



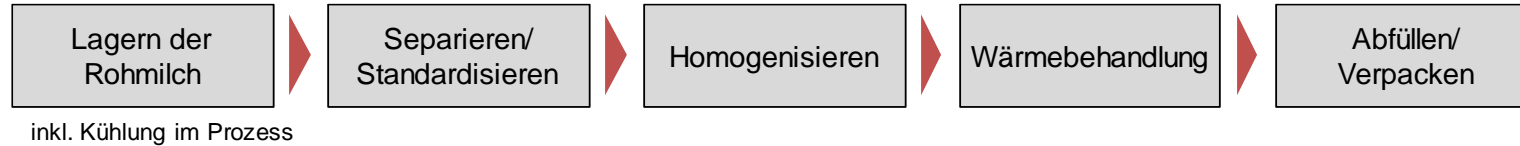
FFE

CO₂-Verminderung in der Milchverarbeitung

Andrej Guminski, Elsa Rouyrre, Manuel Wiener
27.11.2019

2019

Prozessablaufdiagramm Milchverarbeitung



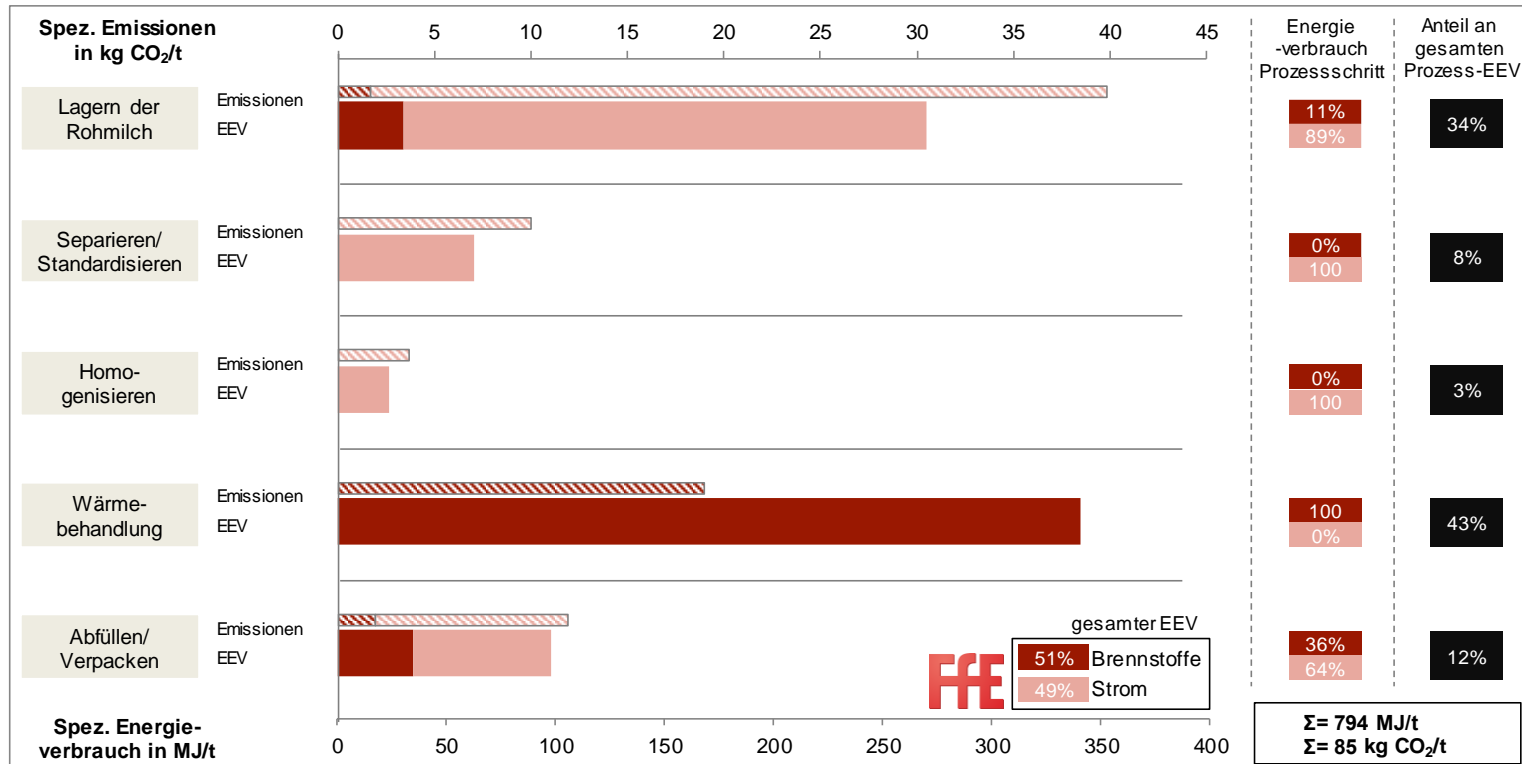
Prozessbeschreibung:

Die Milchverarbeitung (auch: Molkerei) umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Produktarten wie Konsummilch und Frischmilchprodukte, Butter, Käse und Milchpulver. Die Produktion von Konsummilch und Frischmilchprodukten betrug im Jahr 2014 mit 8.834 Mt mehr als 67 % der gesamten Produktion in der Milchverarbeitung. /MIV-01 16/ Grundsätzlich durchlaufen alle Milchprodukte die Verarbeitungsschritte von Konsummilch und Frischmilchprodukten. Abhängig von der jeweiligen Produktart sind weitere energetisch bedeutende Verarbeitungsschritte wie beispielsweise die Trocknung zur Milchpulverherstellung notwendig. /JRC-01 17/

Exemplarisch wird hier (vgl. auch Prozessablaufdiagramm) auf die Verarbeitung von Konsum- und Frischmilchprodukten eingegangen. Die Lagerung der Rohmilch, welche von der Landwirtschaft an die Molkereien geliefert wird, stellt den ersten Prozessschritt dar. In der vorliegenden Arbeit wird darüber hinaus die Kühlung im Produktionsablauf dem ersten Prozessschritt zugeordnet. Der Prüfung der gelieferten Milch auf Qualität folgt im zweiten Schritt die Separierung und Standardisierung. Dazu wird in einer speziellen Zentrifuge die Milch in ihre Bestandteile Magermilch und Rahm getrennt. Gleichzeitig erfolgt in der Zentrifuge durch das Aussondern von Schmutz und Mikroorganismen ein Reinigungsprozess. Je nach gewünschtem Fettgehalt wird der Magermilch wieder Rahm zugesetzt und so Milch mit unterschiedlichen Fettanteilen erzeugt. /BLES-01 13/, /JRC-01 17/ Nach dem Separieren und Standardisieren erfolgt der Prozessschritt der Homogenisierung. Um ein Aufrahmen der Milch zu unterbinden oder zu verlangsamen, wird die Milch dabei unter hohem Druck durch feinste Düsen gepresst und somit die Fettkügelchen der Milch stark verkleinert und verteilt. /BLES-01 13/, /TPG-01 17/

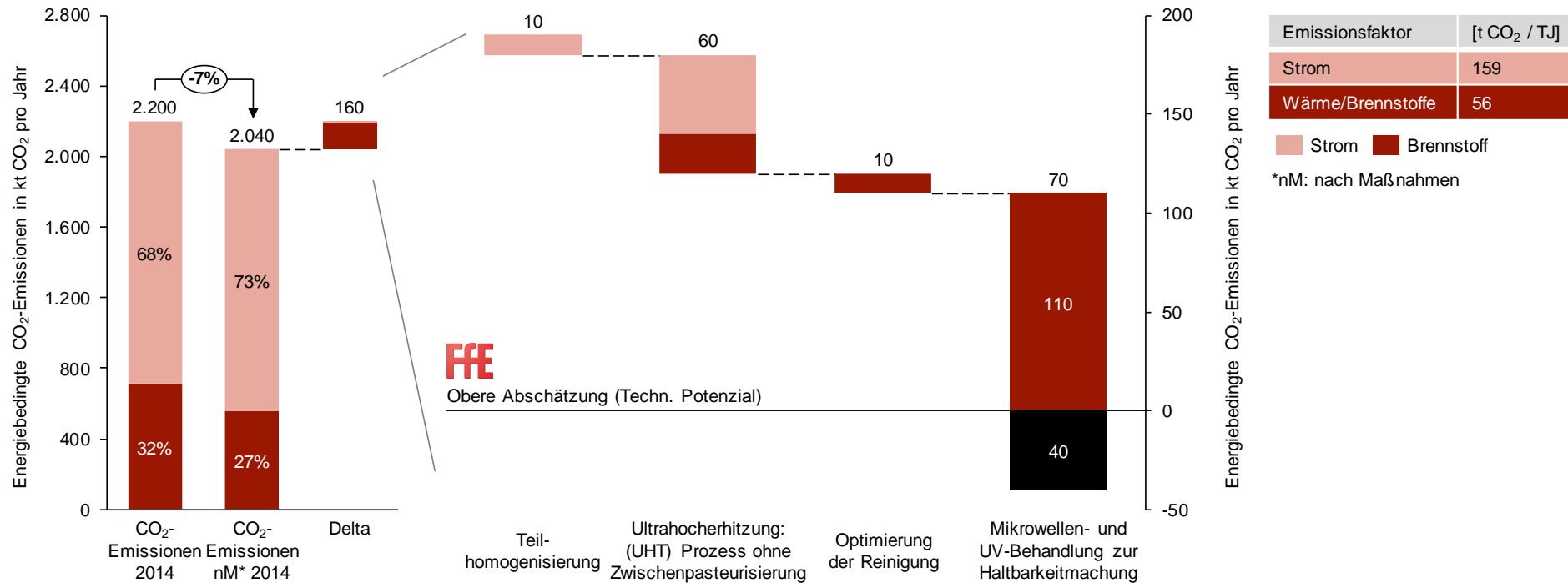
Als vierter Prozessschritt erfolgt eine Wärmebehandlung, um Keime abzutöten und die Milch haltbar zu machen. Dabei unterscheidet man grundsätzlich drei verschiedene Erhitzungsverfahren. Durch Pasteurisieren erhält man Frischmilch, welche gekühlt für einige Tage haltbar ist. Man unterscheidet zwischen Kurzzeiterhitzung (ca. 72 - 75° C, 15 - 30 Sekunden), Hoherhitzung (ca. 85° C, 4 - 10 Sekunden) und Dauererhitzung (ca. 62 - 65° C, ca. 30 Minuten). Ein ähnliches Verfahren stellt die Ultrahocherhitzung dar. Hierbei werden höhere Temperaturen von ca. 135 - 140° C für eine sehr kurze Zeitspanne (ca. eins bis vier Sekunden) eingesetzt und die Milch als H-Milch ungekühlt für bis zu acht Wochen haltbar gemacht. Mittels Sterilisieren ist die Milch für einige Monate auch ohne Kühlung haltbar. Hierbei muss die Milch allerdings bei mindestens 110° C bis zu einer halben Stunde in einem verschlossenen Behälter erhitzt werden. /EOLB 01 15/, /TPG 01 17/ Insgesamt lassen sich in der Milchverarbeitung Wärmerückgewinnungsraten von bis zu 95 % erreichen /IFEU-03 14/. Im abschließenden Prozessschritt des Abfüllens und der Verpackung werden die Milchprodukte für den Vertrieb versandfertig gemacht /BLES-01 13/.

Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO₂-Emissionen in kg CO₂/t der Milchverarbeitung



- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 800 MJ pro Tonne Rohmilch in 2014
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 50 % über Brennstoffe und zu ca. 50 % über Strom
- Wärmebehandlung stellt mit ca. 45 % den energieintensivsten Prozessschritt dar
- Durchschnittliche energiebedingte CO₂-Emissionen von ca. 85 kg pro Tonne Rohmilch in 2014

Auswirkungen quantifizierter CO₂-Verminderungsmaßnahmen auf die CO₂-Emissionen in der Milchverarbeitung



Herleitung des maximalen technischen CO₂- Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Milchverarbeitung (1)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Effizientere Wärmerückgewinnung (z. B. durch regenerative Wärmeübertragung) (Allgemein)	Die Wärmerückgewinnung ist in der milchverarbeitenden Industrie bereits sehr weit fortgeschritten und verbreitet, sodass Wärmerückgewinnungsraten von bis zu 90 % erreicht werden. Allerdings bieten sich vor allem in älteren Anlagen noch Potenziale durch ein Ersetzen bestehender Wärmeüberträger. /JRC-01 17/	Maximales technisches Potenzial: <10 kt CO ₂ /a Herleitung: - Spez. Einsparpotenzial Wärme (Brennstoff): 7 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /JRC-01 17/ - Anwendungsfaktor: 10 %, Annahme basierend auf /JRC-01 17/
Teilhomogenisierung (Homogenisieren)	Bei der Teilhomogenisierung wird lediglich der Rahm mit einer kleinen Menge Magermilch homogenisiert. Die restliche Magermilch wird direkt vor der Wärmebehandlung mit dem homogenisierten Rahm vermischt. /BLES-01 13/, /JRC-01 17/	Maximales technisches Potenzial: <100 kt CO ₂ /a Herleitung: - Spez. Einsparpotenzial Strom: 4 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /JRC-01 17/ - Anwendungsfaktor: 30 %, Annahme basierend auf /JRC-01 17/
Energieeffiziente Homogenisierung (Homogenisieren)	Die Energie, welche im Homogenisierer verbraucht wird, kann durch optimales Design gesenkt werden. Hierzu sinkt der im Homogenisierer notwendige Betriebsdruck bei gleichbleibendem Homogenisierungseffekt. /JRC-01 17/, /TPG-01 17/	Maximales technisches Potenzial: <10 kt CO ₂ /a Herleitung: - Spez. Einsparpotenzial Strom: 2 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /JRC-01 17/ - Anwendungsfaktor: 20 %, Annahme basierend auf /JRC-01 17/

Herleitung des maximalen technischen CO₂-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Milchverarbeitung (2)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
<p>Ultrahocherhitzung: (UHT)-Prozess ohne Zwischen-pasteurisierung (Wärmebehandlung)</p>	<p>Beim normalen UHT-Prozess wird die Milch nach dem Separieren/ Standardisieren pasteurisiert und homogenisiert und anschließend bis zur UHT-Behandlung zwischengekühlt. Durch den UHT-Prozess ohne Zwischenpasteurisierung findet direkt im Anschluss an das Homogenisieren die Wärmebehandlung statt. Hierdurch wird Rohmilch in einem Prozessschritt zu UHT-Milch und bedeutende Energieeinsparungen können realisiert werden. /JRC-01 17/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 8 kWh / t Milchprodukt /JRC-01 17/ - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 11 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /JRC-01 17/ - Anwendungsfaktor: 90 %, Annahme basierend auf /JRC-01 17/
<p>Optimierung der Reinigung (Allgemein)</p>	<p>Die Reinigung der Anlagen ist ein bedeutender Energieverbraucher in der Milchverarbeitung. Cleaning-in-place (CIP) ist in der Milchverarbeitung grundsätzlich für einen Energieverbrauch von ca. 10 % verantwortlich. /RAM-01 04/, /IFEU-03 14/</p> <p>Die Maßnahme beinhaltet zum einen die Optimierung der Parameter zur Reinigung, wie z. B. die Reduzierung der Drehzahl der Zentrifuge während der Reinigung (Stromeinsparung von ca. 10 %) /TPG 01 17/, zum anderen den Einsatz einer chemischen Reinigung anstatt der thermischen Reinigung. Durch die chemische Reinigung wird eine Energieeinsparung erzielt, da bei chemisch geführten Reinigungsverfahren grundsätzlich keine / weniger thermische Energie benötigt wird (ca. 10 % Dampfeinsparung). /FFE-35 17/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: <100 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 11 kWh / t Milchprodukt /TPG-01 17/, /RAM-01 04/ - Anwendungsfaktor: 70 %, Annahme basierend auf /RAM-01 04/
<p>Mikrowellen- und UV-Behandlung zur Wärmebehandlung (Wärmebehandlung)</p>	<p>Es ergibt sich eine Energieeinsparung dadurch, dass Dampf zur Wärmebehandlung eingespart werden kann. Darüber hinaus ist durch die Anwendung von Mikrowellen-Technologie ein geringerer Reinigungsaufwand notwendig. /IGB-01 16/ Stattdessen wird lediglich Strom zum Betrieb der Mikrowellen-Anlage benötigt.</p> <p>Allerdings gibt es bezüglich der Anwendbarkeit von UV-Behandlung für Milch auch kritische Einschätzungen /NRC-01 16/.</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: -9 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /DAT-01 15/ - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 61 kWh / t Milchprodukt, Annahme basierend auf /DAT-02 15/, /MIL-01 11/ - Anwendungsfaktor: 100 %

Herleitung des maximalen technischen CO₂- Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Milchverarbeitung (3)

(keine Potenzialbestimmung):		
Optimierte Prozesssteuerung (v.a. optimierte Produktionsplanung) (Allgemein)	Optimierte Produktionsplanung bedeutet in diesem Zusammenhang vor allem eine vorausschauende Planung von Produktions- und Reinigungszeiten. Da in der Milchverarbeitung auch der Reinigung ein nicht geringer Energieverbrauch zuzuschreiben ist, ist jeder eingesparte Reinigungszyklus mit einer Verminderung von Emissionen verbunden /FFE-35 17/.	<i>Nicht quantifizierbar aufgrund unzureichender Datenverfügbarkeit</i>
Simultanes Homogenisieren und Mischen (SHM) (Homogenisieren)	Mittels simultanem Homogenisieren und Mischen ist es möglich, Milch- und Milchprodukte mit hohem Fettanteil von über 17 % energieeffizient mittels Teilhomogenisierung zu behandeln. In der Literatur werden Einsparungspotenziale in der Homogenisierung von bis zu 92 % angegeben. /FEI-01 11/	<i>Nicht quantifizierbar aufgrund unzureichender Datenverfügbarkeit</i>
Alle Maßnahmen	Summe der Maßnahmen	Maximales technisches Potenzial: 200 kt CO₂/a

Quellen

- BLESL-01 13** Blesl, Markus; Kessler, Alois: Energieeffizienz in der Industrie in: Springer Verlag. Berlin Heidelberg: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Forschung und Innovation, Karlsruhe, 2013.
- BMEL-01 14** Energieverbrauch des Produzierenden Ernährungsgewerbes (2013) - verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/>. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2014
- DAT-01 15** Datta, Nivedita; Tomasula, Peggy M.: Emerging Dairy Processing Technologies - Opportunities for the Dairy Industry. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2015
- DAT-02 15** Datta, Nivedita; Harimurugan, Poornimaa; Palombo, Enzo A.: Ultraviolet and Pulsed Light Technologies in Dairy Processing in: Dairy Processing, in Emerging Dairy Processing Technologies: Opportunities for the Dairy Industry . Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2015
- EOLB-01 11** Brush, Adrian; Masanet, Eric; Worrell, Ernst: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Dairy Processing Industry - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, Kalifornien: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, 2011
- EOLB-01 15** Homan, Gregory K.; Aghajanzadeh, Arian; McKane, Aimee: Opportunities for Automated Demand Response in California's Dairy Processing Industry. Berkeley, Kalifornien: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, 2015
- FEI-01 11** Untersuchungen zur Integration der Simultanen Homogenisier- und Misch- (SHM-) Technologie in konventionelle Homogenisationsprozesse mit Flachventilen zur Verarbeitung von Milchprodukten. Bonn: Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), 2011
- FFE-35 17** Wehinger, Johannes (Vorarlberg Milch eGen): Experteninterview am 16.03.2017 - CO₂-Verminderung in der Milchverarbeitung. München: FFE GmbH, 2017
- IFEU-03 14** Müller-Lindenlauf, Maria; Cornelius, Christine; Gärtner, Sven; Reinhardt, Guido; Rettenmaier, Nils; Schmidt, Tobias: Umweltbilanz von Milch- und Milcherzeugnissen - Status quo und Ableitung von Optimierungspotenzialen. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH, 2014

- IGB-01 16** Pasteurisierung mit Mikrowellen spart Zeit, Energie und Kosten. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB), 2016
- JRC-01 17** Best Available Techniques (BAT) Reference Document in the Food, Drink and Milk Industries - First Draft (January 2017). Sevilla: Joint Research Centre of the European Commission (JRC), 2017
- MIL-01 11** Miller, Steve: Alternative to pasteurization in: International Dairy Magazine. Bad Breisig: B&L MedienGesellschaft mbH & Co. KG, 2011
- MIV-01 16** ZMB GmbH: Zahlen - Daten - Fakten 2015 - Milchwirtschaft auf einen Blick. Berlin: Milchindustrie-Verband e.V, 2016
- NRC-01 16** New Energy efficient Technologies that are applicable to manufacturing Processes in: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/6843> (Abruf: 09.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6r7IpCoSU>. Ottawa, Ontario: Natural Resources Canada, 2016
- RAM-01 04** Ramirez, C.A.; Patel, M.; Blok, K.: From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry in: Energy 31 (2006). Amsterdam: Elsevier, 2004
- TPG-01 17** The Dairy Processing Handbook - Handbuch zur Milchverarbeitung in: verfügbar unter: <http://dairyprocessinghandbook.com> (Abruf: 03.06.2017). Pully, Schweiz: Tetra Pak Group, 2017
- UBA-02 16** Icha, Petra: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2016
- UBA-13 16** Juhrich, Kristina: CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016