

Maria Müller-Lindenlauf
Christine Cornelius
Sven Gärtner
Guido Reinhardt
Nils Rettenmaier
Tobias Schmidt

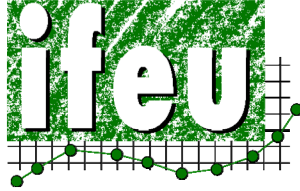


Umweltbilanz von Milch und Milcherzeugnissen

Status quo und Ableitung von Optimierungspotenzialen



Heidelberg, 31. Oktober 2014



ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Deutsches Nationalkomitee
im Internationalen
Milchwirtschaftsverband - IDF
Verband der Deutschen
Milchwirtschaft e. V. - VDM

Umweltbilanz von Milch und Milcherzeugnissen

Status quo und Ableitung von Optimierungspotenzialen

Autoren:

Dr. Maria Müller-Lindenlauf
Dr. Christine Cornelius
Sven Gärtner
Dr. Guido Reinhardt
Nils Rettenmaier
Tobias Schmidt

Layout:

Mathias Lederle
Tobias Schmidt

Projektleitung:

Dr. Maria Müller-Lindenlauf
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3, D-69120 Heidelberg
<http://www.ifeu.de>

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung



PROJEKTTRÄGER IN DER BLE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ 2817400811

Heidelberg, 31. Oktober 2014

Danksagung

Unser ganz besonderer Dank gilt Marcin Preidl (VDM) und Astrid Stein (MIV) für die äußerst fruchtbare Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projekts. Hervorheben möchten wir insbesondere die stete Ansprechbarkeit und kompetenten Rückmeldungen, die unsere Arbeiten bereichert haben.

Darüber hinaus danken wir herzlich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Unternehmen der deutschen Milchwirtschaft, die uns durch die Bereitstellung von Daten und die Beantwortung unserer Fragen unterstützt haben. Außerdem danken wir allen Mitgliedern der AG Umwelt des VDM / MIV für die interessanten und bereichernden Diskussionen während unserer Projekttreffen sowie Herrn Sönke Matzen für den interessanten Austausch und die Bereitstellung von Daten.

Ferner danken wir Herrn Peter Kolbe und Herrn Hans-Ulrich Teufel für gute Zusammenarbeit bei der Programmierung des Rechners. Unser besonderer Dank gilt ferner dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die Förderung des Projektes sowie der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Referat 511 – Innovationsförderung, für die administrative und inhaltliche Begleitung.

Inhalt

Inhalt.....	iii
Kurzfassung.....	vi
1 Einleitung und Ziel der Studie.....	1
2 Ökobilanz: Konzept und Vorgehensweise.....	3
2.1 Das Konzept der Ökobilanzierung	3
2.2 Betrachtete Produktlinien	4
2.3 Betrachtete Umweltwirkungen	5
2.4 Datengrundlagen.....	6
2.5 Umgang mit Koppelprodukten.....	6
2.5.1 Milchproduktherstellung als Multi-Output-System	6
2.5.2 Verfahren der ökologischen Bewertung von Multi-Output-Prozessen.....	7
2.5.3 Verwendete Vorgehensweise für dieses Projekt	9
2.6 Ergebnisdarstellung	11
3 Ökobilanzergebnisse im Überblick.....	12
3.1 Ökobilanz von Milch und Milcherzeugnissen aus deutscher Produktion	12
3.2 Deutsche Produktion im internationalen Vergleich	15
4 Exkurs: Entwicklungen der Milchwirtschaft in den vergangenen 20 Jahren	20
4.1 Entwicklungen in der Milchproduktion.....	20
4.2 Entwicklungen in der Milchverarbeitung.....	23
5 Umweltwirkungen der Milcherzeugung.....	26
5.1 Status quo und wichtigste Einflussgrößen	26
5.2 Optimierungspotenziale	27
5.2.1 Senkung der Remontierungsrate.....	27
5.2.2 Optimierung der Milchleistung	28
5.2.3 Optimierung der Fütterung	29
5.2.4 Vermeidung von Landnutzungsänderungen.....	30
5.2.5 Reduktion der Wirtschaftsdüngeremissionen	32

5.3	Besondere ökologische Aspekte der Landwirtschaft	33
5.3.1	Flächenbedarf und Qualität der Flächennutzung	34
5.3.2	Biodiversität	37
5.3.3	Belastung von Gewässern durch diffuse Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft	39
5.3.4	Wasserbedarf	42
5.3.5	Tiergerechtigkeit.....	42
6	Umweltwirkungen der Anlieferung	45
6.1	Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen	45
6.2	Optimierungspotenziale	46
7	Umweltwirkungen der Milchverarbeitung	47
7.1	Status quo und Relevanz	47
7.2	Wichtigste Einflussgrößen.....	48
7.2.1	Trinkmilch	48
7.2.2	Joghurt.....	51
7.2.3	Schnittkäse	54
7.2.4	Trockenmilcherzeugnisse	56
7.3	Optimierungspotenziale	59
7.3.1	Energiebereitstellung.....	59
7.3.2	Energieeffizienz	64
7.3.3	Abfallvermeidung und Abwassermanagement	68
7.3.4	Umweltfreundliche Verpackungen	70
7.3.5	Rezepturen	71
7.3.6	Reinigung	73
7.3.7	Vermeidung von Milchverlusten	73
8	Umweltwirkungen der Distribution	75
8.1	Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen	75
8.2	Optimierungspotenziale	79
9	Umweltwirkungen des Konsumentenverhaltens	80
9.1	Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen	80
9.2	Optimierungspotenziale	83
10	Zusammenführung.....	85

11	Referenzen	90
12	Anhang	97
12.1	Wertgebende Inhaltsstoffe von Kuhmilch.....	97
12.2	Beschreibung der betrachteten Produktlinien	98
12.2.1	Trinkmilch	98
12.2.2	Joghurt.....	99
12.2.3	Schnittkäse	100
12.2.4	Milchpulver	101
12.2.5	Übersicht über die betrachteten Produkte	103
12.3	Milchverluste	104
12.4	Landwirtschaftliche Produktionsverfahren	105
12.5	Beschreibung der betrachteten Umweltwirkungen und Charakterisierungsfaktoren	106
12.6	Ergänzende Ergebnisdarstellungen	107
13	Abkürzungsverzeichnis	114

Kurzfassung

Milch und Milchprodukte sind ein wesentliches Element der menschlichen Ernährung. Die Produktion von Milch und Milcherzeugnissen ist jedoch auch mit relevanten Umweltbelastungen verbunden. Auf dem Weg in eine zukunftsfähige Lebens- und Wirtschaftsweise ist somit auch eine möglichst umweltfreundliche Erzeugung von Milch und Milcherzeugnissen anzustreben. Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse eines Forschungsprojektes dar, das zum Ziel hatte, die mit der Herstellung und dem Konsum von Milch und Milcherzeugnissen verbundenen Umweltwirkungen zu erfassen, übersichtlich darzustellen und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Dafür wurde die gesamte Wertschöpfungskette von der landwirtschaftlichen Erzeugung bis zum Endkunden betrachtet, wobei der Fokus speziell auf die Milchverarbeitung gelegt wurde. Die Ergebnisse beziehen sich auf deutsche Produktion mit den um das Jahr 2010 üblichen Verfahren. Die Umweltwirkungen wurden am Beispiel der vier Produktlinien Trinkmilch (Frisch- und H-Milch), Joghurt (Natur- und Fruchtjoghurt), Schnittkäse sowie Trockenmilcherzeugnisse aufgezeigt. Dargestellt werden die Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Eutrophierung und Versauerung. Zusätzlich werden für den Lebenswegabschnitt Landwirtschaft weitere Umweltwirkungen mit besonderer Relevanz für die landwirtschaftliche Erzeugung (z. B. Flächenbedarf) betrachtet.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass sich die Energieeffizienz der Milchverarbeitung in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert hat (heute ca. 16 % geringerer Endenergiebedarf pro Tonne angelieferter Milch). Auch die Treibhausgasbilanz der Milcherzeugung ist deutlich besser geworden (heute ca. 20 % geringere Treibhausgasemissionen). Allerdings hat sich die Milcherzeugung im gleichen Zeitraum deutlich vom Grünland auf das Ackerland verlagert, was aus Umweltsicht problematisch ist.

Die Milchverarbeitung trägt heute bei typischen Produktionsverfahren je nach Milchprodukt 5 - 25 % zu den Treibhausgasemissionen und 15 - 40 % zum Primärenergiebedarf pro Kilogramm Produkt bei¹. Für die übrigen Umweltwirkungen (eutrophierende und versauernde Emissionen, Flächenbedarf) ist die Milchverarbeitung kaum von Bedeutung. Alle vier Produktlinien zeigen, dass die Strom- und Wärmebereitstellung sowie der Strom- und Wärmebedarf die wichtigsten Stellgrößen für die Optimierung der Treibhausgasbilanz und des Energiebedarfs in Molkereien sind. Hier bestehen noch erhebliche Einsparpotenziale durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Energiemanagementsystemen.

Betrachtet man den Gesamtlebensweg, beeinflusst die Milcherzeugung die Umweltbilanz bei fast allen Produkten und Wirkungskategorien am stärksten. So sind die treibhauswirksamen Emissionen hauptsächlich auf die Verdauungsemissionen der Kühe und die Lagerung und

¹ Dabei liegt Trinkmilch im unteren Bereich des Ergebnisspektrums, während Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse im mittleren bis oberen Bereich des Ergebnisspektrums liegen.

Ausbringung des anfallenden Wirtschaftsdüngers zurückzuführen. Die versauernden und eutrophierenden Emissionen werden eindeutig von Wirtschaftsdüngeremissionen dominiert. Der Energieaufwand entfällt überwiegend auf die Futtermittelbereitstellung. Mit steigender Einzeltierleistung konnte eine Verlagerung der Milchproduktion vom Grünland auf den Acker aufgezeigt werden, was zusätzliche ökologische Folgen nach sich zieht (z. B. Verlust ökologisch hochwertigen Grünlands). Eine ökologische Optimierung sollte daher in erster Linie die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger reduzieren und sich auf eine klimaschonende und energiesparende Futtermittelbereitstellung fokussieren. Die Anlieferungsentfernungen spielen entgegen landläufigen Meinungen nur eine geringe Rolle für die Umweltbilanz von Milchprodukten. Die Distribution der Milchprodukte ist zwar nicht ganz so relevant wie die Milchverarbeitung, aber immer noch deutlich relevanter für die Umweltbilanz als die Anlieferung. Hohe Einsparpotenziale bestehen hauptsächlich bei der Kühlung im Einzelhandel. Verbraucher haben vor allem mit ihrem Einkaufsverhalten hohen Einfluss auf die Umweltbilanz der von ihnen konsumierten Produkte. Zur Optimierung der Umweltbilanz sollten Verbraucher auf drei Handlungsfelder achten: die Vermeidung zusätzlicher PKW-Fahrten, geringe Abfallquoten und energieeffiziente Kühlschränke.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich zwar die Umweltbilanzen von Milchprodukten in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert haben, dass jedoch noch immer großes Optimierungspotenzial besteht v. a. in den Bereichen Milcherzeugung (z. B. Reduktion der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger), Milchverarbeitung (z. B. Reduktion des Strom- und Wärmebedarfs) und Endkunde (z. B. Vermeidung von zusätzlichen PKW Fahrten und Lebensmittelabfällen).

1 Einleitung und Ziel der Studie

Milch und Milchprodukte sind ein wesentliches Element der menschlichen Ernährung. In Deutschland werden pro Kopf und Jahr etwa 90 Kilogramm Frischmilcherzeugnisse, 24 Kilogramm Käse, 6 Kilogramm Butter und etwa 7 Kilogramm Dauermilcherzeugnisse verzehrt /Wohlfarth 2012/. Das entspricht einem Konsum von etwa 285 Kilogramm Milchäquivalenten². Weltweit liegt der Konsum von Milch und Milcherzeugnissen zurzeit bei etwa 85 Kilogramm pro Kopf. Für die nächsten Jahre wird ein deutlicher Anstieg des Konsums von Milchprodukten erwartet, angetrieben vor allem von der steigenden Nachfrage in Entwicklungsländern, die durch steigende Einkommen ermöglicht wird /FAO 2013/.

Milcherzeugnisse stellen wichtige Nährstoffe für die menschliche Ernährung bereit. Kuhmilch enthält hochwertiges Protein und kann signifikant zur Versorgung mit Calcium, Magnesium und Selen sowie den Vitaminen B2, B5 und B12 beitragen /FAO 2013/.

Die Produktion von Milch und Milcherzeugnissen ist jedoch auch mit relevanten Umweltbelastungen verbunden. Methanemissionen aus der Verdauung von Rindern sind eine Quelle treibhauswirksamer Emissionen und tragen etwa 2 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen aus Deutschland bei /UBA 2012/. Auch zu anderen Umweltwirkungen trägt die Milcherzeugung wesentlich bei. So sind zum Beispiel die Ammoniak-Emissionen aus der Haltung von Milchkühen und deren Nachzucht für etwa 15 % des atmosphärischen Versauerungspotenzials (Stichwort: saurer Regen) und etwa 20 % der Nährstoffeinträge in natürliche Ökosysteme verantwortlich (/UBA 2013a/, /Haenel et al. 2012/).

Die Reduktion der Umweltwirkungen ist eine gesamtgesellschaftliche Notwendigkeit auf dem Weg in eine zukunftsfähige Lebens- und Wirtschaftsweise. Der vorliegende Bericht hat das Ziel, die Umweltwirkungen, die mit der Herstellung und dem Konsum von Milch und Milcherzeugnissen verbunden sind, übersichtlich und umfassend darzustellen und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Unternehmen der Milchwirtschaft werden dabei unterstützt, zentrale Einflussgrößen auf die Umweltbilanz ihrer Produkte zu erkennen, Wege zur Optimierung zu beschreiten und mit ihren Geschäftspartnern und der Öffentlichkeit angemessen und fundiert über die Umweltbilanz ihrer Produkte zu kommunizieren. Dazu wird ergänzend auch die Entwicklung seit 1990 in einem Exkurs dargestellt.

Der Bericht richtet sich vor allem an Unternehmen der Molkereiwirtschaft. Betrachtet wird die gesamte Wertschöpfungskette, von der landwirtschaftlichen Erzeugung bis zum Endkunden.

Die Darstellung fokussiert auf die Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Eutrophierung und Versauerung. Weitere Umweltwirkungen mit besonderer Relevanz für die landwirtschaftliche Erzeugung (Flächenbedarf und Qualität der Flächennutzung, direkte

² Die Menge an Milchäquivalenten je Kilogramm eines bestimmten Milchproduktes wird über die Milch-Trockenmasse bestimmt. 1 Kilogramm Milchtrockenmasse entspricht 7,874 Kilogramm Milchäquivalenten (ME), da fett- und proteinstandardisierte Milch 12,7 % Trockenmasse enthält. Damit entspricht zum Beispiel 1 Kilogramm Schnittkäse etwa 4,5 Kilogramm ME /IDF 2004/.



Auswirkungen auf die Artenvielfalt, Gewässerbelastungen und Wasserbedarf, Tiergerechtigkeit) werden qualitativ umrissen. Die Umweltwirkungen werden am Beispiel der vier Produktlinien Trinkmilch, Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse aufgezeigt.

Neben dem vorliegenden Abschlussbericht wurde im Rahmen dieses Projektes der „Klima- und Energierechner für die Deutsche Milchwirtschaft“ /Müller-Lindenlauf et al. 2014/ entwickelt. Auf Basis individueller Benutzereingaben ermöglicht der Rechner die Erstellung von betriebs- und produktspezifischen Treibhausgas- und Energiebilanzen. Die Ergebnisse eignen sich u. a. zur Identifizierung von besonders relevanten Einflussgrößen sowie als wissenschaftlich solide Grundlage, um die betriebs- und produktspezifischen Treibhausgas- und Energiebilanzen der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Primäre Zielgruppe des Rechners sind Molkereibetriebe. Zugangsdaten können beim Verband der Deutschen Milchwirtschaft e. V. (VDM) beantragt werden.

Der Bericht stellt den Abschluss eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Innovationsförderprogramms geförderten Forschungsprojektes dar.

2 Ökobilanz: Konzept und Vorgehensweise

2.1 Das Konzept der Ökobilanzierung

Eine Ökobilanz ist eine umfassende systematische Analyse der Umweltwirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung. Ziel der Analyse von Umweltwirkungen ist die Identifikation von Umweltlasten und darauf basierend von Optimierungsmöglichkeiten. Die Ökobilanzierung will damit einen Beitrag dazu leisten, die den Menschen umgebende Umwelt („Natur“) in ihrem Bestand und ihrer Funktionalität zu erhalten. Im Hintergrund steht dabei vor allem das politische Ziel, die natürlichen Lebensgrundlagen und damit Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen langfristig zu sichern sowie die Natur um ihres Eigenwertes willen zu schützen. Dieses Ziel ist z. B. im Bundesnaturschutzgesetz beschrieben: (/BNatSchG 2009/ in §1 Abs.1): *„Natur und Landschaft sind auf Grund ihres eigenen Wertes und als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen auch in Verantwortung für die künftigen Generationen im besiedelten und unbesiedelten Bereich nach Maßgabe der nachfolgenden Absätze [...] zu schützen“*.

Die Ökobilanzmethodik ist in den Normen 14040 und 14044 der Internationalen Organisation für Normung /ISO 2006/ standardisiert. Charakteristisch für die Ökobilanz im Vergleich zu anderen Instrumenten der ökologischen Bewertung ist:

- die möglichst umfassende Bewertung der relevanten Umweltwirkungen (im Unterschied zum Beispiel zum CO₂-Fußabdruck, der nur eine Umweltwirkung – nämlich den Beitrag zum Treibhauseffekt – betrachtet).
- die Betrachtung des gesamten Lebensweges eines Produktes oder Prozesses „von der Wiege bis zur Bahre“ oder anders gesagt: von der Rohstoffherzeugung über die Verarbeitung bis zur Nutzung durch den Endkunden und der Entsorgung der Abfälle.
- der Produktbezug: Die Umweltwirkungen werden in Relation zu einem Produkt beurteilt, nicht in Bezug auf zum Beispiel einen Betrieb, eine Technik oder eine Politikmaßnahme /Klöpper & Grahl 2009/.

Die vorliegende Studie orientiert sich an den ISO-Normen für Produktökobilanzen, ohne jedoch eine vollständig ISO-konforme Ökobilanz zu sein. Eine Ökobilanz umfasst gemäß ISO-Norm vier Elemente: Die Definition des Untersuchungsziels und des Untersuchungsrahmens, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Ergebnisinterpretation (Abb. 1).

Basis der Ökobilanz ist die Definition des Untersuchungsziels und des Untersuchungsrahmens. Ziel und Untersuchungsrahmen bestimmen insbesondere die zu erhebenden Daten und die Auswahl der betrachteten Umweltwirkungen sowie den Rahmen für die Ergebnisinterpretation und Berichterstattung. Die Sachbilanz ist der Kern der Ökobilanz. In der Sachbilanz werden alle Stoff- und Energieströme im betrachteten Produktionssystem erfasst, insbesondere auch alle Emissionen in die Umwelt. Dazu werden Angaben der beteiligten Un

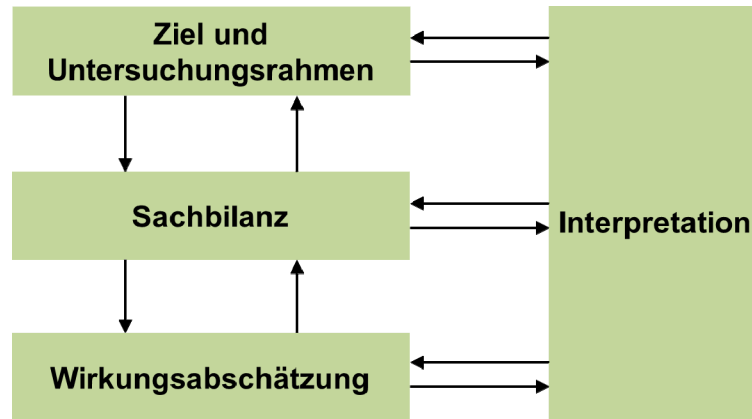


Abb. 1: Elemente einer Ökobilanz nach ISO.

ternehmen, Literatur und spezielle Ökobilanz-Datenbanken herangezogen (zum Beispiel ecoinvent und GEMIS). Basierend auf der Auflistung der In- und Outputs des Produktionssystems werden Wirkungsindikatoren bestimmt. Diese fassen verschiedene Sachbilanzparameter zusammen und beschreiben jeweils eine bestimmte Umweltwirkung des betrachteten Systems. Ein Beispiel hierfür ist die Treibhausgasbilanz, die in sogenannten CO₂-Äquivalenten ausgedrückt wird: Alle klimarelevanten Emissionen werden entsprechend ihrer Klimawirksamkeit in CO₂-Äquivalente umgerechnet, wobei Lachgas ca. 300 mal und Methan ca. 25 mal so klimawirksam ist wie Kohlenstoffdioxid /IPCC 2007/. Der letzte und zentrale Schritt der Ökobilanz ist die Interpretation der Ergebnisse. Dabei sind Unsicherheiten in der Datengrundlage aufzuzeigen und die wichtigsten Einflussgrößen auf das Ergebnis zu beschreiben.

In den folgenden Unterkapiteln (2.2 bis 2.6) wird der Untersuchungsrahmen inklusive methodischer Grundlagen beschrieben. Die Sachbilanzergebnisse fließen unmittelbar in die Wirkungsabschätzung und Ergebnisinterpretation ein, die in den Kapiteln 3 bis 9 dargestellt werden.

2.2 Betrachtete Produktlinien

Aus Milch lässt sich eine große Bandbreite an verschiedenen Produkten erzeugen. In Absprachen zwischen dem Forschungsnehmer IFEU, dem Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), dem Verband der Deutschen Milchwirtschaft e.V. (VDM) / IDF Germany sowie dem Projektträger BLE wurden vier besonders relevante Produktlinien ausgewählt, an Hand derer die Umweltwirkungen der Milcherzeugung dargestellt werden:

1. Trinkmilch: Frisch- und H-Milch (ESL, UHT)
2. Joghurt: Natur- und Fruchtjoghurt
3. Schnittkäse
4. Trockenmilcherzeugnisse

Nähere Informationen zu den betrachteten Produktlinien finden sich im Anhang (Kapitel 12.2).

2.3 Betrachtete Umweltwirkungen

In der Ökobilanzierung werden so genannte „Mid Point“ Umweltwirkungen und „End Point“ Umweltwirkungen unterschieden /JRC-IES 2010/. „End Point“ Umweltwirkungen bezeichnen dabei die eigentlichen Schutzgüter. Die Richtlinien der International Life Cycle Database (ILCD) unterscheiden die End Points „menschliche Gesundheit“, „biologische Vielfalt“ und „Ressourcenverfügbarkeit“.

„Mid Point“ Umweltwirkungen sind Veränderungen der Umwelt, die sich positiv oder negativ auf die End Points auswirken. Hierzu zählen zum Beispiel Emissionen von treibhauswirksamen Gasen oder von Substanzen, die die stratosphärische Ozonschicht schädigen. Die meisten Ökobilanzen weisen nur Mid Point Umweltwirkungen aus, da die Aggregation der Mid Point-Kategorien zu End Points einer hohen Unsicherheit unterliegt. So wird auch im vorliegenden Bericht verfahren. Die Umweltwirkungen in den Mid Point-Kategorien Treibhauseffekt, Energiebedarf, terrestrische Eutrophierung (Nährstoffeinträge in Böden) und Versauerungswirkung werden quantitativ beschrieben. Diese Umweltwirkungen werden in der folgenden Tabelle kurz erläutert (Tab. 1).

Zusätzlich zu den oben genannten, entlang des gesamten Lebensweges quantifizierten Umweltwirkungen werden speziell für die Landwirtschaft besonders relevante Umweltwirkungen in Kapitel 5.2 gesondert erläutert.

Tab. 1: Untersuchte Umweltwirkungen der Ökobilanz (quantitative Bewertung entlang des gesamten Lebensweges).

Wirkungskategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Treibhauseffekt	kg CO ₂ Äq. je Produkteinheit	Bezeichnet die Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) werden auch Methan (CH ₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N ₂ O) sowie eine Reihe von Spurengasen erfasst. Änderungen im Bodenkohlenstoffgehalt aufgrund des Anbaus wurden in dieser Studie nicht erfasst.
Energieaufwand	MJ je Produkteinheit	Energieeinsatz bzw. -einsparung ist ein Indikator der Ressourcenbeanspruchung. Üblicherweise wird in Ökobilanzen die nicht erneuerbare Primärenergie ausgewiesen. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern zählen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Die Primärenergie unterscheidet sich von der Endenergie dadurch, dass auch der Aufwand für die Bereitstellung der Energieträger mit erfasst wird (Förderung, Raffinerie, Transporte etc.). Im Folgenden wird diese Umweltwirkungskategorie der besseren Begrifflichkeit halber mit „Energieaufwand“ bezeichnet.
Versauerung	kg SO ₂ Äq. je Produkteinheit	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch den Eintrag Säure bildender Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff in Böden und Gewässer. Versauerung schädigt sensible Ökosysteme wie Wälder oder Magerwiesen, aber auch Gebäude (Stichwort: „Saurer Regen“).

Wirkungs-kategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Nährstoff-eintrag in Böden	kg PO ₄ ³⁻ Äq. je Produkteinheit	Einbringung von Nährstoffen in Böden natürlicher und empfindlicher Ökosysteme über atmosphärische Deposition. Die Eutrophierung der Böden natürlicher Ökosysteme führt zur Verdrängung seltener und gefährdeter Arten. Die wichtigsten Quellen atmosphärischer Nährstoffdeposition sind Emissionen von Ammoniak und Stickoxiden.

2.4 Datengrundlagen

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Wertschöpfungsketten, wie sie etwa im Jahr 2010 in Deutschland üblich waren. Als Datengrundlage dienten vor allem die folgenden Quellen:

- Futtermittelbereitstellung: Ökobilanzdatenbanken (ecoinvent, IFEU-interne Datenbank, GEMIS)³.
- Milcherzeugung: Angaben des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft zu üblichen Haltungsverfahren und betrieblichen Kennzahlen /KTBL 2008/; Produktionskennzahlen sowie Angaben zu Emissionen aus dem nationalen Emissionsinventar für die Landwirtschaft /Haenel et al. 2012/.
- Anlieferung: Befragung von Molkereibetrieben zu Anlieferentfernungen. Datenbankwerte zu LKW-Typen und Auslastungsgraden.
- Milchverarbeitung: Befragung in Molkereibetrieben.
- Distribution: Datenbanken und Literatur (ecoinvent, IFEU-interne Datenbank, GEMIS).
- Verhalten des Verbrauchers: Datenbanken (ecoinvent, IFEU-interne Datenbank, GEMIS, Literatur).
- Hintergrunddaten (insbesondere zur Bereitstellung von Energie und Betriebsmitteln): Ökobilanzdatenbanken (ecoinvent, IFEU-interne Datenbank, GEMIS).

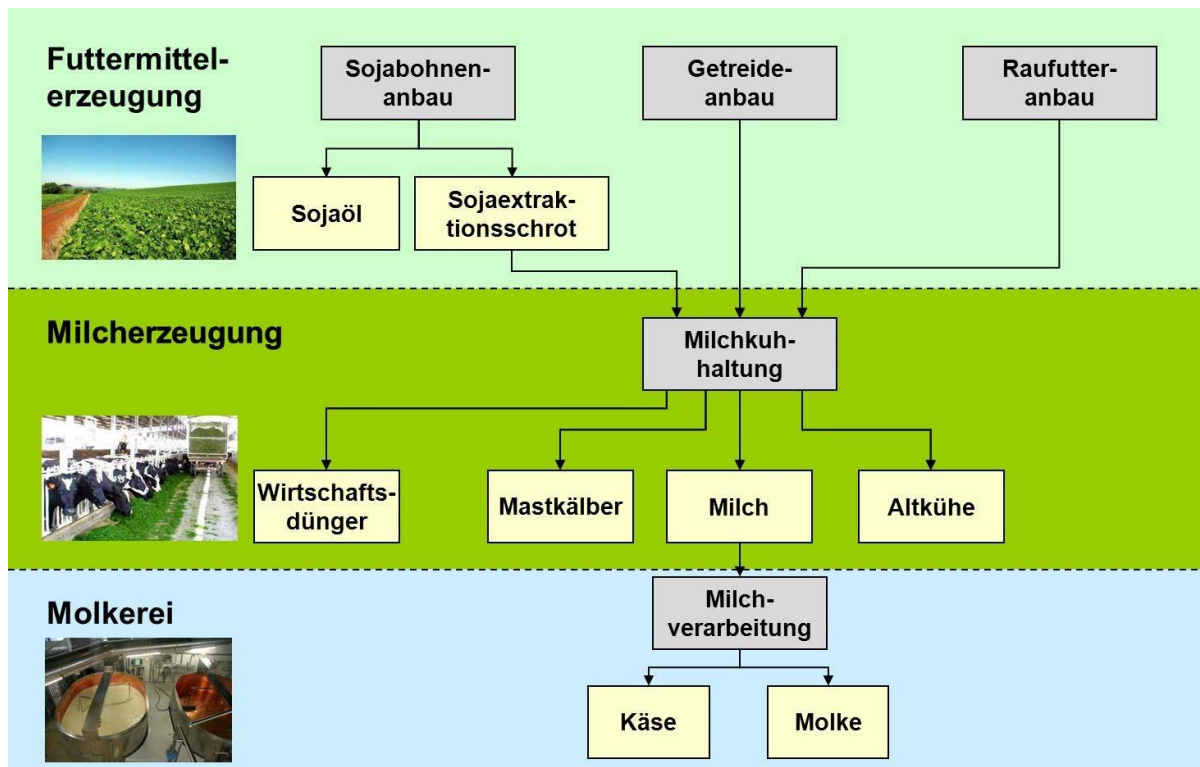
2.5 Umgang mit Koppelprodukten

2.5.1 Milchproduktherstellung als Multi-Output-System

Eine besondere Herausforderung bei der ökologischen Bilanzierung von Milchprodukten ist die Tatsache, dass auf fast jeder Ebene der Wertschöpfungskette Multi-Output-Prozesse anzutreffen sind. Dies sind Prozesse, bei denen mehrere Produkte – so genannte Koppelprodukte – in einem einzigen Prozess erzeugt werden. Abb. 2 zeigt beispielhaft, wo in der

³ Die verwendeten LCI-Datensätze wurden mit den von /Vellinga et al. 2013/ berechneten Treibhausgasbilanzen abgeglichen. Die durch das IFEU in der vorliegenden Studie verwendeten Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die von /Vellinga et al. 2013/ ermittelten Werte und sind im Mittel nicht wesentlich höher oder niedriger (+/- 10 %).

Käseherstellung Multi-Output-Prozesse auftreten. Die Umweltlasten solcher Prozesse sind auf die Produkte des jeweiligen Multi-Output-Prozesses aufzuteilen. Hierzu gibt es verschiedene Verfahren. Die Wahl des Bilanzierungsverfahrens hat zum Teil erhebliche Auswirkungen auf das Endergebnis. Im Folgenden werden verschiedene in Ökobilanzen angewendete Bilanzierungsverfahren, ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Auswirkungen auf das Endergebnis kurz dargestellt. Anschließend wird erläutert, auf welche Weise im folgenden Koppelprodukte bilanziert werden.



IFEU 2014

Abb. 2: Ausgewählte Koppelprodukte (gelbe Kästchen) in der Käseproduktion auf unterschiedlichen Ebenen der Wertschöpfungskette.

2.5.2 Verfahren der ökologischen Bewertung von Multi-Output-Prozessen

Grundsätzlich gibt es zwei Verfahren zur Bewertung von Multi-Output-Prozessen: Allokationsverfahren und Systemraumerweiterung bzw. Substitutionsverfahren.

Allokationsverfahren teilen die Aufwendungen für den Produktionsprozess nach einem festen Schlüssel auf die verschiedenen Endprodukte auf. Als Zuteilungsschlüssel werden in der Regel entweder physikalische Eigenschaften der Produkte oder der Marktwert verwendet.

Die Allokation nach Marktwert hat den Vorteil, dass sie die ökonomische Motivation der Produktion am besten widerspiegelt. Der Nachteil dieser Methode besteht jedoch darin, dass der Marktwert der Produkte stark schwanken kann. Die Ökobilanz eines Produktes kann sich bei dieser Bilanzierungsmethode dadurch verbessern, dass für ein Koppelprodukt ein höherer Marktwert erzielt wird. Ein Beispiel: Steigende Weltmarktpreise für Biodiesel aus Sojaöl

könnten dazu führen, dass die dem Sojaextraktionsschrot zugeordneten Aufwendungen aus dem Sojaanbau sinken, und damit letztendlich auch die Ökobilanz der daraus ermolkene Milch.

Die Allokation nach physikalischen Eigenschaften führt dagegen zu über die Zeit sehr stabilen Ergebnissen. Physikalische Eigenschaften eines Produktes sind in der Regel konstant und einfach zu bestimmen. Typische Eigenschaften, die zur Allokation von biogenen Produkten verwendet werden, sind die Gesamtmasse, die Trockenmasse, der Energiegehalt oder andere wertgebende Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel der Protein- oder Fettgehalt. Die als Grundlage für die Allokation gewählte physikalische Eigenschaft sollte über den Produktnutzen definiert werden. So ist zum Beispiel für Bioenergieträger der Energiegehalt eine sinnvolle Allokationsgrundlage, während dies für Nahrungsmittel aufgrund der Vielfalt ernährungsphysiologischer und kulinarischer Funktionen fraglich erscheint. Die Allokation nach Gesamtmasse ist problematisch, wenn zum Beispiel die Aufwendungen der Käseproduktion überwiegend der Molke zugerechnet werden, in der das meiste Wasser und damit die größere Gesamtmasse enthalten ist, obwohl das Wasser keinerlei Nährwert hat.

Die Alternative zur Allokation ist die Systemraumerweiterung. Dabei werden die Grenzen des betrachteten Systems um alle Koppelprodukte und ihre Verwendung erweitert. Soll jedoch das Endergebnis bezogen auf ein bestimmtes einzelnes Produkt dargestellt werden, so muss auf die Substitution als Spezialfall der Systemraumerweiterung zurückgegriffen werden. Beim **Substitutionsverfahren** werden alle Aufwendungen dem zu bilanzierenden Hauptprodukt zugerechnet. Zugleich werden für alle anderen Produkte so genannte Referenzprodukte definiert, die durch die Koppelprodukte des betrachteten Prozesses ersetzt werden können. Für diese Referenzprodukte werden die Bereitstellungsaufwendungen ermittelt und von denen des betrachteten Systems abgezogen. Oder mit anderen Worten: durch die Koppelprodukte können Bereitstellungsaufwendungen für alternative Produkte mit der gleichen Funktion eingespart werden. Diese eingesparten Aufwendungen werden dem betrachteten Hauptprodukt gutgeschrieben. Die Produktion des Hauptproduktes wird also um die Nebenprodukte bereinigt. Im Beispiel: die bei der Käseherstellung anfallende Molke kann als Eiweißfuttermittel verwendet werden. Dadurch werden andere Eiweißkomponenten in der Fütterung eingespart, zum Beispiel Sojaextraktionsschrot. Die durch den Einsatz von Molke eingesparten Produktionsaufwendungen für Sojaextraktionsschrot werden der Käseproduktion gutgeschrieben. Beim Substitutionsansatz bestimmen die gewählten Referenzprodukte und die hierfür ermittelten Aufwendungen – also die Gutschriften für das betrachtete System – maßgeblich das Gesamtergebnis. Der Substitutionsansatz ist also vor allem für solche Bilanzen geeignet, in denen die Verwendung der Koppelprodukte und die dadurch eingesparten alternativen Produkte eindeutig zu bestimmen sind.

Auswirkungen des Bilanzierungsverfahrens auf das Endergebnis am Beispiel

Schnittkäse

Die verschiedenen Bilanzierungsverfahren haben deutliche Auswirkungen auf das Endergebnis, wie in der folgenden Tabelle (Tab. 2) beispielhaft für die Allokation der Milcherzeugung auf die Koppelprodukte der Käseproduktion – Schnittkäse und Molke – dargestellt wird. Dabei zeigt sich, dass sich durch Allokation nach Trockenmasseanteil eine geringere Treibhausgasbilanz ergibt als bei den beiden Vergleichsmethoden. Kann Molke hochwertig ver-

wendet werden, zum Beispiel in Pulverform als Ersatz von Milchpulver in der Lebensmittelindustrie, ergibt sich bei Verwendung des Substitutionsverfahrens jedoch eine ähnlich niedrige Treibhausgasbilanz wie bei Allokation nach Trockenmasse. In den letzten Jahren wurde ein wachsender Anteil von Molke in der Lebensmittelindustrie eingesetzt.

Tab. 2: Beispielhafte Ergebnisse für die Treibhausgasbilanz von Schnittkäse nach verschiedenen Bilanzierungsverfahren.

Bilanzierungsverfahren	Treibhausgasbilanz in kg CO ₂ Äq. je kg Käse
Physikalische Allokation nach Trockenmasseanteil	7,5
Ökonomische Allokation: Wert der Frischmolke 10 % des Gesamtwarenwertes der Produktlinie	10,5
Substitution I: Verwendung der Molke als Eiweißfuttermittel (Ersatz von Sojaschrot)	11,4
Substitution II: Verwendung des Molkepulvers als Ersatz von Milchpulver in der Lebensmittelindustrie)	8,0
Basisdaten: Milcherzeugung und Anlieferung: 1500 g CO ₂ Äq. / kg Rohmilch; Treibhausgasbilanz Verarbeitung, Distribution und Einkauf: 900 g CO ₂ Äq. / kg Käse	

2.5.3 Verwendete Vorgehensweise für dieses Projekt

Die ISO-Normen 14040 und 14044 empfehlen, Allokationen soweit wie möglich zu vermeiden. Dies kann entweder durch Aufteilen der Prozesse in Teilprozesse geschehen oder durch eine Systemraumerweiterung bzw. den Substitutionsansatz. Nur wo dies nicht möglich und sinnvoll ist, sollten Allokationsverfahren Anwendung finden, und zwar möglichst auf Basis physikalischer Eigenschaft. Andere Allokationsverfahren – insbesondere eine Allokation nach Marktwert – können angewendet werden, wenn sich keine geeigneten physikalischen Eigenschaften für die Allokation definieren lassen. Was jedoch im Einzelfall möglich und sinnvoll ist, ist nicht immer eindeutig. Daher entwickeln sich zum Teil branchenspezifische Standards für die Ökobilanzierung. Für die Milchwirtschaft entwickelte die IDF Empfehlungen für den Umgang mit Koppelprodukten in Carbon-Footprint-Analysen, die analog für Ökobilanzen anwendbar sind /IDF 2010/.

Im vorliegenden Projekt diente die ISO-Norm als Leitlinie für die Bestimmung der Vorgehensweise. Das IFEU kommt überwiegend zu den gleichen Ergebnissen wie /IDF 2010/. Beide Methoden sind in der folgenden Tabelle vergleichend dargestellt (Tab. 3).

Für die Allokation der Aufwendungen für die Milchviehhaltung auf Milch und Fleisch verwenden beide Methoden unterschiedliche Ansätze, kommen aber zum fast gleichen Allokationsfaktor.

Für die Milchverarbeitung wird eine Allokation nach Milchtrockenmasse vorgenommen, die vom IFEU aber durch Sensitivitätsstudien zur Auswirkung des Allokationsverfahrens auf das Endergebnis ergänzt wird. Die Trockenmasseallokation hat den Nachteil, dass immer dann, wenn ein Koppel- bzw. Nebenprodukt einen deutlich geringeren Nutzen bzw. einen deutlich geringeren Wert hat als das Hauptprodukt, die Umweltwirkungen des Hauptproduktes tendenziell unterschätzt werden. Ein Substitutionsansatz zur Bilanzierung von Koppelprodukten

der Milchverarbeitung ist jedoch schwierig, weil die Koppelprodukte in verschiedene Nutzungspfade gehen können und dort jeweils andere Referenzprodukte ersetzen.

In den letzten Jahren wurden Nebenprodukte – insbesondere die Molke – zunehmend zu hochpreisigen Produkten für die Lebensmittelindustrie weiterverarbeitet (Molkenprotein, Laktose, Süßmolkenpulver). Diese Molkenprodukte können als Ersatz für Milchpulver verwendet werden. Die Ergebnisse der drei Bewertungsverfahren Substitution, Allokation nach Marktwert und Allokation nach Trockenmasseanteil nähern sich dadurch an (siehe vorheriger Unterabschnitt).⁴

Die Verwendung der Allokation nach Trockenmasseanteil wird daher von den Autoren als geeignet angesehen.

Die verwendeten Allokationsfaktoren sind in Tab. 4 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 3: Empfehlungen des IDF /IDF 2010/ zum Umgang mit Koppelprodukten und Vorgehensweise des IFEU im vorliegenden Projekt.

Prozess	Empfehlung IDF	Vorgehensweise in diesem Projekt (IFEU-Methodik)
Futtermittel- erzeugung	Allokation nach Marktwert	Allokation nach Marktwert (Sojaschrot: 65 % der Aufwendungen; Rapschrot: 30 %)
Milchviehhaltung – Wirtschaftsdünger	Substitution von Mineraldünger	Substitution von Mineraldünger (0,9 kg Mineraldünger N / kg Wirtschaftsdünger N nach Abzug der Lagerungsverluste)
Milchviehhaltung – Fleisch- und Milchproduktion	Allokation nach physikalischen Eigenschaften ⁵ Standard-Wert für Milch: 85,6 %	Ökonomische Allokation (Allokationsfaktor für Milch: 85 %)
Milchverarbeitung	Allokation nach physikalischen Eigenschaften (Trockenmasseanteil, „Total Milk Solids“)	Allokation nach physikalischen Eigenschaften (Trockenmasseanteil, „Total Milk Solids“). Sensitivitätsstudie: Ökonomische Allokation

Tab. 4: Verwendete Allokationsfaktoren für Koppelprodukte der Milchverarbeitung, Allokation nach Trockenmasseanteil (Total Milk Solids)

Produktlinie	Allokationsfaktor Hauptprodukt	Milchfett	Molke
Vollmilch	96 %	4 %	
Fettarme Milch	75 %	25 %	
Schnittkäse	72 %		28 %

⁴ Die Allokation nach Marktwert führt zum gleichen Ergebnis wie die Allokation nach Trockenmasseäquivalenten, wenn für alle Milchbestandteile bezogen auf die Trockenmasse in etwa der gleiche Preis erzielt werden kann. Der Substitutionsansatz führt im Falle der Substitution von Milchpulver zu einem ähnlichen Ergebnis wie die Allokation nach Trockenmasseäquivalenten, weil die Vorkette von Milchpulver bezogen auf die Trockenmasse der von Molkenpulver entspricht.

⁵ Regressionsgleichung: Allokationsfaktor (AF) = $1 - 5,7717 \cdot (m_{\text{Fleisch}} / m_{\text{Milch}})$; m_{Fleisch} = Summe der Lebendgewichte aller verkauften Tiere (Altkühe, Kälber); m_{Milch} = fett- und proteinkorrigierte Milchmenge.

Die Art und Weise, wie Koppelprodukte in einer Ökobilanz berücksichtigt werden, hat erhebliche Auswirkungen auf das Endergebnis. Die Substitutionsmethode bzw. die Allokation nach Marktwert führen aufgrund schwankender Marktwerte und sehr unterschiedlicher Verwendungsmöglichkeiten für die Nebenprodukte zu einer geringeren Übertragbarkeit und Stabilität der Bilanzergebnisse. Die Allokation nach Trockenmasseanteil führt dagegen unter Umständen zu einer Unterschätzung der Umweltlast des Hauptproduktes. Durch die zunehmende Verwendung von Molke zur Herstellung hochwertiger Produkte für die Lebensmittelindustrie nähern sich die Bilanzergebnisse aus Trockenmasseallokation, ökonomischer Allokation und Substitutionsverfahren einander jedoch an. Im Folgenden wird die Methode der Allokation nach Trockenmasseanteil als Standard verwendet.

2.6 Ergebnisdarstellung

Bezugsgröße

Die Ergebnisse werden jeweils bezogen auf ein Kilogramm Milch bzw. ein Kilogramm Milcherzeugnis dargestellt. Wo es angemessen ist, werden außerdem die Bezugsgrößen „je Liter Milch“ und „je Verpackungseinheit“ verwendet.

Normierung

Die Darstellung der Umweltwirkungen erfolgt in Absolutwerten (also zum Beispiel: in Kilogramm CO₂-Äquivalenten je Kilogramm Milch) oder normiert in sogenannte Einwohnertageswerte (kurz: ETW). Die Normierung dient dem Zweck, unterschiedliche Umweltwirkungskategorien einander sinnvoll gegenüber stellen zu können. Dazu müssen die Ergebnisse in den verschiedenen Umweltwirkungskategorien in eine gemeinsame Einheit umgerechnet werden. Ein Einwohnertageswert entspricht dem Ressourcenverbrauch bzw. den Emissionen, die ein Bürger der Bundesrepublik Deutschland im Schnitt am Tag verursacht. Die Umrechnungsfaktoren für Absolutwerte in Einwohnertageswerte sind in Tab. 5 angegeben.

Tab. 5: Einwohnerbezogene durchschnittliche Umweltwirkungen pro Jahr (Einwohner-Durchschnittswerte, EDW) bzw. pro Tag (Einwohnertageswerte, ETW) gültig für Deutschland 2010 /IFEU 2014/ nach /UBA 2011/, /UBA 2012/, /AGEB 2012/, /Destatis 2012/.

Wirkungskategorie	Einwohnerdurchschnittswert Pro Person und Jahr	Pro Person und Tag
Energieaufwand	153 GJ	419 MJ
Treibhauseffekt	11 t CO ₂ Äq.	30 kg CO ₂ Äq.
Versauerung	32 kg SO ₂ Äq.	88 g SO ₂ Äq.
Nährstoffeintrag in Böden	4,4 kg PO ₄ ³⁻ Äq.	12 g PO ₄ ³⁻ Äq.

3 Ökobilanzergebnisse im Überblick

3.1 Ökobilanz von Milch und Milcherzeugnissen aus deutscher Produktion

Die Umweltlast der ausgewählten Standard-Produkte ist in Abb. 3 dargestellt. In allen Umweltwirkungskategorien steigt die Umweltlast mit zunehmender Verarbeitungsintensität bzw. Aufkonzentration der Milchprodukte. In allen Wirkungskategorien außer dem Primärenergiebedarf wird die Gesamtbilanz von den Aufwendungen für die Milcherzeugung dominiert. Die in feinen Linien dargestellte Bandbreite der in der Praxis realistischerweise anzutreffenden Ökobilanzwerte zeigt eine große Abweichung nach oben, aber nur eine relativ geringe Abweichung nach unten.

Die geringe Abweichung nach unten bringt zum Ausdruck, dass die Produktion typischerweise schon relativ optimiert ist.

Die großen Abweichungen nach oben zeigen, dass im Einzelfall auch deutlich schlechtere Ökobilanzergebnisse auftreten können als bei typischen und heute in Deutschland üblichen Produktionsverfahren. Hohe Abweichungen treten in folgenden Fällen auf:

- In der Kategorie Treibhausgasemissionen: bei geringen Milchleistungen, geringer Futterverwertungseffizienz und hoher Remontierungsrate in der Landwirtschaft sowie insbesondere im Falle von Landnutzungsänderungen (z. B. die Umwandlung von Regenwald in Ackerland) für die Futtermittelbereitstellung.
- In der Kategorie Primärenergieaufwand: Energiebereitstellung und in einzelnen Fällen auch die Energienutzung in Molkereiunternehmen mit geringer Effizienz, bei weiten Distributionsentfernungen, ineffiziente Kühltechnik im Einzelhandel sowie nicht umweltgerechtes Einkaufs- und Lagerverhalten des Endkunden.
- In den Kategorien Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial durch geringe Stickstoffverwertungseffizienz in der Landwirtschaft und bei Verwendung von Wirtschaftsdüngerlagerungs- und -ausbringungstechniken, die mit hohen Ammoniakemissionen verbunden sind.

Anteil an den Gesamtumweltlasten in Deutschland

Zur Beurteilung der Relevanz der Umweltlasten ist es hilfreich, die Umweltlasten der ausgewählten Produkte zu den Gesamtumweltlasten in Deutschland in Relation zu setzen. Die mittlere Pro-Kopf-Umweltbelastung in Deutschland wird in den so genannten Einwohnertageswerten ausgedrückt (siehe dazu Tab. 5 in Kapitel 2.6). Die folgende Abbildung (Abb. 4)

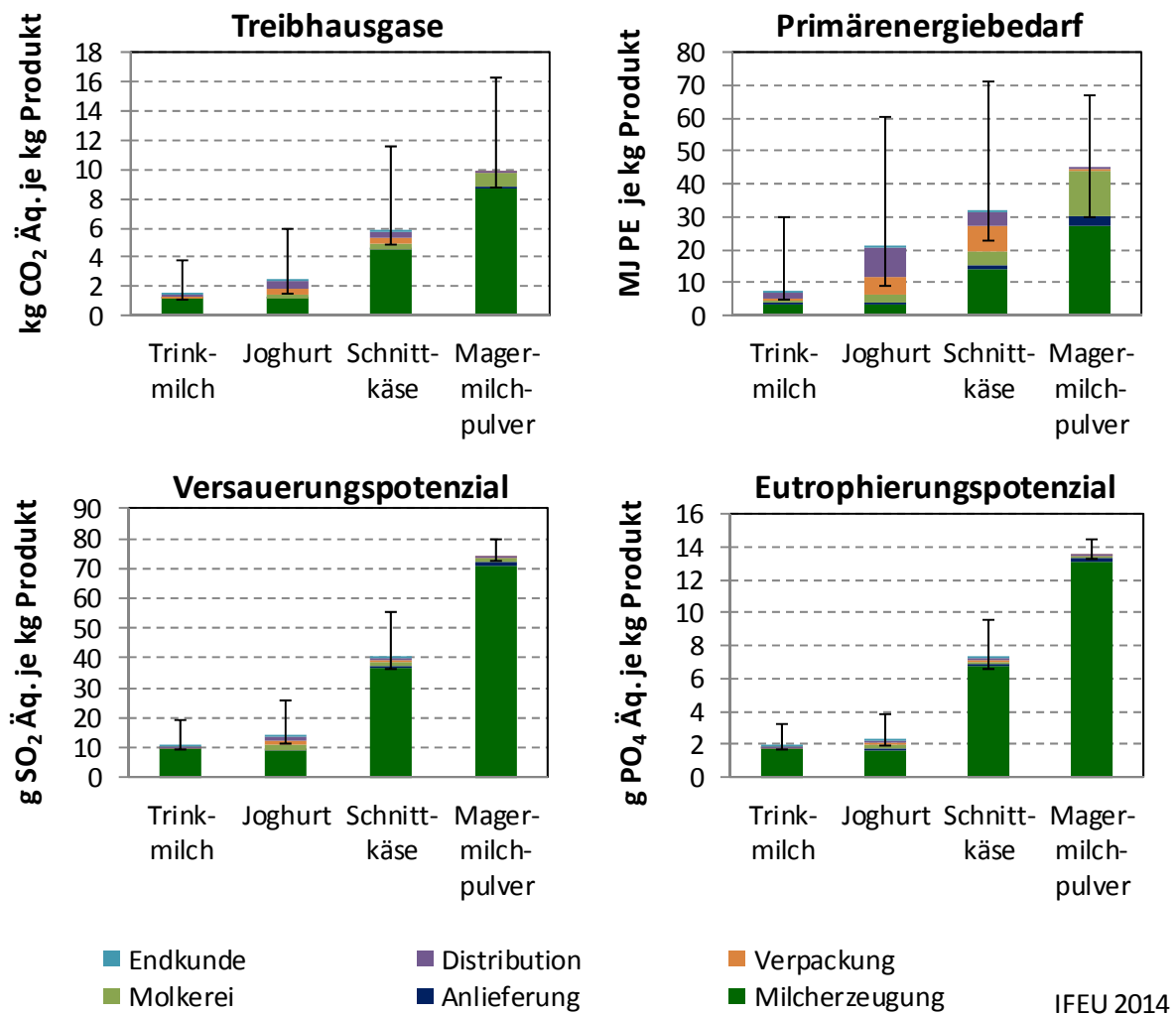


Abb. 3: Ergebnisse ausgewählter Umweltindikatoren für Milchprodukte aus deutscher Produktion im Jahr 2010. Die farbigen Balken beschreiben das typische Szenario. Die feine Linie gibt die Bandbreite an. Anteilige Darstellung je Produkt und Wirkungskategorie siehe Abb. 55 - Abb. 58.

zeigt die Umweltlasten des mittleren täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs⁶ der untersuchten Milchprodukte in Prozent des Einwohnertageswertes. Insgesamt entfallen durchschnittlich etwa 2,7 % der täglichen Treibhausgasemissionen auf den Verzehr dieser Milchprodukte.

Im Vergleich dazu: Der Anteil der Ernährung insgesamt an den Treibhausgasemissionen, die ein Bundesbürger im Schnitt am Tag verursacht, beträgt in etwa 13 %. Der Anteil der Mobilität (Privat-PKW, öffentliche Verkehrsmittel und Flugreisen) beträgt etwa 22 % /Schaechtele et al. 2007/.

Der Beitrag des Konsums dieser Milcherzeugnisse zum täglichen Energiebedarf beträgt ca. 1,2 %.

⁶ Verwendete Pro-Kopf-Verbrauchswerte: Siehe Tab. 20 im Anhang.

Deutlich höher fallen die Beiträge des Konsums der Milcherzeugnisse zu den Umweltwirkungskategorien Versauerung und terrestrische Eutrophierung aus: 6,5 % des Versauerungspotenzials und etwa 8,5 % des Eutrophierungspotenzials sind auf den Konsum von Trinkmilch, Joghurt, Käse und Trockenmilcherzeugnissen zurückzuführen. Das ist typisch für landwirtschaftliche Erzeugnisse. Der Anteil der landwirtschaftlichen Erzeugung in Deutschland an den versauernden Emissionen beträgt etwa 40 % und an den eutrophierenden Emissionen etwa 50 % /Haenel et al. 2012, eigene Berechnungen/.

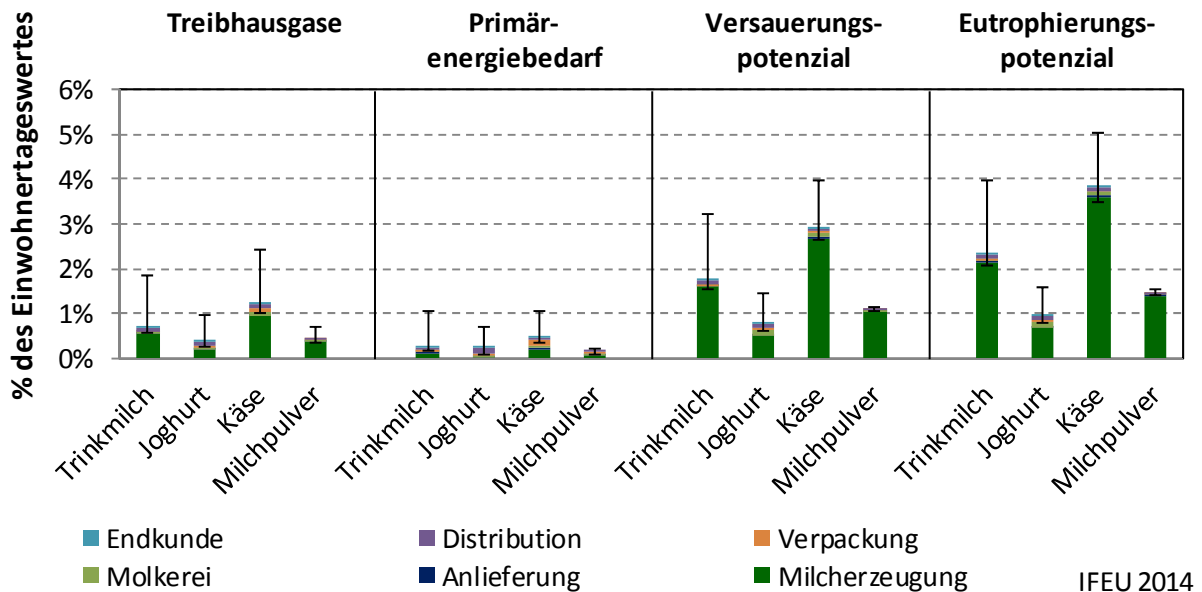


Abb. 4: Anteil der mit dem mittleren täglichen Pro-Kopf-Verbrauch von vier ausgewählten Milchprodukten aus deutscher Produktion im Jahr 2010 verbundenen Umweltlasten an der Gesamtumweltlast (Prozent des Einwohnertageswertes). Milchpulver: Umfasst alle Trockenmilcherzeugnisse. Die farbigen Balken beschreiben das typische Produktionsszenario. Die feine Linie gibt die Bandbreite an.

Lesebeispiel für den ersten Balken: Der mittlere tägliche Pro-Kopf-Verbrauch von Trinkmilch (das sind 0,147 Kilogramm) ist ursächlich für 0,7 % der mittleren täglichen Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in Deutschland. Bei Konsum von Trinkmilch aus Verfahren mit besonders hohen Treibhausgasemissionen können bis zu 1,86 % der täglichen Emissionen auf den Milchkonsum entfallen, im günstigsten Fall sind es etwa 0,57 % der täglichen Pro-Kopf-Emissionen.

Ernährungswert von Milchprodukten

Milchprodukte sind ein wesentlicher und hochwertiger Bestandteil einer ausgewogenen Ernährung. Sie liefern neben dem hochwertigen Eiweiß auch zahlreiche weitere wertgebende Inhaltsstoffe (/FAO 2013/, Tab. 18 im Anhang). Milch und Milchprodukte können damit bei ausgewogenem Konsumverhalten einen Beitrag zu einer gesunden Ernährung leisten. Beim Vergleich der Ökobilanz verschiedener Nahrungsmittel ist eine massenbezogene Umweltbi-

lanz aufgrund großer Unterschiede im ernährungsphysiologischen Wert keine geeignete Vergleichsgröße, da die Unterschiede in der ernährungsphysiologischen Qualität keine Berücksichtigung finden. Milch hat eine hohe Nährstoffdichte. Setzt man die produktbezogenen Treibhausgasemissionen in Relation zur Nährstoffdichte relativiert das zum Teil die Aussagen über klimafreundliche Ernährung, insbesondere im Vergleich mit anderen Getränken.

3.2 Deutsche Produktion im internationalen Vergleich

Treibhausgasbilanz

In den vergangenen Jahren wurden bereits verschiedene Umweltbilanzen für Milchprodukte erstellt. Viele Studien betrachten nur die Milcherzeugung (zum Beispiel /Casey & Holden 2005/, /Thomassen et al. 2008/, /van der Werf et al. 2009/, /Capper et al. 2009/, /Kristensen et al. 2011/, /Dalgaard et al. 2014/, /McGeough et al. 2012/). Deutlich weniger Studien beziehen auch die Verarbeitung und die Distribution in die Analyse mit ein (zum Beispiel /Vergé et al. 2013/, /Djekic et al. 2014/). Die IDF hat im Jahr 2009 eine Literaturlauswertung zur Umweltbilanz des Milchsektors auf internationaler Ebene durchgeführt.

Die Ergebnisse verschiedener Studien für die Treibhausgasbilanz der Milcherzeugung sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (Tab. 6). Alle Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Milcherzeugung.

Die auf Industrieländer bezogenen Ergebnisse liegen zwischen 0,7 und 1,5 kg CO₂-Äquivalenten / L Rohmilch. Damit liegt das Ergebnis dieser Studie mit 1,1 kg CO₂-Äquivalenten / L Rohmilch ungefähr im Durchschnitt der Treibhausgasbilanzen für industrialisierte Milcherzeugung. Im globalen Durchschnitt sind die Treibhausgasemissionen je Liter Rohmilch mehr als doppelt so hoch /FAO 2010/. Der Mittelwert für die deutsche Produktion liegt unter dem in den Vergleichsstudien für Irland und die USA ermittelten nationalen Durchschnitt und gleich auf mit den für Kanada und Australien ermittelten nationalen Vergleichswerten. Der von Dalgaard et al. 2014 ermittelte Wert für Dänemark liegt bei vergleichbaren Systemgrenzen geringfügig unter dem von IFEU 2014 ermittelten Wert für Deutschland. Daalgard et al. 2014 berechneten zusätzlich noch die Emissionen für verschiedene Systemraumerweiterungen (Substitution von Fleischrindern, indirekte Landnutzungsänderungen) und kamen damit auf eine Gesamtbreite von 0,3 bis 3 kg CO₂ Äq. / kg Rohmilch.

Eine Vielzahl methodischer Annahmen beeinflusst das Ergebnis einer Umweltbilanz für die Milcherzeugung, sodass aus Unterschieden in den Studienergebnissen nicht ohne weiteres auf tatsächliche Unterschiede in den Treibhausgasemissionen geschlossen werden kann.

Für diejenigen Studien, bei denen entsprechende Angaben aufgeführt sind, zeigt Tab. 7 die auf den Liter Rohmilch referenzierten Emissionen von CO₂-Äquivalenten, die durch enterische Fermentation, Wirtschaftsdüngeremissionen, Futtermittelbereitstellung und den allgemeinen Energie- und Ressourcenbedarf des Milchviehbetriebs entstehen.

Es zeigt sich, dass vor allem bei der Futtermittelbereitstellung deutliche Unterschiede zwischen den Studien bestehen sowie zum Teil bei den Wirtschaftsdüngeremissionen. Die Emis

Tab. 6: Literaturlauswertung: Treibhausgasbilanz der Milcherzeugung (Bilanz bis Hoflor).

Studie	Kenndaten des Produktions- und Bilanzierungsverfahrens	kg CO ₂ Äq. / L Rohmilch
IFEU 2014 (Referenzwert)	Standard 2010: Mischration, 6.971 kg Milchleistung, ohne Berücksichtigung von Milchverlusten in der Wertschöpfungskette ⁷	1,1
Capper et al. 2009	USA, nationaler Durchschnitt, ca. 9.200 kg Milchleistung	1,4
Casey & Holden 2005	Irland, nationaler Durchschnitt, ca. 4.820 kg Milchleistung	1,3
Dairy Australia 2012	Australien, nationaler Durchschnitt, ca. 6.250 kg Milchleistung	1,1
Dalgaard et al. 2014	Dänemark. Ohne Substitution von Mutterkühen, ohne ILUC	1,0
	Ohne Substitution von Mutterkühen, mit ILUC	3,0
	Mit Substitution von Fleischrindhaltung, ohne ILUC	0,3
	Mit Substitution von Fleischrindhaltung, mit ILUC	1,07
FAO 2010	Globaler Mittelwert	2,4
	Globaler Mittelwert Grasland	2,7
	Globaler Mittelwert Mischrationen	1,8
	Mittelwert Westeuropa	1,5
FAO 2013b	Globaler Mittelwert	2,8
IDF 2009	Literaturübersicht	1,0
Kristensen et al. 2011	Dänemark, konventionelle Produktion, 35 untersuchte Höfe, ca. 8.200 kg Milchleistung	0,9 - 1,1
McGeough et al. 2012	Ostkanada	0,7 - 0,9
Reinhardt et al. 2009	Deutschland, ca. 6.800 kg Milchleistung, Mischration	0,8
Thomassen et al. 2008	Niederlande, konventionelle Produktion, 10 untersuchte Höfe, ca. 7.990 kg Milchleistung	1,4
van d. Werf et al. 2009	Frankreich (Bretagne), 7.372 kg Milchleistung	1,0 - 1,1
Vergé et al. 2013	Kanada, nationaler Durchschnitt, ca. 7.520 kg Milchleistung*	1,1

*: Berechnungen auf Basis von nationaler Milchproduktion, Herdengröße und Anteil Milchkühe /Vergé et al. 2013/

sionen durch den Energieaufwand für die Haltung spielen allgemein eine geringe Rolle und sind für das Gesamtergebnis nicht entscheidend. Der vom IFEU ermittelte Wert liegt hier deutlich unter dem Durchschnitt.

Die Unterschiede in den der Futtermittelbereitstellung zugeschriebenen Aufwendungen sind zum Teil mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen zu begründen. So haben zum Beispiel Kristensen et al. 2011 den Dieselbedarf für die Futtermittelerzeugung im Betrieb mit

⁷ Der für diese Studie (IFEU 2014) angegebene Wert von 1,1 kg CO₂-Äq. / L Rohmilch berücksichtigt nicht die Verluste entlang der Wertschöpfungskette, um die Vergleichbarkeit mit Literaturergebnissen sicherzustellen. In den übrigen Kapiteln dieser Studie wurden die Verluste stets berücksichtigt, um konsistente Ergebnisse entlang der Wertschöpfungskette auszuweisen. Inklusive Milchverlusten ergibt sich ein Wert von 1,2 kg CO₂ Äq. / L konsumierter Rohmilch, die dem Lebenswegabschnitt „Erzeugung“ zuzurechnen sind.

dem Energiebedarf für die Haltung (Stallungen, Melkstand, Futtevorlage) zusammengefasst. Diese Aufwendungen wurden in der IFEU-Bilanz der Futtermittelbereitstellung zugeschrieben. Ferner wurde in der IFEU-Bilanz dem Wirtschaftsdünger eine Gutschrift für die enthaltenen Nährstoffe gegeben, und dafür der Düngeaufwand für die Futtermittelerzeugung und die damit verbundenen Emissionen komplett der Futtermittelbereitstellung zugeschrieben. Dadurch ergeben sich in der Bilanz des IFEU ein geringerer Wert für die Wirtschaftsdüngeremissionen und ein höherer Wert für die Futtermittelbereitstellung. Ähnliche Unterschiede in der Zuordnung von Emissionen treten auch im Vergleich mit anderen Studien auf.

Die für Deutschland 2010 vom IFEU ermittelten enterischen Methanemissionen liegen im unteren Bereich der in den Vergleichsstudien ermittelten Werte, was in Anbetracht der vergleichsweise hohen Milchleistung in Deutschland plausibel ist.

Die vom IFEU für die Milcherzeugung in Deutschland ermittelten Wirtschaftsdünger-Emissionen liegen ebenfalls am unteren Ende der in den Vergleichsstudien angegebenen Werte und entsprechen in etwa dem für Irland ermitteltem Wert von /Casey & Holden 2005/, die ähnliche Werte für die Futtermittelbereitstellung und ebenfalls einen relativ niedrigen Wert für den Energiebedarf angeben, sodass ähnliche Zuordnungsweisen wahrscheinlich sind. Die höheren Methanemissionen je Liter Rohmilch bei /Casey & Holden 2005/ sind im Wesentlichen auf die geringere Milchleistung zurückzuführen.

Tab. 7: Treibhausgasemissionen durch enterische Fermentation, Wirtschaftsdüngeremissionen und Futtermittelbereitstellung einzelner Umweltbilanzstudien in kg CO₂-Äquivalenten / L Rohmilch.

Studie	Gesamt	Enterische Fermentation	Wirtschaftsdünger-Emissionen	Futtermittelbereitstellung	Energiebedarf Milchviehbetrieb
IFEU 2014 (Referenzwert)*	1,1	0,48	0,16	0,46	0,03
/Dairy Australia 2012*/	1,1	0,63	0,20	0,19	0,09
/Vergé et al. 2013*/ + /Maxime et al. 2011/	1,1	0,52	0,29	0,19	0,08
/Casey & Holden 2005*/	1,3	0,64	0,14	0,46	0,07
/Kristensen et al. 2011*/	1,1	0,48	0,23	0,21	0,12

*: Klassifizierung der Treibhausgasemissionen selbstständig vorgenommen und tlw. nicht eindeutig

** : Ohne Berücksichtigung von Verlusten, siehe auch (auf Seite 16)

Betrachtet man den Gesamtlebensweg, so liegen die Emissionen, die in der diesem Bericht zugrunde liegenden IFEU-Studie ermittelt wurden, für Trinkmilch im mittleren, für Joghurt im oberen sowie für Käse und Trockenmilcherzeugnisse im unteren Bereich der Bandbreite der Literaturwerte (Tab. 8).

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch zu beachten, dass die gewählten Systemgrenzen und Bilanzierungsansätze sich zwischen den Studien sehr deutlich unterscheiden. So berücksichtigt zum Beispiel die Studie von Vergé et al. weder die Distribution noch die Verpackung. Diese beiden Lebenswegabschnitte machen in der IFEU-Studie bei Trinkmilch 0,22 und bei Joghurt 1,01 kg CO₂-Äquivalente / kg Produkt aus. Zieht man die Verpackungs-

und Distributionsaufwendungen von der durch das IFEU ermittelten Gesamtbilanz von Joghurt ab, so ergeben sich 1,44 kg CO₂ / kg Joghurt und damit ein etwas geringerer Wert als die von Vergé et al. ermittelten 1,5 kg. Die IDF-Studie führt die Aufwendungen für die Verarbeitung und Distribution von Joghurt nicht aufgeschlüsselt auf. Geringere Verarbeitungs- und Distributionsaufwendungen als für Trinkmilch erscheinen jedoch nicht realistisch.

Ferner berücksichtigt die IFEU-Studie auch die entlang des Lebensweges auftretenden Verluste von etwa 10 % der produzierten Milch. Davon entfallen sieben Prozentpunkte auf die Endkunden (siehe Kapitel 12.3 im Anhang). Diese Verluste sind in der Studie der IDF nicht berücksichtigt.

Tab. 8: Treibhausgasemissionen für die Bereitstellung von Milchprodukten in kg CO₂-Äq. / kg Produkt: Gesamtlebensweg.

	IFEU 2014	Vergé et al. 2013	Djekic et al. 2014	IDF 2009	FAO
Trinkmilch	1,4	1,00	1,3-1,7	1,20	1,7
Joghurt	2,5	1,50	1,4-2,6	1,10	1,8
Käse	5,7	5,30	7,7-9,5	8,80	6,7
Trockenmilcherzeugnisse	9,8	10,10	-	-	12,8

Die Treibhausgasemissionen durch die Milcherzeugung in Deutschland liegen bezogen auf einen Liter erzeugter Rohmilch deutlich unter dem globalen Durchschnitt und am unteren Ende der für Industrienationen ermittelten Ergebnisse. Die Milcherzeugung in Deutschland kann daher bezogen auf die Treibhausgasbilanz als weitgehend optimiert angesehen werden (mögliche Landnutzungsänderungseffekte sind bei dieser Schlussfolgerung nicht berücksichtigt).

Ergebnisse zu den Emissionen der Milchverarbeitung sind mit Vorsicht zu betrachten, da häufig unterschiedliche Systemgrenzen zugrunde liegen. Die Aufwendungen in der Trockenmilch- und Käseproduktion liegen im internationalen Vergleich auf eher niedrigem Niveau, für Trinkmilch und Joghurt in einer ähnlichen Höhe.

Andere Umweltwirkungen

In der folgenden Tab. 9 werden Ergebnisse einer kurzen Literaturlauswertung zu versauernden und eutrophierenden Emissionen aus der Milchproduktion zusammenfasst. Ein Literaturvergleich für versauernde und eutrophierende Emissionen aus den übrigen Lebenswegabschnitten wurde nicht angestellt, da diese Emissionen für die Umweltbilanz von Milchprodukten kaum von Bedeutung sind (siehe Kapitel 3.1). Während die durch das IFEU ermittelten Eutrophierungswerte unter den Vergleichswerten bleiben, liegt die Versauerungswirkung darüber. Sowohl die eutrophierende Wirkung als auch die versauernde Wirkung ist überwiegend auf Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft zurückzuführen. Das IFEU verwendet für die Bilanzierung beider Wirkungskategorien das Modell UBA 2000 (/UBA 1999/, /UBA 2000/). 1 kg Ammoniak entspricht nach diesem Modell 1,88 kg SO₂-Äquivalenten und 0,35 kg PO₄³⁻-Äquivalenten. Dadurch ergibt sich die relativ große Differenz zwischen den Absolutwer-

ten beider Wirkungskategorien. Da in anderen Studien die Werte für beide Wirkungskategorien näher bei einander liegen, ist anzunehmen, dass andere Modelle verwendet wurden.

Daher sind lediglich die Größenordnungen der Ergebnisse vergleichbar, welche übereinstimmen.

Tab. 9: Literaturlauswertung: Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial der Milcherzeugung (bis zum Hofator).

Studie	Kenndaten des Produktions- und Bilanzierungsverfahrens	Eutrophierungspotenzial (terrestrisch) in g PO ₄ ³⁻ Äq. / L Rohmilch	Versauerungspotenzial in g SO ₂ Äq. / L Rohmilch
IFEU 2014 (Referenzwert)	Standard 2010: 6971 kg Milchleistung, Mischration, ohne Berücksichtigung von Milchverlusten in der Wertschöpfungskette	1,7	9,2
Capper et al. 2008		4,5	6,5
Gac et al. 2010		4,8 - 7,1	6,6 - 9,6
Arsenault et al. 2009		3,2 - 3,3	9,6 - 11,0

4 Exkurs: Entwicklungen der Milchwirtschaft in den vergangenen 20 Jahren

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie sich die Milchwirtschaft in Deutschland in den letzten 20 Jahren entwickelt hat. Ziel dieses Exkurses ist es, bereits erreichte Verbesserungen aufzuzeigen sowie auf Herausforderungen für zukünftige Entwicklungen hinzuweisen.

4.1 Entwicklungen in der Milchproduktion

Im Folgenden wird die aktuelle Milcherzeugung (Referenzjahr 2010) mit der Milcherzeugung des Jahres 1990 verglichen. In Deutschland wird heute deutlich mehr Milch erzeugt als noch vor 20 Jahren (Tab. 10). Die Produktionssteigerung wurde vor allem durch eine deutliche Steigerung der Einzeltierleistung erreicht: eine durchschnittliche deutsche Milchkuh gibt heute ein Drittel mehr Milch im Jahr als noch vor 20 Jahren. Dadurch konnten die Milchkuhbestände trotz steigender Gesamtproduktion um etwa 20 % reduziert werden. Die Remontierungsrate stieg leicht an, während das Erstkalbealter etwas zurückging. Damit ergeben sich ähnlich große Jungviehbestände. Die Steigerung der Einzeltierleistung ging mit einer deutlichen Intensivierung der Fütterung einher. Dabei ging insbesondere der Weide- und Grünlandanteil in der Milchviehfütterung deutlich zurück. Während 1990 noch knapp die Hälfte der Kühe mit einer deutlich grasbetonten Grundfütterration gefüttert wurde, ist es heute nur noch ein gutes Viertel. Die Weidezeit der Kühe hat sich in etwa halbiert.

Tab. 10: Kenndaten der Milcherzeugung in Deutschland für die Jahre 1990 und 2010: Milchkuhbestand, angelieferte Milchmenge, Milchleistung je Kuh, Remontierungsrate, Erstkalbealter, Rationstypen und Weidezeit.

	Einheit	1990	2010	Veränderung (%)
Bestand Milchkühe ¹	1000 Tiere	6.355 ⁶	4.183 ⁶	- 34 %
Angelieferte Milchmenge ²	1000 t	21.460 ⁶	28.655 ⁶	+ 34 %
Milchleistung ¹	kg je Tier und Jahr	4.700 ⁶	6.971 ⁶	+ 48 %
Remontierungsrate ¹	%	34	38	+ 12 %
Erstkalbealter ¹	Monate	31,2	28,7	- 8 %
Grünlandbasierte Fütterung ^{1,3}	% der Milchkühe	45	27	- 40 %
Maissilagebasierte Fütterung ^{1,4}	% der Milchkühe	55	73	+ 33 %
Weidezeit ^{1,5}	%	18	10	- 44 %

¹ /Haenel et al. 2012/, basierend auf Daten der amtlichen Statistik

² /BMELV & BLE 2011/

³ Anteil Kühe mit > 75 % Gras (Silage, Weide, Heu) an Raufutter

⁴ Anteil Kühe mit < 75 % Gras an Raufutter

⁵ Anteil der Weidezeit im Jahr, errechnet aus Weidewochen im Jahr und Weidezeit je Tag in den Weidewochen

⁶ Inkonsistenzen bedingt durch Unterschiede in den beiden zugrundeliegenden Statistiken

Tab. 11: Ergebnisse ausgewählter Umweltindikatoren für die Milcherzeugung (bis Hofator) für die Jahre 1990 und 2010 pro L konsumierter Milch: Flächenbedarf, Treibhausgasbilanz, Primärenergiebedarf, Eutrophierungspotenzial (terrestrisch) und Versauerungspotenzial. Graue Schrift: Sensitivitätsanalysen.

		1990	2010	Veränd. (%)
Flächenbedarf	m² / L Milch	2,29	2,08	-9 %
davon: Grünland	m ² / L Milch	1,38	0,74	-46 %
Acker (außer Soja)	m ² / L Milch	0,76	1,00	31 %
Acker (Soja, Import)	m ² / L Milch	0,15	0,35	126 %
Treibhausgasemissionen	kg CO₂ Äq. / L Milch	1,54	1,24	-19 %
Sensitivität:				
inkl. Landnutzungsänderung (LUC)	kg CO ₂ Äq. / L Milch	1,54	1,62	5 %
davon: Methan Verdauung	kg CO ₂ Äq. / L Milch	0,66	0,53	-20 %
Wirtschaftsdüngeremissionen	kg CO ₂ Äq. / L Milch	0,27	0,20	-27 %
Energiebedarf Milchviehbetrieb	kg CO ₂ Äq. / L Milch	0,04	0,03	-29 %
Futtermittelbereitstellung	kg CO ₂ Äq. / L Milch	0,60	0,51	-15 %
Sensitivitätsanalyse: inkl. LUC	kg CO ₂ Äq. / L Milch	0,60	0,89	48 %
Gutschrift Gülle	kg CO ₂ Äq. / L Milch	-0,03	-0,02	-29 %
Primärenergie	MJ PE / L Milch	3,98	3,95	-1 %
davon: Energiebedarf Milchviehbetrieb	MJ PE / L Milch	0,62	0,44	-29 %
Futtermittelbereitstellung	MJ PE / L Milch	3,94	3,92	-1 %
Gutschrift Gülle	MJ PE / L Milch	-0,58	-0,41	-29 %
Eutrophierung	g PO₄³⁻ Äq. / L Milch	2,63	1,88	-29 %
Versauerung	g SO₂ Äq. / L Milch	14,26	10,21	-28 %

Die Veränderung der Produktionskennzahlen hat deutliche Auswirkungen auf die Ökobilanz der Milcherzeugung (Tab. 11). Die Steigerung der Einzeltierleistung führt zu deutlich geringeren Emissionen je Liter Milch. Einer der Hauptgründe dafür ist, dass sich der Erhaltungsbedarf der Tiere auf mehr Liter verteilt. Je Liter erzeugter Milch werden weniger Nährstoffe ausgeschieden und wird weniger Methan freigesetzt. Dies wird jedoch durch eine Verlagerung der Produktion vom Grünland auf das Ackerland erkauft. Die Importe von Eiweißfuttermitteln (meistens Sojaschrote) sind deutlich gestiegen. Erhebliche Grünlandflächen – etwa 0,64 m² je Liter Milch – werden nicht mehr benötigt, dafür werden je Liter Milch 0,43 m² mehr Ackerflächen benötigt, fast die Hälfte davon entfällt auf den Import von Eiweißfuttermitteln.



Die Verlagerung vom Grünland auf das Ackerland erfolgte in Deutschland zum Teil durch Umwandlung von Grünland in Ackerland (Grünlandumbruch) und zum Teil durch eine Verlagerung der Milcherzeugung in andere Regionen Deutschlands.

Eine Umwandlung von Grünland in Ackerland ist in Deutschland inzwischen rechtlich nur noch in engen Grenzen möglich⁸ und aus Umweltsicht wegen der vielfältigen ökologischen Funktionen von Grünland auch nicht empfehlenswert (siehe dazu auch Kapitel 5.2). Eine Trendumkehr in der Grünlandnutzung zur Milcherzeugung ist angeraten, um ökologisch hochwertiges Grünland weiter ökonomisch sinnvoll zu nutzen. In einigen Bundesländern gibt es hierzu schon Initiativen. So plant z. B. Niedersachsen ab 2015 die Einführung einer Grünlandprämie /Reimink 2014/. In Nordrhein-Westfalen gibt es bereits seit 2010 ein Programm zur Förderung der Weidehaltung von Milchvieh /MKULNV NRW 2010/.

In Sojaproduktionsländern wurden zwischen 1990 und 2010 große Waldflächen in Ackerflächen umgewandelt /Arima et al. 2011/. Es ist plausibel, dass eine gestiegene Nachfrage nach Sojaschrot mit dazu beigetragen hat. Wenn die gegenüber 1990 im Jahr 2010 zusätzlich benötigten Sojaflächen durch Abholzung von Wäldern gewonnen wurden (Sensitivität: Landnutzungsänderung (LUC), Tab. 11: +5 % gegenüber 1990), ergibt sich für das Jahr 2010 eine höhere Treibhausgasbilanz je Liter Milch als für 1990. Außerdem sind solche Landnutzungsänderungen oft mit schweren ökologischen Schäden verbunden.

Die Ökobilanz der Milcherzeugung hat sich in den hier betrachteten Wirkungskategorien Flächenbedarf, Energiebedarf, Treibhauseffekt, terrestrische Eutrophierung und Versauerung zwischen 1990 und 2010 deutlich verbessert. Allerdings ging diese Verbesserung mit einer Verlagerung der Milcherzeugung vom Grünland auf das Ackerland einher.

Die Umwandlung von Grünland in Ackerland hat negative ökologische Auswirkungen und ist in Deutschland inzwischen nur noch in engen Grenzen zulässig. Eine Trendumkehr in der Grünlandnutzung zur Milcherzeugung ist angeraten, um ökologisch hochwertiges Grünland weiter ökonomisch sinnvoll zu nutzen und wird in einigen Bundesländern bereits durch Förderprogramme unterstützt. Es ist plausibel, dass der über die letzten Jahre zu verzeichnende vermehrte Einsatz von Importfuttermitteln, insbesondere Soja, und die damit verbundene Nachfrage nach Ackerland zu Landnutzungsänderungen in den Soja-Anbaugebieten und damit einhergehend zu unerwünschten ökologischen Folgewirkungen und zusätzlichen Treibhausgasemissionen beigetragen hat.

⁸ Zum Erhalt des Dauergrünlands wurde im Jahr 2005 im Rahmen der Cross Compliance Richtlinien der EU ein Dauergrünlanderhaltungsgebot für Landwirte, die Einkommensstützung durch Direktzahlungen in Anspruch nehmen, formuliert. Auf Landesebene ist der Verlust von Dauergrünland im Verhältnis zum Ackerland auf 5 Prozent (%) bezogen auf das Referenzverhältnis von 2003 zu begrenzen; bei Überschreitung wird entweder ein generelles Umwandlungsverbot erlassen oder weiterer Umbruch ist für den Einzelbetrieb genehmigungspflichtig. Einige Bundesländer (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern, Baden-Württemberg) haben ein Grünlandumbruchsverbot erlassen.

4.2 Entwicklungen in der Milchverarbeitung

Über die Entwicklung der Milchverarbeitung liegen deutlich weniger Informationen vor, als über die Entwicklung der Landwirtschaft. Im Folgenden wird daher nur dargestellt, wie sich der Energiebezug der Molkereiwirtschaft in den vergangenen 20 Jahren verändert hat. Wertbare Angaben zu anderen Betriebsmitteln und Emissionen konnten im Rahmen des Projektes nicht ermittelt werden. Die Darstellung des Energiebezugs basiert auf Daten des Statistischen Bundesamts. Da für das Jahr 1990 keine Daten vorlagen, beziehen sich die Darstellungen – abweichend zu Kapitel 4.1 – auf die Jahre 1993 /Destatis 2013a/ und 2010 /Destatis 2013b/. Interne Energiebedarfsdaten von am Projekt beteiligten Unternehmen lagen den beteiligten Unternehmen nicht mehr vor oder konnten von den Unternehmen nicht mit vertretbarem Aufwand bereitgestellt werden. Um eine bessere Vergleichbarkeit durch eine möglichst einheitliche Datenerhebung zu gewährleisten, wurden auch für das Jahr 2010 ausschließlich statistische Daten verwendet. Die Angaben zum Energiebedarf sind in beiden Jahren aufgeteilt in Energieträger (Strom, Gas, Heizöl, Kohle, etc.) und beziehen sich jeweils auf das gesamte milchverarbeitende Gewerbe. Eine Zuweisung zu einzelnen Produktionslinien war nicht möglich. Zusätzlich wurden Daten bezüglich des Produktspektrums des milchverarbeitenden Gewerbes vom Statistischen Bundesamt herangezogen /Destatis 2013c/, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob Veränderungen im Energiebedarf mit Veränderungen im Produktionsspektrum einhergehen oder ob anzunehmen ist, dass sie auf technischen Fortschritt zurückzuführen sind. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Statistische Bundesamt mit den Berichtsjahren 1995, 2002 und 2009 die der Erhebung zugrunde liegende Güterklassifikation umgestellt hat, sodass die Zahlen zu den Vorjahren nur bedingt vergleichbar sind. Insgesamt wurden acht verschiedene Kategorien definiert: Trinkmilch, Sahne, fermentierte Erzeugnisse, Butter / Milchstreichfette, Milchpulver, Käse / Quark, Molke und Sonstiges. Unter „Sonstiges“ wurden alle Produkte zusammengefasst, die den anderen Kategorien nicht eindeutig zugeordnet werden konnten.

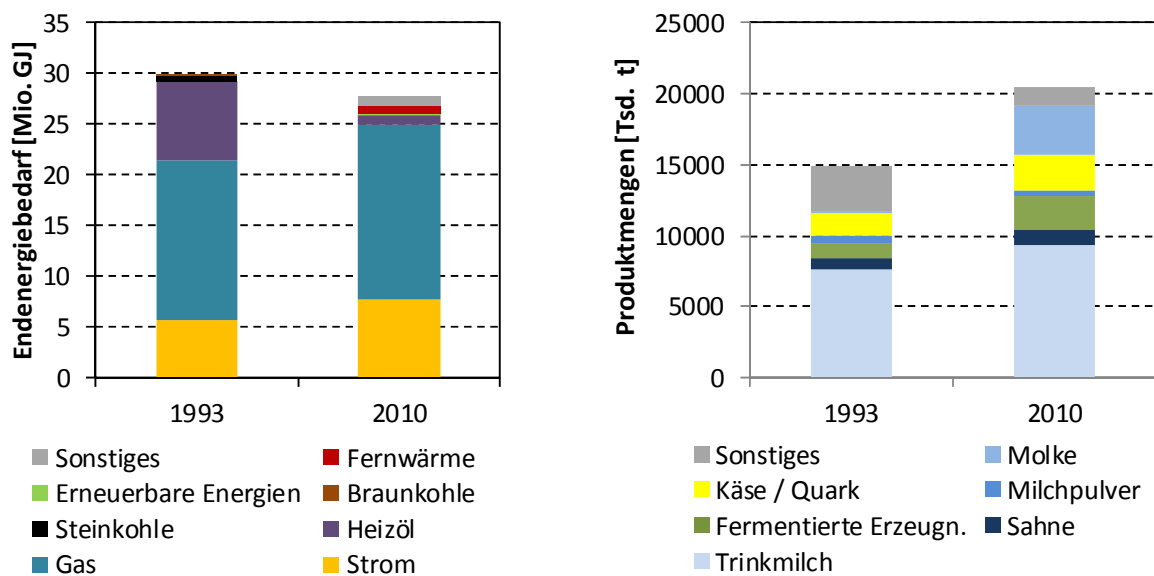
Im Jahr 1993 lag der Endenergiebedarf für das milchverarbeitende Gewerbe bei etwa 30 Millionen Gigajoule, wobei der größte Teil dem Energieträger Gas zuzurechnen war (Abb. 5, linke Seite). Der restliche Energiebedarf wurde hauptsächlich durch Strom und Heizöl gedeckt. Andere Energieträger wie Stein- und Braunkohle sowie erneuerbare Energien spielten kaum eine Rolle.

Im Jahr 2010 verzeichnete die Molkereiwirtschaft einen Endenergiebedarf von rund 28 Millionen Gigajoule. Dies entspricht einer Reduktion von ca. 7 % gegenüber 1993. Wichtigster Energieträger war im Jahr 2010 weiterhin Gas, Heizöl wurde kaum noch als Energiequelle genutzt. Strom, Fernwärme sowie sonstige Energieträger wurden vermehrt eingesetzt.

Die Produktionsmenge im milchverarbeitenden Gewerbe ist zwischen 1993 und 2010 von 15 Millionen Tonnen auf knapp 21 Millionen Tonnen (~35 %) angestiegen (Abb. 5, rechte Seite). Der große Anstieg der ausgewiesenen Produktionsmenge stimmt jedoch nicht mit der angelieferten Milchmenge überein, für die zwischen 1993 und 2010 nur ein Anstieg von 25,8 auf 28,7 Mio. t Rohmilch (+ 11 %) zu verzeichnen ist. Die Differenz zum Produktspektrum ist zu einem wesentlichen Teil durch die Umstellung der Güterklassifikation begründet. Eine starke Zunahme ist vor allem bei der Kategorie „Molke“ zu erkennen. Dies liegt daran, dass im Jahr 2010 neben Molke in Pulverform auch Frischmolke erfasst wurde, was mit einer Produkti-

onsmenge von etwa 3 Millionen Tonnen deutlich ins Gewicht fällt. Eine Abnahme der Produktionsmenge ist in der Kategorie „Sonstiges“ zu verzeichnen: Werksmilch wird im Jahr 2010 beispielsweise nicht mehr extra erfasst, was zu einer Reduktion der gesamten Produktionsmenge führt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in Bezug auf die ausgewiesene Produktionsmenge der Energiebedarf der deutschen Molkereiwirtschaft um etwa 30 % (von 1,9 Gigajoule pro Tonne auf 1,3 Gigajoule pro Tonne) gesunken ist. Diese Reduktion ist jedoch nicht ausschließlich auf eine energieeffizientere Produktionsweise zurückzuführen, sondern zu einem erheblichen Teil auf eine Änderung der Warenklassifikation (z. B. Erfassung der Frischmolke im Jahr 2010). Bezogen auf die angelieferte Milchmenge ergibt sich jedoch immerhin eine deutliche Energieeinsparung von 16 % (von 1,15 auf 0,97 Gigajoule pro Tonne, Abb. 6)



IFEU 2014

Abb. 5: Energiebedarf (links) und Produktion (rechts) der deutschen Molkereiwirtschaft in den Jahren 1993 und 2010, differenziert nach Energieträgern beziehungsweise Produktgruppen.

Die Energieeffizienz der Milchverarbeitung in Deutschland hat sich in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert: Der Energiebedarf je Tonne angelieferter Milch sank im Zeitraum von 1993 bis 2010 um 16 %.

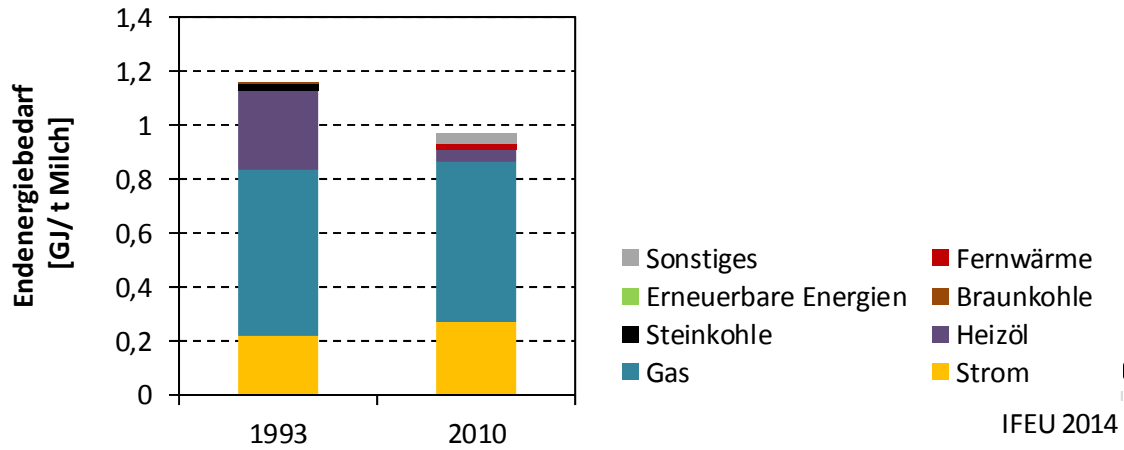


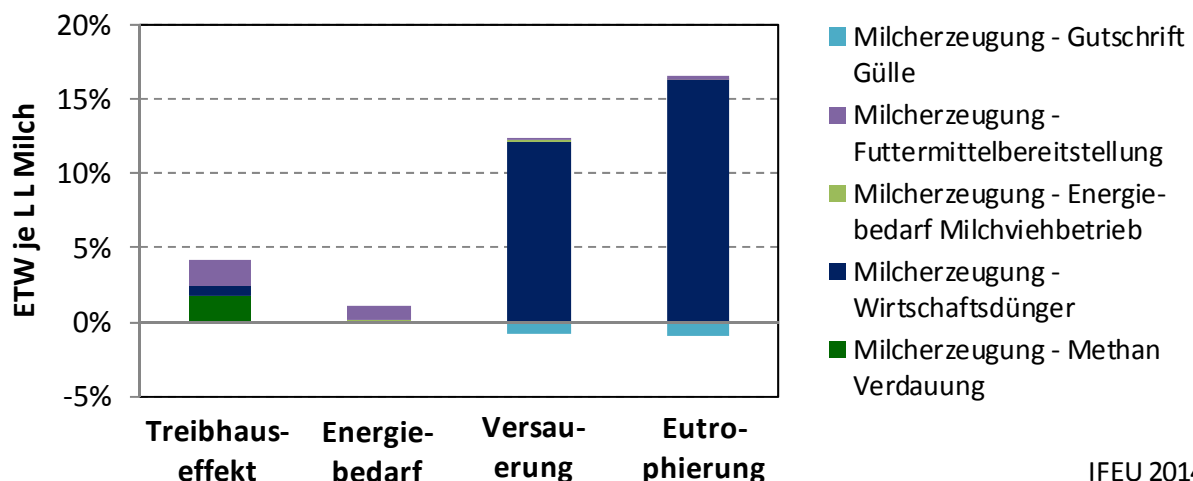
Abb. 6: Endenergiebedarf der deutschen Molkereiwirtschaft je Tonne angelieferter Milch in den Jahren 1993 und 2010, differenziert nach Energieträgern.

5 Umweltwirkungen der Milcherzeugung

5.1 Status quo und wichtigste Einflussgrößen

Die Produktion der Rohmilch für den Konsum von einem Liter Milch aus deutscher Produktion verursacht etwa 1,2 kg CO₂ Äq., 4,0 MJ Primärenergiebedarf, 10,2 kg SO₂ Äq.-Emissionen und 1,9 kg PO₄³⁻ Äq.-Emissionen. Das entspricht in etwa 4 % der Treibhausgasemissionen, die ein Bundesbürger im Durchschnitt an einem Tag verursacht, 1 % des täglichen Primärenergiebedarfs eines Bundesbürgers sowie 12 bzw. 16 % des Versauerungspotenzials und der terrestrischen Eutrophierung (Abb. 7). Die treibhauswirksamen Emissionen entfallen zu etwa 14 % auf die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger und zu 2 % Prozent auf Emissionen aus dem Energiebedarf der Haltung, der Rest entstammt zu etwa gleichen Teilen aus der Pansenfermentation der Rinder und der Futtermittelbereitstellung. Die versauernden und eutrophierenden Emissionen werden eindeutig von Wirtschaftsdüngeremissionen dominiert. Der Energieaufwand entfällt ganz überwiegend auf die Futtermittelbereitstellung. Eine ökologische Optimierung sollte daher in erster Linie die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger reduzieren und auf eine klimaschonende und energiesparende Futtermittelbereitstellung achten und erst in zweiter Linie die Methanemissionen aus der Verdauung weiter reduzieren.

Der hohe Beitrag zu den Kategorien Versauerungspotenzial und terrestrische Eutrophierung ist typisch für landwirtschaftliche Produkte im Allgemeinen und tierische Produkte im Speziellen. Die Umweltwirkung wird überwiegend durch Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung



IFEU 2014

Abb. 7: Ergebnisse ausgewählter Umweltindikatoren für die Milcherzeugung: Umweltwirkungen der Produktion der Rohmilch für einen Liter Konsummilch, ausgedrückt in % des Einwohnertageswertes (ETW), in den Umweltwirkungskategorien Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Versauerung und terrestrische Eutrophierung.

und Düngung verursacht. Auf diese entfallen alleine etwa 40 % der versauernden Luftschadstoffe und etwa 50 % der eutrophierenden Luftschadstoffe (/Haenel et al. 2012/, eigene Berechnungen).

Durch Optimierungen in der Industrie und im Verkehr sind die Emissionen eutrophierender und versauernder Luftschadstoffe in den letzten Jahren insgesamt deutlich gesunken (auf etwa 40 % gegenüber 1990, /UBA 2013b/), während die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft im gleichen Zeitraum nur auf etwa 80 % des Emissionsniveaus von 1990 gesenkt werden konnten. Durch die insgesamt deutlich gesunkenen Emissionen treten auch weniger regionale Schadwirkungen auf, die kritischen Belastungsgrenzen für natürliche Ökosysteme werden häufiger eingehalten. Während 1990 noch auf praktisch keiner Referenzfläche die kritischen Belastungsgrenzen eingehalten wurden und auf über 50 % der Flächen eine sehr hohe Überschreitung festgestellt wurde, waren 2007 nur noch etwa 2 % der Flächen sehr hoch belastet und mehr als die Hälfte der Flächen gering oder gar nicht belastet /UBA 2014/.

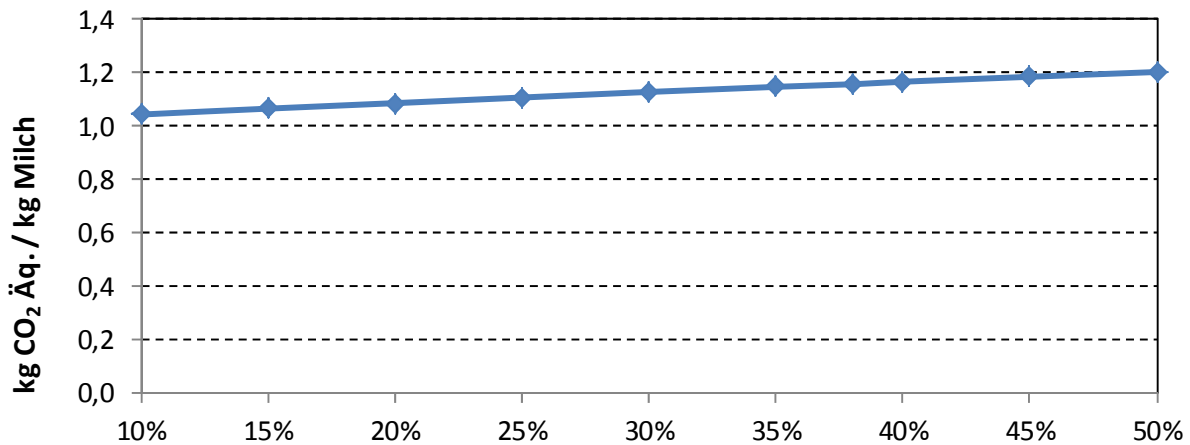
5.2 Optimierungspotenziale

Im Folgenden werden einige Maßnahmen genannt, mit denen die Umweltlasten der Milcherzeugung reduziert werden können.

5.2.1 Senkung der Remontierungsrate

Die Remontierung bestimmt wesentlich den Aufwand für die Erzeugung von einem Liter Milch. Die Remontierungsrate bezeichnet den Anteil der Milchkühe, die in einem Jahr durch Jungtiere ersetzt werden. Je höher die Remontierungsrate, desto mehr Jungtiere müssen aufgezogen werden, und auf desto weniger Liter Lebensleistung verteilt sich der Aufwand für die Aufzucht der Milchkühe. Die Remontierungsrate lag im Jahr 2010 im Mittel der Betriebe bei 38 %. Der Effekt einer veränderten Remontierungsrate auf die Treibhausgasbilanz ist in Abb. 8 dargestellt. Die Modellanalyse zeigt, dass durch eine Senkung der Remontierung auf 10 % die Treibhausgasbilanz um etwa 10 % sinken würde, wenn dabei die Milchleistung und alle anderen Parameter gleich blieben. Ähnliches gilt für die anderen Umweltwirkungen. Eine Remontierungsrate von 10 % entspricht 10 Laktationen. Diese werden heute bereits von einzelnen Milchkühen erreicht (Stichwort: 100.000 Liter Kuh), aber nicht im Herdendurchschnitt.

Eine Senkung der Remontierungsrate (= der in jedem Jahr zu ersetzenden Altkühe) wirkt sich in allen Umweltwirkungskategorien positiv aus. Eine geringere Remontierungsrate wird durch eine hohe Tiergesundheit befördert.



IFEU 2014

Abb. 8: Effekt einer veränderten Remontierungsrate auf die Treibhausgasbilanz der Produktion der Rohmilch für ein Kilogramm Konsummilch (alle anderen Parameter unverändert entsprechend Szenario „Standard 2010“).

5.2.2 Optimierung der Milchleistung

Ein zweiter wesentlicher Parameter, der die Treibhausgasemissionen aus der Milchproduktion bestimmt, ist die Einzeltierleistung. Im Mittel lag die Milchleistung im Jahr 2010 bei 6.971 Kilogramm je Kuh und Jahr. Eine Steigerung der Milchleistung senkt die klimarelevanten Emissionen je Kilogramm Konsummilch (Abb. 9). Allerdings ist die Reduktion nicht linear: bei geringen Milchleistungen sind die Emissionsreduktionen größer als bei hohen Milchleistungen. Mit der Steigerung der Milchleistung kommt es auch zu Verbesserungen in den Wirkungskategorien Versauerung und Eutrophierung (ebenfalls mit abnehmendem Effekt, nicht grafisch dargestellt). In der Kategorie „Primärenergiebedarf“ kommt es jedoch ab einem Leistungsniveau von etwa 5.500 Litern zu einem Anstieg der Umweltbelastung durch den Bedarf an Kraftfuttermitteln. Für diese Umweltwirkungskategorie ist die Milcherzeugung jedoch von geringerer Relevanz.

Eine wichtige Umweltwirkungskategorie für die Milcherzeugung ist der Flächenbedarf. Er bleibt bei steigender Milchleistung annähernd gleich, es findet aber eine deutliche Verlagerung vom Grünland auf Ackerflächen und von heimischen Futtermitteln zu Importfuttermitteln statt (Abb. 10, siehe auch Kapitel 5.3.1, S. 34).

Eine Steigerung der Milchleistungen senkt die Treibhausgasemissionen sowie die versauernden und eutrophierenden Emissionen je Kilogramm Konsummilch, allerdings um den Preis eines höheren Energieaufwandes und eines höheren Ackerflächenbedarfs (wegen des höheren Kraftfutterbedarfs). Bei einem geringen Leistungsniveau sind die Emissionseinsparungen je Kilogramm zusätzlicher Milchleistung besonders hoch und kaum mit zusätzlichen Umweltlasten in anderen Wirkungskategorien verbunden. Optimierungsbestrebungen sollten daher zuerst im unteren Leistungssegment ansetzen.

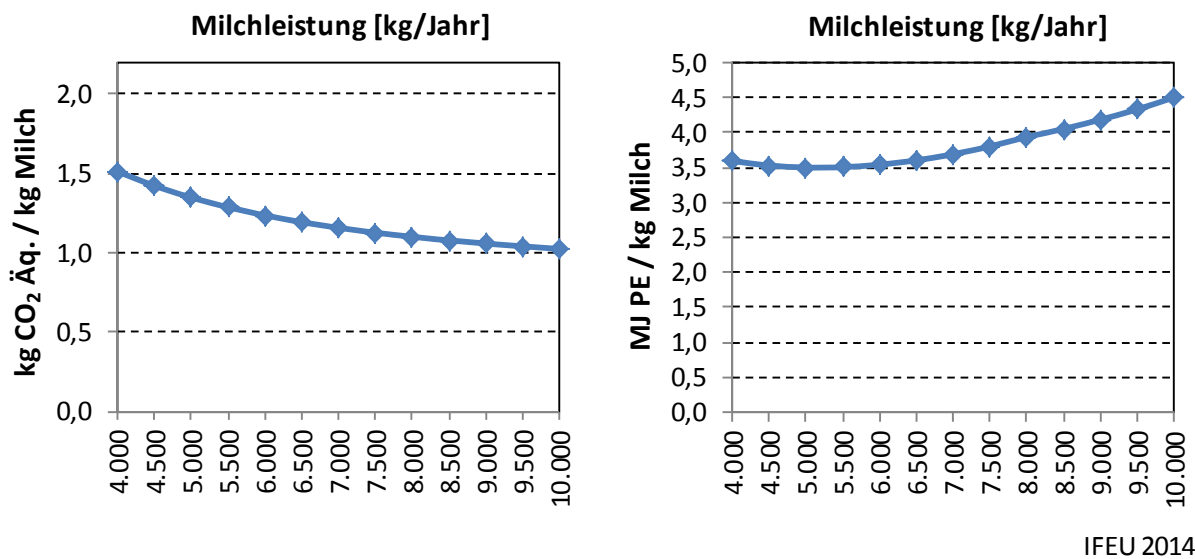


Abb. 9: Effekt einer veränderten Milchleistung und dadurch bedingten Umstellung des Futters auf (a) die Treibhausgasbilanz und (b) den Primärenergieaufwand der Erzeugung der Rohmilch für ein Kilogramm Konsummilch (alle anderen Parameter unverändert entsprechend Szenario „Standard 2010“).

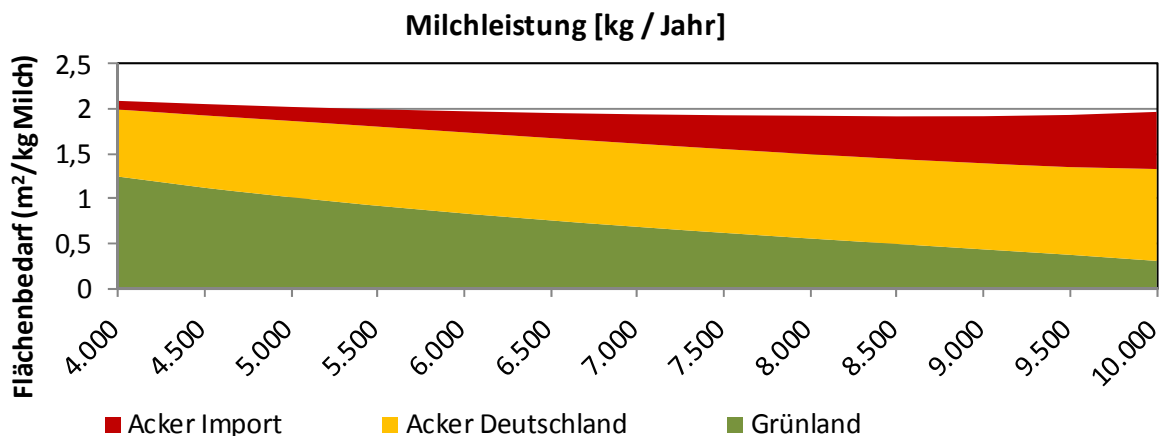


Abb. 10: Effekt einer veränderten Milchleistung und dadurch bedingten Umstellung des Futters auf den Flächenbedarf für die Erzeugung der Rohmilch für ein Kilogramm Konsummilch (alle anderen Parameter unverändert entsprechend Szenario „Standard 2010“).

5.2.3 Optimierung der Fütterung

Die Fütterung bietet vielfältige Optimierungspotenziale. Grundsätzlich sind aus Sicht des Umweltschutzes folgende Parameter wichtig:

- Minimierung von Futtermitteln.
- Optimale Futtermittelnutzung durch bedarfsangepasste Rationen.

- Umweltgerechte Futtermittelbereitstellung (mindestens: gute fachliche Praxis, bedarfsgerechte Düngung, integrierte Produktion mit geringem Pflanzenschutzmitteleinsatz).

Im Rahmen dieser Studie – mit Fokus auf die Molkereiwirtschaft – konnten verschiedene Möglichkeiten der Rationsgestaltung nicht im Detail untersucht werden. Es wurden nur zwei Fütterungsvarianten unterschieden: eine grünlandbetonte Ration und eine ackerbaubetonte Ration (Beschreibung der Rationstypen: siehe Anhang, Tab. 22).

Im Hinblick auf die Emissionen sind die Unterschiede zwischen beiden Rationstypen geringfügig und sinken mit zunehmendem Leistungsniveau, sofern Landnutzungsänderungen unberücksichtigt bleiben. Dabei zeigt eine maissilagebasierte Fütterung aufgrund der höheren Verdaulichkeit eine etwas bessere Treibhausgasbilanz. Daneben sollten bei der Auswahl des Futters auch weitere ökologische Kriterien wie die Qualität der Flächennutzung und Auswirkungen auf die Biodiversität ausschlaggebend sein, bei denen grünlandbetonte Rationen Vorteile gegenüber maissilage-betonten Rationen aufweisen.

Minimierung von Futtermittelnverlusten und optimale Futtermittelverwertung durch bedarfsgerechte Rationen können nicht nur ökonomisch sein, sondern schonen auch die Umwelt.

5.2.4 Vermeidung von Landnutzungsänderungen

Durch eine Veränderung der Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln oder nachwachsenden Rohstoffen kommt es zu Änderungen in der Landnutzung. Insbesondere eine Ausweitung der Ackerflächen auf Kosten natürlicher Ökosysteme wie zum Beispiel Wäldern ist in der Regel mit hohen Umweltlasten verbunden und daher in Deutschland streng reglementiert. In anderen Teilen der Welt sind Waldabholzungen jedoch gängige Praxis. Veränderungen der Nachfrage nach Futtermitteln in Europa können so indirekte Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme in Ländern des Südens haben. Dies gilt selbst dann, wenn die Importfuttermittel selbst aus zertifizierter Produktion stammen. In diesem Fall spricht man von sogenannten indirekten Landnutzungsänderungen: die Futtermittel stammen dann zwar selbst von langjährigen Ackerflächen. Durch den Anbau der Futtermittel werden jedoch dort bisher angebaute Kulturen – insbesondere Nahrungsmittel – verdrängt, deren Anbau nun auf Alternativflächen ausweicht. Solche Alternativflächen können auch frisch gerodete Regenwald- oder Savannengebiete sein (siehe Abb. 11).

Die Rodung natürlicher Ökosysteme hat vielfältige negative Auswirkungen auf die Umwelt (siehe Kapitel 5.3.1): durch Landnutzungsänderungen steigen insbesondere das Risiko des Aussterbens von Arten und die treibhausgaswirksamen Emissionen. Letzteres ist in Abb. 12 dargestellt. Es zeigt sich, dass betreffend Treibhausgasemissionen im Falle von Regenwaldabholzungen die Emissionen im Jahr 2010 sogar die Emissionen des Jahres 1990 deutlich übersteigen. Die Rodung von Savannenflächen, zum Beispiel im brasilianischen Campos Cerrados, hat auf die Treibhausgasemissionen nur geringfügig negative Auswirkungen, kann sich aber deutlich negativ auf die lokale Umwelt und den Artenschutz auswirken.

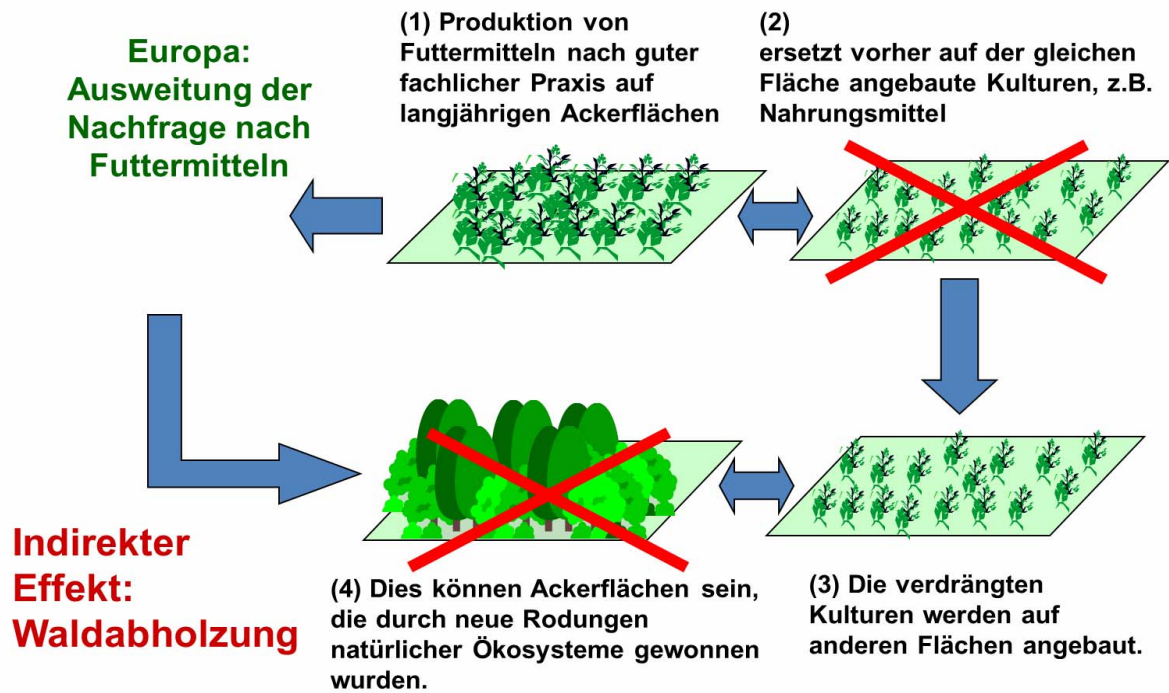
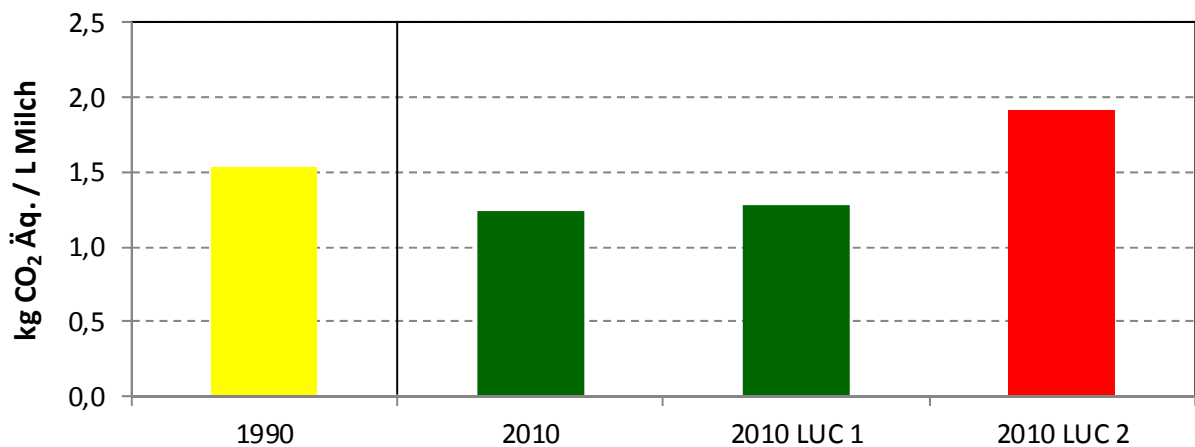


Abb. 11: Schaubild: indirekte Landnutzungsänderungen durch eine steigende Nachfrage nach Futtermitteln (/Fehrenbach et al. 2008/, Übersetzung und Anpassung durch Autoren).



IFEU 2014

Abb. 12: Treibhausgasemissionen der Produktion der Rohmilch für einen Liter Konsummilch in verschiedenen Szenarien: Standard 1990, Standard 2010, Standard 2010 mit Soja aus Cerrado-Rodung (2010 LUC 1), Standard 2010 mit Soja aus Regenwaldabholzung (2010 LUC 2).⁹

⁹ Abb. 12 liegt die Annahme zu Grunde, dass 100 % des Import-Sojas aus Landnutzungsänderungsflächen stammen, während in der Sensitivitätsanalyse in Kapitel 4.1 nur eine Landnutzungsänderung für die gegenüber 1990 zusätzlich benötigten Flächen angesetzt wurde.



Landnutzungsänderungen finden auch in Deutschland statt. Die Dauergrünlandfläche in Deutschland ist zwischen 1991 und 2009 um 11 % zurückgegangen. Etwa 5 % der Ackerfläche im Jahr 2009 war 20 Jahre zuvor noch eine Grünlandfläche /Destatis 2014/, /BMELV 2013/. Grünlandumbruch hat verschiedene negative Auswirkungen auf die Umwelt: nach dem Umbruch sinkt der Kohlenstoffspeicher im Boden, wodurch der Treibhauseffekt verstärkt wird. Beim Umbruch eines Hektars Grünland werden etwa 300 - 350 Tonnen CO₂ freigesetzt. Zusätzlich verstärken weitere N₂O-Emissionen den Treibhauseffekt. Abgesehen von der Kohlenstoffspeicherung erfüllt Grünland eine wichtige Funktion in der Regulierung des Wasseraushaltes und für die Artenvielfalt. Grünlandumbrüche sollten daher aus Umweltsicht vermieden werden.

Landnutzungsänderungen lassen sich vermeiden durch:

- Möglichst produktive Nutzung der vorhandenen Ackerflächen.
- Beibehaltung des Konsumniveaus (keine weitere Steigerung des Konsums von Milchprodukten). Denn wenn die relative Produktionssteigerung die relative Steigerung der Ressourcennutzungseffizienz übersteigt, kommt es zu einer absoluten Steigerung des Ressourcenbedarfs (Rebound-Effekt). Aus Unternehmenssicht kann die Beibehaltung des Konsumniveaus durch eine Fokussierung auf hochwertige (und entsprechend hochpreisige) Produkte an Stelle einer Steigerung der Absatzmenge zur Beibehaltung des Konsumniveaus beitragen.

Landnutzungsänderungen können mit negativen Umweltwirkungen verbunden sein und sollten aus Sicht des Umweltschutzes vermieden werden, wenn Ökosysteme mit hohen Kohlenstoffspeichern (Wälder) oder Flächen mit einem bedeutenden Bestand an seltenen oder gefährdeten Arten betroffen sind. Durch die Ausweitung der Nachfrage nach Futtermitteln steigt das Risiko von Landnutzungsänderungen. Landnutzungsänderungen können durch zertifizierte Produktion nur eingeschränkt vermieden werden.

Mindestens ebenso wichtig wie Zertifizierungssysteme ist die Beibehaltung (oder Senkung) des absoluten Flächenbedarfs. Letzteres erfordert eine effiziente Flächennutzung sowie die Beibehaltung oder wenigstens nicht überproportionale Steigerung der (globalen) Produktion. Denn wenn die Produktion schneller wächst als die Ressourceneffizienz sinkt, dann steigt der Ressourcenbedarf insgesamt an.

5.2.5 Reduktion der Wirtschaftsdüngeremissionen

Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger wirken sich stark auf die Umweltwirkungskategorien Eutrophierung und Versauerung sowie die Treibhausgasbilanz aus. Während für den Treibhauseffekt die Methanemissionen entscheidend sind, wird die Eutrophierungs- und Versauerungswirkung durch die Ammoniakemissionen bestimmt. Folgende Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen bieten sich an.

Reduktion der Methanemissionen

Methan entsteht bei der anaeroben Zersetzung von Kohlenstoffverbindungen. Daher entstehen bei der Lagerung von Gülle erhebliche Mengen Methan, während bei der Lagerung von Festmist – der mit Luftporen durchsetzt ist – kaum Methan entsteht. Heute dominieren jedoch eindeutig güllebasierte Haltungssysteme.

Eine besonders ökologische Weise, Methanemissionen aus der Gülle zu reduzieren, ist die Fermentation der Gülle in Biogasanlagen. Dabei wird das sich bildende Methan aufgefangen und zur Energieerzeugung verwendet. Die Verwendung von Gülle in Biogasanlagen ist also aus Umweltsicht zu empfehlen, sollte aber nicht mit einer Ausweitung des Maisanbaus als Kosubstrat einhergehen.

Die Fermentation der Gülle in Biogasanlagen verbessert die Treibhausgasbilanz von 1 Liter Trinkmilch um etwa 10 % (Projektergebnis, nicht grafisch dargestellt).

Reduktion der Ammoniakemissionen

Ammoniak entsteht bei der Lagerung und bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Emissionssenkend wirken geringe Luftbewegungen, geringe Temperaturen und ein niedriger pH-Wert. Die Emissionen können durch folgende Maßnahmen vermindert werden:

- **Steigerung der Stickstoffverwertungseffizienz in der Fütterung:** Je höher die Stickstoffverwertungseffizienz in der Fütterung, desto geringer sind die Stickstoffausscheidungen je Liter erzeugter Milch und damit die potenziellen Ammoniakemissionen. Hier besteht Forschungsbedarf.
- **Vermeidung von Emissionen aus den Stallungen:** Verschmutzte Oberflächen durch häufige Reinigung und guten Abfluss der Gülle vermeiden. Beschattung und Windschutz bei Laufhöfen verringern ebenfalls die Emissionen.
- **Reduktion der Emissionen aus dem Güllelager:** Geringe Oberflächen und Abdeckungen der Lager reduzieren die Emissionen deutlich.
- **Reduktion der Emissionen bei der Ausbringung:** Ausbringung möglichst bodennah (mit Schleppschläuchen) oder mit direkter Injektion in den Boden (Schleppschuhe). Ausbringung der Gülle möglichst nicht bei hohen Temperaturen und starkem Wind.

5.3 Besondere ökologische Aspekte der Landwirtschaft

Neben den für alle Lebenswegabschnitte betrachteten „klassischen“ Umweltwirkungskategorien Treibhausgasbilanz, Energiebedarf, eutrophierende Emissionen und versauernde Emissionen sind für die landwirtschaftliche Erzeugung aufgrund der engen Verbindung mit der Umwelt weitere Wirkungskategorien von hoher Relevanz. Dies ist zunächst der Flächenbedarf sowie direkte Auswirkungen auf die Biodiversität durch die Flächennutzung und die lokale Belastung von Gewässern durch Nährstoffeinträge (aquatische Eutrophierung). Ferner kann auch die Tiergerechtigkeit im weiteren Sinne als eine Umweltwirkung der landwirtschaftlichen Produktion angesehen werden. Diese Umweltwirkungen werden im Folgenden für den Lebenswegabschnitt „Milcherzeugung“ diskutiert.

5.3.1 Flächenbedarf und Qualität der Flächennutzung

Flächenbedarf und Flächennutzungseffizienz

Fläche ist eine begrenzte Ressource. Daher stellt der Flächenbedarf eines Produktionsprozesses eine ökologische Kenngröße dar. Der Flächenbedarf ist eine Unterkategorie der Umweltwirkungskategorie „Ressourcenbedarf“. Die Fläche wird – anders zum Beispiel als fossile Rohstoffe – durch die Nutzung zwar nicht verbraucht, sondern nur für einen begrenzten Zeitraum gebraucht. Für diesen Zeitraum steht die Fläche anderen Nutzungen nicht zur Verfügung. Die Ausweitung der Flächennutzung in einem Wirtschaftsbereich bedeutet daher eine Verknappung der für andere Wirtschaftsbereiche sowie der für den Naturschutz verfügbaren Fläche.

In der Milchwirtschaft wird Fläche vor allem zur Erzeugung von Futtermitteln benötigt. Die Flächen für Stallungen, Molkereien und Infrastruktur sind demgegenüber vernachlässigbar klein ($< 0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{a} / \text{L Milch}$).

Für die Erzeugung von einem Liter Milch aus deutscher Produktion werden im Mittel etwa 2 Quadratmeter landwirtschaftliche Nutzfläche benötigt (Stand 2010). 36 % dieser Fläche sind Dauergrünlandflächen, etwa die Hälfte (48 %) sind heimische Ackerflächen und die verbleibenden etwa 16 % sind Flächen, die im Ausland für die Erzeugung von Kraftfuttermitteln benötigt werden. Der Anteil der Milchwirtschaft an der landwirtschaftlichen Flächennutzung in Deutschland beträgt etwa 35 %, in Bezug auf die Grünlandflächen sind es etwa 50 % (eigene Berechnungen¹⁰). In den letzten 20 Jahren wurde die Flächennutzungseffizienz in der Milcherzeugung gesteigert. Der Flächenbedarf sank um etwa 9 % (von $2,29 \text{ m}^2 \cdot \text{a} / \text{L Milch}$ auf $2,08 \text{ m}^2 \cdot \text{a} / \text{L Milch}$, siehe Abb. 13). Gleichzeitig veränderte sich jedoch die Art der Flächennutzung: die je Liter Milch genutzte Grünlandfläche hat sich in etwa halbiert, die Importfutterfläche – also der Bedarf an Ackerflächen im Ausland – hat sich mehr als verdoppelt, während die heimische Ackerfläche um etwa ein Drittel stieg. Die Milchproduktion hat sich also vom Grünland auf die Ackerfläche verlagert, und zwar zu einem wesentlichen Teil unter Rückgriff auf ausländische Anbauflächen. Diese „importierten“ Ackerflächen entfallen hauptsächlich auf den Anbau von Soja. Aufgrund des gegenüber Grassilagen geringen Eiweißgehaltes von Silomais wird bei einer maissilagebasierten – also ackerbaubasierten – Fütterung mehr Soja als Ergänzungsfuttermittel benötigt als in einer grassilagebasierten Ration.

Die Verlagerung der Milcherzeugung vom Grünland auf Ackerflächen ist aus Sicht der Ressourcennutzung kritisch. Ackerfähige Böden sind global gesehen eine knappere Ressource als weidefähige Flächen. Die Nutzung von absolutem Grünland¹¹ für die Nahrungsmittelerzeugung kann nur durch Tiere erfolgen, die die Fähigkeit haben, Cellulose zu verdauen. Dies sind in unseren Breiten vor allem Rinder. Diese besondere Fähigkeit der Rinder wird durch

¹⁰ Errechnet aus der Flächennutzung in Deutschland /Destatis 2014/, dem im Rahmen dieses Projektes kalkulierten Flächenbedarf je Liter Milch sowie der Milchanlieferung in Deutschland /Wohlfarth 2012/.

¹¹ Als absolutes Grünland werden Dauergrünlandflächen bezeichnet, die für die ackerbauliche Nutzung aufgrund des Klimas oder des Bodens nicht geeignet sind.

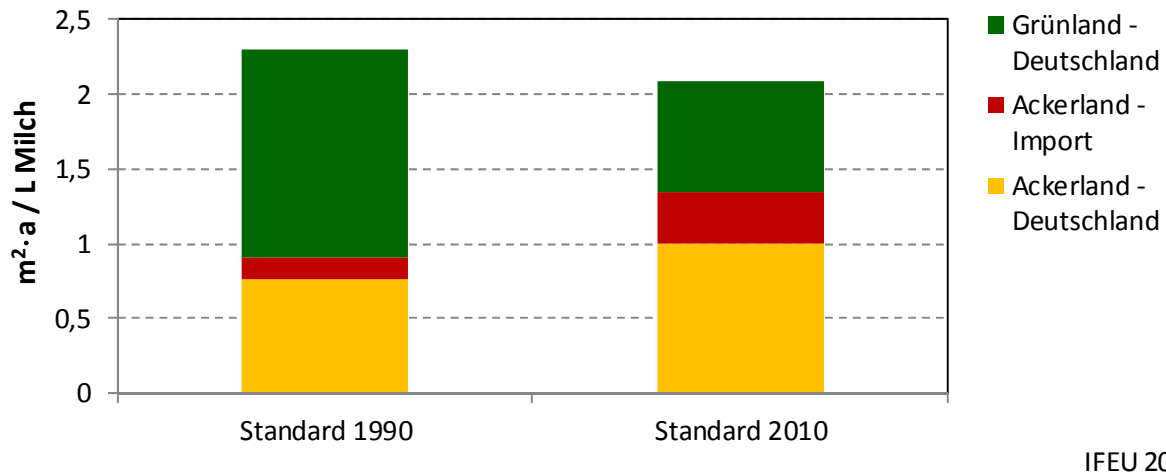


Abb. 13: Flächenbedarf für die Erzeugung von einem Liter Milch aus deutscher Produktion in den Jahren 1990 und 2010.

die Verlagerung der Milcherzeugung auf Ackerstandorte zunehmend weniger genutzt. Aus Sicht der Ressourceneffizienz sollten Wiederkäuer daher vorwiegend auf absoluten Grünlandflächen gehalten werden. Der Gesamtflächenbedarf ist in grünland- und ackerbaubasierten Rationen ähnlich (Abb. 14). Die Rationsgestaltung (grünlandbasiert vs. maissilagebasiert) hängt wesentlich von den geographischen Gegebenheiten des Erzeugerstandortes ab. Eine weitere Verlagerung der Milcherzeugung in grünlandarme Regionen ist aus Umweltsicht und im Hinblick auf die Ressourcenallokation jedoch ungünstig. Frei werdende Grünlandflächen könnten dann – sofern dies nicht rechtlich eingeschränkt ist – in ökologisch weniger hochwertige Ackerflächen umgewandelt werden, brach fallen (also gar nicht mehr zur Nahrungsmittelerzeugung dienen) oder zur Fleischerzeugung herangezogen werden. Die Entkopplung von Milch- und Rindfleischerzeugung verschlechtert jedoch die Treibhausgasbilanz beider Produkte.

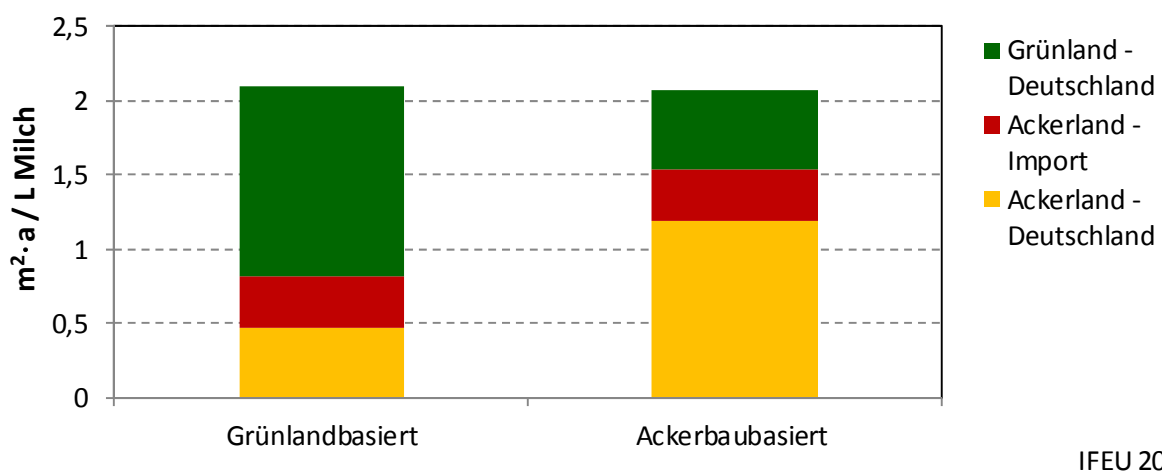


Abb. 14: Flächenbedarf für die Bereitstellung eines Liters Milch mit verschiedenen Rationen (grünlandbasiert: Grundfutter überwiegend Grassilage; ackerbaubasiert: Grundfutter überwiegend Maissilage).

Qualität der Flächennutzung

Neben der benötigten Fläche als Ressource ist auch die Qualität der Flächennutzung für die ökologische Bewertung entscheidend. Flächen weisen je nach Art der Nutzung einen unterschiedlichen ökologischen Wert auf. Je naturnaher eine Fläche ist, desto wertvoller ist sie in der Regel aus Umweltsicht. Diese Bewertung wird im Konzept der Hemerobiestufen ausgedrückt (siehe Tab. 12 und Tab. 13). Dauergrünland in Deutschland ist den Hemerobiestufen 4 - 5 zuzuordnen, Ackerfläche der Stufe 5 - 6 und großflächiger Anbau von Monokulturen in Amerika (Sojaanbau) mit 6. Damit ergibt sich, dass sich die Qualität der genutzten Flächen in den letzten 20 Jahren verschlechtert hat: das gewichtete Mittel der Hemerobiestufe stieg von 4,9 auf 5,2 an. Dies entspricht einem Anstieg von etwa 6 %. Dabei ist die Intensivierung der Grünlandnutzung noch nicht mit berücksichtigt.

Tab. 12: Hemerobiestufen nach /UBA 1999/.

Natürlichkeitsklasse	Bezeichnung der Klasse	Grobe Bezeichnung von Nutzungsformen; nach Messvorschriften zu präzisieren
I	natürlich	unbeeinflusstes Ökosystem, Urwald
II	naturnah	naturnahe forstwirtschaftliche Nutzung
III	bedingt naturnah	bedingt naturnahe forst- und landwirtschaftliche Nutzung
IV	halbnatürlich	halbnatürliche forst- und landwirtschaftliche Nutzung
V	bedingt naturfern	bedingt naturferne forst- und landwirtschaftliche Nutzung
VI	naturfern	naturferne landwirtschaftliche Nutzung
VII	nicht-natürlich künstlich	langfristig versiegelte und beeinträchtigte Flächen

Tab. 13: Hemerobiestufen von Agrarsystemen nach /Fehrenbach 2000/.

Natürlichkeitsklasse	Bezeichnung der Klasse	Grobe Bezeichnung von Nutzungsformen
III	bedingt naturnah	hochdiverse kleingliedrige Agroforstsysteme ohne Input von synthetischen Stoffen
IV	halbnatürlich	Grünland: Extensivgrünland, Streuobstwiesen, Ackerland: kleinflächige schonende Landwirtschaft (z. B. Ökolandbau) bei hoher Strukturvielfalt in der Landschaft
V	bedingt halbnatürlich	Grünland: Wirtschaftsgrünland mäßiger bis hoher Intensität Ackerland: mittelgroße Schlaggrößen, keine Hackfrüchte, mäßige Intensität, landschaftliche Strukturelemente vorhanden
VI	bedingt naturfern	großflächige intensive Agrarkulturen in ausgeräumter Landschaft
I, II und VII		trifft generell auf kein Agrarsystem zu

Der Flächenbedarf insgesamt ist bei ackerbaubasierter und grünlandbasierter Fütterung in etwa gleich.

Grünlandbasierte Fütterungssysteme für Wiederkäuer sind aus Umweltsicht jedoch empfehlenswerter, da Grünland ökologisch hochwertiger ist als Ackerflächen und zudem wenig wirtschaftliche Nutzungsalternativen für Grünlandflächen bestehen. Denn anders als Ackerflächen können Grünlandflächen nicht direkt zur menschlichen Ernährung verwendet werden.

5.3.2 Biodiversität

Unter Biodiversität versteht man die Vielfalt an Ökosystemen, Arten und Genen. In den letzten 50 Jahren kam es zu einem größeren Verlust an biologischer Vielfalt als jemals zuvor in der Geschichte der Menschheit /WRI 2005/. Die wichtigsten Ursachen des Verlustes von biologischer Vielfalt sind Habitatveränderungen, Klimawandel, invasive Arten, Übernutzung und übermäßige Nährstoffeinträge. Die landwirtschaftliche Erzeugung spielt für den Erhalt der biologischen Vielfalt eine besondere Rolle: etwa ein Drittel der Erdoberfläche wird landwirtschaftlich genutzt. Die steigende Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten ist eine wesentliche Triebfeder für die Umwandlung terrestrischer Ökosysteme in landwirtschaftliche Nutzflächen und damit für den Verlust der dort natürlich vorkommenden biologischen Vielfalt. Die Nährstoffeinträge in natürliche Ökosysteme als Triebfeder des Biodiversitätsverlustes sind ebenfalls wesentlich durch die Landwirtschaft bedingt.

In Deutschland sind 26 % der untersuchten Wirbeltiere in ihrem Bestand gefährdet und 8 % ausgestorben oder verschollen („Rote Liste“, /Haupt et al. 2009/), von den Pflanzen gelten 26 % als gefährdet und 4 % als ausgestorben oder verschollen („Rote Liste“, /Ludwig et al. 1996/). Wichtigste Ursachen für den Verlust biologischer Vielfalt in Deutschland sind die Umwandlung von Lebensräumen und Nährstoffeinträge in natürliche Ökosysteme /BReg 2009/. An beidem ist die Landwirtschaft wesentlich beteiligt. Mehr als die Hälfte der Nährstoffeinträge in terrestrische natürliche Ökosysteme entstammen der Landwirtschaft /UBA 2013a/, davon geht wiederum mehr als ein Drittel auf die Milchwirtschaft zurück. Der Anteil der Milchwirtschaft an der landwirtschaftlichen Flächennutzung in Deutschland beträgt etwa 35 %, in Bezug auf die Grünlandflächen sind es etwa 50 % (eigene Berechnungen¹²).

Eine Milchwirtschaft, die zum Erhalt der biologischen Vielfalt beiträgt, muss drei Dimensionen des Schutzes der biologischen Vielfalt berücksichtigen: den Schutz der biologischen Vielfalt auf Futteranbauflächen, die Vermeidung von Landnutzungsänderungen zur Gewinnung von Futterflächen auf Kosten natürlicher Ökosysteme in den Importländern und schließlich den Verlust genetischer Vielfalt der Nutztiere.

¹² Errechnet aus der Flächennutzung in Deutschland /Destatis 2014/, dem im Rahmen dieses Projektes kalkulierten Flächenbedarf je Liter Milch sowie der Milchanlieferung in Deutschland /Wohlfarth 2012/.



Biologische Vielfalt auf Futteranbauflächen

Produktionsoptimierte landwirtschaftliche Nutzflächen weisen eine geringe Biodiversität auf und werden in der Regel nicht von seltenen und gefährdeten Arten bewohnt. Eine Bewirtschaftungsweise, die seltene und gefährdete Arten auf den Nutzflächen Lebensraum gibt, ist gegenüber dem heute üblichen Niveau der Düngung, des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie der Nutzungshäufigkeit im Grünland deutlich extensiver und ertragsschwächer. Eine wirtschaftliche Milchproduktion ausschließlich auf solchen extensiven Flächen ist kaum möglich. Der Erhalt seltener und gefährdeter Arten des Dauergrünlandes sowie der Ackerbegleitflora setzt jedoch voraus, dass zumindest *ein Teil* der Acker- und Grünlandflächen hinreichend extensiv bewirtschaftet wird, damit seltene und gefährdete Arten einen Lebensraum finden. Brachflächen, die der natürlichen Sukzession unterliegen, bieten keine Alternative, da die seltenen und gefährdeten Arten der landwirtschaftlichen Begleitflora auf das Ökosystem „Grünland“ bzw. „Acker“ angewiesen sind.

Zur Förderung extensiver landwirtschaftlicher Flächen gibt es verschiedene öffentliche Förderprogramme aus europäischen Finanzmitteln sowie aus National- und Landesmitteln, über die das Bundesamt für Naturschutz (BfN) sowie Naturschutzbehörden und Landwirtschaftliche Fachberatungen auf Landesebene Auskunft geben. Zum Erhalt der Biodiversität ist es dringend geraten, dass die Milchwirtschaft in Deutschland als wichtiger landwirtschaftlicher Akteur sich über die öffentlichen Fördermittel hinausgehend für den Erhalt der Artenvielfalt einsetzt und den Erhalt von Extensivflächen bzw. deren ökologisch sachgerechte Schaffung fördert. Eine Möglichkeit hierzu wäre zum Beispiel die gezielte Unterstützung von Naturschutzmaßnahmen in den Genossenschafts- bzw. Zulieferbetrieben.

Die Verantwortung der Milchwirtschaft für den Naturschutz wird durch die Verlagerung der Milcherzeugung vom Grünland auf den Acker verstärkt (siehe Kapitel 4.1). Die nicht mehr für die Milcherzeugung benötigten Grünlandflächen benötigen eine alternative Nutzung, um ökologisch schädliche Grünlandumbrüche zu vermeiden. Die Pflege von Extensivgrünland auf zumindest einem Teil dieser Flächen ist im Hinblick auf den Erhalt der Artenvielfalt sinnvoll.

Vermeidung von Landnutzungsänderungen zur Gewinnung von Futterflächen

Wenn natürliche Ökosysteme in landwirtschaftliche Nutzflächen überführt werden, um zusätzliche Futterflächen zu gewinnen, wird damit der natürliche Lebensraum der dort vorkommenden Arten zerstört und ein Aussterben von Arten wird wahrscheinlicher. Umwandlungen natürlicher in landwirtschaftliche Ökosysteme kommen derzeit vor allem in tropischen Gebieten vor. Die Ursachen für diese Landnutzungsänderungen liegen jedoch zum Teil auch in nördlichen Ländern, die durch die Nachfrage nach Futter- und Energiepflanzen einen Anreiz für Landnutzungsänderungen schaffen. So ist zum Beispiel die Anbaufläche von Soja weltweit zwischen 2002 und 2012 um etwa 30 % gestiegen /FAOSTAT 2014/. Hauptursache hierfür ist neben der Nachfrage nach Biotreibstoffen vor allem die steigende Nachfrage nach Futtermitteln /FAO 2006/. Von Landnutzungsänderungen betroffen sind vor allem Savannen und Regenwaldgebiete in den Tropen, die zu den gefährdetsten und schützenswertesten Ökosystemen der Welt gehören /Myers et al. 2000/. Insbesondere weisen diese Ökosysteme eine besonders hohe Artenvielfalt auf. Der zunehmende Einsatz von Silomais in der Rinderfütterung bedingt einen gegenüber grasbasierten Rationen höheren Bedarf an eiweißreichen Importfuttermitteln, insbesondere Soja. Sofern keine verlässlichen Zertifizierungssysteme für

die ökologische Nachhaltigkeit von Importfuttermitteln verfügbar sind – was derzeit noch nicht der Fall ist – sollte der Verbrauch von Importfuttermitteln zum Schutz der Biodiversität möglichst reduziert werden. Zu bedenken ist jedoch, dass die Umstellung auf heimische Futtermittel nur dann auf jeden Fall die bessere Alternative ist, sofern ungenutzte Flächen in Deutschland bzw. Europa verfügbar sind (wie derzeit Grünland) oder die Hektarerträge nicht deutlich unter dem Flächenertrag des Sojaanbaus in den Hauptanbaugebieten liegen.

Genetische Vielfalt der Nutztiere

In der Rinderzucht kam es in den letzten Dekaden zu einer zunehmenden genetischen Engführung mit einem damit einhergehenden Risiko des Verlustes wertvoller genetischer Diversität der Rinder. Ein Verlust an genetischer Diversität ist ökologisch kritisch zu sehen und birgt zudem auch ökonomische Risiken, insofern die genetische Diversität von Nutztierbeständen die Resilienz gegenüber zukünftigen Störungen positiv beeinflusst (neu auftretenden Krankheiten, veränderten Umweltbedingungen und Haltungsbedingungen etc.). Zumindest parallel zu den Hochleistungslinien sollten daher auch eine Diversität von Rassen und Genetik von Hausrindern erhalten und gefördert werden.

Der Verlust der Biodiversität ist eines der drängendsten Umweltprobleme. Die Landwirtschaft gehört zu den Wirtschaftsbereichen mit dem größten Einfluss auf den Erhalt der terrestrischen Biodiversität. Um Biodiversitätsverluste zu vermeiden, sollten extensiv genutzte Acker- und Grünlandflächen in Deutschland zum Beispiel im Rahmen von Vertragsnaturschutzprogrammen erhalten werden. Eine weitere Verlagerung der Milchproduktion auf Ackerflächen sollte vermieden werden, da dies das Risiko birgt, dass weitere ökologisch wertvolle Grünlandflächen in Ackerflächen umgewandelt werden. Der geringe Proteingehalt von Silomais bedingt zudem einen gegenüber grasbasierten Rationen höheren Bedarf an eiweißreichen Importfuttermitteln, für die ein besonders hohes Risiko von ökologisch höchst negativ zu bewertenden Landnutzungsänderungen in den Herkunftsländern besteht. Auch die genetische Vielfalt innerhalb der Nutztiere ist bedroht und sollte durch spezielle Fördermaßnahmen geschützt werden.

5.3.3 Belastung von Gewässern durch diffuse Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft

Stickstoff- und Phosphatausträge aus Produktionsprozessen und die damit verbundenen Nährstoffeinträge in natürliche Ökosysteme stellen eine wichtige ökologische Schädigung dar. Es wird zwischen Nährstoffeinträgen über die Luft in Böden (= terrestrische Eutrophierung) sowie Nährstoffeinträgen in Gewässer (= aquatische Eutrophierung) unterschieden. Das terrestrische Eutrophierungspotenzial wird im Rahmen dieses Berichts als Hauptwirkungskategorie geführt (siehe Kapitel 2.3). Nährstoffausträge in Gewässer werden für die Milchwirtschaft nicht als Hauptwirkungskategorie betrachtet. Die direkten Nährstoffeinträge aus der Milchverarbeitung in Gewässer sind in Deutschland gesetzlich limitiert. In Molkereien



fallen zwar erhebliche Mengen stark eiweißhaltiger Abwässer und Abfälle an (ca. 0,5 Gramm Stickstoff in Abwasser bzw. Abfall je Kilogramm Milch¹³), diese werden jedoch in Kläranlagen auf die gesetzlich vorgeschriebenen Stofffrachten gereinigt, sodass keine bedeutenden Eutrophierungen mehr auftreten. Für die Milchverarbeitung und Distribution in Deutschland spielt die Wirkungskategorie „aquatische Eutrophierung“ daher keine Rolle.

Anders sieht es für den Bereich der Landwirtschaft aus: diffuse Nährstoffausträge durch Bodenerosion, Grund- und Oberflächenabfluss sowie Drainagen sind neben den Einträgen aus Siedlungsabwässern und industriellen Kläranlagen die wichtigste Quelle von Nährstoffeinträgen in Gewässer. Aus diesen diffusen Quellen stammen über 75 % der Stickstoffeinträge und etwa 50 % der Phosphateinträge in Gewässer /UBA 2009/. Die meisten diffusen Einträge entstammen landwirtschaftlich genutzten Flächen. Anders als industrielle Abwässer, die punktuell auftreten und technisch gereinigt werden können, gelangen diffuse Nährstoffausträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen direkt vom Boden über Grund- und Oberflächenabfluss in die Gewässer. Die Höhe der Nährstoffausträge aus der Landwirtschaft hängt sehr stark von lokalen Gegebenheiten wie zum Beispiel dem Niederschlag und der Bodenbeschaffenheit sowie von Managementpraktiken ab.

Eine genaue Analyse der Nährstoffausträge kann daher nur auf Betriebsebene erfolgen. Zentrale Stellgrößen und Indikatoren für die Nährstoffausträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen werden im Folgenden kurz beschreiben.

Stickstoffausträge

Stickstoff gelangt von landwirtschaftlich genutzten Flächen vor allem durch die Auswaschung von Nitrat aus der Bodenlösung in Gewässer. Wichtigste Stellgröße ist das Stickstofffeldbilanzsaldo auf Schlagebene. Die Stickstoffzufuhr durch mineralische und organische Düngung sollte möglichst optimal an den Nährstoffentzug der Pflanzen angepasst werden, um positive Feldbilanzsalden zu vermeiden. Dies stellt insbesondere für tierhaltende Betriebe zum Teil eine Herausforderung dar, da der Nährstoffanfall nicht durch den Nährstoffbedarf der Acker- und Grünlandflächen, sondern durch den Tierbestand bestimmt ist. In der Rinderhaltung ist das Risiko übermäßiger Nährstoffakkumulation jedoch geringerer als zum Beispiel in der Schweine- und Geflügelproduktion, da in der Regel mindestens das Grundfutter lokal erzeugt wird und auch mit dem Wirtschaftsdünger aus dem Milchviehbetrieb gedüngt werden kann. Allerdings beträgt die mittlere Grundfutterfläche je Milchkuh nur ca. 0,5 Hektar (eigene Berechnungen, Standardszenario 2010). Es werden aber etwa 0,8 - 0,9 Hektar¹⁴ landwirtschaftliche Nutzfläche je Stallplatz für die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers benötigt, um die zulässige Höchstmenge von 170 Kilogramm Stickstoff aus Wirtschaftsdünger /DüV 2006/ nicht zu überschreiten. Der Höchstwert für die Stickstoffausbringung aus Wirtschaftsdünger in der Düngeverordnung (DüV) wurde aus der geschätzten Nährstoffaufnahmekapazität des Pflanzenbestandes berechnet. Vor allem in Regionen mit hohen Viehbeständen und hohem

¹³ Bei 10 % Abfall entlang des gesamten Lebensweges (siehe Anhang, Kapitel 12.3), 3,2 % Eiweißgehalt der Milch und 16 % Stickstoffgehalt des Eiweiß.

¹⁴ Eigene Berechnungen auf Basis der Angaben der DüV zu Nährstoffausscheidungen von Rindern.

Futtermittelimport kommt es daher – auch in der Rinderhaltung – zu hohen Nährstoffausträgen und einer Überschreitung lokaler ökologischer Belastungsgrenzen.

Phosphatausträge

Phosphor wird im Boden stabil gebunden und kann daher auf Vorrat gedüngt werden. Phosphatausträge aus der Landwirtschaft erfolgen über Erosion (ca. 40 %), über Grundwasser- und Tiefenabfluss (40 %) sowie über Oberflächenabfluss und Drainagen (20 %) /UBA 2009/. Entscheidend für die Höhe der Phosphatausträge sind also nicht das kulturartspezifische, jährliche Phosphatsaldo, sondern das langjährige Phosphatbilanzsaldo bzw. die Phosphatgehaltsklasse des Bodens¹⁵ sowie die Erosion. Um Phosphatausträge zu vermeiden, sollte daher neben einer übermäßigen Düngung vor allem Erosion vermieden werden. Im Silomaisanbau ist durch die späte Saat, die geringe Bodenbedeckung im Frühsommer und die späte Ernte das Erosionsrisiko besonders hoch. Bei Maisanbau liegt der Boden bis zum Bestandsschluss des Mais sieben bis neun Monate ohne Schutz. Auch dies spricht für die Beibehaltung eines hohen Grünlandanteils in der Fütterung. Im Silomaisanbau kann das Erosionsrisiko gesenkt werden, indem besonders erosionsgefährdete Standorte vermieden werden. Die Erosionsgefährdung eines Schrages gemäß dem Cross-Compliance¹⁶-Erosionskataster ist im Flächenverzeichnis der Landwirte vermerkt. Des Weiteren kann das Erosionsrisiko im Ackerbau durch reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaatverfahren verringert werden.

Neben dem Erosionsrisiko kommt es vor allem bei hoher Phosphatzufuhr zu Austrägen von Phosphor mit dem Wasserabfluss. Rindergülle enthält neben hohen Stickstoffmengen auch große Mengen Phosphat und sollte daher vorzugsweise auf Flächen ausgebracht werden, die noch nicht mit Phosphat überlastet sind bzw. einen hohen Phosphatbedarf aufweisen.

Lokale Nährstoffbelastungsgrenzen

Anders als zum Beispiel Treibhausgase, die global in der Atmosphäre verfrachtet werden, wirken Nährstoffausträge in Gewässer lokal. Belastungsgrenzen für die jeweiligen Gewässer dürfen nicht überschritten werden, da eine Kompensation durch Einsparungen an anderem Ort nicht möglich ist (bzw. nur innerhalb des gleichen Wassereinzugsgebietes). Internationaler Emissionshandel, wie er für Treibhausgase praktiziert wird, ist zur Vermeidung von lokalen Umweltbelastungen ungeeignet. Hier ist nur die tatsächliche Reduktion der lokalen Einträge zielführend. Da die Tierhaltung sich oft in wenigen Regionen konzentriert, ist der Schutz der Gewässer in diesen Gebieten in besonderem Maße von guter fachlicher Praxis in der Landwirtschaft abhängig.

¹⁵ Phosphorgehaltsklassen: Einteilung des Bodens nach dem Phosphatgehalt in 5 Klassen von „A: sehr geringe Gehalte“ (je nach Bodenart < 3 bzw. < 5 mg P₂O₅ / 100 g Boden) bis „E: sehr hohe Gehalte“ (je nach Bodenart > 33 bzw. > 39 mg P₂O₅ / 100 g Boden).

¹⁶ „Cross-Compliance“ bezeichnet die Bindung der im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik in der EU gewährten Direktzahlungen an die Erfüllung von Auflagen aus den Bereichen Umweltschutz, Lebensmittelsicherheit und Tierschutz.

Um Nährstoffausträge aus der Milcherzeugung zu vermeiden, sollte der anfallende Wirtschaftsdünger möglichst bedarfsgerecht auf landwirtschaftliche Nutzflächen verteilt werden. Große Viehbestandsdichten sollten vermieden werden, um eine Überschreitung der Tragfähigkeitsgrenzen lokaler Ökosysteme zu vermeiden.

5.3.4 Wasserbedarf

Süßwasser ist eine knappe Ressource. Bei der Herstellung von Milch und Milcherzeugnissen werden große Mengen Süßwasser benötigt: Für Bewässerung im Futtermittelanbau, als Trinkwasser für die Milchkühe und als Reinigungswasser in der Tierhaltung und der Milchverarbeitung. Die Menge an benötigtem Süßwasser bildet jedoch für sich genommen noch keine ökologische Schädigung ab. Denn Süßwasser ist eine lokale Ressource. Nur in Regionen mit Wasserknappheit kommt es durch einen hohen Wasserverbrauch zu potenziellen ökologischen Schäden. Deutschland ist im internationalen Vergleich nur geringfügig von Wasserstress betroffen. Das bedeutet, dass bei der Erzeugung von Milchprodukten aus Deutschland und für den deutschen Markt nur bei der Bereitstellung von Importfuttermitteln bedeutende ökologische Schäden durch Süßwasserverbrauch auftreten. Importfuttermittel sollten idealerweise nur aus Produktionssystemen bezogen werden, bei denen entweder nicht bewässert werden muss oder die Bewässerung nur kurze Trockenzeiten überbrückt und die jährliche Grundwasserneubildung nicht übersteigt. Daten über den Einfluss der Produktion auf den lokalen Wasserhaushalt sind jedoch in der Regel nicht verfügbar. Hier besteht Forschungsbedarf.

Die Menge an benötigtem Süßwasser bildet für sich genommen noch keine ökologische Schädigung ab, sondern nur in Zusammenhang mit der regionalen Wasserverfügbarkeit. Milcherzeugung in Deutschland führt in der Regel nicht zu einer Verknappung der regionalen Süßwasserverfügbarkeit, da ausreichend Niederschläge fallen. Durch die Bereitstellung von Importfuttermitteln kann es jedoch in den Produktionsländern zu einer Wasser-Verknappung kommen, wenn die Importfuttermittel aus bewässertem Anbau stammen und die Wasserentnahme zur Bewässerung die jährliche Grundwasserneubildung übersteigt.

5.3.5 Tiergerechtigkeit

Ökobilanz und Tiergerechtigkeit

Tiergerechtigkeit wird in einigen Publikationen als eine spezifische Wirkungskategorie landwirtschaftlicher Ökobilanzen geführt /Geier et al. 1999/. Ökobilanzen haben das Ziel, die Auswirkungen der Herstellung von Produkten auf die Umwelt möglichst umfassend abzubilden. „Umwelt“ wird gemeinhin aufgefasst als die Menschen umgebende Natur. Hierzu können auch die Nutztiere gezählt werden. Der Schutz der Nutztiere wird im Tierschutzgesetz (TierSchG) spezifiziert. Nach /Sundrum 1998/ sind Haltungsbedingungen dann tiergerecht, wenn sie *„den spezifischen Eigenschaften der in ihnen lebenden Tiere Rechnung tragen, indem die körperlichen Funktionen nicht beeinträchtigt, die Anpassungsfähigkeit der Tiere nicht überfordert und essenzielle Verhaltensmuster der Tiere nicht so eingeschränkt und verändert werden, dass dadurch Schmerzen, Leiden oder Schäden am Tier entstehen“*. Die-

se Definition umfasst auch die Leitprinzipien des deutschen Tierschutzgesetzes. Die Produktion von Milch und Milcherzeugnissen beruht unumgänglich auf der Haltung von Milchkühen. Im Vergleich verschiedener Produktlebenswege ist daher auch die Frage zu stellen, inwieweit es zu Wechselwirkungen mit der Tiergerechtheit kommt, wenn Produktionsverfahren angepasst werden, um Umweltwirkungen zu reduzieren. So könnten sich zum Beispiel Maßnahmen zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz potenziell negativ auf die Tiergerechtheit auswirken.

Von den in Kapitel 5.2 genannten Optimierungsmöglichkeiten betrifft dies vor allem die Steigerung der Milchleistung und die mit höheren Anforderungen an die Fütterung verbundene Verlagerung der Produktion von der Weide in den Stall. Diese beiden Aspekte werden im Folgenden kurz betrachtet.

Milchleistungssteigerung

In Kapitel 5.2 wurde dargestellt, dass sich eine höhere Milchleistung positiv auf die Ökobilanz auswirkt, sofern es dadurch nicht zu einer Umstellung der Futterzusammensetzung und insbesondere nicht zu Landnutzungsänderungen kommt.

Es wird jedoch kritisch diskutiert, ob eine gesteigerte Milchleistung sich nicht negativ auf die Tiergerechtheit auswirkt, insofern sie das Erkrankungsrisiko steigert. Verschiedentlich wurde ein positiver Zusammenhang zwischen Milchleistung und dem Risiko von Erkrankungen aufgezeigt /Fleischer et al. 2001/. Neuere Publikationen kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass hochleistende Kühe nicht notwendig höhere Erkrankungsraten aufweisen /Fölsche 2012/. Dabei wird auch ein umgekehrter Zusammenhang zwischen Milchleistung und Tiergesundheit thematisiert: hohe Erkrankungsraten aufgrund von Managementschwächen senken die Milchleistung. Hohe Milchleistungen werden nur bei optimalem Management und optimaler Genetik erreicht. Zentral ist dabei die Selektion von Tieren, die eine hohe Anpassungsfähigkeit auf das Energiedefizit in den ersten Wochen nach der Geburt aufweisen. Diese Anpassungsfähigkeit kann durch sorgfältig angepasste Fütterung unterstützt werden. Kritisch ist dabei anzumerken, dass es durch die intensive Zucht zu einem Verlust der genetischen Vielfalt der Rinder kommt (vgl. dazu Kapitel 5.3.2).

Verlagerung der Fütterung von der Weide in den Stall

Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, hat sich die Milchproduktion in Deutschland in den letzten 20 Jahren zunehmend vom Grünland und dem Weidegang zu einer maissilagebasierten Stallfütterung verlagert. Der Anteil der Milchkühe, die eine grassilagebasierte Fütterung erhalten, sank in diesem Zeitraum um fast 40 %, der Anteil des Weidegangs sogar um 44 % (siehe Tab. 10 auf S. 20, Haenel et al. 2012). Hauptursache hierfür waren gestiegene Anforderungen an die Energiedichte des Futters aufgrund steigender Milchleistungen. Maissilage weist höhere Energiegehalte auf als Grassilage. Eine hohe Kraffutteraufnahme sowie eine konstante Futterqualität sind zudem bei Weidegang schwer zu erreichen. Die hofnahen Weideflächen reichen bei wachsenden Herdengrößen für den Weidegang häufig nicht mehr aus. Die mittlere Herdengröße in Deutschland hat sich in den letzten beiden Dekaden in etwa verdoppelt (von 24 Milchkühen im Jahr 1993 auf 50 Milchkühe im Jahr 2012, /Destatis 2014/). Der Anteil der Milchkühe, die in Herden von mehr als 50 Kühen stehen, hat sich im gleichen Zeitraum fast verdreifacht (von 26 % in 1992 auf 70 % in 2011, /Wohlfarth 2012/, S. 23).



Der Weidegang entspricht der natürlichen Nahrungsaufnahme von Rindern und ermöglicht naturgemäßes Bewegungs- und Sozialverhalten. Daher gilt der Weidegang als wichtiges Element tiergerechter Rinderhaltung und wird in Tiergerechtheitsindizes deutlich positiv bewertet (zum Beispiel Tiergerechtheitsindex nach /Sundrum et al. 1994/ oder der Tiergerechtheitsindex TGI 35 L 1996/Rinder /Bartussek 1996/). Voraussetzung für tiergerechten Weidegang ist selbstredend ein angemessenes Gesundheitsmanagement, um die Infektion mit Weideparasiten – die insbesondere bei Überweidung verstärkt auftreten – und Mangelernährungen – die durch nicht leistungsgerechte Fütterung und Mikronährstoffmangel auftreten können – zu vermeiden. Die Notwendigkeit einer guten fachlichen Praxis ist jedoch kein Spezifikum der Weidewirtschaft. Der stark abnehmende Zugang von Milchkühen zu Weiden ist aus Sicht der Tiergerechtheit insofern insgesamt kritisch zu bewerten und eine Stabilisierung oder Trendumkehr ist wünschenswert. Dazu gibt es bereits Ansätze. So gibt es z. B. in Nordrhein-Westfalen seit 2010 ein Programm zur Förderung der Weidehaltung von Milchvieh /MKULNV NRW 2010/.

Hohe Herdenleistungen verlangen ein besonders sorgfältiges Management, um negative Auswirkungen auf die Tiergerechtheit zu vermeiden, sind aber nicht notwendig weniger tiergerecht. Die Verlagerung der Milchviehhaltung von der Weide in den Stall ist aus Sicht der Tiergerechtheit jedoch kritisch zu bewerten. Eine Trendumkehr ist aus Sicht der Tiergerechtheit anzustreben.

6 Umweltwirkungen der Anlieferung

6.1 Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen

Regionalität von Lebensmitteln – also geringe Transportentfernung – wird häufig als ein Kriterium von Umweltgerechtigkeit angesehen. Weite Transportentfernungen bedingen in der Tat höhere Umweltlasten in praktisch allen Umweltwirkungskategorien, insbesondere auch in den Kategorien Treibhausgasbilanz und Primärenergiebedarf. Bezogen auf die Gesamtumweltlast von Milchprodukten spielt die Anlieferentfernung jedoch eine untergeordnete Rolle. Die Milch wird überwiegend noch von Betrieben in einem Umkreis von 100 km um den Molkereistandort angeliefert. Etwa 20 % der Milch werden von anderen Betrieben bzw. Milchsammelstellen zugekauft. Unter diesen Bedingungen ist die Anlieferung der Milch typischerweise ursächlich für weniger als 2 % der Treibhausgasemissionen und etwa 4 % des Primärenergieaufwandes der Bereitstellung von z. B. einem Liter ESL-Milch (Abb. 15). Bei lokaler Verarbeitung (200 Kilometer Fahrstrecke je Milchsammeltour¹⁷, kein Zukauf von anderen Verarbeitern, siehe Tab. 14) sinkt die Treibhausgasbilanz gegenüber dem Standard nur um etwa 1 Prozentpunkt (Primärenergiebilanz: 2 Prozentpunkte), bei sehr weiten Transportentfernungen (Szenario „Worst Case“, Tab. 14) steigt die Bilanz um etwa 5 Prozentpunkte (Primärenergiebilanz: 12 Prozentpunkte). Für Joghurt ist die Relevanz der Anlieferung aufgrund der höheren Aufwendungen für die Verarbeitung, Verpackung und Distribution noch etwas geringer (Anteil Treibhausgasbilanz: 0,4 - 3,8 %; Energiebilanz: 0,6 - 5,6 %). Bei Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnissen ist der Anteil der Anlieferung an der Gesamtbilanz ähnlich hoch wie bei Trinkmilch. Einerseits muss mehr Milch transportiert werden, um ein Kilogramm Käse oder Trockenmilcherzeugnis zu produzieren. Andererseits ist der Verarbeitungsaufwand höher, sodass die Energieaufwendungen für den Transport relativ gesehen einen geringeren Anteil ausmachen.

Insgesamt sind die relativen Effekte einer lokalen Verarbeitung auf die Umweltbilanz damit gering. Nichtsdestotrotz ist jede Verbesserung der Umweltbilanz aus Umweltsicht empfehlenswert, unabhängig von den produktbezogenen Umweltlasten in anderen Bereichen der Prozesskette. Die Einsparungen bei den Transportentfernungen sollten aus Umweltsicht allerdings nicht auf Kosten deutlich höherer Aufwendungen in der Verarbeitung gehen.

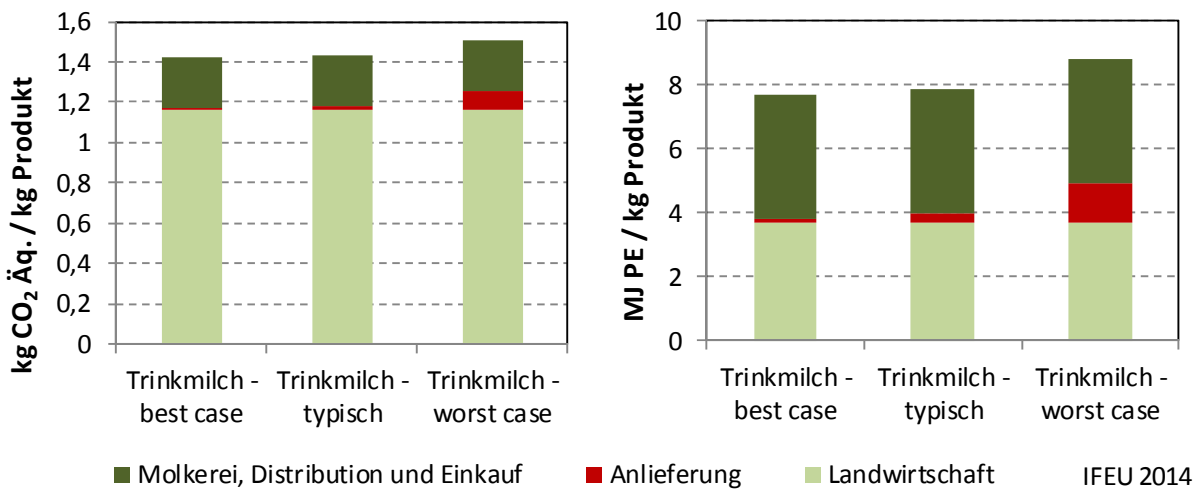
Die Treibhausgasbilanz von 100 Kilometern zusätzlicher Transportentfernung mit einem ausgelasteten LKW (40-Tonner) entspricht in etwa der von 40 Kilowattstunden zusätzlichem Erdgasbedarf oder 15 Kilowattstunden zusätzlichem Netzstrombedarf in der Produktion.

Auf die Umweltwirkungskategorien Eutrophierungspotenzial und Versauerungspotenzial wirken sich veränderte Transportentfernungen nur marginal aus.

¹⁷ Angegeben ist hier die Gesamtfahrstrecke, nicht die Entfernung zwischen Molkerei und Landwirtschaftlichem Betrieb. Wenn Milch nur von einem Landwirt abgeholt würde, entsprächen 200 km Fahrstrecke einer Entfernung von 100 km zwischen Verarbeiter und Erzeuger.

Tab. 14: Kenndaten der Anlieferungsszenarien. Typisches Szenario: Erhebungsdaten.

	Einheit	Best Case (lokal)	Typisch	Worst Case (überreg.)
Anlieferung von landwirtschaftlichen Betrieben:				
Fahrstrecke Milchsammeltour	km	200	300	1000
Zukauf von Molkereibetrieben				
Anteil der verarbeiteten Milchmenge	%	0	20	100
Lieferentfernung	km	0	300	300

**Abb. 15:** Auswirkungen von Anlieferungsszenarien auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

6.2 Optimierungspotenziale

Die Umweltlasten der Anlieferung lassen sich auf folgende Weise reduzieren:

- Reduzierung der Fahrstrecken durch lokale Verarbeitungsstrukturen.
- Reduzierung der Fahrstrecken und der Fahrzeugauslastung durch möglichst effiziente Planung und Logistik.
- Reduzierung des Treibstoffbedarfs durch Einsatz von Tanklastern mit geringem Treibstoffbedarf.

Der Lebenswegabschnitt „Anlieferung“ hat entgegen häufig anzutreffender Konsumentenerwartungen nur einen geringen Anteil an der Gesamt-Ökobilanz von Milcherzeugnissen. Dennoch ist es aus Umweltsicht sinnvoll, durch kurze Transportwege, Fahrzeuge mit geringem Treibstoffbedarf und effiziente Logistikplanung die Umweltlasten aus diesem Lebenswegabschnitt zu reduzieren.

7 Umweltwirkungen der Milchverarbeitung

7.1 Status quo und Relevanz

Dem Lebenswegabschnitt „Molkerei“ werden alle Aufwendungen zugerechnet, die für die Verarbeitung und Verpackung der Milchprodukte anfallen. Dazu zählt die Bereitstellung von Strom, Brennstoffen und gegebenenfalls Fernwärme, Verpackungsmaterialien, Reinigungsmitteln sowie allen Zutaten außer der Milch (also: Fruchtmischungen, Zucker, Enzyme und Kulturzusätze, Salz sowie Trockenmilchprodukte als Zusatz zu Joghurt). Der Lebenswegabschnitt „Molkerei“ ist vor allem für die beiden Umweltwirkungskategorien „Treibhauseffekt“ und „Energiebedarf“ relevant (Abb. 16). Der Anteil dieses Lebenswegabschnittes für die beiden Wirkungskategorien „Eutrophierung“ und „Versauerung“ liegt in der Regel unter 5%. Eine Ausnahme bildet das Produkt Joghurt: hier hat die Milchverarbeitung wegen der aufwendigen Verpackung und dem Milch- bzw. Molkenpulverzusatz eine höhere Relevanz und schlägt mit bis zu 20 % an der Gesamtbilanz zu Buche.

In der Kategorie „Primärenergieaufwand“ entfallen dagegen bis zu 50 % der Aufwendungen auf den Lebenswegabschnitt „Molkerei“.

Je stärker der Verarbeitungsgrad des Milchproduktes, desto höher sind die Umweltlasten.

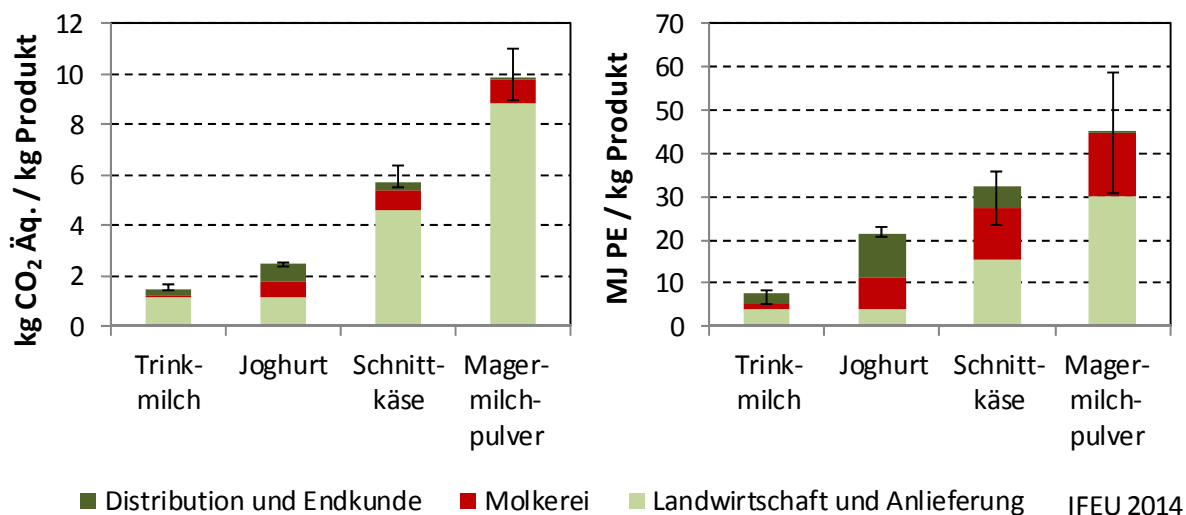


Abb. 16: Anteil der Molkerei an der Treibhausgasbilanz und dem Primärenergiebedarf der Bereitstellung von jeweils einem Kilogramm ausgewählter Milchprodukte. Verpackungsmaterialien sowie andere Inhaltsstoffe außer der Milch sind der Molkerei zugerechnet. Dünne Linie: Bandbreite der Treibhausgasemissionen bzw. des Primärenergiebedarfs des Lebenswegabschnittes Molkerei.

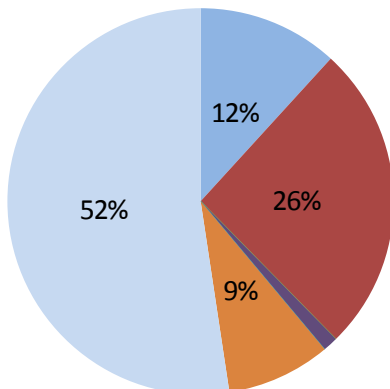
7.2 Wichtigste Einflussgrößen

Im Folgenden werden die wichtigsten Einflussgrößen auf die Umweltbilanz der Milchverarbeitung in Molkereien diskutiert. Dabei werden die vier untersuchten Produktlinien jeweils gesondert betrachtet.

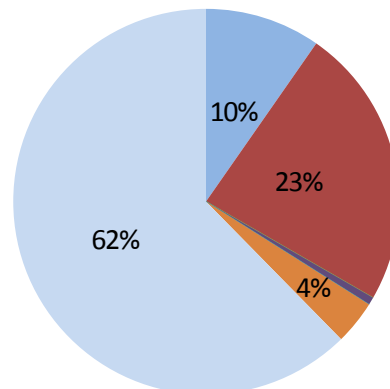
7.2.1 Trinkmilch

Die Umweltlast der Milchverarbeitung zu Trinkmilch wird in allen Wirkungskategorien von den Verpackungsaufwendungen dominiert (Abb. 17). Zweitwichtigste Stellgröße ist der Wärmebedarf, gefolgt vom Strombedarf. Emissionen aus der Kläranlage stellen so gut wie keine Belastung dar. Die Reinigung schlägt mit maximal 10 % zu Buche. Die Darstellung der Optimierungsmöglichkeiten in Kapitel 7.3 geht entsprechend im Schwerpunkt auf die Bereiche Energiebereitstellung und Energieeffizienz sowie Verpackung ein.

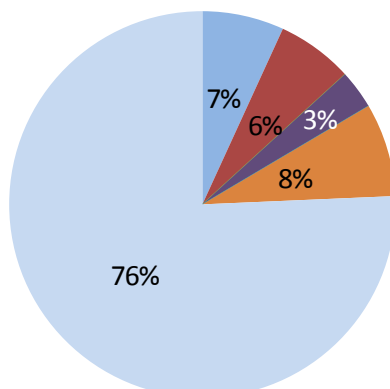
Treibhauseffekt - Trinkmilch



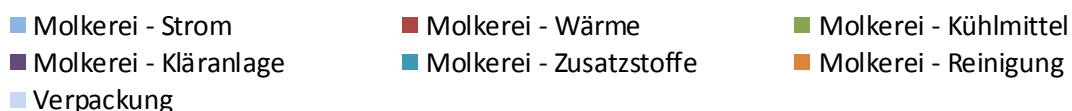
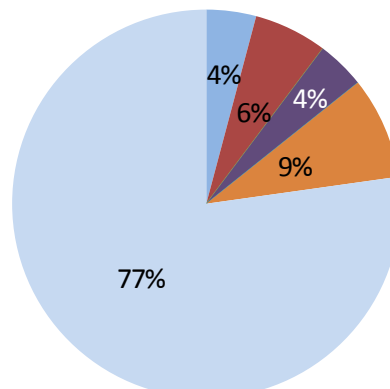
Energiebedarf - Trinkmilch



Versauerung - Trinkmilch



Eutrophierung - Trinkmilch



IFEU 2014

Abb. 17: Anteile einzelner Teilbereiche in Prozent an der Umweltbilanz des Lebenswegabschnittes „Molkerei“ für Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

Produktvarianten

Trinkmilch wird üblicherweise in vier Varianten angeboten: Als fettarme Milch (Fettgehalt: 1,5 %) oder als Vollmilch (Fettgehalt: 3,5 %) sowie als Frischmilch (hier: ESL-Milch) oder H-Milch (UHT-Milch). Fettarme Milch weist in allen Umweltwirkungen eine bessere Bilanz auf als Vollmilch (Abb. 18). Dies liegt daran, dass ein Teil der Aufwendungen für die Milcherzeugung dem separierten Fett zugeordnet (alloziert) wird, das zu einem anderen Milchprodukt weiterverarbeitet wird (zum Beispiel Butter, Sahne). Bei der Interpretation dieses Ergebnisses ist zu beachten, dass Vollmilch und fettarme Milch sich im ernährungsphysiologischen Wert unterscheiden. Fettarme Milch hat einen geringeren Nährwert. UHT und ESL-Milch unterscheiden sich in den Umweltwirkungskategorien Treibhausgasbilanz, Eutrophierung und Versauerung praktisch nicht. Einzig in der Kategorie Energiebedarf gibt es einen Unterschied: hier schneidet UHT-Milch etwas besser ab. Der Energiebedarf für die Verarbeitung ist für beide Milcharten in etwa gleich. Dieses Ergebnis bezieht sich auf eine indirekte Erhitzung im UHT-Prozess. Dies ist gemäß der Erhebung das heute in Deutschland übliche Verfahren. Bei einer direkten Erhitzung wird für die Pasteurisierung der UHT-Milch deutlich mehr Energie benötigt als für die ESL-Milch-Produktion. In der Gesamtbilanz schneidet die UHT-Milch aber selbst bei indirekter Erhitzung immer noch geringfügig besser ab. Das liegt an dem deutlich geringeren Energiebedarf für die Lagerung während der Distribution, da UHT-Milch nicht gekühlt gelagert werden muss. Die Einsparungen von Umweltlasten bei der Distribution überkompensieren auch die leicht höheren Aufwendungen für die UHT-Verpackung. Bei besonders energiesparender Distribution (kurze Lagerzeiten, kurze Transportwege) gilt dies jedoch nicht mehr: in diesem Fall ist ESL-Milch die günstigere Variante (nicht grafisch dargestellt). Unterschiede in den Abfallquoten zwischen ESL- und UHT-Milch wurden mangels verlässlicher Daten nicht berücksichtigt. Es ist jedoch zu vermuten, dass die Abfallquote bei ESL-Milch wegen kürzerer Haltbarkeit höher ist. Unterschiede im ernährungsphysiologischen Wert (Vitamingehalt und Ähnliches) können an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden.

Verschiedene Verpackungsvarianten für die jeweiligen Milcharten wurden im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. ESL- und UHT-Milch wird in Deutschland heute fast zu 100 % in Verbundverpackungen angeboten. Die Unterschiede in der Umweltbilanz der Verbundverpackungen sind im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren geringfügig. Einsparmöglichkeiten bestehen in der Einsparung von Sekundär- und Tertiärverpackungsmaterial (siehe dazu auch Kapitel 7.3.4).

Die wichtigsten Einflussgrößen auf die Umweltbilanz der Trinkmilchproduktion in Molkereibetrieben sind die Verpackung sowie der Strom- und Wärmebedarf. Da für die Verpackung wenig marktgängige Alternativen bestehen, ist der Strom- und Wärmebedarf der wichtigste Ansatzpunkt für eine ökologische Optimierung. Fettarme Milch weist eine bessere Umweltbilanz auf als Vollmilch, da ein Teil der Aufwendungen für die Milcherzeugung dem separierten Milchfett zugeordnet wird. UHT Milch weist angesichts der heute in Deutschland üblichen Vermarktungsstrukturen eine bessere Umweltbilanz auf, da UHT Milch bei der Distribution nicht gekühlt werden muss. Dies würde jedoch nicht bei einer lokalen Vermarktung mit kurzen Lagerzeiten gelten.

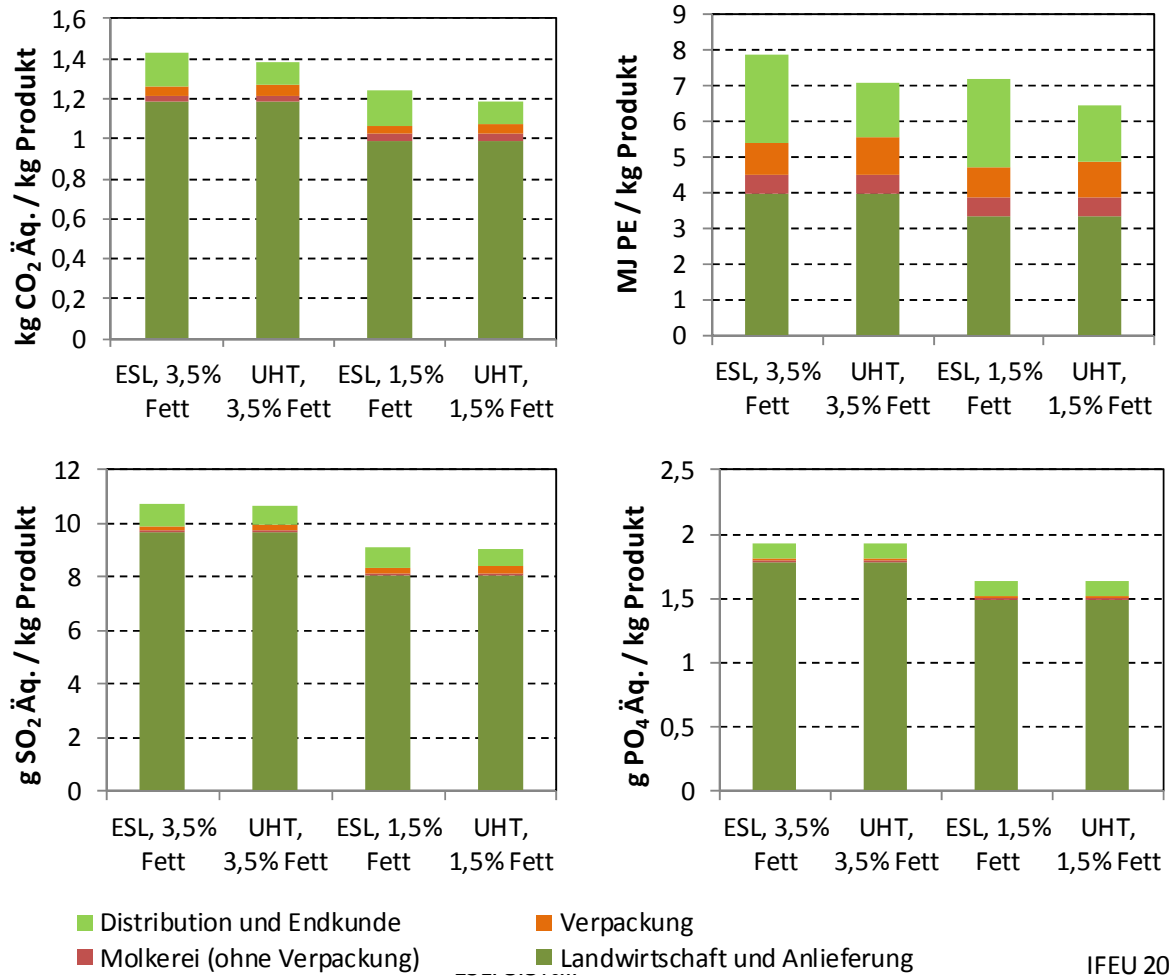
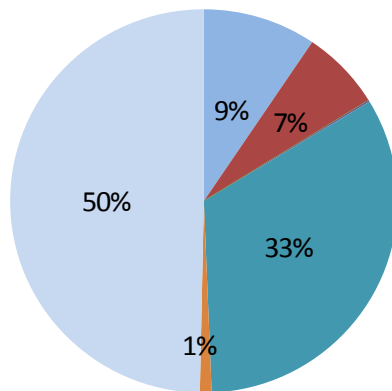


Abb. 18: Vergleich der untersuchten Trinkmilch-Varianten: ESL-Milch und UHT-Milch sowie fettarme Milch und Vollmilch.

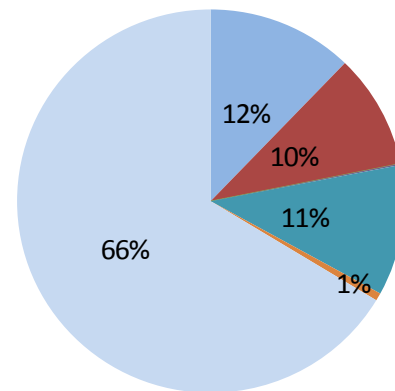
7.2.2 Joghurt

Hinsichtlich Treibhauseffekt und Primärenergiebedarf fällt die Verpackung bei Joghurt ähnlich stark ins Gewicht wie für Trinkmilch (Abb. 19). Dazu kommen hohe Aufwendungen für die Zusatzstoffe (Trockenpulverzusatz, Milchsäurekultur), die in den Wirkungskategorien Versauerung und Eutrophierung den Einfluss der Verpackung übersteigen. Der relative Anteil der Energieaufwendungen (Strom- und Wärme) an der Gesamtbilanz sinkt dadurch, auch wenn der absolute Energiebedarf je Produkteinheit höher ist als bei Trinkmilch. Die Zusatzstoffe treten als ein weiterer wesentlicher Parameter hinzu. Bei Naturjoghurt ist dies vor allem der Zusatz von Magermilch- bzw. Molkenpulver, der hier zu Buche schlägt. In der Rezeptur gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den Herstellern. Aufgrund der hohen Relevanz für den Geschmack des Produktes eignet sich die Stellgröße „Rezeptur“ wenig für eine ökologische Optimierung. Wichtige Bereiche für die ökologische Optimierung sind daher auch bei Joghurt die Energiebereitstellung und die Energieeffizienz (siehe Kapitel 7.3).

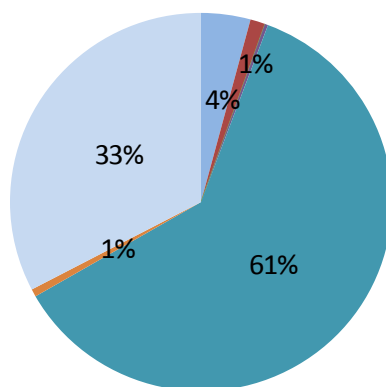
Treibhauseffekt - Naturjoghurt



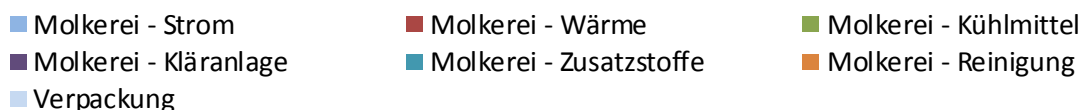
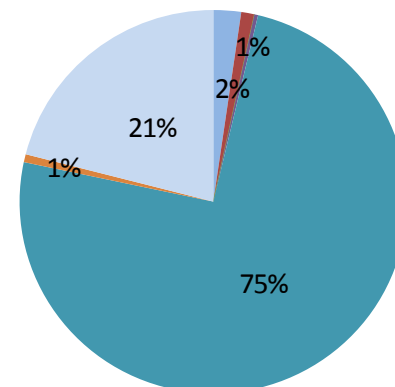
Energiebedarf - Naturjoghurt



Versauerung - Naturjoghurt



Eutrophierung - Naturjoghurt



IFEU 2014

Abb. 19: Anteile einzelner Teilbereiche in Prozent an der Umweltbilanz des Lebenswegabschnittes „Molkerei“ für Naturjoghurt (150 g bedruckter Becher, 3,5 % Fett).

Produktvarianten

Für Joghurt wurden ebenso wie für Trinkmilch zwei Fettstufen untersucht. Außerdem wird Joghurt häufig nicht als Naturjoghurt, sondern mit Fruchtzusätzen oder anderen Geschmacksträgern angeboten. Im Folgenden werden Vollfett- und fettarmer Naturjoghurt sowie ein Fruchtjoghurt verglichen (Abb. 20). Im Bereitstellungsaufwand für die Fruchtzusätze kann es erhebliche Unterschiede geben, die im Rahmen dieser Studie nicht vertieft betrachtet werden konnten. Durch den Zusatz von Fruchtmischungen enthält Fruchtjoghurt weniger Milchanteil. In der Regel wird die Umweltbilanz der Fruchtzusätze in den hier untersuchten Umweltwirkungskategorien jedoch nicht die Umweltlast des dadurch eingesparten Milchanteils übertreffen, so dass Fruchtjoghurt eine geringfügig bessere Umweltbilanz aufweist.

Fettarmer Joghurt weist eine bessere Umweltbilanz auf als Naturjoghurt, weil ein Teil der Aufwendungen für die Milcherzeugung auf das separierte Milchfett alloziert wird. Wird jedoch in fettarmem Joghurt mehr Milch- oder Molkenpulver zur Trockenmasseerhöhung zugesetzt, kann dies den durch die Fettabscheidung erzielten Vorteil aufwiegen (nicht grafisch dargestellt).

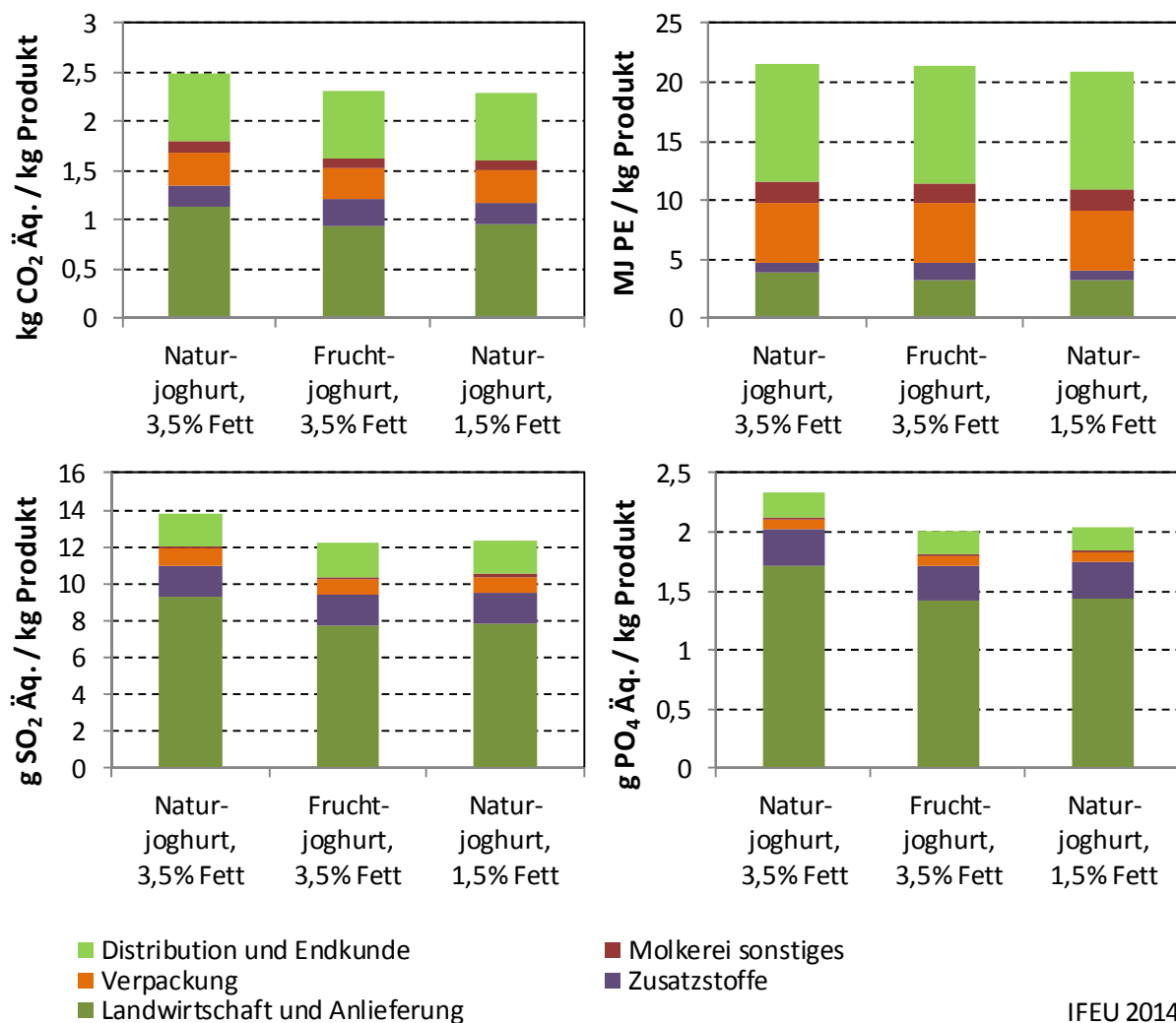
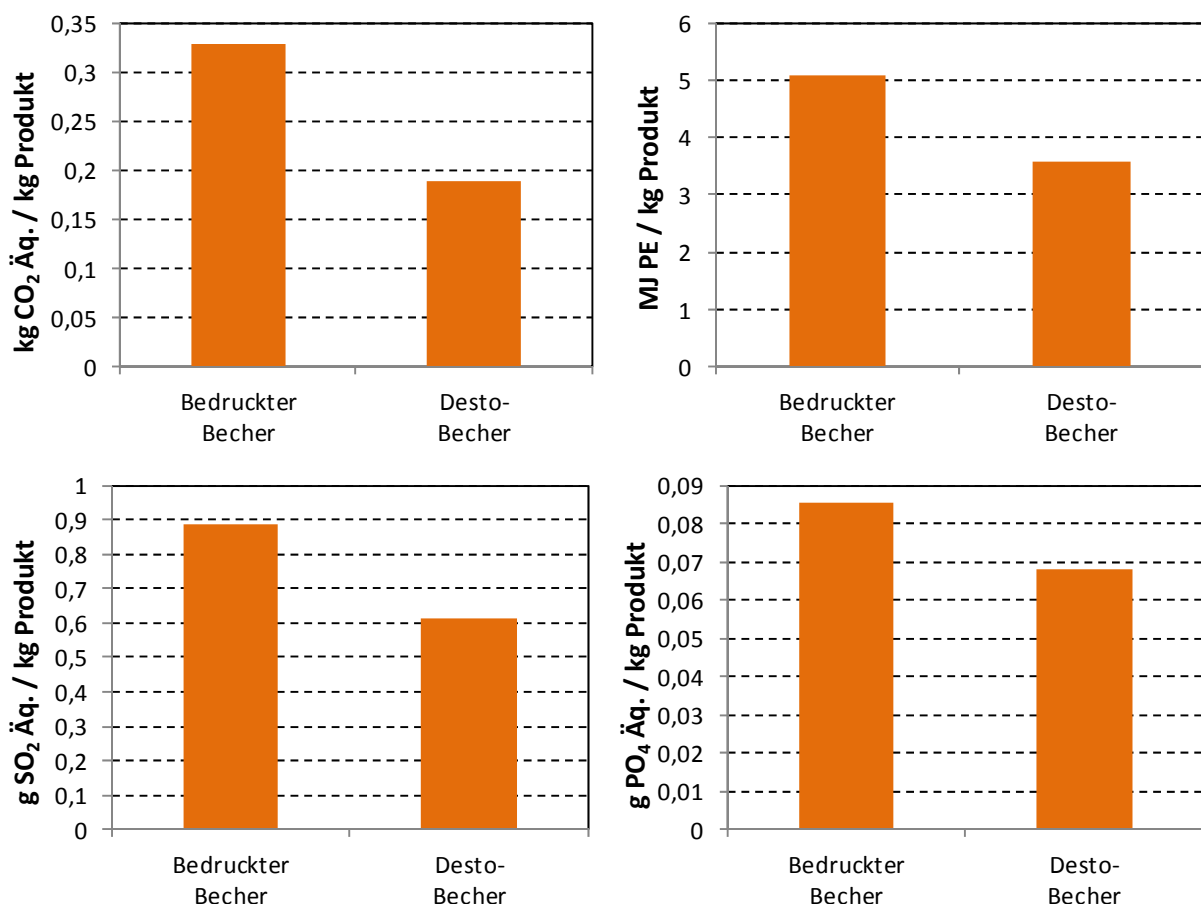


Abb. 20: Vergleich der untersuchten Joghurt-Varianten: Naturjoghurt 3,5 % Fett, Fruchtjoghurt mit 3,5 % Fett im Milchanteil und fettarmer Naturjoghurt (1,5 % Fett).

Verpackungsvarianten

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Verpackungsvarianten von Joghurt auf ihre Umweltbilanz hin untersucht (Abb. 21): Destobecher (Kunststoffbecher mit Pappbanderole) und bedruckte Kunststoffbecher. Es zeigt sich: Ein Destobecher hat in den betrachteten Umweltwirkungskategorien eine bessere Ökobilanz. Bedruckte Becher haben jedoch ökologische Vorteile in den Umweltwirkungskategorien Süßwasserverknappung, aquatische Eutrophierung und Flächenbedarf, weil Pappe in diesen Kategorien eine schlechtere Bilanz aufweist als Kunststoff (nicht dargestellt, IFEU 2014). Bei der Verwendung der an sich empfehlenswerten Destobecher ist also auf eine umweltfreundliche Produktion der Pappe zu achten (wasserreiche Gebiete, Abwasserklärung, IFEU 2014).

In diesem Projekt nicht quantitativ untersucht wurde der Effekt verschiedener Verpackungsgrößen. Es ist jedoch offensichtlich, dass bei größeren Verpackungseinheiten (zum Beispiel 200-Gramm- oder 500-Gramm-Becher) weniger Material je Verpackungseinheit benötigt wird. Größere Verpackungseinheiten sind daher aus Umweltsicht günstiger, sofern sie nicht mit größeren Abfallmengen verbunden sind, weil die Verbraucher nicht den gesamten Verpackungsinhalt verzehren.



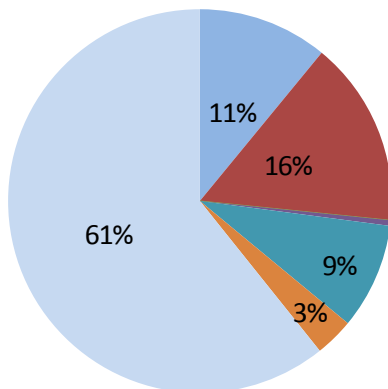
IFEU 2014

Abb. 21: Vergleich der Umweltlasten durch die untersuchten Joghurt-Verpackungsvarianten für Naturjoghurt (3,5 % Fett): bedruckter Kunststoffbecher und Destobecher (Kunststoffbecher mit Pappbanderole).

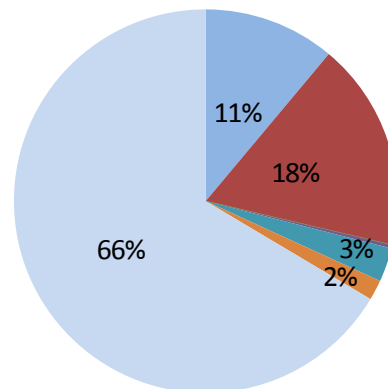
7.2.3 Schnittkäse

Bei Käse spielt – ähnlich wie bei Joghurtbechern – die Verpackung eine große Rolle für die Umweltbilanz (Abb. 22). Dies liegt daran, dass in beiden Fällen relativ viel Verpackungsmaterial für wenig Inhalt (hier: 200 Gramm Produkt) benötigt wird. Ebenso wie bei Joghurt spielen auch bei Käse die Zusatzstoffe eine nicht zu unterschätzende Rolle. Im Fall von Käse werden Lab (hier: aus mikrobieller Produktion), Käsekulturen und Salz zugesetzt. In der Rezeptur gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den Herstellern. Aufgrund der hohen Relevanz für den Geschmack des Produktes eignet sich die Stellgröße „Rezeptur“ wenig für eine ökologische Optimierung. Wichtige Bereiche hierfür sind daher auch bei Schnittkäse die Energiebereitstellung, die Energieeffizienz sowie die Vermeidung von Verpackungsmaterial (siehe Kapitel 7.3).

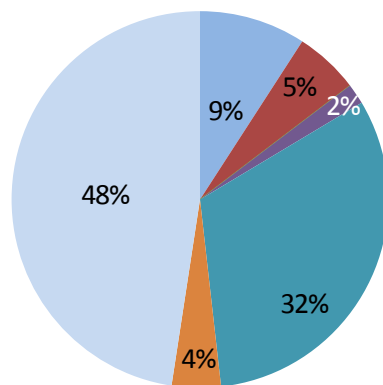
Treibhauseffekt - Schnittkäse



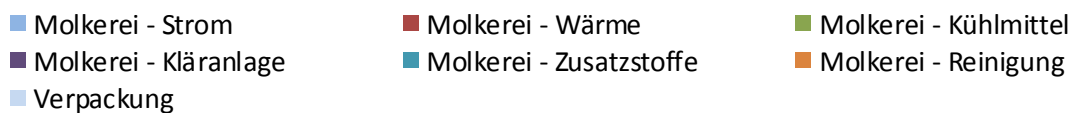
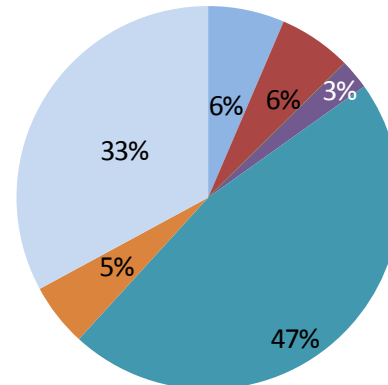
Energiebedarf - Schnittkäse



Versauerung - Schnittkäse



Eutrophierung - Schnittkäse



IFEU 2014

Abb. 22: Anteile einzelner Teilbereiche in Prozent an der Umweltbilanz des Lebenswegabschnittes „Molkerei“ für Schnittkäse (48 % Fett i. d. Tr., 200 g in Scheiben, Tiefziehverpackung Polyethylen).

Produktvarianten

Für Schnittkäse wurden zwei Produktvarianten betrachtet: eine Produktion für den Endverbraucher (hier: 200 Gramm in Scheiben, Tiefziehverpackung, Polyethylen) und die Produktion für Industriekunden und Großverbraucher (15 Kilogramm Euroblock, in Polyamid / Polyethylen Verbundfolie eingeschweißt) (Abb. 23). Bei der Produktion für Industriekunden fallen deutlich weniger Verpackungs- und Distributionsaufwendungen an. Zudem sind die Aufwendungen für den Lebenswegabschnitt „Landwirtschaft“ im Szenario „Schnittkäse für Industriekunden“ geringer. Dies liegt daran, dass in der Wertschöpfungskette „Produktion für den Endverbraucher“ höhere Verluste auftreten.

Der Vergleich der beiden Produktvarianten ist jedoch unvollständig, da die Weiterverarbeitung in der Lebensmittelindustrie und die Distribution der Fertigprodukte nicht betrachtet wurden. Empfehlungen können aus diesem Vergleich daher nicht abgeleitet werden.

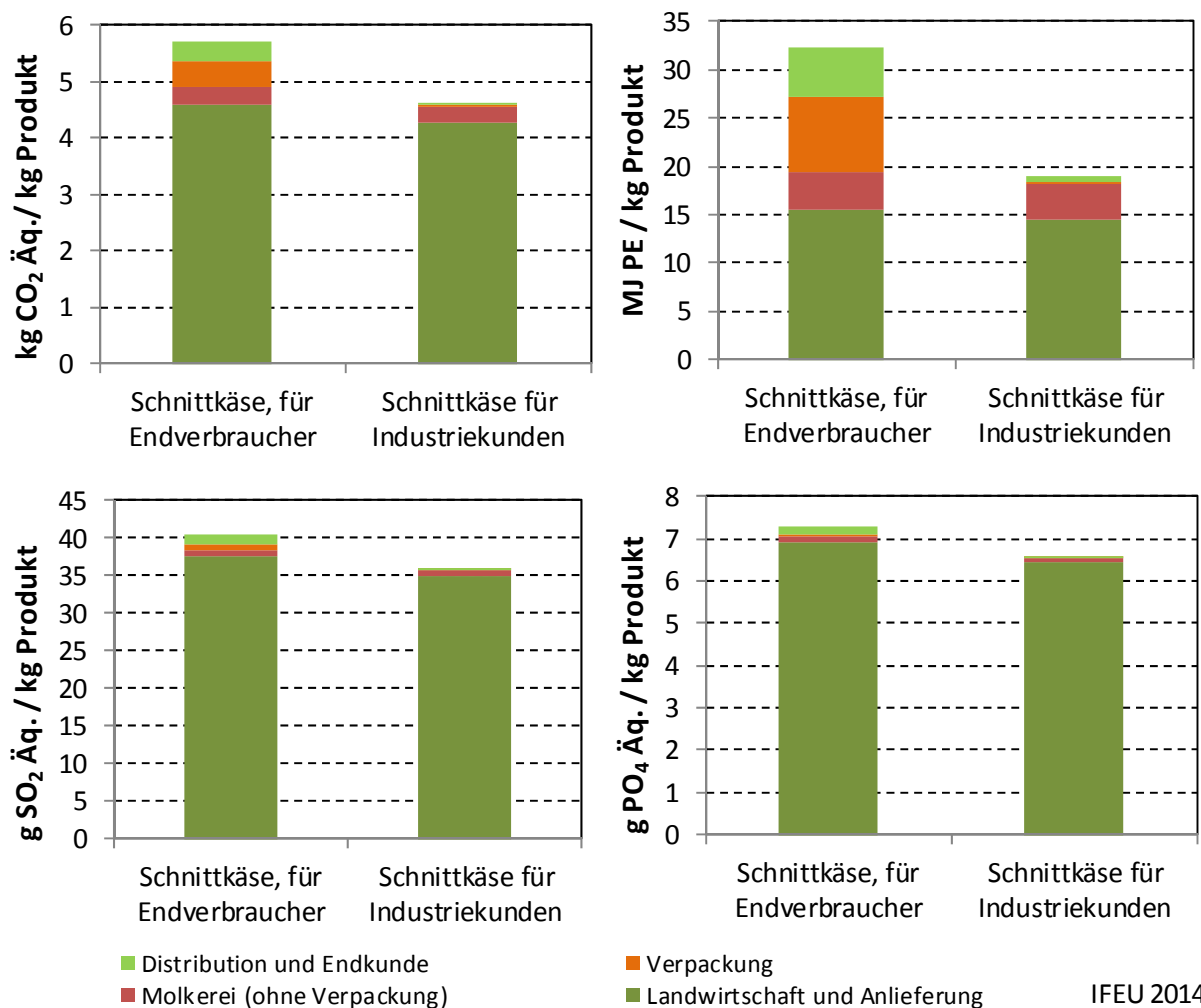
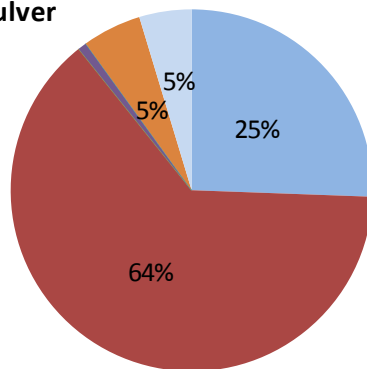


Abb. 23: Vergleich der untersuchten Schnittkäsevarianten: Produktion für Endverbraucher (200-Gramm-Scheiben, Tiefziehverpackung) und Produktion für Industriekunden (15 Kilogramm Euroblock, in Folie eingeschweißt).

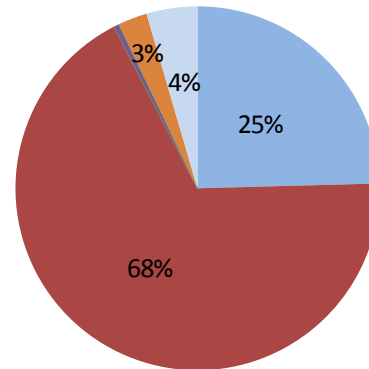
7.2.4 Trockenmilcherzeugnisse

Bei der Herstellung von Trockenmilcherzeugnissen dominieren die Energieaufwendungen – insbesondere der Wärmebedarf – die Umweltbilanz (Abb. 24). Über 90 % der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs sowie über 70 % der versauernden und eutrophierenden Emissionen sind auf die Energieaufwendungen zurückzuführen. Da bei der Erzeugung von Milchtrockenprodukten große Mengen Wasser verdampft werden müssen, handelt es sich um einen sehr energieintensiven Prozess. Energieeinsparungen sind daher der wichtigste Ansatzpunkt für eine ökologische Optimierung.

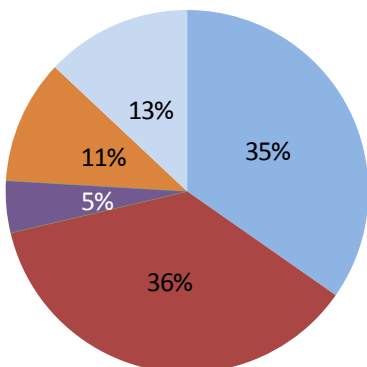
Treibhauseffekt - Magermilchpulver



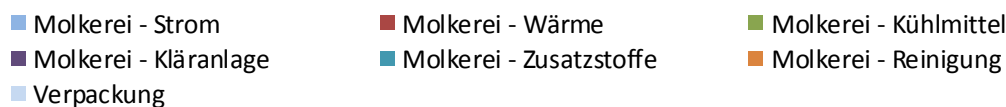
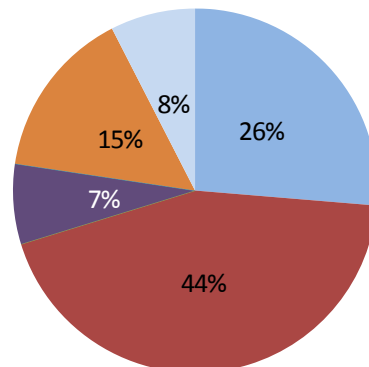
Energiebedarf - Magermilchpulver



Versauerung - Magermilchpulver



Eutrophierung - Magermilchpulver



IFEU 2014

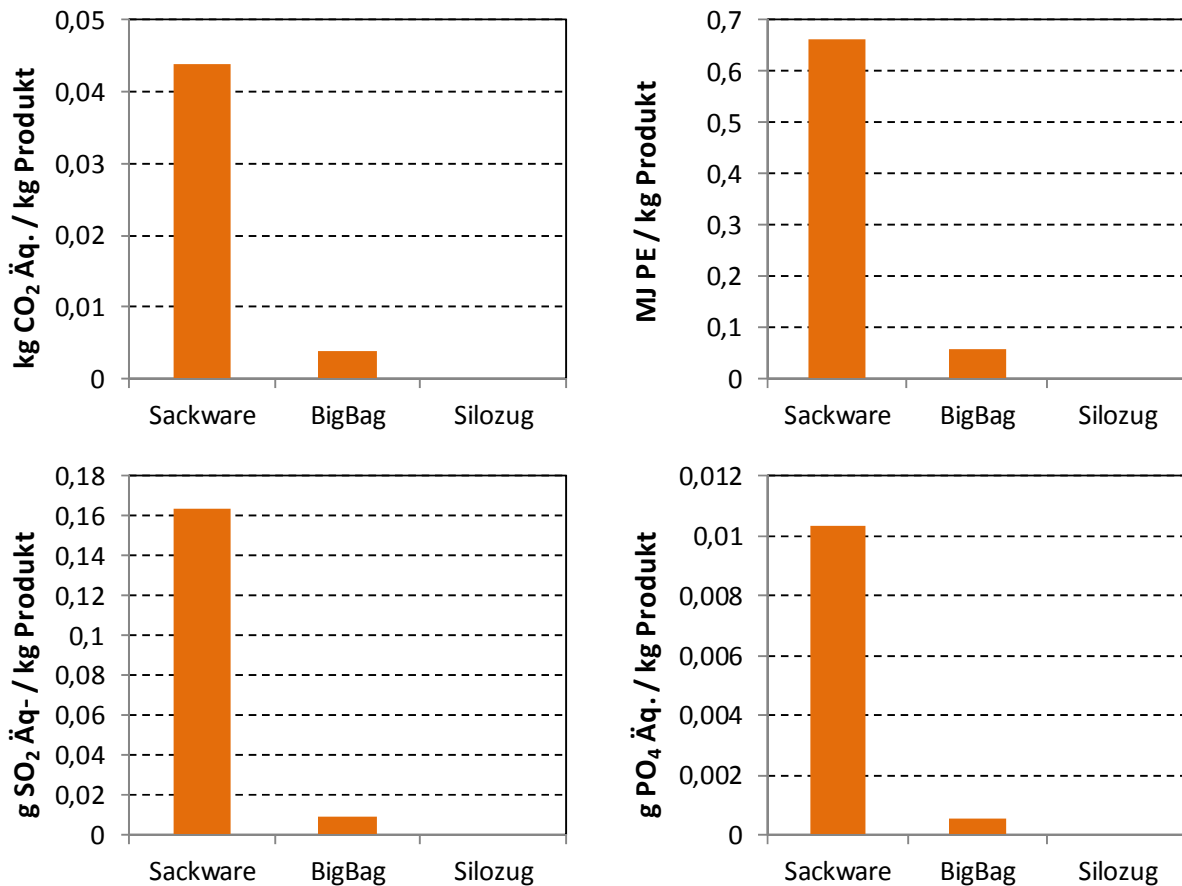
Abb. 24: Anteile einzelner Teilbereiche in Prozent an der Umweltbilanz des Lebenswegabschnittes „Molkerei“ für Magermilchpulver (1,5 % Fett, Sackware).

Produktvarianten

Die Umweltbilanz von Vollmilchpulver, Magermilchpulver und Molkepulver ist annähernd gleich. Der Verarbeitungsaufwand ist vergleichbar, und auch der Aufwand für die Milcherzeugung ist ebenfalls gleich, sofern von einem gleichen Trockenmassegehalt ausgegangen wird, da die Aufwendungen für die Milcherzeugung hier nach Milchtrockenmasseanteil alloziert wurden.

Verpackungsvarianten

Für Trockenmilcherzeugnisse wurden drei Verpackungsvarianten betrachtet: Sackware (25-Kilogramm-Säcke), BigBags (eine Tonne) und die Distribution als Bulk-Ware im Silozug (20 Tonnen). Je weniger Verpackung benötigt wird, desto besser ist die Bilanz, und zwar in allen Umweltwirkungskategorien (Abb. 25).



IFEU 2014

Abb. 25: Vergleich der untersuchten Verpackungsvarianten für Trockenmilcherzeugnisse am Beispiel Süßmolkenpulver.

Vergleich von Vollmilchpulver und Trinkmilch

Frischmilch und Milchpulver haben bezogen auf die Trockenmasse den gleichen Nährwert¹⁸. Abb. 26 zeigt die Umweltbilanz von Frischmilch und der äquivalenten Menge Milchpulver im Vergleich. Dabei wird davon ausgegangen, dass beide Produkte ohne industrielle Weiterverarbeitung vom Endverbraucher konsumiert werden. Es zeigt sich, dass Milchpulver in allen betrachteten Umweltwirkungskategorien besser abschneidet. Dies liegt daran, dass bei Frischmilch höhere Verluste auftreten – was insbesondere höhere Aufwendungen für die

¹⁸ Berücksichtigt werden Kohlenhydrate, Fette und Proteine aber nicht Unterschiede im Vitamingehalt.

Milcherzeugung bedingt – größere Massen transportiert werden müssen und ferner der Kühlaufwand höher ist. Bei der Verwendung der Produkte in industrieller Produktion sollten die Aufwendungen für die Verpackung und Distribution wesentlich geringer sein, was tendenziell Vorteile für Frischmilch mit sich bringt. Dafür müssten aber im Einzelfall gesonderte Untersuchungen angestellt werden. Generell sollte darauf geachtet werden, eine unnötige zwischenzeitliche Trocknung von Milchbestandteilen zu vermeiden.

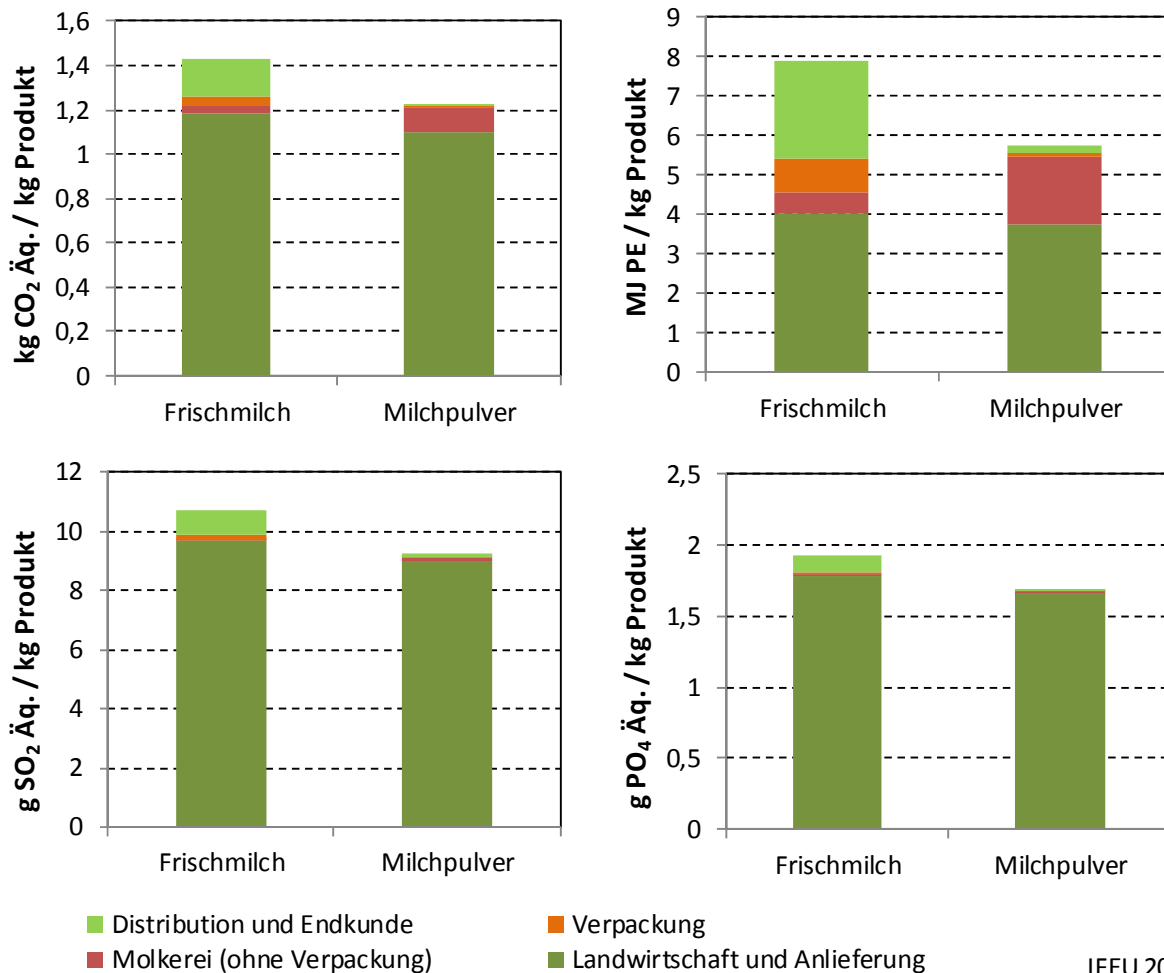


Abb. 26: Vergleich der Umweltbilanz von einem kg Vollmilch (Frischmilch) und der äquivalenten Trockenmasse an Vollmilchpulver (130 g) zum Verbrauch durch den Endkunden. Verlustraten (gesamter Lebensweg): Frischmilch 11 %, Milchpulver 3 %.

7.3 Optimierungspotenziale

7.3.1 Energiebereitstellung

Die Energiebereitstellung ist eine der wichtigsten Stellgrößen zur ökologischen Optimierung der Milchverarbeitung. Die in Molkereibetrieben benötigte thermische und elektrische Energie kann auf verschiedene Weise bereitgestellt werden. Je nachdem, wie die Energie bereitgestellt wird, kann die Ökobilanz sehr unterschiedlich ausfallen, trotz gleichem Endenergiebedarf in der Produktion.

Thermische Energie wird in der Regel im Betrieb selbst durch Verbrennungsprozesse erzeugt oder über Fernwärmeleitungen von externen Wärmeerzeugern geliefert. Eine wesentliche Stellgröße für die Ökobilanz ist in beiden Fällen der verwendete Brennstoff. Die möglichen Brennstoffe Heizöl, Erdgas, Kohle und Holz unterscheiden sich deutlich in ihrer Ökobilanz.

Elektrische Energie wird in der Regel über das öffentliche Stromnetz bezogen. Die Umweltbilanz hängt in diesem Fall vom nationalen Strommix ab und ist vom Unternehmen nicht direkt beeinflussbar. Elektrische Energie kann aber auch im Betrieb selbst (u. a. über KWK) erzeugt werden.

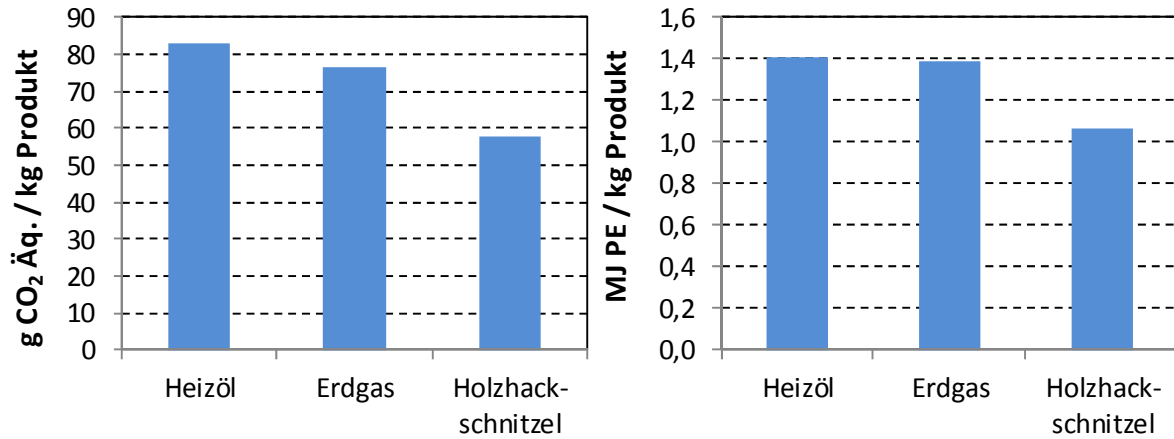
Ein weiterer Aspekt, der die Ökobilanz der Energiebereitstellung wesentlich bestimmt, ist die Effizienz der Anlagen zur Strom- und Dampferzeugung.

Die ökologischen Optimierungsmöglichkeiten im Bereich der Energiebereitstellung werden im Folgenden diskutiert.

Brennstoffe und Wärmebereitstellung

In Betrieben der Molkereiwirtschaft in Deutschland wird zurzeit überwiegend Erdgas als Brennstoff für die Wärmeerzeugung verwendet (/IFEU 2014/, Erhebungsdaten). Noch etwa 6 % der Wärmeenergie werden über Heizöl bereitgestellt. Erdgas stellt gegenüber Heizöl eine deutlich umweltfreundlichere Alternative dar. Noch weniger Treibhausgasemissionen als bei der Verwendung von Erdgas entstehen bei der Verwendung von Holzhackschnitzeln als Brennstoff. So kann zum Beispiel die Treibhausgasbilanz der Verarbeitung von Rohmilch zu Trinkmilch allein durch die Umstellung von Erdgas auf Holzhackschnitzel um etwa 30 % verbessert werden (Abb. 27). Voraussetzung hierzu ist, dass Holzhackschnitzel umweltgerecht bereitgestellt werden können (möglichst aus Waldrestholz oder aus Kurzumtriebsplantagen auf anderweitig nicht benötigten Flächen). Holzhackschnitzel eignen sich ebenso wie Erdgas sowohl für den Betrieb von Heizkesseln als auch für den Betrieb von KWK-Anlagen.

Weitere Möglichkeiten, Wärmeenergie auf Basis regenerativer Energien zu erzeugen, lassen sich zum Beispiel durch die Installation von Solarkollektoren auf dem Dach der Produktionshalle oder durch Geothermie-Bohrungen realisieren (/Kiruja 2012/). Dabei wird Niedertemperaturwärme gewonnen, die zum Beispiel zur Vorwärmung von Wasser für die Erhitzer oder die CIP-Anlage genutzt werden kann. Inwieweit dadurch ökologische Verbesserungspotenziale erschlossen werden, hängt davon ab, ob im Betrieb bereits alle benötigte Wärme niedriger Temperaturniveaus aus der Wärmerückgewinnung aus Dampfprozessen gedeckt werden

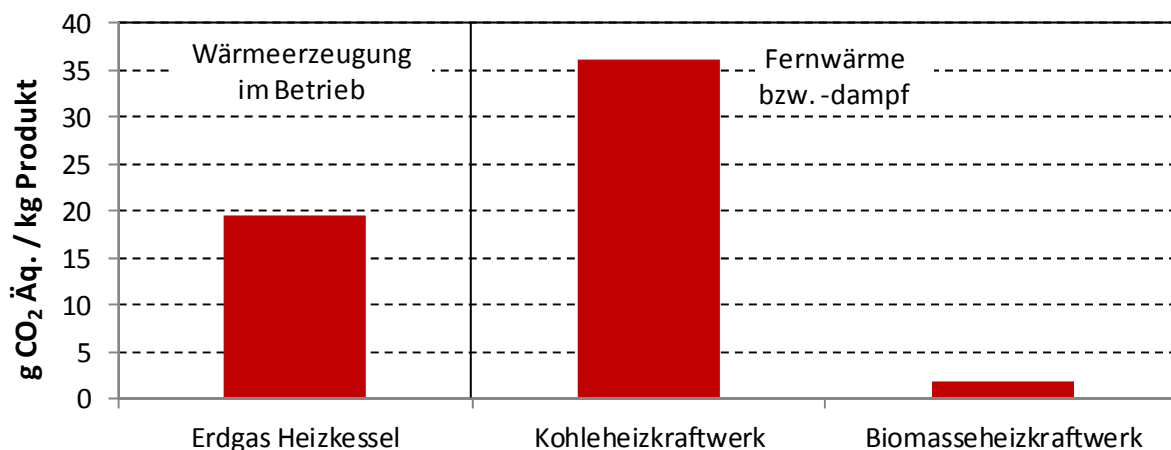


IFEU 2014

Abb. 27: Vergleich der Umweltbilanz der Molkereiaufwendungen für die Verarbeitung von einem Liter Rohmilch zu Trinkmilch (3,5 % Fett, ESL, 1 L Verbundkarton) inklusive Verpackungsaufwendungen bei Verwendung unterschiedlicher Energieträger für die Wärmeerzeugung im Molkereibetrieb.

kann, oder ob zusätzliche Niedertemperaturwärme durch Verbrennungsprozesse erzeugt wird. Nur in letztgenanntem Fall kann die Installation von Solarkollektoren und Geothermie-Bohrungen die Ökobilanz verbessern.

Eine weitere Möglichkeit der Energiebereitstellung ist der Bezug von Fernwärme oder Ferndampf aus externen Kohle-, Erdgas- oder Holzhack-schnitzel-Heizkraftwerken. Durch den Wärmebezug über ein externes Biomasseheizkraftwerk lässt sich die Treibhausgasbilanz um etwa 90 % gegenüber einem erdgasbetriebenen Heizkessel verbessern (Abb. 28). Der Bezug von Ferndampf von einem Kohleheizkraftwerk wirkt sich dagegen negativ auf die Treibhausgas- und Energiebilanz aus, da Kohle ein weniger umweltfreundlicher Brennstoff ist als



IFEU 2014

Abb. 28: Vergleich der Umweltbilanz der Wärmeaufwendungen für die Verarbeitung von einem Liter Rohmilch zu Trinkmilch (3,5 % Fett, ESL, 1 L Verbundkarton): Erdgas-Heizkessel im Vergleich zu Fernwärme aus Kohle- bzw. Biomassekraftwerk.

das überwiegend in Molkereibetrieben als Brennstoff verwendete Erdgas. Die Wärmebereitstellung über externe Heizkraftwerke kann für Molkereien insbesondere dann positive Auswirkungen auf die Treibhausgas- und Energiebilanz haben, wenn sich das Heizkraftwerk in räumlicher Nähe zum Molkereibetrieb befindet, da so Wärmeverluste über die Wärmeleitungen reduziert werden.

KWK-Anlagen

Durch die Installation von KWK-Anlagen lassen sich ebenfalls relevante ökologische Verbesserungen in Molkereibetrieben erzielen. Steigende Netzstrompreise und der steigende Anteil des Strombedarfs am gesamten Energiebedarf von Molkereien begünstigen die Eigenstromerzeugung über KWK-Anlagen zudem auch ökonomisch /B.KWK 2011/, /Hahn et al. 2011/. Um finanzielle Risiken zu meiden, lassen sich Planung, Bau und Betrieb der KWK-Anlage gegebenenfalls in Kooperation mit einem Kontraktor realisieren /Brünner 2012/, /Brush et al. 2011/. Welche KWK-Technik sich am besten für Molkereibetriebe eignet, hängt wesentlich von den Prozesswärmelastprofilen und den Temperaturniveaus der ausgekoppelten Abwärme ab.

- Hochtemperatur-KWK aus Gas- oder Dampfturbinen: für Molkereibetriebe haben Gas- und Dampfturbinen den Vorteil, dass die Abwärme in Form von Dampf ausgekoppelt werden kann und so zur Bedienung des Dampfbedarfs der Molkereien verwendet werden kann. Gasturbinen werden in der Regel mit Erdgas oder Heizöl betrieben /VIK/. Das bei der Verbrennung entstehende Abgas hat ein Temperaturniveau von 450 - 600 Grad Celsius und kann zur Erzeugung von Dampf bei bis zu 80 Bar (etwa 300 Grad Celsius) verwendet werden /VIK/. Dampfturbinen lassen sich mit nahezu allen Brennstoffen antreiben /VIK/. Die Entnahme des zur Stromerzeugung verwendeten Dampfes im Gegendruckbetrieb eignet sich für Molkereibetriebe besser als die Entnahme im Kondensationsbetrieb /B.KWK 2011/, /VIK/. Je nach Anlagengröße lässt sich Dampf mit 25 - 125 Bar (etwa 250 - 500 Grad Celsius) für Prozesswärme auskoppeln. Gas- und Dampfturbinen sind vor allem für größere Betriebe mit ausgeprägter Dampfgrundlast geeignet /B.KWK 2011/. Nachteilig ist die geringere Stromkennzahl verglichen mit Verbrennungsmotor-BHKWs /Hahn et al. 2011/.
- Niedertemperatur-KWK aus Verbrennungsmotor-BHKWs: bei Verbrennungsmotor-BHKWs beträgt das Temperaturniveau der ausgekoppelten Abwärme lediglich 70 - 90 Grad Celsius, sodass keine Dampferzeugung möglich ist. Es müssen erstens Nutzungspotenziale für Niedertemperaturwärme (< 95 Grad Celsius) erschlossen werden. Entsprechende Potenziale bestehen unter anderem bei der Vorwärmung vor Verdampfungs- und Trocknungsprozessen, der Speisung der CIP-Anlagen, der Flaschenreinigung und der allgemeinen Gebäudebeheizung /B.KWK 2011/. Zweitens ist die Verlegung eines eigenen Niedertemperaturwärmenetzes in der Regel erforderlich /B.KWK 2011/. Die Installation von Verbrennungsmotor-BHKWs eignet sich vor allem für kleine und mittelgroße Betriebe /B.KWK 2011/.
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlagen (KWKK): auch die Installation von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlagen (KWKK) stellt für Molkereibetriebe eine Option dar. In der Regel wird dabei die bei der Stromproduktion entstehende Abwärme über eine Absorptionskälteanlage genutzt. Die Medienkombination Ammoniak-Wasser ist am geeignetsten

/Hahn et al. 2011/. Energetisch sind Absorptionskältemaschinen modernen Kompressionsanlagen unterlegen /Hahn et al. 2011/, /Prasad et al. 2004/. Ein positiver energetischer Effekt ergibt sich also nur zu solchen Zeiten, in denen entstehende Abwärme nicht anderweitig genutzt wird /Hahn et al. 2011/, zum Beispiel während Produktionspausen. Bisher wurden nur wenige Pilotprojekte realisiert /Müller 2012/, /BFM 2013/.

Für Molkereibetriebe eignet sich besonders eine wärmegeführte KWK-Anlage zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme. Damit kann im Beispiel die Energie der Molkerei (Strom und Wärme) mit 28 % weniger Treibhausgasemissionen bereitgestellt werden. Stromgeführte Anlagen sind wegen des im Vergleich zur Wärmeenergie geringeren Strombedarfs für Molkereien weniger geeignet (Abb. 29). Durch die Kombination von regenerativen Brennstoffen (hier: Holzhackschnitzel) und einer wärmegeführten KWK-Anlage können im besten Fall Einsparungen in der Treibhausgasbilanz von über 95 % erzielt werden (Modellrechnung siehe Abb. 30. Achtung: Die Abbildung bezieht sich ausschließlich auf die Wärme- und Stromerzeugung. Alle anderen Aufwendungen für die Milchverarbeitung (Verpackung etc.) sind hier nicht mit dargestellt).

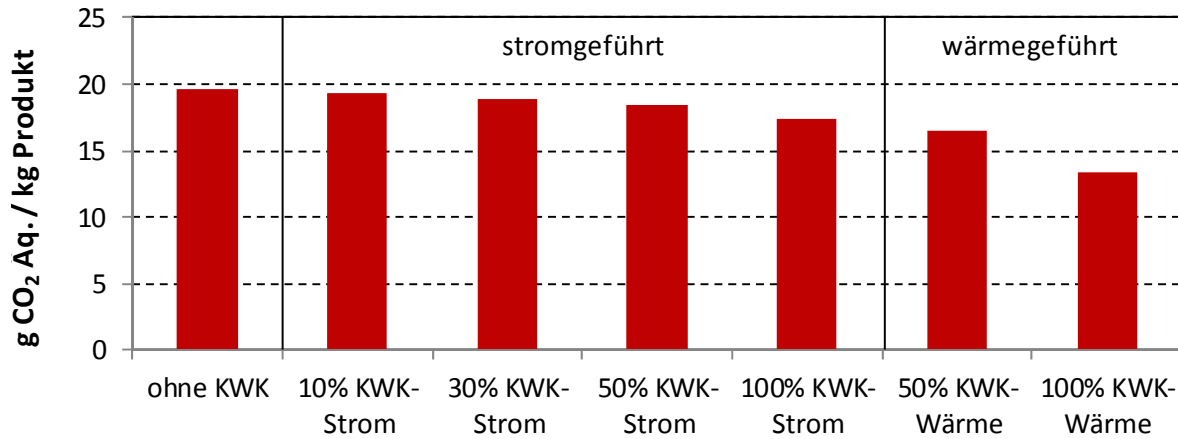
Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Quellen im Molkereibetrieb

Neben der Eigenstromproduktion über eine KW(K)K-Anlage besteht außerdem die Möglichkeit, regenerativen Strom über die Installation von Photovoltaikmodulen zum Beispiel auf den Dächern der Produktionshalle zu erzeugen. So lässt sich die Umweltbilanz der Molkerei verbessern. Wird der erzeugte Strom allerdings nach EEG verkauft und stattdessen Netzstrom bezogen, muss der Produktion auch der Netzstrom zugerechnet werden. Dies ist erforderlich, weil der eingespeiste regenerative Strom den Strommix des deutschen Netzstroms und damit dessen Ökobilanz verbessert. Würde der regenerative Strom zusätzlich dem Erzeuger gutgeschrieben, würde dies eine Doppelzählung bedeuten. Weitere ökologische Optimierungspotenziale können erschlossen werden, indem auf Ökostrombezug umgestellt wird¹⁹.

Effiziente Dampferzeugung und Verteilung

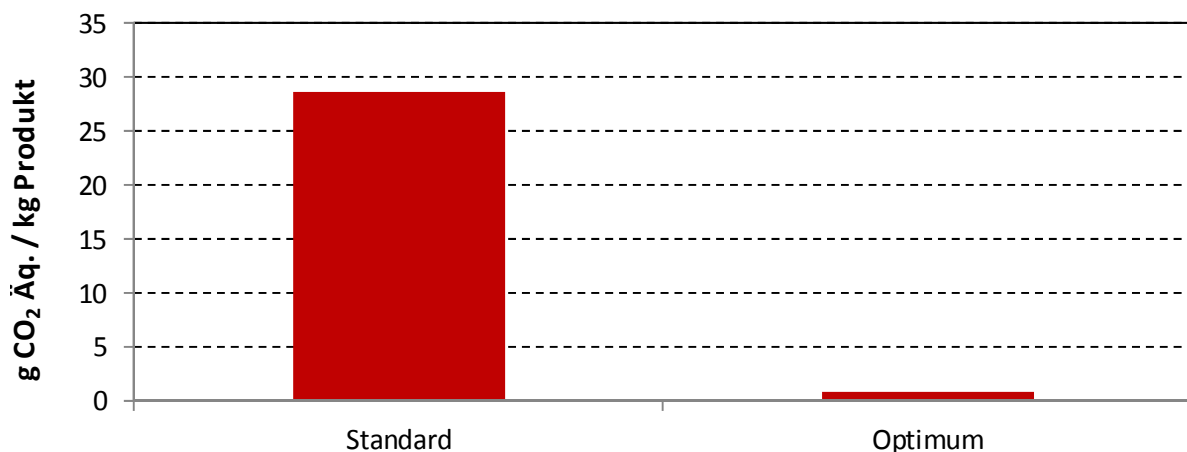
Die benötigte Prozesswärme wird in der Regel über Dampf bereitgestellt. Auch für existierende **Dampferzeugungseinheiten** bestehen vielfach Optimierungspotenziale. Die Effizienz eines Brenners lässt sich durch die Messung der Überschussluft und der Zusammensetzung der Abgase überprüfen /Bertsch 2005/, /Prasad et al. 2004/. Durch kontrollierte Sauerstoffzufuhr in Abhängigkeit vom Treibstoff lassen sich bis zu 2 % des Energieverbrauchs einsparen /Prasad et al. 2004/. Die Bildung von Kalk oder anderen Ablagerungen in den Dampfkesseln

¹⁹ Die Bewertung der Umwelteffekte von Ökostrombezug ist komplex und hängt u. a. davon ab, ob der Anbieter eine Finanzierung von Neuanlagen gewährleistet und ob eine Mehrfachzählung von Ökostrom vorliegt, aber auch von politischen Rahmenbedingungen wie dem Europäischen Emissionshandel oder nationalen Zielen zum Ausbau von erneuerbaren Energien (Pehnt et al. 2008). Allein der Umstieg auf Ökostrom führt in der Bilanz für einen konkreten Molkereistandort nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Es wird daher empfohlen, Ökostromangebote dahingehend kritisch zu prüfen, ob in den Bau von Neuanlagen investiert wird, wie alt die Anlagen sind, deren Strom der Anbieter kauft, und ob der Anbieter bzw. das Angebot über ein Siegel verfügt, das beispielsweise einen bestimmten Anteil aus Neuanlagen garantiert.



IFEU 2014

Abb. 29: Vergleich der Umweltbilanz der Wärmeerzeugung für die Verarbeitung von einem Liter Rohmilch zu Trinkmilch (3,5 % Fett, ESL, 1 L Verbundkarton) ohne und mit KWK-Anlagen.



IFEU 2014

Abb. 30: Vergleich der Treibhausgasbilanz der Wärme- und Stromerzeugung für die Verarbeitung von einem Liter Rohmilch zu Trinkmilch (3,5 % Fett, ESL, 1 L Verbundkarton) wie sie heute üblich ist mit einer optimierten Energiebereitstellung (100 % Holzackschnitzel, 100 % der Wärme aus KWK).

sollte vermieden werden, um Energieverluste zu vermeiden /Prasad et al. 2004/, /Brush et al. 2011/. Eine bessere Isolierung der Kessel, zum Beispiel mit Keramikfasern, kann weitere Einsparpotenziale erschließen /Brush et al. 2011/. Economiser nutzen die Wärme der Abgase, um sie dem zuströmenden Kesselspeisewasser zuzuführen /Bertsch 2005/. Eine Absenkung der Abgastemperatur um 25 Grad Celsius steigert den Wirkungsgrad um etwa 1 % /Brush et al. 2011/. Ein kondensierender Economiser nutzt noch mehr von der im Abgas enthaltenen Wärme /FoE 2006/. Gegebenenfalls müssen Maßnahmen ergriffen werden, um das Wasser zu reinigen und um Anlagenteile vor Korrosion zu schützen /Brush et al. 2011/. Nach der Nutzung des Dampfs als Wärmeträger fällt an vielen Stellen Kondensat an, dessen Wärme genutzt werden kann. Die Rückführung des Kondensats als Speisewasser für die



Erhitzer hat energetische Vorteile. Außerdem wird der Aufwand zur Vorbehandlung des Speisewassers reduziert /Brush et al. 2011/. Die Installation mehrerer Erhitzer hat den Vorteil, Dampf bzw. Wasser mit unterschiedlichen Temperaturniveaus erzeugen zu können. Bei der **Dampfverteilung** sollte auf eine gute Isolierung der Leitungen geachtet werden, um Verluste zu vermeiden /Brush et al. 2011/. Durch eine systematische Wartung lassen sich sowohl Löcher in der Isolierung als auch den Leitungen selbst beheben /Brush et al. 2011/, /Prasad et al. 2004/. Die Installation moderner thermostatischer Kondensatableiter und die regelmäßige Überprüfung der Kondensatableiter können die Energieverluste weiter senken /FoE 2006/. Mithilfe der **Pinch-Analyse** lassen sich weitere Effizienzpotenziale erschließen. Durch das Auftragen von je einer Kurve für Wärme- und Kälteströme im Betrieb in ein Wärmeleistungs-Temperatur-Diagramm lässt sich der Punkt („Pinch“) identifizieren, in dem sich die beiden Kurven am engsten nähern und in dem der geringste thermodynamische Heiz- bzw. Kühlbedarf besteht. Auf dieser Basis lassen sich Wärme- und Kälteströme bzw. Wärmerückgewinne gesamtbetrieblich optimieren /Brush et al. 2011/. Weitere Informationen zur Funktionsweise und der betrieblichen Anwendung der Pinch-Analyse können zum Beispiel im Handbuch der Schweizer Bundesanstalt für Energie nachgelesen werden /Morand et al. 2006/.

7.3.2 Energieeffizienz

Der Strom- und Wärmebedarf je Tonne erzeugtem Produkt weist zwischen den Betrieben eine erhebliche Schwankungsbreite auf. Entsprechend unterscheidet sich die Umweltbilanz der Strom und Wärmebereitstellung (Abb. 31). Es ist davon auszugehen, dass die gefundenen Unterschiede nur zum Teil durch Produktunterschiede bedingt und technisch unvermeidbar sind. Zu einem erheblichen Teil sind die Unterschiede auf eine unterschiedliche Effizienz in der Energieverwendung in den Betrieben zurückzuführen. Dies gilt insbesondere bei Produkten, bei denen es nur eine geringe Variabilität der Produkteigenschaften gibt. Bei Käse und Joghurt sind dagegen Unterschiede in höherem Maße durch die Produkt- und Geschmacksvielfalt bestimmt, die energierelevante Unterschiede in den Verarbeitungsprozessen bedingen. Insbesondere bei Käse findet sich eine sehr große Produktvielfalt. Betriebe mit besonders hohem Energiebedarf je Produkteinheit sind häufig handwerklich arbeitende Betriebe mit geringem Produktionsvolumen, die aber auch besonders hochwertige Produkte erzeugen. Die funktionelle Einheit „ein Kilogramm Produkt“ ist in diesem Fall kritisch zu bewerten, da Unterschiede in der Qualität keine Berücksichtigung finden.

Nichts desto trotz lässt sich festhalten, dass durch eine Verbesserung der Energieeffizienz deutliche ökologische Verbesserungen erzielt werden können. Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz werden im Folgenden beschrieben.

Energiemanagementsysteme

Große Energieeffizienzpotenziale lassen sich durch die Integration eines Energiemanagementsystems erschließen. Kernbestandteil ist eine systematische und prozessspezifische Erfassung des Verbrauchs, die häufig bereits Defizite bei Anlagenkomponenten identifiziert und außerdem als Basis für eine gesamtbetriebliche Abstimmung von Energieerzeugung und -bedarf dienen kann /FoE 2006/. Mitarbeiterbindung und -schulung sowie die Definition

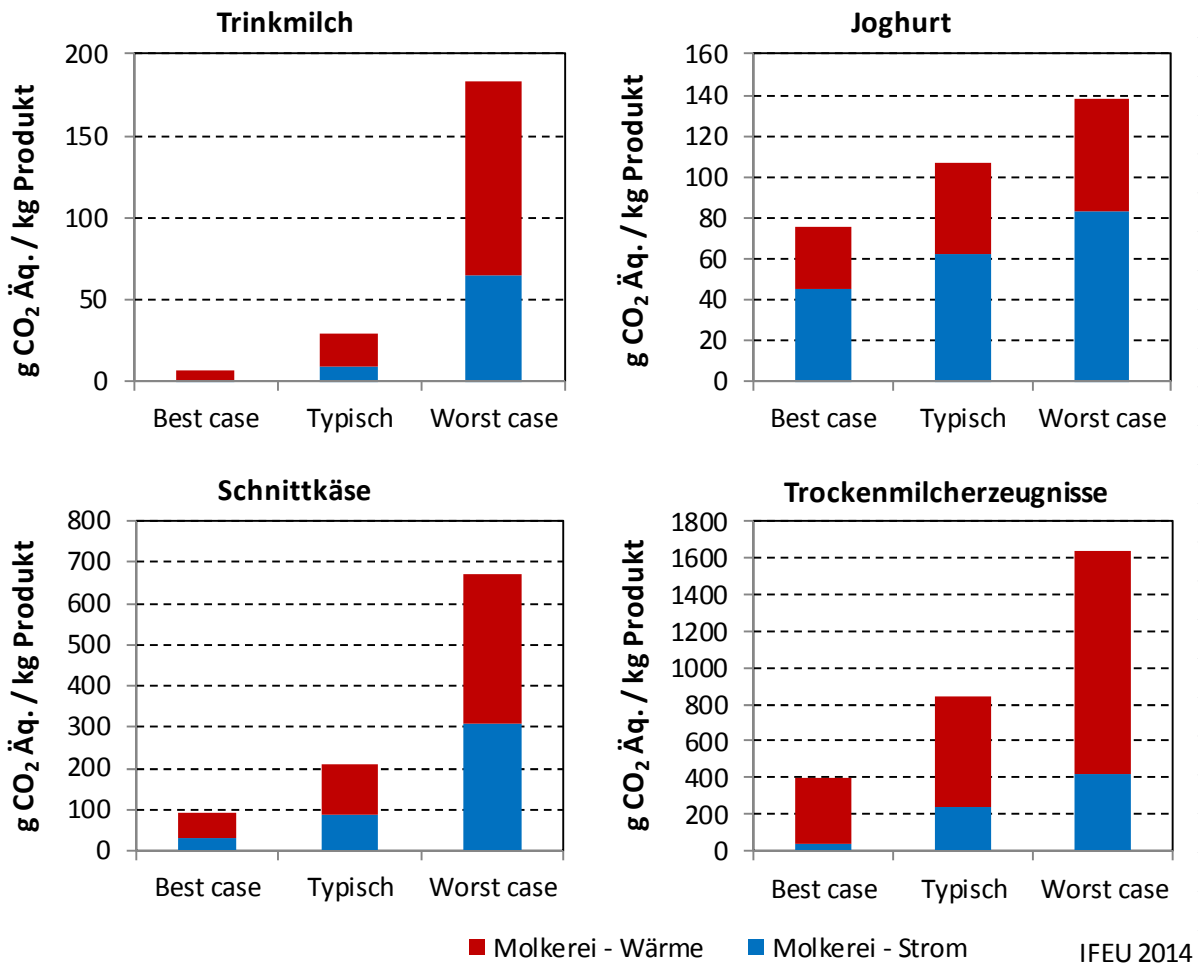


Abb. 31: Vergleich der Treibhausgasbilanz der Strom- und Wärmebereitstellung von vier Milchprodukten bei unterschiedlichem Energiebedarf für die Produktion: Standard sowie „Best Case“ und „Worst Case“ der in der Praxis vorgefundenen Verfahren. Übrige Umweltwirkungskategorien siehe Abb. 59 - Abb. 61 im Anhang, Kapitel 12.6.

und ambitionierte Verfolgung von Umweltzielen sind weitere wesentliche Elemente eines Energiemanagementsystems /Brünner 2012/, /Prasad et al. 2004/. Um sich von der EEG-Umlage befreien lassen zu können, müssen energieintensive Betriebe ein Energiemanagementsystem eingeführt haben. Weitere Informationen finden sich unter anderem im Leitfaden des BMU /Kahlenborn et al. 2012/.

Thermische Energieeffizienzpotenziale

- Pasteurisierung: die meisten Molkereien nutzen bei der Pasteurisierung die Wärme der wärmebehandelten Milch, um sie dem kühlen Milchzustrom zuzuführen. Hohe Wärmerückgewinne lassen sich u. a. durch die Installation zusätzlicher Plattenwärmeaustauscher in optimiertem Design (z. B. Wellenmuster) und die Beseitigung von Ablagerungen erreichen /Brush et al. 2011/. Im Einzelfall können Wärmerückgewinnungsraten bis 90-95 % erreicht werden. Optimierungskonzepte müssen die konkreten Produktionsbedingungen, Qualitätsziele und einzuhaltende Hygienestandards berücksichtigen. Wegen des

großen thermischen Energieaufwands wurden mehrere alternative Pasteurisierungsverfahren entwickelt. Die jeweiligen Techniken nutzen starke, pulsierende, elektrische Felder, UV-Licht, großen hydrostatischen Druck oder Mikrofilter, um schädliche Mikroorganismen zu inaktivieren /Carbon Trust 2011/. Bei allen Techniken wird bei deutlich niedrigeren Temperaturen gearbeitet, sodass große Mengen thermischer Energie eingespart werden können /Brush et al. 2011/. Diese Techniken sind jedoch noch in der Entwicklung und werden praktisch noch nicht eingesetzt. Eine weitere Erforschung und Entwicklung erscheint aus Umweltsicht jedoch interessant.

- **Verdampfer:** für die Herstellung von Trockenmilcherzeugnissen wird über die Prozessschritte Verdampfer und Trocknung das Wasser aus der Milch eliminiert, wofür große Mengen thermischer Energie benötigt werden. Im ersten Prozessschritt, dem Verdampfer, lassen sich die größten Einsparungen realisieren, wenn eine Fallstromverdampferanlage mit mehreren Stufen sowie ein mechanischer Brüdenkompressor installiert sind, wobei der Abdampf der einen Verdampferstufe komprimiert und zur Beheizung der nachfolgenden Stufe verwendet wird /FoE 2006/, /VDM 2008/. Durch systematische Wartung lassen sich unter anderem Lufteströme und Verluste über beschädigte Isolierung minimieren /Brush et al. 2011/. Den Einsparungen an thermischer Energie, die durch den Einsatz des Brüdenkompressors erzielt werden, stehen Aufwendungen elektrischer Energie zum Betrieb des Kompressors gegenüber, die im Einzelfall gegeneinander aufgewogen werden müssen. Wenngleich sich so die Energieeffizienz des Verdampfers deutlich steigern lässt, sind Membranfilter energetisch eine noch deutlich günstigere Option zur Abscheidung von Wasser. Die Umkehrosmose und die Ultrafiltration stellen dabei die beiden am weitesten entwickelten Technologien dar /FoE 2006/, /Brush et al. 2011/.
- **Trocknung:** an den Verdampfer knüpft die Trocknung an. In der Regel wird das Konzentrat zunächst in den Sprühturm und anschließend auf zwei Fließbettrockner gegeben. Bei größtmöglicher Innen- und kleinstmöglicher Außentemperatur ist der Betrieb des Sprühturms am effizientesten. Die Einstellung der Innen- und Außentemperatur zu überprüfen und die Innentemperatur bei passenden Produktspezifikationen zu erhöhen, kann den Energiebedarf der Sprühtrocknung erheblich senken /Brush et al. 2011/. Die Einströmluft sollte von der Decke und nicht in der Nähe von dampf- oder wasserbetriebenen Prozessen eingesaugt werden, da dort am sichersten mit trockener und warmer Luft zu rechnen ist /Brush et al. 2011/. Ihre Temperatur und Feuchte sollte außerdem gemessen werden, um den Betrieb der Sprühtrocknung dementsprechend anzupassen /Brush et al. 2011/. Die Wärme der staubhaltigen Abluft der Sprühtrocknung kann am effizientesten durch Zwischenschaltung eines Wasserkreislaufs auf die Zuluft der Sprühtrocknung übertragen werden /VDM 2008/.
- **Gebäudetemperierung:** auch bei der Gebäudetemperierung bestehen große thermische Energieeinsparpotenziale. Wie in der Energieeinsparverordnung (EnEV) vorgeschlagen, lassen sich die Transmissionswärmeverluste und damit der Heizwärmebedarf durch die Dämmung von Außenwänden und den Einbau von Fenstern mit geringen Wärmedurchgangskoeffizienten deutlich reduzieren. Es wird dringend empfohlen, die Wärme der Abluft zur Erwärmung der Zuluft zu nutzen. Darüber hinaus kann der Energiebedarf durch die Nutzung solarer Wärmeeinträge gesenkt werden. Die Gebäudetemperierung sollte bei Produktionsstillstand gedrosselt werden. Die Reparatur von undichten Luftkanälen

und eine auf den Bedarf einzelner Räume abgestimmte Luftzufuhr können die Energieeffizienz weiter steigern /Brush et al. 2011/.

Elektrische Energieeffizienzpotenziale

- **Kühlung:** ein Großteil der elektrischen Energie in Molkereibetrieben wird für Kühlung aufgewendet. Bei der Erzeugung mithilfe von Kompressionskälteanlagen kann die Installation weiterer Kühlaggregate zur Erzeugung unterschiedlicher Kälteniveaus sinnvoll sein /Brush et al. 2011/. Außerdem lässt sich die Effizienz steigern, indem die Menge des Kältemittels stets optimal gehalten wird, der Kompressor in gut durchlüfteten und durch Dämmung sowie reflektierende Außenwände gekühlten Räumen betrieben wird, eine Kontamination des Kältemittels mit Öl oder Wasser vermieden wird und indem die Ventilatoren der mit Luft kühlenden Kondensatoren nur betrieben werden, wenn die Kompressoren tatsächlich arbeiten /Brush et al. 2011/. Natürlich kann die von den Kompressoren abgegebene Wärme zur Raumwärme oder Wasservorwärmung genutzt werden. Bei der Verteilung und Speicherung muss vor allem auf eine hochwertige und unversehrte Dämmung geachtet werden /Prasad et al. 2004/. In gekühlten Räumen sollten unnötige Wärmequellen wie Licht, Gabelstapler, laufende Ventilatoren oder Lufteströme zum Beispiel über unverschlossene Türen eliminiert werden /Prasad et al. 2004/. In kalten Jahreszeiten oder in der Nacht kann Außenluft zur Kühlung der Räume verwendet und so die energiebetriebene Klimatisierung abgeschaltet werden /FoE 2006/.
- **Elektromotoren und Pumpen:** neben den Kompressoren in den Kälteaggregaten wird elektrische Energie an vielen weiteren Stellen zum Betrieb von Elektromotoren und Pumpen benötigt. Nur ein geringer Teil der Lebenszykluskosten eines Elektromotors entsteht durch die Investitionskosten. Neuanschaffungen sollten daher die Effizienzklasse IE3 aufweisen. Da der Teillastbetrieb weniger effizient ist, sollte auf eine angemessene Dimensionierung geachtet werden. Um den Motorbetrieb an den Bedarf anzupassen, sollten drehzahlvariable Antriebe installiert werden. Der Energieaufwand für den Betrieb von Pumpen lässt sich durch die Installation von Zwischenspeichern, die Verringerung von Höhendifferenzen und die Vermeidung von Drosselklappen reduzieren.
- **Druckluft:** die Effizienz von Systemen zur Erzeugung und Nutzung von Druckluft ist mit lediglich etwa 10 % sehr niedrig. Auf eine effiziente Wärmerückgewinnung ist daher zu achten. Wassergekühlte Kompressoren sind dafür am besten geeignet /Prasad et al. 2004/, /Hanneman et al. 2005/. Saugt der Kompressor kühlere und trockenere Außenluft an, senkt das den Energiebedarf der Druckluftherzeugung. Die Identifizierung von Leckagen am Verteilnetz zum Beispiel mithilfe von akustischen Ultraschalldetektoren kann die Energieeffizienz des Druckluftsystems ebenfalls deutlich erhöhen /Wardrop Engineering 1997/. Geruchsklappen sollten nur bedarfsabhängig geöffnet werden. Erdgasbetriebene Kompressoren können als effizientere, aber wartungsbedürftigere Erzeugereinheiten abgewogen werden. Letztlich kann geprüft werden, ob Druckluft durch alternative Quellen ersetzt werden kann, zum Beispiel durch Ventilatoren, Bürsten oder Vakuumsysteme.
- **Beleuchtung:** gebäudebezogene, elektrische Effizienzpotenziale sind vor allem im Bereich der Beleuchtung gegeben. Grundsätzlich lässt sich der Energiebedarf zur Beleuchtung durch konsequente Tageslichtnutzung reduzieren, zum Beispiel durch die entspre-



chende Planung und Platzierung von Fenstern, Obergaden, Reflektoren und Arbeitsflächen. Der Beleuchtungsaufwand lässt sich weiter reduzieren, indem die Beleuchtung manuell oder sensorgesteuert in ungenutzten Räumen ausgeschaltet wird. Die Energieeffizienz der Leuchtmittel lässt sich durch die Verwendung von Leuchtdioden (LED), die Installation von T8- bzw. T5- anstelle von T12-Leuchtstoffröhren und die Verwendung von elektrischen anstelle von magnetischen Vorschaltgeräten verbessern.

Noch umfangreichere Zusammenstellungen von energiesparenden Maßnahmenkatalogen für Molkereibetriebe finden sich bei /Prasad et al. 2004/, /Wardrop Engineering 1997/, /Brush et al. 2011/ und /FoE 2006/.

7.3.3 Abfallvermeidung und Abwassermanagement

In Molkereibetrieben fallen an unterschiedlichen Stellen feste Abfälle und flüssige Abfälle (= Abwässer) an, die die Umweltbilanz negativ beeinflussen. Im Folgenden werden zunächst Abfälle und im Anschluss Abwässer diskutiert.

Abfallvermeidung

Der Einfluss, den industrielle Abfälle auf die Umweltbilanz haben, wird häufig unterschätzt. Auch für Produkte, die ungenutzt entsorgt werden, wurden Ressourcen zur Herstellung und zum Antransport aufgewendet. Zusätzlich entstehen Umweltlasten durch die Entsorgung des Abfalls. Beide Lasten lassen sich durch entsprechende Maßnahmen vermeiden. Die in Molkereien anfallenden Abfälle lassen sich grob in folgende Fraktionen einteilen:

- Organische Abfälle aus der Produktion:
 - Rohmilch oder verarbeitete Milchprodukte, die sich durch Verschütten, Überfüllen, Lecks etc. meist am Boden ansammeln
 - Milch und Milchprodukte in fehlerhaften Verpackungen
 - Schlauchfilterrückstände
 - Zentrifugenschlämme
- Betriebsmittelabfälle
 - Überwiegend Verpackungsabfälle

Im Rahmen dieser Bilanz wurden die genannten Abfallfraktionen wie folgt berücksichtigt:

- Organische Abfälle: als Anteil der Milchäquivalente, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette verloren gehen.
- Anorganische Abfälle: sind in der Bilanz des Lebenswegabschnittes „Verpackung“ enthalten. Dort sind auch Sekundär- und Tertiärverpackungen mit üblichen Verlustraten eingegangen.

In Molkereibetrieben hat die Vermeidung von **organischen Abfällen** aus Milch und Milchbestandteilen eine besonders hohe Relevanz, da Milch ein hochwertiges Produkt mit zugleich einer großen Umweltlast ist (zur Umweltbelastung durch die Milcherzeugung siehe Kapi-

tel 4). Auf die ökologische Relevanz der Milchabfälle wird daher gesondert in Kapitel 7.3.7 eingegangen.

Potenzielle Maßnahmen zur Vermeidung der ökologischen Lasten der **anorganischen Abfälle** und Papiere umfassen unter anderem:

- Anlieferung benötigter Materialien in Mehrwegverpackungen.
- Trennung von Abfällen in gängige Abfallfraktionen. Dies kann durch das Aufstellen entsprechender Abfallbehälter nahe der Entstehung erleichtert werden.
- Mengenmäßig optimierte Beschaffung benötigter Materialien.
- Möglichst fehlerfrei arbeitende Verarbeitungs- und Verpackungsmaschinen, um Fehlverpackungen zu vermeiden.

Diese konkreten Maßnahmen sollten flankiert werden von einem Programm zur Mitarbeiterbindung und -sensibilisierung für Abfallvermeidung.

Möglichst hochwertige Verwendung organischer Abfälle

Milch und Milchprodukte, die nicht für den menschlichen Verzehr geeignet sind, stellen einen hochwertigen organischen Rohstoff dar, der einer möglichst hochwertigen Verwendung zugeführt werden sollte. Die aus Umweltsicht beste Möglichkeit ist in der Regel die Nutzung als Futtermittel. Idealerweise sollten auch Fehlpackungen geöffnet und der Inhalt getrennt von der Verpackung verwendet werden, so dass auch diese Milcherzeugnisse einer Verwendung als Futtermittel zugeführt werden.

Wo eine Verwendung als Futtermittel nicht möglich ist, stellt die energetische Nutzung die zweitbeste Alternative dar. Hierzu bieten sich betriebseigene Biogasanlagen an.

Abwassermanagement

Das Abwasser setzt sich in der Regel aus Eiweißen, Milchzucker, Milchfett sowie Reinigungs- und Desinfektionsmitteln zusammen /VDM 2008/. Ein ökologisch optimiertes Abwassermanagement hat zum Ziel, Potenziale zur Wassereinsparung und -wiederverwendung zu erschließen, im Abwasser enthaltene Nährstoffe zu verwerten und gegebenenfalls Energie aus dem Abwasser zu gewinnen /Prasad et al. 2004/. Potenziale zur **Wasserwiederverwendung** umfassen unter anderem folgende Aspekte:

- Identifizierung und Reparatur von Lecks am Wasserverteilnetz /Brush et al. 2011/.
- Verwendung von Wasserschläuchen mit geringstmöglichem Durchmesser /Brush et al. 2011/.
- Wiederverwendung des Kondensats, das in Erhitzern, Verdampfern und Trocknern anfällt /Prasad et al. 2004/.

Weitere Wassereinspar- und Wiederverwendungspotenziale werden außerdem in Kapitel 7.3.6 diskutiert.

Die Abwässer können entweder in das kommunale Abwassernetz geleitet oder vor Ort derart aufbereitet werden, dass die Einleitung in einen Vorfluter (Direkteinleiter) möglich ist. Ob bzw. in welchem Umfang Aufbereitungsmaßnahmen im Fall der Einleitung in das kommunale

Abwassernetz vor Ort ergriffen werden, hängt unter anderem von der Leistungsfähigkeit der kommunalen Abwasserreinigung und der möglichen Vermeidung von Starkverschmutzerzuschlägen für den Molkereibetrieb ab. Im Fall der Direkteinleitung umfasst die Abwasserbehandlung häufig eine Abfiltration von anorganischen Feststoffen, eine Fettabscheidung, eine Misch- und Ausgleichsstufe zum Abfangen von Stoßbelastungen sowie eine biologische, aerobe Behandlung (inklusive Nitri- bzw. Denitrifikation) mit nachgeschalteter Phosphorfällung /Schmidlein et al. 2011/, /VDM 2008/.

Probleme und ökologische Optimierungspotenziale der Abwasserbehandlung

Bei der Käseherstellung entsteht durch die Anreicherung von Molke-Inhaltsstoffen und Käsepartikeln eine spezielle Salzlake. Aus hygienischen Gründen ist die Salzlake regelmäßig abzuführen und zu erneuern. Die Entsorgung der Salzlake ist kostenintensiv und kann aufgrund des hohen Salzgehalts zu negativen Einflüssen auf den Boden und den Wasserhaushalt führen /IDF Germany 2012a/. Ein ökologisches Optimierungspotenzial besteht unter anderem in der Verwendung von Mikro- bzw. Ultrafiltrationsanlagen, gegebenenfalls mit anschließender Salzgewinnung /DMW 2006/. Ebenfalls empfiehlt es sich, diesen Abwasserstrom separat zu erfassen /IDF Germany 2012a/.

Da das Molkereiabwasser wichtige Nährstoffe (vor allem Stickstoff und Phosphor) enthält, wird eine landwirtschaftliche Verwertung angestrebt. Eine Ausbringung erfolgt vor allem über die anfallenden Klärschlämme /VDM 2008/. Aus ökologischer Perspektive muss dabei darauf geachtet werden, dass die im Abwasser enthaltenen Salze (unter anderem Kalium, Natrium) nicht zur Bodendegradation beitragen /IDF Germany 2012b/.

Darüber hinaus besteht die Option, über eine anaerobe Abwasserbehandlung oder die Beschickung mit biogenen Abfällen Biogas zu erzeugen und in einem BHKW zur Strom- und Wärmeproduktion zu verbrennen. Bisher realisierte Praxisbeispiele finden sich vor allem bei Betrieben, die sich auf die Herstellung von Käse konzentrieren und bei denen große Mengen Molke anfallen /Stutzer 2006/, /Marti et al. 2011/, /Müller 2010/.

Eine weitere innovative Abwasserbehandlungsmethode, bei der die Reinigung elektrochemisch erfolgt, wird derzeit erforscht. Der entstehende Wasserstoff soll dabei mithilfe einer Brennstoffzelle zur Stromerzeugung genutzt werden /Fraunhofer IGB 2013/.

7.3.4 Umweltfreundliche Verpackungen

Die Herstellung und Entsorgung von Verpackungsmaterial ist mit erheblichen Umweltlasten verbunden (siehe dazu auch Kapitel 7.2). Verpackungsmaterialien werden nicht direkt genutzt, sondern dienen dem Zweck, das Produkt vor Schäden zu bewahren. In der Lebensmittelproduktion sind Hygiene, Haltbarkeit und Benutzerfreundlichkeit wichtige Kriterien für das Design von Verpackungen. Die Umweltlasten von Verpackungen sind abhängig von:

- den verwendeten Verpackungsmaterialien.
- dem Verpackungsgewicht bzw. der Menge des Verpackungsmaterials pro Einheit.
- dem Energiebedarf der für die Verpackung eingesetzten Maschinen.

Ferner können sich gegebenenfalls verpackungsbedingte Produktrückstände auf die Umweltbilanz der Produkte auswirken.

Optimierungspotenziale bestehen vor allem in der Auswahl von

- Verpackungen mit geringerem Gewicht, zum Beispiel Reduzierung der Schichtdicke und Vermeidung von Unterfüllungen.
- Belieferung industrieller Kunden mit unverpackter Bulkware zur Vermeidung von Verpackungen.
- Wahl möglichst großer Verpackungseinheiten, soweit diese von den Kunden angenommen werden und nicht zu zusätzlichem Lebensmittelverderb führen. Die Zunahme der Außerhausverpflegung wirkt sich insofern verpackungssparend aus, da die Menge an Lebensmitteln, die über Gewerbetreiber statt über den Einzelhandel an den Endverbraucher verkauft werden, steigt, und damit der Bedarf an kleinen Verpackungseinheiten sinkt.
- Reduzierung von Sekundär- und Tertiärverpackungen, zum Beispiel durch die Verwendung von Mehrwegsystemen.
- Einsatz von Verpackungsmaschinen mit energieeffizienten Antrieben und geringerem Druckluftbedarf.

Darüber hinaus gibt es folgende produktlinienspezifische Optimierungspotenziale:

Trinkmilch: im Bereich Trinkmilch dominieren wenige Verpackungshersteller den Markt der Molkereiverpackungen, sodass sich praktisch geringe Optimierungspotenziale durch die Auswahl von Verpackungen ergeben.

Joghurt: Destobecher sind gegenüber bedruckten Bechern ökologisch vorteilhaft. Große Verpackungseinheiten (500-Gramm-Becher, Industrieware) sind ökologisch vorteilhaft gegenüber handelsüblichen Portionsbechern mit 100 - 200 Gramm Inhalt. Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn aufwendige Sekundärverpackungen eingespart werden können, die bei Joghurt einen hohen Anteil am Gesamt-Verpackungsaufwand ausmachen (hier: 36 - 71 % je nach Umweltwirkungskategorie und Bechertyp).

Schnittkäse: eine einfache Folienverpackung oder die Verpackung in Käsepapier an einer Käsetheke ist gegenüber einer Tiefziehverpackung deutlich vorteilhafter.

Trockenmilcherzeugnisse: Trockenmilcherzeugnisse sollten idealerweise als unverpackte Bulkware im Silozug oder in BigBags verkauft werden, soweit die jeweiligen Bestellmengen dies zulassen.

7.3.5 Rezepturen

Die Umweltbilanz von Milchprodukten lässt sich weiter optimieren, indem Zusatzstoffe gewählt werden, die mit einer geringen Umweltlast verbunden sind. Dies betrifft vor allem Joghurt, da hier größere Mengen Zusätze verwendet werden: Trockenmilcherzeugnisse zur Trockenmasseerhöhung, Kulturzusätze, sowie bei Fruchtjoghurt zusätzlich Zucker und Fruchtmus. Die größte Umweltlast ist mit dem Zusatz von Milchtrockenprodukten verbunden (Abb. 32).

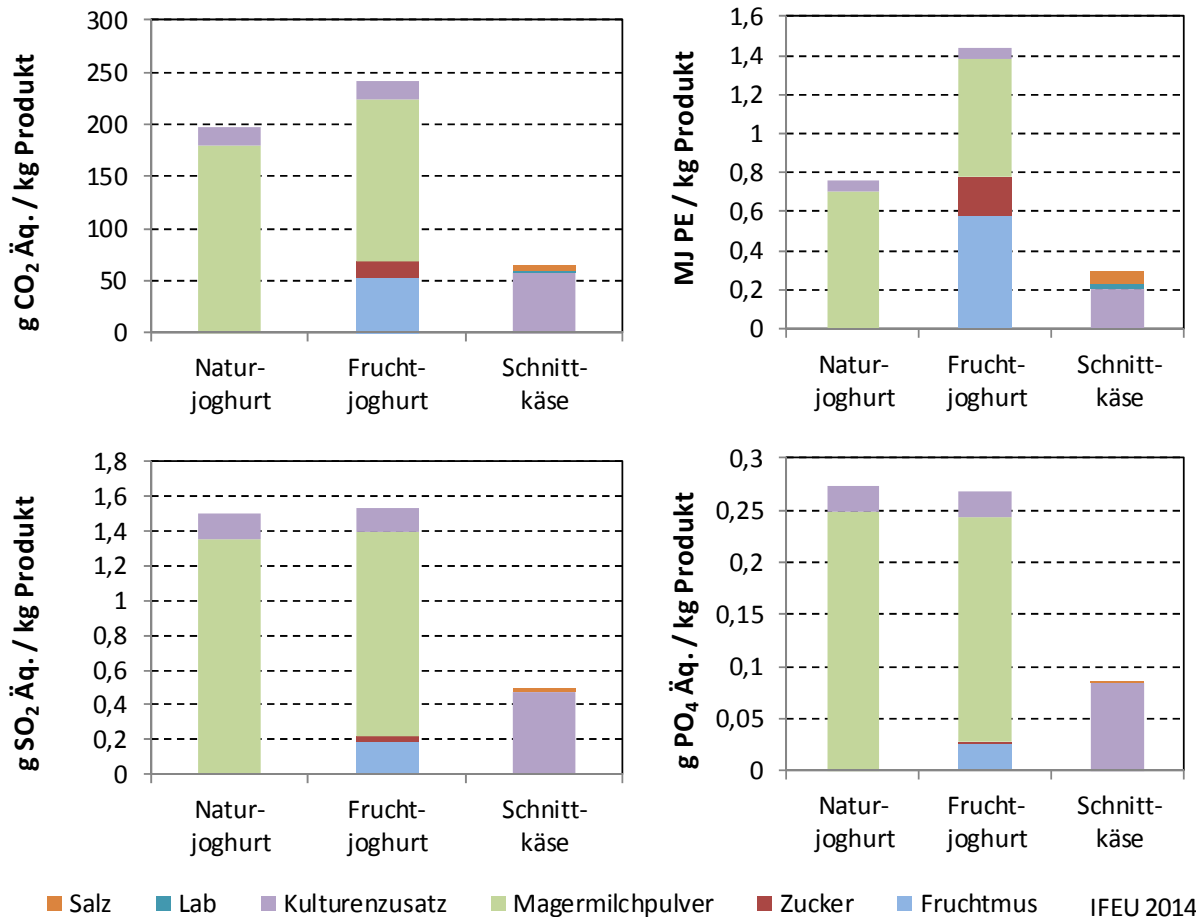


Abb. 32: Umweltbilanz der Zusatzstoffe zu den Standard Produktvarianten Naturjoghurt, Fruchtjoghurt und Schnittkäse bezogen auf 1 kg Endprodukt.

Folgende Punkte bieten Optimierungspotenziale:

- Zusatz von Trockenmilcherzeugnissen:** In vielen Molkereien wird bei der Herstellung von Natur- und Fruchtjoghurts Magermilchpulver oder Molkenprotein zugegeben. Milch-trockenprodukte haben eine hohe Umweltlast. Würde auf den Zusatz verzichtet, würde sich die Umweltbilanz des Joghurts verbessern (um etwa 5 %). Sofern auf die Zugabe von Milchtrockenprodukten nicht verzichtet werden kann, sollte auf die Verwendung eines effizienten Trockenturms für die Herstellung des Trockenproduktes geachtet werden (siehe Kapitel 7.3.2).
- Zucker- und Fruchtzusätze:** die Bereitstellung von Zucker- und Fruchtzusätzen ist ursächlich für etwa 20 % des Primärenergieaufwandes für den Lebenswegabschnitt „Molkerei“ der Produktlinie „Fruchtjoghurt“. In den übrigen drei untersuchten Wirkungskategorien beträgt der Anteil 5 - 10 %. Zucker- und Fruchtproduktion sind als landwirtschaftliche Produkte außerdem mit einer Reihe weiterer Umweltwirkungen verbunden. Dazu zählen insbesondere der Flächenbedarf, die Qualität der Flächennutzung und damit zusammenhängend direkte Auswirkungen auf die Biodiversität. Ferner treten auch im Zuckeraanbau und in der Fruchtproduktion Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelausträge auf, die Gewässerökosysteme belasten und sich direkt negativ auf die umgebende Artenvielfalt

auswirken. Bei Zusatzstoffen landwirtschaftlichen Ursprungs sollte also ebenso wie bei der bezogenen Milch auf umweltgerechte Erzeugung geachtet werden. Die Relevanz für die Gesamtbilanz ist aufgrund des geringeren Anteils am Endprodukt jedoch geringer als die Relevanz umweltgerechter Milcherzeugung.

Die Relevanz der Kulturzusätze für die Ökobilanz ist demgegenüber geringer (bis zu 5 % des Primärenergieaufwandes und der treibhausgasrelevanten Emissionen aus dem Lebenswegabschnitt „Molkerei“). Die verwendeten Datensätze für gefriergetrocknete Starterkulturen, Zucker und Fruchtmus entstammen Ökobilanzdatenbanken. Die große Vielfalt möglicher Produktionsweisen konnte im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden. Vor ökologischen Optimierungsmaßnahmen empfiehlt sich daher eine vertiefte Untersuchung.

7.3.6 Reinigung

Der Bedarf an Reinigungsmitteln ist in der Regel nur gesamtbetrieblich erfasst und kann schwer einzelnen Produktlinien zugeordnet werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde der Gesamtreinigungsmittelbedarf der Betriebe nach dem Anteil der verarbeiteten Milchmenge auf die Produktlinien alloziert. Der Beitrag zur Gesamtbilanz in den vier untersuchten Wirkungskategorien ist gering. Einzig im Lebensweg „Trinkmilch“ mit vergleichsweise geringen Gesamtaufwendungen fallen die Reinigungsmittel mit bis zu 10 % an der Gesamtbilanz ins Gewicht.

Die Reinigung hat jedoch einen bedeutenden Einfluss auf andere umweltrelevante Größen, die in dieser Studie nicht vertieft analysiert werden konnten: In den meisten Molkereibetrieben haben sich Cleaning-In-Place-Anlagen (CIP) als Standard etabliert. Da der Wasserbedarf der CIP-Anlage typischerweise etwa 50 % des gesamten Wasserbedarfs ausmacht /Carbon Trust 2011/, /Prasad et al. 2004/, bestehen in diesem Bereich – in Ergänzung zu Kapitel 7.3.3 – große **Wassereinspar- und Wiederverwendungspotenziale**:

- Zwischenlagerung und Mehrfachverwendung des Spülwassers.
- Periodische anstelle von konstanter Wasserzufuhr während des Spülvorgangs.
- Sofern Umkehrosmoseanlagen zur Wasseraufbereitung betrieben werden und das abzuführende Wasser von hinreichender Qualität ist, kann es der CIP-Anlage zugeführt werden /Brush et al. 2011/.
- Rückführung von verwendetem Spülwasser durch Lagerung in „Stapel-Tanks“. Neben den Reinigungsmitteln wird auch thermische Energie zurückgewonnen /VDM 2008/.
- Optimierte Erkennung der Wiederverwendbarkeit von benutzter Spüllösung durch Messung der Leitfähigkeit und der Trübung /Environment Agency 2009/.

Ökologische Risiken für den Fall, dass größere Mengen Reinigungsmittel durch einen Unfall in die Umwelt gelangen, sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

7.3.7 Vermeidung von Milchverlusten

Milch ist ein hochwertiges Produkt, das mit einer relativ hohen Umweltlast verbunden ist. Verluste von Milch und Milchprodukten entlang der Nahrungskette wirken sich daher stark auf die Umweltbilanz aus: die Umweltlasten für die Erzeugung von Produktanteilen, die nicht



verzehrt werden, sondern entlang der Wertschöpfungskette verloren gehen, werden dem konsumierten Endprodukt zugerechnet. Wenn also entlang der Wertschöpfungskette 10 % der Milch verloren gehen, wurden je Liter konsumierter Milch 111 Milliliter Milch umsonst produziert, und entsprechend sind die Umweltlasten für die Milcherzeugung um 11 % höher als bei einer Wertschöpfungskette ohne Verluste. Die höchsten Verluste entlang der Wertschöpfungskette treten beim Endkunden auf (siehe Kapitel 12.3 im Anhang). Molkereibetriebe können zur Verringerung der Verluste beim Endkunden beitragen durch:

- Bedarfsangepasste Verpackungsgrößen.
- Lange Haltbarkeit.
- Information über die Bedeutung des Mindesthaltbarkeitsdatums.
- Vermeidung von Werbemaßnahmen, die zu übermäßigem Einkauf motivieren.

In Molkereibetrieben selbst können Verluste vor allem vermieden werden durch:

- Vermeidung von Fehlern im Herstellungsprozess (fehlerhafte Packungen, die aussortiert werden, Verschüttungen).
- Nachfrageoptimierte Produktion /Kranert et al. 2012/.

8 Umweltwirkungen der Distribution

8.1 Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen

Die Distributionsaufwendungen umfassen bei Milchprodukten für den Endverbraucher (Schnittkäse in 200-Gramm-Verpackung, Joghurt und Trinkmilch) die Lieferung an den Großhandel, Lagerung im Großhandel, Lieferung an den Einzelhandel und Lagerung im Einzelhandel (Tab. 15). Bei Produkten für die industrielle Verwendung (Schnittkäse im 15-Kilogramm-Euroblock, Trockenmilcherzeugnisse) wurde nur die Distribution an den Industriekunden berücksichtigt, aber nicht mehr der weitere Lebensweg. Diese Distribution zum Industriekunden verursacht selbst bei weiten Transportaufwendungen in der Regel weniger als 2 % der Gesamtaufwendungen. Optimierungspotenziale für die Distribution an Industriekunden werden daher hier nicht untersucht.

Anders sieht es bei Produkten für den Endverbraucher aus. Bei diesen Produkten tragen die Distributionsaufwendungen erheblich zur Gesamtumweltlast in den Kategorien Treibhausgasbilanz und Primärenergiebedarf bei und es bestehen erhebliche Bandbreiten zwischen den betrachteten Best-Case- und Worst-Case-Szenarien (Abb. 33 - Abb. 36). Am größten ist die Bandbreite bei Joghurt (Abb. 35). Dies liegt an der geringen Lagerungsdichte der Becher, wodurch verhältnismäßig große Transportraum- und Kühlraumvolumina je Mengeneinheit benötigt werden. Ineffiziente Kühl- und Logistiksysteme schlagen hier besonders stark zu Buche. Für Trinkmilch gilt, dass die Umweltlasten des Lebenswegabschnittes „Distribution“ jeweils etwa zur Hälfte der Lagerung und Kühlung im Einzelhandel und den Transporten zuzuordnen sind (Abb. 37). Bei Joghurt und Schnittkäse hingegen sind die mit der Lagerung und Kühlung im Einzelhandel verbundenen Umweltlasten dominant (Abb. 38 - Abb. 39). Lageraufwendungen im Großhandel fallen wegen der kurzen Umschlagszeiten und der effizienten Kühltechniken nicht ins Gewicht (Abb. 37 - Abb. 39).

Wegen des hohen Anteils der Kühlaufwendungen an der Gesamtbilanz dieses Abschnittes haben nicht gekühlte Produkte in diesem Lebenswegabschnitt die deutlich bessere Umweltbilanz: Die Distribution von UHT-Milch verursacht bei vergleichbaren Entfernungen nur ungefähr die Hälfte der Umweltlasten, die bei einer typischen Distribution von ESL-Milch anfallen (Abb. 34).

Tab. 15: Übersicht über die Distributionsszenarien.

	Best Case	Typisch	Worst Case
Entfernung zwischen Molkerei und Großhandel bzw. Industriekunden [km]	0 - 150	150 - 300	> 450
Entfernung zwischen Großhandel und Einzelhandel [km]	0 - 100	100 - 250	> 250
Dauer der gekühlten Lagerung im Supermarkt [d]	0 - 2	2 - 5	> 5
Strombedarf zur Kühlung im Supermarkt [kWh / m ¹ *d]	< 10	10 - 15	> 15
Verluste im Supermarkt [%]	ca. 1	ca. 1,5	ca. 2

¹: Regalmeter der Kühltheke im Supermarkt

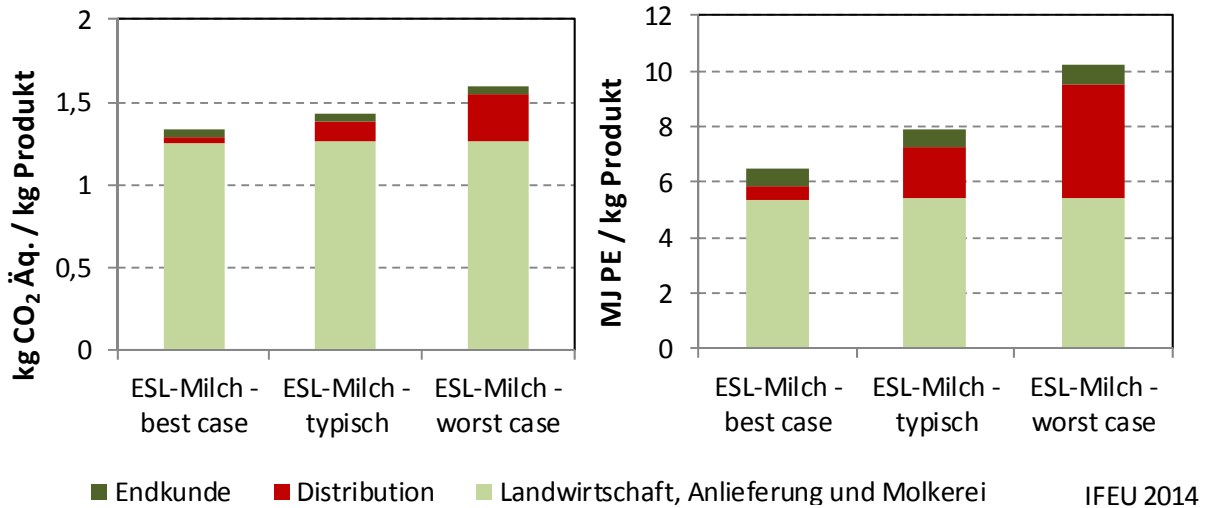


Abb. 33: Auswirkungen verschiedener Distributionsszenarien auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von ESL-Milch (3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

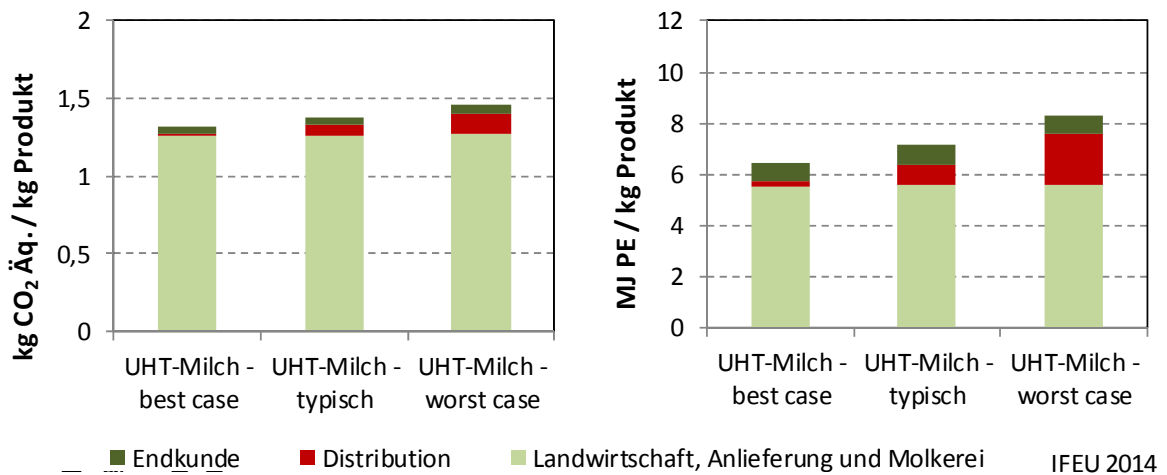


Abb. 34: Auswirkungen verschiedener Distributionsszenarien auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von UHT-Milch (3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

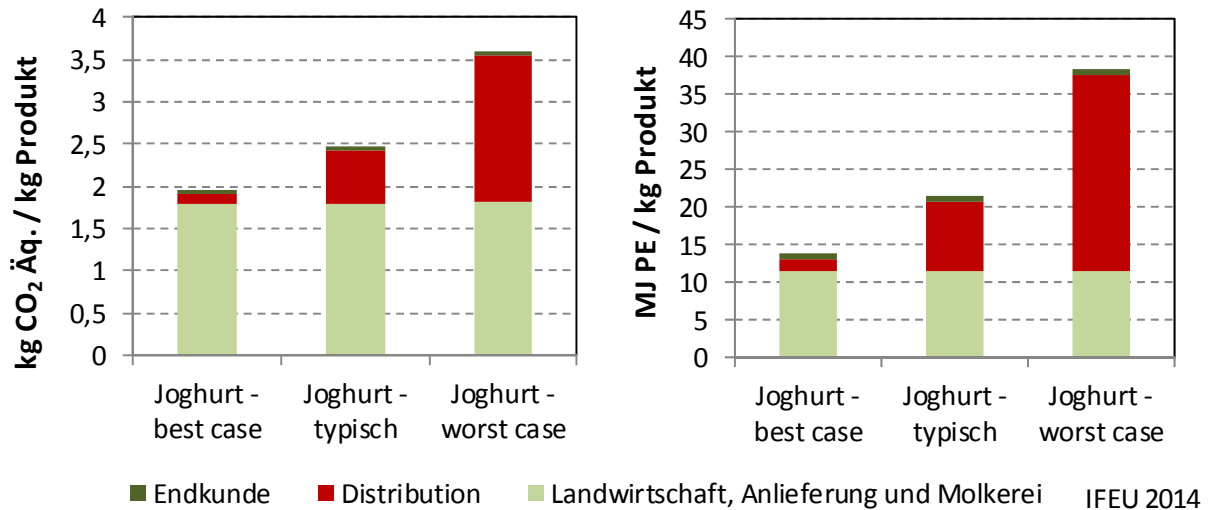


Abb. 35: Auswirkungen verschiedener Distributionsszenarien auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Joghurt (Naturjoghurt, 3,5% Fett, 150 g-Becher).

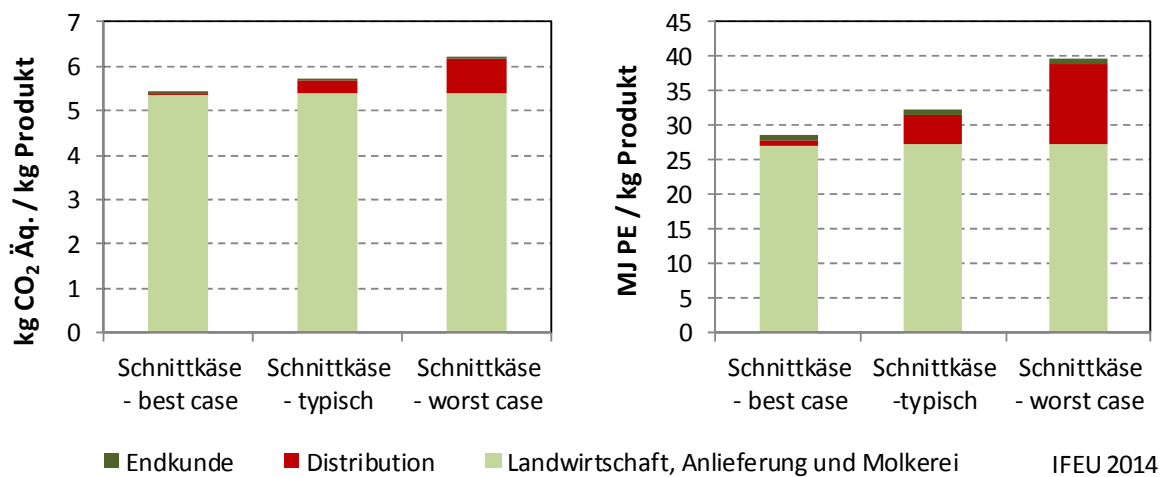


Abb. 36: Auswirkungen verschiedener Distributionsszenarien auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Schnittkäse (200 g in Scheiben, Tiefziehverpackung).

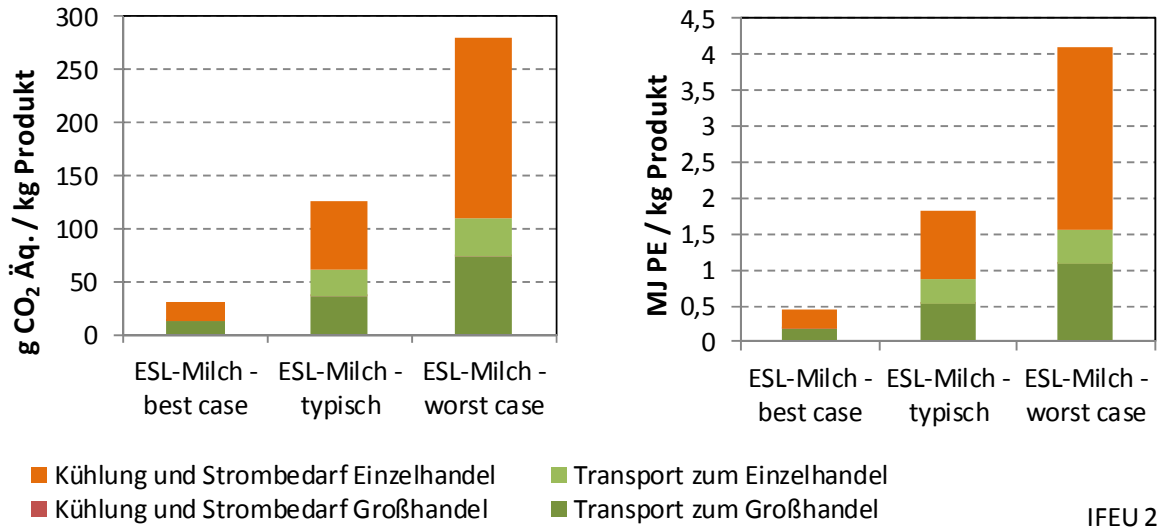


Abb. 37: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand der Distribution von Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung), aufgeschlüsselt nach Teilabschnitten des Lebenswegabschnittes „Distribution“.

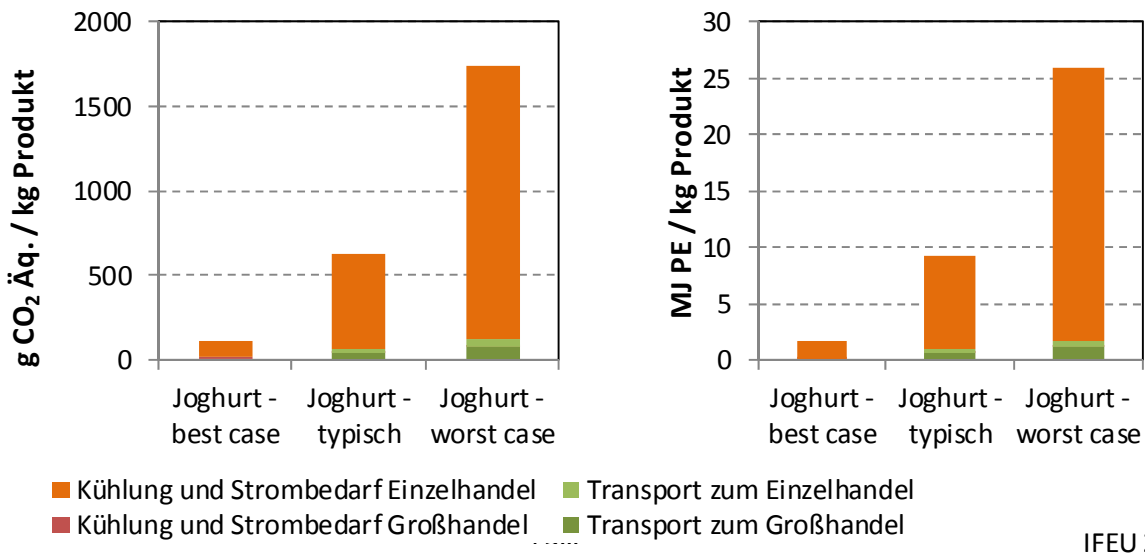


Abb. 38: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand der Distribution von Joghurt (Naturjoghurt, 3,5% Fett, 150g-Becher), aufgeschlüsselt nach Teilabschnitten des Lebenswegabschnittes „Distribution“.

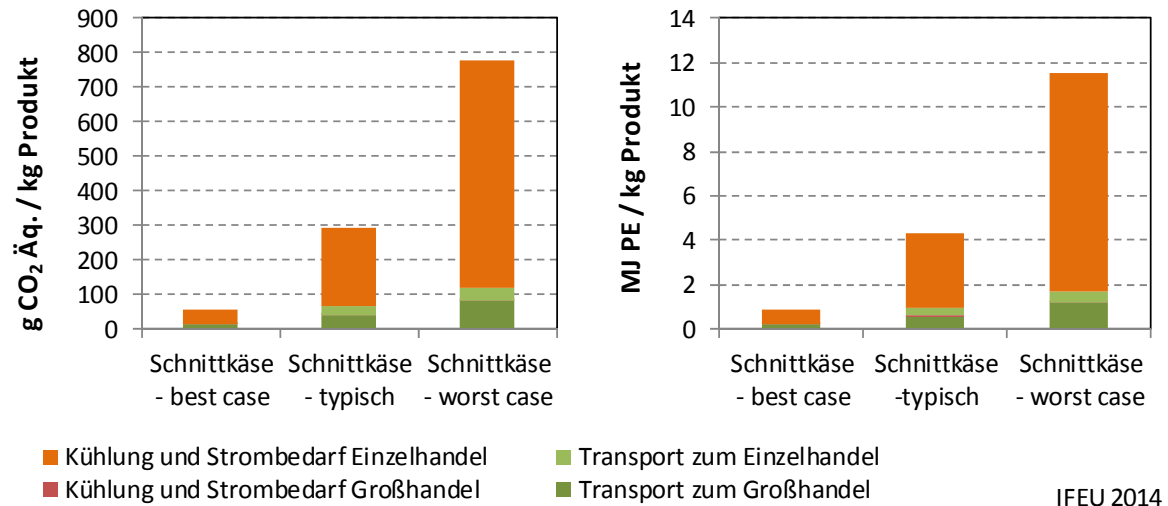


Abb. 39: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand der Distribution von Schnittkäse (200g in Scheiben, Tiefziehverpackung), aufgeschlüsselt nach Teilabschnitten des Lebenswegabschnittes „Distribution“.

8.2 Optimierungspotenziale

Folgende Optimierungspotenziale bestehen, die Umweltlasten der Distribution zu reduzieren:

- Reduktion der Transportaufwendungen:
 - Reduzierung der Fahrstrecken durch möglichst effiziente Planung und Logistik.
 - Einsatz von Kfz mit geringem Treibstoffbedarf.
 - Reduzierung der Fahrstrecken durch Direktvertrieb an den Einzelhandel.
- Reduzierung der Aufwendungen für die Kühlung und Lagerung im Einzelhandel:
 - Ersatz offener durch geschlossene Kühlregale: soweit noch offene Kühlregale im Einsatz sind, besteht hier das größte Optimierungspotenzial.
 - Ersatz veralteter durch moderne, energieeffizientere Kälteanlagen.
 - Vertrieb von Produkten, die nicht gekühlt werden müssen (UHT statt ESL-Milch). Dies gilt nur, solange die dadurch notwendigen höheren Produktions- und Verpackungsaufwendungen die eingesparten Energie- und Kühlmittelaufwendungen nicht übersteigen.
 - Einsatz umweltfreundlicher Kühlmittel: CO₂ und Propan sind mit geringeren Umweltlasten verbunden als R-Kühlmittel und Ammoniak.
 - Auf geeignete Transporttemperatur achten und Überkühlung vermeiden.

Der Lebenswegabschnitt „Distribution“ hat einen wesentlichen Anteil an den Umweltlasten von Milch und Milchprodukten. Wegen der in der Regel weiteren Transportentfernungen und vor allem wegen der hohen Aufwendungen für die Kühlung im Einzelhandel fällt dieser Lebenswegabschnitt deutlich stärker ins Gewicht als die Anlieferung. Lokale Vertriebsstrukturen und effiziente Kühltechniken im Einzelhandel sind daher ein wesentlicher Beitrag zur ökologischen Optimierung der Bereitstellung von Milcherzeugnissen.

9 Umweltwirkungen des Konsumentenverhaltens

9.1 Status quo, Relevanz und wichtigste Einflussgrößen

Das Verbraucherverhalten hat einen hohen Einfluss auf die Gesamt-Umweltbilanz von Milchprodukten: zwischen Best-Case- und Worst-Case-Szenarien gibt es eine große Bandbreite (Abb. 40 - Abb. 42). Die hier gewählten Worst-Case-Szenarien zeigen bis zu 20-fach höhere Emissionen bzw. Aufwendungen im Lebenswegabschnitt „Einkaufsfahrt“ und etwa 30-fache Aufwendungen im Abschnitt „Lagerung im Haushalt“ (Abb. 43 - Abb. 45).

Der Worst Case des Verbraucherverhaltens verschlechtert zum Beispiel die Treibhausgasbilanz von ESL-Trinkmilch gegenüber dem typischen Szenario um etwa 85 %, bei der Energiebilanz sind es sogar ca. 200 % (Abb. 40). Landen beim Endkunden größere Produktmengen im Abfall, müssen größere Produktmengen bezogen werden, um den gleichen Nutzen (hier: Konsum) zu erzielen. Oder anders gesagt: Die Umweltlasten entlang des gesamten Lebenswegs müssen auf eine geringere Produktmenge bezogen werden und steigen daher an (Abb. 40 - Abb. 42). Die gewählten Szenarien geben nur Anhaltswerte. Die zugrunde liegenden zentralen Parameter sind in Tab. 16 aufgeführt.

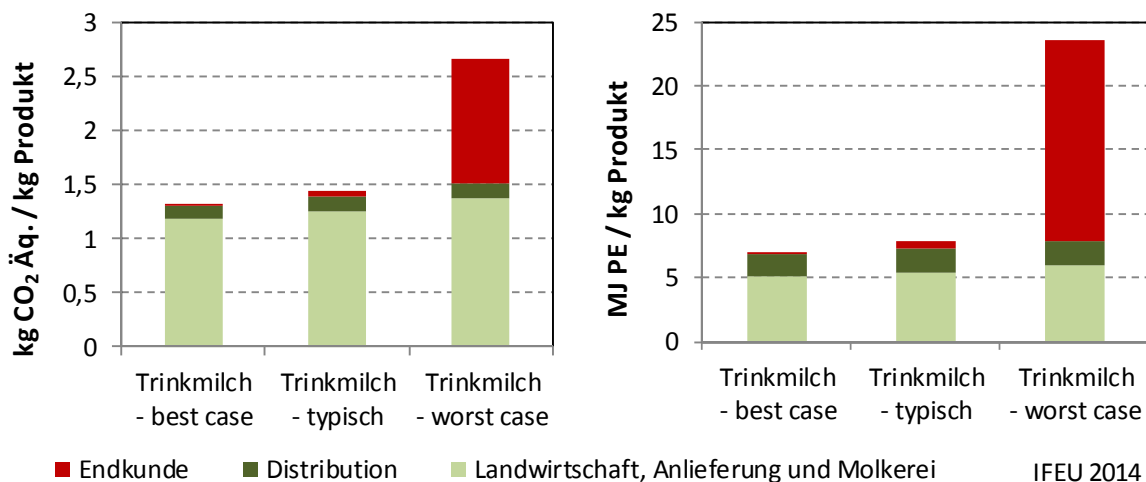


Abb. 40: Auswirkungen verschiedener Szenarien des Verbraucherverhaltens auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

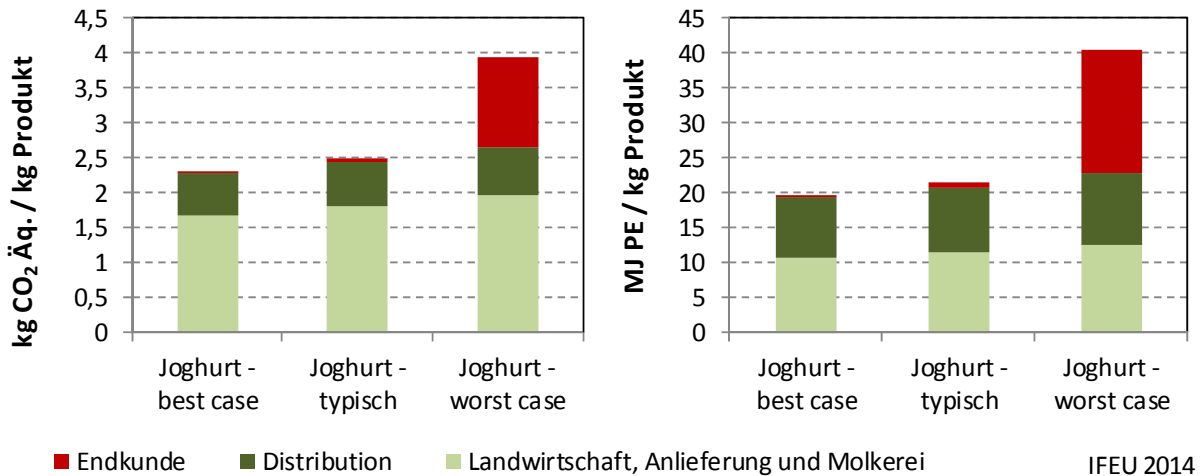


Abb. 41: Auswirkungen verschiedener Szenarien des Verbraucherverhaltens auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Joghurt.

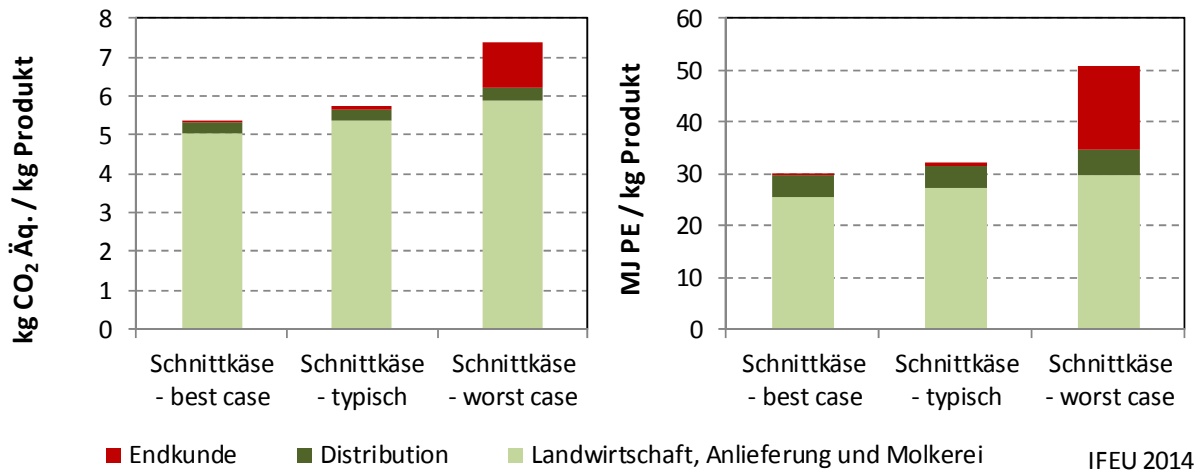


Abb. 42: Auswirkungen verschiedener Szenarien des Verbraucherverhaltens auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Schnittkäse.

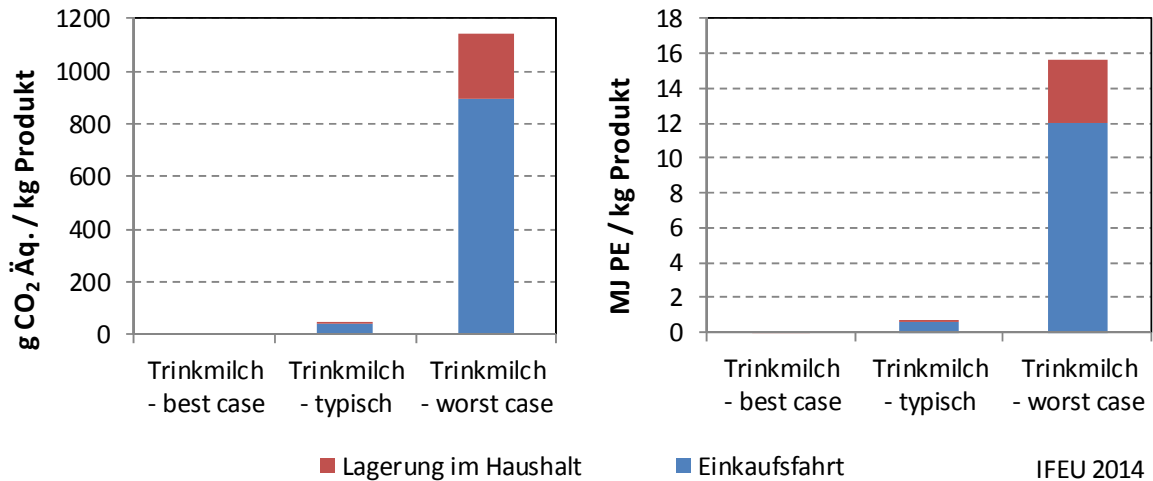


Abb. 43: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand des Verbraucherverhaltens beim Einkauf und der Lagerung von Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

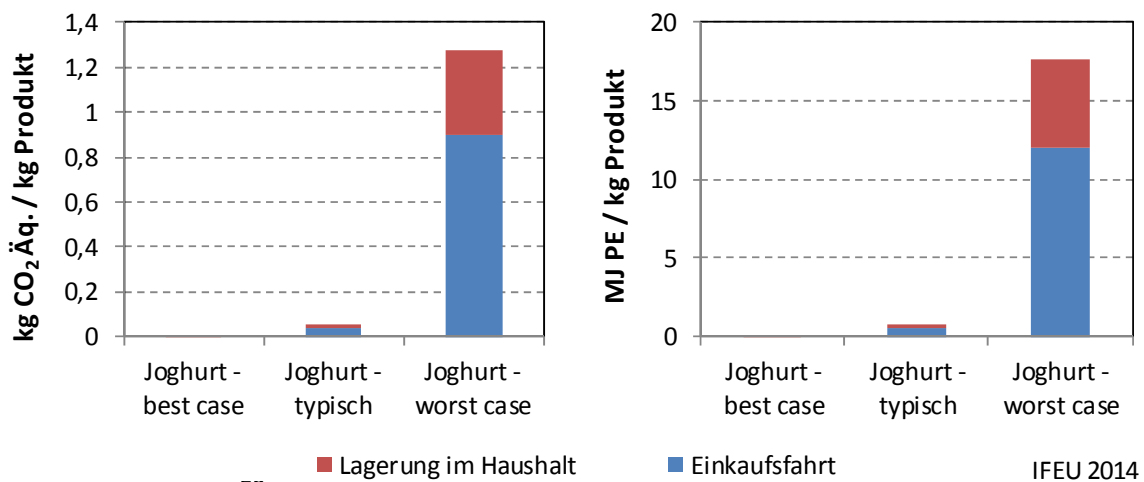


Abb. 44: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand des Verbraucherverhaltens beim Einkauf und der Lagerung von Joghurt (Naturjoghurt, 3,5% Fett, 150 g-Becher, bedruckt).

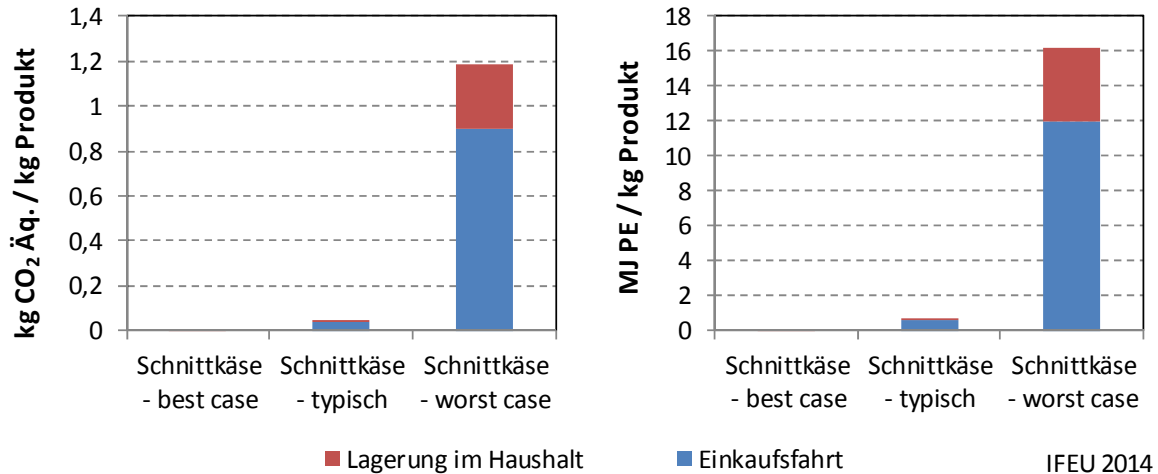


Abb. 45: Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand des Verbraucherverhaltens beim Einkauf und der Lagerung von Schnittkäse (200 g in Scheiben, Tiefziehverpackung).

Tab. 16: Kenndaten der Szenarien des Verbraucherverhaltens.

	Einheit	Best Case	Typisch	Worst Case
Einkaufsfahrt				
Verkehrsmittel		Zu Fuß / Fahrrad	Auto	Auto
Menge eingekaufter Ware	kg	5	20	1
Lagerung im Haushalt				
Strombedarf Kühlung der Milchprodukte	Wh / L*d	0,75	2,9	82
Abfallquote	%	1	7	15

9.2 Optimierungspotenziale

Verbraucher haben einen hohen Einfluss auf die Umweltbilanz der von ihnen konsumierten Produkte. Die größten Beiträge zur Verbesserung der Umweltbilanz des Konsums von Milchprodukten werden durch folgendes Verbraucherverhalten erzielt:

- **Vermeidung von Abfällen:** im Mittel landen etwa 7 % eingekaufter Molkereiprodukte im Abfall (siehe Kapitel 12.3 im Anhang). Würde nur noch 1 % weggeworfen, wäre die Gesamtbilanz der konsumierten Milchprodukte 6 % besser.
- **Großeinkauf statt Extrafahrt für eine vergessene Tüte Milch:** Zusätzliche Autofahrten für wenig eingekaufte Ware sollten unbedingt vermieden werden, da sich die Umweltbilanz der Produkte dadurch drastisch verschlechtert. Im Standardfall wurde angenommen, dass die Milchprodukte im Rahmen eines Großeinkaufes von 20 Kilogramm Ware mit dem PKW eingekauft werden (5 km Fahrstrecke). Wird stattdessen nur 1 Kilogramm Ware eingekauft, ist die Umweltlast des Transports im PKW 20-fach höher und die Treibhausgasemissionen alleine aus dieser Autofahrt entsprechen schon 60 % der Emissionen aus der Milcherzeugung.



- **Einkauf mit dem Fahrrad oder zu Fuß:** Wer mit dem Fahrrad oder zu Fuß einkauft, verursacht praktisch keine zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Wer öffentliche Verkehrsmittel benutzt, verringert die Emissionen im Vergleich zur Autofahrt deutlich. Der PKW sollte also nur dann verwendet werden, wenn keine zusätzlichen Fahrstrecken anfallen (zum Beispiel bei einem Zwischenstopp auf der Heimfahrt von der Arbeit) oder Großeinkäufe getätigt werden.
- **Energiesparender Kühlschrank passender Größe:** Durch die Umstellung auf einen energieeffizienten Kühlschrank passender Größe (sodass eine gute Auslastung erreicht wird) kann die Energiebilanz der Milchprodukte deutlich verbessert werden (bis zu etwa 5 %). Beim Kauf eines neuen Kühlschranks sollte daher auf die Energieeffizienzklasse geachtet werden (möglichst: A+++, mindestens A). Dabei sollte der Kühlschrank auch nicht zu groß gekauft werden, denn: die Energieeffizienzklasse bezieht sich auf den Energieverbrauch je Volumeneinheit. Große Kühlschränke verbrauchen mehr Strom als kleine und zwar unter Umständen selbst dann, wenn die Energieeffizienzklasse des größeren Kühlschranks besser ist. Allerdings: der kleine Kühlschrank sollte nicht mit häufigeren motorisierten Einkaufsfahrten verbunden werden.

Der Lebenswegabschnitt „Konsumentenverhalten“ hat einen wesentlichen Anteil an den Umweltlasten von Milch und Milchprodukten. Insbesondere zusätzliche PKW-Fahrten zum Einkauf geringer Mengen Lebensmittel verschlechtern die Umweltbilanz sehr stark und fallen deutlich mehr ins Gewicht als regionale Anlieferungs- und Distributionsstrukturen. Der Verbraucher trägt also eine Mitverantwortung für eine umweltgerechte Lebensmittelbereitstellung. Zur Optimierung der Umweltbilanz sollten Verbraucher neben der Vermeidung zusätzlicher PKW-Fahrten auf geringe Abfallquoten und energieeffiziente und nicht zu große Kühlschränke achten.

10 Zusammenführung

Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse des Projektes zusammengeführt, die wichtigsten Optimierungsstrategien benannt und Empfehlungen für die Kommunikation der Umweltbilanz von Milchprodukten gegeben.

Zentrale Ergebnisse

- **Beitrag der untersuchten Milchprodukte zur Gesamtumweltbelastung in Deutschland:** Der Konsum der untersuchten Milchprodukte²⁰ trägt in Deutschland zu etwa 3 % der Treibhausgasemissionen, 1 % des Primärenergiebedarfs, 6,5 % der versauernden Luftschadstoffe und 8,5 % der terrestrischen Eutrophierung bei. Der Beitrag ist damit relevant, aber angesichts der Tatsache, dass es sich um hochwertige Nahrungsmittel handelt, nicht besonders hoch. Optimierungen in der Produktion fallen im Hinblick auf die Treibhausgaseminderungsziele in Deutschland nur wenig ins Gewicht.
- **Geringe CO₂-Emissionen im internationalen Vergleich:** Die Treibhausgasbilanz von Milch aus deutscher Produktion ist vergleichsweise niedrig und liegt deutlich unter dem von der FAO ermittelten globalen Durchschnitt.
- **Veränderung der Umweltbilanz in den letzten 20 Jahren:** In den letzten 20 Jahren hat sich die Umweltbilanz von Milchprodukten in den betrachteten Umweltwirkungskategorien deutlich verbessert. Der Energiebedarf der Molkereien je Tonne verarbeiteter Milchmenge sank um etwa 16 %. Die Treibhausgasemissionen der Milcherzeugung sanken um etwa 20 % je Tonne Milch, die eutrophierenden und versauernden Emissionen sogar um fast 30 %; diese Verbesserungen der Umweltbilanz in der Produktion sind vor allem auf höhere Einzeltierleistungen zurück zu führen.
- **Verlagerung der Milchproduktion vom Grünland auf den Acker:** Mit steigenden Einzeltierleistungen erfolgte eine Verlagerung der Futtermittelproduktion vom Grünland auf den Acker. Die je Liter Milch genutzte Grünlandfläche sank um fast die Hälfte, während sich der Ackerflächenbedarf für die Milcherzeugung im Inland um etwa ein Drittel und für Importfuttermittel sogar um über 120 % erhöht hat. Diese Verlagerung ist aus Umweltsicht kritisch zu bewerten: zum einen werden ökologisch hochwertige Grünlandflächen in Ackerland umgewandelt, was sich negativ auf die heimische Artenvielfalt, den Wasserhaushalt und den Bodenschutz auswirkt. Zum anderen kann es durch die zunehmende Nachfrage nach Ackerland zu Landnutzungsänderungen in den Soja-Produktionsregionen (insbesondere Lateinamerika) kommen; mit bedeutenden negativen ökologischen Folgewirkungen für dortige natürliche Ökosysteme. Ferner kommt es durch Landnutzungsänderungen zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen, die die Einsparungen durch verbesserte Einzeltierleistungen aufwie-

²⁰ Trinkmilch, Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse.



gen oder sogar übersteigen können. Außerdem ist der Weidegang von Milchkühen im Zuge immer größer werdender Herden und immer höherer Leistungsniveaus deutlich zurückgegangen.

- **Relevanz der Anlieferentfernung:** Die Lieferentfernungen zwischen Milcherzeugern und Verarbeitern haben entgegen landläufiger Annahmen nur eine geringe Bedeutung für die Umweltbilanz von Milch und Milcherzeugnissen. Ob Milch lokal oder überregional verarbeitet wird, ändert die Umweltbilanz nur um wenige Prozentpunkte (unter 5 % in der Treibhausgasbilanz).
- **Anteil der Milchverarbeitung an der Gesamtumweltbilanz:** Die Milchverarbeitung trägt bei typischen Produktionsverfahren je nach Milchprodukt etwa 5 - 25 % zu den Treibhausgasemissionen und 15 - 40 % zum Primärenergiebedarf je Kilogramm Produkt bei²¹. Für die übrigen Umweltwirkungen (eutrophierende und versauernde Emissionen, Flächenbedarf) ist die Milchverarbeitung kaum von Bedeutung.
- **Einsparpotenziale in den Molkereien:** Strom- und Wärmebereitstellung sowie Strom- und Wärmebedarf sind die wichtigsten Stellgrößen für die Optimierung der Treibhausgasbilanz und des Energiebedarfs in Molkereien. Handlungsoptionen bestehen u. a. in der Wahl des Brennstoffs, der Installation effizienter Energieerzeugungs- und verteilungsanlagen und der Erschließung der produktlinien- und prozessspezifischen Energieeffizienzpotenziale (z. B. durch optimale Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisierung). Würde man bspw. eine mit fossilen Kraftstoffen betriebene Energieerzeugungsanlage durch eine wärmegeführte, mit Holzhackschnitzeln betriebene KWK-Anlage substituieren, können die mit der Wärmebereitstellung verbundenen Treibhausgasemissionen um bis zu 95 % reduziert werden.
- **Milchverluste entlang der Wertschöpfungskette:** Da die Erzeugung von Milch mit hohen Umweltlasten verbunden ist, verschlechtern Milch- und Produktverluste entlang der Wertschöpfungskette die Umweltbilanzen der konsumierten Produkte deutlich. Die höchsten Verluste entstehen beim Endkunden, gefolgt vom Einzelhandel.
- **Hohe Relevanz der Distribution für die Gesamtumweltbilanz in den Kategorien Primärenergiebedarf und Treibhauseffekt:** Die Distribution der Milchprodukte ist zwar nicht ganz so relevant wie die Milchverarbeitung, aber immer noch deutlich relevanter für die Umweltbilanz von Milchprodukten als die Anlieferung. Hohe Einsparpotenziale bestehen vor allem bei der Kühlung im Einzelhandel.
- **Hohe Relevanz des Verbraucherverhaltens:** Verbraucher haben vor allem mit ihrem Einkaufsverhalten hohen Einfluss auf die Umweltbilanz der von ihnen konsumierten Produkte. Eine Fahrt mit dem PKW nur für einen Liter Milch kann die Treibhausgasbilanz um mehr als 50 % verschlechtern. Wird außerdem nur ein Teil der Milch wirklich konsumiert und ein Teil verdirbt, verschlechtert sich die Bilanz noch einmal um den Anteil verdorbener Milchprodukte.

²¹ Dabei liegt Trinkmilch im unteren Bereich des Ergebnisspektrums, während Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse im mittleren bis oberen Bereich des Ergebnisspektrums liegen.

Die wichtigsten Optimierungsstrategien

- **Milcherzeugung aus Grünland fördern:** Milcherzeugung aus Grünland hat gegenüber der Milcherzeugung mit Ackerfuttermitteln vielfältige ökologische Vorteile. Grünland hat einen deutlich höheren ökologischen Wert und es bestehen wenig Nutzungsalternativen. Während Getreide und Sojaprodukte auch direkt zur menschlichen Ernährung verwendet werden können, kann Grünlandaufwuchs nur durch Wiederkäuerhaltung zur Lebensmittelerzeugung verwendet werden. Durch die Verlagerung der Milcherzeugung von Grünland auf den Acker sinkt folglich die Nutzungseffizienz der zunehmend knappen Ressource „landwirtschaftliche Nutzfläche“. Molkereibetriebe sollten daher idealerweise die Milcherzeugung aus Grünland bei möglichst guten Grundfutterleistungen fördern (z. B. durch kostenlose oder kostengünstige Beratungsangebote zur Steigerung der Grundfutterleistung und durch Weidemilchprojekte, bei denen Landwirten für Weidemilch ein höherer Preis gezahlt wird). Weidegang ist zudem eine kostengünstige und tiergerechte Weise der Rinderfütterung auf Grünland.
- **Verbesserung der Energieeffizienz in Molkereibetrieben:** Die Verbesserung der Energieeffizienz in Molkereianlagen durch Energiemanagementsysteme und energetisch optimierte Verarbeitungsanlagen sowie die Installation von KWK-Anlagen können die Umweltbelastung durch die Milchverarbeitung deutlich senken und zudem auch wirtschaftliche Vorteile bieten, da Energiekosten langfristig gesenkt werden können. Die Umstellung auf regenerative Energieträger bringt weitere deutliche Vorteile in den Umweltwirkungskategorien Treibhausgasbilanz und Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Quellen.
- **Vermeidung von Milchverlusten entlang der Wertschöpfungskette:** Die Milchverluste in Molkereien selbst sind recht gering, aber in der Distribution und beim Endverbraucher treten teils noch erhebliche Verluste auf, die die Umwelt unnötig belasten. Molkereiunternehmen können durch gute Haltbarkeit der Produkte, Information der Kunden über die Bedeutung des Mindesthaltbarkeitsdatums sowie möglichst bedarfsgerechte Logistikketten zwischen Verarbeitern und Einzelhandel dazu beitragen, die Verluste weiter zu senken.
- **Übernahme von Verantwortung für die gesamthafte Optimierung der Wertschöpfungskette:** Molkereibetriebe haben eine Schlüsselstelle innerhalb der Wertschöpfungskette Milch. Während es eine Vielzahl von Landwirten und noch mehr Kunden von Milcherzeugnissen gibt, konzentriert sich die Verarbeitung auf wenige Unternehmen, die damit einen großen Einfluss auf die gesamte Branche haben. Molkereiunternehmen sollten die aus dieser Schlüsselstellung erwachsende Verantwortung ergreifen und sich für Verbesserungen nicht nur im eigenen Betrieb, sondern auch im vor- und nachgelagerten Bereich der Wertschöpfungskette stark machen. Dieser Bericht gibt dafür Anhaltspunkte.

Empfehlungen für die Kommunikation der Umweltbilanz von Milcherzeugnissen

Milchprodukte werden gegenwärtig in der Öffentlichkeit des Öfteren als ökologisch bedenklich wahrgenommen. Eine zentrale Rolle spielt dabei die hohe Treibhausgasbilanz von

Milchprodukten. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie werden folgende Empfehlungen für die Kommunikation der Umweltbilanz gegeben:

- **Geringe Umweltlast im internationalen Vergleich:** Milchprodukte aus deutscher Produktion weisen wegen der vergleichsweise hohen Effizienz von Produktion und Verarbeitung eine im internationalen Vergleich eher geringe Umweltlast auf.
- **Deutliche Verbesserung der Treibhausgasbilanz und deutliche Senkung des Primärenergiebedarfs in den vergangenen 20 Jahren:** In der viel diskutierten Umweltwirkungskategorie „Treibhausgasbilanz“ sowie im Primärenergiebedarf sind in den vergangenen 20 Jahren bereits deutliche Verbesserungen erzielt worden.
- **Treibhausgasbilanz ist nicht gleich Umweltbilanz:** Erstens sollte deutlich gemacht werden, dass die Treibhausgasbilanz nicht die einzige Umweltwirkung landwirtschaftlicher Produkte ist und zweitens dass andere Umweltwirkungen, zum Beispiel eutrophierende Emissionen, Flächenbedarf oder direkte Auswirkungen auf die Artenvielfalt sogar bedeutender für den Anteil von Milchprodukten an der Gesamtumweltlast in Deutschland sind.
- **Eine Optimierung der produktbezogenen Treibhausgasbilanz ist nicht gleichbedeutend mit der optimalen Nutzung der vorhandenen Ressourcen:** Auch wenn die Treibhausgasbilanz von Milch höher ist, als die von anderen Lebensmitteln, wie zum Beispiel Schweine- oder Geflügelfleisch, so hat die Rinderhaltung doch den Vorteil, dass hierdurch anderweitig nicht für die menschliche Ernährung nutzbare Grünlandflächen verwendet werden können.
- **Weitere Optimierungsmöglichkeiten in der Rohmilchproduktion sind begrenzt, wenn negative Effekte auf andere Umweltwirkungen und das Tierwohl vermieden werden sollen:** Milchprodukte haben eine hohe Treibhausgasbilanz, weil die Freisetzung des Treibhausgases Methan bei der Verdauung zur Natur von Wiederkäuern gehört. Die Optimierungsmöglichkeiten sind begrenzt, wenn negative Folgen für andere Umweltwirkungen (insbesondere: Umwandlung von Grünland und natürlicher Ökosysteme in Ackerland) vermieden werden sollen.
- **Geringe Relevanz der Regionalität von Verarbeitungsstrukturen:** Anlieferungs-entfernungen und auch Distributionsentfernungen spielen entgegen landläufigen Meinungen nur eine geringe Rolle für die Umweltbilanz von Milchprodukten. Überregionale Verarbeitungsstrukturen, wie sie sich in den vergangenen Jahren zunehmend etabliert haben, sind aus Umweltsicht sogar vorteilhaft, sofern sich dadurch Energieeinsparungsmöglichkeiten in der Verarbeitung ergeben. Größere und neuere Verarbeitungsanlagen weisen in der Regel eine höhere Energieeffizienz auf, da sich kostspieligere und neuere Techniken zur Energieeinsparung schneller rentieren.
- **Verantwortung des Verbrauchers:** Nicht nur die Molkereien, sondern auch die Verbraucher (und der Einzelhandel) haben einen wesentlichen Einfluss auf die Umweltbilanz der Erzeugung. Ein umweltgerechtes Konsumverhalten bedeutet nicht nur, beim Einkauf auf umweltgerecht erzeugte Produkte zu achten, sondern auch selbst Umweltbelastungen durch unnötige Autofahrten, unnötige Lebensmittelabfälle und unnötig lange Lagerung von gekühlten Lebensmitteln zu vermeiden. Eine ökologische Optimierung entlang der gesamten Prozesskette bedarf des Zusammenwirkens aller Akteure.

- Berücksichtigung des **ernährungsphysiologischen Wertes**: Mengenbezogene Umweltbilanzen berücksichtigen nicht den ernährungsphysiologischen Wert von Nahrungsmitteln. Der Vergleich verschiedener Nahrungsmittel im Hinblick auf eine umweltgerechte Bereitstellung wichtiger Nährstoffe war nicht Gegenstand dieser Studie. Nichtsdestotrotz ist festzuhalten, dass der Konsum von Milch eine effiziente Weise sein kann, bestimmte wertgebende Inhaltsstoffe für die menschliche Ernährung zu erschließen.

11 Referenzen

- /AGEB 2012/ AG Energiebilanzen e.V.: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2010/2011. <http://www.ag-energiebilanzen.de>. Abruf: 20.08.2012.
- /Arima et al. 2011/ Arima, Eugenio Y., Richards, Peter, Walker, Robert, Caldas, Marcellus M.: Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. In: Environmental Research Letters 6 (2011), doi: 10.1088/1748-9326/6/2/024010.
- /Arsenault et al. 2009/ Arsenault, N., Tyedmers, P., Fredeen, A.: Comparing the environmental impacts of pasture-based and confinement-based dairy systems in Nova Scotia (Canada) using life cycle assessment. In: International Journal of Agricultural Sustainability 7 (1) (2009), S. 19-41.
- /B.KWK 2011/ Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V.: Leitfaden zur Kostensenkung mit Kraft-Wärme-Kopplung in Molkereien. Berlin, 2011.
- /Bartussek 1996/ Bartussek, H.: Tiergerechtheitsindex für Rinder TGI 35 L/1996 – Rinder. Stand: Mai 1996. Irdning.
- /Bertsch 2005/ Bertsch R.: Efficient Production of Energy. In: Bulletin of the International Dairy Federation 401 (2005). Energy Use in Dairy processing.
- /BFM 2013/ Betriebswirtschaftliches Forschungszentrum für Fragen der mittelständischen Wirtschaft e.V. an der Universität Bayreuth: 6. Nordbayerischer Energietag 2013. Innovative Wege zur Energieeffizienz. Ansätze und Erfolgsgeschichten aus der Praxis. http://www.ago.ag/files/nordbayerischer_energietag_-_nachbericht_neu-3.pdf. Abruf: 28.05.2014. Mistelgau, 2013.
- /BMELV 2013/ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz:
 1. Gesamtfläche von Dauergrünland und prozentualer Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) in Deutschland. <http://www.bmelv-statistik.de/index.php?id=139>.
 2. Dauergrünlandflächen und Veränderung in den Bundesländern. Bonn, 2013.
- /BMELV & BLE 2011/ , Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft & Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Milchanlieferung an milchwirtschaftliche Unternehmen (Erzeugerstandort) in Deutschland nach Monaten und Kalenderjahren. <http://berichte.bmelv-statistik.de/SBT-0102031-0000.pdf>. Abruf: 25.05.2013.
- /BNatSchG 2009/ Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BnatSchG). Berlin, Ausfertigungsdatum: 29.07.2009.
- /BReg 2009/ Bundesregierung: Bericht der Bundesregierung zur Lage der Natur für die 16. Legislaturperiode vom 12.02.2009. Berlin.
- /Brush et al. 2011/ Brush, A., Masanet, E., Worrell, E.: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Dairy Processing Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, 2011.
- /Brünner 2012/ Brünner, J.M.: Energieeffizienz in der Milchverarbeitung. VDM-Seminar Umweltschutz und Stand der Technik. Bad Wimpfen, 2012.
- /Capper et al. 2008/ Capper, J.L., Castaneda-Gutiérrez, E., Cady, R.A., Bauman, D.E.: The environmental impact of recombinant bovine somatotropin (rbST) use in dairy production. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 105, No. 28 (2008), S. 9668-9673.

- /Capper et al. 2009/ Capper, J.L., Cady, R.A., Bauman, D.E.: The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. In: Journal of Animal Science 87 (2009), S. 2160-2167.
- /Carbon Trust 2011/ The Carbon Trust: Industrial Energy Efficiency Accelerator. Guide to the dairy sector. London, 2011.
- /Casey & Holden 2005/ Casey, J.W., Holden, N.M.: Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. In: Agricultural Systems 86 (2005), S. 97-114.
- /CML 2004/ Institute of Environmental Sciences (CML). CML's impact assessment methods and characterisation factors. Department of Industrial Ecology. Leiden, 2004.
- /Dairy Australia 2012/ Dairy Australia: Summary of the Final report: Farming – Carbon Footprint of the Australian Dairy Industry. Southbank, 2012.
- /Dalgaard et al. 2014/ Dalgaard, R., Jannick Schmidt, J., Flysjö, A.: Generic model for calculating carbon footprint of milk using four different life cycle assessment modelling approaches. In: Journal of Cleaner Production 73 (2014), S. 146-153.
- /Destatis 2012/ Statistisches Bundesamt: Bevölkerungsstand. Bevölkerung am 31.12.2010. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/GeschlechtStaatsangehoerigkeit.html>. Abruf: 20.08.2012.
- /Destatis 2013a/ Statistisches Bundesamt: Strombilanz, Gas-, Heizöl- und Kohleverbrauch des verarbeitenden Gewerbes im Jahr 1993. Auszug aus der Fachserie 4, Reihe 4.1.1 auf Anfrage des IFEU am 22.03.2013.
- /Destatis 2013b/ Statistisches Bundesamt: Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (EVAS 43531). Auszug auf Anfrage des IFEU am 22.04.2013.
- /Destatis 2013c/ Statistisches Bundesamt: Produktion von Milcherzeugnissen in den Jahren 1993 und 2010. In: Produktion des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Auszug aus der Fachserie 4, Reihe 3.1 auf Anfrage des IFEU am 20.03.2013.
- /Destatis 2014/ Statistisches Bundesamt: Datenbank Genesis-Online. URL: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Datenbanken/GENESIS_Online.html. Abruf: 08.05.2014.
- /Djekic et al. 2014/ Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., Tomic, N.: Environmental life-cycle assessment of various dairy products. In: Journal of Cleaner Production 68 (2014), S. 64-72.
- /DMW 2006/ Mikrofiltration zur Salzbadbehandlung. In: Deutsche Milchwirtschaft (DMW), 57. Jahrgang (2006). http://www.dss.eu/pdf/articles/dmw_mzs.pdf. Abruf: 28.05.2014.
- /DüV 2006/ Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV). Ausfertigungsdatum: 10.01.2006.
- /ecoinvent 2010/ Frischknecht, R. et al.: ecoinvent data v2.2 – Ökoinventare für Energiesysteme (ESU-services). Uster, 2010.
- /Environment Agency 2009/ The Environment Agency: How to comply with your environmental permit. Additional guidance for: Dairy and Milk Processing Sector (EPR 6.13). Bristol, 2009.
- /FAO 2006/ Food and Agriculture Organization of the United Nations: Livestock's long shadow – environmental issues and options. Rome, 2006.

- /FAO 2010/ Food and Agriculture Organization of the United Nations: Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector – A Life Cycle Assessment. Rome, 2010.
- /FAO 2013/ Food and Agriculture Organization of the United Nations: Milk and dairy products in human nutrition. Rome, 2013.
- /FAOSTAT 2014/ Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO database FAOSTAT. Abruf: 02.06.2014.
- /Fehrenbach 2000/ Fehrenbach, H.: Operationalisierung der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung unter besonderer Berücksichtigung landwirtschaftlich genutzter Flächen. Internes Arbeitspapier des IFEU. Heidelberg, 2000.
- /Fehrenbach et al. 2008/ Fehrenbach, H., Giegrich, J., Reinhardt, G., Schmitz, J., Sayer, U., Gretz, M., Seizinger, E., Lanje, K.: Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. UFOPLAN Ref. No. 20641112. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, 2008.
- /Fleischer et al. 2001/ Fleischer, P., Metzner, M., Beyerbach, M., Hoedemaker, M., Klee, W.: The Relationship Between Milk Yield and the Incidence of Some Diseases in Dairy Cows. In: American Dairy Science Association: Journal of Dairy Science 84, pp. 2025 - 2035.
- /FoE 2006/ Focus on Energy: Dairy Processing Industry. Energy Best Practice Guidebook. Wisconsin, 2006.
- /Fölsche 2012/ Fölsche, C.: Milchleistung als ein Faktor der Tiergesundheit und Fruchtbarkeit. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin. Berlin, 2012.
- /Fraunhofer IGB 2013/ Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB): Molkereiabwasser elektrochemisch reinigen – und dabei Strom erzeugen. Presseinformation vom 27.05.2013. REWAGEN: Electrochemical water treatment system in the dairy industry with hydrogen recovery and electricity production. <http://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2013/molkereiabwasser-elektrochemisch-reinigen.html>. Abruf: 28.05.2014. Stuttgart, 2013.
- /Gac et al. 2010/ Gac, A., Le Gall, A., van der Werf, H.M.G., Raison, C., Dollé, J.-B.: Life Cycle Assessment Applied to two French Dairy Systems. Proceedings of the LCA Food 2010 Conference. Bari, 22 - 24 September 2010
- /Geier et al. 1999/ Geier, U., Henrichsmeier, W., Köpke, U. et.al.: Entwicklung von Parametern und Kriterien als Grundlage zur Bewertung ökologischer Leistungen und Lasten der Landwirtschaft – Indikatorensysteme. (Development of Indicators for the Assessment of Agricultural Impacts on the Environment). UBA-Texte 42/99. Berlin, 1999.
- /GEMIS/ Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS): GEMIS – Globales Emissions-Modell integrierter Systeme. Download: <http://www.iinas.org/gemis-de.html>. Darmstadt.
- /Haenel et al. 2012/ Haenel, H.D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Poddey, E., Freibauer, A., Döhler, H., Eurich-Menden, B., Wulf, S., Dieterle, M., Osterburg, B.: Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 - 2010. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Braunschweig, 2012.
- /Hahn et al. 2011/ Hahn, W., Werner, M.: Kraft-Wärme-Kopplung in der Milchindustrie. Was müssen Molkereien beachten? In: Molkerei Industrie 08 (2011).

- /Hanneman et al. 2005/ Hanneman, H., Robertson, L.J.: Heat Recovery Systems. In: Bulletin of the International Dairy Federation. Energy Use in Dairy processing. 401 (2005).
- /Haupt et al. 2009/ Haupt, H., Ludwig, G., Gruttke, H., Binot-Hafke, M., Otto, C., Pauly, A.: Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 1: Wirbeltiere. In: Bundesamt für Naturschutz: Naturschutz und Biologische Vielfalt 70/1 (2009).
- /IDF 2004/ International Dairy Federation: Methods for Calculating Milk Equivalents. In: Bulletin of the IDF 390 (2004), S. 3 -15.
- /IDF 2009/ International Dairy Federation: Environmental / Ecological Impact of the Dairy Sector: Literature review on dairy products for an inventory of key issues. List of environmental initiatives and influences on the dairy sector. Brussels, 2009.
- /IDF 2010/ International Dairy Federation: A common carbon footprint approach for dairy – The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. Brussels, 2010.
- /IDF Germany 2012a/ Deutsches Nationalkomitee im Internationalen Milchverband (IDF), Verband der Deutschen Milchwirtschaft e. V. (VDM): Umweltauswirkungen durch Salze, die in der Milchwirtschaft vorkommen und Möglichkeiten zu ihrer Verringerung. Berlin. http://www.idf-germany.com/fileadmin/user_upload/idf-germany/download/7-IDF-Faktenblatt-Umweltauswirkungen_durch_Salze__die_in_der_Milchwirtschaft_vorkommen.pdf. Abruf: 28.05.2014. Berlin, 2012.
- /IDF Germany 2012b/ Deutsches Nationalkomitee im Internationalen Milchverband (IDF), Verband der Deutschen Milchwirtschaft e. V. (VDM): Neues Faktenblatt des IDF: Salze und die Umwelt. Berlin. http://www.idf-germany.com/fileadmin/user_upload/idf-germany/download/6-IDF-Faktenblatt-Salze_und_die_Umwelt_.pdf. Abruf: 28.05.2014. Berlin, 2012.
- /IFEU 2014/ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Kontinuierlich aktualisierte, interne IFEU-Datenbank. Heidelberg, 2014.
- /IPCC 2007/ Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 129 - 134. Cambridge / New York, 2007.
- /ISO 2006/ Deutsches Institut für Normung e.V.: ISO 14040:2006/ISO14044:2006. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, Anforderungen und Anleitungen. Berlin, 2006.
- /JRC-IES 2010/ Joint Research Centre of the European Commission – Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook. Ispra, 2010.
- /Kahlenborn et al. 2012/ Kahlenborn, W., Kabisch, S., Klein, J., Richter, I., Schürmann, S.: Energiemanagementsysteme in der Praxis. ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, 2012.
- /Kuruja 2012/ Kuruja, J.: Use of geothermal energy in dairy processing. In: GHC Bulletin. November 2012, pp. 6 - 17. Geothermal Development Company.
- /Klöpffer & Grahl 2009/ Klöpffer, W., Grahl, B.: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim, 2009.

- /Klöpffer & Renner 1995/ Klöpffer, W., Renner, I.: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. In: Umweltbundesamt: Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen – Wirkungsbilanz und Bewertung. UBA Texte 23/95. Berlin, 1995.
- /Kranert et al. 2012/ Kranert, M., Hafner, G., Barabosz, J., Schuller, H., Leverenz, D., Kölbig, A., Schneider, F., Lebesorger, S., Scherhauser, S.: Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Stuttgart, 2012.
- /Kristensen et al. 2011/ Kristensen, T., Mogensen, L., Trydeman Knudsen, M., Hermansen, J.E.: Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. In: Livestock Science 140 (2011) S. 136-148.
- /KTBL 2008/ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. KTBL-Datensammlung, Darmstadt, 2008.
- /Leeuw 2002/ Leeuw, F.D.: A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution. Bilthoven, 2002.
- /Ludwig et al. 1996/ Ludwig, G., Schnittler, M.: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde 28 (Bundesamt für Naturschutz). Bonn, 1996./Marti et al. 2011/ Marti, U., Bisig, W.: Aus Molke rentabel Biogas produzieren. In: Alimenta 15 (2011).
- /Marti et al. 2011/ Marti, U., Bisig, W.: Aus Molke rentabel Biogas produzieren. In: Alimenta. 15/2011. S. 23-24.
- /Maxime et al. 2011/ Maxime, D., Vergé, X.P.C., Desjardins, R.L., Arcand, Y.: Cradle-to-gate carbon footprint of Canadian dairy products. Proceedings of the LCA XI Conference. Chicago, October 4-6, 2011.
- /McGeough et al. 2012/ McGeough, E.J., Little, S.M., Janzen, H.H., McAllister, T.A., McGinn, S.M., Beauchemin, K.A.: Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production in Eastern Canada: A case study. In: Journal of Dairy Science 95 (2012), S. 5164-5175.
- /MKULNV NRW 2010/ Richtlinien zur Förderung der Weidehaltung von Milchvieh. RdErl. d. Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz II – 4 - 72.40.62 v. 5.11.2010.
- /Morand et al. 2006/ Morand, R., Bendel, R., Brunner, R.O., Pfenninger, H.: Prozessintegration mit der Pinch-Methode. Handbuch zum BLE-Einführungskurs. Auflage 2006. Bundesanstalt für Energie BFE. Bern, 2006.
- /Müller 2010/ Müller, C.: Energie aus Industrie-Abwasser. EnviroChemie GmbH. Roßdorf 2010.
- /Müller 2012/ Müller, T.: Energieeffizienz im Contractingverfahren – Heideblume Molkerei Elsdorf-Rotenburg AG. In: Bus Systeme, 1 (2012). Berlin. http://www.bussysteme.de/wcms/ftp//b/bussysteme.de/uploads/heideblumemolkereielsdorf-rotenburg_12012.pdf. Abruf: 28.05.2014.
- /Müller-Lindenlauf et al. 2014/ Müller-Lindenlauf, M., Cornelius, C., Gärtner, S., Reinhardt, G., Schmidt, T.: Klima- und Energierechner für die Deutsche Milchwirtschaft: Begleit- heft. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH. Heidelberg 2014.

- /Myers et al. 2000/ Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., de Fonseca, G.A.B., Kent, J.: Biodiversity hotspots for conservation priorities. In: Nature 403, pp. 853 - 858.
- /Pehnt et al. 2008/ Pehnt, M., Seebach, D., Irrek, W., Seifried, D.: Umweltnutzen von Ökostrom. Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten. Diskussionspapier 2008/072. http://www.ifeu.de/energie/pdf/DiskussionspapierOekostrom_%20ifeuOeko%20WI%20Oe2%20final1.pdf. Abruf: 28.05.2014.
- /Prasad et al. 2004/ Prasad, P., Pagan, R., Krauter, M., Price, N.: Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry. UNEP Working Group for Cleaner Production in the Food Industry. Dairy Australia. St Lucia.
- /Ravishankara et al. 2009/ Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W.: Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. Science Vol. 326, Issue 5949 (2009), S. 123-125.
- /Reimink 2014/ Reimink, A.: Meyer: Grünlandprämie für Niedersachsen. Meldung auf topagrar online vom 10.4.2014. Download: <http://www.topagrar.com/news/Rind-Rindernews-Meyer-Gruenlandpraemie-fuer-Niedersachsen-1426304.html>, 25.06.2014.
- /Reinhardt et al. 2009/ Reinhardt, G., Gärtner, S., Münch., J., Häfele, S.: Ökologische Optimierung regional erzeugter Lebensmittel: Energie- und Treibhausgasbilanzen. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Im Auftrag der Universität Rostock, gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2009.
- /Schaechtele et al. 2007/ Schächtele, K., Hertle, H.: Die CO₂-Bilanz des Bürgers. Recherche für ein internetbasiertes Tool zur Erstellung persönlicher CO₂-Bilanzen. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. FuE-Vorhaben 206 42 110.
- /Schmidlein et al. 2011/ Schmidlein, F., Lange, R., Hinken, L., Meier, S., Weichgrebe, D., Rosenwinkel, K.-H.: Analyse der Energieeinspar- und Energieoptimierungspotenziale in der industriellen Abwasserbeseitigung (EnerIndus). Abschlussbericht. Aachen / Hannover, 2011.
- /Stutzer 2006/ Stutzer, D.: Entsorgung in der Lebensmittelindustrie durch Biogastechnik. In: Lebensmittelindustrie 7/8 (2006).
- /Sundrum et al. 1994/ Sundrum, A., Andersson, R., Postler, G.: Tiergerechtheitsindex - 200/94. Ein Leitfaden zur Beurteilung von Haltungssystemen für Rinder, Kälber, Legehennen und Schweine. Bonn, 1994.
- /Sundrum 1998/ Sundrum, A.: Zur Beurteilung der Tiergerechtheit von Haltungsbedingungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 105 (1998), S. 65 - 72.
- /Thomassen et al. 2008/ Thomassen, M.A., van Calker, K.J., Smits, M.C.J., Iepema, G.L., de Boer, I.J.M.: Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. In: Agricultural Systems 96 (2008), pp. 95 - 107.
- /UBA 1999/ Umweltbundesamt: Bewertung in Ökobilanzen – Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 (Version '99). Berlin, 1999.
- /UBA 2000/ Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanzen für graphische Papiere: Vergleich von Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für graphische Altpapiere sowie Produktvergleiche für Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapiere unter Umweltgesichtspunkten. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/1865.pdf>. Berlin, 2000.

- /UBA 2009/ Umweltbundesamt: Stickstoff- und Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/gewaesserbelastung/fliessgewaesser/eintraege-von-naehr-schadstoffen-in-die>. Abruf: 10.06.2014.
- /UBA 2011/ Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2010 (Endstand 14.12.2011, Treibhausgase). Dessau, 2011.
- /UBA 2012/ Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2010. Dessau-Roßlau, 2012.
- /UBA 2013a/ Umweltbundesamt: Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorien. Download: www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland. Stand: 30.9.2013. Abruf: 28.05.2014.
- /UBA 2013b/ Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2011. Stand: 15.04.2013. Abruf: 17.06.2014
- /UBA 2014/ Entwicklung der critical-loads-Überschreitung für Eutrophierung auf den kartierten empfindlichen Ökosystemflächen zwischen 1990 und 2007 (in Prozent). <http://www.umweltbundesamt.de/indikator-ueberschreitung-der-belastungsgrenzen>. Abruf: 18.06.2014.
- /van der Werf et al. 2009/ van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C., Corson, M.S.: An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. In: Journal of Environmental Management 90 (2009) S. 3643–3652.
- /VDM 2008/ Verband der Deutschen Milchwirtschaft (VDM) e.V.: Leitfaden Umweltschutz und Stand der Molkereitechnik. Berlin, 2008.
- /Vellinga et al. 2013/ Vellinga, Th.V., Blonk, H., Marinussen, M., van Zeist, W.J., de Boer, I.J.M., Starmans, D.: Methodology used in FeedPrint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization (Wageningen UR Livestock Research, Report 674). Download von FeedPrint: <http://webapplicaties.wur.nl/software/feedprint/>. Lelystad, 2013.
- /Vergé et al. 2013/ Vergé, X.P.C., Maxime, D., Dyer, J.A., Desjardins, R.L., Arcand, Y., Vanderzaag, A.: Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. In: Journal of Dairy Science 96 (2013), S. 6091-6104.
- /VIK/ Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V.: Verschiedene Arten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. <http://www.die-energieeffizienten.de/KWK.html>. Abruf: 28.05.2014.
- /Wardrop Engineering 1997/ Wardrop Engineering Inc.: Guide to Energy Efficiency Opportunities in the Dairy Processing Industry. National Dairy Council of Canada. Mississauga, 1997.
- /Wohlfarth 2012/ Wohlfarth, M.: ZMB Jahrbuch Milch 2012 – Der Milchmarkt in Zahlen – national und international. Zentrale Milchmarkt Berichterstattung GmbH (ZMB). Berlin, 2012.
- /WRI 2005/ World Resources Institute: Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington D.C., 2005.

12 Anhang

12.1 Wertgebende Inhaltsstoffe von Kuhmilch

Tab. 17: Hauptnährstoffe von 100 g Kuhrohmilch nach /FAO 2013/.²²

	Einheit	Durchschnitt	Bereich
Eiweiß	g	3,8	3,7 - 3,9
Fett	g	3,8	3,5 - 4,0
Laktose	g	4,7	4,6 - 4,9

Tab. 18: Energie-, Vitamin- und Mineralgehalt von 100 g Kuhmilch (Endprodukt, konsumfertig) nach /FAO 2013/.

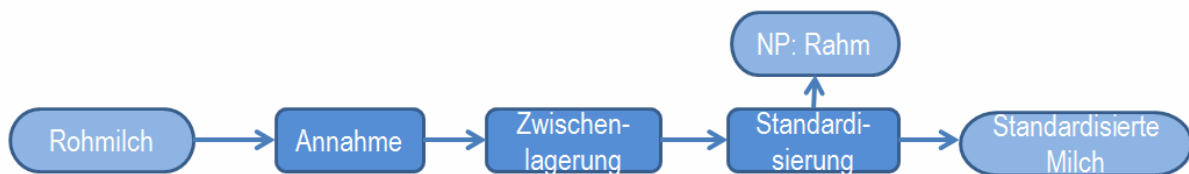
	Einheit	Durchschnitt	Bereich
Energie	kJ	262	247 - 274
Mineralien			
Kalzium	mg	112	91 - 120
Eisen	mg	0,1	Tr - 0,2
Magnesium	mg	11	10 - 11
Phosphor	mg	91	84 - 95
Kalium	mg	145	132 - 155
Natrium	mg	42	38 - 45
Zink	mg	0,4	0,3 - 0,4
Kupfer	mg	Tr	Tr - Tr
Selen	µg	1,8	1,0 - 3,7
Mangan	µg	8	4 - 10
Vitamine			
Retinol	µg	35	29 - 45
Karotin	µg	16	7 - 23
Vitamin A	µg RE	37	30 - 46
Vitamin E	mg	0,08	0,07 - 0,08
Thiamin	mg	0,04	0,02 - 0,04
Riboflavin	mg	0,2	0,17 - 0,20
Niacin	mg	0,13	0,09 - 0,20
Niacin-Äquivalent	mg	0,79	0,70 - 0,80
Pantothensäure	mg	0,43	0,34 - 0,58
Vitamin B ₆	mg	0,04	0,03 - 0,06
Folsäure	µg	8,5	5,0 - 8,0

²² Verwendete Werte für die Bilanzierung: 4 % Fett, 3,2 % Eiweiß.

	Einheit	Durchschnitt	Bereich
Biotin	µg	2	1,4 - 2,5
Vitamin B ₁₂	µg	0,51	0,25 - 0,90
Vitamin C	mg	1	0,0 - 2,0
Vitamin D	µg	0,2	0,1 - 0,3

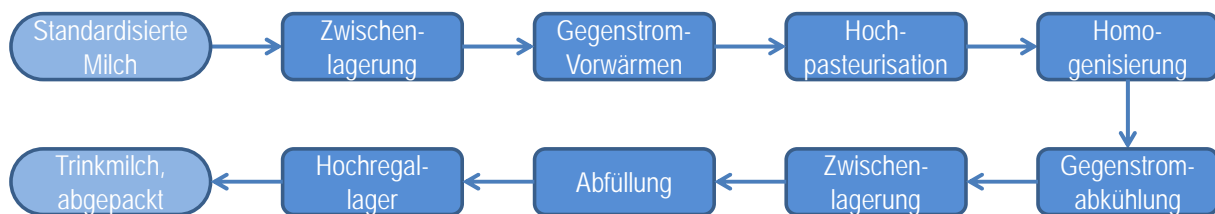
12.2 Beschreibung der betrachteten Produktlinien

12.2.1 Trinkmilch



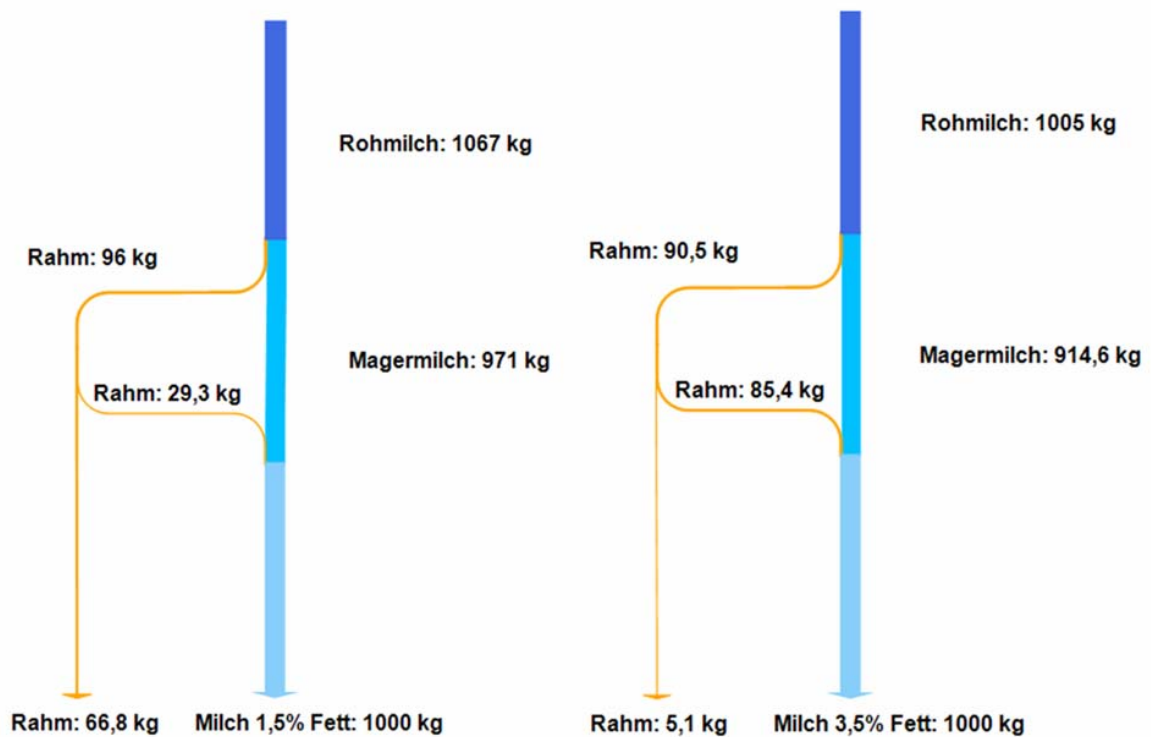
IFEU 2014

Abb. 46: Fließdiagramm der Verarbeitung von Rohmilch zu standardisierter Rohmilch.



IFEU 2014

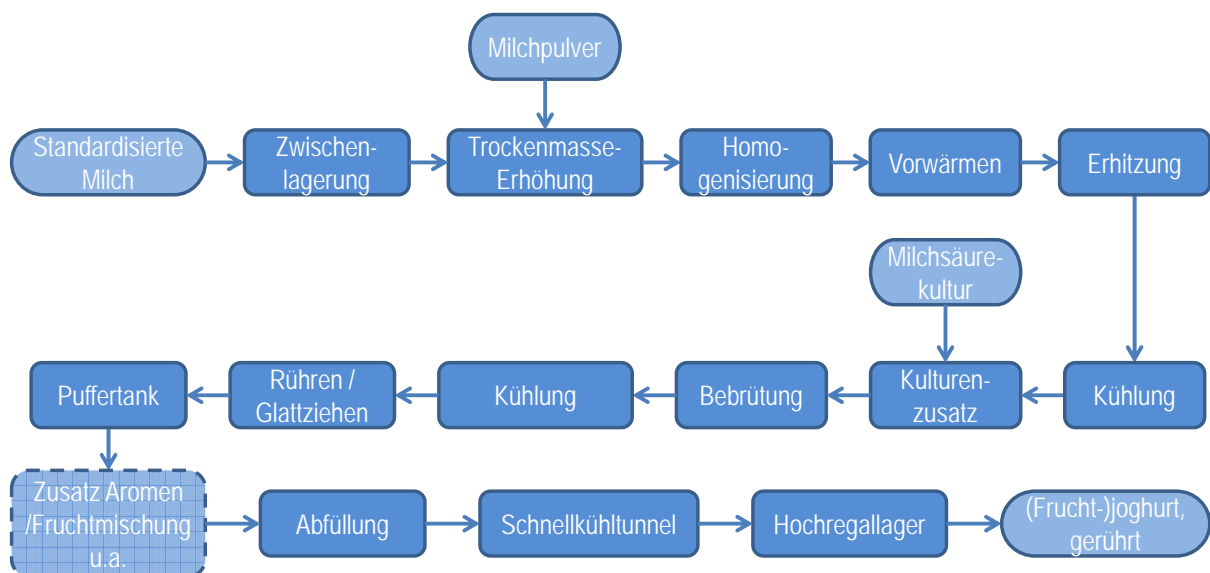
Abb. 47: Fließdiagramm der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Trinkmilch.



IFEU 2014

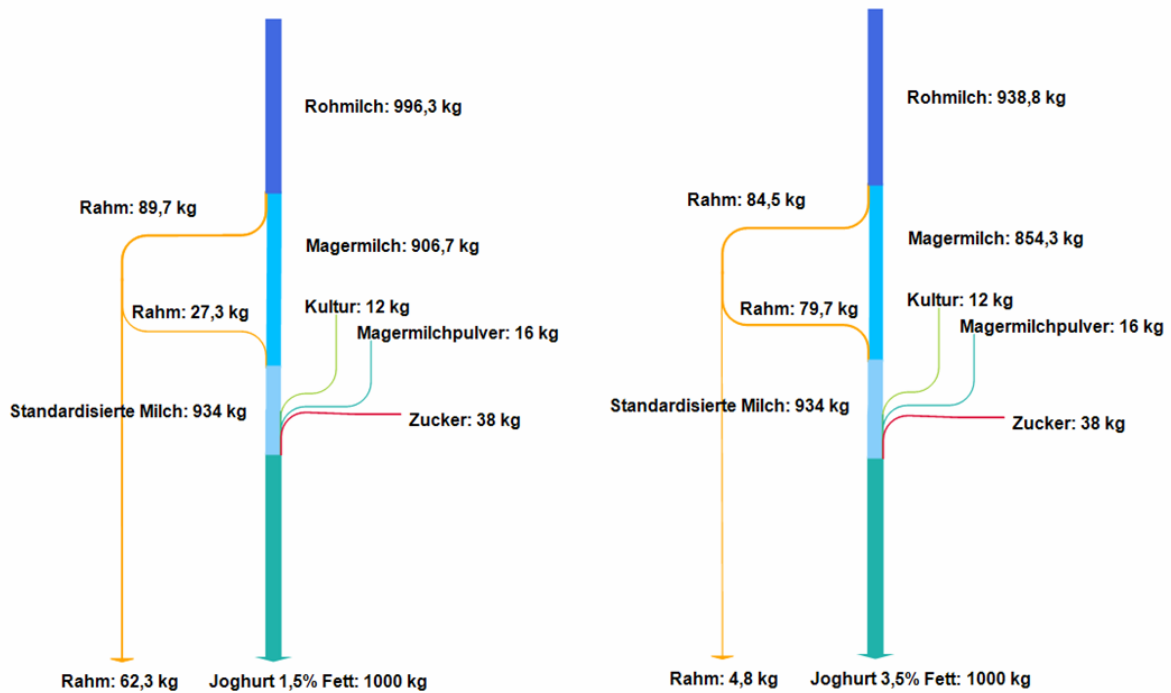
Abb. 48: Sankey-Diagramm der Massenflüsse bei der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Trinkmilch mit einem Fettgehalt von 1,5 % bzw. 3,5 %.

12.2.2 Joghurt



IFEU 2014

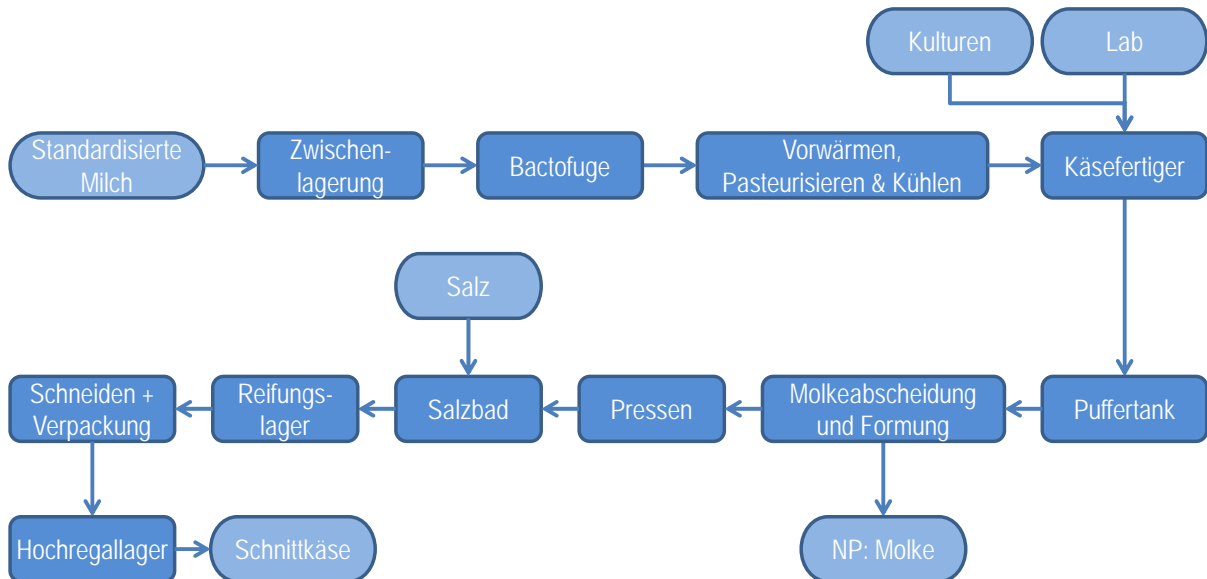
Abb. 49: Fließdiagramm der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Joghurt.



IFEU 2014

Abb. 50: Sankey-Diagramm der Massenflüsse bei der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Joghurt.

12.2.3 Schnittkäse



IFEU 2014

Abb. 51: Fließdiagramm der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Schnittkäse.

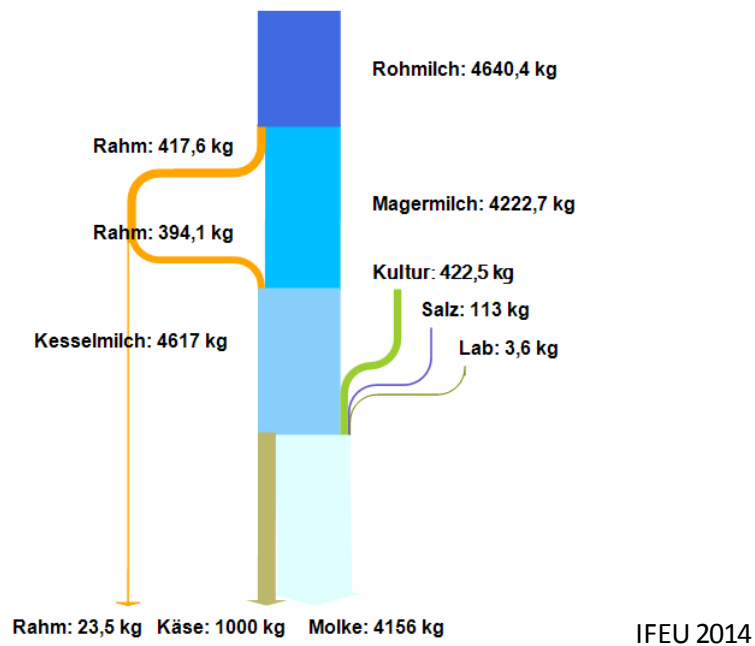
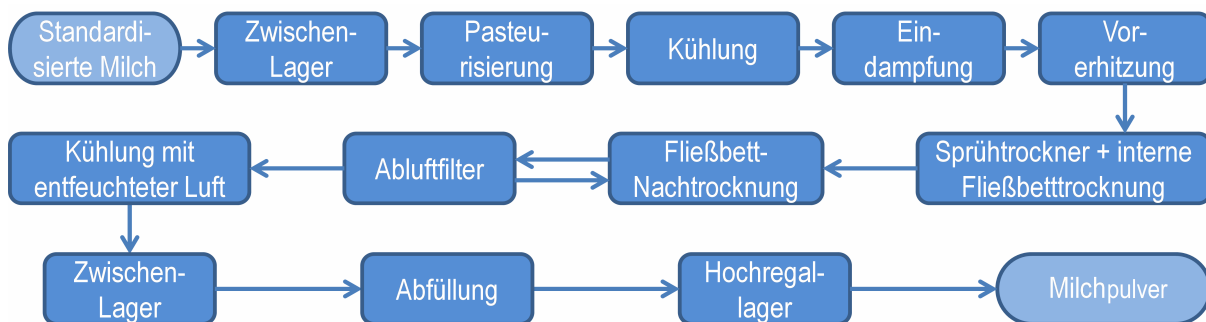


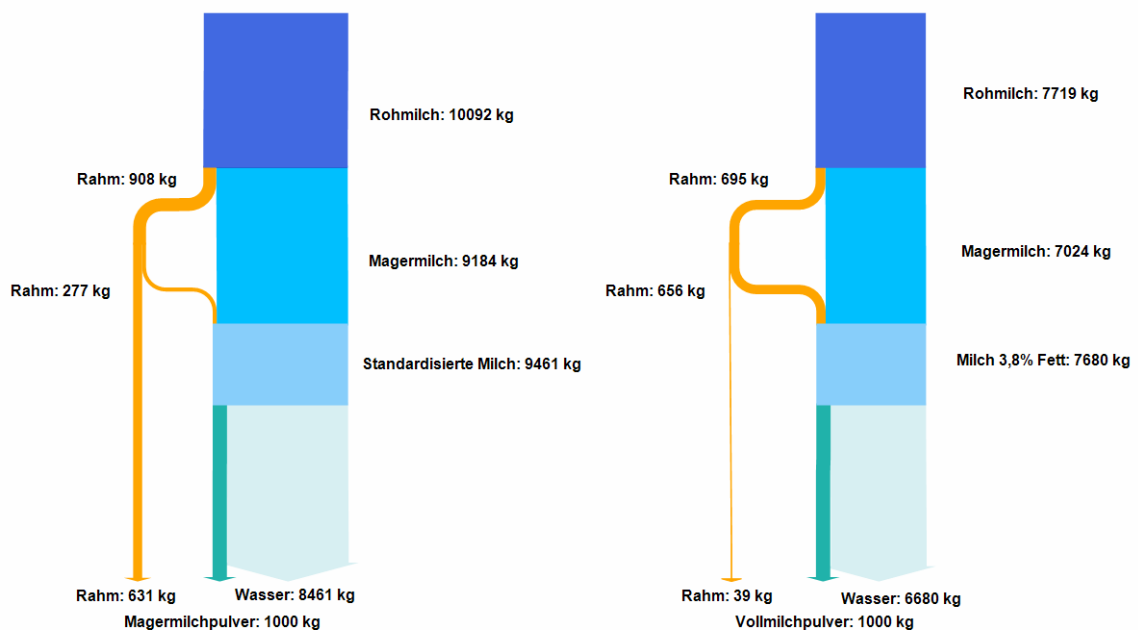
Abb. 52: Sankey-Diagramm der Massenflüsse bei der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Käse.

12.2.4 Milchpulver



IFEU 2014

Abb. 53: Fließdiagramm der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Milchpulver.



IFEU 2014

Abb. 54: Sankey-Diagramm der Massenflüsse bei der Verarbeitung von standardisierter Rohmilch zu Mager- und Vollmilchpulver.

12.2.5 Übersicht über die betrachteten Produkte

Tab. 19: Detaillierte tabellarische Übersicht der untersuchten Produktlinien (IFEU 2014).

Nr.	Hauptprodukt	Variante
1	Trinkmilch	ESL, Vollmilch (3,5 %), 1 L
2		ESL, fettarm (1,5 %), 1 L
3		UHT, Vollmilch (3,5 %), 1 L
4		UHT, fettarm (1,5 %), 1 L
5	Schnittkäse	200 g in Scheiben, Tiefziehverpackung
6		15 kg Euroblock
7	Joghurt (Natur-, 3,5 %)	150 g, Destobecher, 3,5 % Fett
8		150 g, bedruckter Becher, 3,5 % Fett
9	(Frucht-, 3,5 %)	150 g, Destobecher, 3,5 % Fett
10		150 g, bedruckter Becher, 3,5 % Fett
11	(Natur-, 1,5 %)	150 g, Destobecher, 1,5 % Fett
12		150 g, bedruckter Becher, 1,5 % Fett
13	(Frucht-, 1,5 %)	150 g, Destobecher, 1,5 % Fett
14		150 g, bedruckter Becher, 1,5 % Fett
15	Vollmilchpulver	Sackware
16		BigBag
17		Silozug
18	Magermilchpulver	Sackware
19		BigBag
20		Silozug
21	Molkepulver	Sackware
22		BigBag
23		Silozug

Tab. 20: Pro-Kopf-Verbrauch der untersuchten Hauptproduktlinien in Deutschland nach /Wohlfarth 2012, eigene Berechnungen/.

Produkt	Trinkmilch	Joghurt	Schnittkäse	Magermilchpulver
g Verbrauch / Tag	147	49	64	14

12.3 Milchverluste

Tab. 21: Milchverluste entlang der Wertschöpfungskette.

Lebenswegabschnitt	Verluste in Prozent der Input-Menge	Referenz / Basisdaten für Berechnung
Erzeugung und Anlieferung	0 %	Erzeugungsaufwendungen wurden auf verkaufte Milchmenge bezogen.
Verarbeitung	0,5 %	Ergebnis der Datenerhebung in Molkereibetrieben.
Distribution bis zum Einzelhandel	0,75 %	Anteil organischer Abfälle bezogen auf den jährlichen Warenumsatz in Großmärkten /Kranert et al. 2012/.
Einzelhandel (nicht verkaufte Ware)	1,55 %	Durchschnittliche Verluste von Molkereiprodukten im Lebensmitteleinzelhandel aufgrund von Bruch und Verderb /Kranert et al. 2012/.
Endkunde (Lebensmittelabfälle im Haushalt)	7 %	8,5 kg Milchprodukte im Hausmüll pro Person und Jahr /Kranert et al. 2012/. Konsum von 127 kg Milchprodukten pro Person und Jahr /Wohlfarth 2012/.

12.4 Landwirtschaftliche Produktionsverfahren

Tab. 22: Futtermittelbedarf in Abhängigkeit von der Milchleistung für zwei verschiedene Rationen (grünlandbasiert und ackerbaubasiert).

Milchleistung		4000	5000	6000	7000	8000	9000
Ration gras- / grünlandbasiert							
Trockenmasseaufnahme Milchkühe	kg TM / d	13,7	14,7	15,6	16,6	17,5	18,3
Futterzusammensetzung							
Kraffutter	kg TM / d	0,8	2,2	3,9	5,8	8,2	10,7
davon							
• Weizen	% der TM	57%	51%	45%	38%	31%	27%
• MLF 18/3	% der TM	43%	49%	55%	62%	69%	73%
darunter							
• Sojaextraktionsschrot	% der TM	13%	15%	17%	19%	21%	22%
• Gerste	% der TM	9%	10%	12%	13%	14%	15%
• Mais	% der TM	11%	12%	14%	16%	17%	18%
• Mineralfutter	% der TM	1%	1%	2%	2%	2%	2%
• Weizen	% der TM	9%	10%	12%	13%	14%	15%
Raufutter	kg TM / d	12,9	12,4	11,8	10,8	9,3	7,6
davon							
• Gras (Weide)	% der TM	10%	10%	10%	10%	10%	10%
• Grassilage	% der TM	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Ration Mischfutter / ackerbaubasiert							
Trockenmasseaufnahme Milchkühe	kg TM / d	13,0	14,1	15,1	16,1	17,1	18,0
Futterzusammensetzung							
Kraffutter	kg TM / d	0,3	1,8	3,4	5,4	7,7	10,3
davon							
• Rapsexpeller	% der TM	53%	46%	38%	31%	25%	20%
• MLF 18/3	% der TM	47%	54%	62%	69%	75%	80%
darunter							
• Sojaextraktionsschrot	% der TM	14%	16%	18%	21%	23%	24%
• Gerste	% der TM	10%	11%	13%	14%	16%	17%
• Mais	% der TM	12%	14%	15%	17%	19%	20%
• Mineralfutter	% der TM	1%	2%	2%	2%	2%	2%
• Weizen	% der TM	10%	11%	13%	14%	16%	17%
Raufutter	kg TM / d	12,7	12,3	11,7	10,7	9,3	7,7
davon							
• Gras (Weide)	% der TM	5%	5%	5%	5%	5%	5%
• Grassilage	% der TM	39%	39%	39%	39%	39%	39%
• Silomais	% der TM	54%	54%	54%	54%	54%	54%
• Stroh	% der TM	2%	2%	2%	2%	2%	2%

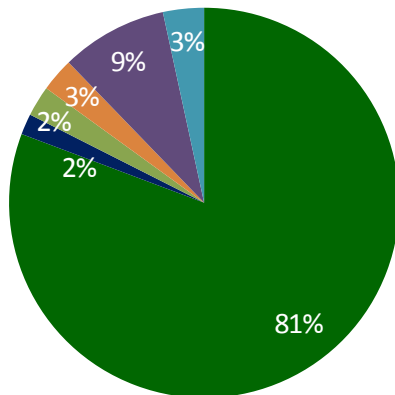
12.5 Beschreibung der betrachteten Umweltwirkungen und Charakterisierungsfaktoren

Tab. 23: Indikatoren, LCI-Parameter und Charakterisierungsfaktoren für die jeweiligen Wirkungskategorien /CML 2004/, /IPCC 2007/, /Klöpper & Renner 1995/, /Leeuw 2002/, /Ravishankara et al. 2009/, /IFEU 2014/ auf der Basis von /IPCC 2007/.

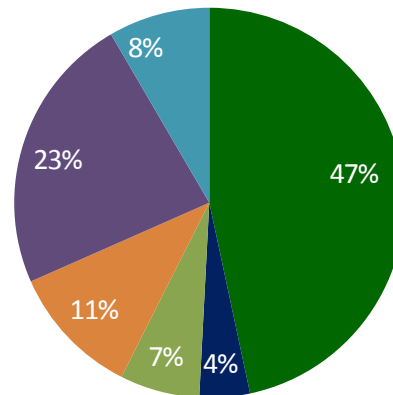
Impact category	Category indicator	Life cycle inventory parameter	Formula	Character. factor
Energy savings	Cumulative primary energy demand from non-renewable sources	Crude oil Natural gas Hard coal Lignite Uranium ore	—	—
Greenhouse effect	CO ₂ equivalent (carbon dioxide equivalent)	Carbon dioxide fossil	CO ₂	1
		Nitrous oxide	N ₂ O	298
		Methane biogenous	CH ₄	25
		Methane fossil*	CH ₄	27.75
Acidification	SO ₂ equivalent (sulphur dioxide equivalent)	Sulphur dioxide	SO ₂	1
		Nitrogen oxides	NO _x	0.7
		Ammonia	NH ₃	1.88
		Hydrochloric acid	HCl	0.88
Eutrophication	PO ₄ ³⁻ equivalent (phosphate equivalent)	Nitrogen oxides	NO _x	0.13
		Ammonia	NH ₃	0.346
Summer smog (POCP)	C ₂ H ₄ equivalent (ethylene equivalent)	Non-methane hydrocarbons	NMHC	0.416
		Methane	CH ₄	0.007
Ozone depletion	CFC-11 equivalent (CFCl ₃ equivalent)	Trichlorofluoromethane	CFCl ₃	1
		Nitrous oxide	N ₂ O	0.017
		Other CFCs, HFCs, FCs, ...	various	various
Human toxicity	PM10 equivalent	Particulate matter	PM10	1
		Sulphur dioxide	SO ₂	0.54
		Nitrogen oxides	NO _x	0.88
		Non-methane hydrocarbons	NMHC	0.012
		Ammonia	NH ₃	0.64

12.6 Ergänzende Ergebnisdarstellungen

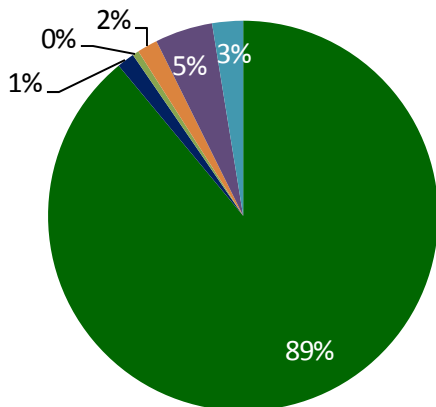
Treibhauseffekt - Trinkmilch



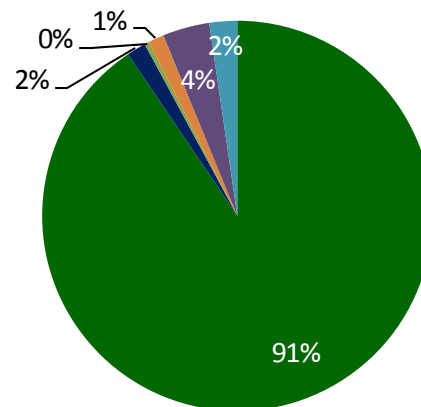
Energiebedarf - Trinkmilch



Versauerung - Trinkmilch



Eutrophierung - Trinkmilch

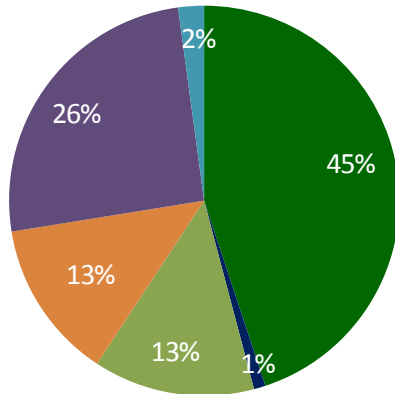


■ Milcherzeugung
 ■ Anlieferung
 ■ Molkerei
 ■ Verpackung
 ■ Distribution
 ■ Endkunde

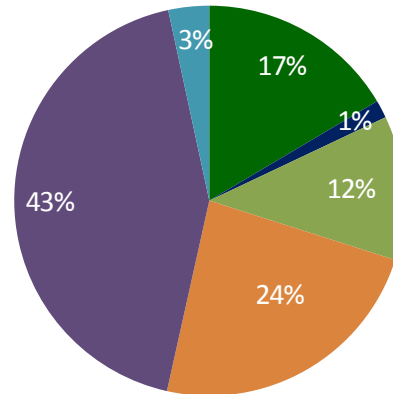
IFEU 2014

Abb. 55: Anteile der Lebenswegabschnitte am Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Versauerungspotenzial und Eutrophierungspotenzial für Trinkmilch (ESL, 3,5 % Fett, 1 L Verbundverpackung).

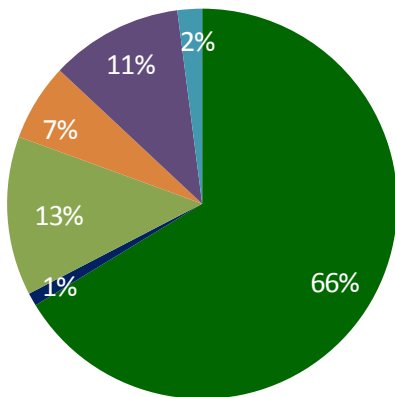
Treibhauseffekt - Naturjoghurt



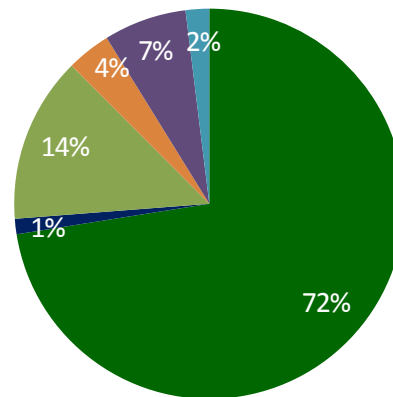
Energiebedarf - Naturjoghurt



Versauerung - Naturjoghurt



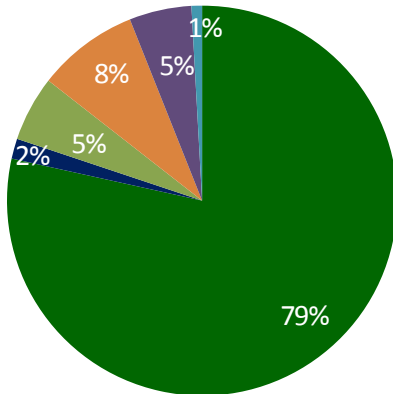
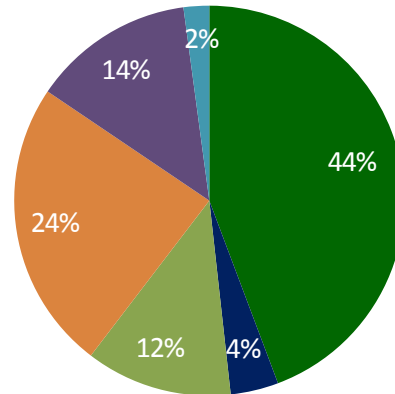
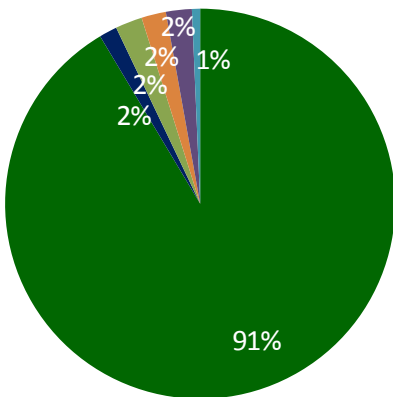
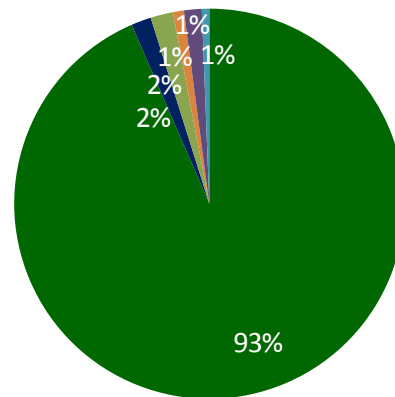
Eutrophierung - Naturjoghurt



■ Milcherzeugung ■ Anlieferung ■ Molkerei ■ Verpackung ■ Distribution ■ Endkunde

IFEU 2014

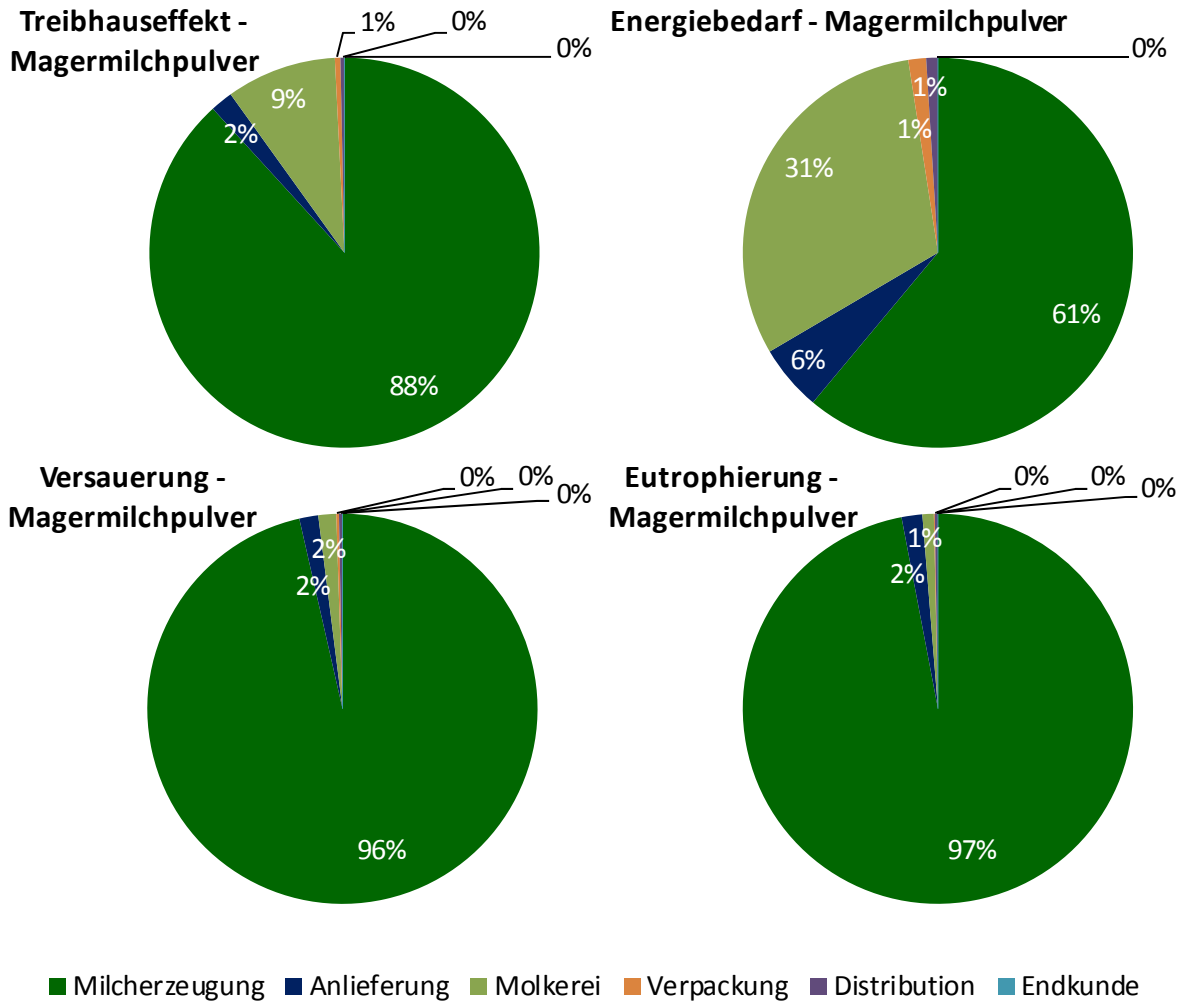
Abb. 56: Anteile der Lebenswegabschnitte am Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Versauerungspotenzial und Eutrophierungspotenzial für Naturjoghurt (150 g bedruckter Becher, 3,5 % Fett).

Treibhauseffekt - Schnittkäse

Energiebedarf - Schnittkäse

Versauerung - Schnittkäse

Eutrophierung - Schnittkäse


■ Milcherzeugung
 ■ Anlieferung
 ■ Molkerei
 ■ Verpackung
 ■ Distribution
 ■ Endkunde

IFEU 2014

Abb. 57: Anteile der Lebenswegabschnitte am Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Versauerungspotenzial und Eutrophierungspotenzial für Schnittkäse (48 % Fett i. d. Tr., 200 g in Scheiben, Tiefziehverpackung Polyethylen).



IFEU 2014

Abb. 58: Anteile der Lebenswegabschnitte am Treibhauseffekt, Primärenergiebedarf, Versauerungspotenzial und Eutrophierungspotenzial für Magermilchpulver (1,5 % Fett, Sackware).

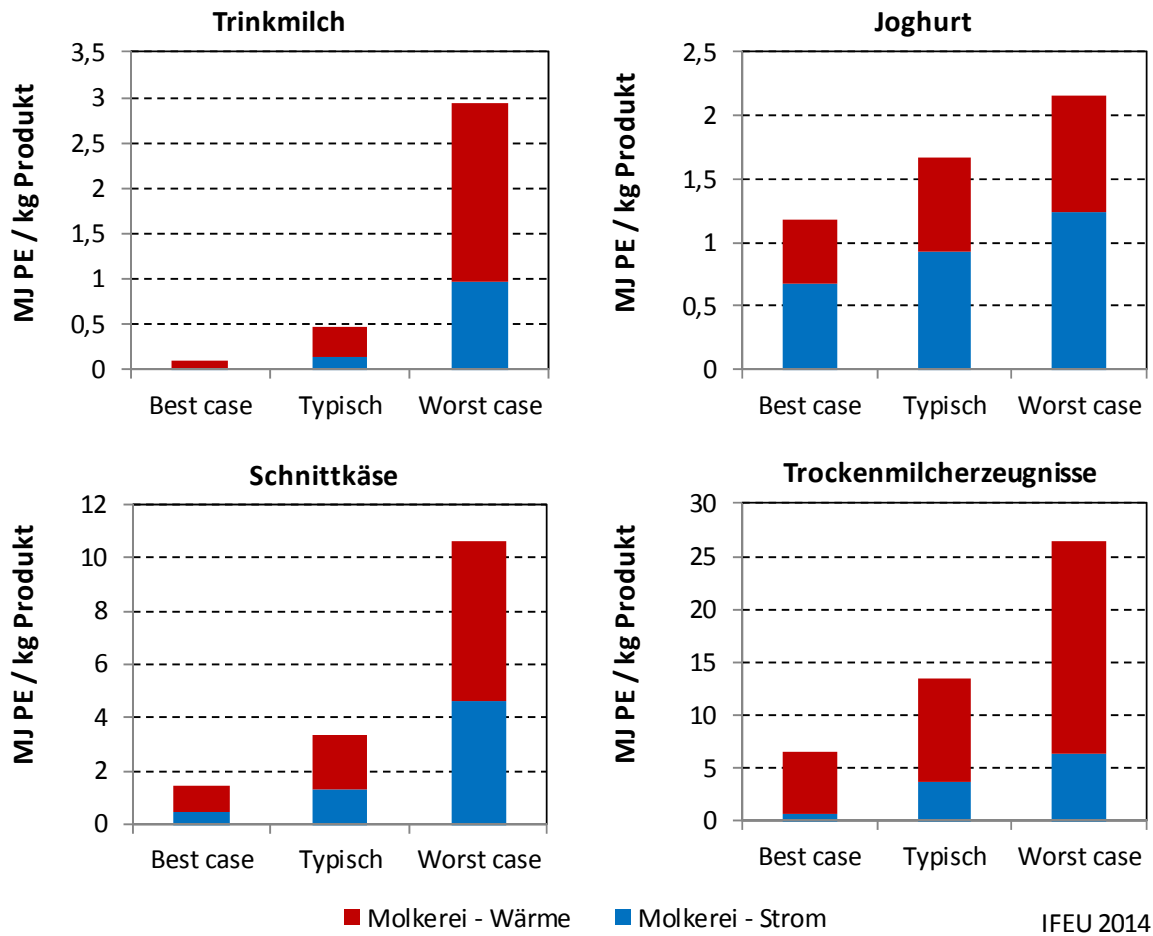


Abb. 59: Vergleich der Primärenergiebilanz der Strom- und Wärmebereitstellung für die Milchverarbeitung bei unterschiedlichem Energiebedarf: Typisch, „Best Case“ und „Worst Case“ der in der Praxis vorgefundenen Verfahren; jeweils dargestellt für die vier untersuchten Produktlinien Trinkmilch, Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse.

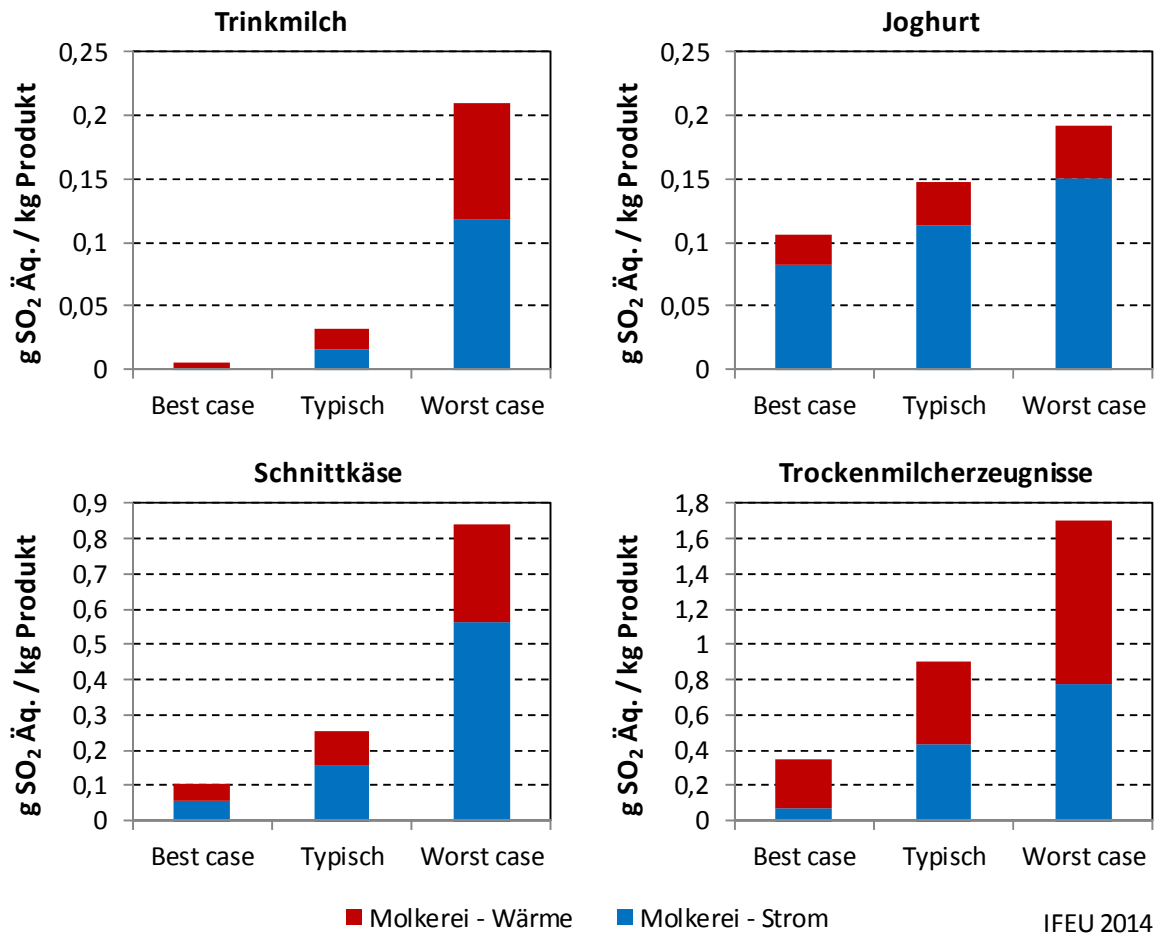


Abb. 60: Vergleich der versauernden Emissionen durch die Strom- und Wärmebereitstellung für die Milchverarbeitung bei unterschiedlichem Energiebedarf: Typisch, „Best Case“ und „Worst Case“ der in der Praxis vorgefundenen Verfahren; jeweils dargestellt für die vier untersuchten Produktlinien Trinkmilch, Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse.

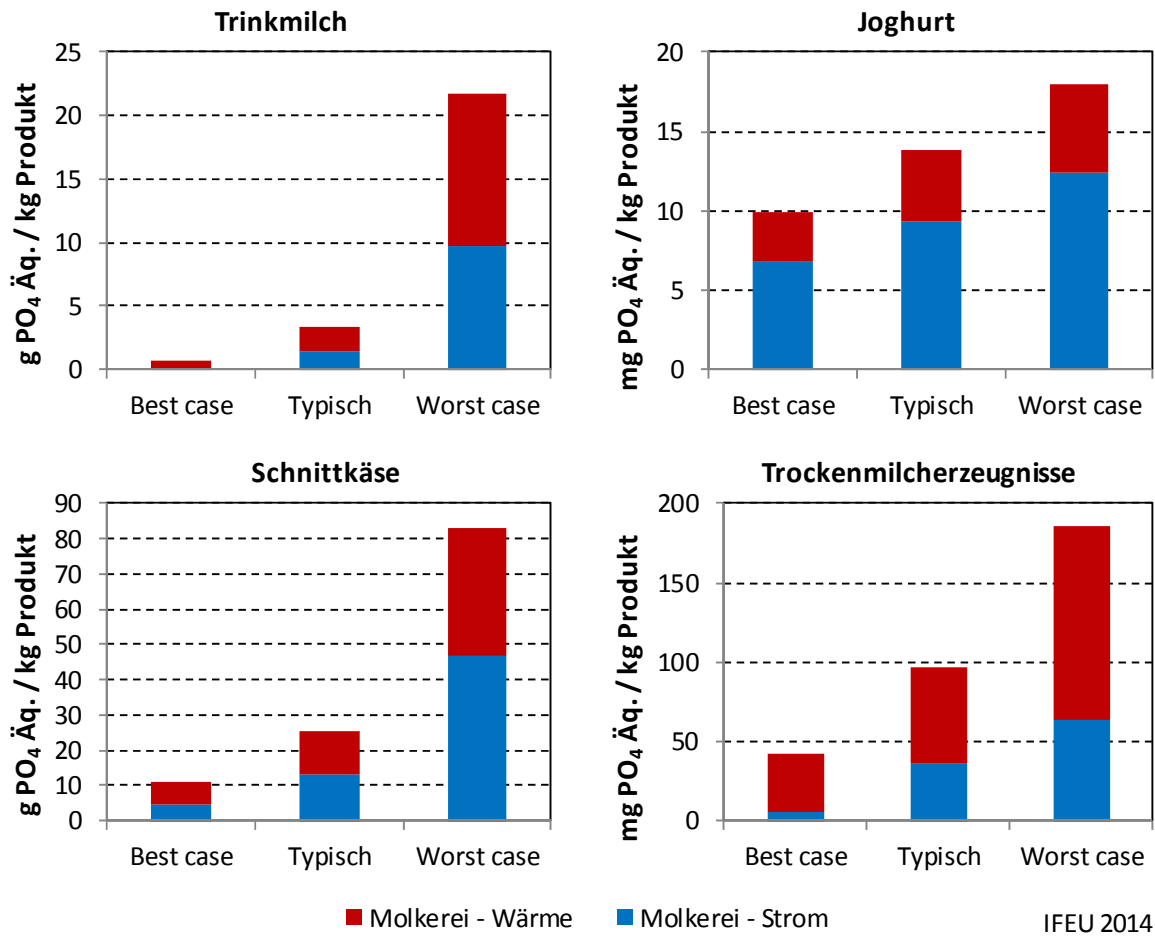


Abb. 61: Vergleich der terrestrischen Eutrophierung durch die Strom- und Wärmebereitstellung für die Milchverarbeitung bei unterschiedlichem Energiebedarf: Typisch, „Best Case“ und „Worst Case“ der in der Praxis vorgefundenen Verfahren; jeweils dargestellt für die vier untersuchten Produktlinien Trinkmilch, Joghurt, Schnittkäse und Trockenmilcherzeugnisse.

13 Abkürzungsverzeichnis

Äq.	Äquivalente
BFM	Betriebswirtschaftliches Forschungszentrum für Fragen der mittelständischen Wirtschaft e.V. an der Universität Bayreuth
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, seit 2013 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, seit 2013 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
BNatschG	Bundesnaturschutzgesetz
BReg	Bundesregierung
CFCI₃	Trichlorfluormethan
CH₄	Methan
CIP	Cleaning-in-Place
CML	Institute of Environmental Sciences
CO₂	Kohlenstoffdioxid
Destatis	Statistisches Bundesamt
DMW	Deutsche Milchwirtschaft (Zeitschrift)
DüV	Düngemittelverordnung
EDW	Einwohnerdurchschnittswert
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ESL-Milch	Extended Shelf Life
ETW	Einwohnerwert
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fraunhofer IGB	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik
MJ	Megajoule
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GJ	Gigajoule
HCl	Chlorwasserstoff

IDF	Deutsches Nationalkomitee im internationalen Milchwirtschaftsverband (International Dairy Federation)
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
ILCD	International Life Cycle Database
ILUC	Indirekte Landnutzungsänderungen, indirect land use change
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Standardization Organization
JRC-IES	Joint Research Centre of the European Commission – Institute for Environment and Sustainability
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LED	Leuchtdiode, Light Emitting Diode
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LUC	Landnutzungsänderungen, land use change
MIV	Milchindustrie-Verband e.V.
N₂O	Distickstoffmonoxid, auch bekannt als Lachgas
N	Stickstoff
NH₃	Ammoniak
NMHC	Nichtmethankohlenwasserstoffe
NO_x	Stickoxide
P	Phosphor
PE	Primärenergie
PM10	Feinstaub
PO₄³⁻	Phosphat
SO₂	Schwefeldioxid
TGI	Tiergerechtheitsindex
TM	Trockenmasse
UBA	Umweltbundesamt
UHT-Milch	Ultrahecherhitzt, Ultra High Temperature, („H-Milch“)
UV-Licht	Ultraviolett
VDM	Verband der Deutschen Milchwirtschaft e.V.

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V.
WBG World Bank Group

Bildquellen

Titelseite:

Grasende Kühe: © RainerSturm / pixelio.de

Molkerei: © Milchindustrie-Verband e.V. (MIV)

Milchprodukte: © Marazem / Dreamstime.com

Abbildung 2:

Sojafeld: © Tiago Fioreze / wikimedia.org

Kuhfütterung: Public domain

Molkerei: © Matthias Kabel / wikimedia.org