällung der Carrageene, Filtration und Trocknung), zu denen jedoch keine spezifischen Informationen vorliegen. Entsprechend wurde für die vorliegende Studie lediglich der Energieaufwand für Filtration und Trocknung abgeschätzt. Dieser Abschätzung liegen technische Spezifikationen und Angaben von zwei Herstellern von Anlagen zur Extraktion von pflanzlichen Proteinen bzw. einer kontinuierlichen Dekantier-Zentrifuge zu Grunde. Die für die vorliegende Studie berücksichtigten Prozessparameter sind Tabelle 3-13 zu entnehmen.

Tabelle 3-13: Prozessparameter der Verarbeitung von 1 kg getrockneter Algen zu Carrageen

Prozess / Bestandteil	Wert	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Getrocknete Algen (Trockenmasse)	1	kg	Eigene Modellierung Tabelle 3-12
Strom für Filtration und Trocknung	3,70E-03	kWh	market group for electricity, medium voltage - [CN]
Sprühtrocknung	0,05	kg	milk spray-drying - [RoW]
Output			
Carageen	0,57	kg	

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf technischen Spezifikationen der Analgenhersteller Flottweg SE (DE) und Gruppo Peralisi (IT); ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

3.1.2 Rohwarenbereitstellung für die kuhmilchbasierten Käseprodukte

Der Prozess der Rohmilchproduktion wird auf Basis eines vom Öko-Institut entwickelten Ökobilanzmodells modelliert. Für die Modellierung der Rohmilchproduktion in der vorliegenden Studie wird entsprechend auf die Modellierung von Kuhmilch aus der Studie „Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen“

zurückgegriffen (Antony et al. 2021).¹⁸ Nachfolgend zitiert wird die Beschreibung der Modellierung in der Zusammenfassung der Studie.

Das Ziel der hier vorgelegten Studie ist die Erstellung einer vergleichenden Ökobilanz „from-cradle-to-farmgate“ von Produkten aus konventionellen und ökologischen Milchproduktionssystemen in Deutschland und eine ökonomische Beurteilung der bilanzierten Umwelteffekte. Auf Basis dieses konkreten Fallbeispiels soll ein anschlussfähiges methodisches Konzept entwickelt und erprobt werden, mit dem Umweltauswirkungen und externe Kosten landwirtschaftlicher Produktionssysteme trotz bestehender Unsicherheiten und existierender Systemunterschiede veranschaulicht werden können. Mit den Ergebnissen soll das Bewusstsein über versteckte Umweltkosten landwirtschaftlicher Erzeugnisse gestärkt werden.

Im vorliegenden Bericht werden die potenziellen Umweltauswirkungen unterschiedlicher Systeme der konventionellen und ökologischen Milcherzeugung, jeweils mit und ohne Weidegang, dargestellt. Neben der Wirtschaftsweise und dem Parameter „Weidegang“ haben über vorhandene Unterschiede im Futterregime die jeweiligen Erzeugungsregionen einen Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Aufgrund der in den verschiedenen Regionen herrschenden unterschiedlichen Standortbedingungen unterscheiden sich die Futtersysteme in den Regionen. Weitere differenzierende Parameter für deutsche Milcherzeugungsbetriebe sind beispielsweise die eingesetzte Rasse, der Stallkonzeption oder das Wirtschaftsdüngermanagement. Insgesamt kann festgehalten werden, dass in Deutschland eine große Zahl unterschiedlicher Milcherzeugungsbetriebe existiert. Aus dieser Bandbreite musste eine für die Fragestellung geeignete Auswahl an zu untersuchenden Milchproduktionssystemen getroffen werden.

Die Auswahl erfolgte auf Basis der regionalen Schwerpunkte der Milcherzeugung in Deutschland. Hier sind folgende Regionen ausgewählt worden: die Region Nord (bzw. Nordwestdeutschland mit dem nördlichen Teil Niedersachsens und dem Bundesland Schleswig-Holstein), das Allgäu (mit den angrenzenden Regionen Oberbayern, Schwäbische Alb), die Mittelgebirgsregionen in Rheinland-Pfalz (Eifel) und Nordrhein-Westfalen (Bergisches Land) und die Region Ost mit Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg.

Kombiniert man die ausgewählten Regionen mit den Parametern Wirtschaftsweise (konventionelle bzw. ökologische Wirtschaftsweise) und Weidegang (mit und ohne Weidegang), so ergeben sich insgesamt 16 verschiedene Milchproduktionssysteme bzw. 16 verschiedene typische Betriebsmodelle, die im Rahmen der vorliegenden Ökobilanz verglichen wurden.

Für die ökobilanzielle Beurteilung der 16 Betriebsmodelle wurden die folgenden Teilprozesse berücksichtigt:

- Haltung der Tiere, jeweils untergliedert nach Milchkühen, Kälbern und Jungvieh;*
- Futtermittelbereitstellung, inklusive der Ermittlung des Energiebedarfs, des Grund- und Kraftfutterbedarfs und daraus abgeleiteter Futterrationen;*
- Stallgebäude und dazugehörige baulichen Anlagen (Wirtschaftsdüngerlager) inkl. Einstreu;*
- Berechnung der Emissionen aus Stall, Wirtschaftsdüngerlager und Weide.*

¹⁸ Der vollständige Studienbericht ist online verfügbar unter URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sichtbarmachung-versteckter-umweltkosten-der>, zuletzt abgerufen am 11.10.2022.

Basierend auf den Stoff- und Energieflüssen innerhalb der genannten Teilprozesse wurden die potenziellen Umweltbelastungen der Milcherzeugung in den verschiedenen Betriebsmodellen berechnet. Wesentliche produktionscharakterisierende Parameter sind in Tabelle 3-14 dargestellt

Tabelle 3-14: Darstellung der untersuchten Milchproduktionssysteme (Betriebsmodelle)

Region	Kurzbezeichnung*	Wirtschafts- weise	Mit/ohne Weidegang	Anzahl Tierplätze	Rasse, Leistungsniveau	Milchleistung [in kg/TP]	Laktations- zahl
Allgäu (Alpenvorland)	Allgäu_7000_2,7	konventionell	ohne Weide	40	Fleckvieh, mittel	7000	2,7
	Allgäu_Weide_7000_2,7	konventionell	mit Weide	40	Fleckvieh, mittel	7000	2,7
	Allgäu_öko_6000_4,1	ökologisch	ohne Weide	40	Fleckvieh, mittel	6000	4,1
	Allgäu_öko_Weide_6500_4,1	ökologisch	mit Weide	40	Fleckvieh, mittel	6000	4,1
Mittelgebirge	Mittelgebirge_8500_2,7	konventionell	ohne Weide	100	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Mittelgebirge_Weide_8500_2,7	konventionell	mit Weide	100	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Mittelgebirge_öko_7000_4,1	ökologisch	ohne Weide	100	SB, mittel	7000	4,1
	Mittelgebirge_öko_Weide_7000_4,1	ökologisch	mit Weide	100	SB, mittel	7000	4,1
Nord (Nord- deutsche Tiefebene)	Nord_8500_2,7	konventionell	ohne Weide	120	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Nord_Weide_8500_2,7	konventionell	mit Weide	120	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Nord_öko_7000_4,1	ökologisch	ohne Weide	120	SB, mittel	7000	4,1
	Nord_öko_Weide_7000_4,1	ökologisch	mit Weide	120	SB, mittel	7000	4,1
Ost (Mecklenburg- Vorpommern)	Ost_8500_2,7	konventionell	ohne Weide	500	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Ost_Weide_8500_2,7	konventionell	mit Weide	500	SB-HF, mittel	8500	2,7
	Ost_öko_7000_4,1	ökologisch	ohne Weide	500	SB, mittel	7000	4,1
	Ost_öko_Weide_7000_4,1	ökologisch	mit Weide	500	SB, mittel	7000	4,1

Quelle: (Antony et al. 2021); TP = Tierplatz, SB-HF = Schwarzbunt - Holstein-Friesian, SB = Schwarzbunt; * In der Kurzbezeichnung sind zur eindeutigen Bezeichnung der Betriebsmodelle jeweils die Region, die Milchleistung und die Laktationszahl angegeben. Die Laktationszahl gibt die durchschnittliche Nutzungsdauer der Milchkuh an. Darüber hinaus erhalten die ökologisch wirtschaftenden Betriebsmodelle den Zusatz „öko“ und Betriebsmodelle mit Weidegang den Zusatz „Weide“.

Aus den in der Studie von (Antony et al. 2021) definierten 16 unterschiedlichen Milchproduktionssystemen wurde für die vorliegende Studie ein deutscher Produktionsmix berechnet.

Hierfür wurde der relative Anteil der in der Studie berücksichtigten Regionen am Gesamtmilchauftreten in Deutschland normiert. Weiterhin wird eine Anteilige Milchanlieferung von 96 % konventioneller und 4 % ökologisch produzierter Milch (BLE 2021) berücksichtigt. Als vereinfachende Annahme wird davon ausgegangen dass jeweils 50 % der Milch aus einem Produktionssystem mit Weidegang stammen und 50% aus einem Produktionssystem ohne Weide. Für einen deutschen Milchmix ergibt sich für die vorliegende Studie die Tabelle 3-15 zu entnehmende Zusammensetzung.

Tabelle 3-15: Deutscher Rohmilchmix, anteilig nach Erzeugungsregion, Haltungform und Produktionssystem

Prozess / Bestandteil	Menge
Milcherzeugung Allgäu konventionell ohne Weide	16,02%
Milcherzeugung Allgäu konventionell mit Weide	16,02%
Milcherzeugung Allgäu ökologisch ohne Weide	1,34%
Milcherzeugung Allgäu ökologisch mit Weide	1,34%
Milcherzeugung Mittelgebirge konventionell ohne Weide	7,05%
Milcherzeugung Mittelgebirge konventionell mit Weide	7,05%
Milcherzeugung Mittelgebirge ökologisch ohne Weide	0,22%
Milcherzeugung Mittelgebirge ökologisch mit Weide	0,22%
Milcherzeugung Nord konventionell ohne Weide	21,78%
Milcherzeugung Nord konventionell mit Weide	21,78%
Milcherzeugung Nord ökologisch ohne Weide	0,33%
Milcherzeugung Nord ökologisch mit Weide	0,33%
Milcherzeugung Ost konventionell ohne Weide	3,20%
Milcherzeugung Ost konventionell mit Weide	3,20%
Milcherzeugung Ost ökologisch ohne Weide	0,06%
Milcherzeugung Ost ökologisch mit Weide	0,06%

Quelle: Eigene Darstellung, (Antony et al. 2021)

3.2 Rohwarenanlieferung

3.2.1 Rohwarenanlieferung für pflanzliche Käsealternativen

Im folgenden Abschnitt wird die der Modellierung zugrunde liegende Datenbasis für die Rohwarenanlieferung bis zum Wareneingang bei der E.V.A. GmbH dargestellt.

Im Modell werden für alle Rohwaren der Transport nach Oberreute per LKW und, sofern gegeben, der Transport per LKW und Containerschiff berücksichtigt. Bezüglich der Herkunft der Rohwaren ist in allen Fällen zumindest das jeweilige Anbaugebiet bekannt. Wenn zusätzlich Informationen zu der konkreten Produktionsstätte der Rohware verfügbar sind, werden diese als Grundlage zur Bestimmung der Transportdistanz herangezogen. Liegen keine entsprechenden Informationen vor,

wird vereinfachend die Hauptstadt des Produktionslandes genutzt, um die Transportdistanz abzuschätzen. Die Transportdistanzen des LKW- und Containerschifftransports wurden unter Nutzung des EcoTransITs Emissionsrechner (Consulting Team der IVE mbH) ermittelt. Die Produktionsstätten der Rohwaren der pflanzliche Käsealternativen und ihre Transportdistanzen in km sind Tabelle 3-16 zu entnehmen.

Tabelle 3-16: Transportdistanzen der Rohwaren pflanzliche Käsealternativen

Land	Landkürzel	Stadt	LKW [km]	Schiff [km]
Argentinien	ARG	Buenos Aires	493	13.001
Belgien	BEL	Brüssel	707	
Brasilien	BRA	Brasilia	1.689	11.087
Bulgarien	BGR	Sofia	1.505	
China	CHN	Peking	665	16.903
Dänemark	DNK	Kopenhagen	1.116	
Deutschland	DEU	Berlin	724	
Frankreich	FRA	Paris	723	
Frankreich	FRA	Salins	847	
Indien	IND	Neu-Delhi	1.610	7.917
Italien	ITA	Rom	918	
Niederlande	NLD	Amsterdam	803	
Österreich	AUT	Wien	610	
Philippinen	PHL	Manila	545	14.181
Portugal	PRT	Lissabon	2.251	
Rumänien	ROU	Bukarest	1.676	
Schweden	SWE	Stockholm	1.717	
Schweiz	CHE	Zürich	152	
Slowakei	SVK	Bratislava	689	
Spanien	ESP	Madrid	1.750	
Süd Afrika	ZAF	Kapstadt	489	12.443
Thailand	THA	Bangkok	492	13.294
Ukraine	UKR	Kiew	1.932	
Ungarn	HUN	Budapest	853	
USA	USA	Los Angeles	529	16.707
USA	USA	Washington	495	8.111
Vietnam	VNM	Hanoi	955	14.192

Quelle: (Consulting Team der IVE mbH)

Sämtliche LKW-Transporte werden in der vorliegenden Studie mit dem Datensatz: „market for transport, freight, lorry, unspecified - RER“ modelliert. Transporte mit Containerschiffen werden über die Nutzung des Datensatzes „market for transport, freight, sea, container ship - GLO“ berücksichtigt.

3.2.2 Rohwarenlieferung, -lagerung und -vorbereitung der Rohmilch

Die Rohmilch für die Käseproduktion wird mit einem Milchsammelfahrzeug vom Bauernhof abgeholt und gekühlt zur verarbeitenden Molkerei transportiert. Hierbei sind in der Regel regionale Routen vorgesehen, bei denen das Milchsammelfahrzeug die verschiedenen Aufnahmestellen nacheinander abfährt. In der Realität ergibt sich hieraus eine hohe Varianz an tatsächlich bei der Milchsammlung zurückgelegten Transportdistanzen. Im Zuge des Europäischen PEF-Pilotvorhabens zur Entwicklung einer Produktkategorieregel für Molkereiprodukte hat sich die Branche darauf verständigt, als Standardwert für die Milchsammlung einen gekühlten Transport über 60 km anzunehmen (Quantis Switzerland 2018). In der vorliegenden Studie wird ebenfalls ein gekühlter Transport über eine Distanz von 60 km als plausibler, in der Branche akzeptierter Standardwert genutzt.

Der gekühlte Transport mit dem Milchsammelfahrzeug wird in der vorliegenden Studie mit dem Datensatz „transport, freight, lorry with reefer, cooling [GLO]“ modelliert.

3.3 Produktionsprozess

3.3.1 Herstellung der pflanzenbasierten Käsealternativen

Die verschiedenen Rohwaren für die vier pflanzlichen Produkte werden am Produktionsstandort der E.V.A. GmbH in Oberreute (Bayern) zunächst gemischt und anschließend gekocht (vgl. Abbildung 2-1). Das Kochen und Mischen der pflanzlichen Produkte erfolgt je nach Produkt in verschiedenen Anlagen, die vereinfacht gesagt, wie großformatige Thermomixe funktionieren (Batchkocher und Rulandanlage). Je nach Variante werden die pflanzlichen Käsealternativen nach dem Kochen in Oberreute direkt in die Verkaufsverpackung abgefüllt oder in einer Zwischenverpackung zwischengelagert und zur Weiterverarbeitung an den Produktionsstandort Hergatz transportiert.

Die pflanzliche Streichkäsealternative wird am Ende der Produktion direkt in Oberreute in eine Polypropylen-Schale (PP-Schale) abgefüllt. Die übrigen ‚Simply V‘-Produkte werden nach dem Kochen zunächst in viereckige Formen gepresst und anschließend abgekühlt, bevor sie verzehrfertig geschnitten bzw. gerieben und letztlich abgepackt werden. Die pflanzliche Hirtenkäse Alternative wird ebenfalls direkt in Oberreute abgefüllt. Die pflanzliche Schnittkäse- und die pflanzliche Reibekäsealternative werden an dem nahegelegenen zweiten Produktionsstandort in Hergatz geschnitten bzw. gerieben und anschließend in die Verkaufsverpackungen abgepackt.

Der Modellierung der vorliegenden Ökobilanz liegen spezifischen Daten aus der Produktion an den beiden Standorten in Oberreute und Hergatz zu Grunde. Tabelle 3-17 zeigt die Produktionsmengen der im Jahr 2021 von der E.V.A. GmbH produzierten ‚Simply V‘-Produkte.

Tabelle 3-17: Produktionsmengen für alle ‚Simply V‘ - Produkte im Jahr 2021

Produkt	Produktionsmenge [kg/Jahr]	prozentualer Anteil an Produktion in Oberreute	prozentualer Anteil an Produktion in Hergatz
pflanzliche Schnittkäsealternative, ‚Würzig‘	669.021	18,24%	26,55%
pflanzliche Schnittkäsealternativen ‚Cashew‘, ‚Walnuss‘, ‚Natur‘	740.137	20,18%	29,38%
pflanzliche Reibekäsealternative	911.359	24,85%	36,17%
pflanzliche Streichkäsealternative ‚Cremig Mild‘	409.564	11,17%	
pflanzliche Streichkäsealternativen ‚Bunte Paprika‘, ‚Gartenkräuter‘, ‚Gurke-Knoblauch‘	527.087	14,37%	
pflanzliche Hirtenkäsealternative	73.478	2,00%	
pflanzliche Burgerpattyalternative	121.640	3,32%	4,83%
pflanzliche Pastakäsealternative	77.445	2,11%	3,07%
pflanzliche Frischkäsealternativen ‚Cremig‘, ‚Leicht‘	138.286	3,77%	
Summe	3.668.017	100%	100%

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V; grau hinterlegte Zeilen weisen auf die in der vorliegenden Studie betrachteten Produkte hin.

Wichtig ist dabei zu berücksichtigen, dass bei den in Tabelle 3-17 neben den vier in dieser Studie untersuchten Produkten auch weitere Produkte- bzw. Produktvarianten (z.B. verschiedene Kräuter- und /oder Geschmacksrichtungen) aus dem ‚Simply V‘-Produktportfolio enthalten sind.

Die Eva GmbH baut derzeit ihr Energiemanagement aus. Zum Zeitpunkt der für die vorliegende Studie notwendigen Erhebung von Daten aus der Produktion lagen allerdings noch nicht für alle am Produktionsprozess beteiligten Anlagen prozess- bzw. produktspezifische Energiedaten vor. Um dennoch möglichst produktspezifische Daten für die Bilanz nutzen zu können wird in der vorliegenden Studie wie folgt verfahren:

- Verbräuche, die eindeutig einzelnen Produkten zugewiesen werden können, werden auf Basis der erfassten Verbräuche auch konkret den jeweiligen Produkten zugerechnet.
- Für alle weiteren im Zuge der Produktion anfallenden Energie- und Materialverbräuche musste die Modellierung auf Basis der absoluten Verbräuche und den jeweiligen Anteilen der Produkte an der Gesamtproduktion aufgeteilt werden. Dies entspricht einer Allokation auf Massenbasis.

Das Energiemanagement ist im neueren Standort Hergatz besser ausgebaut als in Oberreute. In Hergatz kann zumindest der Strombedarf der einzelnen Produktionsanlagen den Produkten trennscharf zugewiesen werden.

In Oberreute, wo alle Produkte zubereitet und gekocht werden, werden ausschließlich der Stromverbrauch der Rulandanlage (pflanzliche Streichkäsealternative) und die des Batchkochers (pflanzliche Reibekäsealternative, pflanzliche Schnittkäsealternative) produktspezifisch gemessen und dokumentiert. Alle weiteren Energie- und Materialverbräuche werden anhand des oben beschriebenen Vorgehens auf Basis der massenmäßigen Produktionsmengen der einzelnen Produkte an der Gesamtproduktion allokiert.

Den voranstehenden allgemeinen Ausführungen folgend sind in Tabelle 3-18 die in der vorliegenden Studie berücksichtigten Energie- und Materialaufwendung der Produktion am Standort Oberreute

dargestellt. Die Werte in der Tabelle beziehen sich jeweils auf die funktionelle Einheit der vorliegenden Studie und damit auf jeweils 100 g Produkt.

Tabelle 3-18: Energie- und Materialaufwendungen in Oberreute (bezogen auf 100 g Produkt)

Prozess	Einheit	pflanzliche Schnittkäse-alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative	pflanzliche Streichkäse-alternative	pflanzliche Hirtenkäse-alternative
Input					
Strom Rulandanlage	Strom [Wh]			4,05	
Batchkocher	Strom [Wh]	1,79	1,79		
Strom zur Kokosfetterwärmung	Strom [Wh]	1,52	1,52	1,52	1,88
Cip Pumpe	Strom [Wh]	0,09	0,09	0,09	0,11
Lüftung Technik	Strom [Wh]	0,61	0,61	0,61	0,75
Lüftung Produktion	Strom [Wh]	1,25	1,25	1,25	1,25
Umluftkühler Produktion EG	Strom [Wh]	1,26	1,26	1,26	1,56
Kühlräume UG/ EG	Strom [Wh]	0,85	0,85	0,85	1,05
Zähler Kälteanlagen UG Kühlräume 1-6	Strom [Wh]	4,56	4,56	4,56	5,64
Zähler Kälteanlage Aussenbereich Lüftung Technik/ Produktion	Strom [Wh]	0,86	0,86	0,86	1,07
Sonstige Stromverbräuche am Standort	Strom [Wh]	8,44	8,44	8,44	10,45
Batchkocher (Öl)	Öl [ml]	0,01	0,01	0,01	0,01
Batchkocher (Heizenergiebedarf)	Gas [m³]	3,95	3,95	3,95	4,89
Batchkocher Produktion	Wasser [l]	0,05	0,05		
Batchkocher Reinigung	Wasser [l]	0,01	0,01		
Warmwasserboiler	Wasser [l]	0,06	0,06	0,06	0,07
Zwischenzähler Entspannungsbehälter	Wasser [l]	3,06E-03	3,06E-03	3,06E-03	3,79E-03
Enthärtungsanlage	Wasser [l]	0,03	0,03	0,03	0,04
Frischwasser Verwaltung	Wasser [l]	3,03E-04	3,03E-04	3,03E-04	3,75E-04
Verbrauch Frisch-Wasser-Rest	Wasser [l]	0,30	0,30	0,30	0,37
Zusätzlicher Wasserverbrauch für die Abwasserbehandlung	Wasser [l]	0,36	0,36	0,36	0,45
Reinigungsmittel Oberreute	Reinigungsmittel [ml]	0,96	0,96	0,96	0,96
Output					
Abwasser	Abwasser [l]	0,7	0,7	0,7	0,7

Quelle: Eigene Darstellung, E.V.A. GmbH

Die Hirtenkäse Alternative hat aufgrund der bei dieser Variante deutlichen Ausschussmengen einen höheren Verbrauch, siehe Tabelle 3-23.

Unter der Bezeichnung „sonstige Stromverbräuche am Standort“ werden sämtliche produktionsbedingte Stromverbräuche zusammengefasst, die nicht eindeutig einem Verbraucher zugeordnet werden können. Hier zu nennen sind beispielsweise Aufwendungen in Kühlräumen in denen verschiedenen Produkte gemeinsam gelagert werden. Es liegen keine Daten zu produktspezifischen Lagerdauern und/oder anteilige Lagervolumen in den Kühlräumen vor. Entsprechend wird der Energieverbrauch in den Kühlräumen auf Basis der anteiligen Produktionsmengen der jeweiligen Produkte am der Gesamtproduktion allokiert.

Im Rahmen der Erfassung produktionsspezifischer Daten an den beiden Standorten wurden auch etwaige Emissionen von Kältemitteln abgefragt. Diese können z.B. durch Leckagen oder sonstiger undichter Stellen im Kühlsystem auftreten. Es kann als gängige Praxis in Ökobilanzen angesehen werden, diese Emissionen auf Basis der innerhalb des Bezugsjahres nachgefüllten Mengen an Kältemittel als Emissionen zu berücksichtigen. In keinem der beiden Produktionsstandorte wurde im Jahr 2021 Kältemittel nachgefüllt.

Um die jeweils unterschiedlichen Stofffrachten des Produktionsabwassers und die dadurch bedingt unterschiedlichen Aufwendungen zur Behandlung berücksichtigen zu können, wird zudem mit einem Verdünnungsfaktor gerechnet. Dieser Verdünnungsfaktor errechnet sich als Verhältnis zwischen dem Chemischen Sauerstoff Bedarf (CSB) des Abwassers und dem CSB-Input im zugrunde liegenden Referenzdatensatz aus der PEFCR Dairy. Der CSB-Wert des Datensatzes „treatment of wastewater from potato starch production, capacity 1.1E10 l/year – CH“ ist 2 kg/m³. Der CSB-Gehalt des Abwassers bei der Herstellung von ‚Simply V‘-Produkten beträgt im Jahresdurchschnitt 4,65 kg/m³. Daraus ergibt sich ein zusätzlich zu berücksichtigender Verdünnungsfaktor von 2,33. Die 0,14 l/100 g Abwasser die in der Produktion entstehen werden dementsprechend mit dem Verdünnungsfaktor zu 0,33 l/100 g multipliziert. Im Zuge der Produktion verdampfen rund 0,04l Wasser.

Den voranstehenden, allgemeinen Ausführungen folgend sind in Tabelle 3-19 die in der vorliegenden Studie berücksichtigten Energie- und Materialaufwendung der Produktion am Standort Hergatz dargestellt. Die Werte in der Tabelle beziehen sich jeweils auf die funktionelle Einheit der vorliegenden Studie und damit auf jeweils 100 g Produkt.

Tabelle 3-19: Energie- und Materialaufwendungen Hergatz (bezogen auf 100g Produkt)

Prozess	Einheit	pflanzliche Schnittkäse alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative
Inputs			
Strom Schneidelinie	Strom [Wh]	0,33	
Strom Reibelinie	Strom [Wh]		1,59
Strom Kühlung Remko	Strom [Wh]	2,23	1,97
Strom Kühlung Daikin 1	Strom [Wh]	4,08	3,59
Strom Kühlung Daikin 2	Strom [Wh]	4,05	3,56
Strom Druckluft	Strom [Wh]	1,64	1,44
Sonstige Stromverbräuche am Standort	Strom [Wh]	4,82	4,24
Wärme	Gas [l]	1,78	1,57
Wasser	Wasser [l]	0,14	0,14
Reinigung Produktionsanlage (Reinigungsmittel Hergatz)	Reinigungsmittel [ml]	0,06	0,06

Prozess	Einheit	pflanzliche Schnittkäse alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative
Verpackungsprozess (Schutzgas-CO ₂)	CO ₂ [g]	2,30	2,03
Verpackungsprozess Schutzgas-Stickstoff	Stickstoff [l]	3,00	2,64
Zusätzlicher Wasserverbrauch für die Abwasserbehandlung	Wasser [l]	0,19	0,19
			Outputs
Abwasser	Abwasser [l]	0,33	0,33

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V

Zum Zwecke der Verlängerung der Haltbarkeit der Produkte wird vor dem Verschließen der Verpackung der in der Verpackung verbliebene Sauerstoff durch ein Schutzgas verdrängt. Zum Einsatz kommt hier eine Mischung aus Kohlenstoffdioxid und Stickstoff.

Für die Modellierung der Abwasserbehandlung wurde, analog zum Vorgehen bei den kuhmilchbasierten Produkten ein Ansatz aus der PEFCR Dairy herangezogen. Diese sieht vor, die im Zuge der Abwasserbehandlung anfallenden Aufwendungen auf Basis eines Datensatz zur Behandlung von Abwasser aus der Kartoffelstärkeproduktion zu modellieren (Quantis Switzerland 2018).

Wie bereits für den Standort Oberreute beschrieben, wird das Abwasser anhand eines Verdünnungsfaktors von 2,33 verdünnt. Die 0,14 l/100 g Abwasser, die in der Produktion entstehen, werden dementsprechend mit dem Verdünnungsfaktor zu 0,33 l/100 g multipliziert.

Die in Tabelle 3-18 und Tabelle 3-19 aufgeführten Energie- und Wasserverbräuche der Produktion von ‚Simply V‘-Produkten wurden im Modell berücksichtigt. Die der Modellierung zugrunde liegenden Hintergrunddatensätze aus ecoinvent sind Tabelle 3-20 zu entnehmen.

Tabelle 3-20: Hintergrunddatensätze zur Modellierung der Energie- und Wasserverbräuche

Verbrauchseinheit	Lieferprozess* im Modell
Strom	market for electricity, medium voltage - DE
Öl	heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1MW - Europe without Switzerland
Gas	heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW - Europe without Switzerland
Wasser	market for tap water - Europe without Switzerland
Abwasser	treatment of wastewater from potato starch production, capacity 1.1E10l/year - CH

Quelle: Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Reinigungsmittel

Im Zuge der Herstellung von ‚Simply V‘-Produkten kommen verschiedene Reinigungsmittel zum Einsatz. Tabelle 3-21 listet alle Reinigungsmittel und die jeweils pro 100 g Produkt eingesetzten Mengen auf, die an dem jeweiligen Standort verwendet werden. Es konnte keine Unterscheidung zwischen den produzierten Produkten und dem Reinigungsmittelaufwand gemacht werden. Die verwendeten Reinigungsmittel nach Art und Menge des verwendeten Reinigungsmittels pro 100 g Produkt unterscheidet sich somit jeweils nur für die beiden Produktionsstandorte.

Tabelle 3-21: Reinigungsmittel

	Einheit	Reinigungsmittel Oberreute	Reinigungsmittel Hergatz
Sterillium	Liter	1,15E-05	2,38E-06
Baktolin	Liter	5,18E-06	2,38E-06
Pascal	Liter	3,37E-04	
Highstar VC77	Liter	3,97E-04	
Aluwash	Liter	1,74E-05	
Divodes	Liter	2,55E-05	5,75E-06
Topax 990	Liter	6,22E-05	1,59E-05
Topax 66	Liter	8,17E-05	1,70E-05
Topaz AC3	Liter	6,27E-06	1,10E-05
OxyDes Rapid	Liter	6,54E-06	
Oxydes Wipes	Eimer	3,54E-06	

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V

Die Bereitstellung der Reinigungsmittel wird in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Hierzu werden zunächst die in den Sicherheitsdatenblättern angegeben Massenanteile an aktiven Inhaltsstoffen identifiziert und entsprechenden Hintergrunddatensätzen zugeordnet. Da es sich grundsätzlich um flüssige Reinigungsmittel handelt, wurden vereinfachend angenommen, dass die verbleibenden Masseanteile aus Wasser bestehen und entsprechend bilanziert werden können. Eine vollständige Liste der bei der Modellierung der eingesetzten Reinigungsmittel berücksichtigten Datensätze ist in Anhang VI enthalten.

Zwischenverpackungen

Die Produkte pflanzliche Hirtenkäsealternative, pflanzliche Reibekäsealternative und pflanzliche Schnittkäsealternative werden vor dem Schneiden bzw. Reiben in einen PE/PA-Folienschlauch abgefüllt und anschließend in einer viereckigen Form kühlgelagert. So bekommen die pflanzlichen Käsealternativen ihre viereckige Form.

Die Zwischenverpackung besteht aus 1,37 g Aluminium Clips und aus einer 25 g PE/PA Folie. Pro kg Extrusion gibt es zusätzlich einen Materialverlust von 0,024 g. Im Modell wird dieser Materialverlust als zusätzlicher Materialbedarf berücksichtigt.

Alle drei pflanzlichen Käsealternativen werden in die gleiche Zwischenverpackung abgefüllt, werden dann aber in unterschiedlichen Formen gekühlt. Entsprechend werden die drei pflanzlichen Käsealternativen in unterschiedlichen Mengen in die Zwischenverpackung gefüllt. Wie nachfolgend dargestellt ändert sich das Verhältnis zwischen Verpackung und Produkt für die verschiedenen Varianten:

- pflanzliche Schnittkäsealternative 5,85 kg Produkt /Zwischenverpackung
- pflanzliche Reibekäsealternative 5,55 kg Produkt /Zwischenverpackung
- pflanzliche Hirtenkäsealternative 2,00 kg Produkt /Zwischenverpackung

Die im Produktionsprozess eingesetzte Zwischenverpackung wird in der Modellierung berücksichtigt. Die dabei berücksichtigten Materialaufwendungen sind Tabelle 3-22 zu entnehmen. Zudem wird für die Bereitstellung der Zwischenverpackung ein LKW-Transport berücksichtigt.

Tabelle 3-22: Im Produktionsprozess benötigte Zwischenverpackung (bezogen auf 100g Produkt)

Bestandteil (und Prozesse zur Bereitstellung der Materialien)	Menge Streichkäse-alternative	Menge Reibekäse-alternative	Menge Hirtenkäse-alternative	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen
Input						
Aluminium-Clip	0,02	0,02	0,07	g	market for aluminium, wrought alloy - GLO	Clip
Aluminiumverarbeitung (zusätzlicher Bearbeitungsaufwand zur Herstellung des Clips)	0,02	0,02	0,07	g	metal working, average for aluminium product manufacturing - RER	Clip
PA	0,28	0,30	0,83	g	market for nylon 6 - RER	PA/PE-Folie
PE	0,14	0,15	0,42	g	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	PA/PE-Folie
Extrusionsprozess bei PA/PE (zusätzlicher Bearbeitungsaufwand für Extrusion)	0,42	0,45	1,25	g	market for extrusion, plastic film - GLO	PA/PE-Folie
Transport der Verpackung	0,30	0,32	0,89	kg*km	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 - RER	
Output						
Zwischenverpackung je 100 g verzehrfertiges Produkt	0,44	0,47	1,32	g		

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V; ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Auch die Entsorgung der Zwischenverpackung wird in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Hierfür wird im Falle der PA/PE-Folie der ecoinvent Datensatz „market for waste plastic, mixture – RER“ und im Falle des Alu-Clip der Datensatz „market for waste aluminium – GLO“ genutzt.

Produktionsausschuss bei der Herstellung von ‚Simply V‘ - Produkten

Im Zuge der Herstellung der verschiedenen ‚Simply V‘-Produkte fällt in unterschiedlicher Höhe Produktionsausschuss an. Besonders die Produkte, welche in Scheiben geschnitten werden, wie die pflanzliche Schnittkäsealternative und die pflanzliche Hirtenkäsealternative sind hier betroffen. Um ein den bestehenden Ansprüchen genügend gut geformtes Endprodukt zu erhalten, müssen u.a. die Anfangs- und Endstücke abgeschnitten werden. Die geringsten Ausschussmengen fallen bei der pflanzlichen Streichkäsealternative an, da diese nach dem Mixen und Kochen direkt in die

Verpackung gefüllt wird. In der Tabelle 3-23 sind die Ausschussmengen der untersuchten pflanzliche Käsealternativen.

Tabelle 3-23: Ausschussmengen bei der Herstellung von ‚Simply V‘-Produkten

	Ausschussmenge	Einheit
pflanzliche Schnittkäsealternative	---	%
pflanzliche Reibekäsealternative	---	%
pflanzliche Hirtenkäsealternative	---	%
pflanzliche Streichkäsealternative	---	%

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V

Die unterschiedlichen Ausschussmengen werden sowohl in der Rohwarenproduktion der pflanzlichen Käsealternativen als auch in der Produktion mit einem extra Rohwaren- und Produktionsinput berücksichtigt.

Der fettreiche Ausschuss der ‚Simply V‘-Produktion wird einer Biogasanlage zugeführt. Es wird ein Transportaufwand von 100 km berücksichtigt. Für die Umsetzung des Produktionsausschuss zu Biogas liegen keine substratspezifischen Daten aus der Biogasanlage vor. Entsprechend muss die Modellierung hier auf plausibel abgeleiteten Annahmen beruhen. Entsprechend den Angaben des Bayerischen Landesamtes für Landwirtschaft (LfL) darf davon ausgegangen werden, dass ein Kilogramm fettreicher Speisereste in einer Biogasanlage zu durchschnittlich 0,126 m³ Biogas umgesetzt wird. Tabelle 3-24 enthält die für die Modellierung der Biogasproduktion berücksichtigten Parameter sowie die im Modell verwendeten Datensätze.

Tabelle 3-24: Biogasproduktion aus 1 kg Produktionsausschuss

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen
Produktions- ausschuss	1	kg	treatment of biowaste by anaerobic digestion [CH]	Biogasproduktion
Transport	200	kgkm	market for transport, freight, lorry, unspecified [RER]	Transport zur Biogasanlage, doppelte Distanz zwecks leerer Rückfahrt.
Wärme Produktion	7,8 ¹⁹	MJ	heat and power co-generation, biogas, gas engine (Biogas aus Prozess gelöscht) – DE	Wärmeproduktion aus Biogas. Der Biogas-Prozess wurde aus diesem Datensatz gelöscht.
Wärme Gutschrift	-7,8 ²⁰	MJ	market for heat, central or small-scale, natural gas APOS, S – RER	Gutschrift

Quelle: Eigene Darstellung, (LfL); ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Umweltbelastungen, die bei der Fermentation entstehen werden, ebenso wie die Emissionen, aus der Verbrennung des Biogases vollständig der Produktion pflanzlicher Käsealternativen angerechnet. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass die Verbrennung von Biogas aus pflanzlichen Käsealternativen an anderer Stelle die Verbrennung einer äquivalenten Menge an

¹⁹ Dieser Wert wurde überschätzt und liegt wahrscheinlich bei 2,7-2,9 MJ/kg. Das Gesamtergebnis wird hierdurch jedoch kaum beeinflusst, da der Einfluss von Biogas insgesamt gering ist und mit dem korrigierten Wert noch geringer ausfällt (siehe Sensitivitätsanalyse Biogasproduktion in Absatz 4.4.4)

²⁰ Siehe Fußnote 21

Erdgas substituiert. Die durch die Substitution vermiedenen Emissionen werden der pflanzlichen Käseproduktion gutgeschrieben.

3.3.2 Herstellung von klassischem Käse auf Kuhmilchbasis

Für die Modellierung der Produktion von kuhmilchbasiertem Käse, also die Prozesse zur Verarbeitung von Rohmilch zu den verschiedenen Molkereiprodukten innerhalb der Molkerei, wurde auf die einschlägigen Vorgaben aus der PEFCR Dairy zurückgegriffen (Quantis Switzerland 2018). Für die Modellierung der durchschnittlichen Käseherstellung sind dort typische Prozesse und Prozessparameter für eine Standardmolkerei hinterlegt. Für die Produktion von 100 g Käse auf Kuhmilchbasis werden die in der Tabelle 3-25 aufgeführten Rohwareninputs benötigt.

Tabelle 3-25: Rohwareninput nach PEFCR Dairy (bezogen auf die Produktion von 100 g Käse)

Rohwaren	Streichkäse	Weichkäse	Schnittkäse/ Streukäse	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen im vorliegenden Projekt
Rohmilch	383	735	945	g	<i>Milchmix_DE</i>	
Sahne	77	0	0	g	<i>market for cream, from cow milk [DE], modifiziert mit Milchmix_DE input</i>	<i>Milchinput des ecoinvent-prozess an Milchmix_DE angepasst</i>
Salz	0,03	1,47	1,26	g	<i>sodium chloride production, powder [RER]</i>	
Calciumchlorid	0	0,02	0,02	g	<i>market for calcium chloride [RER]</i>	
Lab	0	0,2	0,25	g		<i>nicht bilanziert</i>
Bakterien und Hefe	0,01	0,02	0,02	g		<i>nicht bilanziert</i>

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf (Quantis Switzerland 2018); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Für die Produktion der verschiedenen milchbasierten Käseprodukte werden unterschiedliche Mengen an Milch benötigt. Die Modellierung der Milchproduktion wurde in Abschnitt 3.1.2 ausführlich dargestellt.

Eine Besonderheit ergibt sich für den Streichkäse, bei dem zusätzlich zur Rohmilch auch Sahne als Rezepturbestandteil zum Einsatz kommt. Die Sahne wurde mit dem ecoinvent Datensatz „market for cream, from cow milk“ modelliert, wobei der im Datensatz der Sahneproduktion hinterlegte Rohmilchinput durch den in dieser Studie für alle Käsesorten zu Grunde gelegten deutschen Milchmix ersetzt wurde. Der im Datensatz „market for cream, from cow milk, RER“ enthaltene Strombedarf wurde über den Austausch des entsprechenden Hintergrundprozesses an die Region Deutschland angepasst.

Entsprechend den Vorgaben der PEF CR Dairy werden das bei der Käseherstellung eingesetzte Lab sowie Bakterien und Hefe nicht berücksichtigt. Laut den Ergebnissen der Screening-Study der PEF CR Dairy sind diese Inputs nicht relevant für die Berechnung des Umweltfußabdrucks von kuhmilchbasiertem Käse, weswegen Sie von der Betrachtung ausgeschlossen werden dürfen. Für die vorliegende Studie wird ebenfalls davon ausgegangen, dass dies keinen nachteiligen Einfluss auf die Ergebnisse des hier angestrebten Vergleichs hat.

Für die Herstellung von 100 g Käse werden die in der Tabelle 3-26 aufgeführten Energie- und Materialaufwendungen benötigt.

Tabelle 3-26: Energetische und stoffliche Aufwendungen der Herstellung von 100 g Käse nach Angabe der PEF CR Dairy

Prozess	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahme im vorliegenden Projekt
Strom	43,4	Wh	market for electricity, medium voltage [DE]	
Wärme Energie	203	kJ	market for heat, district or industrial, natural gas [Europe] without Switzerland	
Wasser	0,94	l	market for tap water [Europe without Switzerland]	
Kühlmittel	5,3E-07	g	refrigerant R134a production [RER]	
Reinigungsmittel säurebasierend	3,2	g	Reinigungsmittel (säurebasierend)	26%-ige Salpetersäure-Lösung
Reinigungsmittel basisch	6,3	g	Reinigungsmittel (basisch)	50%-ige Natriumhydroxid-Lösung
Abwasserbehandlung	14,1	l	treatment of wastewater from potato starch production, capacity 1.1E10l/year [CH]	Abwassermenge von 0,94l wird mit Verdünnungsfaktor 15 multipliziert
Zusätzlicher Wasserverbrauch für die Abwasserbehandlung	13,2	l	Water, process, unspecified natural origin – Elementarfluss	Zusätzlicher Wasserverbrauch für die Abwasserbehandlung

Quelle: Eigene Darstellung, (Quantis Switzerland 2018); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Für die Produktion der vier milchbasierten Käseprodukte werden dieselben Mengen an Energie und Konsumgütern benötigt – dies entspricht den Vorgaben zur Modellierung der Aufwendungen in der Molkerei in der PEF CR Dairy. Die PEF CR Dairy macht keine differenzierten Angaben über die verwendeten Reinigungsmittel, weshalb für die Modellierung für das säurebasierende Reinigungsmittel eine 26 %tige Salpetersäure und für das basische Reinigungsmittel eine 50%tige Natriumhydroxidlösung verwendet wurde.²¹

Die Abwassermodellierung der Käseprodukte wurde analog zum Vorgehen bei den pflanzlichen Käsealternativen durchgeführt. Für die Modellierung der Abwasserbehandlung gibt es in ecoinvent

²¹ Annahme zum Reinigungsmittel basierend auf persönlicher Kommunikation der Autoren mit dem Qualitätsmanagement einer deutschen Molkerei.

keinen spezifischen Datensatz für die Abwasserbehandlung von Molkereien. Entsprechend muss hier eine plausible Annahme getroffen werden. Entsprechend dem in der PEFCR Dairy empfohlenen Vorgehen, wird auch in der vorliegenden Studie auf den Datensatz für die Abwasserbehandlung einer Kartoffelstärkeproduktion zurückgegriffen. Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) des Abwassers aus der Käseproduktion liegt laut PEFCR Dairy bei 30 kg/m³. Aus dem Verhältnis des CSB der Käseproduktion und dem CSB des verfügbaren Abwasserdatensatzes ergibt sich ein Verdünnungsfaktor von 15. Die 0,94 l Abwasser aus der Käseherstellung werden mit dem Verdünnungsfaktor zu 14,1 l/kg multipliziert. Das für diese Verdünnung notwendige Wasser wurde im Modell in Form eines zusätzlichen Elementarflusses dem Prozess hinzugefügt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Prozessschritt des Schneidens bzw. Reibens bei Käse und bei pflanzlichen Käsealternativen vergleichbar ist. In der PEFCR Dairy werden für diesen Verarbeitungsschritt keine Vorgaben gemacht. Um den Kuhmilchkäse zu schneiden und zu reiben, wurde der gleiche Energieaufwand pro 100 g Käse angenommen, der für diese Prozesse bei den pflanzlichen Käsealternativen von ‚Simply V‘ erhoben und berücksichtigt wurde (vgl. Tabelle 3-27).

Tabelle 3-27: Energieaufwand Reibe- und Schneidemaschine pro 100 g Produkt

Prozess	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Quelle
Reibelinie	1,62	Wh	market for electricity, medium voltage [DE]	E.V.A. GmbH
Schneidelinie	0,30	Wh	market for electricity, medium voltage [DE]	E.V.A. GmbH

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Berechnungen der E.V.A. GmbH; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Bei der Produktion von Käse entsteht als Nebenprodukt Molke. Je nachdem was für eine Art Käse hergestellt wird, fallen unterschiedliche Mengen an Molke an. Laut den der Tabelle 3-28 zu entnehmenden Angaben der PEFCR Dairy unterscheiden sich die Mengen der als Koppelprodukt anfallenden Molke in Abhängigkeit der Trockenmassegehalte des jeweiligen Käses.

Tabelle 3-28: Trockenmassengehalte verschiedener Käsearten und Produktion von Molke / 100 g Käse

Käse	Trockenmassengehalt Käse	g Molke pro 100 g Käse	Trockenmassengehalt Molke
Streichkäse	33,5%	158	7%
Weichkäse	49%	630	7%
Schnittkäse	60%	788	7%

Quelle: Eigene Darstellung, (Quantis Switzerland 2018)

Um die Umweltlasten der Rohwareinputs und des Herstellungsprozesses auf den Käse und die produzierte Molke zu allokatieren, wurde die von der PEFCR Dairy vorgeschriebene massenbasierte Allokation anhand des Trockenmassegehaltes angewendet. Nachstehende Formel beschreibt die Berechnung des Allokationsfaktors.

$$AF_i = \frac{TM_i * M_i}{\sum_{i=1}^n (TM_i * M_i)}$$

AF_i beschreibt den Allokationsfaktor für das Produkt i.

TM_i beschreibt den Trockenmassengehalt in Prozent des Produktes i.

M_i beschreibt die Masse des Produktes i als kg Output.

Daraus ergeben sich die in Tabelle 3-29 aufgeführten Allokationsfaktoren, die auch der vorliegenden Studie zu Grunde liegen.

Tabelle 3-29: Allokationsfaktoren Käse und Molke

Käse	Allokationsfaktor Käse	Allokationsfaktor Molke
Streichkäse	0,77	0,23
Weichkäse	0,55	0,45
Schnittkäse	0,54	0,46

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Produktion von Streichkäse werden 77 % der Umweltlasten dem Käse zugeschrieben und 23 % der Molke. Beim Weichkäse werden 55 % der Umweltlasten dem Käse zugeschrieben und 45 % der Molke und beim Schnittkäse werden 54 % der Umweltlasten dem Käse zugeschrieben und 46 % dem Nebenprodukt Molke.

Während der Käseproduktion kommt es laut PEFCR zu 5 % Produktionsausschuss. Die Ausschussmengen wurden durch einen zusätzlichen Rohwaren Input und Produktionsaufwand bilanziert. Entsprechend ist der Produktionsausschuss in den in Tabelle 3-26 angegebenen Werten enthalten. Die Ausschussmengen werden entsprechend der Vorgaben in der PEFCR im Modell als organischer Abfall erfasst und einer industriellen Kompostieranlage zugeführt. Im Modell wird hierfür der ecoinvent Datensatz „treatment of biowaste, industrial composting“ berücksichtigt.

3.4 Verpackung (inkl. Bereitstellung der Verpackungsmaterialien)

3.4.1 Verpackung von pflanzenbasierten Käsealternativen

Jede pflanzliche Käsealternativen hat eine eigene, produktspezifische Verpackung. Die jeweiligen Massen der Verpackungskomponenten wurden von einem Mitarbeiter von ‚Simply V‘ abgewogen. Hierbei handelte es sich um gereinigte Konsumverpackungen. Da es sich bei den einzelnen Verpackungskomponenten um vergleichsweise leichtes Material handelt und um eine gewisse Streuung auszugleichen, wurden immer zehn gleiche Komponenten gemeinsam abgewogen. Die Varianz der Stichproben war laut Angaben von ‚Simply V‘ vernachlässigbar.

Tabelle 3-30: Verpackungskomponenten pro 100 g verzehrfertiges Produkt

Produkt	Verpackungskomponente	Material	Masse	Einheit	Antransport	Einheit
pflanzliche Schnittkäsealternative	Oberfolie	PET und PE-Verbundfolie	1,73	g	52	km
	Unterfolie	PET und PE-Verbundfolie	5,77	g	68	km
	Etikett	Papier	0,40	g	666	km
	Gesamtgewicht		7,90	g		
pflanzliche Hirtenkäse Alternative	Oberfolie	BOPA und PE-Verbundfolie	0,63	g		km
	Unterfolie	PA und PE-Verbundfolie	1,33	g		km
	Etikett	Papier	0,27	g		km
	Gesamtgewicht		2,23	g		
pflanzliche Reibekäsealternative	Folienbeutel	PET und PE-Verbundfolie	3,93	g	413	km
	Gesamtgewicht		3,93	g		
pflanzliche Streichkäsealternative	Deckel	PP	5,06	g	724	km
	Becher	PP	4,13	g	724	km
	Schutzfolie	Aluminium und PE	0,73	g	21	km
	Gesamtgewicht		9,92	g		

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V; Biaxial orientierte Nylonfolie (BOPA)

Die konkreten Zusammensetzungen der Verpackungsfolien und sonstigen Verpackungskomponenten konnten den Produkt-Datenblättern der jeweiligen Verpackungshersteller entnommen werden. Die der Modellierung zugrunde liegenden Daten und Datensätze sind diesem Bericht im Anhang IV beigefügt.

‚Simply V‘ bezieht die verschiedenen Verpackungskomponenten von unterschiedlichen Firmen. Wie weit die jeweiligen Verpackungskomponenten transportiert werden, ist Tabelle 3-30 zu entnehmen. Es wird angenommen, dass der Transport mit einem 16 - 32 t LKW der Euro Klasse 5 durchgeführt wird. Die Transporte der jeweiligen Packstoffe und -materialien werden durch den ecoinvent Datensatz „market for transport, freight, lorry 16 - 32 metric ton, EURO5 – RER“ berücksichtigt.

Nachdem die pflanzliche Käsealternativen in die jeweilige Verkaufsverpackung abgepackt wurden, werden jeweils sechs Verpackungen in einen Karton-Tray verpackt. Diese Karton-Trays werden anschließend auf Europaletten geladen, wobei je nach Produkt zwischen 132 und 420 Kartons pro Palette abgepackt werden. Für den Transport wird die fertig beladene Palette noch mit 0,2 kg Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Schrumpffolie-Folie umgeben. Die für die vier verschiedenen Produkte spezifisch verwendeten Materialien und Mengen der Sekundärverpackung sind Tabelle 3-31 zu entnehmen.

Tabelle 3-31: Sekundär- und Tertiärverpackungen, pro 100 g Produkt

	pflanzliche Schnittkäse-alternative	pflanzliche Reibekäse-alternative	pflanzliche Streichkäse-alternative	pflanzliche Hirtenkäse-alternative	Lieferprozess* im Modell
Karton [g]	12,11	17,00	9,22	7,78	market for corrugated board box [RER]
Palette [Stück]	3,37E-04	6,31E-04	3,37E-04	2,65E-04	EUR-flat pallet production [RER]
LLDPE-Folie [g]/Palette	0,07	0,13	0,07	0,05	polyethylene production, linear low density, granulate [RER] extrusion, plastic film [RER]

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V; ; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

3.4.2 Verpackung von kuhmilchbasiertem Käse

Für die Verpackung der kuhmilchbasierten Käse wird in der vorliegenden Studie die gleiche Verpackung angenommen, die auch für das pflanzliche Alternativprodukt bilanziert wurde. Diese Annahme gilt sowohl für die Primär als auch für die Sekundär- und Tertiärverpackung. Gemäß den Erläuterungen des QM-Verantwortlichen der E.V.A. GmbH, Herrn Michael Jülicher, unterscheiden sich die Verpackungsanforderungen für kuhmilchbasierten Käse und pflanzliche Käsealternativen in lebensmitteltechnischer und lebensmittelrechtlicher Sicht nicht.

Auch die Verpackungsgröße, typische Füllmengen und die Form der Verpackungen sind sehr ähnlich. Die getroffene Annahme steht damit im Einklang mit dem Ziel und Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie und wirkt sich nach Ansicht der Autoren nicht nachteilig auf die Ergebnisse des vorgenommenen Vergleich aus.

3.5 Distribution

3.5.1 Zusätzlicher betriebsinterner Transport zwischen den Produktionsstandorten

Bei den Produkten von ‚Simply V‘ fällt ein zusätzlicher betriebsinterner Transport der Produkte an, da ‚Simply V‘ zwei Produktionsstandorte hat. Zusätzlich gibt es ein Lager für die Rohwaren in Leutkirch und ein Lager für die Fertigwaren in Buxheim. Sämtliche Rohwaren werden von Leutkirch über eine Distanz von 48 km nach Oberreute transportiert. In Oberreute werden die pflanzliche Streichkäsealternative und pflanzliche Hirtenkäsealternative produziert und verpackt. Diese beiden Produkte werden anschließend über eine Distanz von 68 km nach Buxheim ins dortige Verteilerzentrum transportiert. Die pflanzliche Reibekäsealternative und die pflanzliche Schnittkäsealternative werden in Oberreute produziert und in Hergatz geschnitten und verpackt. Hier fällt ein zusätzlicher Transport von 19 km an. Von Hergatz ausgehend werden die Produkte dann ebenfalls nach Buxheim transportiert. Alle Transporte werden von dem gleichen Distributionsunternehmen durchgeführt, wodurch leere Rückfahrten vermieden werden können. Der Transport wird mit einem 16 – 35 t LKW durchgeführt. Tabelle 3-32 stellt die internen Distributionswege der verschiedenen Produkte dar.

Tabelle 3-32: zusätzlicher betriebsinterner Transport bei den pflanzlichen Käsealternativen

	Rohwaren-transport	Transport zwischen Produktionsstandorten	Transport Verteilzentrum	Gesamt	Einheit
pflanzliche Schnittkäsealternative	48	19	52	119	km
pflanzliche Reibekäse alternative	48	19	52	119	km
pflanzliche Hirtenkäsealternative	48	-	68	116	km
pflanzliche Streichkäsealternative	48	-	68	116	km

Quelle: Eigene Darstellung

3.5.2 Externer Transport

Für die Modellierung der Distribution wurde angenommen, dass sich die kuhmilchbasierten Käseprodukte diesbezüglich nicht von den pflanzenbasierten Käsealternativen unterscheiden. Entsprechend wird der der Produktion nachgelagerte externe Export in allen betrachteten Produktsystemen symmetrisch behandelt. Der Einbezug des Transports in die vorliegende Studie dient dazu, die tatsächlich begrenzte Relevanz der Transporte im Gesamtsystem zu verdeutlichen. Für alle Produktsysteme wurde daher auf dasselbe Distributionsmodell der PEFCR Dairy zurückgegriffen. Dieses beinhaltet einen gekühlten LKW-Transport zum Lebensmitteleinzelhändler (LEH) über ein Verteilungszentrum sowie branchentypische Annahmen zum Energiebedarf im Zuge der Lagerung im Verteilzentrum und LEH (Quantis Switzerland 2018).

In der PEFCR Dairy werden darüber hinaus auch Vorgaben gemacht, welche Annahmen bezüglich der Einkaufsfahrt und der Lagerung der Produkte im Haushalt zu treffen sind (Quantis Switzerland 2018). Die Allokation des PKW-Transportes sowie der Energieverbrauch im LEH und Verteilzentrum sind abhängig vom Verpackungsvolumen der Produkte, das sich jedoch, wie oben ausgeführt, zwischen kuhmilchbasierten Produkten und pflanzenbasierten Alternativen nicht unterscheidet. Entsprechend werden die Einkaufsfahrt und die Lagerung der Produkte im Haushalt in allen betrachteten Produktsystemen symmetrisch behandelt. Der Einbezug der Einkaufsfahrt und die Lagerung der Produkte im Haushalt in die vorliegende Studie dient dazu, die Relevanz dieser Lebenswegabschnitte im Gesamtsystem zu verdeutlichen.

Der Energieverbrauch der Kühlung im Zuge der Distribution wird auf Basis des in Anspruch genommenen Lagervolumens abgeschätzt. Dieses wiederum wird auf Basis der Verpackungsmaße der vier verschiedenen ‚Simply V‘-Verpackungen bestimmt, welche Tabelle 3-33 zu entnehmen sind.

Tabelle 3-33: Verpackungsmaße und Verpackungsvolumen

‚Simply V‘ Produkt	Vergleichsprodukt auf Kuhmilchbasis	Verpackungsmaß [mm]	Verpackungsvolumen [l]	Füllmenge [g]
pflanzliche Streichkäsealternative	Streichkäse	130*90*30	0,35	150
pflanzliche Hirtenkäsealternative	Weichkäse	100*130*20	0,26	150
Pflanzliche Schnittkäsealternative	Schnittkäse	127*200*18	0,46	150
Pflanzliche Reibekäsealternative	Reibekäse	160*90*45	0,65	200

Quelle: Eigene Darstellung, SimplyV

Der Energieverbrauch im Verteilzentrum und im LEH ist ebenfalls von der PEFCR vorgegeben. Zur Berechnung der Energieverbräuche und des Kältemittelverbrauchs in der Distribution wird das Lagervolumen einer Verpackung berücksichtigt. Als Lagervolumen muss laut PEFCR das dreifache Volumen der Verpackung genommen werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt den von der PEFCR Dairy vorgegebenen Energie und Kältemittelverbrauch im Verteilzentrum und LEH je Lagervolumen und Jahr.

Tabelle 3-34: Energieverbrauch in der Distribution

	Menge	Einheit
genereller Stromverbrauch Verteilungszentrum	6	kWh/ m³ x Jahr
Stromverbrauch kühlen Verteilungszentrum	40	kWh/ m³ x Jahr
Wärmeverbrauch Verteilungszentrum	72	MJ/ m³ x Jahr
Stromverbrauch LEH	200	kWh/ m³ x Jahr
Stromverbrauch kühlen LEH	950	kWh/ m³ x Jahr
Kältemittelverbrauch, Emissionen	0,0145	kg/ m³ x Jahr

Quelle: Eigene Darstellung, Quantis Switzerland (2018)

Im Verteilungszentrum, als auch im LEH wird Strom beziehungsweise Wärmeenergie sowie Kältemittelverbrauch für die jeweilige Lagerungsdauer berücksichtigt. Der Käse hat laut PEFCR Dairy 2018 im Verteilungszentrum eine Lagerzeit von sieben und im LEH von drei Tagen. Die von der PEFCR Dairy vorgegebenen Distanzen und Energiemengen sowie die in dieser Studie jeweils verwendeten Datensätze für die Distribution je einem 100 g verpackten Produkts sind Tabelle 3-35 zu entnehmen.

Tabelle 3-35: Modellierung der Downstream-Distribution ab Werktor pro 100 g Produkt

	Streich- käse	Weich- käse	Schnitt- käse	Reibe- käse	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Transport Produktion LEH	120	120	120	120	kgkm	<i>transport, freight, lorry with reefer, cooling [GLO]</i>
Transport LEH Kunden	0,03	0,03	0,03	0,03	kgkm	<i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 [RER]</i>
Transport LEH Kunden PKW	3,63E-03	2,42E-03	4,25E-03	5,02E-03	km	<i>transport, passenger car [RER]</i>
Transport LEH Kunden zu Fuß	0,16	0,16	0,16	0,16	km	<i>burden free</i>
genereller Stromverbrauch Verteilungszentrum	8,08E-05	5,39E-05	9,47E-05	1,12E-04	kWh	<i>market for electricity, low voltage [DE]</i>
Stromverbrauch kühlen Verteilungszentrum	5,39E-04	3,59E-04	6,31E-04	7,46E-04	kWh	<i>market for electricity, low voltage [DE]</i>
Wärmeverbrauch Verteilungszentrum	9,69E-04	6,46E-04	1,14E-03	1,34E-03	MJ	<i>heat production, natural gas, at boiler atmospheric non-modulating <100kW [Europe without Switzerland]</i>
Stromverbrauch LEH	1,15E-03	7,69E-04	1,35E-03	1,60E-03	kWh	<i>market for electricity, low voltage [DE]</i>
Stromverbrauch kühlen LEH	5,48E-03	3,65E-03	6,43E-03	7,59E-03	kWh	<i>market for electricity, low voltage [DE]</i>
Kältemittelverbrauch	8,37E-08	5,58E-08	9,81E-08	1,16E-07	kg	<i>refrigerant R134a production [RER]</i>
Kältemittlemissionen	8,37E-08	5,58E-08	9,81E-08	1,16E-07	kg	<i>Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a</i>

Quelle: Eigene Darstellung, Quantis Switzerland (2018); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Das Distributionsmodell aus der PEFCR Dairy beinhaltet einen Transport von der Produktion über das Verteilzentrum zum LEH von 1200 km in einem gekühlten Lastwagen. Der Transport vom LEH zum Kunden beträgt 5 km und ist aufgeteilt in 62 % mit einem PKW, 5 % mit einem Transporter und 33 % zu Fuß ohne Umweltlasten. Der Allokationsfaktor für die Kofferraumallokation im PKW errechnet sich anhand des Produktvolumens geteilt durch 0,2 m³ (Quantis Switzerland 2018).

3.6 Nutzungsphase im privaten Haushalt

Für die Modellierung der Nutzungsphase wurde angenommen, dass zwischen milchbasierten Käseprodukten und pflanzenbasierten Käsealternativen keine Unterschiede bestehen. Für alle Produkte wurde die Nutzungsphase entsprechend den Vorgaben der PEFCR Dairy modelliert. Diese beinhalten v.a. eine 10-tägige Kühlungslagerung. Die im Zuge der Nutzungsphase berücksichtigten Energie- und Materialaufwendungen sind Tabelle 3-36 zu entnehmen.

Tabelle 3-36: Nutzungsphase je 100 g Produkt

Prozess	Streichkäse	Weichkäse	Schnittkäse	Reibekäse	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Stromverbrauch kühlen Nutzungsphase	0,02	0,02	0,03	0,04	kWh	market for electricity, low voltage [DE]
Wasserverbrauch zum Spülen	2,51	1,73	3,68	4,49	ml	market for tap water [Europe without Switzerland]
Stromverbrauch Spülen	2,26E-04	1,38E-04	2,94E-04	3,48E-04	kWh	market for electricity, low voltage [DE]
Spülmittel	1,68E-03	1,15E-03	2,45E-03	3,00E-03	g	soap production[RER]

Quelle: Eigene Darstellung, (Quantis Switzerland 2018); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

3.7 End of Life der Verpackungsmaterialien

Wie bereits in Abschnitt 3.4 dargestellt, wird die Bereitstellung der Verpackungsmaterialien in allen betrachteten Produktsystemen symmetrisch behandelt. Dies gilt analog auch für die Aufwendungen in Rahmen des End of Life der Verpackungsmaterialien. Diese werden in der vorliegenden Studie berücksichtigt, um die tatsächlich begrenzte Relevanz dieses Lebenswegabschnittes im Gesamtsystem zu verdeutlichen. Die Aufwendungen aus der Behandlung von Verpackungen werden anhand eines vereinfachten Modells abgebildet. Diesem liegt die Annahme zugrunde, dass die Verpackungsmaterialien, gemäß der gängigen abfallwirtschaftlichen Praxis, der Verpackungssammlung geführt und dann über verschiedene Behandlungsrouten weiterbehandelt werden. Hierzu wurde im Modell der Datensatz „market for waste plastic, mixture – DE“ verwendet, welcher zugleich auch eine LKW-Fahrt von 68 km beinhaltet, um das Einsammeln des Mülls zu berücksichtigen. Die Abfallverbrennung ist mit 99% die dominierende Entsorgungsart des Datensatzes. Das je nach Produktsystem anfallende Materialgewicht bestimmt die Menge an zu behandelndem Material und kann Tabelle 3-37 entnommen werden.

Tabelle 3-37: Anfall an zu behandelndem Verpackungsmaterial je 100 g Produkt

‚Simply V‘-Produkt	Käseprodukt auf Kuhmilchbasis	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
pflanzliche Schnittkäse alternative, geschnitten	Schnittkäse	7,90	g	market for waste plastic, mixture – DE
pflanzliche Reibekäsealternative	Reibekäse	3,93	g	market for waste plastic, mixture – DE
pflanzliche Hirtenkäsealternative	Weichkäse	2,23	g	market for waste plastic, mixture – DE
pflanzliche Streichkäsealternative	Streichkäse	9,92	g	market for waste plastic, mixture – DE

Quelle: Eigene Darstellung, Simply V; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

4 Durchführung der Wirkungsabschätzung

4.1 Stellungnahme zur Beurteilung von Wirkungsindikatorergebnissen im Rahmen der vorliegenden Studie

Gemäß der Ausführungen der ISO 14044 können für das bessere Verständnis der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz zusätzliche Methoden und Informationen notwendig sein, um zu entscheiden, ob zwischen den verglichenen Produktalternativen signifikante Unterschiede bestehen und um die Überinterpretation sehr kleiner, nicht signifikanter Unterschiede zwischen den verglichenen Systemen zu vermeiden.

Die Identifikation der signifikanten Parameter ist Teil der Auswertungsphase einer Ökobilanz und erfolgt auch in der vorliegenden Studie im entsprechenden Berichtskapitel (vgl. Abschnitt 5.2).

Vor dem Hintergrund des prozessorientierten Vorgehens im Rahmen einer Ökobilanz erscheint es dennoch sinnvoll, bereits an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Identifikation der signifikanten Parameter in der gängigen ökobilanziellen Praxis in der Regel nicht auf Basis von klassischen Methoden der Fehlerrechnung, wie die mathematisch-stochastische Unsicherheitsanalyse (z.B. Monte-Carlo-Simulation) erfolgt. Vielmehr werden in der ökobilanziellen Praxis häufig heuristisch Signifikanzschwellen abgeleitet. Auf Basis langjähriger Erfahrung in der Durchführung von Ökobilanzen, hält das Öko-Institut die nachfolgend dargestellten Wesentlichkeitsschwellen für gleichermaßen praktikabel wie zweckmäßig. Die Wirkungsindikatoren können dabei in zwei Gruppen eingeordnet werden, vgl. die nachstehende tabellarische Übersicht.

Tabelle 4-1: Wesentlichkeitsschwellen bei den Wirkungsindikatorergebnissen

Wirkungskategorie	Einheit	Signifikanzschwellenwert
Treibhauspotenzial	kg CO ₂ eq	>10%
Versauerungspotenzial	mol H ⁺ eq	
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	mol H ⁺ -eq	>20%
Süßwasser-Eutrophierungspotenzial	g P-eq	
Marines Eutrophierungspotenzial	g N-eq	
Landnutzung	pt	
Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen	m ³ depriv.	
Feinstaub	Krankheitsinzidenz	
Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit	kg NMVOC-eq	

Quelle: Eigene Darstellung

Teil der Auswertung sind auch die Sachbilanzparameter $KEA_{\text{regenerativ}}$ und $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$. Für diese wird ebenfalls ein Signifikanzschwellenwert von >10% angesetzt.

Mit Blick auf die Darstellung der Indikatorergebnisse der Wirkungsabschätzung in den nachfolgenden Abschnitten muss festgehalten werden, dass die Ergebniswerte in Tabellen teilweise „genauer“, also mit mehr signifikanten Stellen angegeben sind, als es nach den dargestellten

Wesentlichkeitsschwellen erforderlich wäre. Die dargestellten Ergebniswerte dürfen in diesem Sinne nicht überinterpretiert werden. Bei der Diskussion im laufenden Text werden die Ergebniswerte hingegen gerundet auf zwei signifikante Stellen angegeben.

Das hier beschriebene Vorgehen zur Identifikation signifikanter Parameter kann als ein pragmatischer, der gängigen ökobilanziellen Praxis entsprechender Ansatz bezeichnet werden, der das Ziel und den Untersuchungsrahmen dieser Studie erfüllt.

4.2 Gesamtergebnis

Tabelle 4-2 zeigt die Gesamtergebnisse der acht verglichenen Lebensmittelprodukte für die in der vorliegenden Studie betrachten Wirkungskategorien. Bezugsgröße der dargestellten Ergebnisse ist jeweils 100 g Produkt und umfasst den gesamten Lebenszyklus von der Rohwarenbereitstellung bis hin zur Behandlung der Verpackungen am Lebenszyklusende.

Tabelle 4-2: Gesamtergebnis, pro Funktionelle Einheit (100g Produkt)

	pflanzliche Schnittkäse- alternative	Schnittkäse	pflanzliche. Reibekäse- alternative	Reibekäse	pflanzliche Streichkäse- alternative	Streichkäse	pflanzliche Hirtenkäse- alternative	Weichkäse	Einheit
Treibhauspotenzial , gesamt	0,25	0,69	0,25	0,68	0,22	0,57	0,19	0,53	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial , biogen	0,01	0,35	0,01	0,35	0,00	0,25	0,01	0,27	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial , fossil	0,23	0,29	0,27	0,28	0,28	0,28	0,22	0,22	kg CO₂-eq
Treibhauspotenzial , Landnutzung und Landnutzungs- änderung	0,01	0,05	-0,03	0,05	-0,06	0,04	-0,03	0,04	kg CO₂-eq
Versauerungs- potenzial	2,12E- 03	4,38E- 03	2,55E- 03	4,38E- 03	2,33E-03	3,48E- 03	2,10E- 03	3,43E- 03	mol H⁺-eq
Eutrophierungspot- enzial, terrestrisch	7,71E- 03	1,82E- 02	9,37E- 03	1,82E- 02	8,27E-03	1,40E- 02	7,53E- 03	1,43E- 02	mol N-eq
Eutrophierungspot- enzial, Süßwasser	0,13	0,12	0,15	0,12	0,11	0,12	0,10	0,09	g P-eq
Eutrophierungspot- enzial, marin	1,07	1,05	1,22	1,06	0,99	0,86	1,03	0,83	g N-eq
Landnutzung	13,6	31,0	14,7	32,0	12,7	22,0	14,1	24	Dimensio- nslos (pt)
Wasserinan- spruchnahme	1,52	0,34	5,49	0,34	8,69	0,31	6,57	0,26	m³- Wasser-eq
Feinstaub	1,94E- 08	3,15E- 08	2,32E- 08	3,16E- 08	2,26E-08	2,52E- 08	2,10E- 08	2,47E- 08	Krankheit sinzidenz
Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit	1,51E- 03	1,22E- 03	1,23E- 03	1,23E- 03	1,14E-03	1,03E- 03	1,00E- 03	9,60E- 04	kg NMVOC- eq
KEA_{nicht regenerativ}	3,08	3,17	3,68	3,17	3,86	3,49	2,77	2,34	MJ

KEA _{regenerativ}	3,28	2,31	3,43	2,49	3,01	1,74	3,48	1,78	MJ
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----------

Quelle: Eigene Darstellung

Wie Tabelle 4-2 entnommen werden kann, weisen die pflanzlichen Käsealternativen ein durchgängig niedrigeres Treibhauspotenzial gesamt auf als die kuhmilchbasierten Käseprodukte. Mit 190 g – 250 g/100 g Produkt liegen sämtliche pflanzlichen Käsealternativen deutlich unter den kuhmilchbasierten Käseprodukten, für welche Werte zwischen 530 g – 690 g/100 g Produkt berechnet wurden. Das Treibhauspotenzial der kuhmilchbasierten Käseprodukte liegt damit um Faktor 2 - 2,5 höher als das der pflanzlichen Alternativprodukte. Wie in der Beitragsanalyse in Abschnitt 4.3.1 gezeigt wird, sind die Unterschiede vor allem auf die Beiträge aus der Rohwarenbereitstellung zurückzuführen. Hier wirken sich insbesondere die höheren Beiträge der Rohmilchproduktion im Vergleich zu den Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen auf das Ergebnis aus. Dies zeigt sich besonders deutlich, wenn man die Beiträge zum biogen bedingten Treibhauspotenzial der pflanzlichen und der kuhmilchbasierten Produkte vergleicht. Die tierischen Produkte weisen deutlich höhere Wirkungsindikatorergebnisse auf. Hauptursächlich für die klimarelevanten Emissionen sind die direkten Emissionen aus der Tierhaltung (v.a. Methan aus Verdauung, sowie Methan und Lachgas aufgrund der Wirtschaftsdüngelagerung und -ausbringung im Zuge des Futtermittelanbaus). Weniger deutlich, jedoch auch zu Gunsten der pflanzlichen Käsealternativen fallen die treibhausgasrelevanten Emissionen aus „Landnutzung und Landnutzungsänderung“ aus. Hier tragen bei den tierischen Produkten die Emissionen aus Landnutzungsänderungen durch importierte Kraftfuttermittel mit 5-10% zum Treibhauspotenzial gesamt bei. Demgegenüber weisen die pflanzenbasierten Käsealternativen in dieser Teilkategorie sogar negative Emissionswerte auf. Ursache hierfür ist wiederum der sich nach wie vor flächenmäßig ausdehnende Mandelanbau in Kalifornien, der mit einer Landnutzungsänderung von einjährigen Ackerland zu einer Dauerkultur einhergeht. Im diesem Ergebnis zugrunde liegenden ecoinvent Datensatz „almond production US“ führt dies zu einer Netto-Speicher von CO₂ durch die Landnutzungsänderung. Diese beinhaltet laut persönlicher Auskunft eines Mitarbeiters von ecoinvent neben den Prozessen im Boden zusätzlich auch die Sequestrierung von CO₂ im Zuge des Wachstums der Mandelbäume.

Eine vergleichbare Lage der Ergebnisse ergibt sich für die Wirkungskategorien Landnutzung und Versauerungspotenzial. Auch hier wird für die pflanzlichen Käsealternativen eine deutlich geringere potenzielle Umweltbelastung abgeschätzt. Diese liegt für die pflanzlichen Käsealternativen um Faktor 1,5 - 2,5 tiefer.

Bezogen auf den Aspekt der Eutrophierung wurden in der vorliegenden Studie drei jeweils unterschiedliche Stoffflüsse charakterisierende Wirkungskategorien abgeschätzt. Je nach betrachteter Wirkungskategorie stellt sich das Ergebnis des Vergleichs pflanzlicher und kuhmilchbasierter Produkte unterschiedlich dar. Die Ergebnisse der Abschätzung des terrestrischen Eutrophierungspotenzials, welches auf einer Charakterisierung eutrophierend wirkender Stickstoffemissionen beruht, weisen für die pflanzlichen Käsealternativen ein signifikant geringeres Eutrophierungspotenzial aus. Im zu Grunde liegenden Wirkungsabschätzungsmodell tragen vor allem eutrophierend wirkende, direkte Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung dazu bei, dass die kuhmilchbasierten Käseprodukte ein höheres Wirkungsindikatorergebnis aufweisen (vgl. Abschnitt 4.3.3.1). Betrachtet man hingegen die Wirkungskategorie Süßwasser-Eutrophierungspotenzial, welches auf einer Charakterisierung eutrophierend wirkenden Phosphatemissionen beruht, so liegen die für die pflanzlichen Alternativen abgeschätzten Ergebnisse in drei von vier Fällen leicht höher. Im direkten Vergleich weisen die pflanzlichen Käsealternativen, ein 8 – 25 % höheres

Ergebnis als das tierische Vergleichsprodukt auf. Für die pflanzliche Streichkäsealternative errechnet sich hingegen ein um 8% niedrigeres Ergebnis als für das kuhmilchbasierte Vergleichsprodukt. Die Unterschiede sind jedoch nur bei der pflanzlichen Reibekäsealternative signifikant, bei der das Ergebnis 25% höher ist. Hauptsächlich sind wiederum die direkten Emissionen aus der Landwirtschaft. Relevant zu erwähnen ist hier noch, dass die direkten Ammoniakemissionen in die Luft, die das Ergebnis beim terrestrischen Eutrophierungspotenzial wesentlich bestimmen, bei der Berechnung nach der Wirkungskategorie Süßwasser-Eutrophierungspotenzial nicht berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 4.3.3.2). Bezogen auf den Wirkungsindikator marines Eutrophierungspotenzial wurden für die pflanzenbasierten Käsealternativen geringfügig höhere Wirkungsindikatorergebnisse abgeschätzt. Jedoch ist der Unterschied zum kuhmilchbasierten Käse nur für die pflanzliche Hirtenkäsealternative signifikant. Hauptsächlich sind bei den pflanzlichen Käsealternativen wie auch bei den kuhmilchbasierten Käseprodukten wiederum die direkten Emissionen aus der Landwirtschaft (vgl. Abschnitt 4.3.3.3)

Durchgehend deutlich höhere Ergebnisse werden für die pflanzlichen Käsealternativen für die Wirkungskategorie Wasserinanspruchnahme abgeschätzt. Bei der Abschätzung der wirkungsbasierten Inanspruchnahme begrenzter Wasserressourcen wirken sich zum einen der insgesamt hohe Wasserbedarf im Zuge des Mandelanbaus auf das Ergebnis aus. Hinzu kommt die über entsprechende Charakterisierungsfaktoren berücksichtigte Einschätzung zur Kritikalität der Wasserentnahme am Produktionsstandort (vgl. Beitragsanalyse in Abschnitt 4.3.5).

Beim Vergleich des Feinstaubes in Krankheitsinzidenzen je 100 g Produkt fällt auf, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen generell etwas niedriger abschneiden als die milchbasierten Käsealternativen. Doch auch hier ist der Unterschied zum kuhmilchbasierten Vergleichsprodukt nur im Fall der pflanzenbasierten Schnittkäse und der pflanzenbasierten Reibekäsealternativen signifikant (vgl. Abschnitt 4.3.6).

Bei der Wirkungskategorie Fotochemische Bildung von Ozon wurden zwischen den verschiedenen verglichenen pflanzlichen und tierischen Produktsystemen keine signifikanten Unterschiede festgestellt. In beiden Fällen sind einmal mehr die Beiträge aus der Agrarprimärproduktion Haupttreiber der Wirkungsindikatorergebnisse (vgl. Abschnitt 4.3.7).

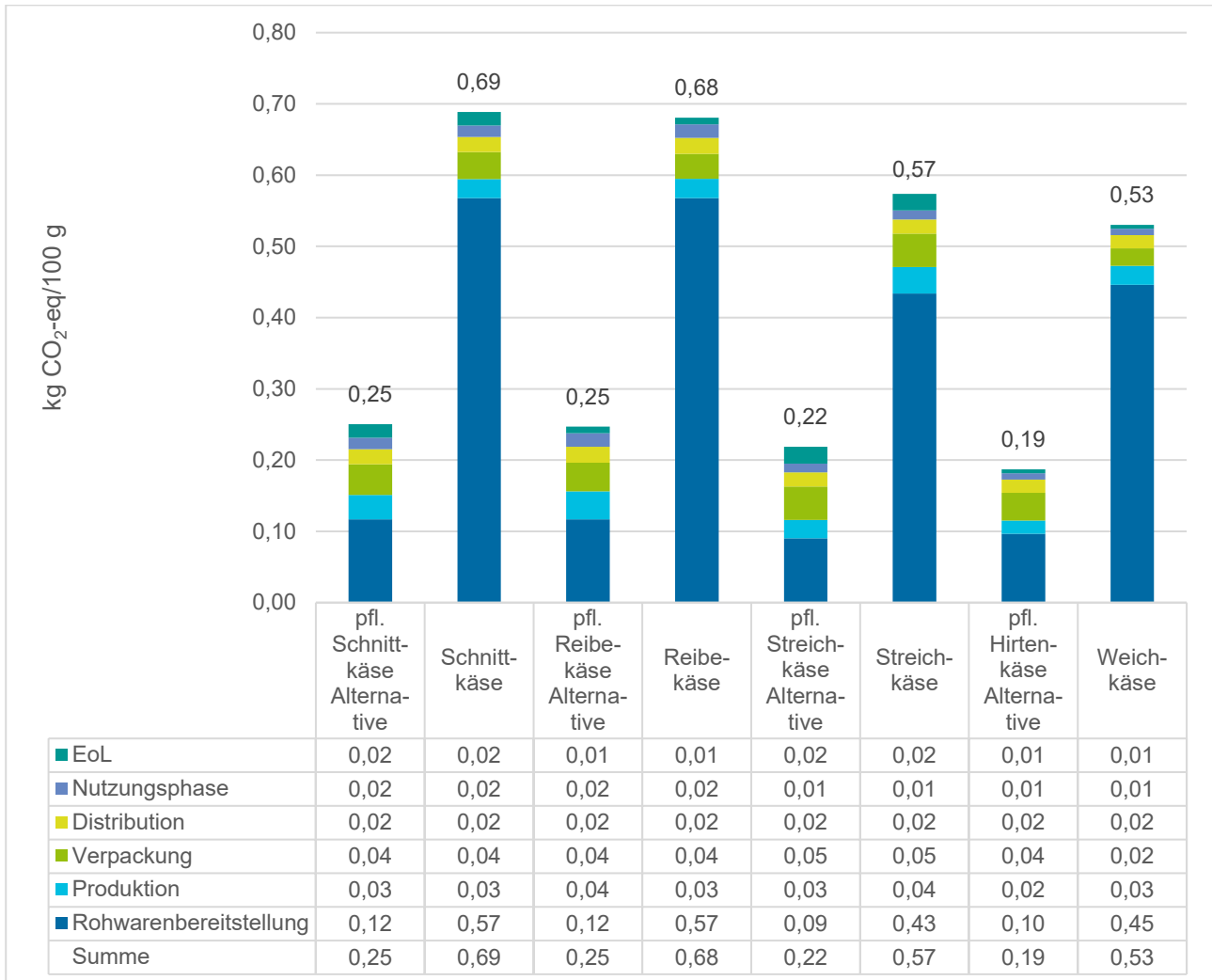
Bezogen auf die beiden Sachbilanzindikatoren $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$ und $KEA_{\text{regenerativ}}$ zeigt sich bei den Ergebnissen der vorliegenden Studie kein durchweg einheitliches Bild. Tendenziell weisen die pflanzenbasierten Käsealternativen einen etwas höheren KEA auf als die kuhmilchbasierten Vergleichsprodukte, jedoch sind die Unterschiede nicht in jedem Fall signifikant (vgl. Abschnitt 4.3.8). Wichtige Beiträge zum Gesamtergebnis stammen sowohl bei den tierischen als auch bei den pflanzlichen Produkten aus der Rohwarenbereitstellung und in etwas geringerem Umfang aus der Produktion.

Um einen genaueren Eindruck der vorliegenden Ergebnisse zu bekommen, wird in der folgenden Beitragsanalyse ein detaillierter Blick auf das Zustandekommen der Ergebnisse in den betrachteten Wirkungskategorien geworfen.

4.3 Darstellung der Ergebnisse der Beitragsanalyse

4.3.1 Treibhauspotenzial gesamt in kg CO₂-eq pro 100 g Produkt

Abbildung 4-1: Treibhauspotenzial, gesamt in kg CO₂-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial weisen die pflanzlichen Käsealternativen durchweg signifikant geringere Ergebnisse auf als die jeweiligen Varianten auf Kuhmilchbasis. Die pflanzlichen Käsealternativen haben ein Treibhauspotenzial von 0,19 - 0,25 kg CO₂eq/100 g. Das Treibhauspotenzial der kuhmilchbasierten Käsevarianten beträgt 0,53 - 0,69 kg CO₂eq/100 g. Die Käsevarianten auf Kuhmilchbasis haben daher einen um Faktor 2,0 bis 2,5-mal größeres Treibhauspotenzial als ihr jeweiliges Pendant unter den pflanzlichen Käsealternativen.

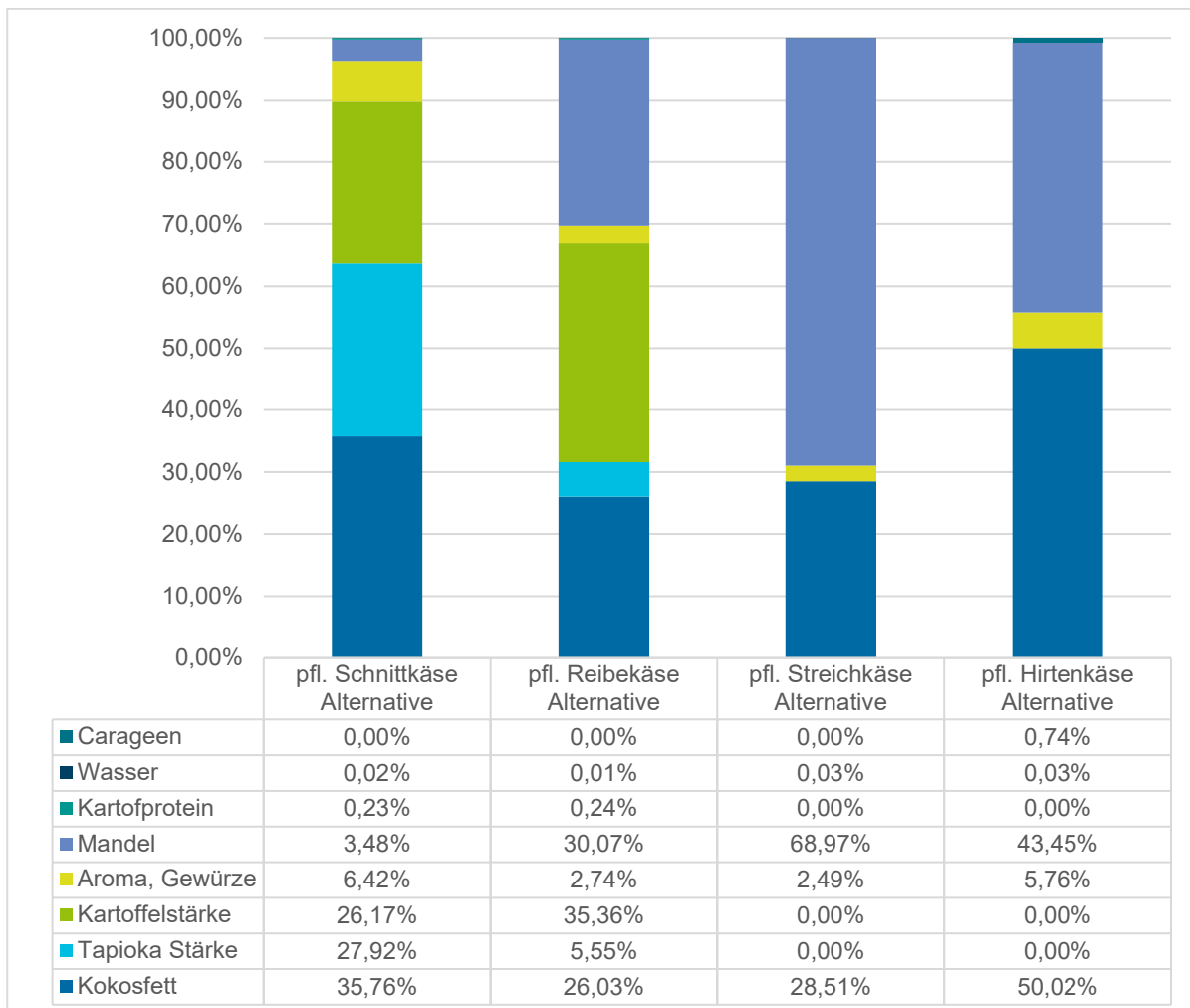
Den größten Unterschied gibt es bei der pflanzlichen Hirtenkäse-Alternative, der pflanzlichen Schnittkäse- und der Reibekäsealternative. Alle drei Varianten haben ein 64 – 66 % geringeres Treibhauspotential als ihr Pendant bei den Käsevarianten. Den geringsten Unterschied gibt es bei der pflanzlichen Streichkäsealternative, welche ein 50 % geringeres Treibhauspotential hat als der Streichkäse. Bei allen betrachteten Produkten trägt die Bereitstellung der Rohwaren den größten

Anteil an Treibhausgasemissionen bei. Bei den vier betrachteten kuhmilchbasierten Käsevarianten stammen 77 – 83 % der Treibhausgasemissionen aus der Rohmilchproduktion. Hierbei sind vor allem die Emissionen im Zuge der Futtermittelproduktion für die Kühe, aber auch die Emissionen aus Verdauung und Wirtschaftsdüngerlagerung relevant. Die für die Rohwarenproduktion abgeschätzten Beiträge zum Treibhauspotenzial liegen deutlich höher als die Beiträge, die in Summe für die Rohwarenproduktion der pflanzlichen Käsealternativen abgeschätzt wurden.

Die Rohwarenbereitstellung des Streichkäses hat mit 0,43 kg CO₂eq/100 g Produkt von den vier Käsevarianten den geringsten Beitrag zum Treibhauspotential. Das höchste Treibhauspotential hat mit 0,57 kg CO₂eq/100 g Produkt die Rohwarenbereitstellung beim Schnittkäse und beim Reibekäse, was wiederum auf die Beiträge aus der Rohwarenproduktion der Kartoffelstärke und im Falle der pflanzlichen Schnittkäsealternative zusätzlich auf Beiträge der Rohwarenproduktion der Tapiokastärke zurückzuführen ist.

In Abbildung 4-2 werden die prozentualen Beiträge einzelner Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen zum Treibhauspotential der Rohwarenproduktion als Ganzes dargestellt.

Abbildung 4-2: Treibhauspotential der Bereitstellung von Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen [in Prozent]



Quelle: Eigene Darstellung; Ein Wert von 0% Beitrag einer Rohware zum Ergebnis bedeutet, dass diese Rohware nicht Bestandteil der Rezeptur des entsprechenden Produktes ist.

Wie Abbildung 4-2 zeigt, gehen relevante Beiträge bei allen vier pflanzlichen Käsealternativen auf den Rezepturbestandteil Kokosfett bzw. genauer die Kokosfettproduktion mit dem Kokosnussanbau auf den Philippinen zurück. Diese trägt zwischen 26 – 50 % zu den Emissionen aus der Rohwarenpromotion bei. Ursächlich sind hier vor allem Treibhausgasrelevante Emissionen aus Landnutzungsänderungen (Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen). Zu den Beiträgen aus Landnutzungsänderungen, die immerhin etwa 40 % zum Treibhauspotenzial der Kokosfettproduktion beitragen, folgt weiter unten noch eine detailliertere Darstellung.

Auch die Produktion von Mandelpaste und Mandelmehl ist bei allen pflanzlichen Käsealternativen, außer bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative, von hoher Relevanz für das Treibhauspotenzial. Die Bereitstellung der Mandelrohwaren trägt zwischen 30 und 69 % zum rohwarenbedingten Treibhauspotential bei. Die deutlichen Unterschiede sind vor allem auf unterschiedliche mengenmäßige Anteile der mandelbasierten Rohwaren in den pflanzlichen Käsealternativen zurückzuführen. Die pflanzenbasierte Schnittkäsealternative weist mit einem mengenmäßigen Anteil von 1 % deutlich weniger Mandelprodukt auf als die restlichen Käsealternativen (10 – 18 %). Bei feiner aufgelöster Betrachtung der Beiträge aus der Mandelproduktion stellt sich heraus, dass insbesondere die Bereitstellung der Energie für den Betrieb, der zur Bewässerung der Mandelplantagen eingesetzten Wasserpumpen ein entscheidender Faktor für die Beiträge der Mandelproduktion zum Treibhauspotenzial ist.

Beim Binnenvergleich der kuhmilchbasierten Käsevarianten ergeben sich die Unterschiede zwischen den Produkten vor allem durch die zur Herstellung der Produkte benötigte Menge an Rohmilch. Je größer die bei der Käseproduktion eingesetzte Milchmenge, desto größer ist auch das Treibhauspotential des jeweiligen Produktes. Für die Herstellung von 100 g Schnittkäse wird mit 900 g am meisten Milch eingesetzt. Es folgen die Weichkäse-Produktion mit 700 g Milch pro 100 g Weichkäse. Am geringsten ist der Milcheinsatz für die Herstellung von Streichkäse, bei der pro 100 g Käse nur etwa 360 g Milch und 73 g Sahne eingesetzt werden. Entsprechend ergibt sich ein maßgeblich von der eingesetzten Milchmenge abhängiges Treibhauspotenzial der kuhmilchbasierten Käsevarianten.

Von nachrangiger Bedeutung für das Gesamtergebnis sind die Beiträge von Emissionen, die im Zuge des Rohwarentportes entstehen (0,005 - 0,01 kg CO₂eq/100 g Produkt bei den pflanzlichen Käsealternativen, 0,001 - 0,004 kg CO₂-eq/100 g Produkt bei kuhmilchbasiertem Käse).

Von ebenfalls untergeordneter Bedeutung sind die Beiträge aus der Bereitstellung der Rohwarenpromotion der pflanzlichen Käsealternativen (0,007 - 0,01 kg CO₂eq/100 g Produkt). Hier noch am ehesten relevant sind die Beiträge der vergleichsweise großen, potenziell für die Mehrwegnutzung nutzbaren IBC-Container. Hier gilt anzumerken, dass für die vorliegende Studie keine Mehrfachnutzung unterstellt wurde, da davon ausgegangen wird, dass die IBC-Container nur einmalig als Transportbehälter genutzt und anschließend in anderer Form (z.B. als Tränkwasserbehälter in der Landwirtschaft) eingesetzt werden.

In den Lebenszyklusphasen Verpackung, Distribution ab Werk zum LEH (inkl. Kühllagerung der fertigen Produkte), der Nutzungsphase in den Haushalten und bei der Behandlung von Verpackungsabfällen wurden in der vorliegenden Studie keine Unterschiede zwischen den pflanzlichen Käsealternativen und den jeweiligen kuhmilchbasierten Produkten berücksichtigt. Es liegen keine Daten zur produktspezifischen Lagerdauer der Produkte im LEH und/oder in den Haushalten vor. Aufgrund der gleichen Anforderungen an Verpackungseigenschaften, derselben Verpackungsgrößen sowie einheitlich getroffenen Annahmen zur Distribution und Nutzungsphase gibt es in dieser Hinsicht in der vorliegenden Studie keine Unterschiede zwischen den verschiedenen verglichenen

Produkten. Der Einbezug der Verpackung, der Distribution und Lagerung im LEH sowie der Nutzungsphase in die vorliegende Studie dient dazu, die letztlich begrenzte Relevanz dieser Lebenszyklusphasen im Gesamtsystem zu verdeutlichen.

Das aus Landnutzung und Landnutzungsänderung resultierende Treibhauspotenzial pro funktionaler Einheit (100 g verzehrfertiges Produkt) der betrachteten Produktsysteme ist Tabelle 4-3 zu entnehmen.

Tabelle 4-3: Treibhauspotenzial aus Landnutzung und Landnutzungsänderung in kg CO₂-eq pro 100 g Produkt

Rohwareinput	pflanzliche Schnittkäse- alternative, geschnitten	Schnittkäse, geschnitten	pflanzliche Schnittkäse- alternative, gerieben	Schnittkäse, gerieben	pflanzliche Streichkäse- alternative	Streichkäse	pflanzliche Hirtenkäse- alternative	Weichkäse	Einheit
Kokosfett	0,012		0,009		0,008		0,014		kg CO ₂ -eq/100 g
Mandelpaste	-0,005		-0,039		-0,069		-0,049		kg CO ₂ -eq/100 g
Milch		0,051		0,051		0,038		0,040	kg CO ₂ -eq/100 g
Rest zusammen- gefasst	0,006	0,001	0,002	0,00	0,00	0,00	0,001	0,001	kg CO ₂ -eq/100 g
Insgesamt	0,013	0,052	-0,028	0,051	-0,061	0,038	-0,034	0,041	kg CO ₂ -eq/100 g

Quelle: Eigene Darstellung

Bei allen Varianten bestimmt die Rohwarenbereitstellung mit über 95 % das Ergebnis der Treibhausgasemissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderung. Die Emissionen und Gutschriften, welche das Ergebnis bestimmen, sind auf wenige Rohwareinputs verteilt. Die Emissionen der restlichen Inhaltstoffe und Prozesse wurden mit der Spalte Rest zusammengefasst beschrieben.

Bei den pflanzenbasierten Käsealternativen trägt die Kokosnussproduktion (relevant für die Rohware Kokosfett) am meisten zu den Treibhausgasemissionen aus der Landnutzung und Landnutzungsänderung bei. Zur Landnutzungsänderung der Kokosnussproduktion wird in der Dokumentation des entsprechenden ecoinvent Datensatzes folgendes beschrieben: „Die ursprüngliche Landnutzung von 96,8 % der in den letzten 20 Jahren umgewandelten mehrjährigen Anbauflächen [für die Kokosnussproduktion] ist unbekannt. Um eine möglicherweise erhebliche Unterschätzung der Auswirkungen der Landnutzungsänderung zu vermeiden, wurde die konservative Annahme getroffen, dass der unbekannte Anteil der Landumwandlung der Umwandlung von Waldland (primär und sekundär) zugeschrieben werden soll.“

Die Mandelproduktion führt zu negativen Treibhausgasemissionen aus der Landnutzung und Landnutzungsänderung. Auch hier geht der negative Wert aus Annahmen einer Landnutzungsänderung hervor, wie im Rahmen einer Rückfrage bei dem Ersteller des Datensatzes in ecoinvent eruiert werden konnte. Hierbei wirkt sich begünstigend aus, dass für die Hauptanbauorte für Mandelanbau

in den USA davon ausgegangen wird, dass zuvor einjährig genutztes Ackerland zu mehrjährig-genutztem Ackerland (eben der Mandelbaumplantage) umgewandelt wird. Im Datensatz berücksichtigt wird hier eine Kohlenstoff-Speicherung, also eine Sequestration von Kohlenstoff in der Biomasse der mehrjährigen Mandelbäumen.²²

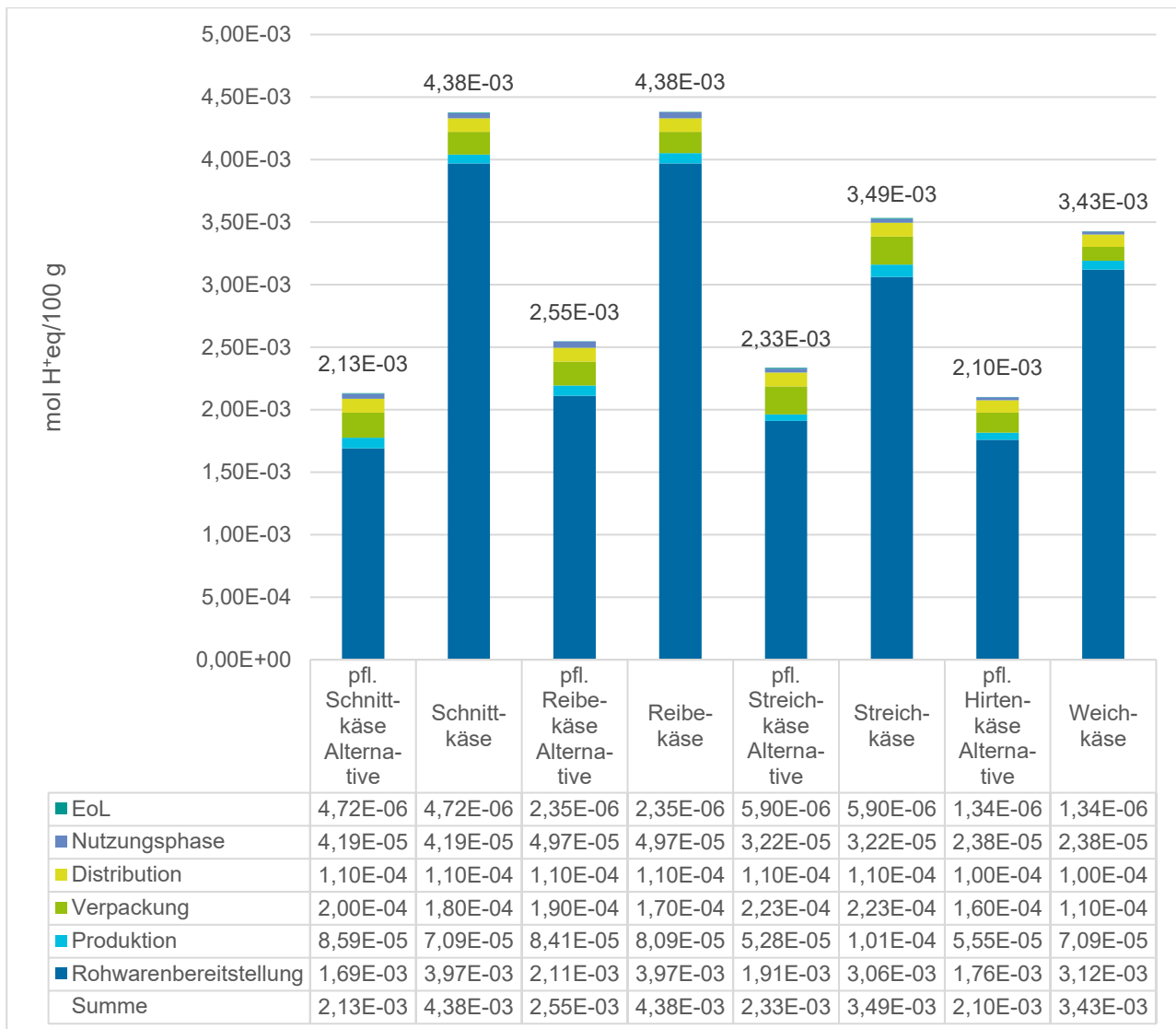
Bei den Käsevarianten macht die Milchproduktion rund 99 % der Treibhausgasemissionen aus der Landnutzung und Landnutzungsänderungen aus. In der Milchproduktion stammen wiederum rund 99 % aus der Futtermittelproduktion für die Tiere, wobei hier vor allem das eingesetzte Kraffuttermittel ursächlich ist. Dieses enthält einen Massenanteil von ca. 15 % importiertem Sojafuttermittel, welcher entscheiden zum Ergebnis beiträgt.

4.3.2 Versauerungspotenzial

Die Beiträge zum Versauerungspotenzial der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

²² Hier reflektiert wird die Tatsache, dass der Mandelanbau in den USA in den letzten Jahren deutlich ausgeweitet wurde. Somit erscheint das in ecoinvent gewählte Vorgehen zur Modellierung des Mandelanbaus grundsätzlich plausibel. Nicht berücksichtigt sind hier potenzielle Änderungen in der Zukunft, wenn etwa in Folge des fortschreitenden Klimawandels und/oder der Wasserknappheit Plantagen stillgelegt werden sollten. Der Einbezug der Sequestration von Kohlenstoff in der Biomasse der mehrjährigen Mandelbäumen führt zudem nicht zu einer Ergebnisumkehr im Vergleich zu den kuhmilchbasierten Käsealternativen (vgl. hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 5.3.2).

Abbildung 4-3: Versauerungspotenzial in mol H⁺-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Beim Vergleich des Versauerungspotentials der pflanzenbasierten Käsealternativen mit den Käsevarianten weisen die pflanzenbasierten Käsealternativen durchgehend signifikant niedrigere Wirkungsabschätzungsergebnisse auf als die milchbasierten Käsevarianten. Den größten Unterschied gibt es bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative und dem kuhmilchbasierten Pendant. Die milchbasierte Variante weist ein rund doppelt so hohes Versauerungspotential wie die pflanzenbasierte Schnittkäsealternative auf, was, wie weiter unten dargestellt, vor allem auf die bei diesem Produkt vergleichsweise geringen Anteile an mandelbasierter Rohware und Kokosfett an der Produktrezeptur zurückzuführen ist.

Die pflanzenbasierte Reibekäsealternative und die pflanzenbasierte Hirtenkäsealternative haben ein rund 40 % geringeres Versauerungspotential als ihr jeweiliges milchbasiertes Pendant. Den geringsten, aber immer noch deutlichen Unterschied gibt es bei der pflanzenbasierten Streichkäsealternative, welche ein rund 33 % geringeres Versauerungspotential hat als das kuhmilchbasierte Pendant. Sowohl bei den pflanzlichen Käsealternativen als auch bei den milchbasierten Käse-

produkten dominieren die Beiträge aus der Rohwarenbereitstellung mit 79-90 % das Wirkungsindikatorergebnis. Für das Ergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen sind insbesondere die Beiträge aus dem Kokosnussanbau, der Mandelproduktion und dem Anbau der Maniokwurzel für die Gewinnung der Tapiokastärke für das Versauerungspotential relevant. Beiträge zum Versauerungspotenzial stammen hier vor allem aus dem Einsatz von Düngemittel im Zuge der Agrarprimärproduktion.

Für die kuhmilchbasierten Käsevarianten ist ebenfalls die Rohwarenbereitstellung bzw. konkret die Bereitstellung von Milch dominant. Sie trägt mit 88 – 91 % zum Versauerungspotential bei. Mit über 50 % der Emissionen sind hier die direkten Ammoniak-Emissionen durch Ausscheidungen der Tiere im Stall und auf der Weide relevant. Je nach Haltungform spielen Versauerungspotenziale aus der Bereitstellung von Kraffutter auch eine wichtige Rolle.

Vergleicht man ausschließlich die Beiträge aus der Produktion der verschiedenen Lebensmittel, so stellt sich heraus, dass für die milchbasierten Käsevarianten bis auf den Streichkäse ein etwas geringeres Versauerungspotential als für die pflanzenbasierten Käsealternativen abgeschätzt wurde. Wesentlicher Treiber des produktionsbezogenen Versauerungspotenzials ist der im Zuge der Herstellung der Produkte eingesetzte Strom bzw. dessen Bereitstellung. Wie auch am Beispiel des KEA gezeigt werden kann, weisen die aus der Produktion an den beiden Standorten erhobenen Daten für die ‚Simply V‘-Produkt auf einen etwas höheren spezifischen Energiebedarf für die pflanzenbasierten Käsealternativen hin als in der PEFCR Dairy als branchentypischer Standard für die Kuhmilchproduktion angegeben wurde. Es ist davon auszugehen, dass dies vor allem auf das derzeit vergleichsweise deutlich geringere Produktionsvolumen von ‚Simply V‘-Produkten zurückzuführen ist, als auf Aufwendungen, die sich aus der Herstellung der pflanzlichen Käsealternativen als solche ergeben.

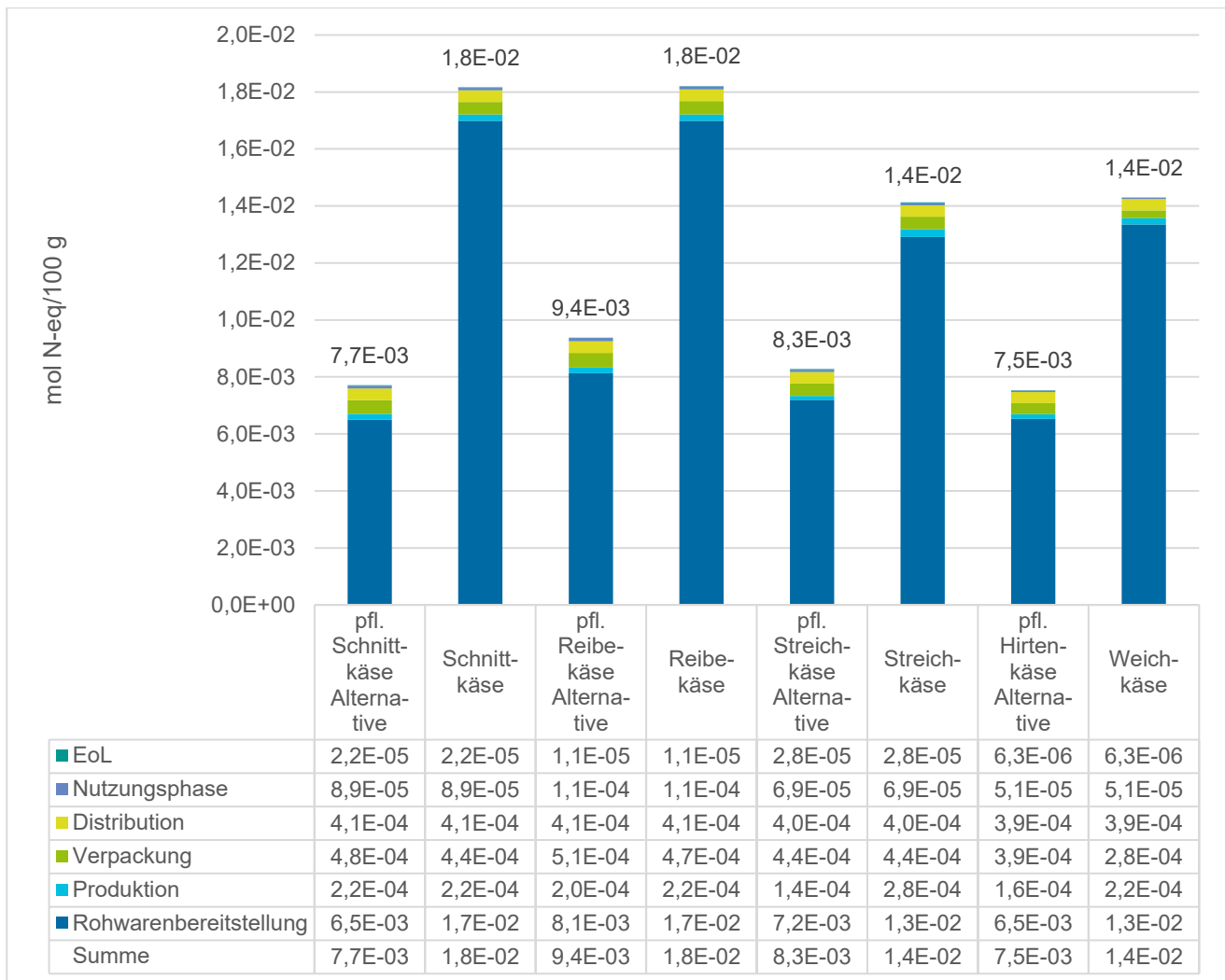
In den Lebenszyklusphasen Distribution, Nutzungsphase und EoL bestehen aufgrund der getroffenen Festlegungen (z.B. gleiche Verpackung, gleiche Verpackungsgröße) sowie Annahmen zur Distribution und Nutzungsphase keine Unterschiede zwischen pflanzenbasierten Käsealternativen und den kuhmilchbasierten Käseprodukten. Geringfügige Unterschiede in den Beiträgen der Verpackung zwischen milchbasiertem Käse und pflanzlicher Alternative sind auf die Verwendung einer Zwischenverpackung für die pflanzlichen Alternativen zurückzuführen.

4.3.3 Eutrophierungspotenzial

4.3.3.1 Terrestrisches Eutrophierungspotenzial

Die Beiträge zum terrestrischen Eutrophierungspotenzial der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-4 dargestellt.

Abbildung 4-4: terrestrisches Eutrophierungspotenzial, in mol N-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

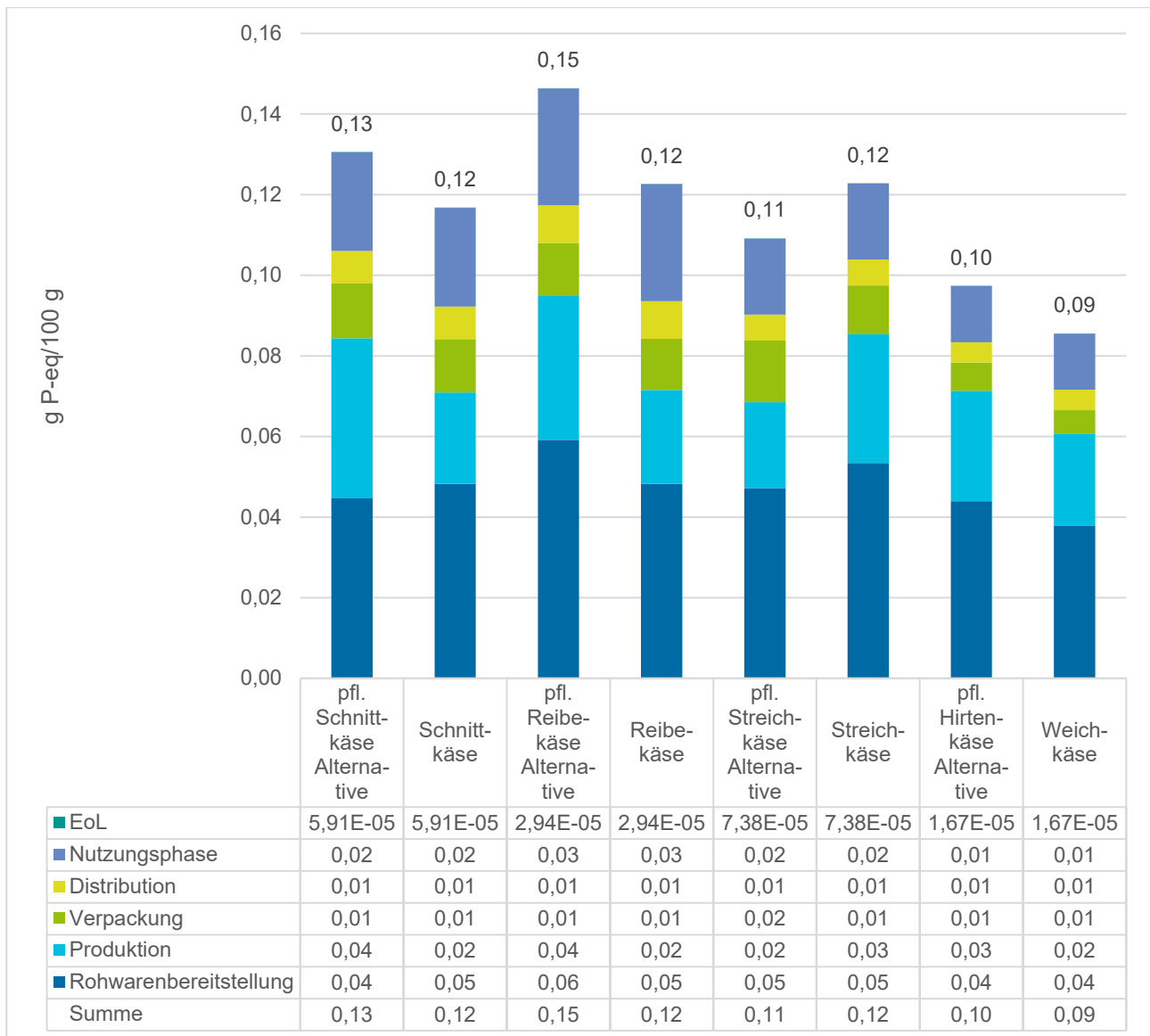
Wie aus Abbildung 4-4 hervorgeht, weisen die pflanzenbasierten Käsealternativen in der Wirkungskategorie terrestrisches Eutrophierungspotenzial ein signifikant niedrigeres Ergebnis auf als ihr jeweiliges milchbasiertes Pendant. Der Unterschied ist bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative mit einem rund 60 % geringeren Eutrophierungspotenzial am größten. Aber auch bei den übrigen pflanzlichen Käsealternativen sind die Werte um 40 – 50 % geringer als für das jeweilige kuhmilchbasierte Vergleichsprodukt. Über alle betrachteten Produktsysteme hinweg stammen die wichtigsten Beiträge aus der Rohwarenproduktion. Diese trägt bei den pflanzenbasierten Varianten 84 – 87 % zum Gesamtergebnis bei. Bei den milchbasierten Käseprodukten sind es sogar 92 – 94 %. Vergleichsentscheidend sind eindeutig die direkten Emissionen aus der Tierhaltung (Stall, Wirtschaftsdüngerlager, Weide/Auslauf). Diese wirken sich beim terrestrischen Eutrophierungspotenzial deutlich stärker aus als beim weiter unten beschriebenen marinen Eutrophierungspotenzial. Entscheidend relevant sind hier die in den betrachteten Wirkungsabschätzungsmodellen hinterlegten Charakterisierungsfaktoren. Insbesondere direkte Ammoniakemissionen in die Luft werden in der Wirkungskategorie terrestrische Eutrophierung deutlich stärker gewichtet als beim marinen Eutrophierungspotenzial und dem Süßwasser-Eutrophierungspotenzial.

Hauptsächlich sind bei den pflanzlichen Käsealternativen direkte Emissionen aus der Landwirtschaft und hier vor allem mit dem Einsatz von Düngemitteln verbundene direkte Nitrat- und Ammoniakemissionen im Zuge des Anbaus von Mandeln, Kokosnüssen und der Maniokwurzel aus Ausgangsprodukt für die Bereitstellung der Tapiokastärke. Darüber hinaus sind beim Mandelanbau noch die Emissionen im Zuge der Bereitstellung der Energie für die Bewässerung relevant. Hierin liegt auch die Begründung für die Unterschiede, die bei den verschiedenen pflanzlichen Käsealternativen festgestellt werden können. Je größer der Anteil mandelbasierter Rohstoffe an der Rezeptur der pflanzlichen Käsealternativen, desto größer ist der beschriebene Effekt.

4.3.3.2 Süßwasser-Eutrophierungspotenzial

Die Beiträge zum Süßwasser-Eutrophierungspotenzial der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-5 dargestellt.

Abbildung 4-5: Süßwasser-Eutrophierungspotenzial in g P-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der Wirkungskategorie Eutrophierung Süßwasser wurden für drei der pflanzenbasierten Käsealternativen höhere Wirkungsindikatorergebnisse abgeschätzt als für das jeweilige milchbasierte Pendant. Die Unterschiede liegen jedoch innerhalb der für diese Wirkungskategorie festgelegten Fehlerbandbreite, wonach Unterschiede $\leq 20\%$ als nicht signifikant anzusehen sind. Die pflanzenbasierten Streichkäsealternative hat mit 0,11 g P-eq/100 g Produkt sogar ein 11 % niedriges Eutrophierungspotenzial als das milchbasiertes Pendant. Mit 19 % ist der Unterschied des Süßwasser Eutrophierungspotenzials zwischen der pflanzenbasierten Reibekäsealternative und ihrem milchbasierten Referenzprodukt am größten. Die pflanzenbasierten Schnittkäsealternative und die Hirtenkäsealternative haben ein 12 und 14 % höheres Süßwasser Eutrophierungspotenzial.

Auch im Falle der Wirkungskategorie Süßwasser-Eutrophierungspotenzial sind die wichtigsten Beiträge zum Wirkungsindikatorergebnis auf die Rohwarenbereitstellung und die Produktion zurückzuführen. Beide Lebenszyklusphasen zusammen tragen mit 58 – 73 % zum Gesamtergebnis bei. Hauptursächlich sind bei den pflanzlichen Käsealternativen die Bereitstellung der benötigten

Energie zur Bewässerung der Mandeln bzw. die Bereitstellung der Treibstoffe und der Energieträger im Zuge des Anbaus auch der Agrarprodukte Kokosnüsse und der Maniokwurzel, als Ausgangsprodukt für die Bereitstellung der Tapiokastärke.

Hinzu kommt in diesem Fall, dass bei den pflanzenbasierten Käsealternativen in relevantem Umfang Produktionsausschüsse anfallen, die im Auftrag der E.V.A. GmbH an eine nahegelegene Biogasanlage überführt werden. Im Zuge der Umsetzung der Lebensmittelabfälle zu Biogas resultieren unter anderem auch eutrophierende Emissionen. Bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative und der pflanzenbasierten Hirtenkäsealternative sind die Produktionsausschüsse aufgrund gegenwärtig noch bestehender prozesstechnischer Herausforderungen beim optisch einwandfreien Schnitt der Produkte insgesamt am höchsten (vgl. Abschnitt 3.3.1). Die Behandlung der Produktionsausschüsse in der Biogasanlage trägt mit immerhin 3 bzw. 6 % zum Indikatorergebnis bei.

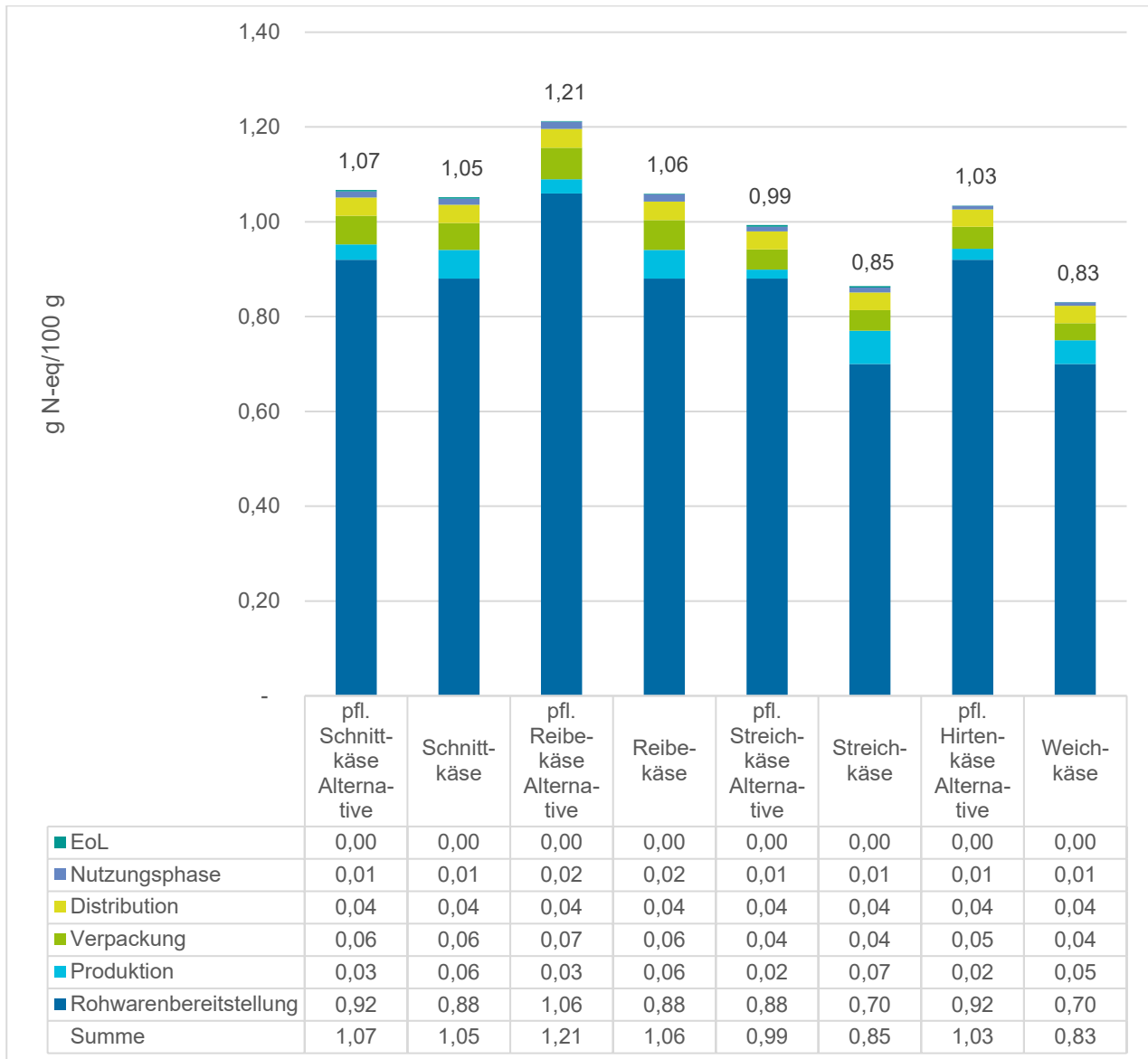
Bei den milchbasierten Käseprodukten trägt vor allem die Produktion und Bereitstellung der Rohmilch sowie in begrenztem Umfang auch der Stromverbrauch in der Produktion in relevantem Maße zum Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Süßwasser-Eutrophierungspotential bei. Hier ist anzumerken, dass direkte Ammoniakemission in die Luft, die einen wesentlichen Einfluss auf das terrestrische Eutrophierungspotenzial haben, in der Wirkungskategorie Süßwasser-Eutrophierungspotenzial nicht berücksichtigt werden.

In den Lebenszyklusphasen Verpackung, Distribution, Nutzungsphase und EoL haben die pflanzenbasierten Käsealternativen und ihr jeweiliges milchbasiertes Käse-Pendant, aufgrund der gleichen Verpackung, Verpackungsgrößen sowie Annahmen zur Distribution und Nutzungsphase jeweils die gleichen Emissionen. Anzumerken ist hier jedoch, dass die Beiträge aus der Nutzungsphase immerhin noch 14 – 24 % des Süßwasser-Eutrophierungspotentials der betrachteten Produktsysteme ausmachen, wobei hier vor allem der Strombedarf zum Kühlen der Produkte relevant ist.

4.3.3.3 Marines Eutrophierungspotenzial

Die Beiträge zum marinen Eutrophierungspotenzial der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-6 dargestellt.

Abbildung 4-6: Marines Eutrophierungspotenzial , in g N-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der Wirkungskategorie Eutrophierung Marin wurde für alle der pflanzenbasierten Käsealternativen geringfügig höhere Wirkungsindikatorergebnisse abgeschätzt als für das jeweilige milchbasierte Pendant. Jedoch ist der Unterschied zum kuhmilchbasierten Käse (+25%) nur für die pflanzliche Hirtenkäsealternative signifikant. Auch beim marinen Eutrophierungspotenzial ist vor allem die Rohwarenproduktion dominant. Sie trägt mit 82 – 89 % zum Gesamtergebnis des marinen Eutrophierungspotenzial der Produktsysteme bei. Bei den pflanzlichen Varianten sind vor allem die direkten Nitrat-Emissionen ins Wasser und Ammoniak-Emissionen in die Luft, die auf den Einsatz von Düngemitteln in den landwirtschaftlichen Vorketten der Agrarprodukte (Mandeln, Kokosnuss, Kartoffel und Tapioka).

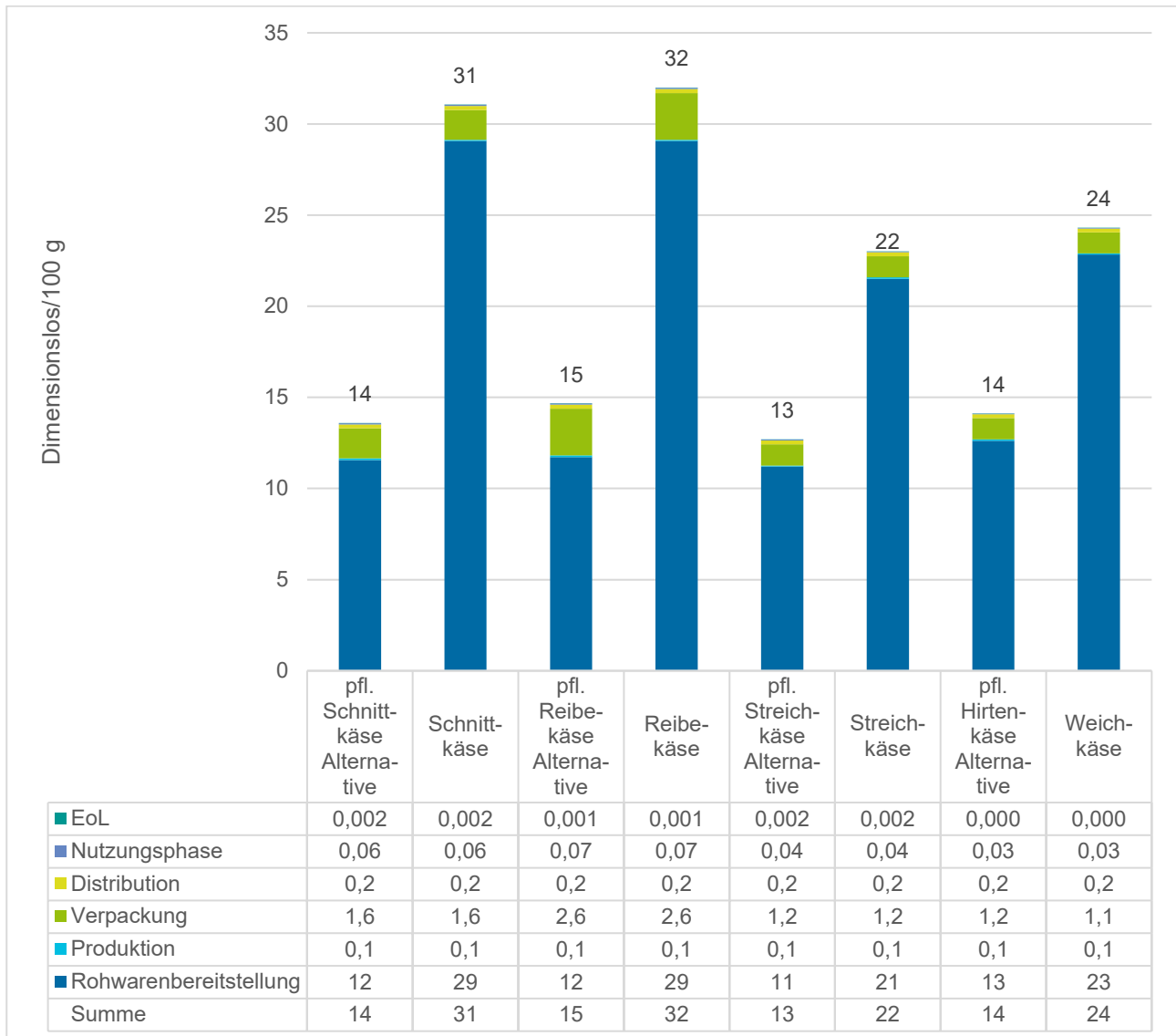
Beim Mandelanbau tragen zudem Emissionen durch die Bereitstellung der Energie für die Bewässerung zum Ergebnis bei. Dies wirkt sich zusätzlich negativ auf das Ergebnis aus und zeigt sich daran, dass die pflanzlichen Produkte mit hohem Mandelanteil ein höheres Wirkungsindikatorergebnis aufweisen als die pflanzliche Schnittkäsealternative, bei der Mandelanteil nur 1 % beträgt.

Bei den milchbasierten Käsevarianten ist der Großteil der Emissionen ebenfalls auf Beiträgen aus der Futtermittelbereitstellung und somit letztlich einmal mehr auf direkte Emissionen aus der Düngemittelanwendung zurückzuführen.

In der Gesamtschau fällt auf, dass die beiden Wirkungskategorien terrestrisches Eutrophierungspotenzial und marines Eutrophierungspotenzial zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, obwohl das Ergebnis in beiden Fällen auf einer Charakterisierung derselben eutrophierend wirkenden Stickstoffemissionen beruht. Grundsätzlich muss hier festgehalten werden, dass die beiden Wirkungskategorien unterschiedliche Einheiten haben, die Wirkungsindikatorergebnisse daher nicht direkt miteinander verglichen werden können. Betrachtet man jedoch das relative Verhältnis der Charakterisierungsfaktoren bestimmte relevanter Substanzen zum jeweiligen Äquivalenzwert, so zeigt sich, dass sich in vielen Fällen nur vergleichsweise geringe Unterschiede ergeben. Es zeigt sich jedoch auch, dass insbesondere direkte Ammoniakemissionen in die Luft beim terrestrischen Eutrophierungspotenzials mit einem deutlich höheren Charakterisierungsfaktor verrechnet werden als beim marinen Eutrophierungspotenzial.

4.3.4 Landnutzung

Abbildung 4-7: Landnutzungspotenzial, dimensionslos, pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der Wirkungskategorie Landnutzung haben die pflanzenbasierten Käsealternativen signifikant niedrigere Ergebnisse als ihr jeweiliges Referenzprodukt auf Kuhmilchbasis. Die pflanzenbasierte Schnittkäsealternative hat ein rund 56 % geringeres Landnutzungspotenzial als ihr milchbasiertes Pendant. Die pflanzenbasierte Reibekäsealternative verursacht eine rund 54 % geringere Landnutzung. Die pflanzenbasierten Hirtenkäse und Streichkäsealternativen haben eine 42 % geringere Landnutzung als ihr milchbasiertes Pendant.

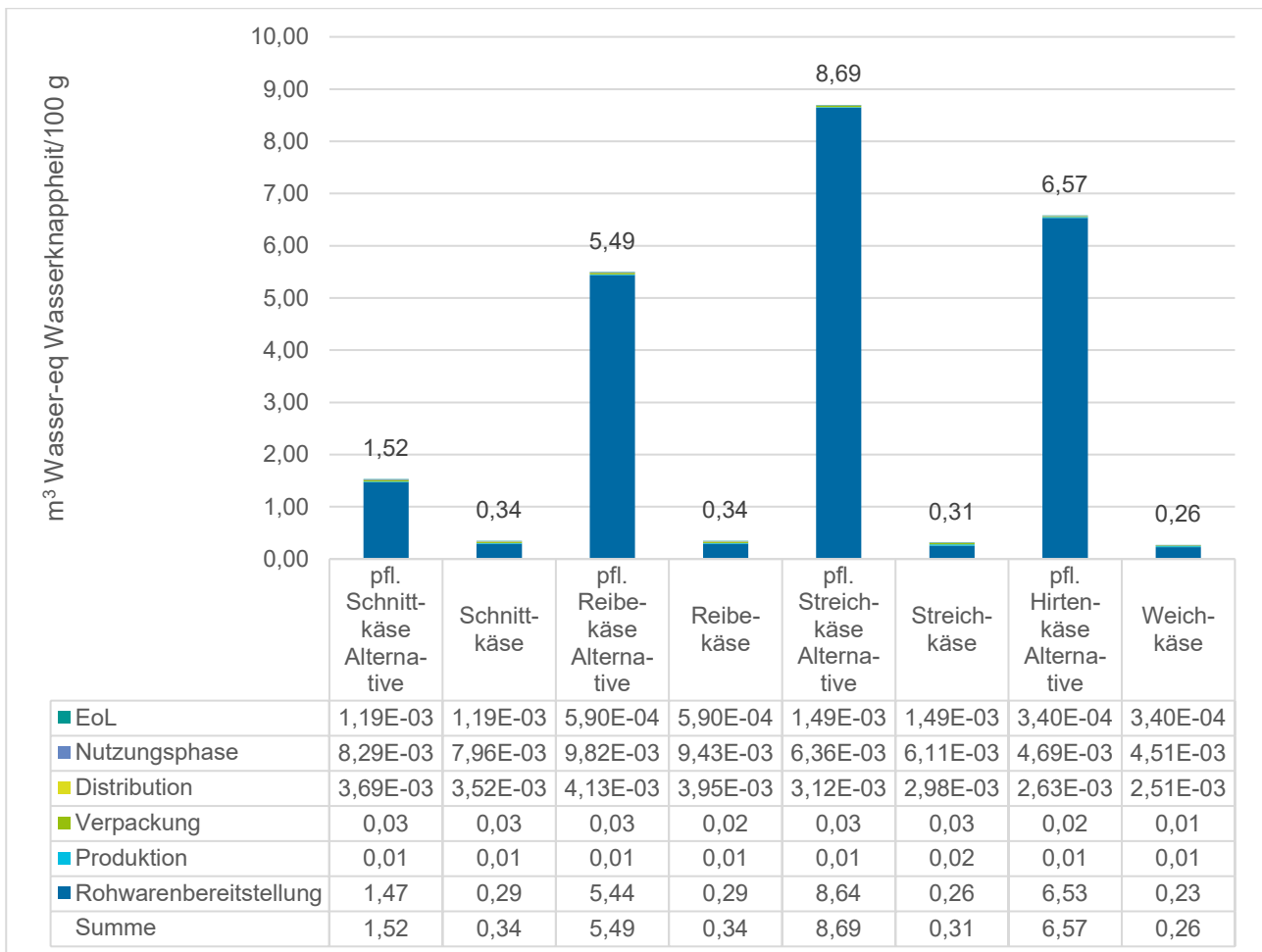
Bei den kuhmilchbasierten Käseprodukten trägt die Rohmilchproduktion über 90 % zum Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Landnutzung bei. Relevant sind hier vor allem die Beiträge aus der Produktion des Futtermittels der Kühe. Bei den pflanzenbasierten Käsealternativen gehen 79 – 89 % des Gesamtergebnisses auf die Rohwarenproduktion zurück. Hier tragen vor allem die vergleichsweise flächenintensiven Kulturen des Kokosnuss- und Mandelanbaus zum Wirkungsindikatorergebnis bei.

Die Verpackung trägt mit 5 – 18 % ebenfalls in relevanter Weise zum Ergebnis der Wirkungskategorie Landnutzung bei. Die im Wesentlichen auf biogenen Rohstoffen basierende Sekundärverpackung (Holz-Palette und die Karton-Trays) haben hier einen relevanten Einfluss.

In den Lebenszyklusphasen Verpackung, Distribution, Nutzungsphase und EoL bestehen aufgrund der getroffenen Festlegungen (z.B. gleiche Verpackung, gleiche Verpackungsgröße) sowie Annahmen zur Distribution und Nutzungsphase kaum Unterschiede zwischen pflanzenbasierten Käsealternativen und den milchbasierten Käsevarianten. Geringfügige Unterschiede in den Beiträgen der Verpackung zwischen milchbasiertem Käse und pflanzlicher Alternative sind auf die Verwendung einer Zwischenverpackung für die pflanzlichen Alternativen zurückzuführen.

4.3.5 Wasserinanspruchnahme

Abbildung 4-8: Wasserknappheitspotenzial in m³ Wasser-eq Wasserknappheit pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Beim Wirkungsindikator Wasserknappheitspotenzial haben die pflanzenbasierten Käsealternativen ein signifikant höheres Ergebnis als ihr jeweiliges Referenzprodukt bei den milchbasierten Käsevarianten. Den größten Unterschied gibt es bei der pflanzenbasierten Streichkäsealternative, welche eine rund 28-mal so hohe gewichtete Wassernutzung hat als ihr milchbasiertes Pendant. Den geringsten Unterschied gibt es bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative, welche aber

dennoch eine rund 4-mal so hohe gewichtete Wassernutzung aufweist. Bei der pflanzenbasierten Reibekäsealternative ist die gewichtete Wassernutzung 16-mal höher und bei der pflanzenbasierten Hirtenkäsealternative rund 25-mal so hoch wie beim kuhmilchbasierten Produkt.

Bei den pflanzenbasierten Käsealternativen macht die Rohwarenbereitstellung > 96 % des Wassernutzungspotential aus. Besonders die Mandelproduktion dominiert mit 35 – 95 % des Gesamtergebnisses die Wassernutzung. Ebenfalls noch relevant für das Wirkungsindikatorergebnis ist bei den pflanzlichen Käsealternativen, neben der Mandelproduktion, mit deutlichem Abstand die Kokosnussproduktion.

Die Höhe des Ergebnisses ist bei den pflanzenbasierten Käsealternativen abhängig von der Menge an verarbeiteter Mandelpaste oder Mandelmehl. Die pflanzenbasierte Schnittkäsealternative hat mit einem Anteil von 1 % den geringsten Anteil an der Mandelpaste in ihrer Rezeptur, was sich positiv auf das Ergebnis bei der Wassernutzung auswirkt. Die pflanzenbasierte Streichkäsealternative hat mit knapp 18 % Rezepturanteil den höchsten Anteil an Mandelpaste und hat mit über 44 m³ Wasser-eq entsprechend das mit Abstand höchste Wasserknappheitspotenzial.

Für die Modellierung der Mandelproduktion wurden, wie in Abschnitt 3.1.1.1 diskutiert, Spezifizierungen vorgenommen. Für das Wirkungsindikatorergebnis zur Wasserentnahme ist insbesondere relevant, dass die Kritikalität der Wasseranspruchnahme mit den für das Central Valley abgeleiteten AWARE-Faktoren verknüpft wird. Für die drei in der Studie von Marvinney und Kendall (2021a) beschriebenen Mandelanbaugebiete wurden zunächst die zugehörigen AWARE-Faktoren zusammengestellt, um dann auf Basis des jeweiligen Anteils am Anbaugbiet einen gewichteten Mittelwert für das Anbaugebieten im Central Valley zu ermitteln (Tabelle 4-4). Im Ökobilanzmodell wird für die Wasseranspruchnahme der Elementarfluss mit einem Charakterisierungsfaktor von 77,5 berücksichtigt. Dieser Charakterisierungsfaktor stellt einen Mittelwert dar, der auf Basis der jeweiligen Anbauflächen berechnet. Die AWARE-Faktoren stammen aus einem Google Earth Add-on von Wulca (2019). Tabelle 4-4 stellt die AWARE-Faktoren der drei Anbauregionen und den gewichtete Mittelwert in Prozent dar.

Tabelle 4-4: Regionsspezifische AWARE-Faktoren für das Central Valley (USA)

Region	AWARE Faktor [m ³ /m ³]	Anteil am Anbaugbiet
Sacramento Valley	70,9	17%
San Joaquin Valley	70,9	45%
Tulare Lake	88,0	38%
Mittelwert	77,5	100%

Quelle: Eigene Darstellung (Marvinney und Kendall 2021a; Wulca 2019)

Der Mittelwert des AWARE-Faktors für landwirtschaftliche Flächen der drei Regionen ist rund doppelt so hoch wie der AWARE-Faktor, der im ecoinvent Datensatz „almond production [US] für die Mandelproduktion in den USA.

Bei den kuhmilchbasierten Käsevarianten trägt die Rohwarenbereitstellung 75 – 85 % zum Ergebnis des Wirkungsindikatorergebnisses bei. Insbesondere die Produktion der Futtermittel für die Kühe ist für einen Großteil des rohwarenbedingten Ergebnisses verantwortlich. Bei genauerem Blick auf die

Futtermittelbereitstellung zeigt sich, dass insbesondere die Produktion des Kraftfutters von relevantem Einfluss ist. Die Futtermittelzusammensetzung ist aus Antony et al. (2021) übernommen und dort sowohl in Hinblick auf physiologische Aspekte als auch in Hinblick auf die potenziellen Umweltwirkungen ausführlich diskutiert. Während für die Modellierung angenommen wird, dass das in Deutschland angebaute Grundfutter keiner zusätzlichen Bewässerung bedarf, enthält das Kraftfutter auch Futtermittelbestandteile, für die in den zugrundeliegenden ecoinvent Datensätze eine künstliche Bewässerung angenommen wird. Ergänzend und zur besseren Nachvollziehbarkeit des Ergebnisses ist die Zusammensetzung für konventionelles und ökologisches Kraftfutter in Anhang VIII dokumentiert. In den ecoinvent Datensätzen werden für die AWARE-Faktoren standardmäßig der Wasser-Elementarfluss „unbekannte Region“ verwendet. Dieser weist einen Charakterisierungsfaktor von 42,95 auf²³. Allerdings ist dieser Wert und das daraus abgeleitete Ergebnis als grober Orientierungswert anzusehen, da die tatsächliche Kritikalität der Wasserinanspruchnahme eine große Bandbreite aufweist. Dies wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass für die Wasserinanspruchnahme in Deutschland ein niedriger Charakterisierungsfaktor von 1,36 angenommen wird, während die äquivalente Wasserinanspruchnahme in der Mandelanbauregion Tullare Lake mit dem Faktor 88,0 verrechnet würde.

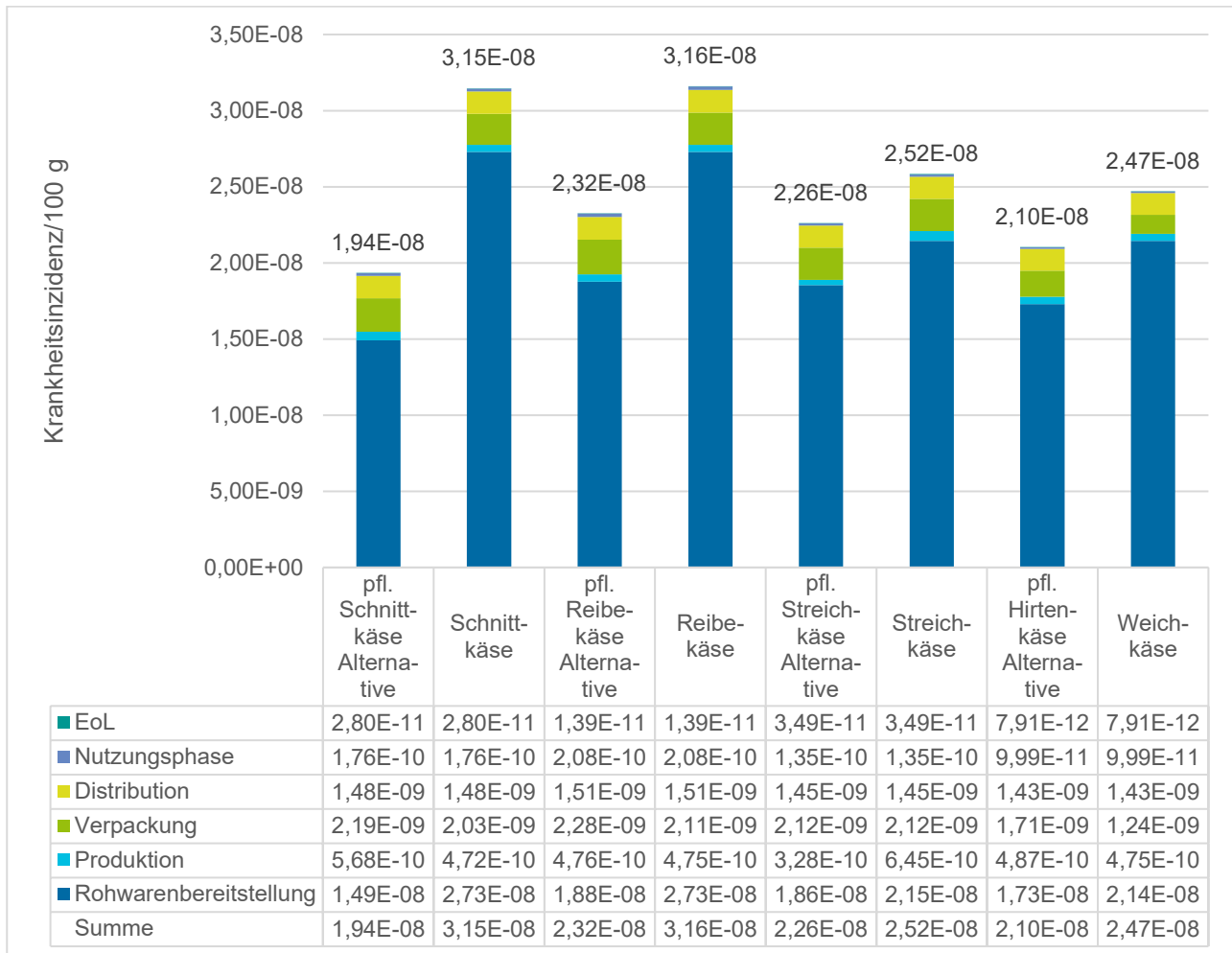
Vor dem Hintergrund der bestehenden erheblichen Unsicherheiten und Bandbreiten im Zuge der Abschätzung der Wirkungskategorie Wasserinanspruchnahme wurden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Das Ergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen ist stark abhängig von dem angepassten AWARE-Faktor aus den Anbaugebieten. Um dieses Ergebnis zu kontextualisieren, wurde eine Sensitivitätsanalyse zur Modellierung des Mandelanbaus durchgeführt, bei der die Mandelproduktion mit dem unveränderten ecoinvent Datensatz modelliert wurde. (vgl. Abschnitt 4.4.1). Zudem wurde eine Darstellung der unbewerteten Wasserinanspruchnahme ergänzt, bei der die anfallenden Wasserflüsse einheitlicher mit dem Charakterisierungsfaktor 1 verrechnet werden (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Die Lebenszyklusphasen Verpackung, Distribution, Nutzungsphase und EoL sind von nachrangiger Bedeutung für das Wirkungsindikatorergebnis. Zudem bestehen aufgrund der getroffenen Festlegungen (z.B. gleiche Verpackung, gleiche Verpackungsgröße) sowie einheitliche Annahmen zur Distribution und Nutzungsphase diesbezüglich keine Unterschiede zwischen pflanzenbasierten Käsealternativen und den milchbasierten Käseprodukten.

²³ Bei der Implementierung des ecoinvent Datensatzes market for soybean, feed | soybean, feed | APOS, S - GLO in die LCA-Software openLCA wird, wie im Text beschrieben der AWARE-Charakterisierungsfaktor 42,95 genutzt. Es sei an dieser Stelle drauf verwiesen, dass damit die Wasserknappheit in einigen Sojaanbauregionen (z.B. Corn Belt in den USA) potenziell überschätzt wird, ohne dass sich dadurch die grundlegende Ergebnisaussage ändern würde.

4.3.6 Feinstaub

Abbildung 4-9: Feinstaub in Krankheitsinzidenzen je 100 g Produkt



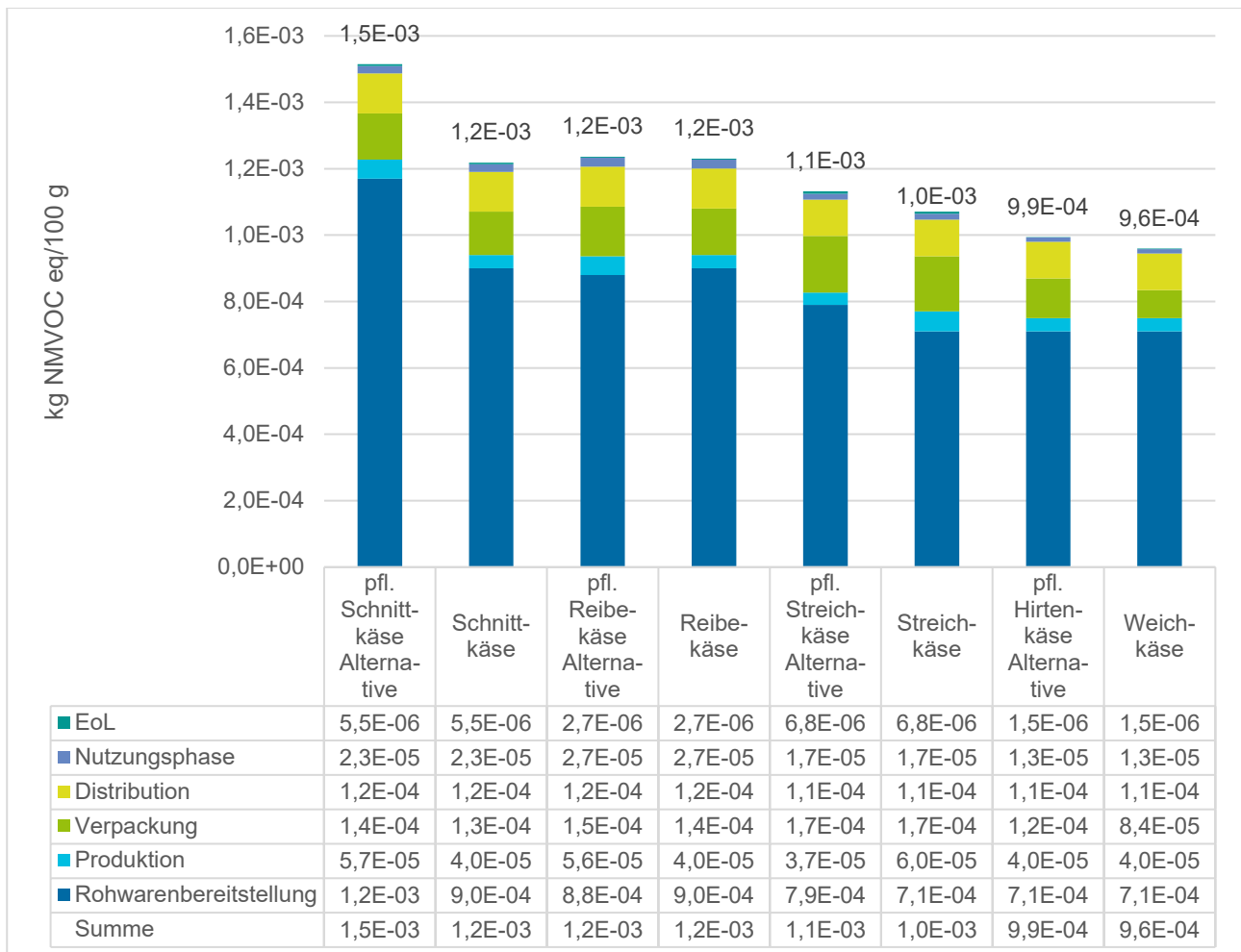
Quelle: Eigene Darstellung

Beim Vergleich des Feinstaubes in Krankheitsinzidenzen je 100 g Produkt fällt auf, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen immer niedriger abschneiden als die milchbasierten Käsealternativen. Wobei einzig der Unterschied der pflanzenbasierten Schnittkäse und Reibekäse zu ihren milchbasierten Pendant signifikant ist. Der Unterschied zwischen den beiden anderen Varianten ist nicht signifikant.

Bei allen Varianten macht die Rohwarenbereitstellung 57 – 77 % des Feinstaub Ergebnisses aus. Bei den milchbasierten Käsealternativen wirkt sich besonders die Haltung und Züchtung von Milchkühen negativ auf den Feinstaub aus. Bei den pflanzenbasierten Käsealternativen macht die Mandelproduktion 5 – 65 % des Feinstaubes der Varianten aus.

4.3.7 Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit

Abbildung 4-10: Fotochemische Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit, in kg NMVOC-eq pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Fotochemischen Bildung von Ozon zeigen die in der vorliegenden Studie berechneten Wirkungsindikatorergebnisse kein einheitliches Bild. In zwei Fällen wurde für die pflanzenbasierten Käsealternativen ein höheres, einmal ein niedrigeres und einmal ein gleichhohes Potenzial abgeschätzt. Jedoch ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen der tierischen und der pflanzlichen Produkte in keinem Fall signifikant. Auch beim Wirkungsindikator Fotochemische Bildung von Ozon ist die Rohwarenbereitstellung dominieren, wen auch nicht so stark wie bei anderen Wirkungsindikatoren. Dennoch trägt Rohwarenbereitstellung 60 – 75 % zum Ergebnis bei. Bei den pflanzlichen Käsealternativen gehen relevante Emissionen vor allem auf die Bereits der Tapiokastärke zurück. Bei den kuhmilchbasierten Produkten tragen direkte Emissionen aus der Bereitstellung von Energieträgern und N-Düngern für die Futtermittelbereitstellung sowie die direkten Methanemissionen aus der Tierhaltung in relevantem Umfang zum Ergebnis bei. Ursächlich sind hier vor allem die Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung. Immerhin noch nennenswerte Beiträge gehen auf die bei tierischen und pflanzlichen Produkten jeweils identisch modellierten Verpackungen (v.a. Sekundärverpackung aus Karton) und den Kühltransport der fertigen Lebensmittel zurück.

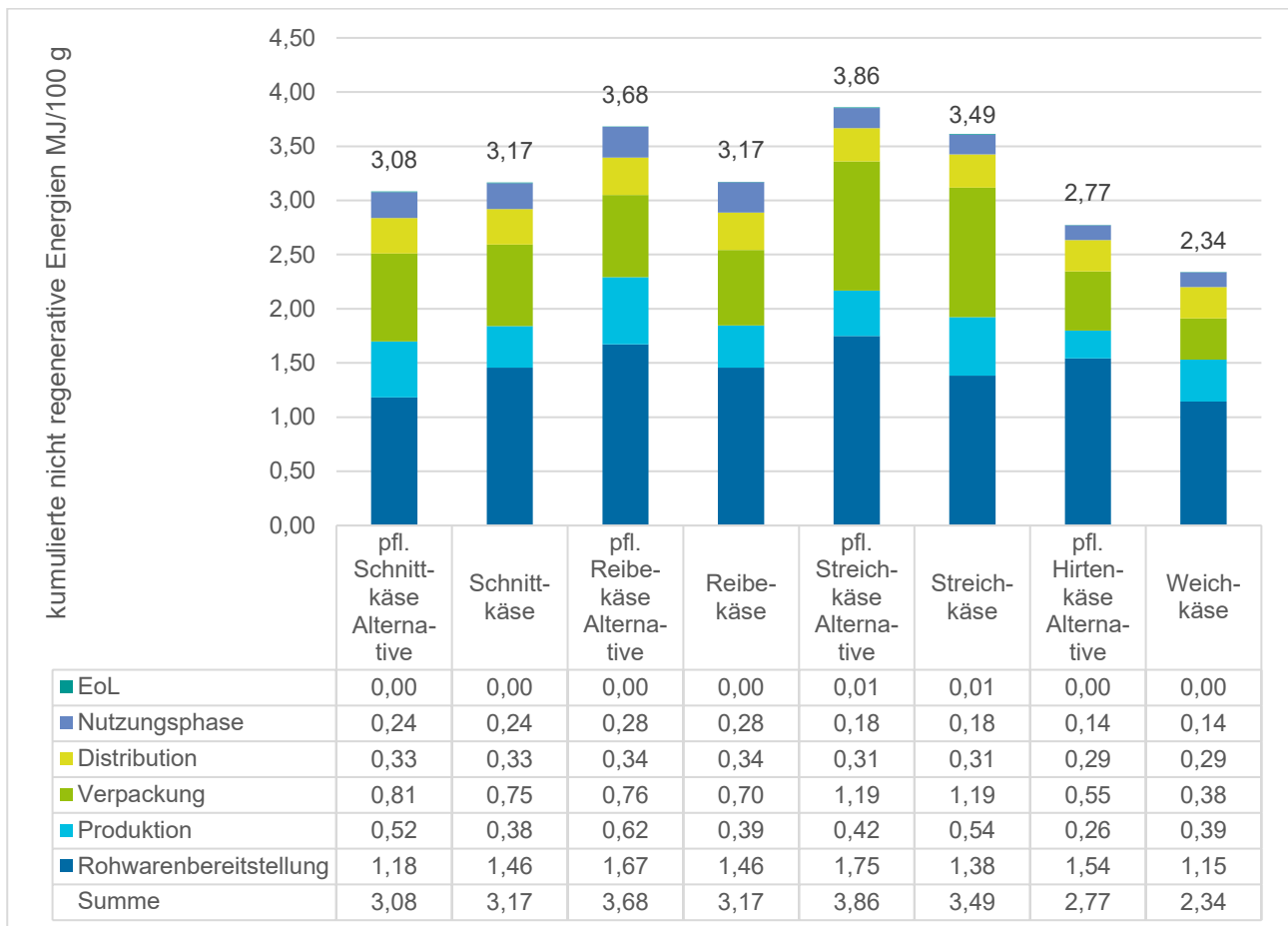
4.3.8 Kumulierter Energieaufwand

Teil der Auswertung sind auch die Sachbilanzparameter $KEA_{\text{regenerativ}}$ und $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$.

4.3.8.1 Kumulierter Energieaufwand, nicht regenerativ

Die Beiträge zum kumulierten, nicht regenerativen Energieaufwand der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-11 dargestellt.

Abbildung 4-11: Kumulierter Energieaufwand, nicht regenerativ in MJ pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Der Unterschied zwischen Schnittkäse und Schnittkäsealternative ist nicht signifikant. Die restlichen Unterschiede, bei denen die milchbasierten Käse ein niedrigeres Ergebnis erzielen, sind signifikant.

Wichtige Beiträge zum Gesamtergebnis stammen aus der Rohwarenbereitstellung und der Produktion, die zusammengefasst rund 50 – 65 % des nicht regenerativen kumulierten Energieaufwand ($KEA_{\text{nicht regenerativ}}$) verursachen.

Die pflanzenbasierten Käsealternativen weisen in drei von vier Fällen einen höheren $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$, auf als die kuhmilchbasierten Vergleichsprodukte. Lediglich die pflanzenbasierte Schnittkäsealternative weist einen mit dem kuhmilchbasierten Schnittkäse vergleichbaren $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$, auf. Dies wiederum ist hauptsächlich auf den im Quervergleich sehr niedrigeren Mandelanteil in der Rezeptur der pflanzlichen Schnittkäsealternative zurückzuführen. Die Beiträge

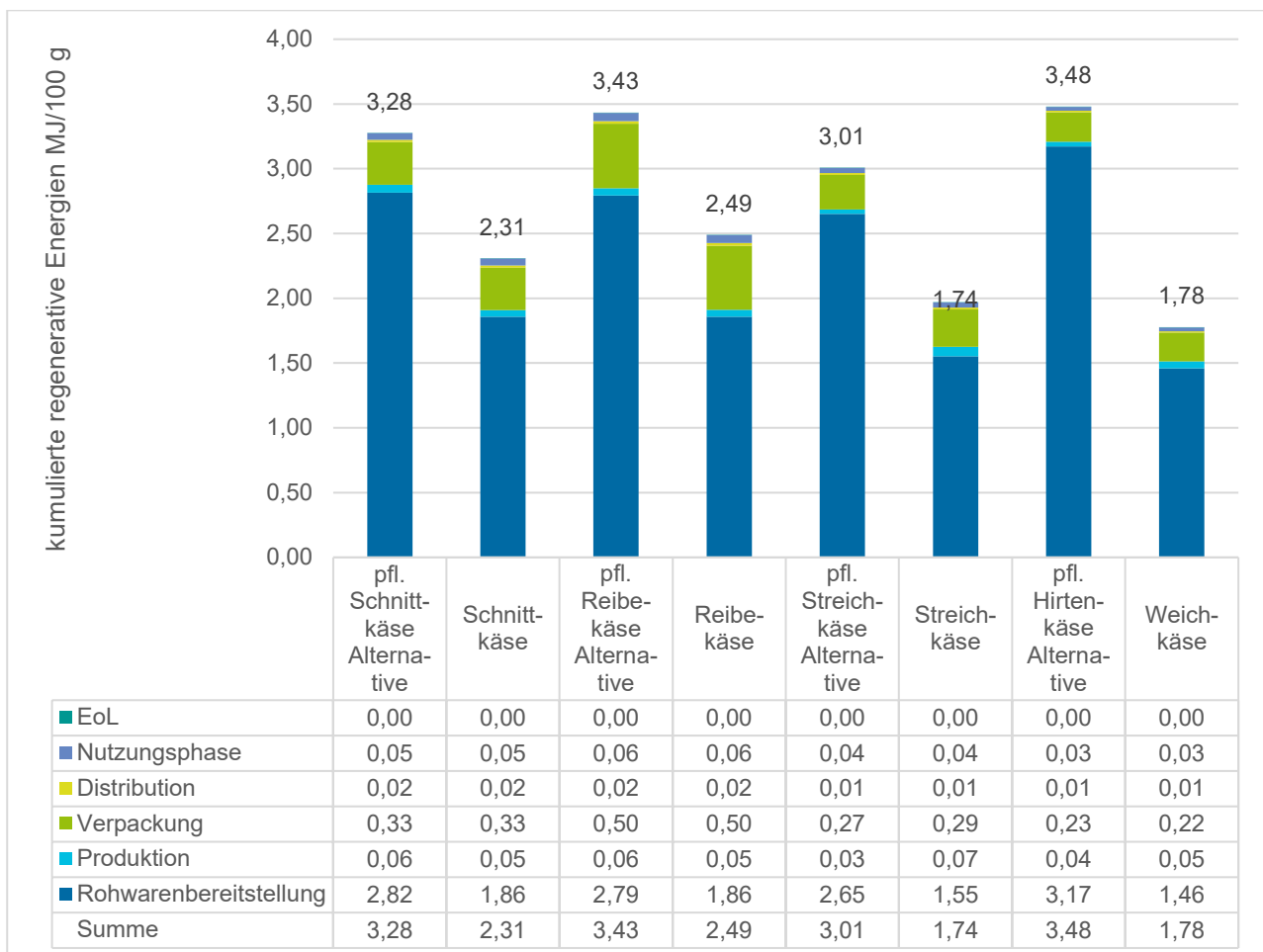
aus dem Mandelanbau sind wesentlicher Treiber des Ergebnisses beim KEA_{nicht regenerativ}. Insbesondere der Bedarf an Diesel für den Betrieb der Bewässerungspumpen trägt hier in relevanter Form zum Ergebnis bei.

Bei den milchbasierten Käseprodukten sind vor allem die Beiträge aus der Futtermittlerebereitstellung für die Rinder und hier wiederum vor allem die dabei eingesetzten fossilen Treibstoffe relevant.

4.3.8.2 Kumulierter Energieaufwand, regenerativ

Die Beiträge zum kumulierten, regenerativen Energieaufwand der betrachteten Produktsysteme sind in Abbildung 4-12 dargestellt.

Abbildung 4-12: Kumulierter Energieaufwand, regenerativ in MJ pro 100g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Die pflanzenbasierten Käsealternativen weisen bei allen vier Varianten ein signifikant höheren regenerativen kumulierten Energieaufwand (KEA_{regenerativ}) auf.

Auch hier ist mit Beiträgen von 75 – 90 % die Rohwarenproduktion für den Großteil des KEA_{regenerativ} entscheidend. Das bei den pflanzlichen Käsealternativen höhere Gesamtergebnis wird ganz wesentlich durch die vergleichsweise höheren Beiträge aus der Rohwarenbereitstellung bestimmt. Von hohem Einfluss auf das Ergebnis der pflanzlichen Käsealternativen ist insbesondere die regenerative Energie aus Biomasse bei der Produktion von Kokosöl (42 – 65 %) und dem

Mandelanbau (3 – 48 %). Die in der Biomasse gebundene regenerative Energie treibt die Ergebnisse der Rohwarenbereitstellung und ist allein für 72 – 85 % des Gesamtergebnisses beim KEA_{regenerativ} verantwortlich.

Bei den milchbasierten Käsevarianten wirkt sich die Produktion des Milchleistungsfutters und hier wiederum, wie schon bei den pflanzlichen Alternativen, die in der Biomasse jeweils gebundene regenerative Energie auf das Ergebnis aus. Bei sowohl den pflanzenbasierten und milchbasierten Käsevarianten macht die in Biomasse gebundene erneuerbare Energie 90 – 97 % des KEA_{regenerativ} aus.

4.4 Sensitivitätsanalysen

Im Zuge der Beitragsanalyse in Abschnitt 4.3 wurden die besonders relevanten Prozesse bzw. Stoffflüsse identifiziert. Da diese Prozesse und Stoffflüsse die Ergebnisse bei den verschiedenen ausgewerteten Umweltwirkungsindikatoren deutlich beeinflussen, werden sie im Zuge der nachfolgend dargestellten Sensitivitätsanalysen noch einmal vertiefend untersucht und die Abweichung der Ergebnisse bei veränderten Annahmen und Randbedingungen geprüft.

Einen Überblick über die verschiedenen durchgeführten Sensitivitätsanalysen Tabelle 4-5.

Tabelle 4-5: Überblick zu den durchgeführten Sensitivitätsanalysen

Bezeichnung	Variation gegenüber dem Basisszenario	Beschreibung in Abschnitt
Mandelproduktion I	Keine Anpassung des Datensatzes zur Mandelproduktion	4.4.1
Mandelproduktion II	Variation der Produktionssysteme (ökologische Produktion; Produktion in Europa)	4.4.2
Wasserinanspruchnahme	Wirkungsabschätzung der nicht nach Kritikalität gewichteten Wasserinanspruchnahme nach ReCiPe2018	4.4.3
Biogasproduktion	Alternative Annahmen zur Biogasausbeute bei der Behandlung von Produktionsausschüssen	4.4.4
Reduzierter Produktionsausschuss	Reduktion der Ausschussmengen um 50% bzw. 90% gegenüber dem Basisszenario	4.4.5
Rohmilchproduktion	Variation der Eingangsdatensätze zur Rohmilchproduktion	4.4.6
Öko-Strom in der Produktion der E.V.A. GmbH	Berücksichtigung eines Öko-Stromdatensatzes für den Einsatz erneuerbarer Energien in der Produktion von ‚Simply V‘-Produkten	4.4.7

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V.

4.4.1 Sensitivitätsanalyse: Mandelproduktion I: Modellierung mit unverändertem ecoinvent-Datensatz „almond production - US“

Im Einklang mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie wird im Basis-szenario die Mandelproduktion auf Basis des ecoinvent Datensatzes „almond production - US“ modelliert, der jedoch auf Basis neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse zum Mandelanbau adaptiert wurde (Marvinney und Kendall 2021b). Diese Adaptionen betreffen den berücksichtigten Bedarf an Bewässerung und vor allem den gestiegenen Energiebedarf für die Bewässerung. Ebenso

spezifiziert wurden die Einschätzung der Kritikalität der Wasserentnahme in dem von Trockenheit und Wassermangel geprägten Anbauggebiet (vgl. Abschnitt 3.1.1 und Abschnitt 3.1.2).

In Summe haben die vorgenommenen Spezifizierungen signifikante Auswirkungen auf das Ergebnis der pflanzlichen Käsealternativen. Um die Tragweite der bezüglich der Mandelproduktion getroffenen Annahmen besser kontextualisieren zu können, wurde im Zuge einer Sensitivitätsanalyse untersucht, wie sich das Ergebnis der pflanzlichen Käsealternativen darstellt, wenn die Mandelproduktion auf Basis des unveränderten ecoinvent Datensatzes „almond production - US“ modelliert wird. Anzumerken ist, dass lediglich der Prozess der Mandelproduktion gegenüber dem Basisszenario verändert wurde - die weiteren Prozessschritte der Produktion der Mandelpaste und auch der pflanzenbasierten Käsealternativen bleibt gegenüber dem Basisszenario gleich.

Tabelle 4-6: Sensitivitätsanalyse Mandelproduktion pro 100 g Produkt

	pflanzliche Schnittkäsealternative, geschnitten - Basis	pflanzliche Schnittkäsealternative, geschnitten - Sensi. Mandelproduktion	pflanzliche Reibekäsealternative - Basis	pflanzliche Reibekäsealternative - Sensi. Mandelproduktion	pflanzliche Streichkäsealternative - Basis	pflanzliche Streichkäsealternative - Sensi. Mandelproduktion	pflanzliche Hirtenkäsealternative - Basis	pflanzliche Hirtenkäsealternative - Sensi. Mandelproduktion	Einheit
Klimawandel insgesamt	0,25	0,25	0,25	0,22	0,22	0,18	0,19	0,16	kg CO₂-eq/ 100 g
Wassernutzung	1,5	1,2	5,5	3,1	8,7	4,5	6,6	3,6	m³ Wasser-eq Wasserknappheit/100 g

Quelle: Eigene Darstellung

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse Mandelproduktion ist Tabelle 4-6 zu entnehmen. Bei dieser Sensitivitätsanalyse werden die beiden Wirkungsindikatorergebnisse Treibhauspotenzial und die Wasserinanspruchnahme ausgewiesen. Auf die übrigen in der vorliegenden Studie betrachteten Wirkungsindikatoren haben die Änderungen keinen relevanten Einfluss. Es bestehen also kaum oder allenfalls vernachlässigbare Unterschiede zwischen dem Ergebnis im Basis-Szenario und der Sensitivitätsanalyse.

Erwartungsgemäß wirkt sich eine Änderung bei der Modellierung der Mandelproduktion bei denjenigen pflanzenbasierten Käsealternativen am deutlichsten aus, bei deren Rezeptur größere Anteile an Mandeln enthalten sind. So sinkt beispielsweise das Treibhauspotential der pflanzenbasierten Streichkäsealternative um 20 % gegenüber dem Basisszenario, bei der pflanzenbasierten Hirtenkäsealternative sind es 16 %, bei der pflanzenbasierten Reibekäsealternative sind es 10 % und bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative lediglich 1 %.

Der größte Unterschied gegenüber dem Ergebnis im Basisszenario ergibt sich wenig überraschend bei der Wirkungskategorie Wasserinanspruchnahme. Wiederum ist der zu betrachtende Unterschied bei den Ergebnissen des Basisszenarios und der Sensitivitätsanalyse größer, je höher der Anteil mandelbasierter Rohwaren an der Rezeptur der pflanzenbasierten Käsealternativen ist. Den größten Unterschied gibt es mit 48 % bei der pflanzenbasierten Streichkäsealternative. Da sich die absoluten Mengen an Wasser für die künstliche Bewässerung zwischen Basisszenario und Sensitivitätsanalyse kaum unterscheidet, wird das Indikatorergebnis im Wesentlichen von der angepassten Beurteilung der Kritikalität der Wasserentnahme bestimmt. Wie zu erwarten war, liegt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse um etwa 20-45% niedriger als das Ergebnis des Basisszenarios.

Der Wasserbedarf für die künstliche Bewässerung wurde anhand von regionsspezifischen Elementarflüssen bilanziert. In dem unveränderten ecoinvent Datensatz der Mandelproduktion wird der Region USA ein AWARE-Charakterisierungsfaktor von 33,84 m³/m³ Wasser zugewiesen. Allerdings unterscheidet sich der AWARE-Faktor in den gesamten USA, je nach Region, höchst signifikant. In den von Trockenheit gestressten Mandelanbaugebieten im Central Valley in Kalifornien werden teilweise 2–3-mal höhere AWARE-Faktoren angenommen. Im Basisszenario wurde ein gewichteter Mittelwert der drei beschriebenen Anbaugebiete von 77,5 m³/m³ Wasser angenommen. Aufgrund des deutlichen Unterschieds der AWARE-Faktoren erscheint es problematisch, einen nicht an die höheren AWARE-Faktoren angepassten Datensatz, wie in dieser Sensitivitätsanalyse gezeigt, für die Mandelproduktion zu verwenden.

4.4.2 Sensitivitätsanalyse: Mandelproduktion II: Ökologische Mandelproduktion in Spanien

Auf Mandeln basierende Zutaten sind ein zentrales Merkmal der ‚Simply V‘-Produkte und stellen eine wesentliche Proteinquelle der in dieser Studie betrachteten, pflanzlichen Käsealternativen dar. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse der Beitragsanalyse, dass der Mandelanbau von hoher Relevanz für die Ergebnisse der Ökobilanz der pflanzlichen Käsealternativen ist. Derzeit bezieht das Unternehmen ausschließlich Rohwaren, bei denen die Mandeln aus Anbausystemen in Kalifornien stammen. Nicht zuletzt aufgrund der in dieser Studie abgeschätzten potenziellen Umweltwirkungen, die mit einem Mandelanbau in Kalifornien verbunden sein können, zieht das Unternehmen in Betracht, zukünftig auch Mandelprodukte aus anderen Anbaugebieten zu beziehen. Als potenziell geeignet stellt sich hier aus Sicht des Unternehmens unter anderem der Mandelanbau in Spanien dar, welches weltweit die größten Mandelanbauflächen aufweist. Gleichzeitig liegt Spanien bezogen auf die Produktionsmengen nur an dritter Stelle und deutlich hinter dem mit 75 % die Weltmarktproduktion dominierenden Mandelanbau in Kalifornien (IAAS 2021).

Der größte Anteil der Mandelanbauflächen Spaniens liegt in Gebieten mit noch günstigen Jahresdurchschnittsniederschlägen. Das in den spanischen Mandelanbaugebieten typische Produktionssystem ist durch allein von Regenwasser bewässerten Plantagen mit einer gegenüber dem Anbau in Kalifornien deutlich geringerer Baumdicke pro Hektar gekennzeichnet. Eine künstliche Bewässerung der Plantage findet demnach üblicherweise nicht statt (IAAS 2021). Gleichzeitig fallen auch die Hektarerträge im Vergleich zu den deutlichen intensiver bewirtschafteten Mandelplantagen in den USA deutlich niedriger aus. In der jüngeren Vergangenheit scheint sich im Mandelanbau in Spanien ein Trend dahingehend abzuzeichnen, dass der Anteil der künstlich bewässerten Mandelplantagen steigt und dass dies mit deutlichen Ertragssteigerungen pro Hektar Anbaufläche verbunden ist (almendrave 2023).

Im Zuge dieser Sensitivitätsanalyse wurde auf Informationen aus aktueller Literatur zum Mandelanbau aufgebaut, bei der ökologische Mandelproduktionssysteme in Spanien untersucht wurden, welche allein über Regenwasser bewässert werden (Martin-Gorriz et al. 2020). Aufgrund der ökologischen Wirtschaftsweise zeichnen sich diese Anbausysteme zudem durch den Verzicht auf künstliche Dünger Pestizide aus.

Die Studie von Martin-Gorriz et al. (2020) beschränkt sich ausschließlich auf die Abschätzung des Treibhauspotenzials des Mandelanbaus. Weitere Wirkungskategorien werden dort nicht berücksichtigt. Das Treibhauspotenzial wurde gemäß den (IPCC 2013a) abgeschätzt, wobei jedoch keine Aussagen zu etwaig berücksichtigten Landnutzungsänderung getroffen wurden. Ebenso wurde die Aufzuchtphase der Mandelbäume nicht berücksichtigt. Aufgrund der Unterschiede bei der Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen und der Aufzuchtphase ist der Quervergleich der Ergebnisse von Martin-Gorriz et al. (2020) mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie als grobe Orientierung anzusehen. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu berücksichtigen.

In der Studie von Martin-Gorriz et al. (2020) werden auf zwei ausschließlich regengespeisten Mandelfarmen (A und B) verschiedene Bodenbearbeitungssysteme miteinander verglichen. Die Mandelfarmen liegen im Südwesten Spaniens in der Region Murcia. Die Produktionsdaten wurden über einen Zeitraum von 10 bzw. 7 Jahren auf den Plantagen erhoben. Die im Zuge der Sensitivitätsanalyse genutzten Daten können Tabelle 4-7 entnommen werden.

Tabelle 4-7: Mandelerträge in kg pro Hektar und Treibhauspotenzial pro kg ungeschälte Mandel

	Regengespeist A	Regengespeist B	Basisszenario	Regengespeist (Ø Spanien)
kg Mandeln/ha/Jahr	321	40	3100	400
Treibhauspotenzial kg CO ₂ -eq/kg Mandeln	0,42	2,65	1,12	-
m ³ Wasser-eq Wasserknappheit/kg Mandeln	-	-	209	-

Quelle: Eigene Darstellung

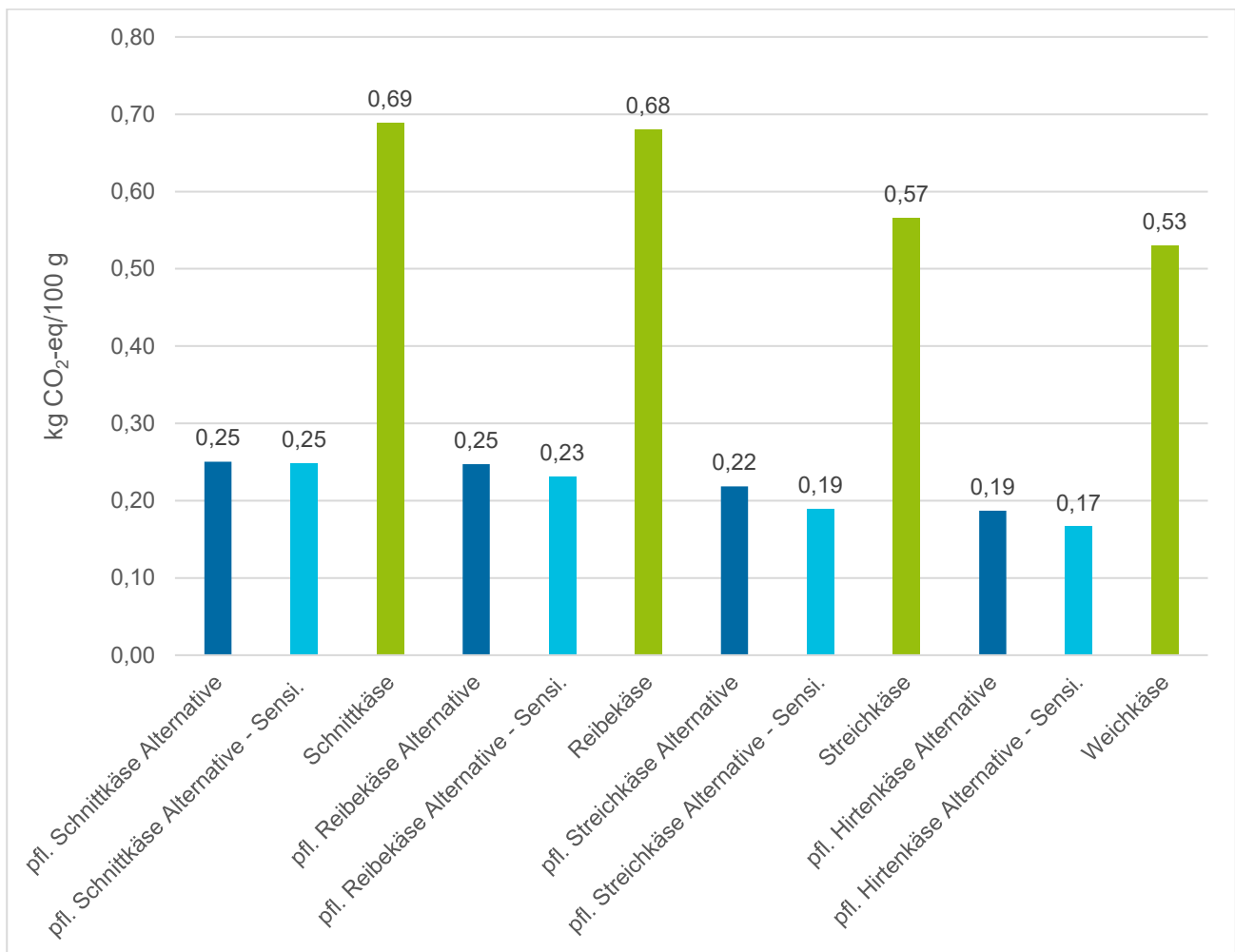
Die Studie von (Martin-Gorriz et al. 2020) zeigt einen signifikanten Unterschied in den Erträgen der beiden Mandelplantagen, der von den Autoren auf Unterschiede bei den jeweiligen Niederschlägen zurückgeführt wird. So fielen die durchschnittlichen Jahresniederschläge auf der Plantage B um 261 mm niedriger aus als auf Plantage A. Im Vergleich mit den durchschnittlichen Ertragsmengen von konventionellen regengespeisten Mandelfarmen in Spanien fällt Plantage B mit deutlich geringeren Hektarerträgen als Extremfall auf. Die ökologisch bewirtschaftete Mandelplantage A liegt mit 321 kg/ha/Jahr deutlich näher am Durchschnittswert für regenwassergespeiste Mandelplantagen in Spanien. Der verbleibende Ertragsunterschied wird von (Martin-Gorriz et al. 2020) auf den Verzicht auf Düngung und Herbizide sowie die spezifische Lage der Plantage zurückgeführt.

Insgesamt liegen die Hektarerträge des regengespeisten Mandelanbau in Spanien um etwa Faktor acht geringer als beim konventionellen Mandelanbau in Kalifornien. Dies ist vor allem drauf zurückzuführen, dass durch künstliche Bewässerung, Düngung und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Kalifornien eine deutlich dichtere Bepflanzung möglich ist.

Nachfolgend wird am Beispiel des Treibhauspotenzials und der Wasserinanspruchnahme gezeigt, wie sich das Ergebnis der vorliegenden Studie verändern würde, wenn anstelle der im Basisszenario berücksichtigten Modellierung des Mandelanbaus in Kalifornien die von (Martin-Gorriz et al. 2020) für Plantage A errechneten Ergebnisse genutzt werden. Die übrigen Prozesse blieben gegenüber dem Basisszenario unverändert.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind für den Wirkungsindikator Treibhauspotenzial, gesamt in Abbildung 4-13 dargestellt.

Abbildung 4-13: Treibhauspotenzial, gesamt der pflanzlichen Käsealternativen mit europäischer Mandelproduktion im Vergleich zum Basisszenario, in kg CO₂-eq pro 100 g Produkt

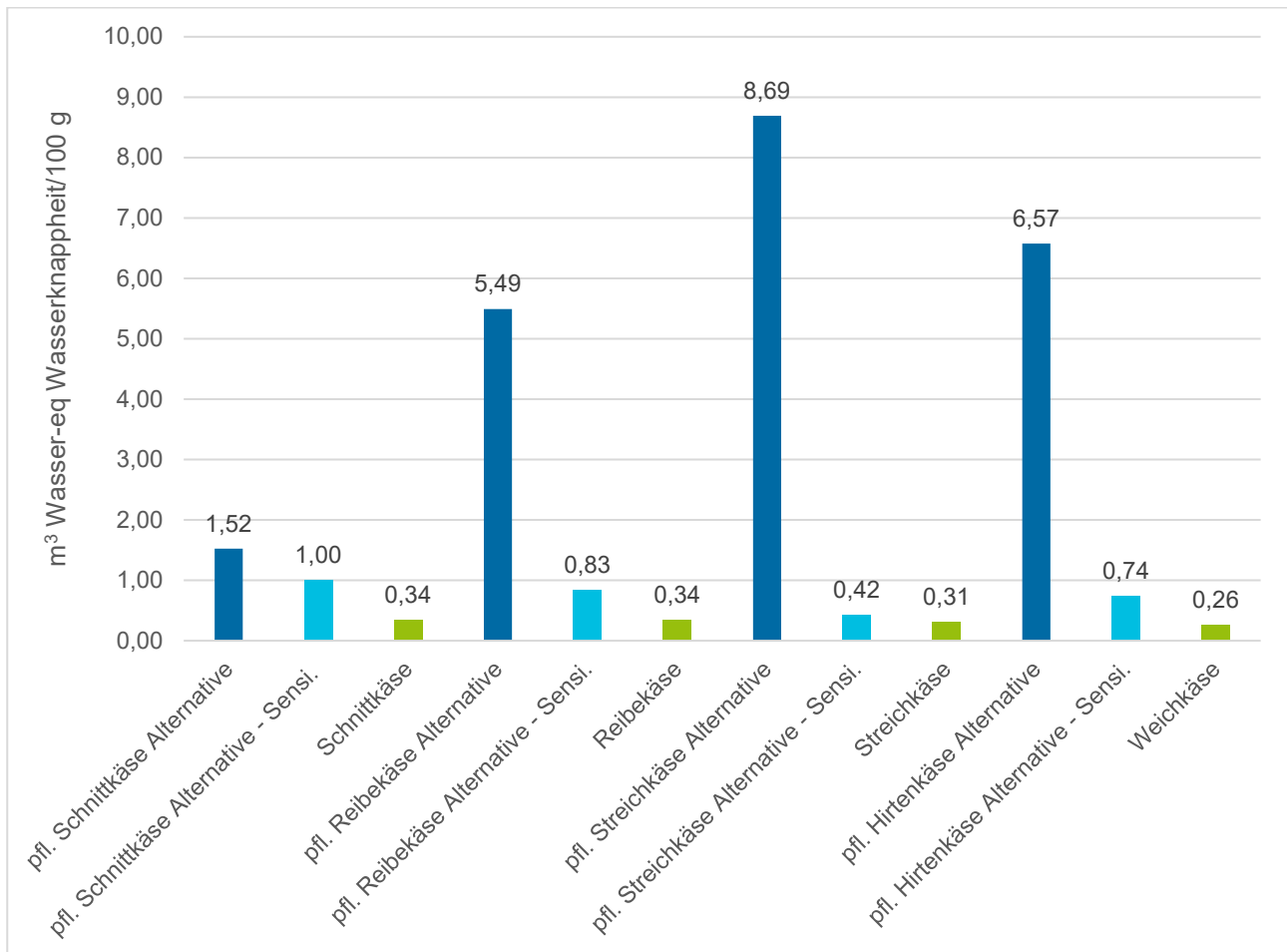


Quelle: Eigene Darstellung

Die Verwendung von Mandeln aus regenwassergespeisten Plantagen führt zu einer Reduktion der des Treibhauspotenzials der pflanzbasierten Käsealternativen von 1 – 13 %. Insbesondere bei den pflanzenbasierten Streichkäse- und Hirtenkäsealternativen fällt die Reduktion des Treibhauspotenzials mit 13 und 11 % aufgrund der hohen Menge an verarbeiteter Mandelrohwaren ins Gewicht. Hauptursache sind die gegenüber dem Basisszenario eingesparten Aufwendungen für die Förderung des Wassers zur künstlichen Bewässerung.

Abbildung 4-14 zeigt das Ergebnis für die Wirkungskategorie Wasserinanspruchnahme.

Abbildung 4-14: Wasserknappheitspotenzial der Käsevarianten mit europäischer Mandelproduktion in m³ Wasser-eq Wasserknappheit pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen ein gegenüber dem Basisszenario deutlich reduziertes Wasserknappheitspotenzial, was angesichts des Verzichts auf Bewässerung nicht überraschend ist. Die Wirkungsindikatorergebnisse der pflanzenbasierten Käsealternativen sinken gegenüber dem Basisszenario um 65 – 95 %. Wichtig bleibt hier festzuhalten, dass es sich bei der vorliegenden Sensitivitätsanalyse um eine grob orientierende Abschätzung handelt. Es erscheint zudem nicht ausgeschlossen, dass durch sich verändernde Niederschlagsmengen die derzeit mögliche, rein regenbasierte Mandelproduktion in Europa mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert ist. Sollte eine künstliche Bewässerung zum Aufrechterhalt der Mandelproduktion dauerhaft notwendig werden, so würde die entsprechende Wasserinanspruchnahme aufgrund des in der Region herrschenden Wassermangels sogar mit einem noch um knapp 30 % höheren Wasserkritikalitätsfaktor von 99,7 m³ Wasser/m³ in die Abschätzung eingehen.

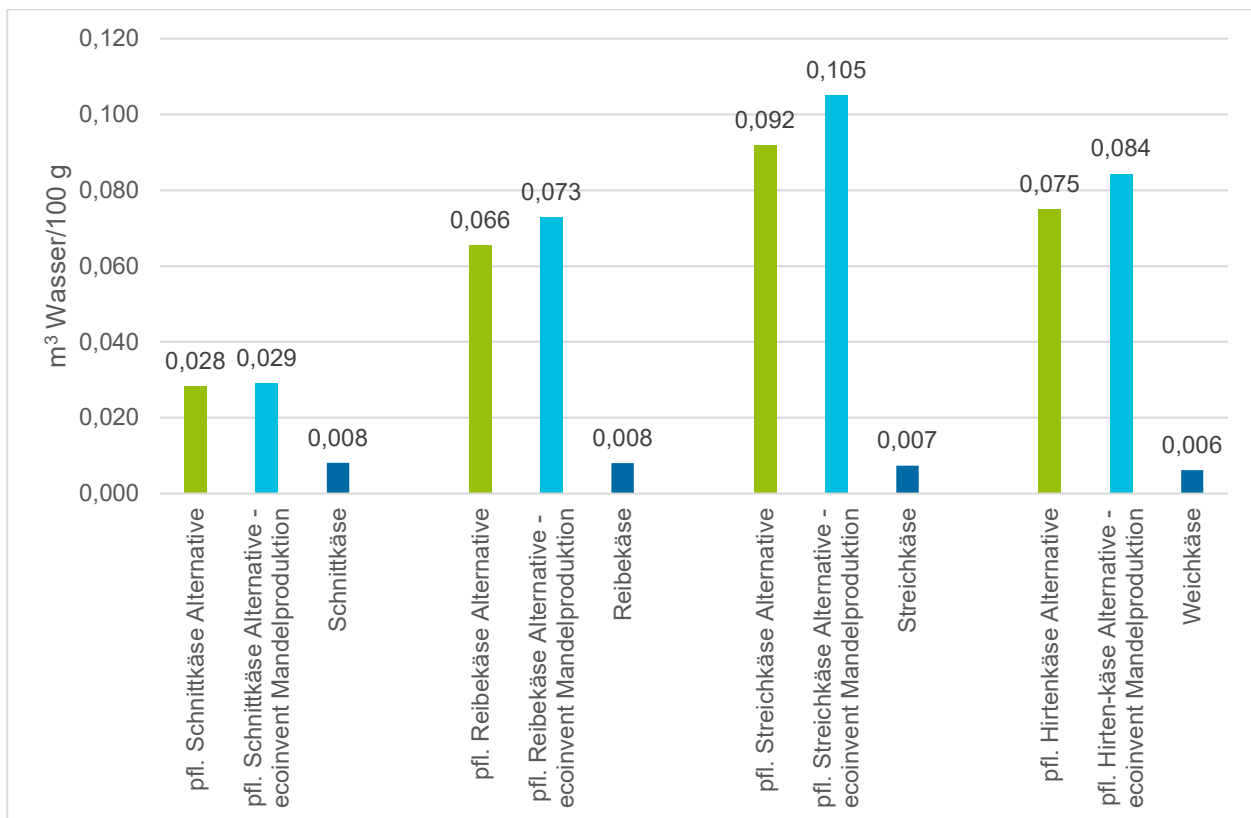
Festzuhalten bleibt allerdings auch, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen auch in diesem Fall ein doppelt bis dreifach so hohes Wasserknappheitspotenzial aufweisen als die milchbasierten Käsevarianten aus dem Basisszenario. Nachdem der im Basisszenario dominante Beitrag der Mandelproduktion in der Sensitivitätsanalyse wegfällt, wirkt sich hier nun mit Beiträgen von 52 – 93 % die Kokosfettproduktion bzw. der Anbau von Kokosnüssen auf das Ergebnis aus.

4.4.3 Sensitivitätsanalyse: Wasserverbrauch nach ReCiPe

Aufgrund der hohen Bedeutung des gewählten Ansatzes bei der Charakterisierung der Wasserinanspruchnahme für das Vergleichsergebnis, wird im Zuge einer weiteren Sensitivitätsanalyse ein alternatives Modell zur Abschätzung der Wirkungskategorie Wasserinanspruchnahme ausgewertet. Hierzu wird das sogenannte Water Depletion Potential (WDP) nach ReCiPe berechnet, bei der die Wasserinanspruchnahme abgeschätzt wird, ohne spezifische Wasserknappheiten faktoriell zu berücksichtigen. Das Ergebnis beschreibt die insgesamt in Anspruch genommen Wassermenge je Produktsystem und stellt in dieser Hinsicht einen Sachbilanzindikator dar.²⁴

Die Modellierung der Sachbilanz der verglichenen Produktsysteme bleibt gegenüber dem Basisszenario unverändert. Abbildung 4-15 zeigt den Wasserverbrauch nach ReCiPe des gegenüber dem Basisszenario unveränderten Sachbilanzdatensatzes der pflanzlichen Käsealternativen, der Käsevarianten aus dem Basisszenario und der pflanzlichen Käsealternativen berechnet mit dem unveränderten ecoinvent Datensatz „almond production – us“ (siehe 4.4.1).

Abbildung 4-15: Wasserverbrauch nach ReCiPe pro 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 4-15 ist der nach der ReCiPe-Methode ausgewertete Wasserverbrauch dargestellt. Das Ergebnis des Basisszenarios der pflanzlichen Käsealternativen ist jeweils als grüner Balken dargestellt. Der hellblaue Balken stellt das Ergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen dar, wenn mit dem unveränderten ecoinvent Datensatz „almond production, US“ gerechnet wird. Die

²⁴ Formal betrachtet und entsprechend der Dokumentation der Wirkungsabschätzungsmethode handelt es sich um ein Wirkungsabschätzungsergebnis unter Verwendung des Charakterisierungsfaktors 1 für alle im Produktsystem auftretenden Wasserflüsse.

Ergebnisse des Basisszenarios der kuhmilchbasierten Käseprodukte ist jeweils als dunkelblauer Balken dargestellt.

Die Produktion von 100 g Käse benötigt demnach 6 – 8 l Wasser. Für die Produktion von pflanzenbasierten Käsealternativen wird ein Wasserbedarf von 28 – 92 l abgeschätzt. Wenn die pflanzenbasierten Käsealternativen mit dem unveränderten ecoinvent Datensatz „almond production – us“ modelliert werden, anstatt mit den an einen höheren Bewässerungsaufwand angepassten Datensatz, haben die vier verschiedenen Varianten eine Wassernutzung von 29 - 105 l/100 g und somit einen gegenüber dem Basisszenario 3 - 14 % höheren Wasserverbrauch.

Die milchbasierten Käsealternativen haben einen insgesamt geringeren Wasserverbrauch, was vor allem darauf zurückgeführt werden kann, dass für die Bereitstellung des Grundfutter in Deutschland normalerweise keine zusätzliche Bewässerung erfolgt. Zusätzlich werden 23 – 46 % der Umweltlasten während der Käseproduktion auf die Molke Produktion allokiert (siehe Tabelle 3-29). Das Ergebnis in dieser Wirkungskategorie beruht auf einer plausiblen Darstellung der derzeitigen Situation der Wasserversorgung bzw. des begrenzten Bedarfs an künstlicher Bewässerung in der Futtermittelproduktion. Der diesbezügliche Vorteil der kuhmilchbasierten Produkte könnte sich zukünftig jedoch verringern, wenn etwa in Folge des Klimawandels auch in Deutschland ein wachsender Bedarf an künstlicher Bewässerung in der Landwirtschaft und eine entsprechende Kritikalität der Wasserinanspruchnahme berücksichtigt werden müssten.

4.4.4 Sensitivitätsanalyse Biogasproduktion

Wie bereits in Kapitel 3 dargestellt, fallen bei der Produktion pflanzenbasierter Käsealternativen in unterschiedlichem Ausmaß Produktionsausschüsse an (vgl. Tabelle 3-23) Diese werden im Auftrag des Unternehmens in eine nahegelegene Biogasanlage gefahren und dort als Substrat dem Prozess zugeführt.

Über die tatsächlichen Prozessausbeuten der Behandlung des Produktionsausschusses in der Biogasanlage sind keine spezifischen Informationen verfügbar. Im Basisszenario dieser Studie wurde angenommen, dass die Ausschussmengen der ‚Simply V‘-Produktion ähnliche Prozessausbeuten an Biogasproduktion erlauben, wie fettreiche Speisereste. Hierfür liegen vom Bayerischen Landesamt für Landwirtschaft (LfL) die Tabelle 4-8 zu entnehmenden Richtwerte vor. Diese beruhen auf annahmengestützten Berechnungen zur Methanausbeute in m³/t Substrat-Frischmasse. Wesentliche Annahmen, die der Abschätzung zugrunde liegen sind laut LfL die folgenden:

- Der Biogas-/Methanertrag eines Substrats wird durch den Gehalt an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten sowie bei Futtermitteln der Verdaulichkeit dieser Stoffgruppen bestimmt.
- Die Umsetzungen in einem Gärbehälter verlaufen ähnlich wie im Rindermagen.

Im Basisszenario übertreffen die Gutschriften der Biogasproduktion die bei der Biogasproduktion entstehenden Treibhausgasemissionen. Berücksichtigt man allerdings den zusätzlichen Bedarf an produktionsausschussbedingten Rohwaren, so wirken sich die Produktionsabfälle in Summe nachteilig auf das Ergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen beim Wirkungsindikator Treibhauspotenzial aus.

In dieser Sensitivitätsanalyse wird untersucht, welchen Einfluss diese und alternative Annahmen zur Anrechnung der Biogasproduktion aus den Ausschussmengen von ‚Simply V‘ auf das Ergebnis der pflanzlichen Käsealternativen hat.

Tabelle 4-8: Biogasausbeute bei Einsatz verschiedener Substrate

Substrat	Biogasproduktion	Einheit
fettreiche Speisereste	126	m ³ /t Frischmasse
Käse	674	m ³ /t Frischmasse

Quelle: Eigene Darstellung; (LfL)

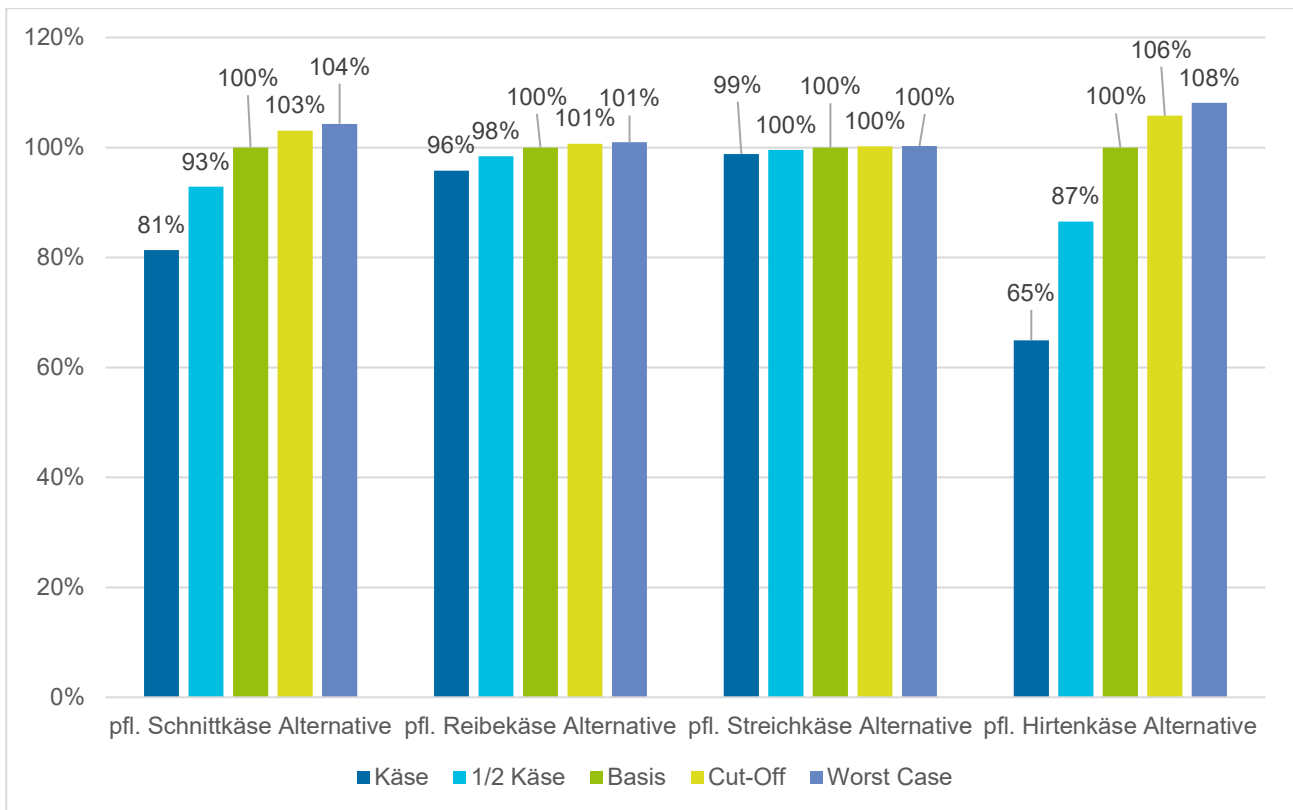
Abbildung 4-16 zeigt die relativen Veränderungen des Ergebnisses gegenüber dem Basisszenario unter der Berücksichtigung folgender Annahmen zur Biogasausbeute aus Produktionsausschüssen:

- **Basis:** die Biogasausbeute aus dem Produktionsausschuss entspricht der vom LfL angegebenen Biogasausbeute wenn fettreiche Speisereste als Substrat eingesetzt werden.
- **Käse:** die Biogasausbeute aus dem Produktionsausschuss entspricht der vom LfL angegebenen Biogasausbeute wenn Käse als Substrat eingesetzt wird.
- **½ Käse:** die Biogasausbeute aus dem Produktionsausschuss entspricht 50 % der vom LfL angegebenen Biogasausbeute, wenn Käse als Substrat eingesetzt wird.
- **Cut-Off:** stellt das Ergebnis bei Nutzung einer Cut-off-Allokation für den Produktionsausschuss dar. Es werden weder Emissionen noch Gutschriften aus der Behandlung des Produktionsausschusses berücksichtigt.
- **Worst Case:** stellt das Ergebnis bei Nutzung einer 100 %-Allokation der Lasten zur Behandlung des Produktionsausschusses dar, jedoch ohne Anrechnung von Gutschriften durch das entstehende Biogas.

Die im Zuge der Sensitivitätsanalyse getroffenen Festlegungen stellen Annahmen der Autoren dar, die dazu dienen, grob orientierend die mit den Annahmen zum Biogasertrag korrelierten Einflüsse aufs Ergebnis beim Wirkungsindikator Treibhauspotenzial darzustellen.

Abbildung 4-16 zeigt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse Biogasproduktion für die Wirkungskategorie Treibhauspotential. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind angegeben relativ zum Basisszenario. Jeweils bezogen auf die klimarelevanten Emissionen pro 100 g Produkt.

Abbildung 4-16: Sensitivitätsanalyse: Biogas Treibhauspotenzial in Prozent ²⁵



Quelle: Eigene Darstellung

Eine erhöhte Biogausausbeute bei der Behandlung des Produktionsausschusses wirkt sich unterschiedlich stark auf die verschiedenen pflanzenbasierten Käsealternativen aus. Je höher der Anteil der Ausschussmengen der Produkte ist (siehe Tabelle 3-23) desto größer ist der Effekt, wenn alternative Annahmen zur Biogausausbeute getroffen werden. Hauptursache für den Anfall von Produktionsausschuss sind die Randstücke, die bei geschnittenen Produkten anfallen. Dies führt bei der pflanzlichen Schnittkäsealternative (18 %) und insbesondere bei der pflanzlichen Hirtenkäsealternative (25 %) zu vergleichsweise hohen Mengen an Produktionsausschuss. Bei letzterer spielt laut Aussage des Unternehmens zusätzlich eine Rolle, dass der Schneidprozess als solcher noch Optimierungspotenzial bietet.

Als Ergebnis der Sensitivitätsanalyse kann festgehalten werden, dass keine der getroffenen Annahmen von so großem Einfluss ist, dass sich das Ergebnis des Vergleichs pflanzlicher und kuhmilchbasierter Produkte grundlegend ändert. Selbst beim aus Sicht der pflanzlichen Alternativprodukte ungünstigsten Szenario (Worst case) weisen alle pflanzlichen Alternativprodukte geringere Ergebnisse beim Wirkungsindikator Treibhauspotenzial auf als die jeweilige kuhmilchbasierte Alternative. Dies gilt verglichen mit dem Basisszenario des kuhmilchbasierten Produktes selbst bei einem maximal um 8% höheren Treibhauspotenzial, wie im Falle des Worst Case für die pflanzliche Hirtenkäsealternative (vgl. Abschnitt 4.3.1). Die getroffenen Annahmen stellen für die vorliegende

²⁵ Der Heizwert von Biogas wurde wie in Kapitel 3.1.1 bereits bemerkt überschätzt. Hieraus folgt, dass die Unterschiede zwischen den Szenarien geringer ausfallen und geringeren Einfluss auf das Gesamtergebnis in dieser und anderen Wirkungskategorien haben.

Studie demnach keine das Vergleichsergebnis einseitig zugunsten der pflanzlichen Käsealternativen beeinflussenden Festlegungen dar.

4.4.5 Sensitivitätsanalyse reduzierte Ausschussmengen

Bei der Produktion der pflanzenbasierten Käsealternativen fallen teilweise hohe Ausschussmengen an (siehe Tabelle 3-23). Diese sind zumindest in Teilen auf bestehende Optimierungspotenziale im noch vergleichsweise jungen und kleinskaligen Produktionsprozess zurückzuführen. In dieser Sensitivitätsanalyse wird auf Basis hypothetischer Annahmen untersucht, wie sich das Ergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen verändert, wenn es gelingt durch entsprechende Prozessoptimierungen die produktspezifischen Ausschussmengen um 50 % bzw. um 90 % zu reduzieren (vgl. Tabelle 4-9).

Tabelle 4-9: Reduzierte Ausschussmengen bei der Produktion pflanzlicher Käsealternativen

	Ausschussmenge Basis	Ausschussmenge minus 50%	Ausschussmenge minus 90%
pflanzliche Schnittkäsealternative	---	---	---
pflanzliche Reibekäsealternative	---	---	---
pflanzliche Hirtenkäsealternative	---	---	---
pflanzliche Streichkäsealternative	---	---	---

Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse reduzierte Ausschussmengen sind Tabelle 4-10 zu entnehmen. Dargestellt sind die relativen Veränderungen der Ergebnisse gegenüber dem jeweiligen Basisszenario.

Tabelle 4-10: Sensitivitätsanalyse Reduzierte Ausschussmengen

	pflanzliche Schnittkäsealternative - Basis	pflanzliche Schnittkäsealternative - 50% Reduzierung	pflanzliche Schnittkäsealternative - 90% Reduzierung	pflanzliche Reibekäsealternative - Basis	pflanzliche Reibekäsealternative - 50% Reduzierung	pflanzliche Reibekäsealternative - 90% Reduzierung	pflanzliche Streichkäsealternative - Basis	pflanzliche Streichkäsealternative - 50% Reduzierung	pflanzliche Streichkäsealternative - 90% Reduzierung	pflanzliche Hirtenkäsealternative - Basis	pflanzliche Hirtenkäsealternative - 50% Reduzierung	pflanzliche Hirtenkäsealternative - 90% Reduzierung
Klimawandel insgesamt	100%	97%	95%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	96%	92%
Versauerung	100%	94%	89%	100%	98%	97%	100%	100%	101%	100%	91%	83%
Eutrophierung, Süßwasser	100%	92%	92%	100%	93%	93%	100%	100%	100%	100%	90%	81%
Landnutzung	100%	93%	88%	100%	98%	97%	100%	100%	101%	100%	91%	82%
Wassernutzung	100%	93%	87%	100%	98%	97%	100%	100%	101%	100%	90%	80%

Quelle: Eigene Darstellung

Durch eine Reduzierung der Ausschussmengen können die Ergebnisse der pflanzenbasierten Käsealternative in allen Wirkungskategorien gesenkt werden. Besonders deutlich fallen die Änderungen bei Wirkungskategorien aus, bei denen das Gesamtergebnis stark von der Lebenszyklusphase der Agrarprimärproduktion dominiert wird. Als Hauptursache für das beschriebene Ergebnis ist der gegenüber dem Basisszenario vermiedene Rohwarenbedarf. Besonders große Einsparpotentiale gibt es bei der Hirtenkäsealternative.

4.4.6 Sensitivitätsanalyse Milchproduktion

Die in dieser Studie verwendete Bilanzierung der Milch bezieht sich auf eine deutsche Durchschnittsmilch, die aufbauend auf einer detaillierten Analyse einer Studie des Öko-Instituts ermittelt wurde (vgl. (Antony et al. 2021)). Die Milchproduktion stellt bei den Käsearten in allen betrachteten Wirkungskategorien die wichtigsten Beiträge zum Ergebnis. Die zugrunde liegende Modellierung der Rohmilchproduktion ist damit signifikant für die Ergebnisse des hier angestrebten Vergleichs. Im Zuge einer eigenen Sensitivitätsanalyse sollen zum besseren Verständnis die Ergebnisse des Basisszenarios mit den Ergebnissen anderer Ökobilanzen der Rohmilchproduktion abgeglichen werden (vgl. Tabelle 4-11).

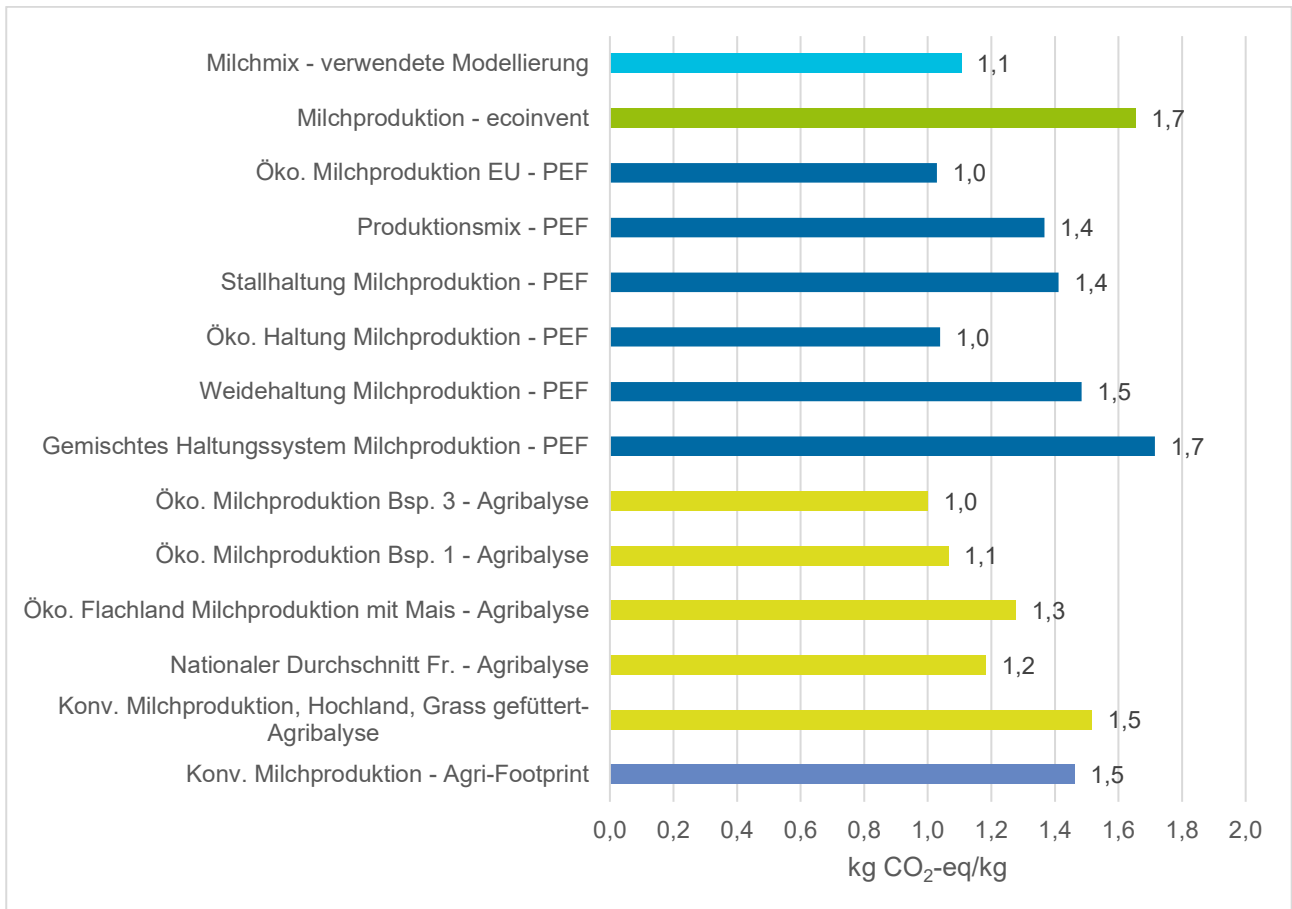
Tabelle 4-11: Milchdatensätze der Sensitivitätsanalyse

Bezeichnung	Datensatz Name	Datenbank	Region
Konv. Milchproduktion - Agri-Footprint	Milk raw (PEF compliant), at farm Economic	Agri-Footprint	NL
Konv. Milchproduktion, Hochland, Grass gefüttert- Agribalyse	Cow milk, conventional, highland milk system, grass fed, at farm gate	Agribalyse	Fr
Nationaler Durchschnitt Fr. - Agribalyse	Cow milk, national average, at farm gate/kg	Agribalyse	Fr
Öko. Flachland Milchproduktion mit Mais - Agribalyse	Cow milk, organic, lowland milk system, silage maize 5 to 10%, at farm gate	Agribalyse	Fr
Öko. Milchproduktion Bsp. 1 - Agribalyse	Cow milk, organic, system n°1, at farm gate	Agribalyse	Fr
Öko. Milchproduktion Bsp. 3 - Agribalyse	Cow milk, organic, system n°3, at farm gate	Agribalyse	Fr
Gemischtes Haltungssystem Milchproduktion - PEF	Cow milk, at farm, mixed system	PEF	DE
Weidehaltung Milchproduktion - PEF	Cow milk, at farm, grazing system	PEF	DE
Öko. Haltung Milchproduktion - PEF	Cow milk, at farm, organic	PEF	DE
Stallhaltung Milchproduktion - PEF	Cow milk, at farm, non-grazing system	PEF	DE
Produktionsmix - PEF	Cow milk, at farm, production mix	PEF	EU
Öko. Milchproduktion EU - PEF	Cow milk, at farm, organic	PEF	EU
Milchproduktion - ecoinvent	Cow milk production	ecoinvent	RoW
Milchmix - verwendete Modellierung	Milchmix_DE (Antony et al. 2021)	Ecoinvent	DE

Quelle: Eigene Darstellung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Treibhauspotential der in Tabelle 4-11 aufgelisteten Milchdatensätze pro kg produzierter Milch.

Abbildung 4-17: Treibhauspotenzial von Milchdatensätzen in kg CO₂-eq pro kg Milch



Quelle: Eigene Darstellung

Wie in der Abbildung zu sehen ist, hat die verwendete Milchmixmodellierung ein vergleichbares Treibhauspotential wie der nationale Durchschnitt und die ökologische Milchproduktion in Frankreich aus der Agribalyse Datenbank und der ökologischen Produktion aus der PEF Datenbank. Der Datensatz ist deutlich niedriger als der ecoinvent Datensatz Milchproduktion, was unter anderem auf den globalen regionalen Bezug des Datensatzes zurückzuführen ist.

Die nachstehende Tabelle zeigt den Vergleich der in Tabelle 4-11 aufgelisteten Datensätzen für die Produktion von 1 kg Milch.

Tabelle 4-12: Vergleich von Datensätzen zur Milchproduktion, je kg Rohmilch

	Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial -biogen [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial - fossil [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial - Landnutzung und Landnutzungsänderung [kg CO ₂ -eq/ka]	Versauerungspotenzial [mol H ⁺ -eq/kg]	Eutrophierungspotenzial Süßwasser [kg PO ₄ -eq/kg]	Eutrophierungspotenzial, terrestrisch [mol N-eq/kg]	Eutrophierungspotenzial Marin [kg N-eq/kg]	Landnutzung [Dimensionslos]	Wasserinanspruchnahme [m ³ Wasser-eq Wasserknappheit/kg]	Feinstaubpotenzial [Krankheitsinzidenz]	Fotochemisches Potenzial zur Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit [kg NMVOC-eq]	KEA _{nicht regenerativ} [MJ]	KEA _{regenerativ} [MJ]
Milchmix - verwendete Modellierung	1,10	0,68	0,33	0,10	0,01	9,4E-05	0,03	0,002	57,2	0,43	5,3E-08	0,002	2,73	3,64
Konv. Milchproduktion - Agri-Footprint	1,46	0,81	0,47	0,18	0,04	4,2E-05	0,17	0,013	25,1	0,32	2,7E-07	0,004	3,88	0,06
Konv. Milchproduktion, Hochland, Grass gefüttert- Agribalyse	1,52	1,16	0,36	2,2E-04	0,02	7,4E-05	0,08	0,003	95,9	0,29	1,1E-07	0,002	2,56	18,52
Nationaler Durchschnitt Fr. - Agribalyse	1,18	0,83	0,29	0,06	0,01	1,1E-04	0,06	0,004	66,7	0,37	8,8E-08	0,002	2,94	17,14
Öko. Flachland Milchproduktion mit Mais - Agribalyse	1,28	0,95	0,33	0,00	0,01	7,7E-05	0,07	0,006	103,0	0,39	9,8E-08	0,002	2,77	24,59
Öko. Milchproduktion Bsp. 1 - Agribalyse	1,06	0,76	0,29	0,01	0,01	6,3E-05	0,06	0,002	98,0	0,46	8,8E-08	0,002	2,82	12,31
Öko. Milchproduktion Bsp. 3 - Agribalyse	1,00	0,77	0,23	0,00	0,01	2,3E-05	0,06	0,002	61,4	0,13	8,9E-08	0,001	2,05	7,26

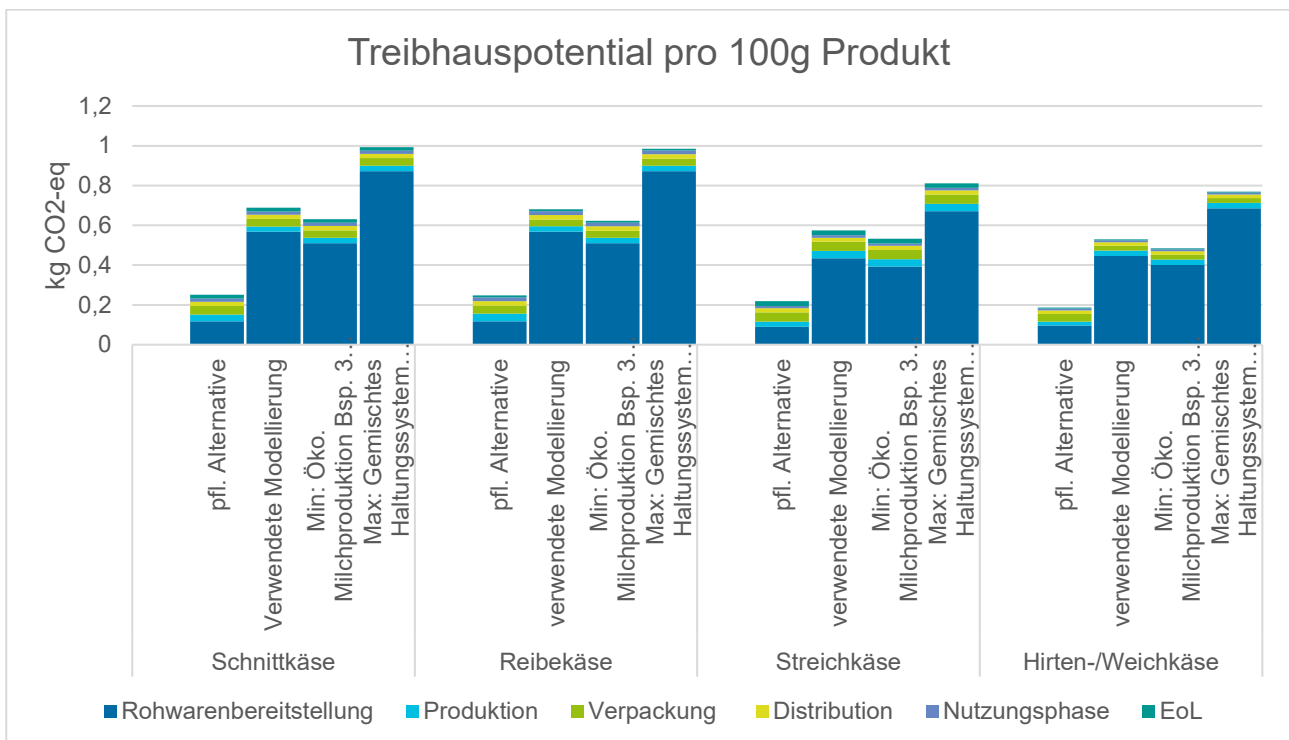
	Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial -biogen [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial - fossil [kg CO ₂ -eq/kg]	Treibhauspotenzial - Landnutzung und Landnutzungsänderung [kg CO ₂ -eq/ka]	Versauerungspotenzial [mol H ⁺ -eq/kg]	Eutrophierungspotenzial Süßwasser [kg PO ₄ -eq/kg]	Eutrophierungspotenzial, terrestrisch [mol N-eq/kg]	Eutrophierungspotenzial Marin [kg N-eq/kg]	Landnutzung [Dimensionslos]	Wasserinanspruchnahme [m ³ Wasser-eq Wasserknappheit/kg]	Feinstaubpotenzial [Krankheitsinzidenz]	Fotochemisches Potenzial zur Bildung von Ozon, menschliche Gesundheit [kg NMVOC-eq]	KEA _{nicht regenerativ} [MJ]	KEA _{regenerativ} [MJ]
Gemischtes Haltungssystem Milchproduktion - PEF	1,71	1,01	0,45	0,26	0,01	1,4E-04	0,05	0,003	106,9	0,36	8,9E-08	0,003	k.A.	k.A.
Weidehaltung Milchproduktion - PEF	1,48	0,88	0,41	0,19	0,01	1,3E-04	0,04	0,003	89,5	0,23	8,0E-08	0,003	k.A.	k.A.
Öko. Haltung Milchproduktion - PEF	1,04	0,72	0,32	1,0E-03	0,01	6,7E-05	0,07	0,005	188,2	1,57	9,9E-08	0,001	k.A.	k.A.
Stallhaltung Milchproduktion - PEF	1,41	0,83	0,39	0,19	0,01	9,3E-05	0,04	0,003	85,7	0,31	7,7E-08	0,003	k.A.	k.A.
Produktionsmix - PEF	1,37	0,78	0,38	0,20	0,01	1,1E-04	0,05	0,004	95,4	0,26	9,5E-08	0,003	k.A.	k.A.
Öko. Milchproduktion EU - PEF	1,03	0,72	0,31	0,00	0,01	6,7E-05	0,07	0,005	188,1	1,60	9,9E-08	0,001	k.A.	k.A.
Milchproduktion - ecoinvent	1,65	0,61	0,72	0,33	0,02	2,9E-04	0,07	0,007	772,0	1,69	1,3E-07	0,003	6,55	14,05

Quelle: Eigene Darstellung

Beim Vergleich der Modellierung der Milchproduktion mit Datensätzen von Milchproduktion von verschiedenen Haltungssystemen aus verschiedenen Datenbanken fällt auf, dass die verwendete Milchmodellierung in keiner betrachteten Wirkungskategorie im besonderen Maße heraussticht. Die Rohmilchproduktion ist für alle in dieser Studie ausgewählten Wirkungsindikatoren von hoher Bedeutung für das Ergebnis der kuhmilchbasierten Produkte. Für die Modellierung der Rohmilchbereitstellung stehen mittlerweile zahlreiche Datensätze in verschiedenen Datenbanken zur Verfügung. Entsprechend hohen Einfluss hat die begründete Auswahl der Datengrundlage zur Modellierung der Rohmilchproduktion auf das Ergebnis kuhmilchbasierter Käseprodukte. Vor dem Hintergrund der in Tabelle 4-11 dargestellten Ergebnisse pro kg Rohmilch erscheint die für das Basisszenario der vorliegenden Studie getroffene Festlegung zur Modellierung eines deutschen Milchmix, der auf der Definition für verschiedene Milchproduktionsregionen in Deutschland typischen Betriebssysteme beruht, als zweckmäßig.

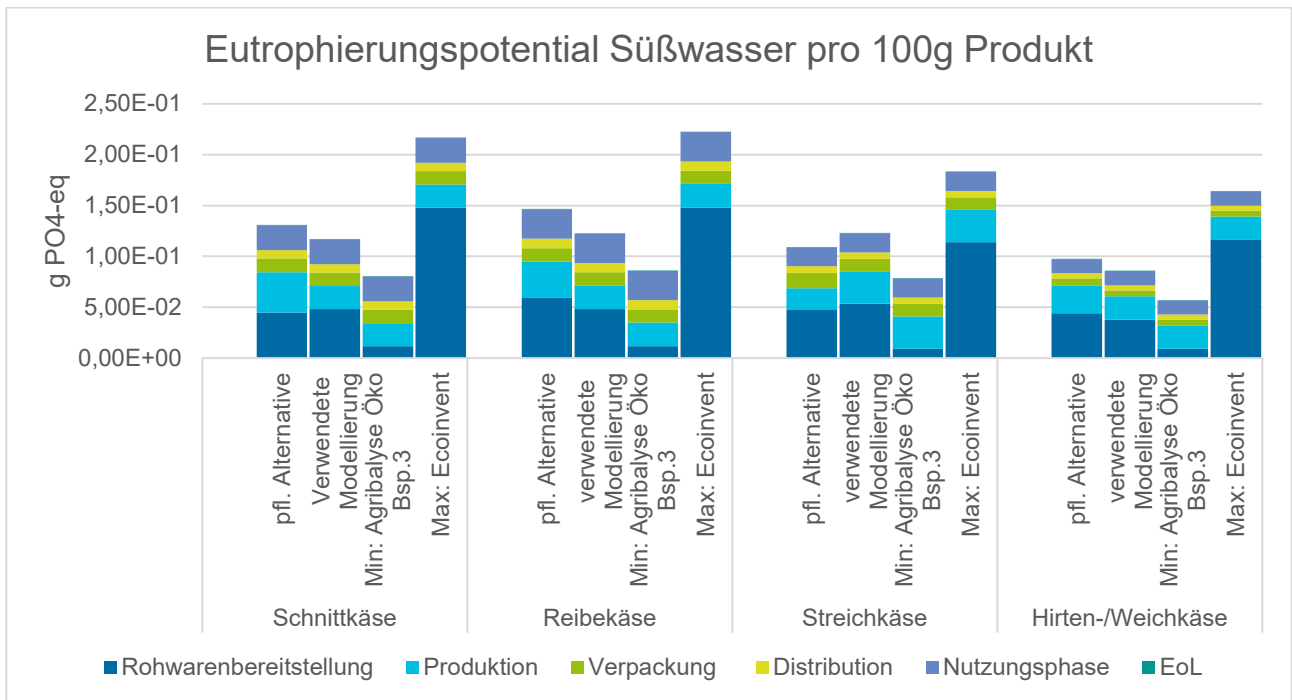
Zusätzlich wurde eine Sensitivitätsanalyse zur Rohmilchproduktion für verschiedene Datensätze am Beispiel von Treibhausgaspotential und Eutrophierung durchgeführt. Anhand der Rohmilchmenge wurde der jeweilige Wirkungsindikator für alle vier milchbasierten Käsesorten mit je nach Datensatz unterschiedlichen Werten pro Kilogramm Rohmilch skaliert und mit der im Basisszenario verwendeten Modellierung verglichen. Die daraus resultierenden, minimalen und maximalen Werte für Treibhauspotential und Eutrophierung sind nachfolgend dargestellt (Abbildung 4-18, Abbildung 4-19, Abbildung 4-20). Die Beiträge aus Produktion, Verpackung, Distribution und EoL sind davon nicht beeinflusst, da nur die Auswirkungen der Rohmilchproduktion variiert wurden.

Abbildung 4-18: Sensitivitätsanalyse zum Treibhauspotenzial der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze



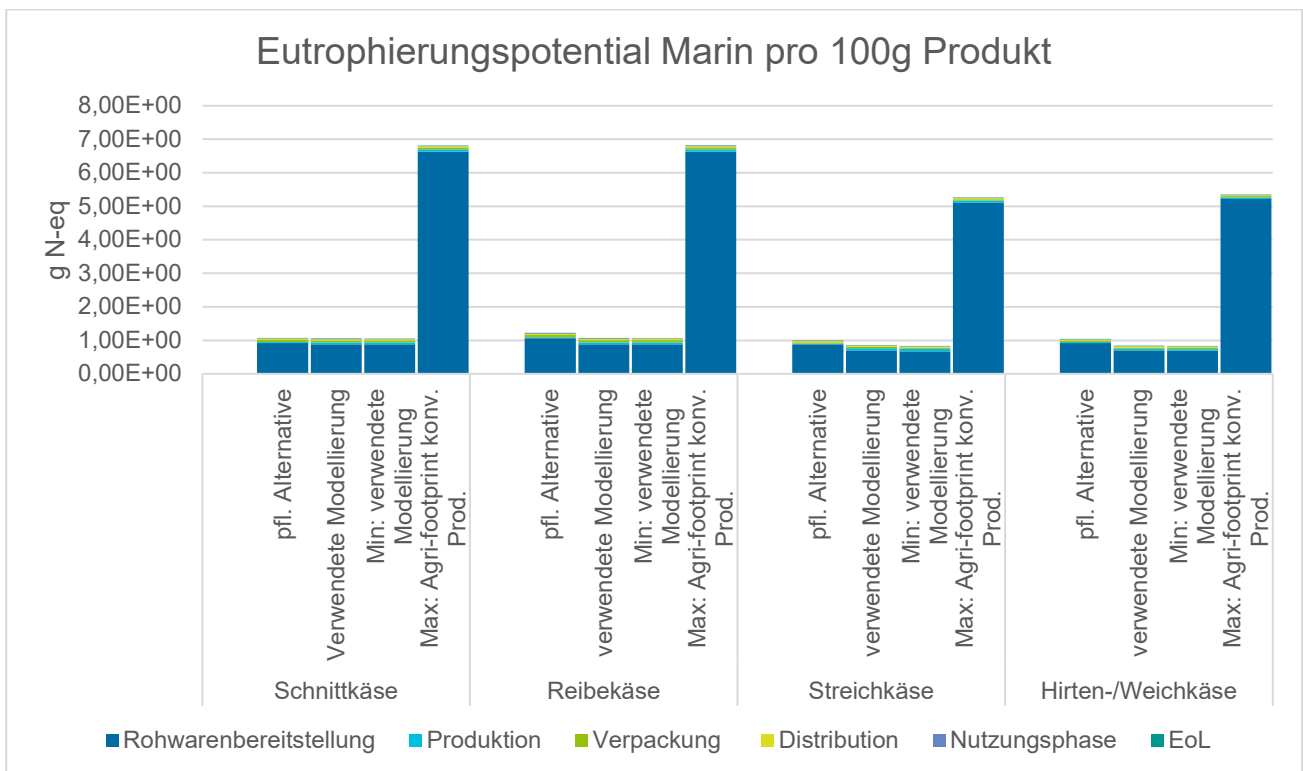
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4-19: Sensitivitätsanalyse zum Süßwasser Eutrophierungspotential der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4-20: Sensitivitätsanalyse zum marinen Eutrophierungspotential der Rohwarenbereitstellung für unterschiedliche Datensätze



Quelle: Eigene Darstellung

Das niedrigste Ergebnis beim Treibhausgaspotential wird mit Beispiel 3 für ökologische Milchproduktion aus Agribalyse errechnet, das höchste mit einem gemischten Haltungssystem nach den Vorgaben des Product Environmental Footprint (PEF). Das für die vorliegende Studie verwendete Modell rechnet mit Werten für das Treibhauspotential, die eher am unteren Bereich der Bandbreite verschiedener Datensätze für Rohmilch, was eine aus Sicht des hier angestrebten Vergleichs konservative Annahme darstellt.

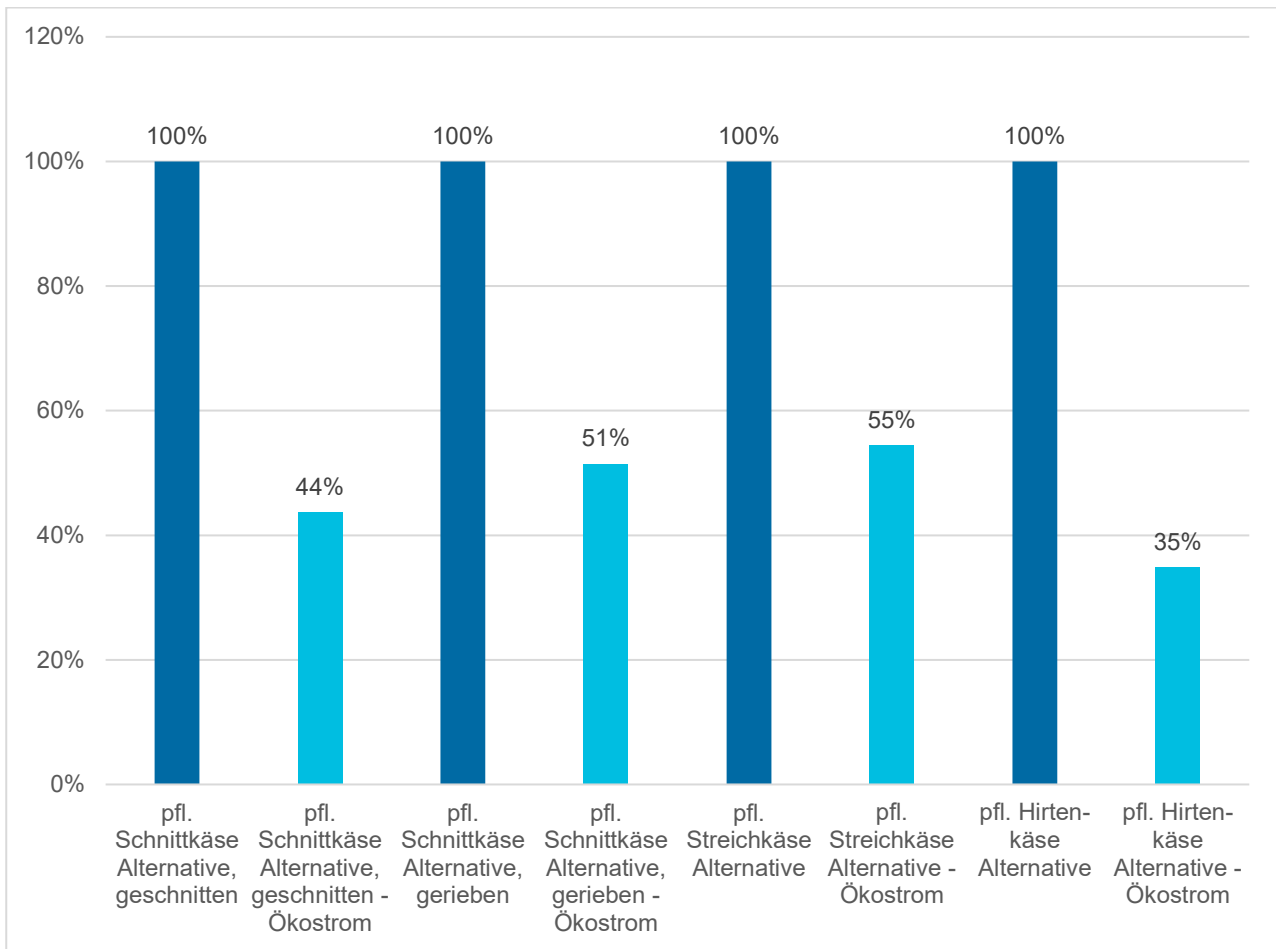
Zwischen den höchsten und niedrigsten Beiträgen zur Eutrophierung liegt je nach verwendetem Datensatz in etwa eine Größenordnung. Dies gilt sowohl für das Süßwasser-Eutrophierungspotenzial als auch für das marine Eutrophierungspotenzial Salzwasser. Die höchsten Werte für Süßwasser-Eutrophierung errechnen sich, wenn mit dem Ecoinvent Datensatz gerechnet wird. Für marine Eutrophierung wurden die höchsten Werte mit dem Datensatz für konventionelle Milchproduktion aus Agri-footprint errechnet. Die für das Basisszenario der vorliegenden Studie verwendete Modellierung hingegen generiert die niedrigsten Werte für marine Eutrophierung. Diese würden bei Verwendung anderer Datensätze also grundsätzlich höher liegen. Beispiel 3 für ökologische Milchproduktion aus Agribalyse erzeugt die niedrigsten Werte für Süßwasser-Eutrophierungspotenzial und ebenfalls niedrige Werte für marines Eutrophierungspotenzial. Einige Datensätze, besonders Agri-footprint, legen mitunter ein vergleichsweise hohes marines Eutrophierungspotenzial nahe, bei gleichzeitig geringem Süßwasser Eutrophierungspotenzial (Tabelle 4-12), was die große Bandbreite und Unsicherheiten in der Wirkungskategorie Eutrophierung veranschaulicht. Entsprechend bestätigt die durchgeführte Sensitivitätsanalyse zur Rohmilchproduktion die Ergebnisse des Basisszenarios, wonach in Bezug auf das Süßwasser-Eutrophierungspotenzial und das marine Eutrophierungspotenzial in der vorliegenden Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen milchbasiertem Käse und pflanzlichen Käsealternativen identifiziert wurden.

4.4.7 Sensitivitätsanalyse: Strombezug aus Erneuerbaren Energien für die Produktionsstandorte der E.V.A. GmbH

Bei produktbezogenen Ökobilanzen nutzt das Öko-Institut e.V. standardmäßig den jeweils aktuellen deutschen Strommix. Dementsprechend wurde bei ‚Simply V‘ im Basisszenario für die Strommodellierung der deutsche Strommix auf Mittelspannungsebene berücksichtigt (vgl. Tabelle 3-20).

Die E.V.A. GmbH bezieht für die Produktionsstandorte in Oberreute und Hergatz Strom aus erneuerbaren Energiequellen (im Folgenden als Öko-Strom bezeichnet). Das von der E.V.A. GmbH bezogene Stromprodukt ist vom TÜV Austria zertifiziert und entsprechend als nachhaltiger Öko-Strom gekennzeichnet. Weiterhin wird angegeben, dass durch den Kauf des Öko-Stromprodukts die zusätzliche Errichtung von Neuanlagen zur Erzeugung von Ökostrom gefördert werden. Soweit aus öffentlich einsehbaren Informationen stammt der Unternehmensverkaufsmix des Anbieters zu 57 % aus Öko-Strom, welcher aus Anlagen kommt, die aus EEG-Umlage finanziert wurden und zu 43 % aus Öko-Strom mit Herkunftsnachweis. Inwiefern hier tatsächlich ambitionierte Zusatzlichkeitskriterien erfüllt werden, kann auf Basis der vorliegenden Informationen nicht abschließend geklärt werden. Um den potenziellen Einspareffekt, der mit dem Öko-Strombezug verbunden ist, aufzuzeigen, wurde die Sensitivitätsanalyse „Strombezug aus Erneuerbaren Energien für die Produktionsstandorte der E.V.A. GmbH“ durchgeführt. Es wird gezeigt, welchen potenziellen Einfluss die Anrechnung von Öko-Strom für die Produktion der ‚Simply V‘-Produkte hat. Hierzu wurde ein auf Basis aktueller Daten zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen in Deutschland aus dem Jahr 2022 beruhender Strommix erstellt (destatis 2023).

Abbildung 4-21: Relatives produktionsbedingtes Treibhauspotenzial der pflanzenbasierten Käsealternativen mit und ohne Anrechnung von Öko-Strom



Quelle: Eigen Darstellung, normierte Darstellung der Ergebnisse des Basisszenarios (jeweils dunkelblauer Balken = 100%) und relatives reduktionspotenzial durch Anrechnung von Öko-Strom (hellblaue Balken)

Bei entsprechender Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom mit entsprechend geringerem Emissionsprofil pro kWh Strom, reduzieren sich die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen der pflanzenbasierten Käsealternative um etwa 45 – 65 %.

Die Produktion trägt in der vorliegenden Studie mit 10 – 16 % zum Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotenzial der pflanzenbasierten Käsealternativen bei. Entsprechend folgt aus der Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom ein gegenüber dem Basisszenario um 5 – 8 % reduziertes Treibhauspotenzial.

5 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

5.1 Zweckmäßigkeit der Festlegung des Systemnutzens, der funktionellen Einheit und der Systemgrenze

Das Ziel dieser Studie ist ein direkter – die relevanten Umweltaspekte umfassender – Vergleich der potenziellen Umweltbelastungen, die mit der Produktion und dem Verzehr von ‚Simply V‘-Produkten der E.V.A. GmbH verbunden sind (vgl. Abschnitt 2.1). Hierzu wurde für vier verschiedene Produkte aus dem ‚Simply V‘-Produktportfolio der gesamte Lebenszyklus modelliert. Für jedes der ausgewählten pflanzenbasierten Ersatzprodukte wurde jeweils ein klassisches Molkereiprodukt auf Kuhmilchbasis für einen direkten Vergleich definiert. Gegenstand dieser Studie ist somit auch der Vergleich von Produkten tierischen und pflanzlichen Ursprungs.

Im Zuge der Modellierung der Produktsysteme mussten entsprechend dem Ziel dieser Studie Festlegungen und Annahmen getroffen werden. Diese wurden jeweils begründet und transparent dokumentiert (vgl. Kapitel 2).

In der vorliegenden Untersuchung wurden vier von der E.V.A. GmbH selbst produzierten Produkte miteinander und mit den klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis verglichen. Die Auswahl der Produkte für die vertiefte Betrachtung wurde so getroffen, dass die Untersuchung die wichtigsten Produktgruppen des Angebots an ‚Simply V‘-Produkten abbildet. Die Bereitstellung eines Produkts zum Verzehr in Form eines Brotbelags bzw. im Fall der pflanzenbasierten Reibekäsealternative als Zutat zum Überbacken von Speisen ist die Hauptfunktion der betrachteten Produktsysteme und steht im Mittelpunkt der vorliegenden Studie (vgl. Abschnitt 2.2.3). Die hier verglichenen Produktsysteme erfüllen unter diesem Gesichtspunkt denselben Nutzen. Sie sind in dieser Hinsicht als funktional äquivalent anzusehen.

Die Systemgrenze der vorliegenden Untersuchung umfasst die Prozesse der Rohwarenproduktion und -bereitstellung, der Herstellung der Produkte, die der Produktion nachgelagerte Distribution und Lagerung bis einschließlich zum LEH, die private Einkaufsfahrt und Kühllagerung im Haushalt der Verbraucher*innen sowie die Entsorgung der Produktverpackungen. Ein ausgewogener Vergleich der verschiedenen Produktsysteme ist dadurch möglich. Die Festlegung der Systemgrenze ist damit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der vorliegenden Untersuchung angemessen.

Die Darstellung der verglichenen Produktsysteme beruht zumindest in Teilen auf unterschiedlich detaillierten bzw. unterschiedlich spezifischen Inputdaten. Durch die Modellierung spezifischer, auf die Produktion der ‚Simply V‘-Produkte bezogene Produktionsprozesse fokussiert sich die vorliegende Studie auf die Produkte der E.V.A. GmbH. Bezogen auf die als Referenz herangezogenen Prozesse zur Herstellung der kuhmilchbasierten Molkereiprodukte wurden für die vorliegende Studie keine spezifischen Daten für die Prozesse in einer Molkerei erhoben, sondern es wurde auf die Vorgaben und (Prozess-)Daten der PEFCR Dairy zurückgegriffen (Quantis Switzerland 2018). Die PEFCR Dairy stellt eine Produktkategorieregel (sogenannte Product Environmental Footprint Category Rule) dar, die seitens der europäischen Molkereiwirtschaft kürzlich im Rahmen der EU-PEF-Initiative entwickelt wurde. Sie repräsentiert eine für den europäischen Markt typische, durchschnittliche Herstellung von Molkereiprodukten. Der Rückgriff auf die in der PEFCR Dairy hinterlegten Vorgaben und Daten zur Käseherstellung erlaubt den hier angestrebten Vergleich pflanzenbasierter Käsealternativen mit typischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis. Somit sind diesbezüglich Ziel und der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie erfüllt. Ein direkter

Vergleich der verschiedenen Systeme auf Basis der gewählten funktionellen Einheit ist damit zulässig.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Festlegung des Systemnutzens, der funktionellen Einheiten und der Systemgrenze, ebenso wie der gewählte Modellierungsansatz zweckmäßig sind und das Ziel und den Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie erfüllen.

5.2 Identifizierung der signifikanten Parameter auf der Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die Modellierung des Lebenszyklus der verglichenen Produktsysteme beruht jeweils auf einer konsistenten, hinreichend detaillierten und unter Qualitätsgesichtspunkten ausführlich bewerteten Datenbasis. Eine vollständige Liste der erfassten Daten, inklusive der zur Modellierung in der Ökobilanzsoftware openLCA genutzten Datensätze, ist in dieser Studie enthalten (vgl. Kapitel 3, sowie die Anhang II bis Anhang VIII).

Als signifikanter Sachbilanzparameter für die klassischen Molkereiprodukte ist die Bereitstellung der Kuhrohmilch zu nennen. Diese ist sowohl in Hinblick auf die mengenmäßigen Anteile an der Produktrezeptur (Inputs von 375 g Kuhmilch pro 100 g Produkt beim Streichkäse bis zu 900 g/100 g Schnittkäse) als auch in Bezug auf die potenziellen Umweltauswirkungen relevant für die Ergebnisse.

Auch bei den pflanzenbasierten Käsealternativen wurde die Rohwarenbereitstellung eindeutig als signifikanter Sachbilanzparameter identifiziert. Wenn auch im Verhältnis zum Gesamtsystem die potenziellen Umweltauswirkungen nicht so stark dominieren, gehen auch hier signifikante Beiträge aus der Bereitstellung des Kokosfetts, der Mandelpaste bzw. des Mandelmehls sowie der Tapioka- und der Kartoffelstärke. Im Quervergleich der pflanzenbasierten Käsealternativen zeigen sich mitunter deutliche Unterschiede bei der Rezeptur (vgl. Tabelle 3-1), die sich dann auch wieder in den rohwarenbedingten Beiträgen zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung niederschlagen. Die Diskussion der relevanten Wirkungsindikatorergebnisse wird in Abschnitt 5.3 vertieft.

Weiterhin fällt auf, dass für diejenigen pflanzlichen Käsealternativen, die in Scheiben bzw. in Form geschnitten werden, derzeit noch nicht unerhebliche Mengen an Produktionsausschuss entstehen. Hier bestehen für die Zukunft in Bezug auf den Schneidprozess noch Optimierungsmöglichkeiten in der Produktion der pflanzlichen Käsealternativen. Auch wenn der Prozess selbst nur geringe Umweltaufwendungen verursacht, bestimmt er über den Anfall an Produktionsausschuss und wirkt damit auch in Form eines zusätzlichen Rohwarenbedarfs. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse wurde gezeigt, wie sich eine für die Zukunft pauschal angenommene Reduzierung der Ausschussmengen auf die Ökobilanz der pflanzlichen Käsealternativen auswirken würde (vgl. Abschnitt 4.4.5). Durch eine Reduzierung der Ausschussmengen können die Ergebnisse der pflanzenbasierten Käsealternative in allen Wirkungskategorien mehr oder weniger deutlich gesenkt werden. Die erzielbaren Einsparungen bewegen sich je nach Produkt und betrachteter Wirkungskategorie innerhalb eines Bereichs von immerhin etwa 5 – 15 %. Besonders große Einsparpotentiale gibt es bei der Hirtenkäsealternative, da hier aktuell noch 25 % Produktionsausschuss anfallen. Eine Verringerung der Ausschussmengen würde sich über die möglichen Einsparungen beim Rohwareneinkauf ökologisch als vorteilhaft erweisen.

In Bezug auf die Datenherkunft und die Datenqualität bestehen für die große Mehrheit der in dieser Studie verwendeten Daten keine oder allenfalls geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen hier verglichenen Produktsystemen. Lediglich in Bezug auf die Modellierung eines Teils der

Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen konnten mangels der Verfügbarkeit spezifischer Prozessdaten nur die energetischen Aufwendungen bei der Verarbeitung der Agrarprimärprodukte zur Herstellung der letztlich bei ‚Simply V‘-Produkten eingesetzten Rezepturbestandteile berücksichtigt werden. Die daraus resultierenden Unsicherheiten müssen bei der Auswertung der Ergebnisse und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen berücksichtigt werden. Im konkreten Fall wurden die aufgrund von fehlenden Prozessdaten und -informationen erforderlichen Abschätzungen und Annahmen zu den energetischen Aufwendungen dieser Prozesse anhand von Angaben von Herstellern entsprechender Geräte und Anlagen getroffen (vgl. Abschnitt 3.1.1). Dabei wurde darauf geachtet, dass die auf Basis der verfügbaren Informationen berücksichtigten energetischen Aufwendungen bei der Herstellung dieser Rohwaren die tatsächlichen Aufwendungen möglichst genau abbilden, diese jedoch im Zweifel nicht unter-, sondern eher überschätzen (vgl. Annahme einer Sprühtrocknung anstelle einer Trommeltrocknung). Mit diesem „konservativen“ Ansatz soll sichergestellt werden, dass die den pflanzenbasierten Käsealternativen angerechneten Lasten eher einer oberen Abschätzung des tatsächlichen energetischen Aufwandes bei der Rohwarenbereitstellung entsprechen.

In der Zusammenschau erscheint ein direkter Vergleich der Bilanzierungsergebnisse der insgesamt acht Produktsysteme zulässig. Die verwendeten Sachbilanzdaten sind als zufriedenstellend und angemessen anzusehen. Bestehende methodische und datenspezifische Unsicherheiten (z. B. im Kontext der wirkungsbasierten Abschätzung der Wasserinanspruchnahme) werden in der Studie transparent dokumentiert.

5.3 Relevante Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der vorliegenden Untersuchung wurden in Kapitel 4 ausführlich dargestellt und diskutiert. Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse der Studie noch einmal aufgegriffen. Dabei werden zunächst diejenigen Umweltwirkungen identifiziert, die für die Herstellung der pflanzenbasierten Käsealternativen und der klassischen Molkereiprodukte besonders relevant sind. Insbesondere die landwirtschaftlichen Produktionsprozesse für die Bereitstellung der Rohwaren sind hier von besonders hoher Relevanz (vgl. Abschnitt 5.3.1). In Abschnitt 5.3.2 werden zentrale Ergebnisse der Wirkungsabschätzung diskutiert.

5.3.1 Relevante Wirkungskategorien

Die vorliegende Untersuchung und die in diesem Rahmen durchgeführte Wirkungsabschätzung beruht auf der Betrachtung ausgewählter Wirkungsindikatoren. Jeder Wirkungsindikator adressiert dabei eine eigene Umweltwirkung, wie zum Beispiel den Beitrag eines Produktsystems zum Treibhauspotenzial oder zur Süßwassereutrophierung (vgl. Abschnitt 0). Die Ergebnisse der einzelnen Wirkungsindikatoren werden in der vorliegenden Studie nicht normiert und es wird insbesondere keine Gewichtung der Wirkungsindikatoren vorgenommen. Vor dem Hintergrund, dass die mitunter sehr verschiedenen Teilaspekte, wie zum Beispiel das Treibhauspotenzial und die Ergebnisse zur Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen, nur schwer miteinander vergleichbar sind, entspricht das gewählte Vorgehen der guten fachlichen Praxis in vergleichenden Ökobilanzen.

5.3.2 Relevante Wirkungsindikatorergebnisse und wichtige (Teil-) Prozesse

Als zentrales Ergebnis der Wirkungsabschätzung kann festgehalten werden, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen in den Wirkungskategorien Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt), Landnutzung und Versauerung und terrestrisches Eutrophierungspotenzial jeweils geringere potenzielle Umweltauswirkungen verursachen als die kuhmilchbasierten klassischen Molkereiprodukte. Eine der zentralen und besonders häufig untersuchten Wirkungskategorien ist das Treibhauspotenzial, das zum Klimawandel beiträgt. Die in der vorliegenden Studie berechneten Ergebnisse für den Wirkungsindikator Treibhauspotential weisen für die pflanzenbasierten Käsealternativen ein gegenüber den klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis um mindestens 50 % geringeres Ergebnis aus. Bei der pflanzlichen Hirtenkäsealternative sowie der pflanzlichen Schnitt- und Reibekäsealternative wurde ein 64 – 66 % geringeres Treibhausgaspotenzial ermittelt (vgl. Abschnitt 4.3.1). Dies steht in Einklang mit Auswertungen der einschlägigen Literatur, wonach pflanzenbasierte Ersatzprodukte in Bezug auf das Treibhausgaspotenzial günstiger zu bewerten sind als tierische Produkte (vgl. auch (Clune et al. 2017; Nijdam et al. 2012; Smetana et al. 2015; Noleppa 2012).

Bei den pflanzenbasierten Käsealternativen ist die Bereitstellung der aus verarbeiteten Agrarrohstoffen (Mandel, Kokosfett, Kartoffelprotein und teilweise Tapiokastärke) für alle in dieser Studie betrachteten Wirkungskategorien als relevant für die Ergebnisse anzusehen. Die Rohwarenbereitstellung, die neben dem Anbau auch die Verarbeitung umfasst, dominiert die Ergebnisse für alle in der vorliegenden Studie ausgewerteten Wirkungskategorien. Weiterhin bestätigt sich als zentrales Ergebnis der vorliegenden Studie, dass dieser Befund auch dann gilt, wenn die Verarbeitung der Agrarrohstoffe zu verarbeiteten Produkten berücksichtigt wird. Auch dieser Befund der vorliegenden Studie bestätigt bereits veröffentlichte Ergebnisse aus früheren Studien (vgl. van Mierlo et al. 2017) . Dennoch ist hier festzuhalten, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur vergleichsweise wenig über die ökobilanzielle Beurteilung der genannten Aufbereitungsprozesse bekannt ist. Für die vorliegende Studie wurden die Annahmen zur energetischen Beurteilung daher auf Basis von Hersteller- und Literaturangaben abgeschätzt (vgl. Abschnitt 3.1.1). Die ökobilanzielle Beurteilung dieser Verarbeitungsverfahren steckt noch in den Anfängen und es bedarf hier ohne Zweifel weiterer Forschungsanstrengungen, um die Datengrundlage zur Verarbeitung von pflanzenbasierten Texturaten und Isolaten insgesamt deutlich auszubauen und zu verbessern

Für die Ergebnisse der pflanzlichen Käsealternativen in der Wirkungskategorie Eutrophierung Süßwasser ist der Einfluss der Rohwaren im Quervergleich über alle Wirkungskategorien am geringsten. Hier sind zudem auch die Teilprozesse der Produktion, der Verpackung und die Emissionen während der Nutzungsphase relevant. Weiterhin kann festgestellt werden, dass für die Wirkungskategorie Eutrophierung Süßwasser leicht höhere Ergebniswerte für die pflanzlichen Käsealternativen ergeben, dass jedoch die Unterschiede beim direkten Vergleich von pflanzlicher Käsealternative und kuhmilchbasiertem Vergleichsprodukt nicht signifikant sind.

Signifikant ist dieses Ergebnis für die Reibekäse-, die Schnittkäse- und die Hirtenkäsealternative. Als wichtigste Beiträge zum Wirkungsindikatorergebnis konnten die Aufwendungen im Zuge der Rohwarenbereitstellung, und hier vor allem Kartoffelstärke, Mandelproduktion und Kokosnussproduktion, identifiziert werden. Ebenso relevant sind die Beiträge aus der Produktion der pflanzlichen Käsealternativen. Das Ergebnis ist hier von der eingesetzten Energie (Elektrizität) abhängig, aber auch die nicht unerheblichen Ausschussmengen bei Produkten, die sauber geschnitten werden müssen, sind hier relevant. Bei diesen trägt die Behandlung der Produktionsausschüsse in der Biogasanlage immerhin 3 % bzw. 6 % zum Ergebnis in der Wirkungskategorie Eutrophierung bei.

Eine Ausnahme stellt die Betrachtung der Wassernutzung bzw. konkreter der Inanspruchnahme von Wasserressourcen dar. Hier führt die Rohwarenbereitstellung der pflanzlichen Rohwaren und insbesondere der mandelbasierten Rohwaren sowohl in Hinblick auf die absoluten in Anspruch genommenen Wasserressourcen auf Sachbilanzebene (vgl. Abschnitt 4.4.3) als auch in Hinblick auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung zu einem insgesamt deutlich höheren Umweltbelastungspotenzial (vgl. Abschnitt 4.3.5). Sowohl die Menge als auch die Kritikalität der Wasserinanspruchnahme ist direkt mit dem Produktionsschwerpunkt der globalen Mandelproduktion im von zunehmender Wasserknappheit betroffenen Kalifornien korreliert. Es ist nicht davon auszugehen, dass sich an dieser Situation kurzfristig wesentliche Verbesserungen einstellen. Im Gegenteil erscheint es trotz derzeit noch wachsender Produktionsfläche für den Mandelanbau fraglich, wie lange und unter welchen ökologischen Bedingungen Mandeln im bisher gekannten Umfang produziert werden können. Grundsätzlich ist die Mandelproduktion auch in anderen Regionen denkbar bzw. es gibt bereits Kapazitäten z.B. europäischen Ursprungs. In relevantem Umfang werden bereits in Spanien, Portugal, Italien und Griechenland Mandeln produziert. Für die europäische Mandelproduktion liegen für die vorliegende Arbeit verwertbare Daten für eine ökologische Mandelproduktion in Spanien vor, bei denen keine künstliche Bewässerung der Mandelplantage erfolgt. Inwiefern die Nachteile bei der pflanzlichen Käsealternativen bei der Wirkungskategorie Wassernutzung nennenswert gesenkt werden können, indem der Rohwarenbezug auf Mandeln aus einem solchen Produktionssystem umgestellt wird, wurde in der vorliegenden Studie orientierend anhand einer Sensitivitätsanalyse zum Mandelanbau betrachtet (vgl. Abschnitt 4.4.2). Anzumerken ist hier allerdings, dass auch für die genannten europäischen Länder und Anbauregionen zumindest temporär ebenfalls Wasserknappheiten berichtet werden. Gleichzeitig sind die im Mandelanbau erzielbaren Hektarerträge stark mit einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit für die Mandelbäume korreliert. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen ein gegenüber dem Basisszenario deutlich reduziertes Wasserknappheitspotenzial, was angesichts des Verzichts auf Bewässerung nicht überraschend ist. Die Wirkungsindikatorergebnisse der pflanzenbasierten Käsealternativen sinken gegenüber dem Basisszenario deutlich (um 45 – 95 %). Festzuhalten bleibt allerdings auch, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen nach wie vor ein zwei- bis dreimal höheres Wasserknappheitspotenzial aufweisen als die milchbasierten Käsevarianten aus dem Basisszenario (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Weitere mögliche Ansätze bestehen in der Substitution von Mandeln durch alternative Rohstoffquellen. Ein in diesem Zusammenhang bei der E.V.A. GmbH bereits bestehender Ansatz wären Produktrezepturen, die auf Cashew oder Walnuss basieren. Allerdings waren entsprechende Produkte nicht im Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie und es müsste auch für gegebenenfalls interessante Mandelalternativen zunächst sorgfältige Abwägungen zu jeweils bestehenden Vor- und Nachteilen getroffen werden.

Bei den kuhmilchbasierten Käsevarianten erweist sich die zur Herstellung der Produkte benötigte Menge an Rohmilch als wesentlicher Treiber der Ergebnisse in allen betrachteten Wirkungskategorien. Je größer die für die Käseproduktion eingesetzte Milchmenge, desto größer auch das Umweltbelastungspotenzial des jeweiligen Produktes. Die Umweltaufwendungen der Milchproduktion sind wiederum vor allem auf die Bereitstellung des Futters für die Milchkühe sowie die direkten stoffwechselbedingten Emissionen der Tiere, die Lagerung der Gülle und deren Ausbringung als Wirtschaftsdünger zurückzuführen. Die zugrunde liegende Modellierung der Rohmilchproduktion ist signifikant für die Ergebnisse des hier angestrebten Vergleichs und bildet einen Mix an Milch aus verschiedenen regionaltypischen Milchproduktionssystemen in Deutschland ab. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse wurden die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit den Ergebnissen anderer Ökobilanzen der Rohmilchproduktion abgeglichen (vgl. Abschnitt 4.4.6). Das Ergebnis der

Sensitivitätsanalyse zeigt zum einen, dass die dieser Studie zugrunde liegende Modellierung in keiner betrachteten Wirkungskategorien in besonderem Maße heraussticht. Eine gewisse Ausnahme stellt hier der Milch-Datensatz aus der Datenbank ecoinvent dar, der einen globalen Marktdurchschnitt der Milchproduktion abbildet und bei dem durchweg mehr oder weniger deutlich höhere potenzielle Umweltaufwendungen abgeschätzt werden. Zum anderen zeigt sich eine insgesamt hohe Varianz bei der Abschätzung des Umweltbelastungspotenzials der Milcherzeugung und bei Nutzung von Datensätzen aus unterschiedlichen Datenbanken (vgl. Tabelle 4-12).

Für die Behandlung von Produktionsausschüssen in der Biogasanlage konnten für die vorliegende Studie keine materialspezifischen Prozessparameter und Prozessausbeuten erhoben werden. Entsprechend musste hier mit Annahmen aus der Literatur gerechnet werden. Um die dadurch bedingte Unsicherheit zumindest größenordnungsmäßig einordnen zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse zu den Annahmen bei der Modellierung der Biogasproduktion durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.4.4.) Wie das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse zeigt, haben die getroffenen Annahmen kaum oder keinen Einfluss auf die Mehrheit der betrachteten Wirkungskategorien. Lediglich für die Wirkungskategorie Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt) ergibt sich bei der Annahme einer höheren Biogasausbeute bei der Behandlung des Produktionsausschusses ein deutlicher Effekt. Je höher der Anteil der Ausschussmengen der Produkte, desto größer ist auch der Effekt auf die Ergebnisse. Nimmt man an, dass der Ausschuss der pflanzenbasierten Käsealternativen die gleiche Biogasausbeute wie Käse liefert, reduziert sich das Ergebnis der pflanzenbasierten Hirtenkäsealternative im Verhältnis zum Basisszenario um 35 %. Bei der pflanzenbasierten Schnittkäsealternative reduziert sich das Ergebnis im Verhältnis zum Basisszenario um knapp 20 %.

Als weiteres Ergebnis der vorliegenden Studie kann festgehalten werden, dass die Herstellung der ‚Simply V‘-Produkte bei der E.V.A. GmbH in Summe 10 % - 16 % zu den Gesamtergebnissen beim Treibhauspotenzial beiträgt. Dieser Anteil liegt innerhalb des für Lebensmittel erwartbaren Bereichs. Die in dieser Studie identifizierten relativen Unterschiede zwischen den vier verglichenen ‚Simply V‘-Produkten sind jedoch weniger durch tatsächlich unterschiedliche Emissionen in der Produktion bedingt, sondern durch höhere bzw. niedrigere Beiträge aus anderen Lebenszyklusphasen (v.a. der Rohwarenbereitstellung). Hier ist anzumerken, dass die vorhandenen Informationen zu den energetischen Aufwendungen einiger Produktionsprozesse zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur auf grober Basis (Gesamtverbräuche für Kühlsystem und Gasverbrauch, Angaben zur Jahresproduktion) vorliegen. Es konnten also teilweise keine produktspezifischen Aufwendungen der Herstellungsprozesse berücksichtigt werden. Die Herstellung beruht jedoch im Wesentlichen auf ähnlichen Prozessfolgen und Verarbeitungsstufen. Angesichts der überschaubaren Bedeutung der Produktion für das Gesamtergebnis und der relativ eindeutigen Lage der Ergebnisse des Vergleichs fallen die genannten Einschränkungen bei der Datenbasis bei der Diskussion der Ergebnisse nicht stark ins Gewicht.

In Bezug auf die Emissionen aus der Herstellung der Produkte sind vor allem die Emissionen aus der Verbrennung des Energieträgers Erdgas und der Stromverbrauch in der Produktion entscheidend. Beide Energieträger tragen jeweils mit etwa 50 % zu den produktionsbedingten Treibhausgasemissionen bei. Im Basiszenario dieser Studie wird die Umweltlast des Stromverbrauchs in der Produktion auf Basis des deutschen Strommix mit dem entsprechenden Emissionsprofil berechnet. Dies entspricht dem standardmäßigen Vorgehen des Öko-Instituts bei produktbezogenen Ökobilanzen. Die E.V.A. GmbH bezieht für die Produktionsstandorte in Oberreute und Hergatz Strom aus erneuerbaren Energiequellen (im Folgenden als Öko-Strom bezeichnet). Das von der E.V.A. GmbH bezogene Stromprodukt ist vom TÜV Austria zertifiziert und entsprechend als nachhaltiger Öko-Strom gekennzeichnet. In einer Sensitivitätsanalyse konnte

gezeigt werden, dass sich bei Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom mit entsprechend geringerem Emissionsprofil die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen der pflanzenbasierten Käsealternativen um 45 – 65 % reduzieren. Bezogen auf das Gesamtergebnis der pflanzenbasierten Käsealternativen führt die Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom zu einem gegenüber dem Basisszenario um 5 – 8 % reduzierten Treibhauspotenzial.

Durch den Bezug hochwertigen Öko-Stroms, bei dem durch garantierte Einhaltung von Zusätzlichkeitskriterien (v.a. Bau von nicht anderweitig geförderten Neuanlagen) ein Beitrag zur Energiewende argumentiert werden kann, bei der Herstellung ließe sich das Treibhauspotenzial der ‚Simply V‘-Produkte in einer Größenordnung von etwa 10 – 15 g CO₂eq/100g reduzieren.

Die der Produktion nachgelagerten Prozesse sind für die Gesamtergebnisse der vorliegenden Studie nur von nachrangiger Relevanz. Hier bestehen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verglichenen Produktsystemen. Der Einbezug der Distribution und Lagerung im LEH, der Einkaufsfahrt und der Lagerung der Produkte im Haushalt in die vorliegende Studie dient dazu, die Relevanz dieser Lebenswegabschnitte im Gesamtsystem zu verdeutlichen.

Zusammenfassend werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie als plausibel und belastbar eingeschätzt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen im Einklang mit den aus der Literatur gewonnenen Erkenntnissen wonach pflanzenbasierte Ersatzprodukte Vorteile bei den Wirkungskategorien Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt) und Landnutzung aufweisen (vgl. auch (Clune et al. 2017; Nijdam et al. 2012; Smetana et al. 2015; Noleppa 2012).

Ebenfalls bestätigt sich als Ergebnis der vorliegenden Studie, dass die Wasserinanspruchnahme der Mandelproduktion einen erheblichen Einfluss hat. In der Wirkungskategorie Wassernutzung führt der Bedarf an künstlicher Bewässerung dazu, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen ein deutlich höheres Wasserknappheitspotenzial aufweisen als die kuhmilchbasierten Käse. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse am Beispiel einer auf künstliche Bewässerung verzichtenden Mandelplantage in Spanien konnte gezeigt werden, dass sich das wirkungsbasierte Wasserknappheitspotenzial pflanzlicher Käsealternativen um bis zu 65 – 95 % reduzieren könnte, wenn die Mandeln nicht wie im Basisszenario aus kalifornischem Anbau stammen (vgl. Abschnitt 4.4.2). Festzuhalten bleibt allerdings auch, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen auch in diesem Fall ein doppelt bis dreifach so hohes Wasserknappheitspotenzial aufweisen als die milchbasierten Käsevarianten aus dem Basisszenario. Ebenso ist zu erwähnen, dass es sich um eine grob orientierende Abschätzung handelt. Es erscheint zudem nicht ausgeschlossen, dass durch sich verändernde Niederschlagsmengen die derzeit mögliche, rein regenbasierte Mandelproduktion in Europa mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert ist. Sollte ein künstliche Bewässerung zum Aufrechterhalt der Mandelproduktion dauerhaft notwendig werden, so würde die entsprechende Wasserinanspruchnahme aufgrund des in der betreffenden Region in Spanien herrschenden Wassermangels sogar mit einem noch um knapp 30 % höheren Wasserkritikalitätsfaktor von 99,7 m³ Wasser/m³ Wasser in die Abschätzung eingehen.

5.4 Beurteilung unter Einbezug der Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen

Zweck dieses Abschnittes zur Beurteilung ist, das Vertrauen in die Ergebnisse und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse der vorliegenden Ökobilanz-Studie, einschließlich der im ersten Bestandteil der Auswertung identifizierten, signifikanten Parameter, zu bilden und zu stärken.

Um das Ziel und den Untersuchungsrahmen zu erfüllen, muss die Beurteilung die folgenden drei Aspekte umfassen:

- Vollständigkeitsprüfung (siehe 5.4.1);
- Sensitivitätsprüfung (siehe 5.4.2);
- Konsistenzprüfung (siehe 5.4.3).

Die nachfolgende Beurteilung erfolgt vor dem Hintergrund der beabsichtigten Anwendung und der Zielgruppe (vgl. Abschnitt 2.1).

5.4.1 Vollständigkeitsprüfung

Zweck der Vollständigkeitsprüfung ist die Sicherstellung, dass alle relevanten Informationen und die für die Auswertung benötigten Daten zur Verfügung stehen und vollständig sind. Im Rahmen der Datenerhebung als Grundlage zur Erstellung der Sachbilanz (vgl. Kapitel 2.2.10) wurde mit großer Sorgfalt darauf geachtet und geprüft, dass für alle hier betrachteten Produktsysteme eine gute und auch vergleichbar detaillierte Datengrundlage vorliegt. Dies gilt insbesondere für die Prüfung, dass keine Prozesse oder Daten, die für die Erfüllung des Ziels und des Untersuchungsrahmens als relevant eingestuft werden, bei der Auswertung unberücksichtigt bleiben. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse des Basisszenarios (vgl. Abschnitt 4.2 und Abschnitt 4.3) durch insgesamt sechs Sensitivitätsanalysen ergänzt und damit weiter abgesichert (vgl. Abschnitt 4.3.8.1). Für die im Rahmen dieser Studie ausgewerteten Wirkungskategorien kann festgehalten werden, dass die zur Erfüllung des Ziels und des Untersuchungsrahmens erforderlichen Daten in hinreichender Qualität vorlagen und einen direkten Vergleich der potenziellen Umweltwirkungen der verglichenen Produktsysteme ermöglichen.

Wie in Abschnitt 5.2 und insbesondere in Abschnitt 3.1.1 ausführlich beschrieben, waren für die Bereitstellung der Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen bzw. für die Verarbeitung der Agrarrohstoffe zu den letztlich bei der E.V.A. GmbH zur Herstellung von ‚Simply V‘-Produkten (Mandelmehl/Mandelpaste, Kokosfett, Tapiokastärke, Kartoffelprotein) keine herstellereigene Informationen verfügbar. Im konkreten Fall wurden die aufgrund von fehlenden Prozessdaten und -informationen erforderlichen Abschätzungen und Annahmen zu den energetischen Aufwendungen dieser Prozesse anhand von Angaben von Herstellern entsprechender Geräte und Anlagen getroffen (vgl. Abschnitt 3.1.1). Dabei wurde darauf geachtet, dass die auf Basis der verfügbaren Informationen berücksichtigten energetischen Aufwendungen bei der Herstellung dieser Rohwaren die tatsächlichen Aufwendungen möglichst genau abbilden, diese jedoch im Zweifel nicht unterschätzen, sondern eher überschätzen (vgl. Annahme einer Sprühtrocknung anstelle einer Trommeltrocknung). Mit diesem „konservativen“ Ansatz soll sichergestellt werden, dass die den pflanzlichen Käsealternativen angerechneten Lasten eher einer oberen Abschätzung des tatsächlichen energetischen Aufwandes bei der Rohwarenbereitstellung entsprechen.

Für alle vier im Rahmen der vorliegenden Studie verglichenen pflanzlichen Käsealternativen mussten darüber hinaus Abschätzungen für die in den Produkten eingesetzten Aromastoffe vorgenommen werden, da hierüber keine spezifischen Informationen zur genauen massenmäßigen Zusammensetzung der Aromen (z.B. nach Gewichtsanteilen) verfügbar war. In der vorliegenden Studie wird dieser Rezepturbestandteil vereinfachend auf Basis des mengenmäßig wichtigsten Inhaltsstoffs, dem Trägerstoff (Dextrose aus Mais oder Weizen) bilanziert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass davon auszugehen ist, dass der Einfluss der notwendigen Vereinfachungen von eher geringer Bedeutung für die Ergebnisse der vorliegenden Studie ist. In der Zusammenschau erscheint ein direkter Vergleich der Bilanzierungsergebnisse der drei Produktvarianten demnach zulässig.

5.4.2 Sensitivitätsprüfung

Basierend auf den Ergebnissen der Beitragsanalyse (vgl. Abschnitt 4.3) konnten diejenigen Prozesse und Emissionen identifiziert werden, die für die Gesamtergebnisse der einzelnen Produktsysteme von besonders hoher Relevanz sind (vgl. Abschnitt 5.2 und Abschnitt 5.3).

Vor dem Hintergrund der als signifikant für das Ergebnis identifizierten Parameter wurden in der vorliegenden Untersuchung sieben eigenständige Sensitivitätsanalysen durchgeführt und in Hinblick auf die Bedeutung für den ökobilanziellen Vergleich von Käse und pflanzenbasierten Alternativprodukten beurteilt (vgl. Abschnitt 4.3.8.1). Als übergeordnetes Ergebnis aus den durchgeführten Sensitivitätsanalysen kann festgehalten werden, dass die zentralen Ergebnisse der Wirkungsabschätzung, wonach die pflanzenbasierten Käsealternativen jeweils Vorteile bei den Wirkungsindikatoren Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt), Landnutzung aufweisen, bestätigt werden.

Bezogen auf die Ergebnisse des Wirkungsindikators Wasserinanspruchnahme bestätigt die Sensitivitätsanalyse den Befund, dass die pflanzlichen Produkte in der Wirkungskategorie Wassernutzung jeweils die höchsten potenziellen Umweltauswirkungen verursachen. Jedoch konnte beispielhaft gezeigt werden, dass sich der diesbezügliche Nachteil der pflanzenbasierten Käsealternativen zumindest deutlich reduzieren könnte, wenn die Mandeln für die ‚Simply V‘-Produkte nicht aus Kalifornien, sondern aus regenwassergespeisten Mandelplantagen in Spanien bezogen werden könnten.

5.4.3 Konsistenzprüfung

In Bezug auf die Datenqualität der erhobenen Produktionsdaten bestehen zwischen den betrachteten Produktsysteme nur geringfügige Unterschiede. Sowohl die Modellierung der pflanzenbasierten Käsealternativen als auch die Modellierung der als Vergleich herangezogenen klassischen Molkereiprodukte auf Kuhmilchbasis basieren jeweils auf einer hinreichenden Datengrundlage, die die Anforderungen an Ziel und Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie erfüllt. Auf notwendige Annahmen und Abschätzungen, etwa für die Modellierung der Bereitstellung der Rohwaren für die pflanzlichen Käsealternativen oder aber Festlegungen zur Modellierung der Futtermittelbereitstellung für die Rohmilchproduktion wurde bereits an anderer Stelle ausführlich eingegangen (vgl. Abschnitt 3.1).

Die der Auswertung zugrunde liegende Datenqualität ist als insgesamt hinreichend einzustufen und erfüllt damit das Ziel und den Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie. Die Verfahren zur ökobilanziellen Handhabung von Koppelprodukten und insbesondere die Allokationsregeln und die Systemgrenze wurden jeweils einheitlich auf alle Produktsysteme angewendet. Dasselbe gilt für die im Zuge der Auswertung durchgeführten Bestandteile der Wirkungsabschätzung, die ebenfalls für alle acht verglichenen Produktsysteme einheitlich und konsistent angewendet wurden. Die getroffenen Annahmen ebenso wie die angewandten Methoden und Daten stimmen dementsprechend mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen überein.

5.5 Einschätzung zu Einschränkungen in Hinblick auf Schlussfolgerungen

Bevor aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung Schlussfolgerungen gezogen werden, sollen hier noch einmal wesentliche Einschätzungen und Einschränkungen dargestellt werden, auf die sich die gezogenen Schlussfolgerungen beziehen.

Im Zuge der Datenerhebung wurde großer Wert auf die Schaffung einer soliden und konsistenten Datengrundlage für alle in der vorliegenden Studie verglichenen Produktsysteme gelegt. In Bezug auf die Datenherkunft und die Datenqualität bestehen für die Mehrheit der in dieser Studie verwendeten Daten keine Unterschiede zwischen den hier verglichenen Produktvarianten. Auf die Notwendigkeit zur Abschätzung der Aufwendungen zur Bereitstellung einiger Rohwaren, für die keine spezifischen Daten verfügbar waren, wurde an den entsprechenden Stellen bereits ausführlich hingewiesen (vgl. Abschnitt 2.2.8.2, 3.1.1 und Abschnitt 5.2). Hierunter fällt unter anderem die Annahme, dass Sonnenblumenprotein einen ähnlichen Herstellungsprozess unterläuft wie Kartoffelprotein, das aus "Abwasser der Kartoffelproduktion" und somit exkl. Landwirtschaftlicher Vorkette gerechnet wird ist an dieser Stelle zulässig, da auch bei der Anwendung eines GWP von bis zu 5 kg CO₂-e (vgl. Sojaproteinisolat als Agrifootprint 5) das Gesamtergebnis nicht verändert werden würde. Eine bessere Annahme würde aus meiner Sicht die Herstellung von Sojaproteinisolat mit der Sonnenblumenvorkette (angepasst um den Proteingehalt der Feldfrucht) darstellen, da die Herstellung der Proteine vergleichbare Prozesse durchläuft Da es sich nicht auf die Ergebnisse auswirkt, ist eine Anpassung des Modells meinerseits nicht erforderlich, allerdings sollte dieser Punkt in die Einschränkungen aufgenommen werden mit dem Verweis, das bei höheren Anteilen andere Annahmen getroffen werden sollten.

Es gilt festzuhalten, dass bestehende Unterschiede beim Nährwertprofil in dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Entsprechend werden in dieser Studie auch keine diesbezüglichen Schlussfolgerungen gezogen. Grundsätzlich stößt eine allein auf einzelne Produkte abzielende Beurteilung des ernährungsphysiologischen Wertes einzelner Lebensmittel an Grenzen. Letztlich ist es entscheidend, wie bzw. zu welchen Anteilen eine Vielzahl verschiedener Lebensmittel zu einem Ernährungsstil bzw. zu einer Ernährungsweise kombiniert werden.

In der Zusammenschau erscheint ein direkter Vergleich der Bilanzierungsergebnisse der acht Produktsysteme demnach zulässig. Die verwendeten Sachbilanzdaten sind im Großen und Ganzen als zufriedenstellend und angemessen anzusehen. Sollten sich in Zukunft die Verfügbarkeit von neuen und verlässlichen Ökobilanzdaten insbesondere zu vorverarbeiteten Rohwaren verbessern, so kann ggf. eine Aktualisierung der hier vorgelegten Bilanz sinnvoll sein. Es darf jedoch zugleich davon ausgegangen werden, dass sich die als robust eingeschätzte, übergeordnete Lage der Ergebnisse nicht grundsätzlich ändern würde.

Die vorliegende Ökobilanz beruht bezüglich der Produktion der ‚Simply V‘-Produkte mangels spezifischerer Datengrundlage auf vergleichsweise grob aufgelösten Informationen zu den bei der Produktion genutzten Energieträgern (Erdgas und Strom). Es konnten daher nur in begrenztem Umfang produktspezifische Aufwendungen zur Herstellung der Produkte berücksichtigt werden. Sollten bezüglich der Produktion der E.V.A. GmbH in Zukunft detailliertere Informationen verfügbar sein, kann ggf. eine Aktualisierung der hier vorgelegten Bilanz sinnvoll sein. Wie in Abschnitt 5.3 ausführlich dargestellt, fallen die genannten Einschränkungen bei der Diskussion der Ergebnisse jedoch nicht stark ins Gewicht.

Die vorliegende Ökobilanz bewertet keine Tierwohlaspekte. Dies ist schon allein darin begründet, dass es sich bei Fragen des Tierwohls nicht um ökologische Aspekte im eigentlichen Sinne handelt.

Aus Sicht der Verbraucherpolitik und/oder der Unternehmenskommunikation kann eine Berücksichtigung der Tierwohlperformance im Zuge einer ganzheitlichen Beurteilung grundsätzlich dennoch erstrebenswert sein.

Die vorliegende Ökobilanz schätzt außerdem keine toxikologischen Aspekte und keine biodiversitätsrelevanten Aspekte ab. Dementsprechend beziehen sich die im folgenden Kapitel gezogenen Schlussfolgerungen auch nicht auf eine toxikologische Beurteilung der acht verschiedenen Produktsysteme und auch nicht auf eine Beurteilung biodiversitätsrelevanter Aspekte.

6 Schlussfolgerung

Vor dem Hintergrund der Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen werden in diesem abschließenden Kapitel wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse dargestellt und es werden Schlussfolgerungen gezogen. Hierzu werden zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse aus den voranstehenden Kapiteln in diesem abschließenden Berichtskapitel zusammengeführt.

Als zentrales Ergebnis der vorliegenden Studie kann festgehalten werden, dass die pflanzenbasierten Käsealternativen in den Wirkungskategorien Klimawandel (Treibhauspotenzial gesamt), Landnutzung, Versauerung und terrestrisches Eutrophierungspotenzial jeweils geringere potenzielle Umweltauswirkungen verursachen als die kuhmilchbasierten klassischen Molkereiprodukte. Eine der zentralen und besonders häufig untersuchten Wirkungskategorien ist das Treibhauspotenzial, das zum Klimawandel beiträgt. Die in der vorliegenden Studie berechneten Ergebnisse für den Wirkungsindikator Treibhauspotential weisen für die pflanzenbasierten Käsealternativen ein gegenüber den klassischen Molkereiprodukten auf Kuhmilchbasis um mindestens 50 % geringeres Ergebnis aus. Bei der pflanzlichen Hirtenkäsealternative sowie der pflanzlichen Schnitt- und Reibekäsealternative wurde ein 64 – 66 % geringeres Treibhausgaspotenzial ermittelt (vgl. Abschnitt 4.3.1. Dies steht in Einklang mit Auswertungen der einschlägigen Literatur, wonach pflanzenbasierte Ersatzprodukte in Bezug auf das Treibhausgaspotenzial günstiger zu bewerten sind als tierische Produkte (vgl. auch (Clune et al. 2017; Nijdam et al. 2012; Smetana et al. 2015; Noleppa 2012).

Gleichzeitig muss für die hier vorliegende Studie festgehalten werden, dass die pflanzlichen Käsealternativen bei der Wirkungskategorie Wassernutzung bzw. konkreter der Inanspruchnahme von Wasserressourcen deutlich höhere potenzielle Umweltauswirkungen verursachen als klassische Molkereiprodukte auf Kuhmilchbasis. Hier dominiert die Bereitstellung der mandelbasierten Rohwaren sowohl in Hinblick auf die absolut in Anspruch genommenen Wasserressourcen als auch in Hinblick auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung. Menge und Kritikalität der Wasserinanspruchnahme sind direkt mit dem Produktionsschwerpunkt der globalen Mandelproduktion in Kalifornien korreliert. Diese Region ist von zunehmender Wasserknappheit betroffen und es ist nicht davon auszugehen, dass sich an dieser Situation kurzfristig wesentliche Verbesserungen einstellen. Im Gegenteil erscheint es auch und gerade bedingt durch derzeitige Ausdehnung der Produktionsfläche fraglich, ob, wie lange und unter welchen Bedingungen Mandeln im bisher gekannten Umfang produziert und am Weltmarkt bereitgestellt werden können. Grundsätzlich ist die Mandelproduktion auch in anderen Regionen denkbar bzw. es gibt bereits Kapazitäten z.B. europäischen Ursprungs. In relevantem Umfang werden Mandeln bereits in Spanien, Portugal, Italien und Griechenland produziert. Auch die E.V.A. GmbH denkt laut eigener Aussage darüber nach, künftig Mandeln aus Europäischen Anbauregionen zu beziehen. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse konnte anhand einer überschlägigen Berechnung gezeigt werden, dass die Nachteile der pflanzlichen Käsealternativen bei der Wirkungskategorie Wassernutzung zwar nicht komplett verschwinden, jedoch nennenswert gesenkt werden könnten, wenn es gelingt, den Rohwarenbezug auf Mandeln aus einem Produktionssystem ohne künstliche Bewässerung umzustellen. Anzumerken ist sicherlich, dass auch für die genannten Länder und Anbauregionen zumindest temporär ebenfalls Wasserknappheiten berichtet werden. Bei einer Versorgung von Mandeln aus Spanien sollte daher besonders darauf geachtet werden, ob es sich um eine regenwassergespeiste Mandelplantage handelt oder nicht. Besonders vor dem Hintergrund der Aussage des Verbands der spanischen Mandel-Produzenten, wonach es in den letzten Jahren zu einem Umschwung in der spanischen Mandelproduktion kam, der vermehrt auf künstliche Bewässerung zugunsten von Ertragssteigerungen setzt (almendrave 2023).

Ein weiterer möglicher Ansatz wäre über die Substitution von Mandeln durch alternative Rohstoffquellen nachzudenken. Ein in diesem Zusammenhang bei der E.V.A. GmbH bereits bestehender Ansatz wären Produktrezepturen, die auf Cashew oder Walnuss basieren. Allerdings waren entsprechende Produkte nicht im Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie und es müsste auch für gegebenenfalls interessante Mandelalternativen zunächst sorgfältige Abwägungen zu jeweils bestehenden Vor- und Nachteilen getroffen werden.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Bereitstellung der Rohwaren einen großen Einfluss auf die Ergebnisse des Vergleichs hat. Die Herstellung der Produkte ist zwar nicht dominierend, jedoch grundsätzlich ebenfalls relevant. Außerdem liegt sie im direkten Verantwortungs- und Handlungsbereich der E.V.A. GmbH und es bestehen hier vergleichsweise gute Hebel, um die Umwelleistung des Unternehmens und seiner Produkte weiter zu verbessern. Bezogen auf die Modellierung der Produktion in der vorliegenden Studie war es teilweise bereits möglich die erhobenen Daten produktspezifisch zuzuordnen. Teilweise mussten jedoch auch noch pauschale Umrechnungen von Gesamtverbräuchen auf Basis der Produktionsmenge vorgenommen werden. Im Zuge des geplanten Umzugs bzw. Neubaus der Produktionsstandorte könnte durch Einführung eines Energiemanagementsystems eine feiner granuliertere Datengrundlage geschaffen werden. Auf einer solchen Basis könnten dann ggf. auch weitere Energieeffizienzpotenziale und spezifische Aspekte einzelner Produktlinien adressiert werden.

Die E.V.A. GmbH nutzt für die Herstellung ihrer Produkte derzeit ein Öko-Stromprodukt. Damit will das Unternehmen die Verantwortung für die im direkten Einflussbereich des Unternehmens entstehenden Treibhausgasemissionen übernehmen und zur Transformation des Energiesystems beitragen. Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse konnte gezeigt werden, dass sich bei Berücksichtigung des Einsatzes von Öko-Strom die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen der pflanzenbasierten Käsealternativen deutlich (45 – 65 %) senken würden. Über den gesamten Lebenszyklus der Produkte betrachtet entspricht dies einer Reduktion um 5 – 8 % des Gesamttreibhauspotenzials.

Das von der E.V.A. GmbH bezogene Stromprodukt ist vom TÜV Austria zertifiziert und entsprechend als nachhaltiger Öko-Strom gekennzeichnet. Weiterhin wird angegeben, dass durch den Kauf des Öko-Stromprodukts die zusätzliche Errichtung von Neuanlagen zur Erzeugung von Ökostrom gefördert werden. Soweit aus öffentlich einsehbaren Informationen stammt der Unternehmensverkaufsmix des Anbieters zu 57 % aus Öko-Strom, welcher aus Anlagen kommt, die aus EEG-Umlage finanziert wurden und zu 43 % aus Öko-Strom mit Herkunftsnachweis. Inwiefern hier tatsächlich ambitionierte Zusätzlichkeitskriterien erfüllt werden, kann auf Basis der vorliegenden Informationen nicht abschließend geklärt werden. Hier bietet es sich an, mit dem Versorger zu prüfen, inwiefern das gekaufte Stromprodukt tatsächlich direkt den ansonsten ungeforderten Ausbau EE-Anlagen fördert und damit die durch das Handeln des Unternehmens die von der E.V.A. GmbH intendierte Zusätzlichkeit in der Realität gegeben ist. Das Unternehmen sollte erwägen den Strombezug freiwillig auf ein hochwertiges Öko-Stromprodukt umzustellen, welches den Ausbau erneuerbarer Energien fördert. Bezieht man den Bezug von Öko-Strom in der Produktion in die Berechnung mit ein, führt dies bei allen ‚Simply V‘-Produkten zu geringeren Emissionen.

Bei der Herstellung der ‚Simply V‘-Produkte fallen in unterschiedlichem Maß Produktionsabfälle an. Im Quervergleich wird deutlich, dass bei den Produkten, die am Ende der Produktion geschnitten werden, insgesamt deutlich mehr Ausschuss produziert wird. Der entsprechende Mehraufwand (relevant ist hier vor allem der Bedarf zusätzlicher Rohwaren) wird in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Hier scheinen für die Zukunft jedoch noch prozesstechnische Optimierungspotenziale zu

bestehen. Einen Hinweis zur Größenordnung der möglichen Einspareffekte gibt die hierzu durchgeführte Sensitivitätsanalyse.

Die der Produktion nachgelagerten Prozesse (v.a. Einkaufsfahrt und die Lagerung der Produkte im privaten Haushalt) sind für die Gesamtergebnisse der vorliegenden Studie von eher nachgeordneter Bedeutung. Es bestehen hier jedoch keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verglichenen Produktsystemen.

7 Literaturverzeichnis

almendrave (2023): Production, Almond in Spain. almendrave (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.almendrave.com/en/the-sector/production>.

Antony, F.; Teufel, J.; Liu, R.; Bieler, C.; Sutter, D.; Spescha, G.; Hartmann, W.; Schroers, J. (2021): Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen. Öko-Institut. UBA (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sichtbarmachung-versteckter-umweltkosten-der>, zuletzt geprüft am 26.07.2022.

BLE (2021): Bericht zur Markt- und Versorgungslage Bericht zur Markt- und Versorgungslage mit Milch und Milcherzeugnissen. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.). Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/MilchUndMilcherzeugnisse/JaehrlicheErgebnisse/Deutschland/2021BerichtMilch.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 26.07.2022.

Clune, S.; Crossin, E.; Verghese, K. (2017): Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. In: *Journal of Cleaner Production* 140, S. 766–783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.082.

Consulting Team der IVE mbH (Hg.): EcoTransIT. Online verfügbar unter <https://www.ecotransit.org/de/emissionsrechner/>.

destatis (2023): Stromerzeugung 2022: Ein Drittel aus Kohle, ein Viertel aus Windkraft, Presse. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_090_43312.html.

DIN EN ISO 14040:2021-02 (2021): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Englische Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 14040:2021-02 (2021): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2021-02, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 14044:2021-02 (2018): Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2021-02, Berlin: Beuth Verlag GmbH, zuletzt geprüft am 24.05.2019.

DIN EN ISO 14044:2021-02 (2020): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020), Berlin: Beuth Verlag GmbH, zuletzt geprüft am 02.07.2021.

Garing, S. (2020): Mandelmehl selber machen: Eine einfache Anleitung. Utopia (Hg.). Online verfügbar unter <https://utopia.de/ratgeber/mandelmehl-selber-machen-eine-einfache-anleitung/>, zuletzt geprüft am 08.06.2022.

Grünberg, J.; Nieberg, H.; Schmidt, T. G. (2010): Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (Carbon Footprints), Überblick und kritische Reflektion. Thünen-Institut (Hg.). Braunschweig. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn046465.pdf, zuletzt geprüft am 05.08.2020.

IAAS (2021): Almond production remains stable in the long term, despite deficit irrigation. University of Córdoba (Hg.). Online verfügbar unter <https://iaas.org.sg/almond-production-remains-stable-in-the-long-term-despite-deficit-irrigation/>.

IPCC (2013a): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J. et al. (Hg.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,. Online verfügbar unter http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2018.

IPCC (2013b): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J. et al. (Hg.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,. Online verfügbar unter http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2018.

Kendall, A.; Marvinney, E.; Brodt, S.; Weiyuan Zhu (2015a): Life Cycle–based Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Almond Production, Part I: Analytical Framework and Baseline Results. In: *Journal of Industrial Ecology* 19 (6), S. 1008–1018. DOI: 10.1111/jiec.12332.

Kendall, A.; Marvinney, E.; Brodt, S.; Zhu, W. (2015b): Life Cycle–based Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Almond Production, Part I, Analytical Framework and Baseline Results. In: *Journal of Industrial Ecology* (19).

LfL: Biogasausbeute. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.lfl.bayern.de/appl/biogas/ausbeute/>, zuletzt geprüft am 15.07.2022.

Martin-Gorriz, B.; Maestre-Valero, J.; Almagro, M.; Boix-Fayos, C.; Martínez-Mena, M. (2020): Carbon emissions and economic assessment of farm operations under different tillage practices in organic rainfed almond orchards in semiarid Mediterranean conditions (261). *Scientia Horticulturae*.

Marvinney, E.; Kendall, A. (2021a): A scalable and spatiotemporally resolved agricultural life cycle assessment of California almonds. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2021 (26), S. 1123–1145. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01891-4>, zuletzt geprüft am 01.06.2021.

Marvinney, E.; Kendall, A. (2021b): A scalable and spatiotemporally resolved agricultural life cycle assessment of California almonds. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* (26), S. 1123–1145.

Nijdam; Durk; Rood, T.; Westhoek, H. (2012): The price of protein, Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. In: *Food Policy* 37 (6), S. 760–770. DOI: 10.1016/j.foodpol.2012.08.002.

Noleppa, S. (2012): Klimawandel auf dem Teller. Online verfügbar unter https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_auf_dem_Teller.pdf, zuletzt geprüft am 11.06.18.

Oirschot, R. v.; Thomas, J.-B. E.; Gröndahl, F.; Fortuin, K. P.; Brandenburg, W.; Potting, J. (2017): Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. In: *Algal Research* (27), S. 43–54.

Poore J.; Nemecek, T. (2018): Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. In: *Science* (360), S. 987–992, zuletzt geprüft am 07.11.2023.

Quantis Switzerland (2018): Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for Dairy Products, Updated DRAFT for public consultation, July 28, 2016. Unter Mitarbeit von Bengoa, X.; Dubois, C. und Humbert, S. (Version 1.0). The European Dairy Association (Hg.). Brussels. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR-DairyProducts_2018-04-25_V1.pdf_consultation.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2019.

Ritschie, H. (2020): You want to reduce the carbon footprint of your food?, Focus on what you eat, not whether your food is local. Online verfügbar unter <https://ourworldindata.org/food-choice-vs-eating-local>, zuletzt geprüft am 11.02.2021.

Smetana, S.; Mathys, A.; Knoch, A.; Heinz, V. (2015): Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. In: *Int J Life Cycle Assess* 20, S. 1254–1267. DOI: 10.1007/s11367-015-0931-6.

Usubharatana, P.; Phungrassami, H. (2015): Carbon Footprint of Cassava Starch Production in North-Eastern Thailand. In: *Procedia CIRP* 29, S. 462–467. DOI: 10.1016/j.procir.2015.02.031.

van Mierlo, K.; Rohmer, S.; Gerdessen, J. C. (2017): A model for composing meat replacers: Reducing the environmental impact of our food consumption pattern while retaining its nutritional value. In: *Journal of Cleaner Production* 165, S. 930–950. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.098.

Volpe, R.; Messineo, S.; Volpe, M.; Messineo, A. (2015): Carbon Footprint of Tree Nuts Based Consumer Products. In: *Sustainability* (7), S. 14917–14934.

Wulca (2019): Download (Sub) Watershed level values (annual and monthly), Download Google Layer Document. Wulca (Hg.). Online verfügbar unter <https://wulca-waterlca.org/aware/download-aware-factors/>.

Zampori, L.; Plant, R. (2022): PEF Methode. JRC (Hg.). Online verfügbar unter 15.07.2022, zuletzt geprüft am https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:75e0de0f-5e6d-11ec-9c6c-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_2&format=PDF.

Anhang

Anhang I. Gutachten zur externen kritischen Prüfung

**Ergebnis der kritischen Prüfung nach ISO 14040 und 14044
der Studie**

**„Ökobilanz für pflanzenbasierte Käsealternativen der EVA GmbH und
Vergleich mit kuhmilchbasierten Molkereiprodukten“**

durchgeführt vom
Öko-Institut e.V., Freiburg

an die Auftraggeberin der Studie
E.V.A GmbH, Oberreute

von
Birgit Grahl
Mirjam Busch
Sergiy Smetana

14.3.2024

INHALT

1	Veranlassung und Ablauf der Kritischen Prüfung	2
2	Allgemeine Kommentare	3
3	Konformität mit ISO 14040 und 14044	3
3.1	Methodenkonformität	3
3.2	Wissenschaftliche Begründung und technische Gültigkeit der Methoden	4
3.3	Validität der verwendeten Daten	5
3.4	Berücksichtigung des Ziels der Studie und erkannter Einschränkungen in der Auswertung	6
3.5	Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Berichtes	7
4	Resümee	7
	Adressen der GutachterInnen	8
	Referenzen	8

1 Veranlassung und Ablauf der Kritischen Prüfung

Die Kritische Prüfung wurde am 8.9.2022 von der E.V.A. GmbH (Auftraggeberin) über Herrn Jülicher, als Kritische Prüfung am Ende der Studie beauftragt. Die Ökobilanzstudie wurde durchgeführt vom Öko-Institut e.V., Freiburg (Ersteller).

Die erste Version des Abschlussberichtes wurde dem Panel am 23.10.2022 über Herrn Dr. Antony vom Öko-Institut übersandt und von allen Panel Mitgliedern schriftlich kommentiert. Nach einer internen Diskussion am 15.11.2022 übersandte das Panel die Kommentare am 16.11.2022 an Ersteller und Auftraggeberin. In einer Web-Konferenz am 16.12.2022 wurden die Kommentare mit dem Öko-Institut durchgesprochen und unklare Punkte erläutert. Eine online Modellprüfung wurde am 11.11.2022 vom Panel Mitglied Mirjam Busch durchgeführt.

Die überarbeitete Version des Berichtes wurde dem Panel am 6.7.2023 über Herrn Dr. Antony vom Öko-Institut übersandt. Einige verbleibende Fragen des Panels wurden am 31.7.2023 an Ersteller und Auftraggeberin übermittelt.

Der auf dieser Basis erstellte Abschlussbericht wurde den GutachterInnen vom Öko-Institut am 6.3.2024 übersandt. Es wurden zwei Versionen des Abschlussberichtes erstellt:

1. Der für die Kritische Prüfung vorgelegte Studienbericht enthält vollumfänglich alle Daten.
2. In der zur Veröffentlichung vorgesehenen Version des Studienberichts wurden streng vertraulichen Daten (Rezepturen) mit Spannbreiten angegeben.

Die folgenden Aussagen und Kommentare basieren auf dem Abschlussbericht, der alle Daten enthält.

Formal handelt es sich bei dieser kritischen Prüfung um eine Prüfung durch "interessierte Kreise" (Panel-Methode) gemäß ISO 14040 Abschnitt 7.3.3 und ISO 14044 Abschnitt 4.2.3.7 und 6.3, da die Studie vergleichende Aussagen zu Referenzprodukten enthält und gegenüber Dritten offengelegt werden soll.

Trotz dieses Titels ist die Einbeziehung weiterer Vertreter "interessierter Kreise" jedoch fakultativ und war in dieser Studie nicht vorgesehen. Das Gutachtergremium ist neutral und unabhängig von kommerziellen Interessen von Auftraggeberin und Ersteller. Das Panel hat die Belange anderer interessierter Kreise nach bestem Wissen berücksichtigen, da es außerhalb des Rahmens des vorliegenden Projekts lag, staatliche oder nichtstaatliche Organisationen oder andere interessierte Kreise, z. B. Wettbewerber oder Verbraucher, einzubeziehen.

Das Panel betont die offene und konstruktive Atmosphäre des Projekts. Den GutachterInnen wurden alle erforderlichen Daten vorgelegt und alle Fragen offen diskutiert. Alle Kommentare des Panels wurden vom Ersteller der Ökobilanzstudie im Schlussbericht, auf den sich diese Ergebniszusammenfassung der Kritischen Prüfung bezieht, detailliert behandelt.

Hinweis: Die vorliegende Ergebniszusammenfassung der Kritischen Prüfung wird an die E.V.A. GmbH übersandt. Die GutachterInnen können nicht für die Verwendung der Arbeit durch Dritte verantwortlich gemacht werden. Die Schlussfolgerungen basieren auf dem vollständigen Bericht für die E.V.A. GmbH „Ökobilanz für pflanzenbasierte Käsealternativen der EVA GmbH und Vergleich mit kuhmilchbasierten Molkereiprodukten“ vom 6.3.2024, der vollumfänglich alle Daten enthält, und keinem anderen Bericht, Auszug oder Veröffentlichung, die eventuell durchgeführt werden könnten. Die Schlussfolgerungen der GutachterInnen wurden vor dem Hintergrund des aktuellen Stands der Technik und den vorgelegten Informationen abgeleitet, sind allein für den Kontext und den Inhalt der vorliegenden Studie gültig und dürfen nicht weiter verallgemeinert werden.

2 Allgemeine Kommentare

Die Studie untersucht potenzielle Umweltwirkungen von vier pflanzenbasierten Käsealternativen der Firma E.V.A GmbH im Vergleich zu vier klassischen Molkereiprodukten, die funktional als Brotbelag oder zum Überbacken zu den pflanzenbasierten Produkten kompatibel sind. Die Produktionsphase der pflanzenbasierten Produkte wird spezifisch abgebildet, die Vorketten der Rezepturbestandteile so spezifisch wie es die Datenlage erlaubt. Für die Produkte auf Kuhmilchbasis wurde auf Daten eines publizierten und zitierten F&E-Vorhabens des Umweltbundesamtes sowie auf die PEFCR Diary zurückgegriffen. Beide Quellen enthalten generische Daten. Die GutachterInnen möchten betonen, dass aus diesem Grund ein Vergleich mit Produkten spezifischer Hersteller von Molkereiprodukten nicht Gegenstand der vorliegenden Studie ist. Darauf wird auch in der Studie explizit hingewiesen.

3 Konformität mit ISO 14040 und 14044

Für die kritische Prüfung wurden die aktuell gültigen Normen ISO 14040 und ISO 14044 zugrunde gelegt. Geprüft wurde nach den in ISO 14044 Ziffer 6.1 vorgegebenen fünf Kriterien:

Das kritische Prüfungsverfahren muss sicherstellen, dass:

- *die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser Internationalen Norm übereinstimmen,*
- *die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und technisch gültig sind,*
- *die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind,*
- *die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie berücksichtigen und*
- *der Bericht transparent und in sich stimmig ist.*

In den folgenden Abschnitten 3.1 bis 3.5 ist die Umsetzung dieser Aspekte in der Studie zusammengefasst.

3.1 Methodenkonformität

Die Studie wurde gemäß der in ISO 14040 beschriebenen allgemeinen Struktur der Ökobilanz und den in ISO 14044 genannten Anforderungen durchgeführt. Einige Aspekte werden im Folgenden hervorgehoben:

- Der Bericht folgt der allgemeinen Struktur der Ökobilanzberichterstattung und berücksichtigt die erweiterten Anforderungen an die Berichterstattung an Dritte nach ISO 14044 (5.2). Die wesentlichen Informationen, die für die benannten Zielgruppen relevant sind, werden adressiert.
- Die zur Veröffentlichung vorgesehene Berichtsversion, in der streng vertrauliche Daten in Spannbreiten angegeben werden, ist nach Einschätzung des Panels hinreichend transparent zum Verständnis der Schlussfolgerungen.
- Die funktionelle Einheit wurde vor dem Hintergrund der Funktion der Produkte als Brotbelag oder zum Überbacken von Speisen massenbezogen gewählt. Diese Wahl ist vor dem Hintergrund des Studienziels sinnvoll.

- Die Systemgrenzen, Abschneidekriterien und Allokationsverfahren (sowohl was die Auswahl von Hintergrunddatensätzen betrifft, als auch Behandlung in selbst modellierten Datensätzen) sind sinnvoll gewählt und nachvollziehbar beschrieben.
- Die berücksichtigten sieben Sensitivitätsanalysen sind relevant und aussagekräftig zur Einschätzung der Belastbarkeit der Ergebnisse.
- Die Auswahl der Wirkungskategorien ist vor dem Hintergrund des Ziels angemessen, wird klar erklärt und kritisch diskutiert (siehe auch 3.2).
- Die Ergebnisse werden klar dargestellt, Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen in verständlicher Weise abgeleitet und unter Bezugnahme auf die zugrunde liegenden Rahmenbedingungen und die damit verbundenen Einschränkungen diskutiert.
- Die Auswertung reflektiert die Ergebnisse der Studie kritisch unter Berücksichtigung der Einschränkungen und leitet daraus nachvollziehbar Schlussfolgerungen ab.

Die GutachterInnen kommen zu dem Schluss, dass die verwendeten Methoden mit den internationalen Normen konform sind.

3.2 Wissenschaftliche Begründung und technische Gültigkeit der Methoden

Die verwendeten Methoden entsprechen dem wissenschaftlichen und technischen Standard für derartige Analysen. Einige Aspekte werden im Folgenden hervorgehoben:

- In der am 11.11.2022 durchgeführten Prüfung des Modells und der Datenbasis wurden die Modellierung von Prozessen der E.V.A GmbH sowie der klassischen Molkereiprodukte und die der Einsatzstoffe überprüft. Zu nennen sind folgende Punkte:
 - Nachvollzogen wurde, wie die Anbauregionen der Feldfrüchte im Modell berücksichtigt werden und welche Auswirkungen dies vor allem auf die Wasserinanspruchnahme sowie auf Landnutzungsänderung hat.
 - Es wurden Verarbeitungsprozesse der Feldfrüchte zu den Rohwaren sowie die Herstellung der Simply V-Produkte geprüft und u.a. die Ausschussmengen diskutiert.
 - Das Modell der klassischen Molkereiprodukte konnte nachvollzogen werden. Relevante Informationen zum Futtermiteinsatz, zur Allokation Milchkuh/Fleisch und zur Aufzucht wurden präsentiert.
 - Die Verpackungsmaterialherstellung sowie Behandlung der Materialien am Lebenswegende (stoffliche und thermische Abfallverwertung) wurden nachvollzogen und diskutiert.

Die Sitzung wurde in voller Offenheit und Transparenz durchgeführt, und die Ersteller gingen auf alle Fragen kompetent und umfassend ein.

- ISO 14040/44 verlangen keine bestimmten Wirkungskategorien sondern diese müssen entsprechend dem untersuchten Produktsystem sinnvoll gewählt sein. Weiterhin wird in ISO 14040/44 darauf hingewiesen, dass geeignete Charakterisierungsmodelle für die ausgewählten Wirkungskategorien verwendet werden sollen. Diesbezüglich folgt die Studie der vom Joint Research Centre (JRC) im Rahmen der Entwicklung des PEF-Methodik zusammengestellten Sets Environmental Footprint (EF)3.0. Die Auswahl der berücksichtigten Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter wird sachgerecht begründet und die Charakterisierungsmodelle entsprechen dem Stand der Ökobilanztechnik. Die Charakterisierungsmodelle einzelner Wirkungsindikatoren werden einer kritischen Diskussion unterzogen und die Relevanz von Ergebnissen nachvollziehbar eingeordnet.
 - Die toxikologischen Wirkungskategorien CUTH und CUTe werden aufgrund der recht großen Unsicherheit der Ergebnisse nicht berücksichtigt und demzufolge auch keine toxikologisch relevanten Schlussfolgerungen gezogen. Das Panel folgt dieser Einschätzung, wenngleich der Pestizideinsatz in der Produktion pflanzlicher Rohstoffe und Futtermittel sowie Tierarzneimittel relevant sein könnten. Diesbezügliche Untersuchungen in der

- erforderlichen Detailtiefe bedürften allerdings einer anderen Methodik als die einer Ökobilanz.
- Die Wirkungskategorie Landnutzung wird über den in EF3.0 aufgenommenen Indikator „Bodenqualitätsindex basierend auf der LANCA-Methodik“ abgebildet. Diesbezüglich weist die Studie ausdrücklich darauf hin, dass dieser Indikator keine Abschätzung potenziell biodiversitätsrelevanter Umweltwirkungen ermöglicht und demzufolge auch keine diesbezüglichen Aussagen getroffen werden können. Das Panel folgt dieser Einschätzung.
 - Sehr ausführlich wird die Wirkungskategorie „Wasserinanspruchnahme“ behandelt, was hinsichtlich der Mandelproduktion relevant ist. Das Charakterisierungsmodell berücksichtigt die Knappheit von Wasser in definierten Regionen. Drei diesbezügliche Sensitivitätsanalysen zeigen die Robustheit der Schlussfolgerungen. Es ist besonders erwähnenswert, dass die Autoren der Studie das Thema „Wasserinanspruchnahme“ sowohl in der Sachbilanzbeschreibung als auch in der Diskussion der Wirkungsabschätzung und den Schlussfolgerungen äußerst transparent und detailliert behandeln.
 - Ergänzend zu den ausgewählten Wirkungskategorien werden die Sachbilanzparameter $KEA_{\text{nicht regenerativ}}$ und $KEA_{\text{regenerativ}}$ ausgewertet und die Ergebnisse sachgerecht eingeordnet.
- Die Ergebnisse der ausgewählten Wirkungsindikatoren und Sachbilanzparameter werden in aussagekräftigen Diagrammen präsentiert, in einer Beitragsanalyse gründlich analysiert und somit für die Auswertung transparent aufbereitet. Die Wesentlichkeitsschwellen zur Bewertung von Wirkungsindikatorergebnissen sind klar und sinnvoll definiert und somit sind Aussagen in der Auswertung zum Unterschied der untersuchten Produktvarianten nachvollziehbar. Die Daten werden nicht überinterpretiert.
 - Die Modellierung und Datengrundlage der Rohwarenbereitstellung, Lagerung, Zubereitung, Verpackung, Distribution und Nutzung sind ausführlich beschrieben, plausibel und nachvollziehbar (vgl. auch 3.3).

Die GutachterInnen kommen zu dem Schluss, dass die verwendeten Methoden wissenschaftlich und technisch valide sind.

3.3 Validität der verwendeten Daten

Die nachfolgenden Anmerkungen beziehen sich auf die Berichtsversion, in der alle Daten vollumfänglich enthalten sind. Nach Einschätzung des Panels enthält der Bericht mit Angaben von Spannweiten hochsensibler Firmendaten (exakte Rezepturen), der zur Veröffentlichung vorgesehen ist, hinreichende Informationen, zum Verständnis der Schlussfolgerungen.

Wie bei Kritischen Prüfungen üblich, war es nicht möglich, die Korrektheit aller Primär- und anderen Daten sowie der Hintergrunddatenbank zu überprüfen, allerdings wurden in der Studie verwendete Daten auf Angemessenheit und Plausibilität überprüft. Der Einsatz der Ökobilanzsoftware openLCA (V.1.11.0) und die Verwendung konsistenter Datensätze aus der Datenbank ecoinvent V.3.8 ermöglicht eine angemessene Modellierung der untersuchten Systeme.

Einige Aspekte werden im Folgenden hervorgehoben:

- Die Sichtung des Datenmaterials und -managements ergab, dass die Daten sorgfältig und nachvollziehbar gehandhabt wurden. Hinweise auf systematische Fehler bei den durchgeführten Berechnungen wurden nicht identifiziert.
- Der Umgang mit fehlenden Daten wird transparent beschrieben und Abschätzungen plausibel erläutert. Insbesondere die unzureichende Datenlage im Falle pflanzlicher Käsealternativen für Gewürze, Texturate und Isolate musste durch sinnvolle Abschätzungen ergänzt werden. Diese Abschätzungen sind transparent und nachvollziehbar dokumentiert und kritisch hinsichtlich ihrer Belastbarkeit diskutiert. Prozessparameter der Vorproduktion der pflanzlichen Käsealternativen wurden auf Basis von Energiedaten der Maschinenhersteller abgeschätzt, was in der Studie transparent dargestellt ist.

- Die spezifischen Daten der E.V.A. GmbH (Produktzusammensetzung und Prozessdaten) für das Jahr 2021 sind dokumentiert und plausibel.
- Für die Verarbeitungsprozesse der Feldfrüchte zu den Rohwaren wurden spezifische Daten aus Literatur, von Herstellern oder ausecoinvent herangezogen. Die verwendeten Daten entsprechen aktuellen Produktionsverhältnissen.
- Die Daten zur Rohmilchbereitstellung wurden aus einem publizierten und zitierten F+E Vorhaben des Umweltbundesamts übernommen. In der Studie sind die zum Verständnis wichtigen Parameter transparent aufgeführt und die verwendeten Daten plausibel.
- Für die in dieser Studie betrachteten kuhmilchbasierten Vergleichsprodukte wurde auf die PEFCR Dairy, eine auf Environmental Footprint (EF) 3.0 beruhende, für die Molkereibranche relevante Produktkategorieregel zurückgegriffen, die generische Daten für Produktionsprozesse enthält. Der Rückgriff auf PEFCR Dairy hat zur Konsequenz, dass sich bezüglich der Entsorgung von Produktionsresten eine Asymmetrie im angenommenen Entsorgungsszenario ergibt. Im PEFCR Dairy wird Deponie zugrunde gelegt, für die EVA Prozesse Biogas. Dieser Aspekt wird in einer Sensitivitätsanalyse untersucht, die nachvollziehbar zeigt, dass diese Asymmetrie für das Gesamtergebnis nicht relevant ist.
- Die Emissionen biogenen Kohlenstoffs am Lebenszyklusende der Produkte bleiben unberücksichtigt. Dieses Vorgehen teilen die GutachterInnen, da es sich um Lebensmittel handelt, für die kein belastbares praxistaugliches Verfahren existiert, nachdem die entsprechenden Stoffwechselprozesse der KonsumentInnen in der vorliegenden Ökobilanz modelliert werden könnten.
- Die verwendeten Hintergrunddatensätze sind verbal argumentativ im Hinblick auf technische, geographische und zeitliche Gültigkeit diskutiert und werden, wenn erforderlich, hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit kritisch analysiert.

Die GutachterInnen kommen zu dem Schluss, dass die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie angemessen und sinnvoll sind.

3.4 Berücksichtigung des Ziels der Studie und erkannter Einschränkungen in der Auswertung

Das formulierte Ziel der Studie – Vergleich potenzieller Umweltwirkungen von vier pflanzenbasierten Käsealternativen der Firma E.V.A GmbH im Vergleich zu vier klassischen Molkereiprodukten – wird in der sorgfältig durchgeführten Auswertung aufgegriffen und die Ergebnisse sowie Einschränkungen sachgerecht diskutiert. Die sinnvoll gewählten Sensitivitätsanalysen werden ausführlich und nachvollziehbar diskutiert und zeigen die Belastbarkeit der Schlussfolgerungen.

Darüber hinaus werden Empfehlungen für die E.V.A. GmbH nachvollziehbar abgeleitet, sowohl hinsichtlich der Rohwarenwahl als auch der Produktionsprozesse.

Die abgeleiteten Schlussfolgerungen sind auf der Grundlage der Ergebnisse und der vorgenommenen Auswertung nachvollziehbar. Die Einschränkungen aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit und den daher erforderlichen Abschätzungen sind in der auswertenden Diskussion und den Schlussfolgerungen kritisch diskutiert und sinnvoll berücksichtigt.

Zudem wird betont, dass toxikologische Aspekte und Biodiversität sowie auch Tierwohl nicht Gegenstand der Ökobilanz sind. Die GutachterInnen teilen die in der Studie abgeleitete Einschätzung der AutorInnen, dass die dazu erforderliche Methodik der Wirkungsabschätzung zu unsicher ist, die Themen relevant sind, allerdings andere Untersuchungen als eine Ökobilanz erfordern.

Die GutachterInnen kommen zu dem Schluss, dass die Auswertung die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie widerspiegelt.

3.5 Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Berichtes

Der Bericht ist transparent strukturiert, logisch gegliedert und in sich stimmig. Aussagekräftige Systemfließbilder und Diagramme ergänzen den Text. Inkonsistenzen im Bericht konnten nicht festgestellt werden. Die Argumentationslinie ist nachvollziehbar.




In dem zur Veröffentlichung bestimmten Studienbericht werden streng vertrauliche Daten zu Rezepturen in Tabellen als sinnvolle Spannbreiten angegeben. Die logische Struktur der Berechnungen und Schlussfolgerungen bleibt transparent.

Die Zielgruppen der externen Kommunikation der Studie sind benannt und der Bericht erfüllt die Anforderungen in ISO 14044 (Abschnitt 5.2) für Berichte an Dritte.

Die GutachterInnen kommen zu dem Schluss, dass der Bericht transparent, nachvollziehbar und in sich stimmig ist.

4 Resümee

Die kritische Prüfung hat ergeben, dass die Studie den Anforderungen in ISO 14040 und ISO 14044 entspricht.

Heidekamp, 14.3.2024	Heidelberg, 14.3.2024	Quakenbrück, 14.3.2024
		
Prof. Dr. Birgit Grahl (Chair)	Dipl. Ing. (FH) Mirjam Busch	Prof. Dr. Sergiy Smetana

Adressen der GutachterInnen

Prof. Dr. Birgit Grahl
Schuhwiese 6
23838 Heidekamp
Tel.: 04533 - 4110
integrahl@t-online.de

Dipl.-Ing. (FH) Mirjam Busch
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstraße 3
D - 69120 Heidelberg
Germany
Fon: +49(0)6221 - 476775
mirjam.busch@ifeu.de

Prof. Dr. Sergiy Smetana
DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V.
German Institute of Food Technologies
Prof.-von-Klitzing-Str. 7
D-49610 Quakenbrück
Tel +49 5431 183 155 | Mobile +49 162 1986 302
Fax +49 5431 183 114
S.Smetana@dil-ev.de
<http://www.dil-ev.de>

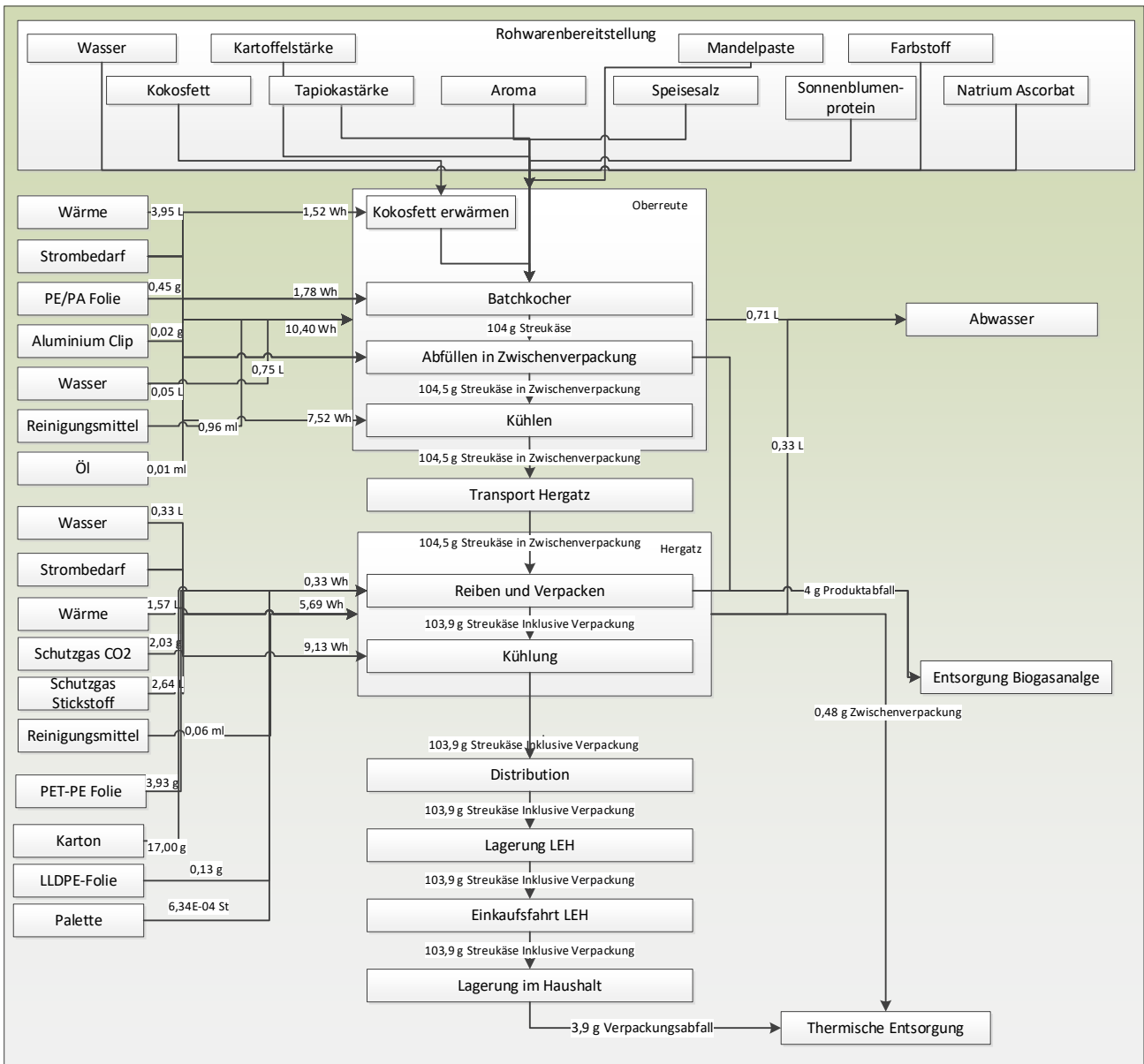
Referenzen

- DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020
- DIN EN ISO 14044:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020)

Anhang II. Darstellungen der Systemgrenzen

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für die pflanzenbasierte Streukäsealternative dargestellt.

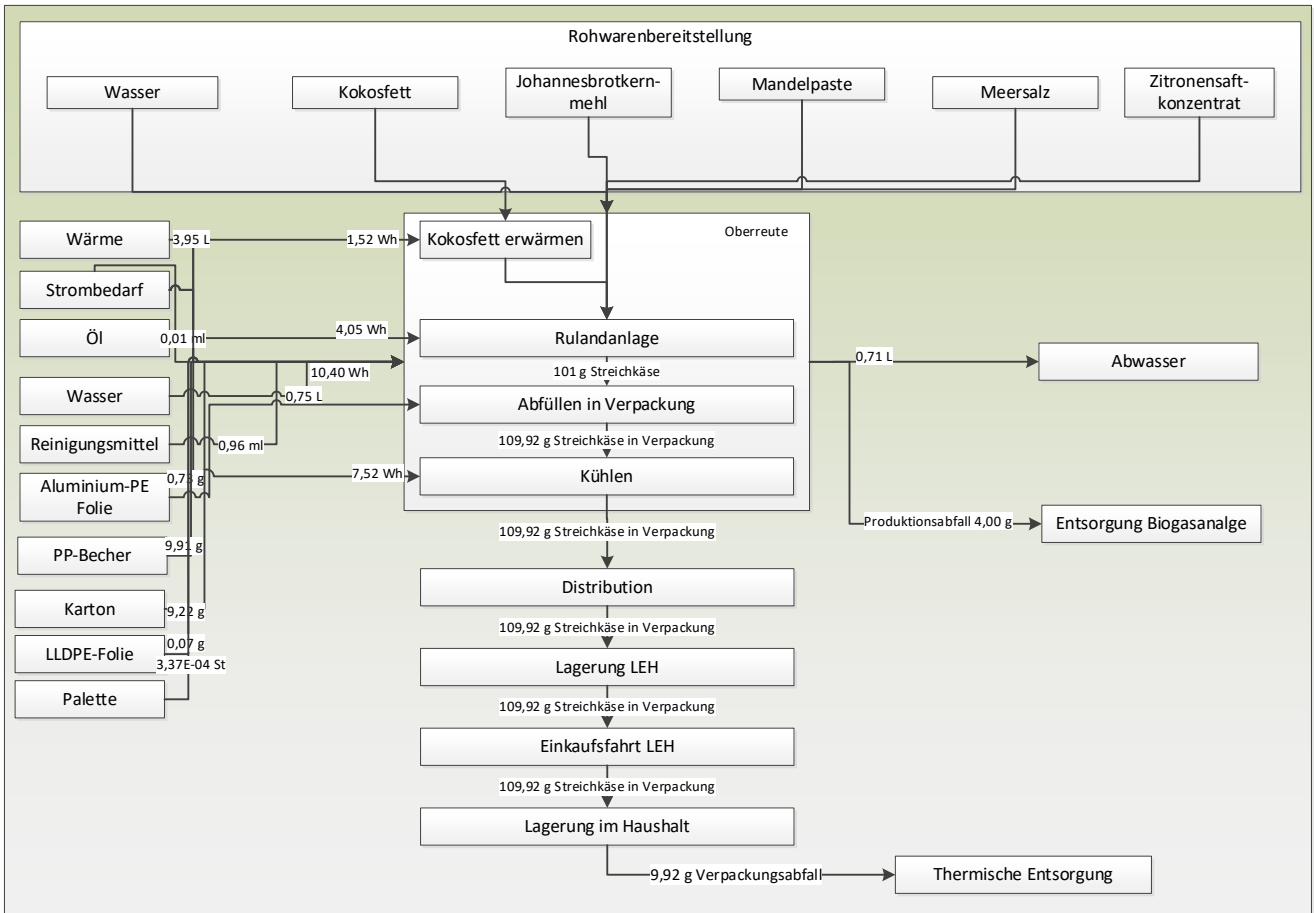
Abbildung 7-1: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Streukäsealternative für 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für die pflanzenbasierte Streichkäsealternative dargestellt.

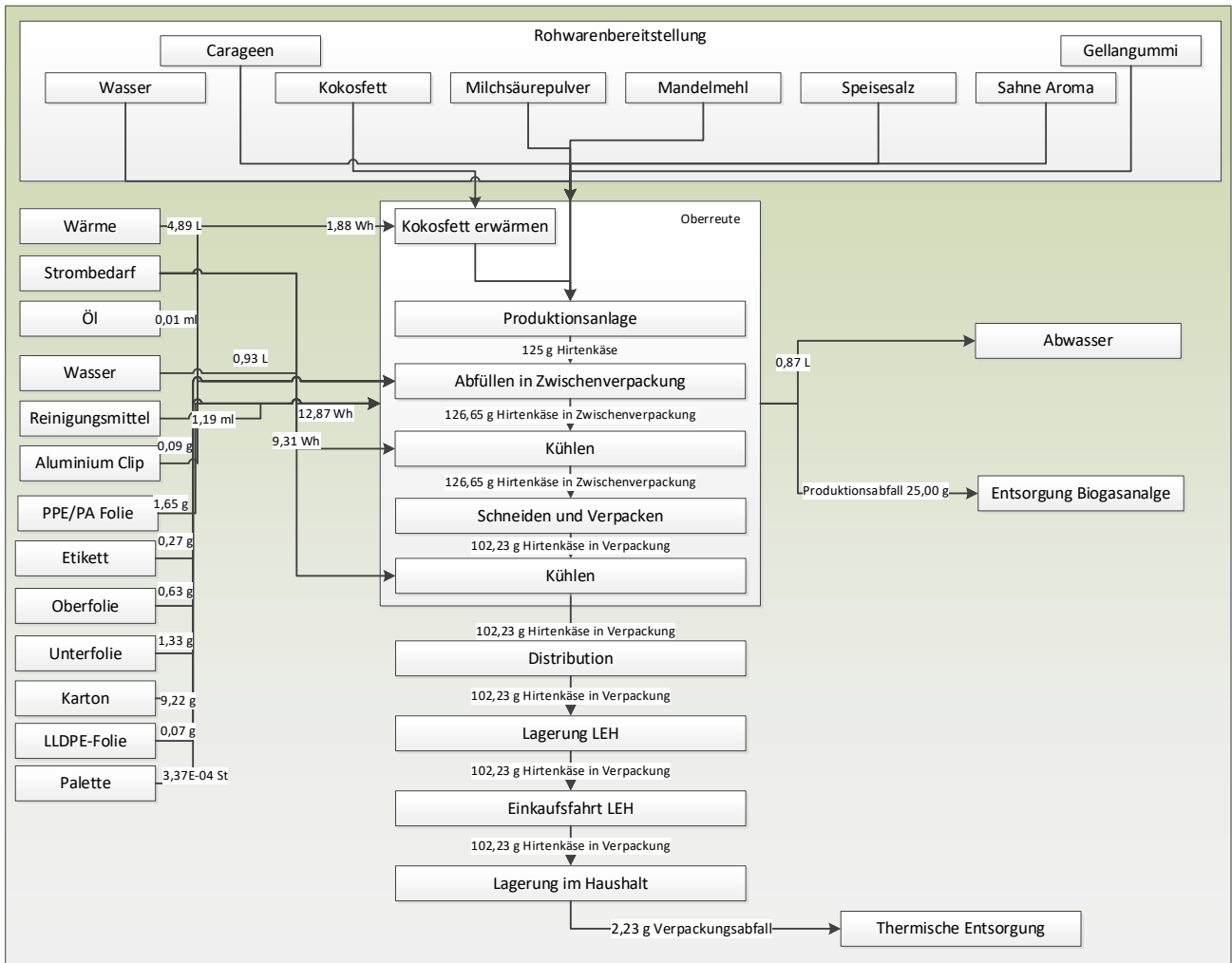
Abbildung 7-2: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Streichkäsealternative für 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für die pflanzenbasierte Hirtenkäsealternative dargestellt.

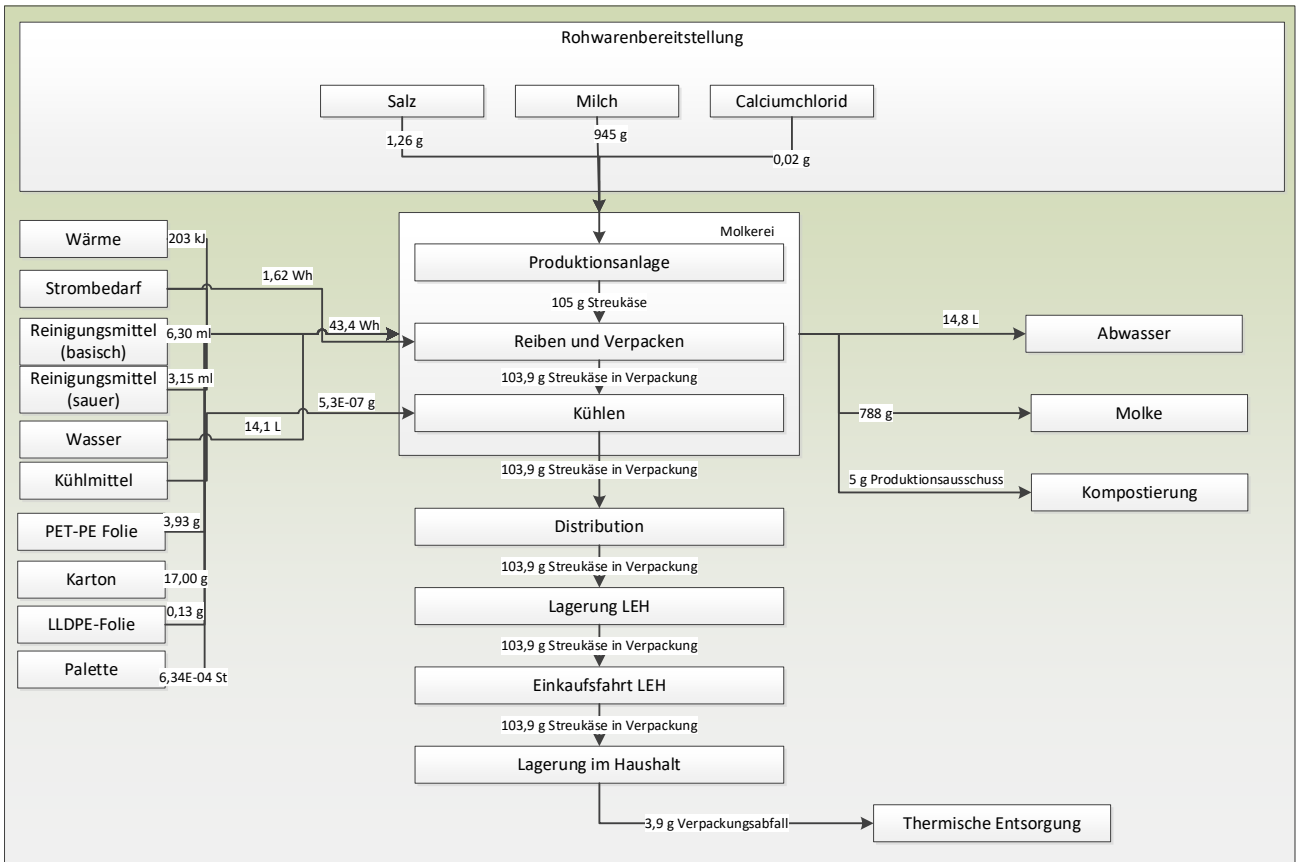
Abbildung 7-3: Darstellung der Systemgrenze der pflanzlichen Hirtenkäsealternative für 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für den milchbasierten Streukäse dargestellt.

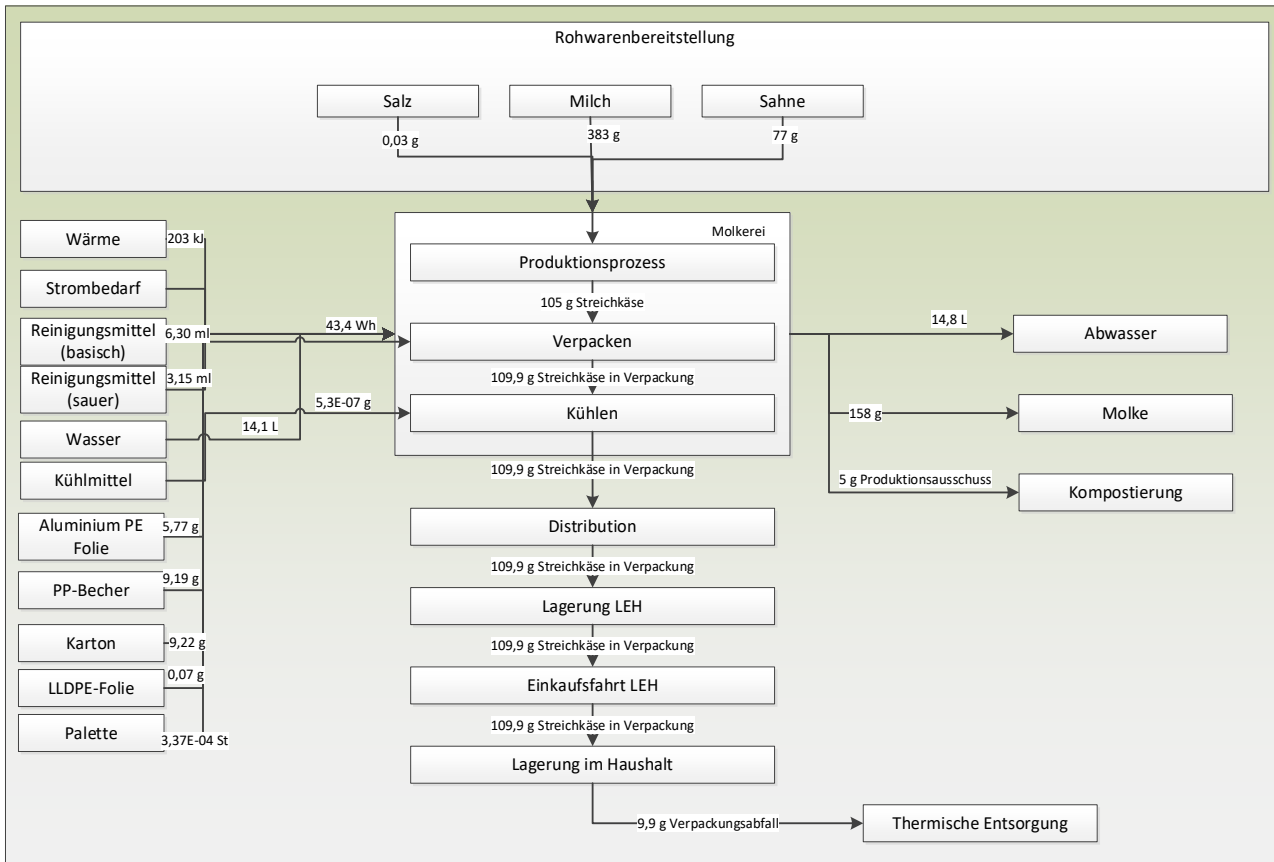
Abbildung 7-4: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Streukäses für 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für den milchbasierten Streichkäse dargestellt.

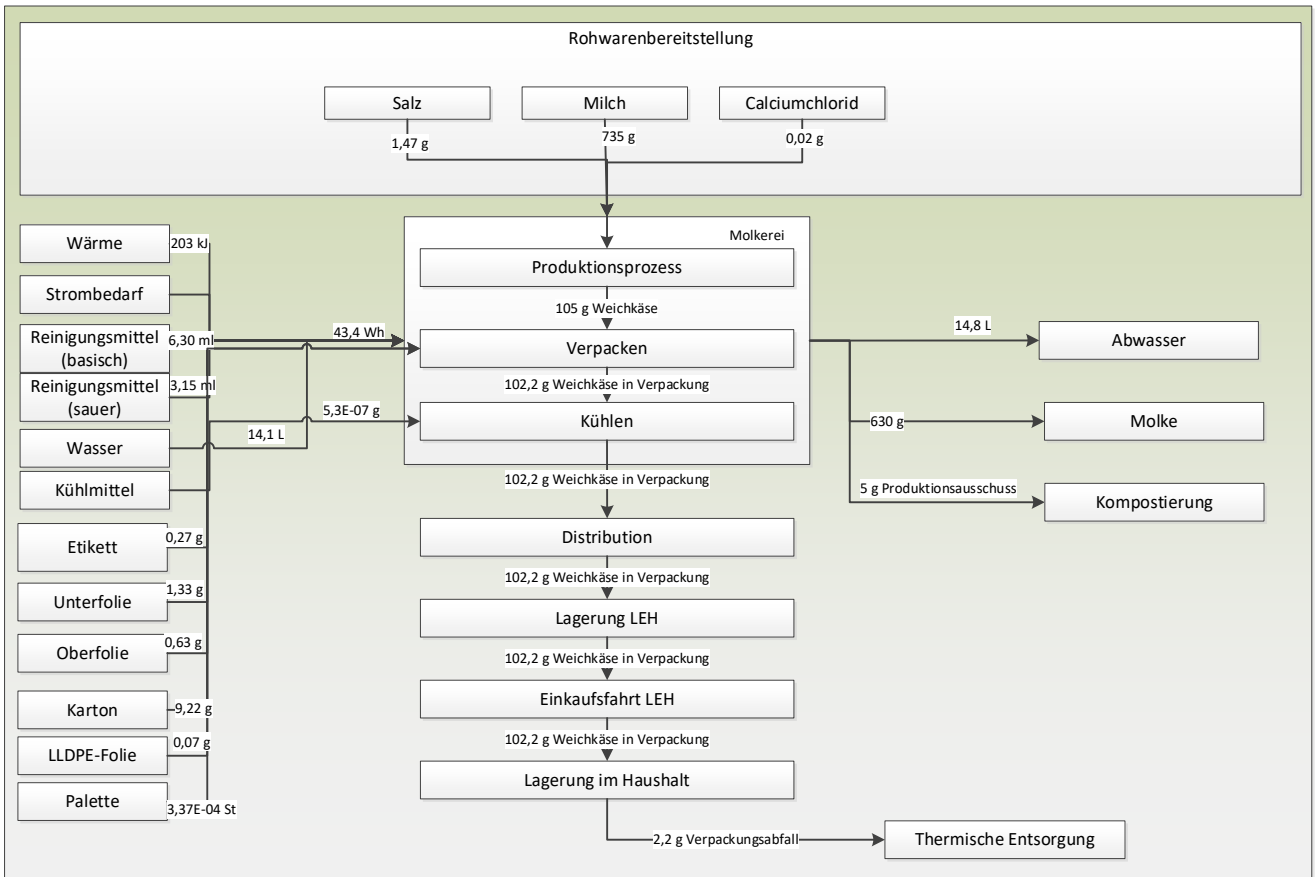
Abbildung 7-5: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Streichkäses für 100 g Produkt



Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Systemgrenzen für den milchbasierten Weichkäse dargestellt.

Abbildung 7-6: Darstellung der Systemgrenze des milchbasierten Weichkäses für 100 g ProduktSchnitt



Quelle: Eigene Darstellung

Anhang III. Mandelproduktion

Der Datensatz zur Abbildung der Aufwendungen im Zuge der Agrarprimärproduktion von 1 kg Mandeln ist Tabelle 7-1 zu entnehmen. Der ecoinvent Prozess „almond production – US“ wurde an den Wasser-, Diesel- und Stromverbrauch von (Marvinney und Kendall 2021b) angepasst.

Tabelle 7-1: almond production | modifiziert nach Marvinney und Kendall 2021 - US

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
[sulfonyl]urea-compound	1,38E-04	kg	market for [sulfonyl]urea-compound - GLO
ammonium nitrate	1,38E-01	kg	market for ammonium nitrate - RNA
application of plant protection product, by field sprayer	2,58E-03	ha	market for application of plant protection product, by field sprayer - GLO
benzimidazole-compound	1,14E-03	kg	market for benzimidazole-compound - GLO
Carbon dioxide, in air	2,16E+00	kg	<i>Elementarfluss</i>
water pump operation, diesel	9,17E+00	MJ	water pump operation, diesel - US
water pump operation, electric	3,27E+00	MJ	water pump operation, electric modifiziert zu WECC- Strommix - US
water pump operation, electric	3,74E+00	MJ	water pump operation, electric PV modified - US
Energy, gross calorific value, in biomass	2,93E+01	MJ	<i>Elementarfluss</i>
establishing orchard	3,95E-03	Item(s)	market for establishing orchard establishing orchard APOS, S - GLO
fertilising, by broadcaster	1,29E-03	ha	market for fertilising, by broadcaster fertilising, by broadcaster APOS, S - GLO
fruit tree seedling, for planting	3,95E-03	Item(s)	market for fruit tree seedling, for planting fruit tree seedling, for planting APOS, S - GLO
glyphosate	3,02E-04	kg	market for glyphosate - GLO
hoeing	3,22E-04	ha	market for hoeing - GLO
inorganic nitrogen fertiliser, as N	3,22E-02	kg	market for inorganic nitrogen fertiliser, as N - US
land use change, perennial crop	1,44E-04	ha	market for land use change, perennial crop - US
mowing, by rotary mower	1,93E-03	ha	market for mowing, by rotary mower - GLO
nitrile-compound	1,07E-04	kg	market for nitrile-compound - GLO
Occupation, permanent crop, irrigated	3,23E+00	m ² *a	<i>Elementarfluss</i>
organophosphorus-compound, unspecified	7,76E-05	kg	market for organophosphorus-compound, unspecified - GLO
packaging, for fertilisers	2,58E-01	kg	market for packaging, for fertilisers - GLO

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
packaging, for pesticides	7,04E-03	kg	market for packaging, for pesticides - GLO
planting tree	3,95E-03	Item(s)	market for planting tree - GLO
potassium sulfate	8,95E-02	kg	market for potassium sulfate - RoW
swath, by rotary windrower	3,22E-04	ha	market for swath, by rotary windrower - GLO
Transformation, from permanent crop, irrigated	1,61E-01	m2	<i>Elementarfluss</i>
Transformation, to permanent crop, irrigated	1,61E-01	m2	<i>Elementarfluss</i>
transport, tractor and trailer, agricultural	6,47E-03	t*km	market for transport, tractor and trailer, agricultural - RoW
Water, Central Valley	3,28E+00	m3	<i>Elementarfluss</i>
zinc	1,75E-03	kg	market for zinc - GLO
Output			
Abamectin	6,58E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>
almond	1,00E+00	kg	
Ammonia	5,82E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Azoxystrobin	8,47E-05	kg	<i>Elementarfluss</i>
Cadmium	-7,99E-08	kg	<i>Elementarfluss</i>
Cadmium, ion	1,14E-09	kg	<i>Elementarfluss</i>
Cadmium, ion	2,36E-10	kg	<i>Elementarfluss</i>
Carbon dioxide, fossil	2,53E-02	kg	<i>Elementarfluss</i>
Chlorothalonil	1,12E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Chromium	-2,82E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>
Chromium, ion	3,21E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>
Chromium, ion	1,36E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>
Copper	-5,51E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>
Copper, ion	8,19E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>
Copper, ion	2,95E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>
Cyprodinil	9,10E-08	kg	<i>Elementarfluss</i>
Dinitrogen monoxide	1,55E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Glufosinate	5,58E-05	kg	<i>Elementarfluss</i>
Glyphosate	2,79E-04	kg	<i>Elementarfluss</i>
Lead	1,71E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>
Lead	2,10E-08	kg	<i>Elementarfluss</i>
Lead	2,85E-08	kg	<i>Elementarfluss</i>
Mercury	-7,05E-10	kg	<i>Elementarfluss</i>
Mercury	3,52E-10	kg	<i>Elementarfluss</i>
Mercury	5,75E-10	kg	<i>Elementarfluss</i>
Methoxyfenozide	1,05E-04	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nickel	1,37E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Nickel, ion	1,83E-11	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nickel, ion	1,54E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nitrate	3,79E-02	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nitrogen oxides	3,18E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Oxyfluorfen	1,16E-04	kg	<i>Elementarfluss</i>
Phosphate	5,94E-05	kg	<i>Elementarfluss</i>
Phosphate	2,48E-04	kg	<i>Elementarfluss</i>
Phosphorus	7,09E-06	kg	<i>Elementarfluss</i>
Rimsulfuron	2,43E-08	kg	<i>Elementarfluss</i>
waste wood, untreated	4,30E-01	kg	<i>market for waste wood, untreated - RoW</i>
Water	2,27E+00	m3	<i>Elementarfluss</i>
Water	2,67E-01	m3	<i>Elementarfluss</i>
Water	1,07E+00	m3	<i>Elementarfluss</i>
Zinc	1,93E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Zinc, ion	1,05E-05	kg	<i>Elementarfluss</i>
Zinc, ion	7,32E-07	kg	<i>Elementarfluss</i>

Quelle: Eigene Darstellung, (Marvinney und Kendall 2021b); ecoinvent 3.8)

Anhang IV. Verpackungsmaterial

Die Massenanteile pro Quadratmeter der verschiedenen Verpackungskomponenten der vier pflanzlichen Käsealternativen sind Tabelle 7-2 zu entnehmen. Nur das Gewicht des PE-Bechers der pflanzliche Streichkäse Alternative wird in g angegeben.

Tabelle 7-2: Verpackungsmaterial

Produkt	Verpackungs-komponente	Daten aus Produktblatt	Ecoinvent Datensatz	Menge	Einheit
pflanzliche Schnittkäse-alternative	Oberfolie	Mattpartikel	market for chemical, inorganic - GLO	1	g/m ²
		PET	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous - GLO	16,6	g/m ²
		Druckfarbe	market for printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state - RER	3	g/m ²
		Kleber	market for polyurethane adhesive - GLO	5	g/m ²
		PET-SiOx	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous - GLO	16,9	g/m ²
		PE	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	48,8	g/m ²
		Film extrusion	market for extrusion, plastic film - GLO	82,3	g/m ²
	Unterfolie	PET	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous - GLO	62	g/m ²
		PET+ 54%r-PET	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous - GLO+market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled - Europe without Switzerland	246	g/m ²
		Kleber	market for polyurethane adhesive - GLO	3	g/m ²
		PE	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	32,2	g/m ²
		EVOH	market for ethylene vinyl acetate copolymer - RER	3,5	g/m ²
		Film extrusion	market for extrusion, plastic film - GLO	343,7	g/m ²
Etikett	Etikett	market for kraft paper - RER	k.A.	g/m ²	
pflanzliche Hirtenkäse-alternative	Oberfolie	BOPA	market for nylon 6 -GLO	17,3	g/m ²
		PE	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	48,4	g/m ²
		Farbe Adh	market for printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state - RER	2	g/m ²
		Film extrusion	market for extrusion, plastic film - GLO	65,7	g/m ²
	Unterfolie	PA	market for nylon 6 -GLO	45,4	g/m ²

		PE	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	93,9	g/m ²
		Film extrusion	market for extrusion, plastic film - GLO	139,3	g/m ²
	Etikett	Etikett	market for kraft paper - RER	k.A.	g/m ²
pflanzliche Streichkäse alternative	Becher	PP	market for polypropylene, granulate - GLO	7,8	g
	Deckel	PP	market for polypropylene, granulate - GLO	6,2	g
	Kunststoffverarbeitung	blow	blow moulding - RER	14	g
	Aluminiumfolie	Aluminium	market for aluminium, primary, ingot - IAI Area, EU27 & EFTA	81	g/m ²
			market for sheet rolling, aluminium - GLO	81	g/m ²
		PE	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	24	g/m ²
market for extrusion, plastic film - GLO			24	g/m ²	
pflanzliche Reibekäse-alternative	Folienbeutel	Mattlack	market for chemical, inorganic - GLO	1,1	g/m ²
		PETalox	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous - GLO	16,8	g/m ²
		Druckfarbe	market for printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state - RER	3	g/m ²
		Kleberlösungsmittel	market for chemical, inorganic - GLO	1,1	g/m ²
		Polyethylen	market for polyethylene, low density, granulate - GLO	81	g/m ²
		Film extrusion	market for extrusion, plastic film - GLO	97,8	g/m ²

Quelle: Produktdatenblätter Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Anhang V. Verpackungsmaterial der Rohwaren

In diesem Anhang werden die vereinfachten Modellierungen der verschiedenen Rohwarenverpackungen aufgelistet. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Modellierung von 1 kg IBC Container. Der IBC Container hat ein Fassungsvermögen von insgesamt 900 kg Kokosfett und wiegt insgesamt 56 kg.

Tabelle 7-3: 1 kg IBC Container

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Kunststoffbearbeitung	0,50	kg	blow moulding - RER
Kunststoffbearbeitung	0,50	kg	polyethylene production, high density, granulate - RER
Stahl	0,50	kg	steel production, low-alloyed, hot rolled - RER
Stahlbearbeitung	0,50	kg	metal working, average for steel product manufacturing - RER
Stahlrecycling	0,40	kg	sorting and pressing of iron scrap - RER
Kunststoffverbrennung	0,50	kg	market for waste polyethylene - DE
Gutschrift Stahlschrott	-0,30	kg	steel production, converter, low-alloyed - RER

Quelle: Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die nachstehende Tabelle zeigt die Modellierung von 1 kg der Verpackung Karton mit Kunststofffolie.

Tabelle 7-4: 1 kg Karton mit Kunststofffolie

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Karton	0,90	kg	corrugated board box production - RER
Kunststoff-Folie	0,10	kg	packaging film production, low density polyethylene - RER
Papierrecycling	0,45	kg	market for waste paper, sorted - GLO
Kunststoffverbrennung	0,10	kg	market for waste polyethylene - DE
Gutschrift Papierrecycling	-0,38	kg	kraft paper production - RoW

Quelle: Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die nachstehende Tabelle zeigt die Modellierung von 1 kg der Verpackung Papiersack.

Tabelle 7-5: 1 kg Papiersack

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Papiersack	1,00	kg	market for paper sack - RER
Papierrecycling	0,50	kg	market for waste paper, sorted - GLO
Gutschrift Papierrecycling	-0,43	kg	kraft paper production - RER

Quelle: Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die nachstehende Tabelle zeigt die Modellierung von 1 kg der Verpackung Kunststofffolie.

Tabelle 7-6: 1 kg Kunststoffolie

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Kunststoffolie	1.00	kg	packaging film production, low density polyethylene - RER
Kunststoffverbrennung	1.00	kg	market for waste polyethylene - DE

Quelle: Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die nachstehende Tabelle zeigt die Modellierung von 1 kg der Verpackung Kunststoff-Container.

Tabelle 7-7: 1 kg Kunststoff-Container

Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Kunststoff	1.00	kg	polyethylene production, high density, granulate - RER
Kunststoffverarbeitung	1.00	kg	blow moulding - RER
Kunststoffverbrennung	1	kg	market for waste polyethylene - DE

Quelle: Simply V, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Anhang VI. Reinigungsmittel

Chemikalien, welche in ecoinvent keinem Datensatz zugeordnet werden konnten, wurden mit „market for chemicals, organic [GLO] modelliert. Die Zusammensetzung von 1 Liter Sterillium steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-8: 1 L Sterillium

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Isopropanol	0,4	kg	<i>isopropanol production [RER]</i>
1-Propanol	0,4	kg	<i>1-propanol production [RER]</i>
1-Tetradecanol	0,00625	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Mecetroniumetilsulfat	0,00175	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Wasser	0,192	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Sterillium	1	L	Sterillium

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Baktolin Flüssigseife steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-9: 1 L Baktolin

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Seife	0,1	kg	<i>soap production [RER]</i>
Wasser	0,9	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Baktolin	1	L	Baktolin

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Pascal steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-10: 1 L Pascal

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell	Annahmen / Quelle
Input				
Salpetersäure	0,4	kg	<i>nitric acid production, product in 50% solution state</i>	<i>SDB</i>
Wasser	0,6	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>	<i>Annahme</i>
Output				
Pascal	1	L	Pascal	

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Highstar VC 77 steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-11: 1 L Highstar VC 77

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Natriumhydroxid	0,4	kg	<i>market for sodium hydroxide, without water, in 50% solution state [GLO]</i>
Kaliumhydroxid	0,065	kg	<i>potassium hydroxide production [RER]</i>
Wasser	0,535	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Highstar VC 77	1	L	Highstar VC 77

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Aluwash VA3 steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-12: 1 L Aluwash VA3

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Phosphorsäure	0,4	kg	<i>purification of wet-process phosphoric acid to industrial grade, product in 85% solution state [RER]</i>
Alkylalkoholalkoxylat	0,02	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Wasser	0,58	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Aluwash VA3	1	L	Aluwash VA3

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Divodes steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-13: 1 L Divodes

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Propanol-1-ol	0,625	kg	<i>1-propanol production [RER]</i>
Isopropanol	0,15	kg	<i>isopropanol production [RER]</i>
Wasser	0,225	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Divodes	1	L	Divodes

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Topax 990 steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-14: 1 L Topax 990

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
N-(3-aminopropyl)-N-dodecylpropan-1,3-diamin	0,04	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Amines, C12-14 –alkyldimethyl , N-Oxides	0,04	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Essigsäure	0,0175	kg	<i>acetic acid production, product in 98% solution state [RER]</i>
Alkohol, C13-15, verzweigt und linear,ethoxylier	0,0175	kg	<i>ethoxylated alcohol (AE11) production, palm oil [RER]</i>
N-Dodecylpropan-1,3-diamin	0,00375	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Dodecylamin	0,001	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Wasser	0,88025	kg	<i>market for tap water – Europe without Switzerland</i>
Output			
Topax 990	1	L	Topax 990

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Topax 66 steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-15: 1 L Topax 66

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Natriumhypochlorit	0,075	kg	<i>sodium hypochlorite production, product in 15% solution state [RER]</i>
Natriumhydroxid	0,4	kg	<i>potassium hydroxide production [RER]</i>
Amines, C12-14 –alkyldimethyl , N-Oxides	0,0425	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Wasser	0,4825	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Topax 66	1	L	Topax 66

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter Topaz AC3 steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-16: 1 L Topaz AC3

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Phosphorsäure	0,4	kg	<i>purification of wet-process phosphoric acid to industrial grade, product in 85% solution state [RER]</i>
Diethylenglykolmono-n-butylether	0,075	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Phosphoric acid, C11-14-isoalkyl esters, C13-rich	0,00175	kg	<i>market for chemical, organic [GLO]</i>
Wasser	0,52325	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
Topaz AC3	1	L	Topaz AC3

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von 1 Liter OxyDes Rapid steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-17: 1 L OxyDes Rapid

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
1-Propanol	0,15	kg	<i>1-propanol production [RER]</i>
Wasserstoffperoxid	0,0175	kg	<i>hydrogen peroxide production, product in 50% solution state [RER]</i>
Phosphorsäure	0,00175	kg	<i>purification of wet-process phosphoric acid to industrial grade, product in 85% solution state [RER]</i>
Wasser	0,83075	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Output			
OxyDes Rapid	1	L	OxyDes Rapid

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Die Zusammensetzung von einem Eimer OxyDes Wipes steht in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-18: 1 Eimer OxyDes Wipes

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
1-Propanol	0,15	kg	<i>1-propanol production [RER]</i>
Wasserstoffperoxid	0,0175	kg	<i>hydrogen peroxide production, product in 50% solution state [RER]</i>
Phosphorsäure	0,00175	kg	<i>purification of wet-process phosphoric acid to industrial grade, product in 85% solution state [RER]</i>
Wasser	0,83075	kg	<i>market for tap water - Europe without Switzerland</i>
Papiertücher	1	kg	<i>kraft paper production [RER]</i>
Output			
OxyDes Wipes Eimer	1	Eimer	OxyDes Wipes Eimer

Quelle: SDB, Eigene Darstellung; *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Anhang VII. Modellierung der Tapiokastärke nach Lin et al. 2021

In der Tabelle 7-19 steht die Modellierung für 1 kg Tapiokastärke in Thailand von Lin et al. 2021.

Tabelle 7-19: Produktion von 1 kg Tapiokastärke

Prozess / Bestandteil	Menge	Einheit	Lieferprozess* im Modell
Input			
Fungizid	1,28E-03	kg	<i>market for captan - GLO</i>
Glyphosate	0,55	kg	<i>market for glyphosate – GLO</i>
Diesel	2,50E-03	kg	<i>market for diesel, burned in agricultural machinery - GLO</i>
organischer N-Dünger	0,10	kg	<i>nutrient supply from poultry manure, as N – GLO</i>
organischer P-Dünger	0,09	kg	<i>nutrient supply from poultry manure, as P2O5 - GLO</i>
organischer K-Dünger	0,03	kg	<i>nutrient supply from poultry manure K2O - GLO</i>
Strom	0,39	MJ	<i>market for electricity, medium voltage - TH</i>
Wärme	0,03	MJ	<i>heat production, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW - RoW</i>
Wasser	0,03	kg	<i>market for tap water - RoW</i>
Output			
Tapiokastärke	1,00	kg	<i>Tapiokastärke</i>
Ammonia	0,02	kg	<i>Elementarfluss</i>
Dinitrogen monoxide	2,28E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Methane	0,87	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nitrate	0,01	kg	<i>Elementarfluss</i>
Phosphate	2,71E-03	kg	<i>Elementarfluss</i>
Nitrogen oxides	3,82	kg	<i>Elementarfluss</i>

Quelle: Eigene Darstellung, Lin et al. (2021); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Anhang VIII. Krafffuttermittelzusammensetzung für Rinder nach Antony et al (2021)

Als Krafffutter bezeichnet man ein energiereiches, aber rohfasearmes Mischfutter, das sich aus verschiedenen Getreiden, Leguminosen und anderen energie- oder eiweißreichen, aber rohfasearmen Einzelfuttermitteln zusammensetzt. Kleinere Betriebe und Betriebe mit einem hohen Grünlandanteil kaufen das Krafffutter in der Regel als fertige Mischung zu. Größere Betriebe erstellen die Krafffuttermischungen teilweise oder komplett selbst. Bei der Modellierung der Produktionssysteme wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Betriebe fertige Futtermischungen zukaufen. In der Milchviehfütterung wird Krafffutter in Form von Milchleistungsfutter eingesetzt.

Tabelle 7-20 zeigt die anteilige Zusammensetzung des Milchleistungsfutters, das für die Modellierung der konventionell wirtschaftenden Betriebsmodelle berücksichtigt wurde. Die Formulierung des Milchleistungsfutters für die ökologisch wirtschaftenden Betriebsmodelle ist Tabelle 7-21 zu entnehmen.

Tabelle 7-20: Zusammensetzung des Milchleistungsfutters für konventionell wirtschaftende Betriebsmodelle (inkl. Transportaufwand)

Bezeichnung	Anteil an der Ration in %	Lieferprozess* im Modell
Weizen, Futterweizen	20	wheat production wheat grain APOS, S – DE
Gerste (4-zeilig)	17,5	barley production barley grain APOS, S – DE
Körnermais	20	maize grain, feed production, Swiss integrated production maize grain, feed, Swiss integrated production APOS, S – CH
Melasseschnitzel (22% Zucker)	15	molasses, from sugar beet, to generic market for energy feed energy feed, gross APOS, S – GLO
Sojaextraktionsschrot (48% Rohprotein)	15	market for soybean, feed soybean, feed APOS, S – GLO
Rapsextraktionsschrot (35% Rohprotein)	10	rape oil mill operation rape meal APOS, S – Europe without Switzerland
Mineralfutter (20% Ca, 2% P, 5% Na)	2,5	Eigene Modellierung des Mineralfutter Rinder (s. Antony et al. (2021))

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Antony et al. (2021); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8

Tabelle 7-21: Zusammensetzung des Milchleistungsfutters für ökologisch wirtschaftende Betriebsmodelle (inkl. Transportaufwand)

Bezeichnung	Anteil an der Ration in %	Lieferprozess* im Modell
Erbsen	30	protein pea production, organic protein pea, organic APOS, S - CH
Rapskuchen	20	rape seed production, organic rape seed, organic APOS, S - CH
Rotklee-, Kleegraskobs	5	clover seed production, Swiss integrated production, at farm clover seed, Swiss integrated production, at farm APOS, S - CH
Weizen, Futterweizen	45	wheat grain, feed production, organic wheat grain, feed, organic APOS, S - CH

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Antony et al. (2021); *Lieferprozess bezeichnet hier und im ganzen Studienbericht den jeweils im Ökobilanzmodell verknüpften selbst modellierten Vorprozess bzw. den genutzten Datensatz aus ecoinvent V3.8