

Energiewende in der Industrie

Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor

Branchensteckbrief der Nahrungsmittelindustrie

Bericht an:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

von:

Sarah Gühl, Navigant
Marcel Schwarz, Navigant
Matthias Schimmel, Navigant

in Zusammenarbeit mit:

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft
BBG und Partner

Vorhaben: I C 4 – 80 14 38/42
Projektnummer: SISDE17915
27.08.2019

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Nahrungsmittelindustrie	1
1.1 Übersicht über die Nahrungsmittelindustrie	1
1.2 Produktionsprozesse in der Nahrungsmittelindustrie.....	5
1.2.1 Zuckerherstellung	6
1.2.2 Milchverarbeitung	7
1.2.3 Herstellung von Backwaren.....	8
1.2.4 Fleischverarbeitung	9
1.3 Übertragbarkeit auf andere Branchen.....	12
2. Literaturverzeichnis	13

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BWS	Bruttowertschöpfung
CAGR	Jährliche Wachstumsrate (engl. compound annual growth rate)
CaO	Calciumoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
GJ	Gigajoule
GuD-Anlagen	Gas und Dampf Anlagen
IREES	Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
NACE	System zur Klassifizierung von Wirtschaftszweigen (frz. Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne)
NP-Dünger	Stickstoff (N) und Phosphor (P) - Dünger
PJ	Petajoule
TierNebG	Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetze
UHT-Erhitzung	Ultrahochtemperatur-Erhitzung

1. NAHRUNGSMITTELINDUSTRIE

1.1 Übersicht über die Nahrungsmittelindustrie

Branche. Die Nahrungsmittelindustrie ist Teil des verarbeitenden Gewerbes. Sie umfasst im Wesentlichen die Teilbranchen Fleisch- und Fleischwarenindustrie, Milchindustrie, Süß- und Backwarenindustrie, Obst- und Gemüseverarbeitung, Stärkeherzeugung, Fischindustrie, Herstellung von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten. Eine ganzheitliche Betrachtung der Nahrungsmittelindustrie ist bedingt durch ihre Heterogenität daher nicht immer möglich und sinnvoll. Hier nicht betrachtet wird die Getränkeindustrie, die zusammen mit der Nahrungsmittelindustrie die Ernährungsindustrie ausmacht. Ebenfalls nicht betrachtet wird die Futtermittelindustrie.

Die Nahrungsmittelindustrie macht 87,8 Prozent des Gesamtumsatzes der Ernährungsindustrie aus (2016: 171,3 Mrd. Euro), siehe Tabelle 1-1. Mehr als die Hälfte davon wird in der Fleisch- und Fleischwarenindustrie (24,3 Prozent), Milchindustrie (13,2 Prozent), Backwarenindustrie (9,8 Prozent) und durch Süßwaren, Dauerbackwaren und Speiseeis (8,3 Prozent) umgesetzt. In den letzten Jahren stieg der Export sowie Import von Produkten der Nahrungsmittelindustrie. Der Lebensmitteleinzelhandel ist vor dem Außer-Haus-Markt (Gastronomie) und dem Export jedoch der wichtigste Absatzkanal.² Die Nahrungsmittelindustrie liefert nicht nur an Endverbraucher, sondern vielmehr auch innerhalb der Branche an andere Unternehmen, da viele Erzeugnisse mehrere Produktionsstufen durchlaufen.³

Tabelle 1-1: Kennzahlen der Nahrungsmittelindustrie 2016¹

Produktionsstandorte	5.292	
Arbeitsplätze	506.335	
Umsatz	150,4 Mrd. €	
CAGR BWS (2008-2015)	1,9 %	
Jährliche Produktionsmengen	-	
Gesamtenergieverbrauch	57,64 TWh	
Stromverbrauch	16,11 TWh	
Erdgasverbrauch	3,23 Mrd. m ³	
Kohleverbrauch	0,32 Mio. t SKE	
Gesamtemissionen	8,9 Mio. tCO ₂ e (2015) (inkl. Getränke & Tabak)	
Eigenproduktions- & KWK-Anteil	22 %	ca. 20 %

Energiebilanz. Der Energieverbrauch unterscheidet sich je nach Sub-Branche. So haben die Fleischverarbeitungsindustrie in ihren Schlachtereien sowie Hersteller von Tiefkühlwaren aufgrund energieintensiver Kühlsysteme einen höheren Verbrauch als Tee- oder Feinkosthersteller.⁴ Nach den Analysen des Fraunhofer ISI und IREES von 2013 setzen sich die vier energieintensivsten Sub-Branchen der Nahrungsmittelindustrie wie folgt zusammen:⁵

- Zuckerindustrie
- Milchverarbeitende Industrie
- Herstellung von Backwaren
- Fleischverarbeitung

Die Nahrungsmittelindustrie weist einen Endenergiebedarf von etwa 57,3 TWh pro Jahr auf. Insgesamt überwiegt der Energieeinsatz für thermische Energie gegenüber Strom. Der Anteil der hier betrachteten vier energieintensivsten Branchen am gesamten Stromverbrauch der

¹ BVE (2017a); Destatis (2018a, 2018b, 2018c); Eurostat (2018).

² BVE (2017a).

³ Thobe (2011).

⁴ Thobe (2011).

⁵ Idrissova/Jochem (2013).

Ernährungsindustrie betrug 2013 55 Prozent⁶ und am gesamten Wärmebezug 26 Prozent.⁷ Der Energieverbrauch ergibt sich innerhalb der gesamten Ernährungsindustrie hauptsächlich durch die nötige Prozesswärme bzw. -kälte sowie dem Kraftbedarf für Elektromotoren. Der Einsatz von Brennstoffen erfolgt vor allem zur Erzeugung von Prozesswärme (Dampf, Warm-/ Heißwasser, warme Luft) und Strom für den Kraftbedarf (z. B. Kühlung, Druckluft, Vakuumierung, Transport) sowie Beleuchtung. Der Anteil von Strom am gesamten Endenergiebedarf der Nahrungsmittelindustrie betrug 2016 fast 28 Prozent.

Insgesamt liegen in der Nahrungsmittelindustrie die Anteile der Eigenerzeugung am Stromverbrauch bei rund 20 Prozent. Auch der Einsatz von KWK-Anlagen spielt eine wichtige Rolle. Studien zum KWK-Anteil in der industriellen Kraftwirtschaft legen nahe, dass nahezu 100 Prozent der Eigenstromproduktion über KWK generiert werden.⁸

Zuordnung zu amtlicher Statistik. In der amtlichen Statistik umfasst die Nahrungsmittelindustrie die NACE Codes 10.1–10.8. Der Fleischverarbeitung wird NACE Code 10.13, der Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis) 10.51, Herstellung von Backwaren 10.7 und der Herstellung von Zucker 10.81 zugeordnet.

Branchenstruktur. Die Nahrungsmittelindustrie ist die heterogenste aller betrachteten Branchen. Dies gilt sowohl bezüglich der Produktpalette und der damit verbundenen Produktionsverfahren wie auch für die Anwendung unterschiedlicher energieintensiver Verfahren und Technologien. Die Branche ist vergleichsweise konjunkturunabhängig. Neben vielen KMUs bestimmen aufgrund strategischer Kooperationen, Fusionen und Firmenübernahmen zunehmend einige wenige internationale Konzerne die Branche. Vor diesem Hintergrund ergibt sich die zentrale Motivation zur Steigerung der Energieeffizienz aus dem Ziel, die Produktionskosten zu senken und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.⁹

Geographische Aufteilung. Die Herstellung von Nahrungsmitteln in Deutschland erstreckt sich aufgrund der diversen Branchenstruktur über alle Bundesländer. Die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen verfügen über den größten Anteil der Betriebe. Von insgesamt fast 5.300 Betrieben deutschlandweit befanden sich 2016 fast zwei Drittel in diesen vier Bundesländern.¹⁰

Wertschöpfungskette. Die gesamte Wertschöpfungskette bei Nahrungsmitteln beinhaltet die vorgelagerten Schritte Landwirtschaft und Agrarhandel sowie der nachgelagerte Schritt Lebensmittelhandel (Groß- und Einzelhandel). Vor den hier im Fokus stehenden Schritten der Verarbeitung steht der Anbau bzw. die Züchtung der Rohstoffe/ Vorprodukte in der Land- und Viehwirtschaft. Hier ist insbesondere der Ausstoß von Nicht-CO₂-Emissionen (v. a. Methan) und der Wasserverbrauch relevant. Nachgelagert ist der Transport und die Lagerung im Handel sowie der Konsum bzw. die Entsorgung bei den Endverbrauchern. In der Produktion von Nahrungsmitteln werden Abfälle weitgehend dadurch vermieden, dass nicht nur Lebensmittel, sondern auch Futtermittel, Düngemittel, Produkte für technische Anwendungen sowie Energieträger (zur Vergärung oder Verbrennung) erzeugt werden (Koppelprodukte).¹¹

Die Wertschöpfungskette der Nahrungsmittelindustrie ist geprägt von vor- und nachgelagerten emissionsrelevanten Prozessen, konkret in der Land- und Viehwirtschaft sowie im Handel und Konsum. Für die Betrachtung der Emissionen und des Energiebedarfs im Folgenden werden die Prozesse der Rohstoffproduktion (v. a. Land- und Viehwirtschaft), des Einzelhandels und des Verbrauchs nicht berücksichtigt, da diese Stufen außerhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Nahrungsmittelherstellung liegen.

⁶ EnergieAgentur NRW (2018)

⁷ Destatis (2013); Idrissova/Jochem (2013).

⁸ Öko-Institut e.V. (2015)

⁹ Idrissova/Jochem (2013).

¹⁰ Destatis (2018a).

¹¹ UBA (2013) und Vertreter der Nahrungsmittelindustrie.



Abbildung 1-1. Wertschöpfungskette bei Lebensmitteln¹²

Regulatorische Besonderheiten. Bis 30. September 2017 unterlag die EU-Zuckerindustrie den Bestimmungen der „Zuckermarktordnung“, die eine Erzeugungsquote und einen Rübenmindestpreis regelte. Durch Wegfall dieser Marktregulierung wird sich der Wettbewerb aus Sicht des Bundeslandwirtschaftsministeriums voraussichtlich verschärfen.¹³ Erzeuger sind dadurch unmittelbar dem sehr volatilen Weltmarktpreis ausgesetzt, was sich seit Herbst 2017 massiv auf den Binnenmarkt auswirkt. Die deutsche Zuckerindustrie hat sich zudem im Rahmen der Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge bereits 1996 verpflichtet, den spezifischen Energiebedarf von rund 36 kWh/100 kg Rüben im Jahr 1990 auf 29 kWh/100 kg Rüben im Jahr 2012 zu reduzieren. Der Primärenergiebedarf wurde u. a. durch stärkere Abwärmenutzung, verbesserte Schnitzelabpressung und durch Verbesserung der Mess- und Regeltechnik gesenkt.¹⁴ Durch hohe Investitionen besonders im Bereich der KWK-Anlagen, hat die deutsche Zuckerindustrie im Rahmen dieser Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft ihre CO₂-Emissionen von 1990 bis 2012 von 152 kg/t Rüben auf rd. 70 kg/t Rüben mehr als halbiert.¹⁵

Flexibilität. In der Nahrungsmittelindustrie bestehen Flexibilitätspotenziale beim Einsatz von Druckluft, Wärme und Kälte. Viele maschinelle Produktionsprozesse in der Nahrungsmittelindustrie verwenden Druckluft. Flexibilitätspotenziale bestehen, wenn die Druckluft gespeichert werden kann. Die Leistung der Druckluftkompressoren entscheidet dabei über die Höhe des Potenzials. Abgesehen von der Zuckerherstellung, bei der nur wenig Kälte benötigt wird, sind die betrachteten Sub-Branchen auf Kühlketten angewiesen. Insbesondere die Fleischverarbeitung hat einen hohen Strombedarf für die Kühlung. Tiefkühlkälteanlagen bieten ein hohes Flexibilitätspotenzial. Durch eine Lasterhöhung zur Senkung der Temperatur der Tiefkühlware wird Strom in Form von Kälte gespeichert¹⁶. Durch eine anschließende Lastabsenkung steigt die Temperatur wieder auf den Sollwert an. Das Flexibilitätspotenzial ist dabei abhängig von der Temperaturbandbreite der Tiefkühlware. Zusätzlich bieten Eis- & Kältespeicher Flexibilitätspotenziale. In der Nahrungsmittelverarbeitung wird Wärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt. Vorhandene Wärmespeicher bieten Flexibilitätspotenziale, sofern die Wärme elektrisch erzeugt wird (Widerstands-, Induktionserwärmung, elektrische Dampferzeugung). Weitere elektrische Anwendungen zur Prozesswärmebereitstellung, die bereits in der Nahrungsmittelindustrie eingesetzt werden und denen eine zunehmende Bedeutung in der Zukunft zugesprochen wird, sind die Mikrowellenerhitzung, die Infraroterhitzung und industrielle Wärmepumpen.¹⁷ Mikrowellenerhitzung kommt z. B. beim Pasteurisieren zum Einsatz. In der Milchverarbeitung bei der Herstellung von Käse werden u. a. Wärmeschaukeln eingesetzt. Die abgetrennte Molke kann in Wärmeschaukeln gespeichert und später zur Erwärmung der Rohmilch wieder eingesetzt werden.¹⁸

Weitere Wärme-Flexibilitätspotenziale bestehen in Bäckereien. Der Gärprozess, der auf strombasierte Wärmebereitstellung angewiesen ist, kann durch Temperatursenkung unterbrochen und verzögert werden, sodass eine Vorproduktion möglich ist.¹⁹ Elektrisch beheizte Backöfen bieten ebenfalls Flexibilitätspotenziale durch Verlagerung des Backens auf frühere oder spätere Zeitpunkte,

¹² Becker .

¹³ BMEL (2018).

¹⁴ WVZ (2001).

¹⁵ Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V. (2014); RWI (2013)

¹⁶ Matzen/Tesch (2017)

¹⁷ Bubeck (2017); Schlesinger/Lindenberger/Lutz (2014); UBA (2005).

¹⁸ Blesl/Kessler (2017).

¹⁹ Blesl/Kessler (2017).

sofern die vor- und nachgelagerten Prozesse dies ermöglichen. In dem Verdampfungs- und Kristallisationsprozess bei der Zuckerherstellung bestehen allenfalls geringe Flexibilitätspotenziale.

Aufgrund der großen Stoffstrommengen und der Verderblichkeit des Rohstoffs (saisonaler Betrieb), muss ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet sein. Es ist jedoch möglich Dampf zum Teil mittels Stroms aus erneuerbaren Energien über Power-to-heat Anlagen zu erzeugen. Projekte für die Vermarktung von Regelenergie bestehen bereits.²⁰ Zuckerfabriken nutzen zum größten Teil Kraft-Wärme-Kopplung zur Eigenerzeugung von Prozesswärme und Strom. Im Einzelfall können in einem geringen Umfang Flexibilitätspotenziale bei der Erzeugung und dem netzseitigen Bezug von Strom bestehen. Durch Aufnahme von Biomasse in den Energiemix wäre es langfristig möglich, den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen, sofern diese lokal und zu wirtschaftlichen Bedingungen verfügbar sei.

Kreislaufwirtschaft. Bei der Verarbeitung des agrarischen Rohstoffs Zuckerrübe werden bei der Zuckerherstellung alle Rohstoffbestandteile genutzt, um daraus hochwertige Produkte herzustellen. Aus Zuckerrüben werden neben dem Zucker ebenso Zuckerrübenschnitzel, Melasse und Carbokalk erzeugt. Die Zuckerrübenschnitzel werden nach der Extraktion des Zuckers als Futtermittel verwendet oder als Rohstoff zur Erzeugung von Energie aus erneuerbarer Quelle genutzt. Die Melasse wird als Futtermittel verwendet und dient als Rohstoff für die Fermentationsindustrie zur Herstellung von z. B. Hefe, Ethanol oder Zitronensäure. Aus der Reinigung der Zuckersäfte entsteht Carbokalk, den die Landwirtschaft als Kalkdüngemittel nutzt. Die Standorte benötigen nur geringe Mengen an Frischwasser. Das in der Zuckerrübe enthaltene Wasser (ca. 70 Prozent auf Masse) wird im Erzeugungsprozess als Prozesswasser verwendet, in standort eigenen mehrstufigen Abwasserbehandlungsanlagen gereinigt und anschließend in Vorfluter eingeleitet bzw. in der Landwirtschaft genutzt. Bei der anaeroben Behandlung der Produktionsabwässer entsteht Klärgas. Dieses wird als Brennstoff zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendet.²¹

Bei der Käseproduktion in der **Milchverarbeitung** fällt (Sauer-) Molke als Reststoff an. Diese wird genutzt, um Biogas herzustellen, mit dem wiederum Prozesswärme und Strom erzeugt wird.²² Gärreste aus dem Anaerob-Reaktor, die bei der Erzeugung von Biogas übrigbleiben, werden zu organischem Dünger verarbeitet²³. Sauermolke kann ebenfalls zu Tierfutter und sogar zu Bio-Öl verwertet werden, welches zu Kraftstoff raffiniert werden kann.²⁴

Die Verpackung von Milch mit dem Einweg-Schlauchbeutel aus Polyethylen sowie die Einführung des Einweg-Milchkartons (Tetrapacks) bieten auf Grund ihrer Recyclbarkeit eine ökologische Vorteilhaftigkeit wie die Mehrwegmilchflasche.²⁵

Bei der Herstellung von **Backwaren** fallen Produkte an, welche für den Verkauf nicht geeignet sind. Je nach Zusammensetzung werden solche Produkte, sogenanntes „Altbrot“, als Tierfutter verwendet. Dieses gilt auch für nicht-verkaufte Backwaren, sofern diese bestimmte Kriterien erfüllen, unter anderem dürfen sie keinen Schimmelbefall aufweisen.²⁶ Backabfälle können ebenfalls in einer Biogasanlage energetisch verwertet werden.²⁷ Altes Brot ist als Brennstoff nutzbar.²⁸ Aus altem Frittierfett kann Bio-Diesel hergestellt werden.²⁹ In einer Bäckerei bieten sich ebenfalls diverse Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung, beispielweise aus dem Rauchgas.³⁰

²⁰ Bollinger-Kanne (2016).

²¹ Südzucker AG (2018); Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V./Verein der Zuckerindustrie e.V. (2018).

²² VHM.

²³ Kürth (2017).

²⁴ Cornelius (2018).

²⁵ Kranert (2017).

²⁶ Freistaat Bayern, Körperschaft des öffentlichen Rechts .

²⁷ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft/Fachverband Biogas e.V (2012).

²⁸ Freund (2010).

²⁹ Gerlicher GmbH (04.03.2016).

³⁰ EnEff Bäckerei (2014).

In der **Fleischverarbeitung** entstehen tierische Nebenprodukte für deren Verwertung auf Grund von Seuchengefahr³¹ besondere Vorschriften gelten. Diese sind im TierNebG (Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz)³² näher geregelt. Bei der Fleischverarbeitung fallen unter anderem Tiermehle, Tierfette und Federmehle als verwertbare Nebenprodukte an.³³ Tiermehle dienen als Zusatzbrennstoff in Kohlekraftwerken. Fleischmehle können als NP-Dünger verwendet werden. Tierfett wird teilweise in der chemischen Industrie weiterverarbeitet. Außerdem kann Schmierfett für Maschinen oder Bio-Diesel aus dem Tierfett gewonnen werden.

1.2 Produktionsprozesse in der Nahrungsmittelindustrie

Auswahl relevanter Prozesse. Die vier energieintensivsten Unterbranchen, Zuckerherstellung, Milchverarbeitung, Backwarenherstellung und Fleischverarbeitung, beinhalten teilweise übergreifende und teilweise spezifische Prozesse. Die Zucker- und Milchindustrien weisen hierbei den höchsten Wärmebedarf (jedoch bei unterschiedlichen Temperaturniveaus) auf, während die Milch- und Backwarenindustrie den vergleichsweise höchsten Stromverbrauch haben (Abbildung 1-2).³⁴

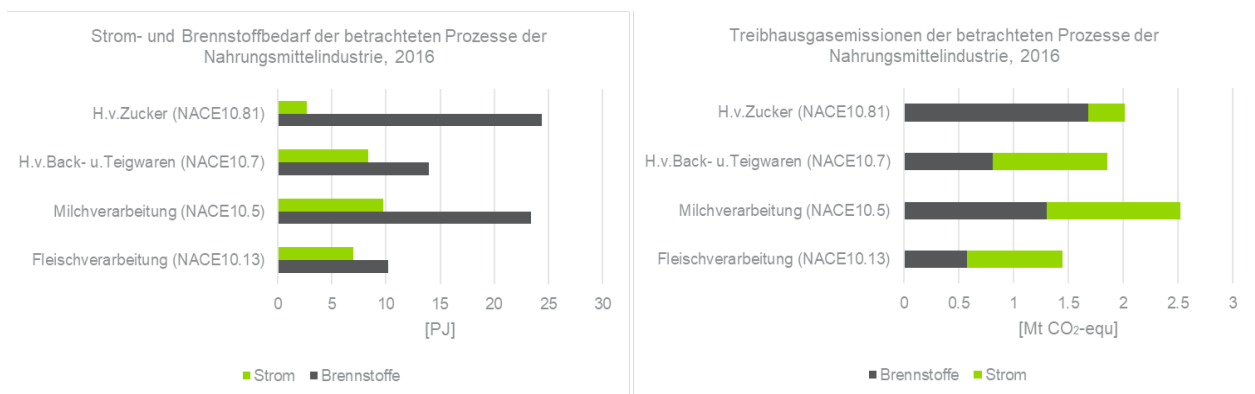


Abbildung 1-2. Vergleich des Energieverbrauchs und der Emissionen der wichtigsten Sub-Branchen der Nahrungsmittelindustrie 2016³⁵

Zu den übergreifenden Prozessen zählen sowohl die Druckluft- und Kälteerzeugung als auch die Heizung und Beleuchtung, für die mögliche Effizienzmaßnahmen unabhängig von der Branche als Teil der jeweiligen Transformationspfade zwar relevant sind, die hier aber aufgrund nicht verfügbarer Informationen nicht näher beschrieben werden. Die spezifischen Prozesse werden im Folgenden pro Unterbranche vorgestellt.

³¹ Umweltministerium NRW .

³² Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) v. 25.1.2004.

³³ BVE (2017b).

³⁴ Kemmler u. a. (2017).

³⁵ Destatis ; Destatis (2016).

1.2.1 Zuckerherstellung

Zuckerherstellung ist ein Saisongeschäft (Rübenkampagne und Dicksaftkampagne): In der fünf Monate dauernden Rübenkampagne (September bis Januar) verarbeiten 20 deutsche Zuckerfabriken jedes Jahr rund 26 Mio. Tonnen Rüben. Die Saftedickung (Verdampfung), Kristallisation und Schnitzeltrocknung sind die energieintensivsten Prozessschritte der Zuckerherstellung und werden im Folgenden näher beschrieben.

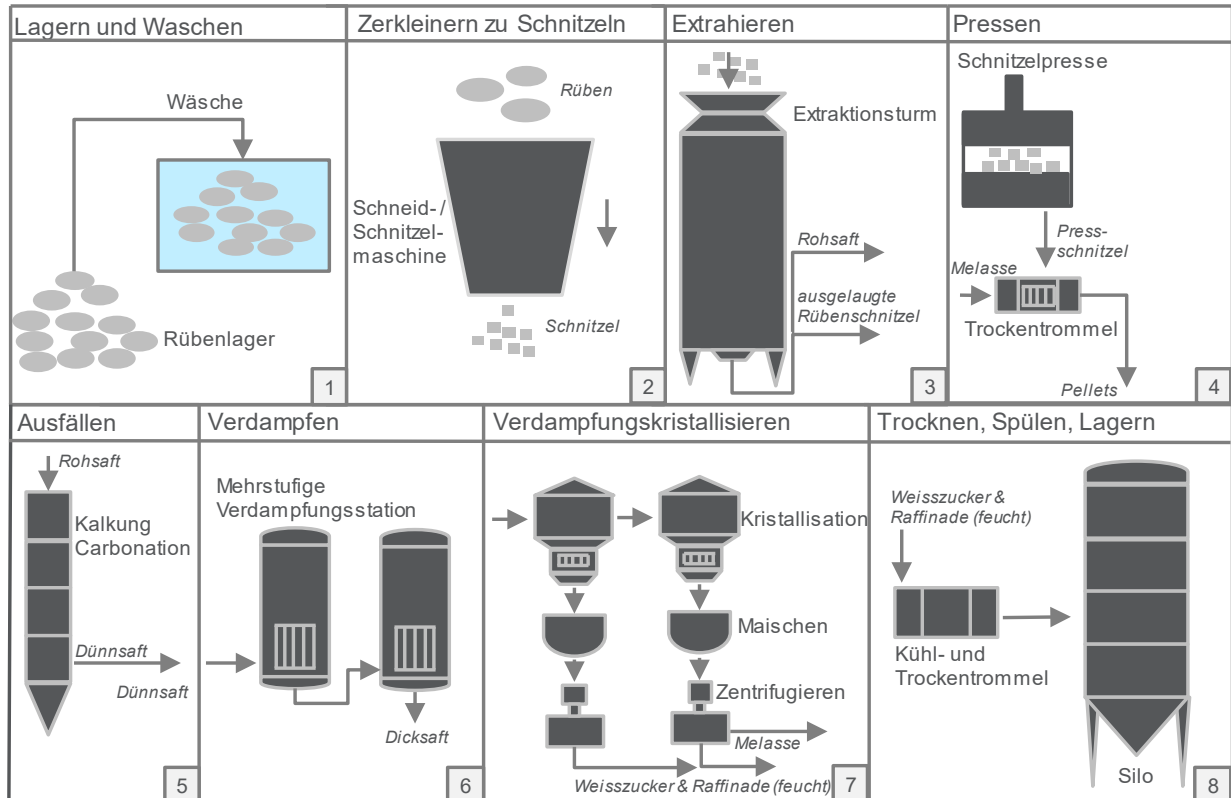


Abbildung 1-3. Prozess der Zuckerherstellung³⁶

Prozess³⁷. Im Vorfeld werden die Rüben gewaschen, in Schnitzel zerkleinert und der Rohsaft aus den Rübenschnitzeln extrahiert. In der sich anschließenden **Carbonatation** werden mit Branntkalk und Kohlendioxidgas, die in den betriebseigenen Kalköfen hergestellt werden, die Nichtzuckerstoffe (Pflanzennährstoffe und -proteine) aus dem gewonnenen Rohsaft abgetrennt. Hierzu wird Kalkstein bei Temperaturen von bis zu ca. 1.100 °C gebrannt. Aus dem Calciumcarbonat des Kalksteines entstehen hierbei Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxidgas (CO₂). Beide Produkte, das CaO und das CO₂, werden nach einer Aufbereitung im Zuckergewinnungsprozess als Kalkmilch und als Carbonatationsgas eingesetzt. Der Kalkofenprozess arbeitet damit praktisch emissionsfrei. Der entstehende Carbonatationskalk wird als Düngemittel an die Landwirtschaft abgegeben. Der bei der Saftreinigung entstandene Dünnsaft wird im Prozessschritt der **Verdampfung** in mehreren Stufen zu Sirup eingedickt. Hierfür wird dem Dünnsaft zunächst in Verdampfern Wasser entzogen. Die Verdampfer sind als Kaskade hintereinandergeschaltet, sodass der Dampf der einen Stufe die darauffolgende Stufe heizt. Es entsteht ein dickflüssiger Sirup (Dicksaft) mit einem Zuckergehalt von 65–70 Prozent, der in der Kochstation unter vermindertem Druck weiter eingedampft wird, da das Wasser dann bereits zwischen 65° und 80° C verdampft und der Zucker bei dieser schonenden Methode nicht karamellisiert. Sobald der Zucker aus den frischen Rübenschnitzeln extrahiert wurde, werden diese in der **Schnitzeltrocknung** zu Tierfutter weiterverarbeitet. Hierfür werden die Schnitzel (28 bis 34 Prozent Feststoffgehalt) durch Trocknung mit Hilfe von Luft, Rauchgas oder Dampf

³⁶ Eigene Darstellung, basierend auf Südzucker AG (04.07.2018).

³⁷ Südzucker AG (04.07.2018).

(Konvektion) auf ein Feststoffgehalt von 86–92 Prozent getrocknet. Im ersten Schritt verdampft zunächst die ungebundene Flüssigkeit von der Oberfläche der Feststoffe. Ab einem kritischen Wert ist die Oberfläche ausgetrocknet und die Verdampfung setzt sich innerhalb der porösen Feststoffe im zweiten Schritt fort. Dabei gilt, dass je niedriger der Feuchtigkeitsgehalt, desto geringer die Trocknungsgeschwindigkeit. Werden die Schnitzel mit Dampf getrocknet, ist ein stark überhitzter Dampf erforderlich, um die Feuchte in den Schnitzeln mit hohem Feststoffgehalt zu lösen.³⁸ An zahlreichen Standorten schließt sich an die Rübenkampagne eine sog. **Dicksaftkampagne** an, in der in Tanks zwischengelagerter Dicksaft wieder angewärmt und zu Zucker kristallisiert wird. Dies dient der weiteren Auslastung der Standorte über die reine Rübenverarbeitung hinaus.

Technische Parameter. Temperaturen von 90–135 °C bei der Verdampfung, 65–80 °C bei der Kristallisation und 55–750 °C für die Schnitzeltrocknung, je nach eingesetzter Trocknungstechnologie.³⁹ Hinzu kommt der Kalkofenbetrieb mit Temperaturen von bis zu 1.100 °C.

Bedarf an Rohstoffen und Prozesshilfsstoffen. Als Rohstoff werden Zuckerrüben verwendet. Als wesentliche Prozesshilfsstoffe kommen Kalkmilch und Kohlendioxid zur Saftreinigung zum Einsatz.

Brennstoffbedarf. Nach der jährlichen Erhebung des Vereins der Zuckerindustrie für die 20 deutschen Zuckerfabriken belief sich der Primärenergiebedarf (einschl. Bedarf für Eigenstromerzeugung) auf 24.794.726 GJ (inkl. Fremdbezug und Abgabe 24.349.047 GJ, ohne Fremdstrom 2,35 Mio. GJ).⁴⁰ Der Anteil am Gesamtenergiebedarf der deutschen Nahrungsmittelindustrie beträgt damit rund 12 Prozent.⁴¹

Strombedarf. Nach den Daten des Vereins der Zuckerindustrie lag der Strombedarf der 20 deutschen Zuckerfabriken im Jahr 2016 bei 2,57 PJ (unter Berücksichtigung von Eigenerzeugung, Bezug u. Abgabe).⁴²

Emissionen. Die CO₂-Emissionen aus Strom- und Wärmebedarf beliefen sich im Jahr 2016 auf 1,74 Mio. Tonnen. Bei höheren Rübenverarbeitungsmengen steigen diese auf bis zu 2 Mio. t CO₂ an (z. B. 2011 und 2012).⁴³

KWK. Alle Zuckerfabriken in Deutschland verfügen über Kraft-Wärme-Kopplung zur Eigenversorgung. Je nach lokaler Situation erfolgt zeitweises eine Einspeisung von überschüssigem Strom ins öffentliche Netz bzw. ein Netto-Netzbezug von Strom. Manche Fabriken betreiben hierzu GuD-Anlagen.

1.2.2 Milchverarbeitung

Die Produktionsschritte der Milchverarbeitung mit hohem Energiebedarf sind Pasteurisieren, Homogenisieren und die Ultrahochtemperatur-Erhitzung (UHT-Erhitzung). Der energieintensivste Prozess ist die Trocknung von Milch- und Molke-Produkten zu Pulver.

Prozesse. Der Schritt der **Pasteurisierung** dient der Abtötung krankmachender Keime in der Milch. Die Milch wird innerhalb von 15–30 Sekunden auf 72–75 °C erhitzt und sofort wieder abgekühlt. Um ein Absetzen des MilCHFetts an der Oberfläche zu verhindern, wird beim **Homogenisieren** die Milch unter Druck durch feine Düsen gepresst, wobei die Fettkügelchen platzen. Die zerkleinerten Fettkügelchen verteilen sich gleichmäßiger in der Milch. Im Schritt der **UHT-Erhitzung** wird die Milch für 2–3 Sekunden auf 135–150 °C erhitzt und anschließend sofort auf 4–5 °C heruntergekühlt. Dadurch werden nahezu alle Mikroorganismen abgetötet und die Milch für sechs Wochen haltbar

³⁸ Idrissova/Jochem (2013).

³⁹ Idrissova/Jochem (2013) ; Schiweck (2000); World Wide Weave GKD .

⁴⁰ RWI (2013).

⁴¹ Werte weichen von den Angaben vom Statistischen Bundesamt ab. Der erhobene Gesamtenergiebedarf der unter der WZ-Nr. 10.81 ausgewiesenen Unternehmen (Herstellung von Zucker) belief sich im Jahr 2016 auf 27.026.213,74 GJ (incl. Strom);⁴¹ diese Zahl beinhaltet jedoch auch Erzeuger, die offenbar nicht zur Zuckerindustrie zählen, denn derzeit wird an 20 deutschen Standorten Zucker erzeugt, die Statistik weist jedoch 23 Betriebe aus.

⁴² Idrissova/Jochem (2013).

⁴³ Idrissova/Jochem (2013).

gemacht.⁵ Milchpulver wird entweder über Sprühtrocknung oder Walzentrockner hergestellt, wobei letztere in Deutschland weniger verbreitet sind. Bei der Sprühtrocknung wird die bereits eingedickte Milch über Zerstäuber in eine Kammer eingeblasen und dort mit Hilfe von Heißgas getrocknet.

Das Heißgas, z. B. Luft, wird über Wärmetauscher auf die erforderliche Temperatur für den Trocknungsprozess von ca 300 °C gebracht. Die Wärmebereitstellung findet dabei über Dampf statt der in den meisten Fällen über KWK-Anlagen bereitgestellt wird.

Pulver, wie z. B. Kasein-, Molke-, Voll-, und Magermilchpulver, zeichnen sich ja gerade durch die gute Lagerbarkeit aus. Oft stellen die gleichen Anlagen auch sehr hochwertige Pulver für Babynahrung her.

Technische Parameter. Pasteurisieren dauert 15–30 Sekunden bei einem Temperaturniveau von 72–75 °C. Die UHT-Erhitzung erfordert eine Erhitzung auf 135–150 °C und eine unmittelbare Absenkung auf 4 bis 5 °C.

Bedarf an Rohstoffen und Zwischenprodukten. Es wird ausschließlich Rohmilch benötigt.

Brennstoffbedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Brennstoffbedarf (inkl. Fernwärme) der o.g. energieintensivsten Prozesse dieser Sub-Branche 22,27 PJ. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt damit fast 75 Prozent.⁴⁴ Der spezifische Wärmebedarf für die Pulverproduktion liegt zwischen 7–10 GJ/t.

Strombedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Strombedarf der o.g. energieintensivsten Prozesse 7,51 PJ.⁴⁵ Der spezifische Strombedarf für die Pulverproduktion liegt bei rund 2 GJ/t.

Emissionen. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 belaufen sich die Scope 1-Emissionen aus dem Strom- und Wärmebedarf für die o.g. energieintensivsten Prozesse auf 1,39 Mio. tCO_{2e} und die Scope 2-Emissionen auf 1,34 Mio. tCO_{2e} (Annahmen: Stromverbrauch von 7,51 PJ, Brennstoffverbrauch 22,27 PJ).⁴⁶

KWK. Speziell Anlagen die auch Pulver-Produkte am Standort produzieren sind meist mit KWK-Anlagen ausgestattet. Genaue Zahlen liegen derzeit keine vor.

1.2.3 Herstellung von Backwaren

Die Hauptprozesse, die innerhalb einer Großbäckerei ablaufen, sind die Rohstoffaufbereitung, die Gare, das Backen und die Kühlung bzw. Tiefkühlung.⁴⁷ Nur wenige der vielen kleinen Teilprozesse sind energieintensiv. Der energieintensivste Arbeitsschritt ist der Backprozess in der Backstube. Weitere relevante Prozesse sind das Haltbarmachen im Pasteur sowie das Kühlen und Tiefkühlen.

Prozesse. Für den Schritt des **Backens** werden Backöfen bei einer Temperatur zwischen 120 und 280 °C betrieben und vor allem Erdgas, aber auch Strom und Fernwärme (durch Niederdruckdampf) eingesetzt. Es wird unterschieden in diskontinuierliche (z. B. Etagenbacköfen, Backschränke in Kleinbetrieben) und kontinuierliche (z. B. Tunnelöfen in Großbetrieben) Backverfahren. Faktoren wie Überhitzung oder fehlende Regelung verbrauchen zusätzliche Energie.⁴⁸ Der Schritt des **Kühlens und Tiefkühlens** erfolgt am Ende des Produktionsprozesses. Das Kühlen bei 0–4 °C dient zur Verhinderung des „Altbackwerden“ (Alterungsprozess von Backwaren nach dem Backprozess). Tiefgekühlt bei -30 bis -18 °C werden vorgegarte/halbgebackene Teiglinge, die in den Verkaufsläden oder vom Endverbraucher selbst fertig gebacken werden. Die erforderliche Kälte wird meist mit konventionellen Kompressionskältemaschinen erzeugt. Dabei wird elektrischer Strom genutzt um

⁴⁴ Idrissova/Jochem (2013).

⁴⁵ Idrissova/Jochem (2013).

⁴⁶ Idrissova/Jochem (2013).

⁴⁷ Blesl/Kessler (2017).

⁴⁸ Idrissova/Jochem (2013).

einen Kältekreislauf anzutreiben. Beim **Pasteurisieren** werden Produkte (vor allem leicht verderbliche Produkte wie Toastbrot) durch kurze Erhitzung und sofortige Abkühlung ähnlich wie bei der Milchverarbeitung haltbar gemacht.

Technische Parameter. Den Temperaturen liegen in den Backöfen zwischen 120 °C (Kuchen und Feinbackwaren) und 280 °C (Brot und Brötchen).

Bedarf an Rohstoffen und Zwischenprodukten. Als Rohstoff dienen neben verschiedenen Mehlsorten als Rohstoff, auch Hefe, Wasser, Gewürze etc. Als Zwischenprodukt entsteht Teig, der im Backofen zum fertigen Produkt gebacken wird.

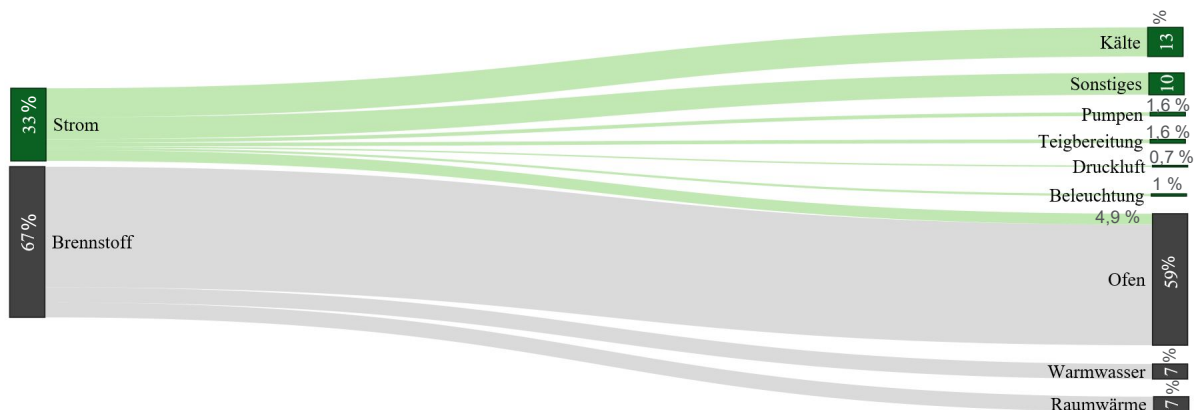


Abbildung 1-4. Energieverbrauch in einer Backstube

Brennstoffbedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Brennstoffbedarf (inkl. Fernwärme) der o. g. energieintensivsten Prozesse dieser Unterbranche 10,61 PJ. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt damit über 62 Prozent.⁴⁹ Betrachtet man eine durchschnittliche Bäckerei (Mehlverbrauch 1200 Tonnen pro Jahr; 20 Filialen), beträgt der Verbrauch 250.000 m³ Erdgas pro Jahr. Ein Großteil wird zum Beheizen der Backöfen genutzt.⁵⁰

Strombedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Strombedarf der o. g. energieintensivsten Prozesse 6,39 PJ.⁵¹ Für eine durchschnittliche Bäckerei (Mehlverbrauch 1200 t pro Jahr; 20 Filialen) beträgt er 1.640 MWh pro Jahr. Der Gesamtstromverbrauch teilt sich etwa zu gleichen Teilen auf Filialen und Produktionsstätten auf.⁵²

Emissionen. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 belaufen sich die Scope 1-Emissionen aus Strom- und Wärmebedarf für die o. g. energieintensivsten Prozesse auf 1,14 Mio. t CO_{2e} und die Scope 2-Emissionen auf 0,66 Mio. t CO_{2e} (Annahmen: Stromverbrauch von 6,39 PJ, Brennstoffverbrauch 10,61 PJ).⁵³

KWK. Es liegen keine Zahlen vor.

1.2.4 Fleischverarbeitung

Die Fleischverarbeitung besteht im Wesentlichen aus vier Prozessschritten: Schlachtung, Zerlegung, Weiterverarbeitung und Verpackung. Dabei zählen die Kühlung sowie das Vakuumverpacken der

⁴⁹ Idrissova/Jochem (2013).

⁵⁰ EnEff Bäckerei (2014).

⁵¹ Idrissova/Jochem (2013).

⁵² EnEff Bäckerei (2014).

⁵³ Idrissova/Jochem (2013).

fertigen Fleisch- und Wurstwaren zu den energieintensivsten Prozessen. Des Weiteren sind Koch-, Brüh-, Gar- und Räucherprozesse sehr wärmeintensiv.

Prozesse. Die Prozesskette der industriellen Fleischverarbeitung beginnt mit der Schlachtung, die sich entsprechend der Tierspezies unterscheidet. Bei der Schweineschlachtung wird der Schlachtkörper nach dem Entbluten gebrüht und gesäubert, während die Schlachtkörper in der Rinderschlachtung gehäutet werden. Anschließend wird der Schlachtkörper ausgenommen, halbiert und gekühlt. Später werden die Schlachthälften je nach Anforderungen der Abnehmer weiter zerlegt. Die Zerlegung erfolgt noch im Schlachtbetrieb oder in spezialisierten Zerlegebetrieben. Fleisch für die Selbstbedienungsregale und die Bedienungstheken des Einzelhandels wird entsprechend verpackt. Der Versand von Fleisch für den Einzelhandel und zur Weiterverarbeitung erfolgt überwiegend in Mehrwegtransportbehältern. Fleisch für den Export außerhalb Europas wird tiefgefroren.

In der Verarbeitungsindustrie wird das Fleisch zerkleinert, standardisiert und mit Gewürzen sowie gegebenenfalls weiteren Zutaten versehen. Das Brät (Hackfleisch oder fein gekuttertes Fleisch) wird in Kunst- oder Nahrungsdärme gefüllt und entweder erhitzt oder durch Reifung haltbar gemacht. Teilweise schließt sich eine Räucherung an. Abschließend werden die Würste entweder auf Sliceranlagen in Scheiben geschnitten und in verbrauchergerechte Portionsgrößen verpackt oder als Stückware an den Einzelhandel, die Gastronomie oder zur industriellen Weiterverarbeitung ausgeliefert. Ein Teil der Fleischwaren wird auch als Konserven in Gläsern oder Dosen hergestellt.

Von der Schlachtung über die Verarbeitung bis zum Verkaufsregal des Einzelhandels erfolgen alle Schritte in einer durchgehenden Kühlkette.

Kältebedarf besteht auf unterschiedlichen Temperaturniveaus (Raumkühlung, Tiefkühlung, Prozesskühlung, Eisbereitung). Je nach notwendigem Temperaturniveau werden in den Kompressionskältemaschinen verschiedene Kältemedien eingesetzt: Kaltwasser für Kühlung zwischen +18 und +7 °C, Ammoniak für Temperaturen von -10 bis -40 °C. Die Tiefkühlung besteht aus zwei separaten Kreislaufsystemen. Im Ammoniakkreislauf wird NH₃ verdampft, damit es die abführende Wärme aufnimmt. Im Eiswasserkreislauf wird Eiswasser über eine Zirkulationspumpe zu den Kühlregistern zur Abkühlung der umgewälzten Raumluft geleitet. Eiswasser wird durch Ammoniak heruntergekühlt, indem Rohre mit Ammoniak durch ein Speicherbecken geführt und resultierende Eisschichten an den Rohren durch Wasserentnahme zum Schmelzen gebracht werden. Die notwendige Energie zur Kühlung stammt fast ausschließlich aus Strom, dadurch entfallen rund 37 Prozent (Stand 2013) des Gesamtstrombedarfs eines Betriebs auf die Kälteanlage. Ein hoher Bedarf an Prozesswärme besteht für die Garprozesse in Form von Dampf und Elektrowärme und für die Warmwasserbereitstellung für Reinigungszwecke. Die Warmwasserbereitstellung wendet etwa 20–40 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs auf.⁵⁴ Die Produktionsabläufe erfordern häufig warme und gekühlte Prozessschritte in direkter Nähe, wodurch hohe Mengen an Abluft generiert werden müssen. In der Räucherei entsteht der größte Wärmebedarf durch die Prozesswärme in den Rauch- und Kochkammern zum **Kochen, Brühen und Räuchern**. Ein meist Erdgasbetriebener Dampferzeuger stellt die Prozesswärme aus drei verschiedenen Dampfnetzen à 0,5, 6 oder 8 bar bereit. Am Ende der Verarbeitung werden die Produkte **verpackt**, vakuumiert und verschlossen. Die Anlagen inkl. der Vakuumpumpen werden mit Strom betrieben und haben einen hohen Energieverbrauch.⁵⁵

Technische Parameter. Kälteprozesse erfordern Temperaturniveaus zwischen -40 bis +18 °C. Desweiteren wird Sattedampf für die Prozesswärme benötigt.

Bedarf an Rohstoffen und Zwischenprodukten. Fleisch wird als Rohstoff verwendet. Abhängig von der Weiterverarbeitung werden Gewürze dem Endprodukt beigemischt. Wasser zum Waschen und kühlen wird ebenfalls benötigt.

⁵⁴ Blesl/Kessler (2017).

⁵⁵ Blesl/Kessler (2017).

Brennstoffbedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Brennstoffbedarf (inkl. Fernwärme) der o. g. energieintensivsten Prozesse dieser Sub-Branche 9,6 PJ. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt damit über 56 Prozent.⁵⁶

Strombedarf. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 beträgt der jährliche Strombedarf der o. g. energieintensivsten Prozesse 7,3 PJ.⁵⁷

Emissionen. Nach der Modellrechnung des Fraunhofer ISI und IREES für das Jahr 2007 belaufen sich die direkten Emissionen zur Strom und Wärmeerzeugung auf 1,31 Mio. tCO₂e und die indirekten Emissionen durch Strombezug auf 0,6 Mio. tCO₂e (Annahmen: Stromverbrauch von 7,32 PJ, Brennstoffverbrauch 9,64 PJ).⁵⁸

KWK. Es liegen keine Werte vor.

⁵⁶ Blesl/Kessler (2017).

⁵⁷ Idrissova/Jochem (2013).

⁵⁸ Idrissova/Jochem (2013).

1.3 Übertragbarkeit auf andere Branchen

Von den oben beschriebenen Prozessen sind nur wenige direkt übertragbar auf andere Branchen außerhalb der Nahrungsmittelindustrie.

Das Prinzip der **Kaskadenverdampfung**, wie sie in der Zuckerherstellung eingesetzt wird, ist ein System der Wärmerückgewinnung und wird daher in einigen Branchen mit hohem Wärmebedarf wiedergefunden, so z. B. in der Vakuumsalz-Erzeugung und in weiteren Sub-Branchen der Nahrungsmittelindustrie. Es kann zugleich auch zur Kühlung eingesetzt werden.

Die **UHT-Erhitzung** wird zur Konservierung von sämtlichen Lebensmitteln eingesetzt und ist daher in sämtlichen Sub-Branchen der Nahrungsmittelindustrie anwendbar.

Systeme für **Kühlung bzw. Tiefkühlung** werden in unterschiedlichen Formen in anderen Industriebranchen eingesetzt, wie z. B. grundsätzlich in der Chemie- und Pharmaziebranche oder speziell zur Kühlung von Leistungstransformatoren und Verbrennungsmotoren.

Die **Vakuumierung** von Verpackungen findet vor allem in der Lebensmittelindustrie statt. Der Prozess der Vakuumierung an sich findet jedoch in vielen anderen Branchen Anwendung, wie z. B. in der Verfahrenstechnik (zur Entgasung oder Gefriertrocknung) oder in der Chemie (Herabsenken des Siedepunkts).

2. LITERATURVERZEICHNIS

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft/Fachverband Biogas e.V.* (Hrsg.) (2012): Einsatzstoffe nach Biomasseverordnung, <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iba/dateien/einsatzstoffe_eeg_2012.pdf> [Zugriff 2018-07-17]
- Becker, Tilman*: Die Wertschöpfungskette bei Lebensmitteln, <<https://www.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/marktlehre/Skripte/Oekonomik/wertschoepfungskette.pdf>> [Zugriff 2018-06-19]
- Blesl, Markus/Kessler, Alois* (2017): Energieeffizienz in der Industrie, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017
- BMEL* (2018): Die EU-Zuckermarktregelungen, <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/1_EU-Marktregelungen/_Texte/EU-Zuckermarktregelungen.html> [Zugriff 2018-07-17]
- Bollinger-Kanne, Josephine* (2016): Mit Zucker Stromnetze stabilisieren, <<http://www.top-energy-news.de/mit-zucker-stromnetze-stabilisieren/>> [Zugriff 2018-07-17]
- Bubeck, Steffen* (2017): Potenziale elektrischer Energieanwendungstechniken zur rationellen Energieanwendung, Dissertation, Stuttgart
- BVE* (2017a): Ernährungsindustrie. 2017, Berlin, <<https://www.bve-online.de/presse/infothek/publikationen-jahresbericht/bve-statistikbroschuere2017>> [Zugriff 2018-07-17]
- (2017b): Kreislaufwirtschaft in der Ernährungsindustrie: Fakt: ist, <<https://www.bve-online.de/download/fakt-ist-kreislaufwirtschaft-broschuere>> [Zugriff 2018-07-17]
- Cornelius, Immo* (2018): Studie: Aus Molke soll Viehfutter werden, <<https://www.agrarheute.com/tier/studie-molke-viehfutter-541640>> [Zugriff 2018-07-17]
- Destatis*: Emissionen : Gesamtwirtschaft & Umwelt - Material- & Energieflüsse - Emissionen, <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/MaterialEnergiefluesse/Tabellen/Co2Emissionen.html>> [Zugriff 2018-07-17]
- (2013): Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden: 2013, Wiesbaden
- (2016): Wirtschaftsbereiche - Energie - Tabellen 2016, <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Verwendung/Tabellen/TabellenIndustriebranchen.html>> [Zugriff 2018-07-17]
- (2018a): Beschäftigte und Umsatz von Betrieben in der Industrie: Länder, Jahre, Wirtschaftstätigkeiten (WZ2008 2-stellige Codes). Tabelle 42271-0011.
- (2018b): Luftemissionen: Deutschland, Jahre, Luftemissionsart, Produktionsbereiche. Tabelle 85111-0001.
- (2018c): Tabellen - Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe 2016, <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Verwendung/Tabellen/TabellenIndustriebranchen.html>> [Zugriff 2018-04-03]
- Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) vom 25.1.2004, <<http://www.gesetze-im-internet.de/tiernebg/index.html>>
- EnEff Bäckerei* (Hrsg.) (2014): Energieeffizienz in Bäckereien: Energieeinsparungen in Backstube und Filialen, 6. Aufl., <http://www.ecostep-online.de/cms_uploads/files/eneff_baekerei_-_leitfaden_-_juli_2014.pdf> [Zugriff 2018-07-17]
- EnergieAgentur NRW* (Hrsg.) (2018): Energieeffizienz in der Ernährungsindustrie, <https://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/energieeffizienz-nach-branchen/energieeffizienz_in_der_ernaehrungsindustrie> [Zugriff 2018-07-17]
- Eurostat* (Hrsg.) (2018): Jährliche Unternehmensstatistiken für besondere Tätigkeitsaggregate (NACE Rev. 2), <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=sbs_na_sca_r2&lang=de> [Zugriff 2018-11-06]
- Fleiter, Tobias/Schlomann, Barbara/Eichhammer, Wolfgang* (Hrsg.) (2013): Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien: Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente, Stuttgart: Fraunhofer-Verl., 2013
- Freistaat Bayern, Körperschaft des öffentlichen Rechts* (Hrsg.): Altrot, <<http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/082087/index.php>> [Zugriff 2018-07-17]
- Freund, Maike* (2010): Altes Brot als Brennstoff, <<https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2010-02/baecker-altrot-co2>> [Zugriff 2018-07-17]
- Gerlicher GmbH* (Hrsg.) (04.03.2016): Entsorgung von Frittierfetten und -ölen, <<https://www.gerlicher.de/grl/frittier-tipps/frittierfett-entsorgung/>> [Zugriff 2018-07-17]
- Idrissova, Farikha/Jochem, Eberhard* (2013): Ernährungsgewerbe, in: *Tobias Fleiter/Barbara Schlomann/Wolfgang Eichhammer* (Hrsg.), Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien: Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente, 2013, S. 511–545
- Kemmler, Andreas u. a.* (2017): Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014: Endbericht, Dessau-Roßlau, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-09_cc_01-2017_endbericht-datenbasis-energieeffizienz.pdf> [Zugriff 2018-07-17]
- Kranert, Martin* (2017): Einführung in die Kreislaufwirtschaft, 5. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017
- Kürth, Oliver* (Hrsg.) (2017): Recyclingverfahren für Reststoffe aus der Molkenveredelung ausgezeichnet, <<http://recyclingportal.eu/Archive/31697>> [Zugriff 2018-07-17]
- Matzen, Frank J./Tesch, Ralf* (2017): Industrielle Energiestrategie: Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017
- Öko-Institut e.V.* (2015): Aktueller Stand der KWK-Erzeugung, <<https://www.oeko.de/oekodoc/2450/2015-607-de.pdf>> [Zugriff 2016-12-16]
- RWI* (2013): Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft: - Monitoringbericht 2011 und 2012 36-52, <http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/RWI_PB_Monitoringbericht-2011-und-2012.pdf> [Zugriff 2018-11-06]
- Schiweck, Hubert* (2000): Zucker, Rüben- und Rohr, in: *Pieter W. van der Poel* (Hrsg.), Zuckertechnologie: Rüben- und Rohrzuckergewinnung, 2000, S. 704–748

- Schlesinger, Michael/Lindenberger, Dietmar/Lutz, Christian* (2014): Entwicklung der Energiemärkte: -
Energierferenzprognose, Basel/Köln/Osnabrück, <<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property%3Dpdf,bereich%3Dbmwi2012,sprache%3Dde,rwb%3Dtrue.pdf>> [Zugriff 2015-04-13]
- Südzucker AG* (Hrsg.) (2018): Geschäftsbericht: 2017/2018, <http://www.suedzucker.de/de/Downloads/Download_Daten/Finanzberichte/2017_18/Geschaeftsberichte_2017_18/GB_2017_18/SZ_GB_2017_18_DE_1.pdf> [Zugriff 2018-11-06]
- (Hrsg.) (04.07.2018): Zuckergewinnung, <<http://www.suedzucker.de/de/Zucker/Zuckergewinnung/>> [Zugriff 2018-07-17]
- Thobe, Ines* (2011): Die Ernährungsindustrie: Stabile Branche mit Potenzialen. gws Themenreport 2011/8, <http://www.gws-os.com/discussionpapers/tbericht_ernaehrungsgewerbe_2011-8.pdf> [Zugriff 2018-07-17]
- UBA* (2005): Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung: Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_nahrungsmittelindustrie_zf.pdf> [Zugriff 2018-11-06]
- (2013): Nahrungsmittelindustrie, <<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industrieverbuen/nahrungsmittelindustrie-tierhaltungsanlagen/nahrungsmittelindustrie>> [Zugriff 2018-07-17]
- Umweltministerium NRW*: Tierische Nebenprodukte, <<https://www.umwelt.nrw.de/landwirtschaft/tierhaltung-und-tierschutz/tierische-nebenprodukte/>> [Zugriff 2018-07-17]
- van der Poel, Pieter W.* (Hrsg.) (2000): Zuckertechnologie: Rüben- und Rohrzuckergewinnung, Berlin: Bartens, 2000
- VHM*: Erste Null-Energie-Käserei: Monte Ziego gewinnt Georg Salvamoser Preis 2017, <<https://www.milchhandwerk.info/infotek/neuigkeiten/details/6582>> [Zugriff 2018-07-17]
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V.* (2014): Die deutsche Zuckerwirtschaft: Vorreiter bei energieeffizienz und ressourcenschutz 3/2014 (2014), <http://www.zuckerverkaende.de/images/stories/docs/2014_03_Zucker_Infodienst.pdf> [Zugriff 2018-11-06]
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V./Verein der Zuckerindustrie e. V.* (Hrsg.) (2018): Zuckererzeugung: Kreislaufwirtschaft und prozessintegrierter Umweltschutz, <<http://www.zuckerverkaende.de/ruebe-zucker/anbau-und-erzeugung/zuckererzeugung/kreislaufwirtschaft-umweltschutz.html>> [Zugriff 2018-07-17]
- World Wide Weave GKD* (Hrsg.): Energiesparende Rübenschnitzeltrocknung wird zum wirtschaftlichen Zuckerschlecken, <https://gkd.de/wp-content/uploads/2016/08/GKD_Energiesparende-R%C3%BCbenschnitzeltrocknung.pdf> [Zugriff 2018-07-17]
- WVZ* (2001): Zucker aus Rüben: natürlich nachhaltig, <<https://www.deutsche-melasse.de/wp/wp-content/uploads/Zucker-aus-Rueben-nachhaltig-und-natuerlich.pdf>> [Zugriff 2018-07-17]