

SolFood

Leitfaden zur Nutzung
solarer Prozesswärme
in der Ernährungsindustrie



S O L A R .
UNI-KASSEL.DE

Solarwärme für die
Ernährungsindustrie



Leitfaden zur Nutzung solarer Prozesswärme in der Ernährungsindustrie

Aufbereitung branchenspezifischer Informationen zu Prozess- und Anlagentechnik, Integrationsmöglichkeiten und Nutzungspotentialen solarer Prozesswärme



S O L A R .
UNI-KASSEL.DE

Solarwärme für die
Ernährungsindustrie



Über den Leitfaden

Der industrielle und gewerbliche Sektor bietet mit seinem hohen und über das Jahr meist konstant anfallenden Wärmebedarf sehr gute Randbedingungen für die Nutzung solarer Prozesswärme. Um zu einer beschleunigten Erschließung dieses aussichtsreichen Marktes beizutragen, initiierte das IdE Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH gemeinsam mit der Universität Kassel das Projekt **SolFood – Solarwärme für die Ernährungsindustrie**. Im Rahmen des Projekts erfolgte eine detaillierte Analyse der Ernährungsindustrie, welche sich aufgrund der angewandten Prozesse sowie den damit einhergehenden Temperaturniveaus und Wärmebedarfen sehr gut für die Nutzung solarer Prozesswärme eignet. Hierzu wurden unter anderem 13 Fallstudien mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad in den Branchen **Milch, Fleisch, Obst/Gemüse, Süßwaren, Getränke und Lebensmittellogistik** durchgeführt. Im Rahmen der Fallstudien erfolgte die Analyse der Wärmebereitstellung und -verteilung sowie relevanter Prozesse. Durch die integrale Betrachtung konnten Energieeffizienzmaßnahmen und Konzepte zur Einbindung solarer Prozesswärme erarbeitet werden.

Das Ziel von SolFood lag darin, tiefergehendes Wissen zur Einbindung und Umsetzung thermischer Solaranlagen in der Industrie zu gewinnen, aufzubereiten und zu verbreiten. Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist der bereits veröffentlichte **Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme**, der die wichtigsten Informationen zur Machbarkeitsabschätzung und Vorplanung thermischer Solaranlagen für industrielle und gewerbliche Anwendungen beinhaltet.

Zusätzlich steht nun der vorliegende **Leitfaden zur Nutzung solarer Prozesswärme in der Ernährungsindustrie** zur Verfügung, der alle wesentlichen Informationen zur Einbindung von Solarwärme in diesem bedeutenden Industriezweig enthält. Neben einigen relevanten Grundlagen zu solarer Prozesswärme bietet der vorliegende Leitfaden Informationen zur Struktur und zum Energieverbrauch der deutschen Ernährungsindustrie. Darauf aufbauend sind die wichtigsten Informationen zur Einbindung von Solarwärme jeweils spezifisch für die analysierten Branchen aufbereitet, wobei sich die Erkenntnisse auf die gesamte Ernährungsindustrie und zum Teil auch darüber hinaus auf andere industrielle Bereiche übertragen lassen. Zudem beinhaltet der Leitfaden jeweils ein Anwendungsbeispiel für die Nutzung solarer Prozesswärme in den untersuchten Branchen, um sowohl das Anwendungsspektrum als auch die Machbarkeit dieser Technologie zu veranschaulichen. Abschließend erfolgt eine Gegenüberstellung der Abwärmenutzung aus Kälteanlagen und elektrischer industrieller Großwärmepumpen mit solarer Prozesswärme, da diese Technologien sowohl in Konkurrenz zueinander treten als auch gemeinsam umgesetzt werden können.

Dieser Leitfaden befähigt Energiemanager und -berater, (Solar-) Anlagenplaner und Contractoren somit selbst ohne tiefergehende Kenntnisse der Ernährungsindustrie, Machbarkeitsanalysen bei Unternehmen aus dieser Branche durchzuführen und Konzepte zur Einbindung von Solarwärme zu erarbeiten. Für eine bessere Lesbarkeit wurde auf direkte Zitate und Quellenangaben verzichtet. Am Ende des Leitfadens findet sich eine Auflistung sowohl branchenübergreifender als auch branchenspezifischer Literatur.

Kassel, im Dezember 2015

B. Schmitt, F. Pag, L. Wimmer, I. Best, D. Ritter, K. Vajen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Kapitel	Seite	
1 Solare Prozesswärme	07	1
2 Struktur und energetische Betrachtung der deutschen Ernährungsindustrie	11	2
3 Nutzung von Solarwärme in der Ernährungsindustrie	17	3
3.1 Milchverarbeitung	20	
3.2 Schlachtung und Fleischverarbeitung	23	
3.3 Obst- und Gemüseverarbeitung	26	
3.4 Süßwaren	30	
3.5 Getränke	34	
3.6 Lebensmittellogistik	36	
4 Anwendungsbeispiele	39	4
4.1 Milchverarbeitung: Sonnenwärme für den »Tête de Moine«	40	
4.2 Fleischverarbeitung: Wurst und Schinken mit der Sonne produzieren	42	
4.3 Obst- und Gemüseverarbeitung: Nachhaltige Verarbeitung von Früchten	44	
4.4 Süß- und Backwaren: Sahnefrei dank Solarthermie	46	
4.5 Getränke: Bier mit Sonnenkraft gebraut	48	
4.6 Lebensmittellogistik: Mit Solarwärme eine saubere Sache	50	
5 Konkurrenztechnologien Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe	53	5
6 Schlusswort	57	6
7 Anhang	59	7
Impressum	69	

Kollektortechnologien



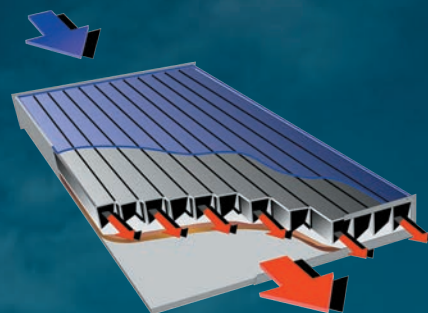
FLACHKOLLEKTOR

Bildquelle: Wagner Solar GmbH



VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOR

Bildquelle: Viessmann Group



LUFTKOLLEKTOR

Bildquelle: Grammer Solar GmbH



1 Solare Prozesswärme

Die Nutzung thermischer Solarenergie ist bereits seit Jahren eine etablierte Technologie zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser oder zur Raumheizungsunterstützung im Wohnbereich. Neben den weit verbreiteten Anwendungen thermischer Solarenergie im Wohnbereich oder zur Unterstützung von Nah- und Fernwärmenetzen, hat sich in den letzten Jahren die **Nutzung von Solarwärme in Industrie und Gewerbe** als vielversprechendes Anwendungsfeld herauskristallisiert, was unter dem Begriff solare Prozesswärme zusammengefasst wird. In Deutschland werden über 20% des industriellen Wärmebedarfs bei einem Temperaturniveau unterhalb 100°C benötigt, das sich besonders gut für die Nutzung von Sonnenwärme eignet. Die Sonnenenergie kann als **Fuel Saver** dazu genutzt werden, diesen Bedarf zumindest partiell mit thermischen Solaranlagen abzudecken. Die Solarenergie wird auch hier teilweise zur Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme eingesetzt. Der überwiegende Teil der bereitgestellten Wärme wird jedoch zur Herstellung, Weiterverarbeitung und Veredelung von Produkten verwendet oder zur Erbringung einer Dienstleistung mit Prozesswärmebedarf

genutzt. Durch den Einsatz von thermischen Solarkollektoren erfolgt eine Umwandlung der Sonneneinstrahlung in nutzbare Wärme. Hierfür existieren verschiedene Kollektortypen, die unterschiedliche Eigenschaften, z. B. bezüglich Konstruktionsweise und verwendeter Materialien, aufweisen und dementsprechend je nach Betrieb, Standort und wärmeintensiven Prozessen in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Flachkollektoren finden in Europa die stärkste Verbreitung. Mit ihrer einfachen Konstruktionsweise, dem geringen Wartungsaufwand und der verhältnismäßig guten Nutzung der diffusen Strahlung wird dieser Kollektortyp typischerweise zur Warmwasserbereitung oder Produktvorwärmung eingesetzt. Standard-Flachkollektoren arbeiten effizient im Temperaturbereich bis 80°C, mit verbesserten (Hocheffizienz-) Flachkollektoren können Temperaturen von bis zu 120°C bereitgestellt werden.

Derselbe Temperaturbereich kann auch mit **Vakuumröhrenkollektoren** abgedeckt werden, die sich grundsätzlich in ihrem Aufbau

und der Funktionsweise von Flachkollektoren unterscheiden. Anstatt durch eine flache Kollektoroberfläche sind diese an den parallel geschalteten Glasröhren erkennbar, die jeweils ein Vakuum umschließen. Durch dieses Vakuum ist das Wärmeträgermedium gegenüber der Umgebung mit einer Dämmung versehen, vergleichbar mit dem Funktionsprinzip einer Thermoskanne. Zusätzlich befinden sich je nach Bauart auf der Rückseite konzentrierende Spiegel, die das nicht absorbierte Sonnenlicht auf den Absorber zurückspiegeln. Durch diese sogenannte CPC-Technologie (Compound Parabolic Concentrator) wird der Wirkungsgrad gesteigert, sodass Temperaturen bis 150°C bereitgestellt werden können.

Luftkollektoren unterscheiden sich maßgeblich in der Wahl des Wärmeträgermediums. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Kollektortypen, in denen Wasser oder ein Frostschutzgemisch Anwendung findet, wird hier direkt die Luft als Medium eingesetzt. Klassische Anwendungsfelder finden sich im Bereich des Trocknens z. B. von Hackschnitzeln oder landwirtschaftlichen Produkten.

Neben diesen sogenannten stationären Kollektortypen gibt es **konzentrierende Kollektoren**, die der Sonne in der Regel nachgeführt werden müssen. Diese verfügen über eine Spiegelfläche, die das eingestrahlte Sonnenlicht auf eine Absorberröhre konzentriert. Da diese Kollektortypen nicht die diffuse, sondern nur die direkte Sonneneinstrahlung nutzen können, spielen konzentrierende Kollektoren in deutschen bzw. mitteleuropäischen Breitengraden nur eine untergeordnete Rolle. In äquatorialeren Regionen können mit konzentrierenden Kollektoren deutlich höhere Temperaturen (<math><250\text{ }^\circ\text{C}</math>) erreicht werden.

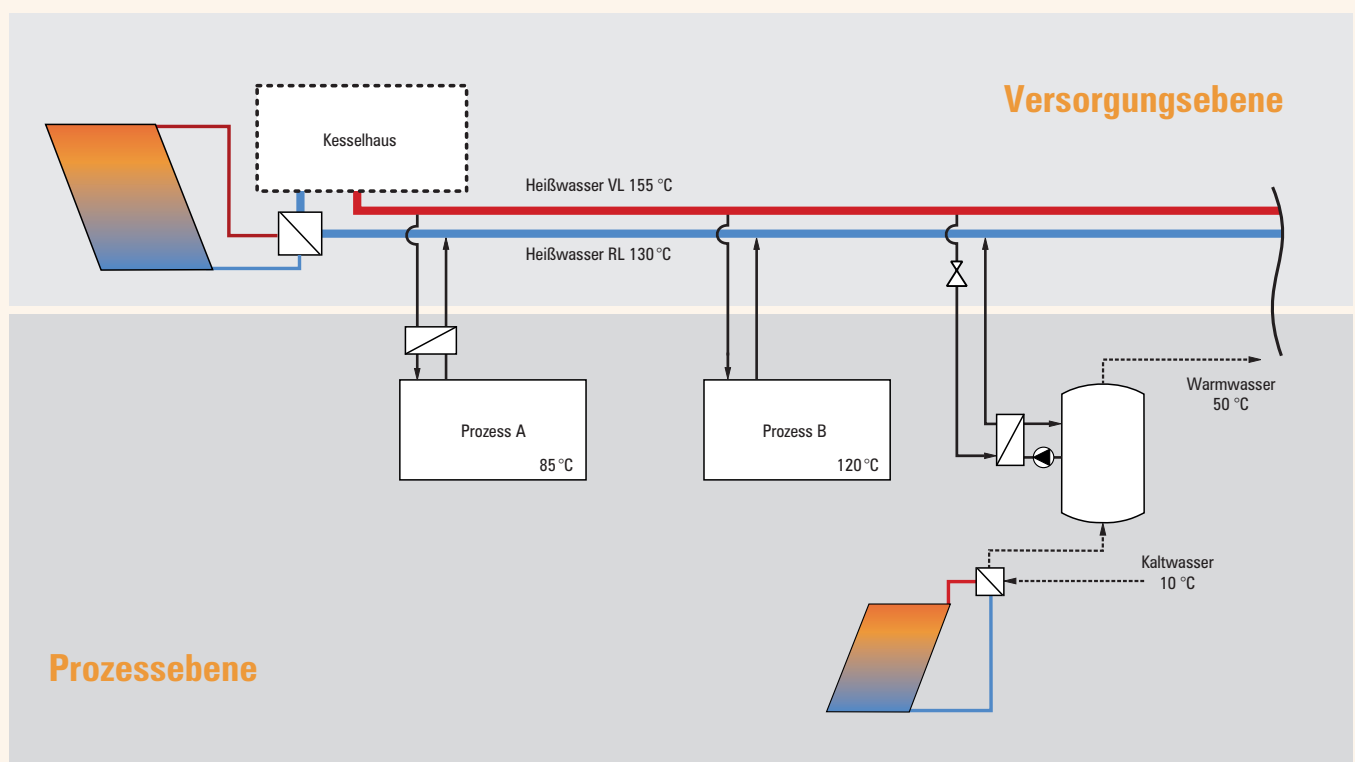
Welcher Kollektortyp sinnvollerweise zum Einsatz kommt, hängt maßgeblich davon

ab, an welcher Stelle Solarwärme integriert werden soll. Dabei wird bei der industriellen Wärmeversorgung grundsätzlich zwischen zwei Integrationsebenen unterschieden (siehe unten stehender Informationskasten). Bei der Einbindung auf der **Versorgungsebene** erfolgt eine **zentrale Einspeisung** der Sonnenwärme direkt in den vorhandenen Heizkreis, beispielsweise zur Rücklaufanhebung. Während dies sehr häufig in einer relativ einfachen Systemintegration resultiert, müssen im Gegenzug oft hohe Temperaturen von einer Solaranlage bereitgestellt werden, da industrielle Heizkreise Vor- und Rücklauftemperaturen deutlich oberhalb von $100\text{ }^\circ\text{C}$ aufweisen können. Dies führt wiederum zu niedrigeren solaren Erträgen und somit zu höheren solaren Wärmepreisen.

Genau umgekehrt verhält es sich bei der **dezentralen Einspeisung auf Prozessebene**, bei der die Prozesse direkt mit Sonnenwärme beliefert werden. Die Integration kann sich sehr kompliziert gestalten, beispielsweise wenn interne Wärmetauscher vorliegen, die aufgrund der verringerten wärmeübertragenden Fläche für höhere Temperaturen ausgelegt sein müssen. Der gesteigerte Aufwand wird jedoch mit variablen und niedrigeren Solltemperaturen sowie höheren solaren Erträgen belohnt.

Um die Wärme aus sonnenreichen Stunden für sonnenarme Zeiten zu speichern, werden unabhängig von der Integrationsebene **diverse Speichertechnologien** eingesetzt, wobei jedoch in der Regel klassische Warmwasserspeicher zur Anwendung kommen.

Integrationsmöglichkeiten von Solarwärme



Bevor zeitliche und personelle Ressourcen für eine Machbarkeitsabschätzung oder Planung zur Bereitstellung solarer Prozesswärme investiert werden, kann anhand einiger Kriterien der Erfolg einer Umsetzung abgeschätzt werden. **Grundvoraussetzung** für die Umsetzung einer Solaranlage sind ausreichend zur Verfügung stehende Dach- oder Freiflächen. Diese sollten möglichst eine Ausrichtung der Solarkollektoren zwischen Süd-Ost und Süd-West erlauben sowie eine möglichst geringe Verschattung durch Bäume oder größere Gebäude aufweisen. Im Idealfall liegt ebenfalls ein Statikutachten vor, das über zusätzliche Dachlasten informiert. Darüber hinaus sollte ein nennenswerter Teil des Wärmebedarfs bei dem betrachteten Betrieb **unterhalb von 150°C**, besser sogar unterhalb von 100°C liegen. Dieser sollte möglichst gleichmäßig sowohl innerhalb einer Woche als auch auf das Jahr verteilt sei. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Wärmebedarf in den einstrahlungsreicheren Monaten März bis September höher ist.

Sind diese Kriterien erfüllt, muss noch ein **geeigneter Integrationspunkt** für die Solarwärme gefunden werden. Meist ist es sinnvoll, einen Integrationspunkt mit einem möglichst niedrigen Temperaturniveau zu wählen, da die Effizienz von thermischen Solarkollektoren mit steigenden Systemtemperaturen sinkt. Damit verringern sich durch steigende Kollektortemperaturen die solaren Erträge, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlage gefährdet werden kann. Es muss also

geprüft werden, in welcher Form und bei welchen Temperaturen die Wärme benötigt wird. Dazu kann es ggf. hilfreich sein, das gesamte Prozessspektrum eines Unternehmens zu analysieren. Eine hohe Prozesstemperatur allein muss jedoch noch kein K.-o.-Kriterium sein. Hier gilt es zu prüfen, ob eine solare Vorwärmung möglich ist, wie beispielsweise bei der Kompensation von Verdunstungsverlusten offener Bäder. Neben der Temperatur muss jedoch auch geprüft werden, ob die Integration mit einem angemessenen Aufwand umgesetzt werden kann. Idealerweise ist es möglich, an geeigneter Stelle einen externen Solarwärmetauscher einzusetzen, durch den die Prozessbeheizung erfolgt.

Mit Blick auf die **konventionelle Wärmebereitstellung** ist darauf zu achten, dass bei vorhandenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, einem Fernwärmeanschluss oder einem Wärmeversorgungssystem mit biogenen Brennstoffen verhältnismäßig niedrige konventionelle Wärmegestehungskosten vorliegen, die sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit einer solaren Prozesswärmeanlage auswirken können.

Nicht zuletzt ist stets darauf zu achten, dass **verfügbare Effizienzpotentiale** vorrangig ausgenutzt werden. In den Betrieben der Ernährungsindustrie existiert erfahrungsgemäß ein sehr großes Wärmerückgewinnungspotential aus der Kältetechnik sowie der Druckluftbereitung. Für den Einsatz solarer Prozesswärme kann daher vorab auch die Analyse

von vorhandenen Abwärmeströmen von Bedeutung sein. Dabei gilt es zu prüfen, ob die Abwärme ein geeignetes Temperaturniveau und örtlich eine gute Lage aufweist, sodass eine Nutzung relativ leicht umzusetzen ist.

Nach einer erfolgreichen Machbarkeitsabschätzung inkl. Vorauslegung sollte die Detailplanung der Solaranlage durch einen erfahrenen Fachplaner durchgeführt werden. Die **grobe Vorauslegung** im Rahmen der Machbarkeitsabschätzung kann anhand von einfachen Kennwerten erfolgen. An einem sonnigen Sommertag ist von einem Kollektor ertrag von 3.4 kWh/m²d auszugehen. Der tägliche Wärmebedarf des gewählten Integrationspunktes geteilt durch diesen Ertragswert ergibt einen ersten Anhaltspunkt für die benötigte Kollektorfläche. Die jährlichen Erträge sind von vielen Faktoren abhängig, wobei diese bei bereits umgesetzten Anlagen meist im Bereich von 300..600 kWh/m²a liegen.

Die Erträge bestimmen neben dem Integrationsaufwand maßgeblich die solaren Wärmegestehungskosten. Bei geeigneten Anwendungen kann unter Ausnutzung der aktuell umfangreichen Förderung des Bundes¹ ein Wärmepreis **unterhalb der üblichen Kosten durch eine fossile Wärmeversorgung** mit Gas oder Öl erreicht werden. Falls längere Amortisationszeiten von mehr als fünf Jahren für ein Unternehmen nicht akzeptabel sind, sollten die Möglichkeiten eines Finanzierungsmodells über Contracting in Betracht gezogen werden.

¹ Bis zu 50% der Investitions- und Planungskosten werden im Rahmen des Marktanreizprogrammes von dem BAFA oder durch Tilgungszuschüsse von der KfW übernommen.

Weiterführende Informationen

Die Machbarkeitsabschätzung für die Umsetzung einer solaren Prozesswärmanlage wird in dem vorliegenden Leitfaden nur kurz zusammengefasst. Für das detaillierte Schritt-für-Schritt-Vorgehen sei auf den ebenfalls in dem Projekt SolFood erarbeiteten Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme verwiesen.

Darin werden folgende Schritte systematisch durchlaufen:



Der Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme bietet ein Schritt-für-Schritt-Vorgehen für die Vorplanung und Machbarkeitsabschätzung an.

2 Struktur und energetische Betrachtung der deutschen Ernährungsindustrie

Die Ernährungsindustrie² zählt zu den bedeutendsten Wirtschaftszweigen in Deutschland. In kaum einer anderen deutschen Industrie finden sich derart viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit 20..250 Beschäftigten, die häufig als traditionsreiche, regionale Familienunternehmen geführt werden. Daneben gibt es auch hier international erfolgreich agierende Unternehmen, die deutsche Lebensmittelspezialitäten global vertreiben. Die Bedeutung des Exports zeigt sich auch daran, dass mittlerweile ein Drittel des Umsatzes im Ausland erzielt wird. Dennoch kann die Produktion nur zu einem sehr begrenzten Teil in Niedriglohnländer ausgelagert werden, was auch längerfristig eine gewisse Standort-sicherheit bedeutet.

Die Ernährungsindustrie unterteilt sich in mehrere Bereiche (siehe Informationskasten auf S. 12). Am größten und bedeutendsten ist die Nahrungsmittelindustrie, die nach der Statistik der Wirtschaftszweige in der

europäischen Gemeinschaft (NACE) mit der Futtermittelindustrie zusammengefasst wird. Letztere wird in diesem Leitfaden jedoch nicht weiter betrachtet. Die Getränkeindustrie hingegen, die nach NACE eigentlich ein eigener Wirtschaftszweig ist, wird hier der Ernährungsindustrie zugeordnet. Dies basiert auf der Ähnlichkeit der hergestellten Produkte, Prozesse und Verfahren.

Auf der Basis der Beschäftigten belegte die Ernährungsindustrie im Jahr 2014 noch vor der chemischen Industrie mit mehr als einer halben Million Mitarbeiter den vierten Platz, direkt hinter dem Maschinenbau und der Herstellung von Metallerzeugnissen und Kraftfahrzeugen. Knapp 5.800 Betriebe waren in diesem Bereich tätig (Rang 2 hinter dem in Deutschland dominierenden Maschinenbau), die einen Umsatz von insgesamt mehr als 170 Milliarden Euro erwirtschafteten. Damit zählt die Ernährungsindustrie in Hinblick auf die Anzahl der Beschäftigten und Betriebe sowie

des Umsatzes vor der chemischen Industrie zu den Top 4 der deutschen Wirtschaftszweige.

Die Ernährungsindustrie weist im Vergleich mit anderen Wirtschaftszweigen eine besonders hohe Vielfalt an Endprodukten und damit auch hinsichtlich der angewendeten Prozesse auf. Daher wurden für das Projekt **SolFood** besonders relevante und gleichzeitig repräsentative Branchen für eine detaillierte Untersuchung im Rahmen von Fallstudien ausgewählt. Die beiden Branchen **Milchverarbeitung** (Kap. 3.1) sowie **Schlachten und Fleischverarbeitung** (Kapitel 3.2) sind aufgrund der angewandten Prozesse und des hohen Wärmebedarfs sehr gut für die Einbindung thermischer Solar-energie geeignet. Die **Obst- und Gemüseverarbeitung** (Kap. 3.3) wurde aufgrund der Vielzahl geeigneter Prozesse wie Pasteurisieren, Blanchieren, Trocknen, etc. in die engere Auswahl aufgenommen. **Die Herstellung von Süßwaren**³ (Kap. 3.4) wurde in Anbetracht des großen Prozessspektrums ausgewählt,

² Ein Unternehmen wird bei mehr als 20 Beschäftigten zum industriellen Bereich gezählt.

³ In diesem Leitfaden werden die Herstellung von Dauerbackwaren und feinen Backwaren sowie die Produktion von Speiseeis ebenfalls der Herstellung von Süßwaren zugeordnet. Dies erfolgt abweichend von der Systematik des Statistischen Bundesamts, da der Bundesverband der deutschen Süßwarenindustrie diese Subbranchen ebenfalls der Süßwarenindustrie zuordnet.

welches sich in gewissen Grenzen auch auf die Untersuchungen aufgenommen. Während der Projektlaufzeit hat sich die **Lebensmittellogistik** (Kap. 3.6) und hierbei insbesondere die Tank- und Containerreinigung sowie das Waschen von sonstigen Transportbehältnissen als ein sehr interessantes Anwendungsfeld für solare Prozesswärme herausgestellt, da zur Reinigung große Wassermengen benötigt werden, gleichzeitig jedoch nur geringe Abwärmenutzungspotentiale vorhanden sind.

andere Bereiche der Ernährungsindustrie übertragen lässt. Aufgrund des hohen Wärmebedarfs unter 100°C für Wasch- und Reinigungs- sowie Pasteurisationsprozesse wurde auch die **Herstellung von Mineralwasser und Erfrischungsgetränken**⁴ (Kap. 3.5) in

Struktur der Ernährungsindustrie

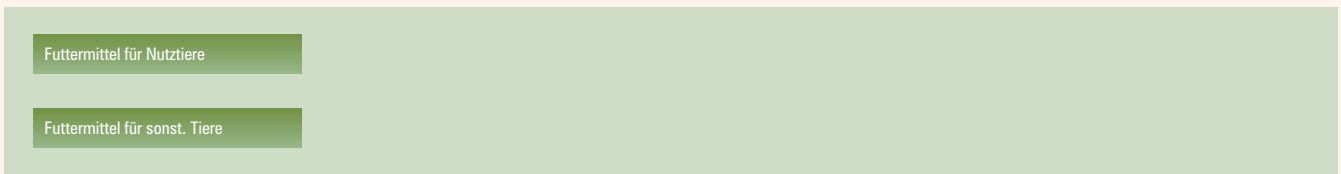
NAHRUNGSMITTELINDUSTRIE



GETRÄNKEINDUSTRIE



FUTTERMITTELINDUSTRIE

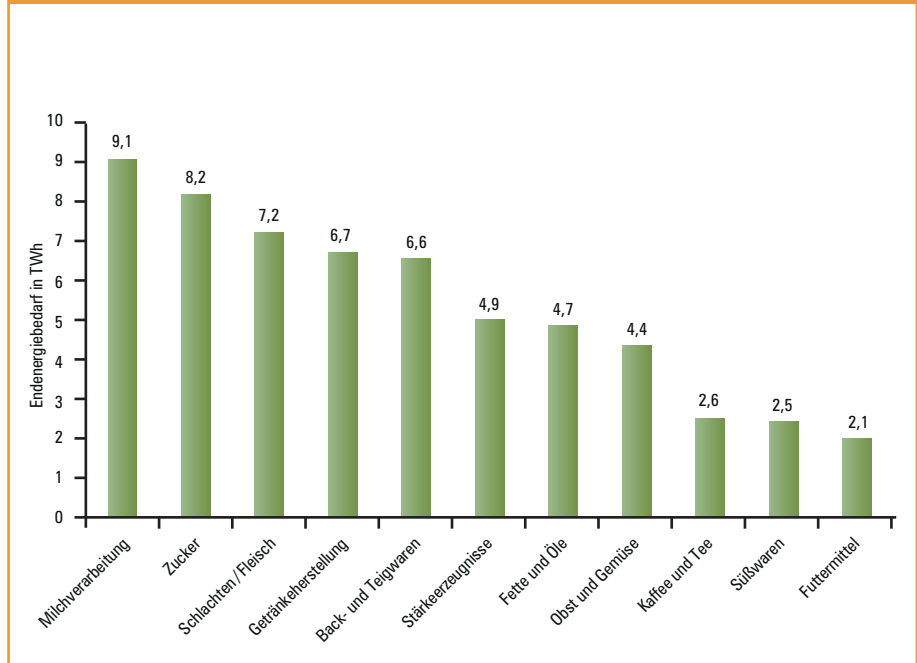


* Die mit Sternchen gekennzeichneten Bereiche wurden im Rahmen von SolFood untersucht (s. Kapitel 3).

⁴ Nach der vom Statistischen Bundesamt verwendeten Systematik wird die Getränkeherstellung eigentlich als eigener Wirtschaftszweig deklariert.

Knapp 43% aller Unternehmen in dem gesamten Wirtschaftszeitraum können den mit Fallstudien untersuchten Branchen zugeordnet werden. Diese erwirtschafteten rund 63% des Umsatzes und beschäftigten rund 50% aller tätigen Personen, womit von einer **ausreichenden Repräsentativität** ausgegangen werden kann. Wie nebenstehender Abbildung entnommen werden kann, werden durch die Fallstudien im Rahmen von SolFood ebenfalls die aus energetischer Sicht besonders relevanten Branchen der Ernährungsindustrie abgedeckt. Die Zuckerindustrie, als die Branche mit dem zweitgrößten Endenergieeinsatz, wurde nicht tiefergehend analysiert, da vorangegangene Studien gezeigt haben, dass praktisch kein wirtschaftliches Potential zur Nutzung von Solarwärme vorhanden ist. Dies basiert zum einen auf dem weitverbreiteten Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und zum anderen auf der verhältnismäßig kurzen Produktionszeit innerhalb eines Jahres. Die sogenannte Kampagne in der Zuckerindustrie verläuft typischerweise von September bis Dezember. Auch die Produktion von Stärkeerzeugnissen ist aufgrund komplexer Anlagentechnik und fehlender Integrationspunkte für die Nutzung solarer Prozesswärme uninteressant. Gleiches gilt für die Herstellung von Fetten und Ölen, wo durch umfängliche Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten aus der sogenannten Desodorierung (200..250 °C) kein Potential für Solarwärme vorhanden ist. Zudem sind in beiden Branchen insgesamt weniger als 100 Unternehmen tätig.

Energiebedarf in der Ernährungsindustrie im Jahr 2013



2014 wurden in der gesamten Ernährungsindustrie 63 TWh Endenergie verbraucht, womit dieser Wirtschaftszweig einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am industriellen Energiebedarf aufweist. Die Energiekosten spielen in der gesamten Ernährungsindustrie jedoch eine eher untergeordnete Rolle. Aufgrund dieser Tatsache werden die Themen Energieverbrauch und Effizienzmöglichkeiten bei den Unternehmen in diesem Bereich mit nachrangiger Priorität behandelt. In der Ernährungsindustrie lag im Jahr 2013 der Anteil der **Energiekosten** an dem Bruttoproduktionswert durchschnittlich im Bereich von **2,5%**. Dieser Wert mag zwar auf den ersten Blick relativ klein aussehen, jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass man sich hiermit im Bereich der in dem Industriezweig durchschnittlichen Umsatzrendite befindet.

Tendenziell kann davon ausgegangen werden, dass bei steigender Unternehmensgröße die Energiekosten einen sinkenden Anteil aufweisen. In den detailliert betrachteten Branchen gab es Abweichungen mit höheren Anteilen in der Obst- und Gemüseverarbeitung (bis zu 4%) und der Getränkeherstellung (bis zu 3,3%). Die Milchverarbeitung fällt durch einen besonders niedrigen Energiekostenanteil (1,5..2%) auf. Ebenfalls war hier der Anteil der Personalkosten mit rund 7% im Vergleich zu den restlichen Branchen eher gering, bei denen der Anteil im niedrigen zweistelligen Prozentbereich lag. Dies lässt auf einen hohen Automatisierungsgrad rückschließen.

Wie unten stehende Abbildung verdeutlicht, wurden im Jahr 2014 knapp **drei Viertel der eingesetzten Endenergie** in der Ernährungsindustrie für die Bereitstellung von **Wärme** verwendet, was einer typischen Verteilung für den gesamten industriellen Sektor entspricht. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass ein erheblicher Teil des Stromes in der Ernährungsindustrie zur Bereitstellung von Hochtemperaturwärme (> 150 °C, z. B. beim Backen und Grillen) eingesetzt wird. Diese Anwendungen können jedoch für den Einsatz von thermischer Solarenergie nicht sinnvoll erschlossen werden.

Aufgrund der größeren Bedeutung des Wärmeverbrauchs ist es nicht ausreichend, sich bei der Planung von Energiekonzepten oder Effizienzberatungen auf den Strombereich zu beschränken. Die Wärmebereitstellung in der Ernährungsindustrie wird von Erdgas dominiert, das in Heizkesseln verbrannt wird, um **Dampf** oder teilweise auch **Heißwasser** bereitzustellen. Andere fossile Energieträger wie Stein- und Braunkohle (1%) sowie Heizöl (7%) spielen keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle bei der Energiebereitstellung, da derartige Kesselsysteme niedrigere Nutzungsgrade und dadurch häufig höhere Wärmegestehungskosten aufweisen. Wenn ölbefeuerte Wärmeerzeuger aus produktionstechnischen Gründen nicht erneuert werden können oder ein Unternehmensstandort nicht über einen Erdgasanschluss verfügt,

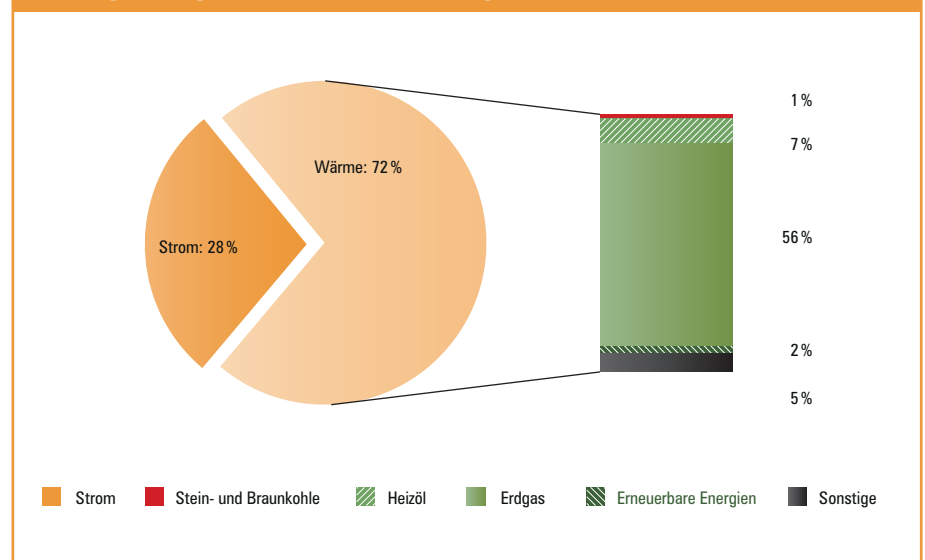
ist die Nutzung von solarer Prozesswärme besonders attraktiv. Da Heizöl vergleichsweise teuer ist, kann somit eine schnellere wirtschaftliche Amortisation der Solaranlage erreicht werden. Nah- und Fernwärmesysteme⁵ zur Bereitstellung von Wärme in industriellen Anwendungen sind ebenfalls weniger bedeutend. Ist jedoch ein solches System vorzufinden, sind die Anwendungsmöglichkeiten von thermischen Solarkollektoren oftmals gering. Insbesondere wenn die Netze durch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen gespeist werden, liegen die Wärmepreise bei industriellen Großabnehmern häufig in einem sehr niedrigen Bereich. Die Nutzung erneuerbarer Energien spielt mit einem Anteil von mehr als 2% derzeit praktisch noch kaum eine Rolle.

Innerhalb der betrachteten Branchen gibt es einige Abweichungen von dieser allgemeinen

Verteilung. Insbesondere das Schlachten von Geflügel, die Speiseeisherstellung sowie die Herstellung von Teigwaren weisen einen deutlich niedrigeren Erdgasanteil auf. Dafür kommt es insbesondere bei der Herstellung von Teigwaren sowie abgeschwächt im Schlachtbereich zu dem vermehrten Einsatz von Heizöl. Beim Schlachten von Geflügel und der Speiseeisherstellung wird dafür zu einem relevanten Mehranteil Strom bezogen (60..70%).

Aus struktureller Sicht haben die untersuchten Branchen eine unterschiedliche Relevanz. Mit Blick auf die Anzahl der jeweils vertretenen Unternehmen ist der Bereich Schlachten und Fleischverarbeitung hervorzuheben. Mehr als ein Fünftel aller Betriebe in der gesamten Ernährungsindustrie können diesem Bereich zugeordnet werden. Die Bedeutung dieser Branche zeigt sich auch an dem Anteil der hier

Energieträger in der Ernährungsindustrie im Jahr 2013



⁵ Im Diagramm in dem Bereich „Sonstige Energieträger“ mit enthalten.



Beschäftigten (19%) sowie dem Umsatzanteil (23%). Basierend auf der Unternehmensanzahl spielen mit Ausnahme der Getränkeindustrie (10%) die anderen untersuchten Branchen eine untergeordnete Rolle. Die Obst- und Gemüseverarbeitung umfasst 4%, die Süßwarenindustrie 3% und die Milchindustrie 4% aller Unternehmen. Letztere hat jedoch eine verhältnismäßig hohe wirtschaftliche Relevanz, da der von der Milchindustrie im Jahr 2014 erwirtschaftete Umsatz von knapp 28 Mio. € einem Anteil von 16% an der gesamten deutschen Ernährungsindustrie entspricht.

Etwa 5% Prozent aller Angestellten der deutschen Ernährungsindustrie arbeiteten 2012 in den sechs größten Unternehmen (gemessen an der Anzahl der Beschäftigten). Im Vergleich mit anderen Industriezweigen ist dies ein relativ niedriger Anteil und damit ein Indikator für die stark **mittelständische Prägung**. Insgesamt finden sich in den untersuchten Branchen im Vergleich mit der übergeordneten Ernährungsindustrie eher etwas größere Unternehmen wieder. Jedoch muss auch berücksichtigt werden, dass viele Betriebe übergreifenden Unternehmensgruppen zugehörig sind, die durch diese Statistik nicht erfasst werden.

Die sechs umsatzstärksten Unternehmen erwirtschafteten fast ein Zehntel des gesamten Branchenumsatzes. Innerhalb der Ernährungsindustrie kommt es jedoch je nach Größe zu deutlichen Unterschieden. Spitzenreiter ist hier die vergleichsweise kleine Branche der Süßwarenherstellung, in der mehr als die

Hälfte des Umsatzes von den sechs größten Unternehmen erwirtschaftet wird.

In Bezug auf die Unternehmensgrößen (auf der Basis der Beschäftigtenzahl) gibt die Ernährungsindustrie kein homogenes Bild ab. Im Jahr 2014 beschäftigten mehr als die Hälfte aller Betriebe 20..49 Personen, wobei dies hauptsächlich auf die Fleischbranche (59%) und den Bereich der Getränkeherstellung (46%) zurückzuführen war. Insbesondere in der Milchverarbeitung und der Herstellung von Süßwaren existiert jedoch ein Trend zu größeren Unternehmen. So wiesen in der Milchverarbeitung noch rund 33% der Unternehmen eine Mitarbeiterzahl von 100..249 auf, im Bereich von 500..999 Mitarbeitern waren es immerhin noch mehr als 6%. Im Gegensatz zum gesamten Industriesektor in Deutschland sind sowohl in der Ernährungsindustrie als auch in den sechs untersuchten Branchen die meisten Menschen in Betrieben mit 100..249 Mitarbeitern beschäftigt. In der restlichen Industrie ist die Mehrheit in Nicht-KMU-Betrieben mit mehr als 250 Beschäftigten angestellt. Dies ist hauptsächlich auf die chemische, pharmazeutische und metall-erzeugende Industrie sowie die Bereiche Herstellung von elektronischen Ausrüstungsgegenständen und Kraftfahrzeugen zurückzuführen, wo die meisten Angestellten in sehr großen Betrieben mit mehr als 1000 Mitarbeitern beschäftigt sind. Besonders auffällig in der Ernährungsindustrie sind erneut die Süßwaren- und die Milchindustrie, wo ein relevanter Anteil in Unternehmen mit mehr als 1000 Angestellten beschäftigt ist und dementsprechend nur ein geringer Prozentsatz in

den ohnehin wenigen Unternehmen mit bis zu 99 tätigen Personen. In der Milchverarbeitung waren es mehr als 14%, in der Süßwarenindustrie sogar rund 32%. Die Branchengewerkschaft NGG geht davon aus, dass es insbesondere in der milchverarbeitenden Industrie zu einem **zunehmenden Strukturwandel** kommen wird. Durch die größere mögliche Produktvielfalt und internationale Absatzmöglichkeiten von großen Unternehmen bieten sich zunehmende Vorteile auf dem umkämpften Markt.

1

2

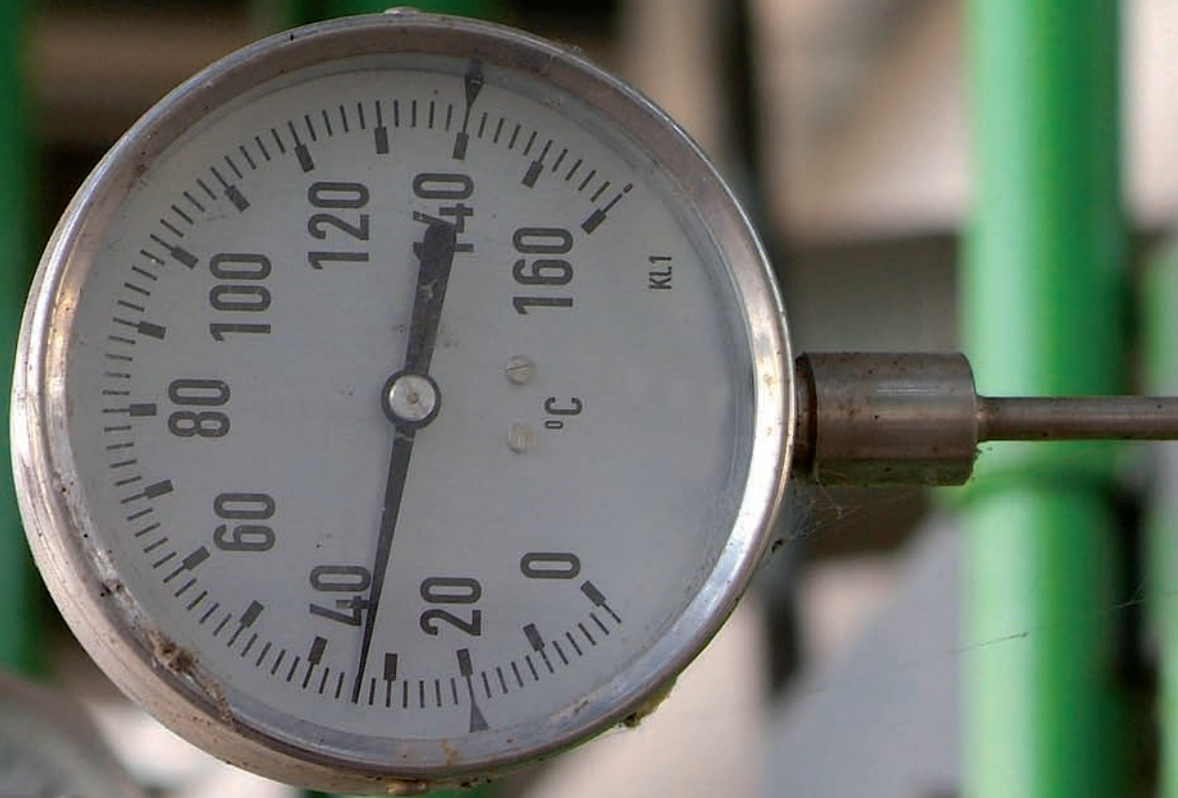
3

4

5

6

7



Nutzungspotential Solarwärme

- 😊 = generell gute Umsetzungsmöglichkeiten
- 😐 = Integrationsmöglichkeiten stark abhängig von verwendeter Anlagentechnik
- 😞 = in der Regel eher aufwendige Einbindung bis hin zu nicht umsetzbar

Das Nutzungspotential wird in Bezug auf mit Deutschland vergleichbaren klimatischen Bedingungen (Sonneneinstrahlung, Direktstrahlungsanteil, Temperaturen) angegeben. Unter anderen Rahmenbedingungen sind u.U. auch andere Anwendungen für die Nutzung solarer Prozesswärme erschließbar.

3 Nutzung von Solarwärme in der Ernährungsindustrie

Im Rahmen vergangener Untersuchungen wurde die Ernährungsindustrie stets als **besonders vielversprechend** hinsichtlich des Potentials zur Nutzung solarer Prozesswärme eingestuft. Vor allem aufgrund der häufig sehr ähnlichen Prozesse und des moderaten Temperaturniveaus kommt diesem Industriezweig eine besondere Bedeutung zuteil. Insgesamt wurde für die deutsche Ernährungsindustrie ein **technisches Potential von rund 7,5 Mio. m² Kollektorfläche (3,4 TWh/a)** ermittelt, was bereits eine beschränkte solare Deckungsrate sowie vorrangig auszunutzende Effizienzpotentiale berücksichtigt. Somit ist hierbei tendenziell eher von einer konservativen Abschätzung auszugehen.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt wurde, existiert in diesem Wirtschaftszweig ein hoher Wärmebedarf unterhalb von 150 °C, was vorteilhaft für die Einbindung von Wärme aus Sonnenenergie ist. Ein weiterer Punkt neben den **moderaten Prozesstemperaturen**, die die Ernährungsindustrie für die Nutzung solarer Prozesswärme so interessant macht, sind die stets wiederzufindenden charakteristischen Last-

profile. Typischerweise wird an fünf Tagen in der Woche produziert, an denen meist sehr ähnliche Wärmelastprofile vorliegen, sodass eine optimale Regelung der Solaranlage möglich ist. Lediglich der letzte Produktionstag in der Woche weicht von diesem Muster ab, da die Produktion freitags häufig schon etwas früher endet, dafür jedoch **intensive Reinigungsprozesse** anstehen. Am Wochenende liegt hingegen in der Regel kein Wärmebedarf vor, was nachteilig für die Nutzung von Solarwärme ist und entsprechend dimensionierte Speicher oder alternative Wärmesenken erfordert.

Während in den folgenden Unterkapiteln stets die jeweils branchenspezifischen Prozesse analysiert werden, ist in der nebenstehenden Tabelle eine Übersicht branchenübergreifend besonders relevanter Prozesse dargestellt. Neben der üblichen Prozesstemperaturbandbreite ist eine Einschätzung zum Nutzungspotential solarer Prozesswärme angegeben. Diese Einschätzung geht auf die Erfahrungen aus Fallstudien, Literaturrecherchen und Herstellerangaben zurück und berücksichtigt das zu erwartende Temperaturniveau der

Solaranlage, die Laufzeit der Prozesse sowie den Aufwand zur Integration der Solarwärme. Das angegebene Nutzungspotential thermischer Solarenergie kann trotzdem nur als erste Abschätzung gelten, beispielsweise zur Festlegung von Prioritäten bei Unternehmensanalysen. Grundsätzlich gilt, dass die Umsetzung von der verwendeten Anlagentechnik und der jeweiligen Wärmezufuhr abhängig ist. Aufgrund des hohen Warmwasserbedarfs für die unterschiedlichsten Prozesse sind in nahezu allen Betrieben der Ernährungsindustrie Warmwassernetze und -speicher vorhanden, was es in der Regel relativ einfach macht, einen ersten sinnvollen Integrationspunkt auf der Versorgungsebene zu identifizieren.

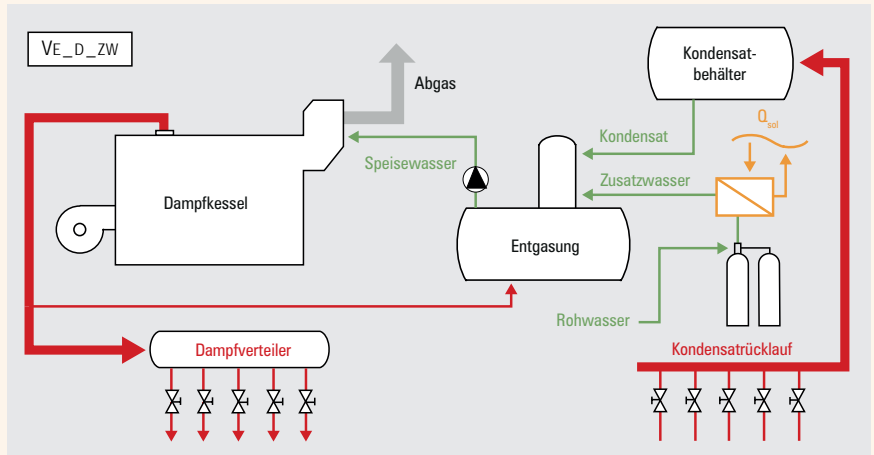
Für die Wärmebereitstellung verfügen viele Betriebe in der Ernährungsindustrie über einen gas- oder ölbetriebenen Dampfkessel mit zugehörigem Dampfnetz. Besonders ist, dass viele Prozesse nicht nur indirekt mittels Wärmetauscher durch Dampf beheizt werden, sondern auch eine direkte Dampfnutzung erfolgt. Dies hat zur Folge, dass im Gegensatz zur indirekten Dampfnutzung, keine Kondensatrückführung erfolgen kann, sondern diese

Verluste durch **Zusatzwasser** ausgeglichen werden müssen. Dazu muss Kaltwasser zunächst entsalzt und anschließend auf Speisewassertemperatur (95..105 °C) erwärmt werden. Hier bietet sich meist eine einfache und gute Integrationsmöglichkeit zur Nutzung von solarer Prozesswärme (s. nebenstehende Darstellung).

Um die strengen Hygienevorschriften zu erfüllen, spielen **Reinigungsvorgänge** in der gesamten Ernährungsindustrie eine wichtige Rolle. Dabei kommt es zu großen Unterschieden in Technologie, Ablauf und Häufigkeit. Teilweise werden die eingesetzten Maschinen nach jeder Charge gereinigt, wobei die **CIP-Technologie** (Cleaning in Place) eine relevante Rolle spielt. Hierbei werden Rohrleitungen, verfahrenstechnische Anlagen und Lagertanks gereinigt, ohne dass eine Demontage einzelner Bauteile erfolgen muss. Die Reinigung erfolgt in Abhängigkeit von Produkt und Anlagenteil automatisiert in unterschiedlichen Zyklen (nach jedem Batch, täglich, wöchentlich, etc.). Je nach Randbedingungen wird kalt oder heiß mit unterschiedlichen Reinigungslösungen, meist Lauge und Säure, gereinigt.

Häufig sind in Betrieben mehrere kleinere CIP-Anlagen für unterschiedliche Produktlinien oder Betriebsbereiche vorhanden. Daher sollten bei der Einbindung von Solarwärme (siehe Informationskasten Integrationskonzept – CIP-Anlage) die Laufzeiten innerhalb eines

Integrationskonzept – Vorwärmung Zusatzwasser⁶



Aufgrund von direktem Dampfverbrauch und Verlusten bei der Kondensatrückführung wird Dampfsystemen in der Regel Zusatzwasser zugeführt. Hierfür wird zunächst Kaltwasser entsalzt (durch Ionentauscher oder Umkehrosmose) und anschließend in einem Entgasungsprozess auf Speisewassertemperatur (95..105 °C) erwärmt. Durch einen zusätzlichen Wärmetauscher in der Zusatzwasserleitung, kann zumindest eine solare Vorwärmung des zugeführten Kaltwasser relativ leicht umgesetzt werden. Hierbei gilt es, vorweg mögliche Abwärmeströme zu berücksichtigen. Das Speisewasser selber wird üblicherweise über einen Economizer (Wärmerückgewinnung aus Verbrennungsabgasen) vor der Zuführung zum Kessel weiter erhitzt.

typischen Produktionstages sowie innerhalb einer Woche berücksichtigt werden.

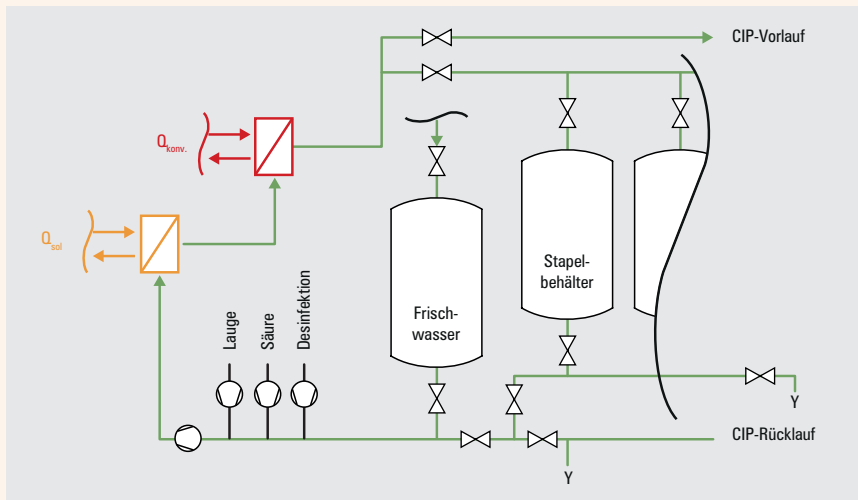
Je nach Branche werden auch die gesamten Produktionsräume am Ende eines Tages komplett eingeschäumt und gereinigt. Hierbei werden **große Mengen an Warmwasser** benötigt, das aufgrund des hohen Bedarfs innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums in Speichern bevorratet werden muss. Dies kommt dem Einsatz von thermischen Solar Kollektoren zugute, da das Temperaturniveau der konventionellen Warmwasserbereit-

stellung und -verteilung die Integration von Solarwärme begünstigt. Temperaturen oberhalb von 70 °C kommen nur zu Desinfektionszwecken zum Einsatz, wobei die hier benötigten Wassermengen im Verhältnis eher gering ausfallen, sodass diese konventionell oder mittels elektrischer Durchlauferhitzer bereitgestellt werden.

Im Gegensatz zur Reinigung von Produktionseinrichtungen spricht man bei Behältnissen wie Flaschen, Kisten, Gläsern und Formen, die das Endprodukt enthalten, von **Wasch-**

⁶ In den dargestellten Integrationskonzepten wird für eine verbesserte Übersichtlichkeit nicht das gesamte Solarsystem mit all seinen Komponenten (Kollektor, Speicher, Pumpen, etc.) sondern allein die Schnittstelle zum Einspeisepunkt dargestellt. Gesamtsysteme finden sich bei den Anwendungsbeispielen in Kapitel 4.

Integrationskonzept – CIP-Anlage



Eine CIP-Anlage besteht aus mehreren Stapelbehältern für Frischwasser, Heißwasser, Säure, Lauge und Stapelwasser sowie Peripherie (Pumpen, Wärmetauscher, etc.). Die Wärmetauscher zur Beheizung der Reinigungslösungen sind meist extern angeordnet, können sich aber auch direkt intern im Stapelbehälter befinden. Die Wärmetauscher erwärmen die unterschiedlichen Medien auf die geforderte Temperatur, bevor diese den zu reinigenden Anlagenteilen zugeführt werden. Durch eine Kreislaufschaltung können auch einzelne Stapelbehälter beheizt werden.

Bei CIP-Anlagen mit externem Wärmetauscher lässt sich ohne großen Aufwand ein solar beheizter Wärmetauscher vorschalten. Wenn größere Zeiträume zwischen den Reinigungsphasen liegen, können die Stapelbehälter auch mit einem kleiner dimensionierten Wärmetauscher solar vorgewärmt werden. Falls die Zieltemperatur dabei nicht erreicht wird, führt der konventionelle Wärmetauscher die restliche thermische Energie zu.

prozessen. Diese erfolgen in der Regel in dafür vorgesehenen vollautomatischen Anlagen. Aufbau und Funktionsweise unterscheiden sich maßgeblich in Abhängigkeit des zu waschenden Behältnisses. So ist beispielsweise das Waschen von Bierkästen nicht mit dem Vorgehen bei Mehrwegflaschen zu vergleichen. Folglich kann auch kein einheitliches Integrationskonzept für derartige Anlagen vorgestellt werden, da die Waschverfahren sehr stark variieren und sich somit verschiedenste Möglichkeiten zur Einbindung ergeben.

Die **Trocknung** ist ein sehr energieintensiver Prozess, der bei einer energetischen Analyse dennoch oftmals wenig Beachtung findet. Häufig ist die Trocknung der letzte Schritt in der thermischen Prozesskette und trägt maßgeblich zum Energieverbrauch eines Unternehmens bei. Aus Gründen der Produktschonung werden in der Ernährungsindustrie eher niedrige Temperaturen verwendet. Außerdem weisen die Trockner konstante Laufzeiten auf, was sie für die Nutzung von thermischer Solarenergie zusätzlich

attraktiv macht. Für die Trocknung existiert eine Vielzahl an Technologien, auf die hier nur kurz eingegangen werden kann. Grundsätzlich wird zwischen Strahlungs-, Dielektro- und Gefriertrocknern sowie Kontakt- und Konvektionstrocknern unterschieden. Letztere sind die am häufigsten verwendeten Typen und können sich im Gegensatz zu den ersten drei Trocknungsverfahren grundsätzlich für eine Einbindung von Solarwärme eignen. Als ein Beispiel für die Kontaktverfahren ist die Walzentrocknung zu nennen, die für die schnelle Trocknung von flüssigen Produkten eingesetzt wird (z. B. Trocknung von Kartoffelpüree und anderen Instant-Produkten). Hierbei wird ein dünner Film auf üblicherweise von Wasserdampf erhitzten Walzen getrocknet. Die Spühtrocknung, exemplarisch für die Konvektionsverfahren, ist eine sehr schonende Trocknungsmethode. Das flüssige Trocknungsgut wird zerstäubt und in einem gegenläufigen heißen Luftstrom getrocknet (z. B. Milchpulverherstellung). Feste Produkte können auf ähnliche Weise ohne Zerstäubung getrocknet werden. Die Gefriertrocknung ist ein sehr schonendes aber auch teures Verfahren, bei dem das Wasser unter Vakuum direkt aus den zu trocknenden gefrorenen Produkten verdunstet. Die Nutzungsmöglichkeiten von solarer Prozesswärme hängen maßgeblich von den für die Trocknungsgüter spezifischen Temperaturen und der Beheizungsart der Anlagen ab. Folglich kann keine allgemeingültige Aussage über die Möglichkeiten der Integration solarer Wärme getroffen werden.

Zur Haltbarmachung von Lebensmitteln wird häufig das **Pasteurisieren** genutzt, bei dem eine Erwärmung des Produkts auf ca.

1

2

3

4

5

6

7

70..100°C erfolgt. Dabei finden sich je nach Branche und Produkt unterschiedlichste Anlagen wieder, weshalb eine universelle Angabe in Bezug auf die solarthermischen Integrationsmöglichkeiten nicht getroffen werden kann. Aufgrund des Temperaturniveaus kann Solarwärme aber auch hier meist zur Vorwärmung eingesetzt werden.

Sterilisationsprozesse sind in der Ernährungsindustrie weit verbreitet. Sie sind jedoch im Allgemeinen eher kompliziert für die Nutzung von solarer Prozesswärme zu erschließen, da das Temperaturniveau im Vergleich zu anderen Prozessen meist deutlich höher liegt. Zusätzlich sind durch den häufig getakteten Batch-Betrieb relevante Wärmerückgewinnungspotentiale vorhanden. Dennoch kann je nach verwendeter Anlagentechnik bei zirkulierenden Wasserströmen eine Wiederaufheizung durch Solarwärme erfolgen.

Je nach Branche und Produkt kann **Kochen** in kleinen wie großen Kochkesseln, speziellen

Wärmetauschern oder großen Pfannen erfolgen. Neben den Kochbehältnissen gibt es auch Unterschiede in der Prozessführung, zum Beispiel bezüglich der Temperatur oder des Druckes (atmosphärisch, Über-/Unterdruck). Die Kochdauer kann dabei ebenfalls in einem recht weiten Spektrum von wenigen Minuten bis hin zu mehreren Stunden variieren. Werden die verwendeten Behälter oder Anlagen vor dem Kochen mit Wasser befüllt, kann sich dies genauso wie ein späteres Nachspeisen mit warmem Wasser sehr gut für die Einbindung von Solarwärme eignen. Häufig ist es aus Gründen der Kollektoreffizienz nicht zielführend, die eigentliche Endtemperatur des Kochvorgangs solar bereitzustellen. Dies wird der anschließenden konventionellen Anlagentechnik (beispielsweise mit Kochplatten oder Dampfinkjektionen) überlassen.

Grundsätzlich sollte bei der Analyse des Wärmebedarfs berücksichtigt werden, dass in den Produktionsräumen bei der (Weiter-) Verarbeitung und Produktlagerung aus

hygienischen Gründen eine gewisse Temperatur aufgrund rechtlicher Vorgaben nicht überschritten werden darf, um das Keimwachstum zu verringern. Dies resultiert in einem hohen Kältebedarf, der in der Regel zu einem hohen Wärmerückgewinnungspotential führt.

Im Folgenden wird gezielt auf die im Rahmen des Projekts SolFood detailliert untersuchten Branchen eingegangen (Schlachten und Fleischverarbeitung, Milchverarbeitung, Obst- und Gemüseverarbeitung, Süßwaren, Erfrischungsgetränke und Mineralwassergewinnung sowie Lebensmittellogistik). Dabei werden die wichtigsten Prozesse branchenspezifisch beschrieben und eine Einschätzung zu den Möglichkeiten der Einbindung von Solarwärme gegeben. Am Ende des Leitfadens befindet sich für jede Branche eine vereinfachte Darstellung über die Produktionsabläufe mit den wichtigsten Prozessschritten.

3.1 Milchverarbeitung

In den Betrieben der Milchwirtschaft wird Rohmilch zu unterschiedlichen flüssigen oder festen Milchprodukten verarbeitet. Im Jahr 2013 lag die Milchmenge in hiesigen Molkeereien bei mehr als 30 Mio. Tonnen Milch, wovon mehr als 30% in der Käseproduktion umgesetzt wurden. Weitere übliche Produkte sind Konsummilch, Molkeprodukte, Joghurt und Quark, Milchpulver sowie Butter und Sahne. Je nach Endprodukt sind während der

Herstellung unterschiedliche Prozessschritte notwendig. In den einzelnen Unternehmen können das Produktspektrum und damit die vorherrschenden Verarbeitungsschritte aufgrund der unterschiedlichen Betriebsgröße und der jeweiligen Spezialisierung stark variieren. Prinzipiell finden sich vor allem zu Beginn der Prozessketten immer wieder die Prozessschritte Separieren, Standardisieren, Homogenisieren und Pasteurisieren.

Bis auf das Pasteurisieren weisen diese Prozesse an sich keinen eigenen Wärmebedarf auf, da diese rein mechanische Verfahren sind. Dennoch sind für ein optimales Prozessergebnis bestimmte Temperaturen einzuhalten, weshalb die Prozesse an dieser Stelle mit aufgeführt werden sollen. Das Separieren erfolgt in Zentrifugen bei Temperaturen um 60°C und sorgt für eine Trennung der Milch in die Bestandteile Magermilch und Rahm. Direkt im Anschluss

Prozesse bei der Milchverarbeitung														
Temperieren														☹️
Pasteurisieren														☹️
Sterilisieren														☹️
Bruchbearbeiten														😊
Verdampfen														☹️
Trocknen														☹️
Temperaturbereich [°C]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	

1

2

3

werden die Bestandteile für die gewünschte Einstellung des Fettgehalts (Standardisieren) wieder zusammengefügt. Um in der Folge eine natürliche erneute Phasentrennung, ein Absetzen der Fettschicht, zu vermeiden, wird die Milch bei 60..70°C homogenisiert, wobei die in der Milch enthaltenen Fettpartikel zerkleinert werden.

Grundsätzlich ist die Herstellung von Milcherzeugnissen durch sehr viele Aufheiz- und Abkühlvorgänge geprägt, da die (Zwischen-)Produkte nach ihrer Erwärmung aufgrund hygienischer Anforderungen schnell wieder heruntergekühlt werden müssen. Dadurch ist ein hohes Potential vorhanden, den Großteil der benötigten Wärme unterhalb von 60°C rekuperativ mit geeigneten Wärmetauschern zu decken. Thermisch zu behandelnde Produktströme werden dabei häufig durch bereits behandelte Erzeugnisse vorgewärmt, die dadurch wiederum bereits heruntergekühlt werden. Bei der Milchverarbeitung

werden jedoch auch signifikante Wärmemengen oberhalb von 100°C für Trocknungs- und Sterilisationsprozesse benötigt.

Für die Wärmebehandlung in der Milchverarbeitung kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, die sich durch ihre Temperatur-Zeit-Kombination unterscheiden und zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden. So wird beispielsweise die **Temperierung** von Milch (57..70°C, ≤ 30 s)⁷ nur zur Einstellung und Erhaltung einer gewünschten Prozesstemperatur genutzt, wohingegen die folgenden Prozesse der (partiellen) Keimabtötung und Haltbarkeitsverlängerung dienen. Bei der Fermentation von Joghurt muss die Milch nach der Zugabe von Milchsäurebakterien ebenfalls warm (< 45°C) gehalten werden.

Das **Pasteurisieren** ist das am häufigsten eingesetzte Wärmebehandlungsverfahren in der Milchverarbeitung, wofür zur Produktschonung häufig Warmwasserzwischenkreise

eine Anwendung finden (siehe Informationskasten auf S. 22). Dabei erfolgt in der Regel eine sogenannte Kurzzeiterhitzung für 15..30 Sekunden bei 72..75°C. Die **Hochoerhitzung** (85..127°C, 8..15 s), die **Ultrahochoerhitzung** (135..150°C, 2..8 s) oder auch die **Sterilisation** verpackter Produkte (110..120°C, 20..50 min) sind weitere relevante Verfahren, die für eine deutlich verlängerte Haltbarkeit sorgen.

Der Übergang zwischen Pasteurisation und Sterilisation ist in der Milchverarbeitung fließend. Im Gegensatz zu der in der Ernährungsindustrie üblichen Trennung bei 100°C werden in dieser Branche auch teilweise Kurzzeiterhitzungen bis 130°C bei der Herstellung von ESL-Milch als Pasteurisation bezeichnet, da keine vollständige Sterilisation erfolgt.

Bei der **Sterilisation** kann zwischen flüssigen (z.B. UHT-Milch) und verpackten Produkten unterschieden werden. Aufgrund der hier höheren Prozesstemperaturen werden bei diesen

4

5

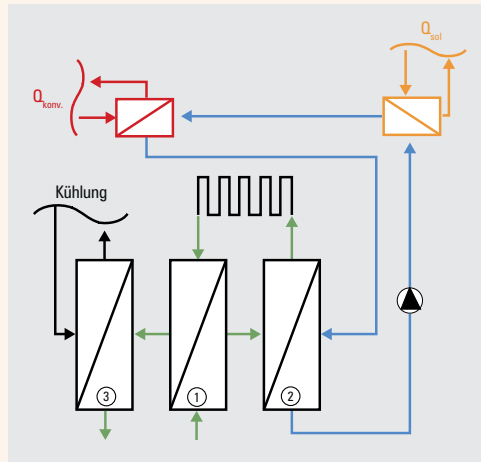
6

7

⁷ Eine derart schonende Milchbearbeitung wird in der Branche als Abgrenzung zur Pasteurisierung auch als Thermisierung bezeichnet.

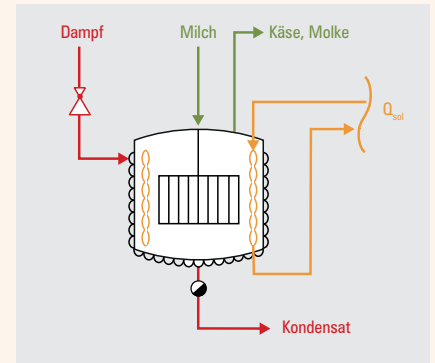
Integrationskonzept – Warmwasserzwischenkreis

Die Kurzzeiterhitzung von Milch (mit Ausnahme der Ultrahocherhitzung) erfolgt in der Regel mit für die Ernährungsindustrie üblichen Mehrzonen-Wärmetauschern. Die bereits pasteurisierte Milch wird abgekühlt, in dem sie die kalte Milch in einer Rekuperationsstufe vorwärmt, bevor diese abschließend heruntergekühlt wird. Die vorgewärmte Milch wird anschließend auf Pasteurisationstemperatur erwärmt.



Da Milchprodukte temperaturempfindlich sind und zum Anbacken an heißen Oberflächen neigen, werden bei der Erhitzung häufig Warmwasserzwischenkreise verwendet. Bei geringen Zieltemperaturen unterhalb von 80 °C erfolgt die Beheizung daher mit geeigneten Plattenwärmetauschern, wobei primärseitig das konventionelle Heizmedium (in der Regel Dampf) den Zwischenkreis auf eine Temperatur wenige Kelvin oberhalb der Solltemperatur des Produktes aufheizt. Die Einbindung von solarer Prozesswärme kann in diesem Fall durch einen zusätzlichen Plattenwärmetauscher erfolgen, der in Reihe vor dem konventionellen Wärmetauscher geschaltet ist. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die aufzuheizende Temperaturdifferenz relativ gering ist, aufgrund der hohen Volumenströme jedoch meist eine recht große Leistung anfällt.

– Bruchbereitung



Bei der Bruchbereitung werden Molke und geronnenes Eiweiß, das später zum Käse heranreift, durch ein Zusammenwirken von mechanischer Einwirkung (insbesondere Rühren) und milder thermischer Behandlung voneinander getrennt. Die Erwärmung des Gemisches kann indirekt über einen Heizmantel erfolgen, der mit Dampf oder Heißwasser beheizt wird, oder direkt durch die Zugabe von aufbereitetem Warmwasser in das Gemisch. Dadurch ergeben sich entsprechende Integrationspunkte für solare Prozesswärme, beispielsweise durch einen (zusätzlichen) internen Wärmetauscher.

Prozessen keine Warmwasserzwischenkreise verwendet. Die Sterilisation von UHT-Milch erfolgt durch direkte Dampfinjektion, wobei die aufgeheizte Milch anschließend in einen unter Vakuum stehenden Expansionsbehälter gelangt, wo durch Entspannung des Gemisches exakt die Menge Wasser verdampft, die dem Produkt zuvor zugeführt wurde. In der Regel bietet sich an dieser Stelle kein Potential zur Einbindung von solarer Prozesswärme. Nach kurzem Erhitzen für wenige Sekunden wird die Milch sofort heruntergekühlt. Dies erfolgt rekuperativ mit frischer zu sterilisierender Milch, sodass sich auch kein

Solarpotential für eine Vorwärmung ergibt. Zur Sterilisation von verpackten Produkten werden stehende oder liegende Druckkessel (Autoklaven) verwendet, die Flaschen oder Dosen mittels Gestellen, Käfigen oder Wagen durchlaufen. Die Beheizung erfolgt meist mit Dampf, die notwendigen Temperaturen liegen bei 115..120 °C. Ein mögliches Integrationskonzept zur Integration von Solarwärme bei Autoklaven im Allgemeinen wird in Kapitel 3.3. dargestellt.

Auch die Käseherstellung weist einen signifikanten Wärmebedarf auf. Die vorbehandelte

Milch wird je nach Käsesorte mit Lab versetzt und **temperiert** (20..40 °C), was aufgrund der dadurch erwirkten Gerinnung von Milch auch als „Dicklegen“ bezeichnet wird. Die anschließende **Bruchbereitung** bei Temperaturen von 35..55 °C ist aufgrund ihres geringen Temperaturniveaus aus solarthermischer Sicht besonders interessant (siehe Integrationskonzept – Bruchbereitung).

Verdampfungsprozesse spielen insbesondere bei der Herstellung von Milchpulver und Kondensmilch eine wichtige Rolle. Die häufig mehrstufige Konzentration erfolgt bei Tem-

peraturen im Bereich von 40..70°C. Analog zu der Nutzung von Solarwärme in Druckkesseln bietet sich auch die Möglichkeit, den im Plattenwärmetauscher oder Fallfilmverdampfer kondensierten Dampf wieder

aufzuwärmen, bevor er konventionell auf die Zieltemperatur gebracht wird.

Anschließende **Trocknungsprozesse** in der Milchpulverherstellung laufen bei sehr hohen

Temperaturen ab und werden direkt mit Dampf beheizt. Eine Integration von Solarwärme ist hier, wenn überhaupt, nur sehr aufwendig umzusetzen.

3.2 Schlachtung und Fleischverarbeitung

Die fleischverarbeitende Industrie gliedert sich in die beiden Subbranchen Schlachtung und Fleischverarbeitung, in der die Weiterverarbeitung und Veredelung des Fleisches stattfindet. In deutschen Schlachtbetrieben wurden im Jahr 2013 knapp 8,1 Mio. t Fleisch produziert. Mehr als zwei Drittel entfallen dabei auf Schweinefleisch, gefolgt von Rinder- und Geflügelfleisch. Die Produktvielfalt in der Weiterverarbeitung ist quasi nicht darstellbar. Bereits kleinere Betriebe bieten eine Produktpalette mit mehreren 100 Varianten an. Eine sinnvolle Einteilung bietet die Unterscheidung zwischen Frischfleisch, Wurstwaren (Brüh-, Roh-, Kochwürste etc.), Pökelwaren (Schinken, Kassler etc.) und Wurstkonserven.

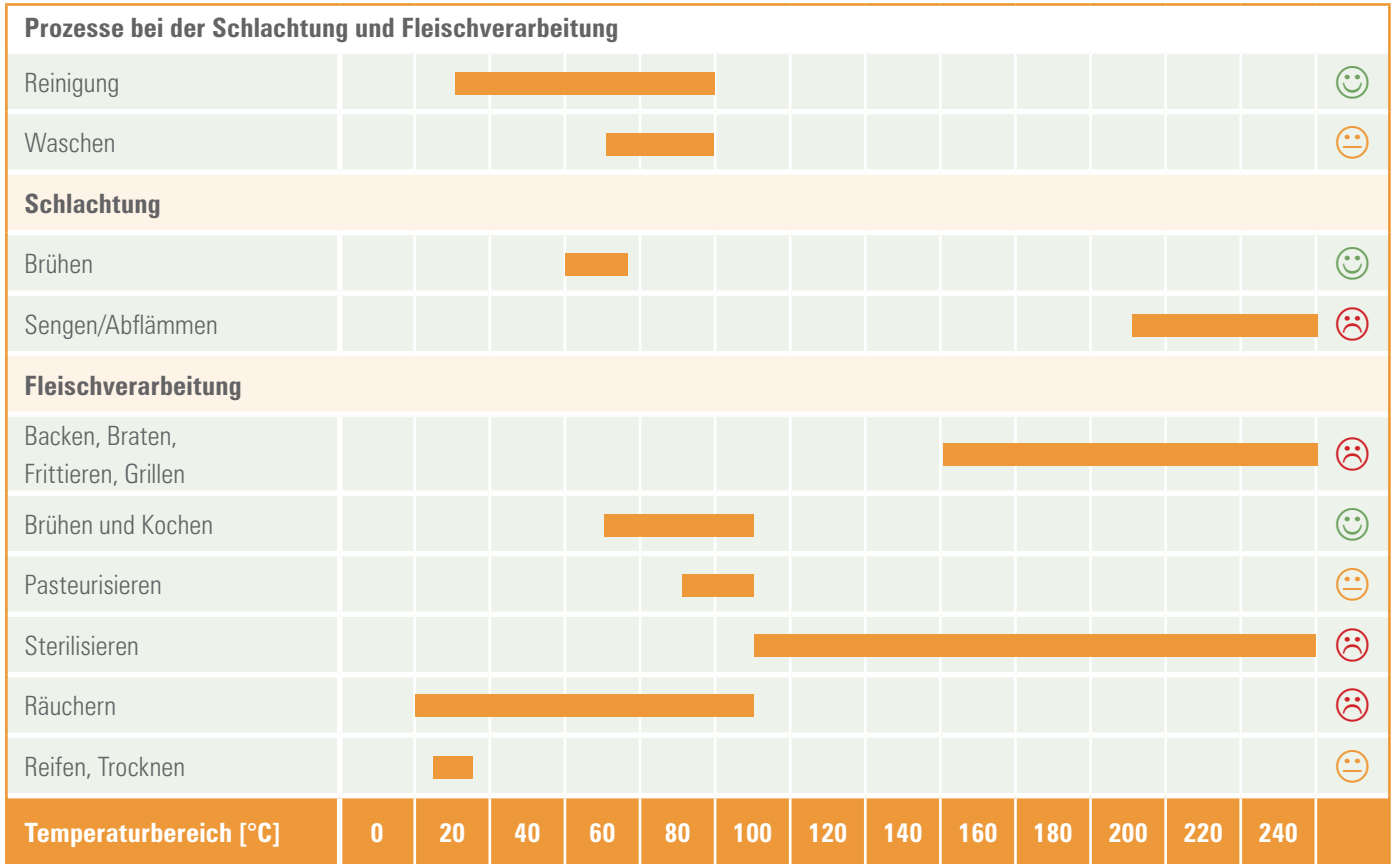
Das Spektrum der eingesetzten wärmeintensiven Prozesstechnik im Schlachtbereich ist im Vergleich mit anderen Branchen eher überschaubar. Gemäß der Prozessübersicht auf S. 24 finden sich im Bereich der Schlachtung nur zwei nennenswerte Prozesse mit thermischem Energiebedarf. Bei der Fleischverarbeitung verbrauchen hingegen mehrere, hauptsächlich zum Garen des Fleisches eingesetzte Prozesse Wärme. Dennoch ist diese Branche für den Einsatz von solarthermischen

Kollektoren interessant, da in allen hier tätigen Unternehmen zur Reduktion von Keimwachstum und damit zur Einhaltung von Hygienevorschriften regelmäßig gründlich gereinigt werden muss. Unabhängig von anderen eingesetzten Prozessen kann daher stets davon ausgegangen werden, dass täglich ein signifikanter Warmwasserbedarf vorliegt.

Angaben zu spezifischen Wärmeverbräuchen bezogen auf Schlachtmengen oder Produktionsmengen eignen sich nur bedingt zur Orientierung, da hier eine zu große Bandbreite vorliegt. Dies ist nicht zuletzt auf sehr große Unterschiede in den Schlachtraten zurückzuführen. In der stark konzentrierten Geflügelschlachtbranche kann der größte Schlachthof in Deutschland eine Schlachtkapazität von 27.000 Tieren pro Stunde aufweisen. Das Spektrum der Schlachtraten ist bei Schweinen und Rindern stärker differenziert. Schlachtlinien von Schweinen weisen eine Kapazität von wenigen zehn bis hin zu mehr als tausend Tieren pro Stunde auf. Bei letzteren finden sich parallele Schlachtlinien mit einer jeweiligen Kapazität von bis zu 60 Schlachtungen pro Stunde. Auch in der Fleischverarbeitung sind derartige Benchmarks nicht nutzbar, da der Wärmebedarf

massiv von den Produktionsmengen und den eingesetzten Prozessen abhängt.

Wie bereits eingangs erwähnt, spielen **Reinigungsprozesse** in der Fleischbranche eine besonders große Rolle. Durch die hohe Gefahr von Bakterienkontamination müssen alle Produktionsräume täglich gereinigt werden, wodurch ein hoher Warmwasserbedarf (60..70°C) resultiert. Ist zusätzlich eine Desinfektion nötig, die nicht durch chemische Reiniger erreicht werden kann, sind Temperaturen von über 80°C notwendig. Neben den Produktionseinrichtungen müssen auch innerhalb des Unternehmens verwendete Transportkisten nach jeder Beladung **gewaschen** werden. Diese Reinigung, auf die in Kapitel 3.6 detaillierter eingegangen wird, erfolgt intern oder extern mit speziellen Kistenwaschanlagen. Durch die Nutzung der vorhandenen Warmwasserinfrastruktur (Speicher und Rohrsystem zur Verteilung) ist in der Regel eine Integration solarer Wärme umzusetzen (siehe hierzu auch Kapitel 3.6 Integrationskonzept – Warmwasserspeicher).



Schlachtung

Bei der Schlachtung von Schweinen und Geflügel ist das **Brühen** von besonderer Bedeutung, das dafür eingesetzt wird, Borsten bzw. Federn zu lockern und das Entfernen in einem anschließenden Arbeitsschritt zu erleichtern. Beim Brühen werden die Schlachtkörper für einige Minuten in Heißwasser getaucht, wobei die benötigten Temperaturen bei Schweinen (60..65°C) höher sind als bei Geflügel (50..58°C). Die Brühtemperatur bei Geflügeltieren hängt von der Weiterverarbeitung ab. Werden diese gekühlt verkauft, kommen niedrigere Temperaturen (ca. 50°C) zum Einsatz, um das Erscheinungsbild möglichst gut zu erhalten. Bei Tiefkühlware erfolgt das Brühen bei Temperaturen im Bereich von 56..58°C. Um den Brüheffekt zu erzielen,

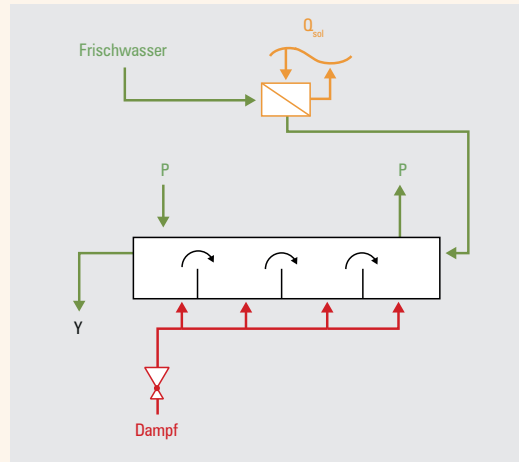
werden die Tiere meist durch große Wasserbecken gezogen, die teilweise in Reihe geschaltet sind. Diese Becken können ein Volumen von mehreren tausend Litern aufweisen. Aufgrund hoher Verschleppungsverluste sowie der hierbei nötigen aufwendigen Wasseraufbereitung (Minimierung des Keimgehalts) setzen sich jedoch zunehmend modernere Methoden durch, wie beispielsweise das Sprühbrühverfahren. Hier werden die Tiere durch einen Tunnel gefahren und dabei kontinuierlich mit in einem Kreislaufsystem geführten Heißwasser besprüht. Eine weitere Möglichkeit stellt das Kondensationsbrühverfahren dar, das nur in der Schweineschlachtung zum Einsatz kommt. Dabei werden die Schlachtkörper ebenfalls durch tunnelartige Anlagen geführt, dort jedoch mit einem heißen Dampf-

Luft-Gemisch beaufschlagt, wobei durch die Kondensation des ca. 60°C heißen Dampfes der gewünschte Brüheffekt erzielt wird. Die in der Anlage zirkulierende Luft muss dauerhaft erwärmt und befeuchtet werden.

Die Integration von solarer Prozesswärme ist insbesondere bei den beiden erstgenannten Brühverfahren verhältnismäßig leicht umzusetzen. Die mindestens täglich zu erfolgende Erstbefüllung der Wasserbecken kann mit solar erwärmtem Wasser erfolgen. Ob die erforderliche Nachheizung zur Temperaturhaltung ebenfalls mit Solarwärme umgesetzt werden kann, hängt maßgeblich von der Bauweise der Anlagen ab. Erfolgt die Beheizung durch direkte Dampfinjektion in das Wasserbad, kann eine Umstellung auf eine Beheizung

Integrationskonzept – Dampfbeheizter Brühltunnel

Um die auftretenden Verschleppungs- und Verdunstungsverluste zu kompensieren, muss in Brühanlagen kontinuierlich Frischwasser zugeführt werden. Üblicherweise erfolgt dies mit kaltem Brauchwasser, das durch Dampfinjektionen innerhalb der Brühanlagen aufgeheizt wird. Die Integration von solarer Prozesswärme mit einem vorgeschalteten Solarwärmetauscher ist in der Regel ohne größeren Aufwand umsetzbar.



durch einen externen Wärmetauscher geprüft werden. Dies zieht jedoch möglicherweise einen hohen Aufwand nach sich. Da diese Art der Brühverfahren typischerweise einen kontinuierlichen Wasserzulauf benötigen, kann auch zur Aufheizung des zusätzlich eingespeisten Wassers Solarwärme genutzt werden, wodurch sich in der Folge der interne Dampfbedarf verringert (siehe Informationskasten Integrationskonzept – Dampfbeheizter Brühltunnel).

Die Integration von solar bereitgestellter Wärme stellt sich bei dem modernen Kondensationsverfahren etwas schwieriger dar, obwohl bessere Voraussetzungen durch den kontinuierlicheren Warmwasser- und Energiebedarf bestehen. Falls die Feuchtere regulierung durch das Versprühen von Warmwasser erfolgt, ist die Integration einfach umzusetzen, der Wasserbedarf jedoch vergleichsweise gering. Theoretisch würde ein zusätzlicher Luft-Wasser-Wärmetauscher an der Rückführung auch eine solarthermische Nachheizung

ermöglichen. Es ist jedoch fraglich, ob dies aufgrund des hohen technischen Aufwands sowie des Eingriffs in wichtige Produktionsmaschinen sinnvoll umgesetzt werden kann.

Bei den verschiedenen Arbeitsschritten während der Schlachtung wird immer wieder Warmwasser für Waschvorgänge eingesetzt, wobei es hier große Unterschiede zwischen den Betrieben gibt. So kann es beispielsweise in den **Enthaarungs-** (Schweine) bzw. **Rupfmaschinen** (Geflügel), welche dem Brühprozess folgen, immer wieder zu Waschdurchgängen kommen, die sich jedoch nicht in allen Anlagen wiederfinden und stark von den individuell gewählten Programmen abhängen.

Um sicherzugehen, dass keine Borsten auf den Schweinekörpern zurückbleiben, werden diese durch einen **Brennofen** geführt, in dem durch direkte Wärmeeinwirkung Rückstände verkohlt werden. An dieser Stelle ist die Nutzung von Solarwärme sowohl aufgrund des Tempe-

raturbereichs als auch wegen der eingesetzten Prozesstechnik nicht sinnvoll umzusetzen.

Beim Schlachten von **Rindern** und **Schafen** werden die erläuterten Brüh- und Enthaarungsprozesse nicht angewendet, da hier die Haut im Ganzen abgezogen wird. Hier reduziert sich der Wärmebedarf lediglich auf das Reinigen der Produktionseinrichtungen sowie den Raumwärmebedarf.

Nahezu der gesamte Wärmebedarf in Schlachtbetrieben liegt auf einem Temperaturniveau unterhalb von 100 °C. Über vorhandene Kennzahlen kann die Aufteilung des Wärmebedarfs auf die Prozesse abgeschätzt werden.

- Schweineschlachtung: 60 % Warmwasserbereitung (Brühen, Reinigung, Desinfektion), 30 % Brennofen zur Entfernung von Borsterrückständen, 10 % Raumwärme
- Rinderschlachtung: 80..90 % Warmwasserbereitung (Reinigung, Desinfektion), 10 % Raumwärme
- Geflügelschlachtung: 60 % Warmwasserbereitung (Rupfen, Reinigung, Desinfektion), 30 % Brühen, 10 % Raumwärme

Die Transporter, welche die Tiere zur Schlachtung bringen, müssen in der Regel nach jeder Entladung noch vor Ort gereinigt werden. Hierfür werden ebenfalls große Mengen Warmwasser (60..70 °C) in Form einer Reinigungslauge benötigt, die dem Wärmebedarf von Schlachtanlagen zugerechnet werden müssen (siehe hierzu auch Kapitel 3.6).

1

2

3

4

5

6

7

Fleischverarbeitung

In der Fleischverarbeitung findet man eine größere Diversität an Prozessen, die einen relevanten Wärmebedarf aufweisen. Die Bestimmung sinnvoller Integrationspunkte von Solarwärme gestaltet sich dennoch schwieriger. Die Wärmeeinwirkung dient der Zubereitung als Teil des Herstellungsverfahrens und zusätzlich dem Haltbarmachen der Produkte. Die Erhitzungsverfahren unterteilen sich grundsätzlich in trockene und nasse Erhitzungsverfahren, wobei die feuchten Verfahren in Bezug auf die potentielle Einbindung von Solarwärme besonders interessant sind.

Beim **Brühen**⁸ und **Kochen** kann die Nutzung solarer Prozesswärme, analog zu dem Brühen in Schlachthanlagen, mit der Erstbefüllung der Kochkessel und dem Ausgleich von Verschleppungsverlusten mit solar (vor-)erwärmtem Wasser erfolgen. Die Beheizung erfolgt in der Regel über direkte oder indirekte (bei doppelt ausgeführten Außenwänden) Dampfinjektionen. Bei niedrigeren Kochtemperaturen im Bereich von 60 °C kommt ggf. eine

Umstellung der Beheizung mit externen Wärmetauschern in Betracht. Bei der Verwendung von Kochkammern, in denen der Garprozess durch warme zirkulierende Luft erfolgt, ist es schwierig, einen Integrationspunkt zu identifizieren.

Beim **Pasteurisieren** hängt das Potential zur Einbindung von Solarwärme stark von der Anlagentechnik ab. Für die Pasteurisation im Wasserbad gilt das Gleiche wie für das Kochen und Brühen, jedoch gibt es hier bei einer kontinuierlichen Betriebsweise möglicherweise nicht zu vernachlässigende Wärmerückgewinnungspotentiale, die es im Vorfeld zu prüfen gilt. Erfolgt die Pasteurisation über Dampfbeaufschlagung, ist eine Integration nur schwer umzusetzen. Auch die Anwendung solarer Prozesswärme für **Sterilisationsprozesse** ist aufgrund des hohen Temperaturniveaus eher schwer zu erschließen.

Das **Räuchern**, als eines der ältesten Verfahren zur Geschmacksintensivierung und

Haltbarkeitsverlängerung, kann je nach Temperaturniveau in das Kalträuchern (10..25 °C), Warmträuchern (25..40 °C) und Heißträuchern (40..100 °C) unterteilt werden. Mit zunehmender Temperatur sinkt die Einwirkzeit deutlich von teilweise mehreren Tagen bis zu wenigen Stunden. Diese Prozesse eignen sich jedoch nicht für Nutzung von Solarwärme, da sich die Integration als zu aufwendig gestaltet.

Das **Reifen** und **Trocknen** insbesondere bei Würsten ist aufgrund des Temperaturbereichs (15..25 °C) und des kontinuierlichen Wärmebedarfs besonders interessant. Die Lagerung erfolgt mehrschrittig in großen Klimaräumen, in denen die Luft zur Feuchtigkeitsabfuhr heruntergekühlt und anschließend wieder erwärmt werden muss. Durch die Dimensionen der Räume kann sich eine Beheizung mit Warmwasser über große flächige Wärmetauscher realisieren lassen. Ein Großteil der Luftkonditionierung kann bei den in Deutschland vorherrschenden klimatischen Bedingungen jedoch auch über die Außenluft erfolgen.

3.3 Obst- und Gemüseverarbeitung

Die Obst- und Gemüseverarbeitung dient der Bereitstellung haltbar gemachter Fertiggüter. In Deutschland werden jährlich rund 4,5 Mio. t Obst und Gemüse als Frischware verkauft oder zu Veredelungsprodukten weiter-

verarbeitet. Je nachdem, ob Sterilkonserven, Obst- und Gemüsesäfte, Gefrier-, Trocken- oder Rohkonserven, streichfähige Obst- und Gemüseerzeugnisse (Aufstriche, Marks, Konzentratre) oder Kindernahrung produziert wer-

den, sind unterschiedliche Verfahrensabläufe notwendig.

Immer wiederkehrende Prozessschritte sind Reinigen, Sortieren, Schälen, Entstielen bzw.

⁸ Teilweise wird zwischen Brühen in Dampf und Garen in Heißwasser unterschieden.

Entsteinen, Zerkleinern, Blanchieren, Kochen, Abfüllen, Pasteurisieren und Sterilisieren. Aus thermischer Sicht sind Schälen, Blanchieren, Maischebehandlungen, Kochen, Konzentrieren, Pasteurisieren und Sterilisieren besonders relevant. Eine Besonderheit in der Obst- und Gemüseverarbeitung liegt in den saisonalen Produktionsschwankungen, weshalb hier die Betrachtung der betriebsbedingten Lastprofile zur Einbindung solarer Wärme unabdingbar ist.

Zum **Schälen** von Obst oder Gemüse wird am häufigsten Dampf-, Laugen- oder mechanisches Schälen angewendet. Während beim Dampfschälen das Produkt direkt mit Dampf beaufschlagt wird, ist es beim Laugenschälen einem Laugenbad mit 50..70°C (Verweilzeit 3..15 min) oder 90..100°C ausgesetzt (Verweilzeit 30 s..3 min). Das Laugenschälen wird insbesondere bei Pfirsichen und Aprikosen sowie bei Wurzel- und Knollgemüse sehr häufig

angewendet. Da das Laugenbad auf moderate Temperaturen aufgewärmt und dort gehalten wird, bietet es Möglichkeiten zur Integration solarer Wärme über externe Wärmetauscher. Das Dampfschälen bietet aufgrund der Anlagentechnik und Wärmeversorgung auf Dampfbasis keinen Integrationspunkt.

Das **Blanchieren** ist ein in der Obst- und Gemüseverarbeitung sehr weit verbreiteter Prozess und findet häufig vor dem Gefrieren, Eindosen oder Trocknen statt. Neben dem oft angewendeten Wasser- und Dampfblanchieren, gibt es auch andere Verfahren, wie das Luft-, Hochfrequenz- und Infrarotblanchieren sowie kombinierte Blanchierverfahren. Die Blanchiertemperatur ist von der Obst- bzw. Gemüseart und der Blanchierzeit abhängig. Das Wasserblanchieren erfolgt meist bei 65..100°C in Schneckenblancheuren, zylindrischen Behältern mit einer Förderschnecke zum Transport des Blanchierguts. Darüber

hinaus kann die Anlage auch als Korb-, Band- oder Strömungsblancheur ausgeführt sein. In Dampfblanchieranlagen werden meist kleine Produkte mittels Förderband oder -kette durch eine Dampfatmosfera geführt. Die Wärmezufuhr bei Blanchieranlagen kann direkt durch ein Wasserbad, durch Einblasen von Wasserdampf oder indirekt durch Wärmetauscher erfolgen. Am Ende des Blanchierprozesses wird das Produkt mittels Luft oder Wasser abgekühlt. Interessant für die Einbindung solarer Wärme sind Anlagen, die bei Temperaturen bis zu 80°C produzieren und bei welchen das zu blanchierende Produkt durch ein warmes Wasserbad geführt wird, oder extern beheizte Anlagen. Durch einen zusätzlichen Solarwärmetauscher kann solare Wärme zur Vorwärmung eingebunden werden. Dampfblanchieranlagen eignen sich dagegen aufgrund der komplexen Technik und fehlender Integrationspunkte schlecht zur Einbindung von Sonnenwärme.

1

2

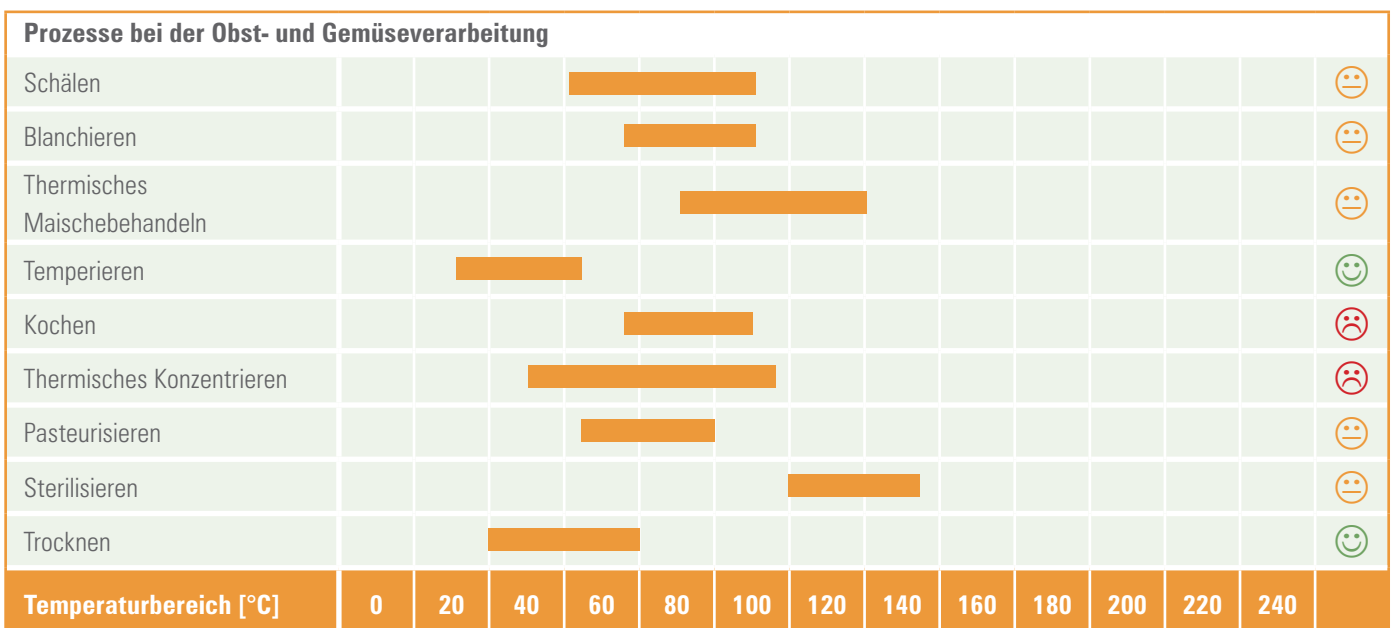
3

4

5

6

7



Bei der Herstellung von Frucht- und Gemüsesaft sowie Nektar wird nach dem Waschen und Verlesen der Früchte eine Maischegewinnung durch Zerkleinerung des Obstes oder Gemüses durchgeführt. Um eine möglichst hohe und qualitativ hochwertige Saftausbeute zu erzielen, werden häufig mechanische mit thermisch-enzymatischen Verfahren kombiniert. Ziel ist es, durch einen guten Zellaufschluss eine nachfolgende effiziente Entsaftung zu gewährleisten. Je nach Zielprodukt erfolgt auch eine **Wärmebehandlung von Maischen**, auch Thermobreak-Verfahren (u. a. bei der Fruchtnektarherstellung) genannt, bei der unterschiedliche Temperatur-Zeit-Kombinationen zu dem gewünschten Aufschluss der Zellen führen. In der Regel findet diese Wärmebehandlung bei ca. 80..85 °C über einige Minuten statt. Sie kann allerdings auch als Kurzzeiterhitzung (KZE) ausgeführt werden. Hierzu wird das Rohmaterial für wenige Sekunden auf 80..130 °C erwärmt. Für die Wärmebehandlungen von Fruchtmaischen kommen ähnlich wie beim Blanchieren schneckenbasierte Apparate zum Einsatz, die bis zu 1..2 t/h verarbeiten können. Effektiver sind meist Röhrenerhitzer, die eine schnellere Erhitzung der Maische auf 105 °C (bei Fruchtmaischen) bis zu 128 °C (bei Gemüsemaischen) bewerkstelligen. Röhrenerhitzer weisen einen Durchsatz von 5..10 t/h auf und arbeiten meist bei Überdruck von bis zu 4 bar. Zur völligen Entkeimung wird die Maische für rund 10..30 s in eine Haltezone geleitet, um danach im Gegenstrom mit frischer Maische oder auch Kühlwasser abgekühlt zu werden. Für die Integration von Sonnenwärme müssen

diese Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Beerenobst, Steinobst und (sub-)tropische Früchte werden einer thermisch-enzymatischen Maischebehandlung unterzogen. Dazu wird die Fruchtmaische unter Zugabe von Enzympräparaten zum besseren Zellaufschluss in Rühr tanks geleitet, wo das **Temperieren** erfolgt. Dabei wird die Prozesstemperatur je nach Produkt auf Raumtemperatur oder bei 40..55 °C für einen Zeitraum von 30..180 min gehalten. Naturtrübe Säfte wie beispielsweise Apfelsaft oder auch Orangensaft benötigen in der Regel keine enzymatische Behandlung, sodass das Temperieren entfällt. Gemüsemaischen werden vorwiegend in Röhrenerhitzern oder auch in Schabwärmetauschern behandelt. Hier können unterschiedliche Wärmeträger wie Dampf, Wasser, Glykol oder Ammoniak zum Einsatz kommen. Trotz der niedrigen Temperaturen ist gerade das Temperieren interessant, da hier stetig Energie zur Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur benötigt wird. Daher sind Maischebehandlungen bis zu einem Temperaturniveau von 80 °C und das teilweise inbegriffene Temperieren geeignete Prozesse zur Integration solarer Wärme mittels externer Wärmetauscher, sofern die Wärme nicht rekuperativ bereitgestellt wird.

Der Prozessschritt **Kochen** ist bei der Herstellung von Konfitüre und Gelee, Obstpulpe, Obstmark sowie Mus vorzufinden. Meist werden dazu Vakuumverdampfer (80 °C), zusätzlich jedoch auch Vakuumkochanlagen (65..85 °C) und seltener offene

Kessel (90..100 °C) verwendet. Vor Zuführung der Früchte zur Kochanlage oder dem Kessel durchlaufen diese einen Vorwärmer. Hier werden die Früchte unter Zugabe von Zuckerarten und teilweise Wasser auf 70..80 °C erhitzt. Flüssigzucker, Glukose und Zuckersirupe werden aus meist bereits vorbeheizten Vorratsbehältern hinzugefügt. Beim Kochen selbst wird die Zucker-Frucht-Mischung über Direkt-dampfinjektionen eingedampft. Auch hier ist die Einbindung solarer Wärme aufgrund der direkten Nutzung von Dampf und der gegebenen Technik schwierig.

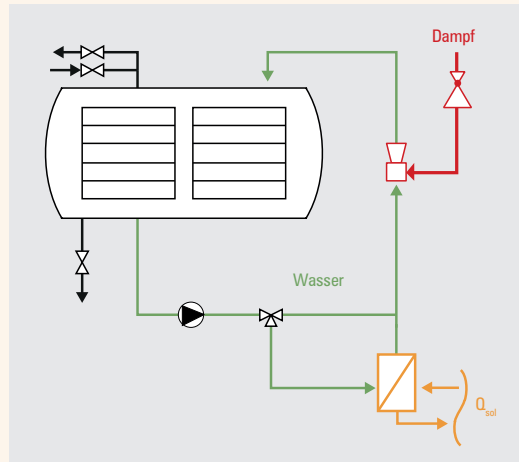
Um die Produktion von Frucht- und Gemüsesäften von der Erntesaison zu entkoppeln, werden Konzentrate (Halbfabrikate) hergestellt, was meist durch **thermisches Konzentrieren** erfolgt. Das Ziel dieses Konzentrationsprozesses liegt in einem selektiven Entzug von Wasser durch Verdampfung unter Vakuum bei möglichst geringen Aromaverlusten. Dazu werden drei- bis fünfstufige Fallstrom- oder Plattenverdampfer genutzt. Das Heizmedium liegt typischerweise 15 K über der Verdampfungstemperatur des Produkts (max. 105 °C). Konzentratanlagen können einen Durchsatz von bis zu 50 t/h erreichen. Eine Einbindung solarer Wärme ist innerhalb dieses dampfbasierten und mehrstufigen Prozesses in der Regel nur mit einem sehr hohen Aufwand umsetzbar. Neben diesem thermischen Verfahren wird oft auch die Gefrierkonzentration verwendet, welche jedoch keine Möglichkeiten zur Einbindung von Solarwärme bietet.

Das **Pasteurisieren** wird zur Haltbarmachung von Säften bei 78..82 °C als Kurzzeiterhitzung

Integrationskonzept – Sterilisation im Autoklav

Autoklaven werden in der gesamten Ernährungsindustrie für Sterilisationsprozesse von verpackten Produkten eingesetzt. Je nach Typ bestehen nach jeder Charge umfangreiche Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten. Die Beheizung erfolgt üblicherweise mit Dampf. Neben der solaren Dampferzeugung, die einen hohen

Direktstrahlungsanteil und konzentrierende Kollektoren benötigt, kann Solarwärme auch zur Nachheizung des enthaltenen zirkulierenden Wassers oder zur Vorwärmung von Frischwasser genutzt werden. Ein nachgeschalteter Dampfinjektor stellt die endgültige Prozesstemperatur ein.



bei Haltezeiten von bis zu 5 min durchgeführt. Auch bei der Herstellung von Kompott wird das Pasteurisieren (bei 90 °C) durchgeführt. Neben der KZE wird auch die Hochkurzzeitheizung (HKZE) bei 85..90 °C (Verweilzeit 20..30 s) und die Dauererhitzung bei 55..65 °C (bis 30 min) angewendet. In Abhängigkeit der Viskosität des Produkts werden Platten- oder auch Rohrwärmetauscher verwendet. Hier besteht die Möglichkeit, solare Wärme durch einen zusätzlichen Wärmetauscher zu integrieren, sodass nur noch geringfügig elektrisch oder fossil nachgeheizt werden muss.

Bei der Herstellung von Konserven erfolgt die Haltbarmachung durch **Sterilisation**. Hierfür werden ähnlich wie bei der Milch- und Fleischverarbeitung unterschiedliche Autoklaven verwendet. Die meisten Anlagen wie hydrostatischer-, Vollwasser-, Dampf-Luft- oder Rotationsautoklav werden durch Dampf injektionen beheizt, Berieselungs- und

Sprühautoklaven mittels externer Wärmetauscher. Die Nutzung von Solarwärme ist hierbei möglich (siehe Informationskasten Integrationskonzept – Sterilisation im Autoklav), jedoch sind aufgrund der hohen Prozesstemperaturen vergleichsweise niedrigere solare Erträge zu erwarten. Für die Einlagerung von Gemüsemark und -saft wird das Produkt durch direkte Dampf injektionen auf 143 °C erwärmt und für 3..4 s auf Temperatur gehalten. In einer folgenden Vakuumkammer wird die gleiche Menge wieder verdampft und abgezogen (analog zu der UHT-Behandlung in der Milchverarbeitung). Ist dieses sogenannte UHT-Erhitzen nicht möglich, kann auch ein fraktioniertes Sterilisationsverfahren (Tyndallisierung) angewendet werden. Hierbei wird das Produkt nach einer ersten Erhitzungsphase (110 °C) abgekühlt und nach einer 24-stündigen Lagerung erneut erhitzt. Bei beiden Verfahren ist die Einbindung von Solarwärme nicht möglich.

Integraler Bestandteil der Trockenobst- und Softobstherstellung ist die **Trocknung** des Rohmaterials, welche je nach angestrebtem Endprodukt als Konvektions- oder Gefriertrocknung durchgeführt wird. Zur Konvektionstrocknung werden in klein- und mittelständischen Unternehmen meist Hordentrockner verwendet, die das auf luftdurchlässigen Böden ausgelegte Obst oder Gemüse mittels durch- oder überströmender warmer Luft (60..70 °C) trocknen. Werden Bioprodukte getrocknet, so findet die Trocknung bei Temperaturen unter 45 °C statt (30..44 °C). In Großunternehmen werden zur Konvektionstrocknung auch Bandtrockner eingesetzt, die bei gleichen Temperaturen betrieben werden und eine kontinuierliche Trocknung ermöglichen. Trocknungsprozesse zählen, wie bereits eingangs erwähnt, zu den energieintensivsten Prozessen der Ernährungsindustrie. Für die Trocknung von Obst werden moderate Temperaturen benötigt, sodass solare Wärme zur Vorwärmung der Frischluft sowie zur Bereitstellung der Heißluft genutzt werden kann (siehe Informationskasten Integrationskonzept – Hordentrockner auf S. 30).

1

2

3

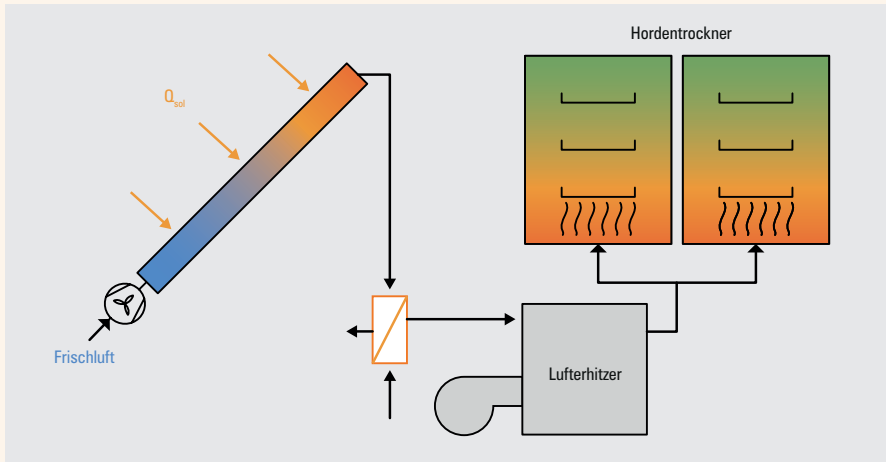
4

5

6

7

Integrationskonzept – Hordentrockner



Luftkollektoren bieten eine einfache Möglichkeit Solarwärme in industrielle (Konvektions-) Trocknungsprozesse zu integrieren. Im Gegensatz zu Flach-/Vakuumröhrenkollektoren ist keine aufwändige Hydraulik notwendig. Ein Ventilator führt dem Kollektor Außenluft bei Umgebungstemperatur zu, die im Kollektor durch die Sonneneinstrahlung erwärmt wird. Bevor die Trocknungsluft im konventionell beheizten Lufterhitzer auf Trocknungstemperatur erwärmt wird, kann

diese durch Solarwärme über einen Wärmetauscher vorgewärmt werden. Je nach Trocknungsanwendung kann auch auf den Wärmetauscher verzichtet und die solar erwärmte Frischluft direkt dem Trocknungsprozess zugeführt werden. Für eine sinnvolle Einbindung sollte vor allem in den einstrahlungsreichen Sommermonaten eine gute Auslastung der Trocknungsanlagen vorliegen.

3.4 Süßwaren

Die deutsche Süßwarenindustrie ist eine überwiegend mittelständisch geprägte Branche. Aufgrund der großen Vielfalt des Industriezweiges empfiehlt sich eine Klassifizierung in die vier Produktgruppen Kakao und Schokoladenwaren, Snacks, Back- und Teigwaren, Zuckerwaren und Rohmassen (z. B. Marzipan) sowie Speiseeis. Die Schokoladenherstellung und -verarbeitung hat sich als besonders interessant bezüglich des Einsatzes von solarer Prozesswärme herausgestellt, da hier ein großer Wärmebedarf auf einem niedrigeren Temperaturniveau von 40..60 °C zum Warmhalten der Schokoladenmasse vorliegt. Allein auf diese Subbranche ist rund ein Viertel der Produktionsmenge der gesamten deutschen Süßwarenindustrie (4 Mio. t) zurückzuführen. Die Branchengewerkschaft

NGG prognostiziert, dass in den kommenden Jahren vielfältige Veränderungen an den Produktionsprozessen und -systemen vorgenommen werden, wobei die Steigerung der Energieeffizienz eine hervorgehobene Rolle spielen wird. Im Rahmen dieser Maßnahmen könnten sich vielfältige Möglichkeiten für die Integration solarer Prozesswärme bieten. Nicht nur mit Sicht auf die Produkte, sondern auch hinsichtlich der eingesetzten Verfahren mit relevantem Wärmebedarf, ist die Branche sehr differenziert. Während die Herstellung von Schokoladenerzeugnissen größtenteils bei relativ niedrigen Prozesstemperaturen erfolgt, weisen die Prozesse der Zuckerwarenherstellung deutlich höhere Temperaturen auf.

Kakao- und Schokoladenwaren

Bei der Produktion von Kakao- und Schokoladenwaren unterscheidet man die Verarbeitung von Rohkakao zu Kakaopulver, -butter und -masse vor der eigentlichen Herstellung unterschiedlicher Schokoladenerzeugnisse. Zunächst werden Kakaobohnen gewaschen und anschließend zur Aromabildung und Trocknung **geröstet**. Das Rösten erfolgt in drei Schritten. Bei einer thermischen Vorbehandlung (> 105 °C) mittels Heißluft, Dampf oder Infrarot werden Bakterien abgetötet und die Schalen vom Kern gelöst. Das anschließende eigentliche Rösten erfolgt bei Temperaturen von 120..130 °C. Abschließend erfolgt eine thermische Nachbehandlung zur Debakterisierung und Geschmacksverbesserung. Röstapparate sind zumeist gasbeheizt. Das Abgas sollte nach

Prozesse bei der Herstellung von Süßwaren															
Kakao- und Schokoladenwaren															
Rösten															☹️
Alkalisieren															☹️
Abpressen															☹️
Desodorieren															☹️
Conchieren															😊
Temperieren															😊
Snacks, Teig- und Backwaren															
Schälen															☹️
Blanchieren															😊
Frittieren															☹️
Extrudieren															☹️
Aufpuffen															☹️
Trocknen															☹️
Backen															☹️
Zuckerwaren & Rohmassen															
Kochen/Eindampfen															☹️
Zuckerlösen															😊
Einschmelzen															☹️
Brühen															😊
Rösten															☹️
Speiseeis															
Temperieren															😊
Pasteurisieren															😊
Temperaturbereich [°C]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240		

einer entsprechenden Aufbereitung, welche der Entfernung der Häute und Schalen dient, thermisch genutzt werden. Vergleichbare Röstprozesse werden auch für Nüsse oder Mandeln, beispielsweise bei der Nougatherstellung, genutzt.

Im Anschluss an das Rösten wird durch mechanische Zerkleinerung der Bohnen der Kakaokernbruch hergestellt. In Abhängigkeit des Zielprodukts ergeben sich verschiedene Prozesslinien. Für die Herstellung von Kakaobutter und -pulver erfolgt zunächst das **Alkalisieren** (Dutching) des Bruchs.

Dadurch kann beim folgenden Abpressen das Fett leichter von der Kakaomasse getrennt und ein milderer Geschmack erreicht werden. Hierzu wird der Kakaokernbruch mit einer Alkalilösung unter Wärmeinwirkung bei 60..90°C und erhöhtem Druck behandelt. In den folgenden Prozessschritten wird die

1

2

3

4

5

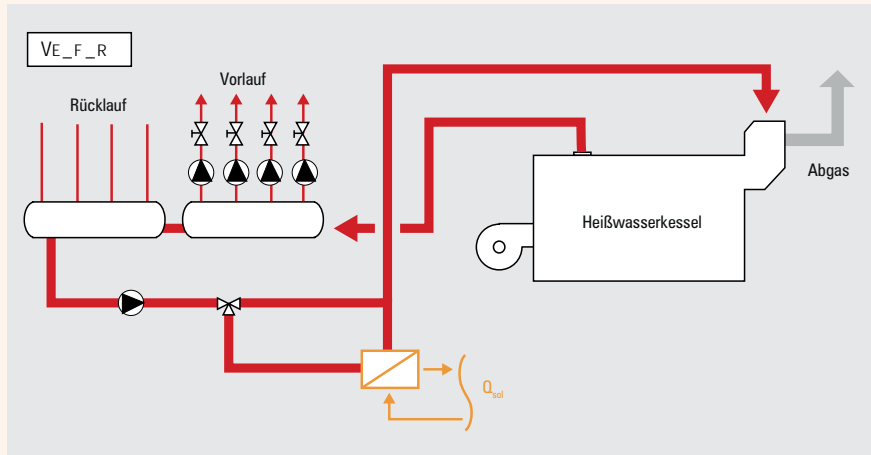
6

7

Masse weiter zerkleinert und auf 90..100°C erwärmt, bevor das **Abpressen** erfolgt, wofür teilweise auch dampfbeheizte Walzen verwendet werden. Durch dieses Verfahren wird Kakaobutter gewonnen. Bei weiterer Verarbeitung des Presskuchens (Mahlen und Pulverisieren) entsteht Kakaopulver. Für eine weitere Verwendung der Kakaobutter muss diese mit heißem Wasserdampf (160..170°C) bei Unterdruck **desodoriert** werden, um unerwünschte Geruchs- und Geschmackstoffe zu entfernen. Alternativ zur Produktion von Kakaopulver kann die Kakaomasse zusammen mit der gewonnenen Kakaobutter unter Hinzugabe von Zucker, Milchpulver und weiteren Inhaltsstoffen zur Herstellung von Schokolade verwendet werden. Das Gemisch wird zunächst durch Vor- und Feinwalzen zerkleinert, anschließend erfolgt das **Conchieren**. Hierbei werden bei 50..80°C über mehrere Stunden überschüssige Feuchtigkeit bzw. unerwünschte Aromastoffe ausgetrieben und die Feststoffe mit Fett umhüllt. Abschließend erfolgen eine langsame Abkühlung und das Abfüllen in Formen.

Aufgrund der hohen Kristallisationstemperatur von Schokolade müssen die Schokoladen- und Kakaomassen zwischen den einzelnen Produktschritten immer wieder zum Warmhalten **temperiert** oder erhitzt werden (40..100°C). Auch entsprechende Lagertanks und alle Rohrleitungen zu den jeweiligen Verarbeitungsmaschinen, müssen auf entsprechender Temperatur (40..50°C) gehalten werden, was üblicherweise durch doppelwandige Rohrsysteme mit Wassermantel erfolgt. Das Temperieren ist bei der Schoko-

Integrationskonzept – Rücklaufanhebung Versorgungsebene



Warmwassernetze bei Betrieben zur Herstellung von Schokoladenerzeugnissen weisen häufig Vorlauftemperaturen von max. 80°C auf. In einem solchen Fall bietet sich die Integration von Solarwärme auf Versorgungsebene an. Wie in der Abbildung dargestellt, kann die Solarwärme zur Rücklaufanhebung genutzt werden. Dabei besteht der Vorteil, dass der Rücklauf nicht auf die Zieltemperatur des Vorlaufs aufgeheizt werden muss, da dies der konventionelle Heizkessel gewährleistet. Alternativ besteht auch die Möglichkeit einen Teil des Rücklaufs mit einer Solaranlage auf die Solltemperatur aufzuwärmen und in den Vorlauf einzuspeisen.

Mit dieser Art der Einbindung lässt sich sowohl die Temperierung der Schokoladenmasse als auch des Pressguts bei der Gewinnung von Kakaobutter solar unterstützen.

lade standardmäßig mittels Warmwasser als Wärmeträgermedium ausgeführt und eignet sich damit hervorragend für die Nutzung von Abwärme und Solarthermie. Zusätzlich findet die Herstellung der Schokoladenmasse und der Schokoladenerzeugnisse häufig in unterschiedlichen Produktionsstätten statt. In diesen Fällen wird die warme Schokoladenmasse bei 40..50°C in Tanklastern zu den weiterverarbeitenden Fabriken gebracht.

Für die Integration von Solarthermie sind Verarbeitungsstätten von Kakao- und Schokoladenerzeugnissen grundsätzlich geeignet, wenn die Abwärme aus dem Röster und

der Kälteanlage nicht ausreicht, um den gesamten Wärmebedarf zu decken. Für den Fall, dass nach Ausnutzung des Wärmerückgewinnungspotentials ein weiterer Wärmebedarf vorhanden ist, kann Solarwärme zentral auf der Versorgungsebene eingebunden werden (siehe Integrationskonzept – Rücklaufanhebung Versorgungsebene). In Folge des niedrigen Schmelzpunktes von Schokolade bzw. Kakaobutter erfolgt die Wärmeversorgung meist auf Basis eines Warmwassernetzes mit moderaten Temperaturen, was die Einbindung von Solarwärme in die vorhandene Infrastruktur begünstigt.

Snacks, Teig- und Backwaren

Die Herstellung von salzigen Snacks (Chips, Erdnussflips, etc.) ist geprägt von einer Vielzahl thermischer Prozesse, die aufgrund ihres Temperaturniveaus allerdings häufig uninteressant für den Einsatz von Solarwärme sind. Das **Schälen** (50..100 °C) von Kartoffeln und das anschließende **Blanchieren** bei 60..80 °C zum Auswaschen der Stärkekörner bieten jedoch grundsätzlich die Möglichkeit zur Nutzung von Solarwärme. Diese Verfahren werden im Abschnitt zur Obst- und Gemüseverarbeitung näher erläutert. Das nachgeschaltete abschließende **Frittieren** erfolgt bei Temperaturen von 160..180 °C, wobei die Kartoffelscheiben für wenige Minuten durch ein heißes Ölbad befördert werden. Bei der Herstellung von salzigen Snacks auf Basis von Mais und Reis findet vor dem Frittieren häufig der Prozessschritt **Extrudieren** Anwendung. Dies findet unter hohem Druck und bei Temperaturen von 110..200 °C statt, um einen Großteil des Wassers aus der extrudierten Masse zu verdampfen. Neben diesem weit verbreiteten Prozess kann auch das **Aufpuffen** von Körnern bei mehr als 160 °C die Ausgangsbasis von salzigen Snacks sein.

(Konvektions-) **Trocknungsprozesse** spielen sowohl bei der Herstellung von Teigwaren als letzter Verfahrensschritt als auch bei der Herstellung von Extrusionsprodukten eine aus energetischer Sicht wichtige Rolle. Die Temperaturen bis 100 °C sind moderat und geeignet für den Einsatz von thermischen Solarkollektoren (z.B. zur Luftvorwärmung), jedoch kann sich die Identifikation einer Integrationsmöglichkeit je nach Trocknungs-

anlage schwierig gestalten. Ebenfalls bedeutend ist der Prozessschritt **Backen** bei der Veredelung von (Dauer-) Backwaren. Die hohen Temperaturen (>100 °C) sowie die elektrische Wärmebereitstellung oder Direktbeheizung mit Gas ermöglichen nach dem derzeitigen Stand der Technik jedoch keinen Einsatz von Solarwärme.

Zuckerwaren und Rohmassen

Der aus thermischer Sicht relevanteste Prozess bei der Herstellung von Zuckerwaren ist das **Kochen**, welches teilweise auch als **Eindampfen** bezeichnet wird. Bei der Herstellung von Bonbons werden beispielsweise die Hauptbestandteile Saccharose und Glukosesirup bei 120..160 °C eingedampft. Hierzu können dampfbeheizte Kochmaschinen mit Rührwerk im Batchbetrieb oder Schlangenkochmaschinen zum kontinuierlichen Kochen verwendet werden. Der Prozess läuft bei Umgebungsdruck oder Vakuum ab. Für das Kochen von Weichkaramellen liegen die Temperaturen mit 120..130 °C etwas niedriger, hierbei werden allerdings ausschließlich Apparate mit Röhrelementen oder Schabern verwendet. In der Vergangenheit wurden neue Kochverfahren entwickelt, welche die Kochtemperatur herabsetzen, die jedoch für den sinnvollen Einsatz von Solarthermie weiterhin zu hoch ist.

Für das bessere **Lösen** des beigemischten Zuckers bzw. des Zucker- oder Stärkesirups werden diese Zutaten vor dem Mischen auf mindestens 60 °C vorgewärmt. Hierbei ist die Einbindung von Solarwärme grundsätzlich möglich. Je nach Zielprodukt kann jedoch

auch ein direktes **Einschmelzen** der Saccharose wie beispielsweise bei der Krokantherstellung erfolgen. Dieser Produktionsprozess erfolgt stoffbedingt bei Temperaturen oberhalb von 150 °C. Die Wärmezufuhr erfolgt dabei entweder durch direkt erdgasbeheizte oder indirekt dampfbeheizte Schmelz- und Kochapparate. Somit ergibt sich für diese Anwendung aufgrund der hohen Prozesstemperatur und fehlender Einbindungsmöglichkeiten kein Integrationspotential für Solarwärme.

Bei der Herstellung von Rohmassen wie Marzipan oder Persipan müssen im ersten Verfahrensschritt die Schalen und Häute der zu verarbeitenden Nüsse entfernt werden. Dazu wird das jeweilige Ausgangsmaterial bei einer Temperatur von 95..105 °C kurz gebrüht. Ähnlich der Verarbeitung von Kakao- oder Kaffeebohnen werden die Nüsse bei der weiteren Verarbeitung bei Temperaturen oberhalb von 105 °C in direkt erdgasbeheizten Apparaten **geröstet**, um eine entsprechende Aromagebung zu erzielen. In manchen Fällen werden die Nüsse vor dem Rösten nicht gebrüht, da alleine dieser Verfahrensschritt genügt, um die Haut zu entfernen. Nutzungspotentiale für solare Prozesswärme gibt es an dieser Stelle nicht.

Speiseeis

Die Herstellung von Speiseeis zeichnet sich durch besonders energieintensive Produktionsschritte aus. Zu Beginn werden die Rohstoffe selbst oder der Rührkessel zum besseren Vermischen und Lösen auf 55..70 °C **temperiert**. Das anschließende Homogenisieren erfolgt bei Temperaturen von 68..75 °C, weshalb in der Regel zuvor eine weitere Auf-

1

2

3

4

5

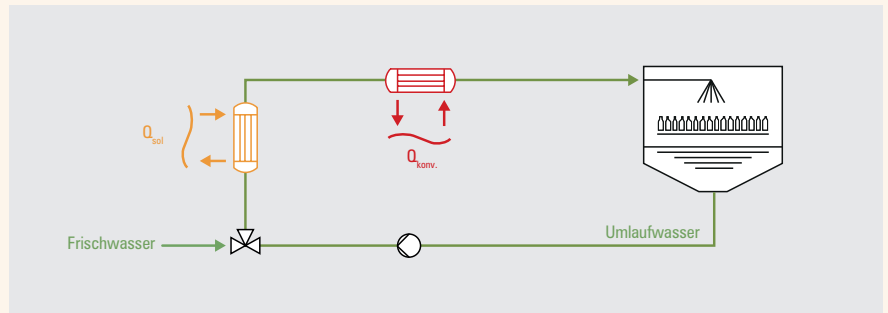
6

7

der Milchverarbeitung gelten. Bei der Haltbarmachung von bereits abgefüllten Getränken kann die Pasteurisation mittels Kammer- oder Tunnelpasteuren erfolgen. Bei kleineren Mengen werden meist diskontinuierliche Kammerpasteure (auch Palettenpasteur genannt) genutzt, in denen die Getränke palettenweise in einem abgedichteten Raum durch ein Wasser-Dampf-Gemisch, Wasserberieselung oder Heißluft pasteurisiert werden. Dabei ist die Einbindung von Solarwärme zum einen aufgrund der kurzen, unregelmäßigen Laufzeiten und zum anderen aufgrund der konventionellen Anlagentechnik meist nicht zu empfehlen. Sollte ein Betrieb jedoch einen recht stark ausgelasteten Kammerpasteur nutzen, würde dies typischerweise in einem erhöhten Zusatzwasserbedarf bei der Dampferzeugung resultieren, da das bei der Kammerpasteurisation anfallende Kondensat in der Regel nicht zurückgewonnen werden kann. Damit wäre die Möglichkeit zur Nutzung von Solarwärme bei der Zusatzwasseraufheizung gegeben.

Für größere und kontinuierliche Pasteurisationsleistungen werden in der Regel Tunnelpasteure eingesetzt. Diese verfügen über mehrere Temperaturzonen, welche die Flaschen oder Dosen über Förderbänder durchlaufen. Die Flaschen werden in verschiedenen Zonen mittels Spritz- oder Berieselungsdüsen vorgewärmt, auf Pasteurisationstemperatur gebracht, eine definierte Zeit auf dieser Temperatur gehalten und anschließend wieder abgekühlt. Prinzipiell verfügen Tunnelpasteure über eine interne Wärmerückgewinnung, bei der das Wasser aus den Kühlzonen den Heizzonen zum Anwärmen der Flaschen zugeführt

Integrationskonzept – Tunnelpasteur



Tunnelpasteure, die konventionell mittels externen Wärmetauschern beheizt werden, können verhältnismäßig einfach auf eine solarthermische Beheizung umgerüstet werden. Dazu kann entweder ein solarbeheizter Wärmetauscher vorgeschaltet oder der konventionelle durch einen neuen Wärmetauscher ersetzt werden. Dieser könnte über zwei Abteilungen verfügen und den Tunnelpasteur demnach mit Solarwärme und konventionellem Heizmedium beheizen. In Abhängigkeit von Produktionszeit und Einstrahlung kann der Solarwärmetauscher die erforderliche Prozessstemperatur bereitstellen oder aber das Umlaufwasser um einige Grad vorwärmen, welches anschließend konventionell nachgeheizt wird.

wird. Der Großteil der benötigten Wärme wird demnach in die Überhitzungszone eingebracht. Die Pasteurisationstemperatur liegt etwa bei 60 °C, wobei die Temperatur des Heizmediums für die Nachheizung um etwa 5 K höher sein muss. Wird für die Beheizung der Überhitzungszone ein externer Wärmetauscher verwendet, kann eine solare Beheizung verhältnismäßig einfach nachgerüstet werden.

Werden die Getränke in Mehrwegflaschen gefüllt, müssen diese zuvor gereinigt werden. Hierzu werden **Flaschenwaschmaschinen** verwendet, die große Mengen beheizte Reinigungslauge beinhalten. Die Flaschen durchlaufen über ein Endlosförderband einzelne Tauch- und Spritzstationen, welche sich in die Vorwärm-, Lauge- und Abkühlbereich unterteilen. Lediglich der Laugebereiche wird

über extern zugeführte Energie beheizt, alle anderen Bereiche verfügen über eine interne Wärmerückgewinnung. Je nach Material der verwendeten Flaschen wird die Lauge während der Reinigung auf 60..65 °C (PET-Flaschen) oder 75..85 °C (Glasflaschen) gehalten. Zur Beheizung von Flaschenwaschmaschinen werden meist interne Rohrbündelwärmetauscher verwendet. Teilweise kommen auch extern angeordnete Plattenwärmetauscher zum Einsatz. Werden Reinigungsmaschinen konventionell durch interne Wärmetauscher beheizt, so ist eine Integration von Solarwärme eher nicht zu empfehlen. Bei externer Beheizung der Maschine kann die aufzuheizende Lauge mit einem zusätzlichen Wärmetauscher solar beheizt werden, bevor sie in den konventionellen Wärmetauscher und von dort zurück in die Maschine geführt wird.

1

2

3

4

5

6

7

3.6 Lebensmittellogistik

In diesem Kapitel wird auf die umfassenden Reinigungsaufgaben, die durch den Transport von Lebensmitteln entstehen, eingegangen und die Möglichkeiten zur Integration solarer Prozesswärme dargestellt. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln angesprochen, gibt es umfängliche hygienische Anforderungen an die zu verrichtenden Reinigungsprozesse. Nicht nur die Produktionseinrichtungen müssen regelmäßig gespült werden, sondern ebenfalls jegliche Transportbehältnisse für Lebensmittel zwischen den einzelnen Beladungen. Zusätzlich muss je nach Produkt zusätzlich desinfiziert und/oder getrocknet werden. Dies dient dem Ziel, Substanzen und Rückstände auf den Oberflächen zu entfernen sowie durch die Desinfektion eine mögliche mikrobiologische Belastung auf ein ausreichend niedriges Niveau zu senken. Bei dem Transport von Lebensmitteln muss zwischen dem Kistentransport meist innerhalb der Betriebe und dem Tank- bzw. Containertransport über größere Strecken unterschieden werden.

Das **Waschen** von Transportbehältern (in der Regel Kisten) kann sowohl intern durch Betriebsmitarbeiter als auch extern durch

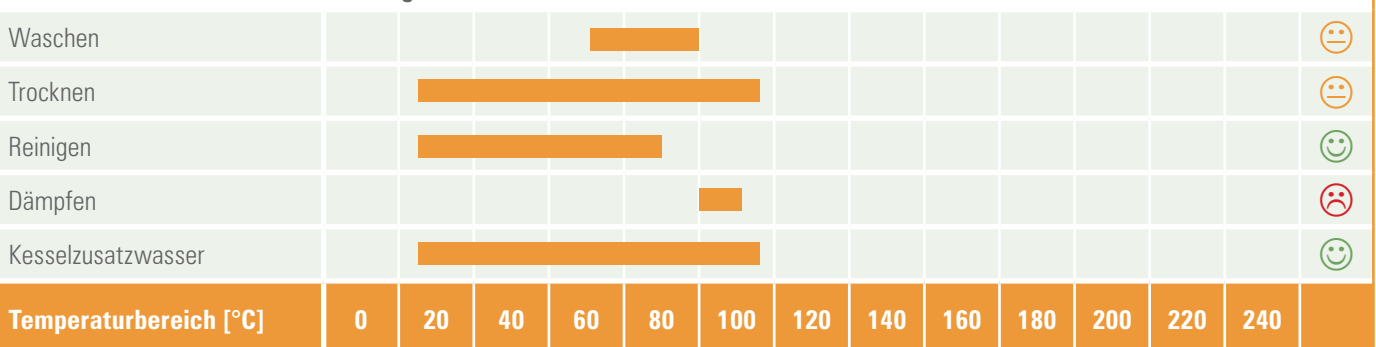
Dienstleister erfolgen. So ist es durchaus üblich, dass Betriebe sich dazu entscheiden, das Waschen ihrer innerhalb des Betriebs benötigten Transportkisten, die typischerweise aus Kunststoff oder Edelstahl bestehen, darauf spezialisierten Unternehmen zu überlassen, welche mit einer entsprechenden Anlagentechnik ausgestattet sind. Andere Betriebe waschen ihre Kisten intern mit eigenen Kistenwaschmaschinen. Die eingesetzten Anlagen und Abläufe sind jedoch grundsätzlich gleich. Es kann zwischen Spritzwaschmaschinen und Tauchbadsystemen unterschieden werden. Es kommen auch Kombinationen beider Systeme vor, teilweise findet sich zusätzlich der Einsatz von Ultraschall wieder. Des Weiteren ist zwischen Durchlaufwaschmaschinen (Tunnelwaschmaschinen) sowie stationären Maschinen, in denen die zu reinigenden Behälter nicht bewegt werden, zu differenzieren. In der Regel werden die Behälter in mehreren Zonen (Vorspülen, Hauptspülen, Klarspülen) gewaschen, wobei je nach Produkt und Behältermaterial Temperaturen von 60..90°C zum Einsatz kommen. Außer im Falle einer Neuanschaffung ist die Integration von Solarwärme oft schwierig umzusetzen,

da das Waschwasser meist kalt eingespeist und intern mit Dampf erhitzt wird, sodass kein Warmwasseranschluss vorhanden ist. Zusätzlich kann es sein, dass intern die Abwärme aus dem Abwasser zurückgewonnen wird.

Abschließend müssen Transportkisten in der Regel nach der Reinigung bis auf eine verfahrensbedingte Restfeuchte **getrocknet** werden, da Keime und Bakterien im feuchten Milieu bessere Wachstumsbedingungen haben. Klassischerweise kommen hierbei Gebläsetrockner zum Einsatz, die warme Luft über die Oberflächen zirkulieren lassen. Die Luft wird dabei je nach Material der Kisten auf bis zu 100°C aufgeheizt. Es werden jedoch auch innovative Trocknungszentrifugen eingesetzt, die in sehr kurzer Zeit eine sehr niedrige Restfeuchte erreichen können und hierbei einen deutlich verringerten Strombedarf aufweisen. Aufgrund beschränkter Betriebszeiten ist die solare Einbindung jedoch auch bei den energieintensiven Gebläsetrocknern nicht zu empfehlen.

Zur **Reinigung** der für den Gütertransport genutzten Tankwagen oder Container existieren an verkehrstechnisch günstig gelegenen

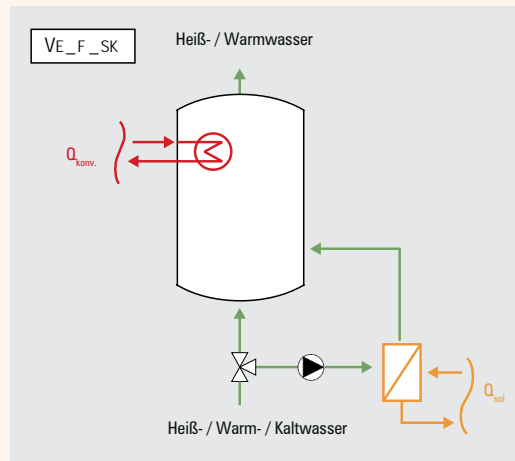
Prozesse im Bereich Lebensmittellogistik



Punkten spezielle Tankreinigungsanlagen. Diese bestehen meist aus mehreren Bahnen bzw. Waschstraßen, in denen parallel gereinigt wird. Die für die Reinigung verwendeten Sprühköpfe werden durch dafür vorgesehene Öffnungen im oberen Tankbereich eingeführt. Je nach Tankgeometrie kommen stationäre oder rotierende Sprühköpfe zum Einsatz. Neben dem Tankinneren selbst ist auch stets das Zubehör, wie zum Beispiel Pumpen und Schläuche, zu reinigen. In gewissen Zeitabständen ist je nach Branche und Transportgut auch eine Außenreinigung vorgeschrieben, die jedoch üblicherweise mit Kaltwasser erfolgt. In Abhängigkeit der Transportgüter und hygienischen Anforderungen, kommen unterschiedliche Reinigungsschritte mit variierenden chemischen Reinigungszusätzen, Druck- und Temperaturniveau zum Einsatz. So ist zum Beispiel bei fettbehafteten Oberflächen darauf zu achten, dass die Wassertemperatur oberhalb der Schmelztemperatur des Fettes liegt. Teilweise ist es ausreichend die Oberflächen kurz mit kaltem Wasser abzuspülen, bei anderen Anwendungen müssen mehrere Reinigungszyklen mit heißem Wasser oder konzentrierter Lauge bei Hochdruck erfolgen.

Üblicherweise ist die Reinigung in die Schritte Vorspülen, Hauptspülen, ggf. Zwischenspülen, Ab-/Nachspülen sowie abschließend Trocknen unterteilt. Generell muss das eingesetzte Wasser Trinkwasserqualität aufweisen. Während des Vorspülens darf das Wasser bei eiweißhaltigem Transportgut nicht wärmer als 45 °C sein, da dies zur Gerinnung der Eiweiße führt und in einem höheren Reinigungsbedarf resultiert. Beim

Integrationskonzept – Warmwasserspeicher



Bei der Nutzung solarer Prozesswärme in Kombination mit Warmwasserspeichern bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an. Falls der Speicher einen zusätzlichen internen Wärmetauscher aufweist, kann dieser mit Solarwärme gespeist werden. Meist ist jedoch die Leistung von internen Wärmetauschern aufgrund der vorhandenen nutzbaren Fläche limitiert, sodass ein externer Wärmetauscher notwendig wird. Je nach Einbindung kann dieser nicht nur bei Warmwasserzapfungen Frischwasser erwärmen, sondern ebenfalls durch Zirkulation den Speicher kontinuierlich erwärmen.

Hauptspülen werden zur hygienischen Reinigung mindestens 60 °C gefordert, für die Klarspülerlösung 80 °C. Zusätzlich werden die gereinigten Behälter teilweise **gedämpft**, um diese thermisch zu desinfizieren bzw. zu sterilisieren, wozu heißer Dampf mit Druck direkt in den Behälter gefördert wird. Durch den Dampf können auch schlecht zu erreichende Stellen ausreichend gesäubert und desinfiziert werden. Es kann jedoch auch eine chemische Desinfektion mit entsprechenden Desinfektionsmitteln erfolgen.

Zur Einbindung solarer Prozesswärme eignen sich mehrere Integrationspunkte. Aufgrund des hohen Warmwasserbedarfs bietet sich die einfache Möglichkeit zur Warmwasservor- bzw. -erwärmung an (siehe Integrationskonzept – Warmwasserspeicher).

Wird bei der Reinigung ebenfalls Dampf für Reinigungs- oder Desinfektionszwecke ver-

wendet, bietet sich mit der eingangs in Kapitel 3 erwähnten Erwärmung von **Kesselzusatzwasser** ein weiterer Integrationspunkt an. Der eingesetzte Dampf wird in einem offenen Prozess verwendet, d.h. Dampfüberschüsse und Kondensat werden nicht wieder zurückgeführt, sodass hier ebenfalls eine relevante Wärmemenge für die Zusatzwasseraufheizung abgedeckt werden muss.

Abschließend sei noch auf die Möglichkeit der Luftvorwärmung bei der Trocknung hingewiesen, die nur bei einer ausreichend großen Auslastung der Trocknungsanlage sinnvoll ist. Da nur produktabhängig getrocknet wird (z. B. beim Transport von flüssiger Schokolade), muss bei einer Analyse des Betriebs im Einzelfall geprüft werden, ob eine Solaranlage mit Luftkollektoren oder Flachkollektoren mit Luft-Wasser-Wärmetauscher wirtschaftlich umzusetzen ist.

1

2

3

4

5

6

7

Contracting

Die Erneuerung von Anlagentechnik im Bereich der Wärmebereitstellung ist in der Regel mit hohen anfänglichen Investitionen verbunden. Dies ist auch bei der Installation von Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme der Fall. Aufgrund des unternehmerischen Risikos, welches mit hohen Anfangsinvestitionen einhergeht, scheuen viele Unternehmen Investitionen in diesem Bereich.

Im Gegensatz zu fossilen Wärmeversorgungssystemen kommen jedoch auf den Betreiber einer Solaranlage nahezu keine laufenden Kosten während der Betriebszeit zu, sodass sich die wirtschaftlichen Vorteile erst im Laufe mehrerer Jahre zeigen. So kann die wirtschaftliche Amortisationszeit bei Solaranlagen mehrere Jahre betragen, auch wenn der resultierende solare Wärmepreis deutlich unter dem fossilen liegt. Um Betrieben,

die das unternehmerische Risiko scheuen, dennoch eine Erneuerung der Anlagentechnik zu ermöglichen, haben sich Firmen auf sogenannte Contracting-Angebote spezialisiert. Hierbei wird die Solaranlage von dem Contractor bezahlt und betrieben, sodass keinerlei Investitionen von dem Industriebetrieb getragen werden müssen. Die Wärme wird hingegen über einen definierten Zeitraum zu einem vereinbarten Preis an das Unternehmen verkauft, der unter dem konventionellen Wärmepreis des Unternehmens liegt. Der Contractor, für den eine längerfristige Planung umsetzbar ist, refinanziert die anfänglichen Investitionen in das Solarsystem über die laufenden Wärmezahlungen des Unternehmens. Auf diese Weise kann eine Win-Win-Situation für alle Beteiligten geschaffen werden und gleichzeitig die Wärmebereitstellung zumindest zum Teil durch Solar- energie erfolgen.



4 Anwendungsbeispiele

Auch wenn bereits vor Jahren die solare Prozesswärme als aussichtsreiches Anwendungsgebiet für thermische Solaranlagen gehandelt wurde, blieb die **Marktentwicklung hinter den Erwartungen** zurück. Aus diesem Grund wurde 2012 im Marktanreizprogramm eine spezielle Förderung für thermische Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme aufgenommen. Im Rahmen dieser Förderung werden nicht nur die Kollektoren sondern auch Planungs-, Installations- und Integrationskosten bezuschusst, wenn die solar bereitgestellte Wärme in Betrieben zur Herstellung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von Produkten oder zur Erbringung einer Dienstleistung mit Prozesswärmebedarf genutzt wird. Damit wurde auch unterstrichen, welche Erwartungen zum Erreichen der Klimaziele in die solare Prozesswärmebereitstellung gesetzt werden.

Seit der Einführung dieser speziellen Förderung hat sowohl die Anzahl der solarthermischen Prozesswärme-Anlagen in Deutschland zugenommen als auch die durchschnittliche Größe dieser Anlagen. Auch weltweit lässt sich in den letzten Jahren ein Anstieg der

umgesetzten Anlagen zur Bereitstellung solarer Prozesswärme erkennen. Zur Dokumentation dieser Anlagen und der Darstellung ihrer Bandbreite wurde im Rahmen der Arbeiten einer internationalen Arbeitsgruppe zur solaren Prozesswärme (IEA SHC Task 49/IV) eine Datenbank erstellt. Unter www.ship-plants.info finden sich mittlerweile über 150 Anlagen auf der ganzen Welt, welche jedoch nur eine Schnittmenge der global realisierten Prozesswärmeanlagen darstellen. Die Datenbank ermöglicht die gezielte Suche nach Anlagen beispielsweise in Abhängigkeit von Land, Kollektortyp, Branche oder Anwendung. Die Tatsache, dass momentan über 40% der in der Datenbank enthaltenen Anlagen der Ernährungsindustrie zuzuordnen sind, zeigt erneut die Relevanz dieser Branche für den Einsatz von Solarwärme.

Die installierten Kollektorfeldgrößen in der Ernährungsindustrie variieren von **wenigen 10 kW_{th} bis hin zu 5,5 MW_{th}** in einer US-amerikanischen Geflügelschlachthanlage bei einem Investitionsvolumen von 7,5 Mio. €. Die spezifischen Investitionskosten dieser Anlagen weisen eine ähnliche Spanne auf. Wäh-

rend im besten Fall (einfache Anwendungen, günstige Kollektoren und Inanspruchnahme einer Förderung) eine Umsetzung mit sehr geringen Investitionskosten von 150 €/m² erfolgen kann, können diese Kosten bei einer komplexen Einbindung mit teurer Kollektortechnik auch oberhalb von 1.000 €/m² liegen. Demnach können auch die resultierenden solaren Wärmepreise stark variieren. Hier können im besten Fall solare Wärmepreise unterhalb von 3 €-Cent/kWh erzielt werden, was meist **unter den konventionellen Wärmepreisen** liegt, die mit Öl oder Erdgas erzielt werden.

Für die folgenden Seiten wurden für die in SolFood untersuchten Branchen je ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung einer solaren Prozesswärmeanlage ausgewählt und aufbereitet. Neben den wichtigsten Informationen zur Solaranlage enthalten die Beschreibungen auch wirtschaftliche Angaben sowie weiterführende Informationen zu den Unternehmen.

4.1 Milchverarbeitung: Fromagerie de Saignelégier SA Sonnenwärme für den »Tête de Moine«

Das Unternehmen Fromagerie de Saignelégier SA ist Teil der Emmi-Gruppe und produziert in Saignelégier mit seinen zehn Mitarbeitern, davon fünf Käser, 40% der weltweiten Produktion des Tête de Moine. Hierbei handelt es sich um eine seit rund 800 Jahren traditionell hergestellte Käsespezialität aus Frischmilch, von der jährlich insgesamt nur 2.150 t in neun zertifizierten Käsereien produziert werden. Gelegen ist Fromagerie de Saignelégier im Schweizerischen Kanton Jura auf einer Höhe von 1.000 m.



Aus 30.000 l Frischmilch werden täglich ca. 3.000 Käselaike mit jeweils 700..900 g geformt. Pro Jahr stößt das Unternehmen ca. 1 Mio. Käselaike mit rund 860 t Gesamtgewicht aus. Hierfür benötigt das Unternehmen **200.000 l Heizöl pro Jahr**, die von den beiden Ölkesseln verbraucht wurden. Um die Umwelt zu entlasten und die Kosten für Energie zu senken, entschloss sich das Unternehmen eine **solare Prozesswärmanlage mit rund 630 m²** zu errichten. Die konzentrierenden Parabolrinnenkollektoren wurden 2012 auf dem neuen Lager der Firma installiert. Das Foto zeigt die Kollektoren auf der neuen Halle, in der die Käselaike zur Reifung eingelagert werden.

Die insgesamt 17 Kollektoren vom Typ Poly Trough 1800 der Firma NEP weisen jeweils

eine Aperturfläche von 37 m² auf und können in Summe eine Maximalleistung von **360 kW_{th}** bereitstellen, was in etwa **50 % der Spitzenlast** des Unternehmens entspricht. Da es sich um konzentrierende Kollektoren handelt, die nur den direkten Anteil der Solarstrahlung und nicht den diffusen oder reflektierten Teil nutzen können, müssen sie dem Lauf der Sonne nachgeführt werden, damit die von den Spiegeln reflektierte Solarstrahlung genau auf das Absorberrohr gebündelt wird. Hierfür wird die Position der Kollektoren **alle 10 Sekunden automatisch angepasst**.

Bedingt durch die winterlichen Außentemperaturen, die unter -20 °C fallen können, wird der Solarkreis mit einem Wasser-Glykol-Gemisch betrieben. Die Temperatur, die

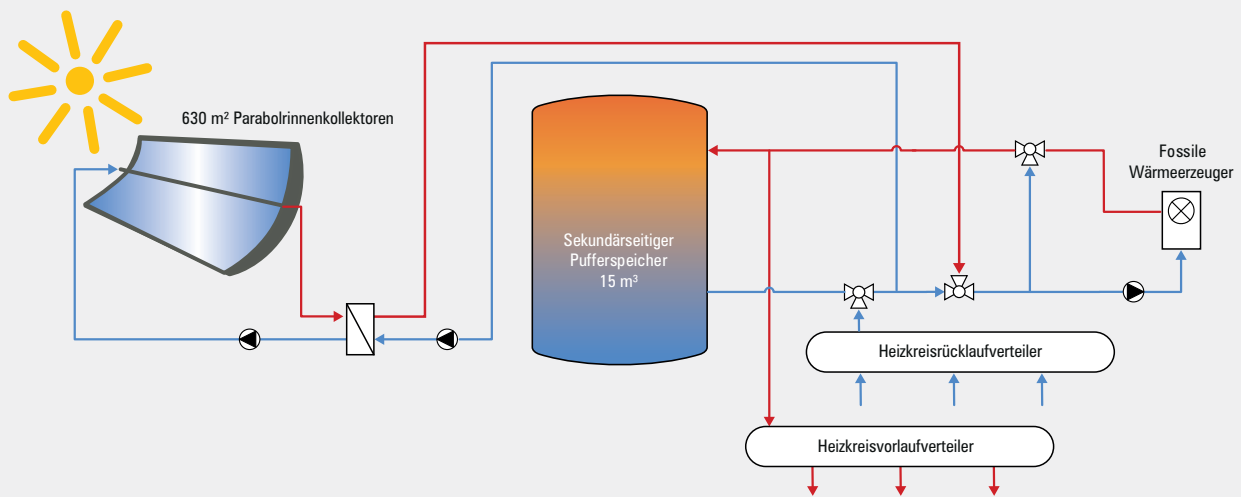
Fromagerie de Saignelégier

Unternehmen

Unternehmenssitz:	Saignelégier (CH)
Mitarbeiterzahl:	10
Produkt:	Tête de Moine (Käse)
Verarbeitete Milch:	30.000 l/d
Käseproduktion:	860 t/a
Heizölverbrauch:	200.000 l/a

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld:	630 m ² <small>brutto</small> Parabolrinnenkollektor
Pufferspeicher:	15 m ³
Integration:	Heißwassernetz
Zieltemperatur:	ca. 120 °C
Systemertrag:	255 MWh/a (projektiert)
Inbetriebnahme:	Oktober 2012



Die Sonnenwärme wird direkt in den druckbehafteten Heizungsrücklauf eingespeist, sodass der fossile Wärmezeuger nur bei nicht ausreichender Sonneneinstrahlung dazugeschaltet werden muss. Überschüsse können in dem 15 m³ Pufferpeicher zwischengespeichert werden.

die Kollektoren bereitstellen, liegt bei ca. 120 °C. Über einen Plattenwärmetauscher wird direkt in das druckbehaftete, auf 105 °C betriebene Heißwassernetz des Unternehmens eingespeist, dessen Rücklauftemperatur zwischen 75 und 95 °C liegt. Somit können alle thermischen Prozesse des Unternehmens versorgt werden. Die Solaranlage wird nur dann betrieben, wenn sie die minimal benötigte Zieltemperatur von min. 110 °C im Solarkreis bereitstellen kann. Die durch die Regelung limitierte Maximaltemperatur im Solarkreis beträgt 130 °C. Um Lastschwankungen auszugleichen wurde zusätzlich ein **Kurzzeitspeicher mit 15 m³** Fassungsvermögen in das Heißwassernetz integriert, der die Solarwärme zwischenspeichern kann.

Insgesamt spart die Käserei mit der solaren Prozesswärmanlage bis zu **30.000 l Heizöl pro Jahr**, wodurch die Umwelt jährlich um 78 t CO₂ entlastet wird. Der jährliche Systemertrag der Solaranlage von bis zu **255 MWh** entspricht einer solaren Deckungsrate von 15% bezogen auf die gesamte Käserei.

Finanziert wurde die Anlage durch das Unternehmen selbst. Nach Abzug der Förderung investierte das Unternehmen ca. 375.000 € in die Solaranlage. Dadurch, dass es sich bei Fromagerie de Saignelégier um ein langfristig planendes Traditionsunternehmen handelt, waren Amortisationszeiten von bis zu zwölf Jahren akzeptabel, wodurch die solare Prozesswärmanlage mit konzentrierenden Kollektoren an diesem Standort mit einer

relativ geringen Menge an solarer Direktnormalstrahlung von 1060 kWh/m²a möglich wurde.

Kontakt

NEP SOLAR AG

Albisriederstrasse 184b

CH-8047 Zürich

Schweiz

Telefon: +41 (0) 44 404 8015

E-Mail: contact@nep-solar.com

www.nep-solar.com

4.2 Fleischverarbeitung: Fleischwaren Berger Wurst und Schinken mit der Sonne produzieren

Fleischwaren Berger ist ein österreichisches Familienunternehmen, dessen Geschichte bis in das Jahr 1890 mit der Eröffnung der ersten Fleischerei durch Michael Berger zurückgeht. Heute wird das Unternehmen in der 4. Generation von Rudolf Berger geleitet und hat seinen Unternehmenssitz noch immer in Sieghartskirchen. Aktuell sind rund 500 Mitarbeiter bei Fleischwaren Berger beschäftigt und der Umsatz des Unternehmens liegt bei 125 Mio. € (2012).

Täglich werden 80..100t Fleisch bei der Firma Berger angeliefert und hauptsächlich zu Schinken und Wurstprodukten verarbeitet. Hierfür benötigt das Unternehmen jährlich ca. **10 GWh Strom**, wovon rund 50% für die Kälteanlage verwendet werden, und zusätzlich **14 GWh Heizöl** für den thermischen Energiebedarf im Unternehmen. Insgesamt wendet das Unternehmen somit jährlich knapp 2 Mio. € für Energie auf.



Um Energiekosten zu sparen und gleichzeitig einen Beitrag zur Schonung fossiler Energieträger zu leisten, entschloss sich das Unternehmen zur Errichtung einer solaren Prozesswärmeanlage, die von SOLID geplant, installiert und Ende Juli 2013 in Betrieb genommen wurde. Die ursprüngliche Planung, die Anlage auf dem Dach der Produktionshalle zu errichten, wurde wegen einer nicht ausreichenden Tragkraft des Daches verworfen. Stattdessen wurde das **Kollektorfeld mit 1.067 m²** auf einer an das Produktionsgelände angrenzenden Freifläche installiert, wie auf obenstehendem Foto zu sehen ist.

Für das Kollektorfeld wurden verbesserte großflächige Flachkollektoren mit jeweils knapp 12 m² installiert, die neben einer dicke-

ren Dämmung auf der Rückseite der Kollektoren über eine zweite Abdeckung unter der Glasabdeckung in Form von einer hitzebeständigen Folie verfügen. Die maximale Leistung des Kollektorfeldes liegt bei knapp **0,6 MW_{th}**.

Die vom Kollektorfeld erzeugte Wärme wird in einem **60 m³ Pufferspeicher** zwischengespeichert, der für einen Druck von 4 bar ausgelegt ist und auf bis zu 110°C erhitzt wird. Aus dem Speicher heraus wird die Solarwärme für zwei unterschiedliche Prozesse genutzt: die **Vorwärmung des Kesselzusatzwassers** und die **Warmwasserbereitung**, hauptsächlich für Reinigungszwecke. Das rechts stehende Bild zeigt eine Hydraulik der solaren Prozesswärmeanlage bei Fleischwaren Berger.

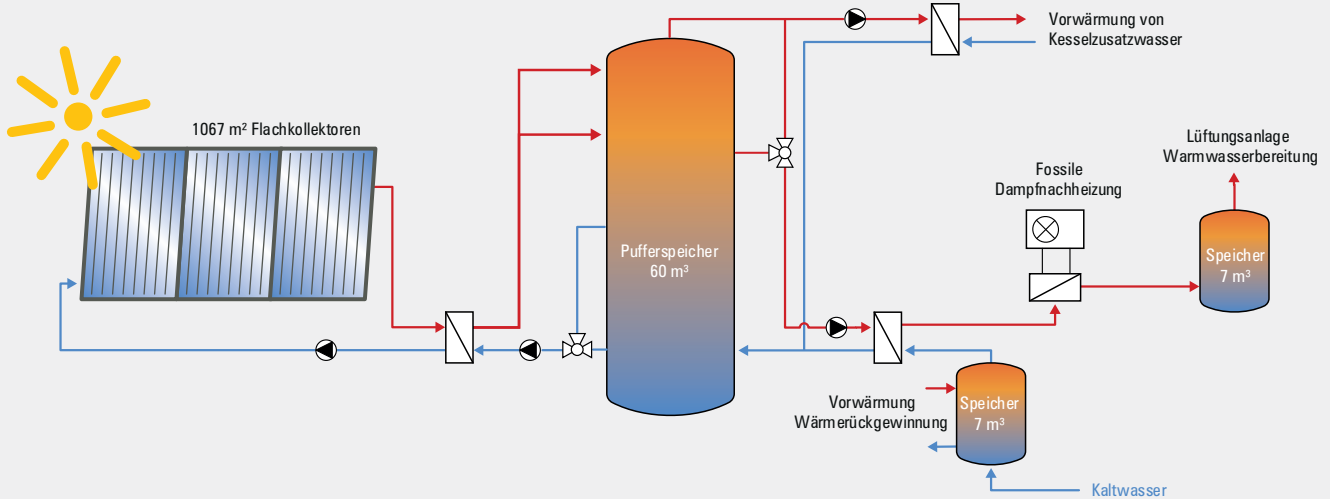
Fleischwaren Berger

Unternehmen

Unternehmenssitz:	Sieghartskirchen (AT)
Mitarbeiterzahl:	ca. 500
Umsatz:	125 Mio.€ (2012)
Fleischverarbeitung:	80...100 t/d
Heizölverbrauch:	14 GWh/a
Warmwasserbedarf:	7 m ³ /h
Kesselspeisewasser:	2,7 m ³ /h

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld:	1.067 m ² _{brutto} FK, Freifläche
Pufferspeicher:	60 m ³ , 4 bar, max. 110°C
Warmwasser für Reinigung auf 70°C	
Vorwärmung Zusatzwasser bis 95°C	
Systemertrag:	500 MWh/a (garantiert)
Wärmepreis solar:	27 €/MWh inkl. Förderung
Inbetriebnahme:	Juli 2013



Das 1067 m² große Flachkollektorfeld beheizt den 60 m³ Pufferspeicher, der wiederum Wärme für die Prozesse Kesselzusatzwasservorwärmung, Warmwasserbereitung und Lufttrocknung in der Lüftungsanlage zur Verfügung stellt.

Der Zusatzwasserbedarf des Unternehmens an Produktionstagen beträgt ca. 2,7 m³/h und entsteht hauptsächlich durch die direkte Dampfnutzung zum Kochen von Schinken und Wurstwaren. Das benötigte Frischwasser wird nach der Wasseraufbereitung durch die **Wärmerückgewinnung aus der Kälteanlage** auf ca. 30°C vorgewärmt und anschließend von der solarthermischen Anlage auf bis zu 95°C erhitzt. Der restliche Energiebedarf wird durch den Dampfkessel bereitgestellt.

Der hohe Warmwasserbedarf von 7 m³/h der Firma Fleischwaren Berger resultiert hauptsächlich aus dem hohen Reinigungsbedarf zum Sicherstellen hygienischer Produktionsbedingungen. Zusätzlich wird der Warmwasserkreis zum Trocknen der Lüftungsanlage genutzt, um eine zu hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Hierfür wird das ebenfalls durch Wärmerückgewinnung auf 30°C vorge-

wärmte Frischwasser durch die Solarwärme auf bis zu 70°C aufgeheizt.

Der Systemanbieter SOLID garantiert Fleischwaren Berger einen jährlichen Ertrag aus der solaren Prozesswärmanlage von **500 MWh/a** ($\sim 470 \text{ kWh/m}^2_{\text{brutto}}$ a). Hieraus ergibt sich unter Berücksichtigung der Gesamtkosten der Anlage von 738.500 € inkl. Integrationskosten sowie einer Nutzungsdauer von 20 Jahren ein solarer Wärmepreis von ca. 75 €/MWh (ohne Förderung). Da aber Fördergelder aus der österreichischen Großanlagenförderung und regionale Fördergelder in Anspruch genommen werden konnten, lag die Förderquote bei 65%, wodurch die solaren Wärmegestehungskosten für Fleischwaren Berger knapp **27 €/MWh** betragen. Die solare Deckungsrate liegt aufgrund des hohen thermischen Energiebedarfes bei knapp 5%.

Durch die solare Prozesswärmanlage spart sich die Firma Fleischwaren Berger jährlich ca. **62.500 l Heizöl** und entlastet die Umwelt durch einen um rund **163 tCO₂** verringerten Treibhausgasausstoß.

Kontakt

S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH

Puchstr. 85
A-8020 Graz
Österreich

Telefon: +43 (0) 316 / 2928 40

E-Mail: office@solid.at

www.solid.at

1

2

3

4

5

6

7

4.3 Obstverarbeitung: Kögerlhof Krispel Nachhaltige Verarbeitung von Früchten

Der Kögerlhof Krispel ist ein 1903 gegründetes Familienunternehmen, das in Markt Hartmannsdorf in Österreich ansässig ist und heute in der dritten Generation von der Familie Krispel geführt wird. Hauptsächlich werden selbst produzierte Fruchtsäfte und Moste, aber auch Frischobst sowie Edelbrände verkauft. Die Früchte hierfür stammen überwiegend aus dem eigenen Obstanbau mit rund 50.000 Bäumen. Durch den Anbau und die Verarbeitung der Früchte, gibt es eine sehr saisonale Prägung des Wärmebedarfes für die Produktion. Der Umsatz des kleinen Familienunternehmens liegt bei jährlich ca. 700.000 €.

Während vom Winter bis in den Frühsommer hauptsächlich das Schneiden, Düngen und Ausdünnen der Fruchtgehölze stattfindet, wird ab August bis in den November hinein geerntet und verarbeitet. Hierfür werden täglich ca. 15 m³ Frischwasser hauptsächlich für Reinigungsprozesse benötigt. Darüber hinaus wird bis in das Frühjahr hinein Frischobst in einem Kühlraum gelagert, sodass sortenabhängig bis Ende März Lagerobst verkauft werden kann. Für die Produktion gibt es zwei Prozesse mit relevantem Wärmebedarf, die durch die Solaranlage unterstützt werden. Für die Reinigung der Flaschen, die bei der Abfüllung von Mosten und Säften verwendet werden, benötigt die Flaschenwaschmaschine 75 °C heißes Wasser, um Verunreinigungen der Produkte beim Abfüllen ausschließen zu können. Darüber hinaus werden die Fruchtsäfte durch Pasteurisation bei 80 °C haltbar gemacht, damit sie eingelagert und ganzjährig verkauft werden können.

Vor der Umstellung auf ein nachhaltiges Energiekonzept erfolgte die Pasteurisation der Fruchtsäfte elektrisch bzw. später über einen Gaskessel. Die Flaschenwaschmaschine wurde direkt über



einen Ölbrenner beheizt. Nun liefert ein **Hackschnitzelkessel** mit einer thermischen Leistung von **240 kW** in Kombination mit einer **118 m² großen solarthermischen Anlage** sämtliche für die Verarbeitung notwendige Wärme. Zusammen mit einem neuen Röhrenpasteur ist es damit nun möglich den gesamten Wärmebedarf des Unternehmens ohne fossile Energieträger zu decken. Zusätzlich wurde die bisher betriebene Kompressionskälteanlage durch eine **Adsorptionskältemaschine** ersetzt, um auch die Lagerung des Frischobstes und der Säfte bei durchgehend 2,5 °C nachhaltig zu gestalten. Die zusätzliche Installation einer **5 kW_p PV-Anlage**, die die elektrische Grundlast abdeckt, jedoch über

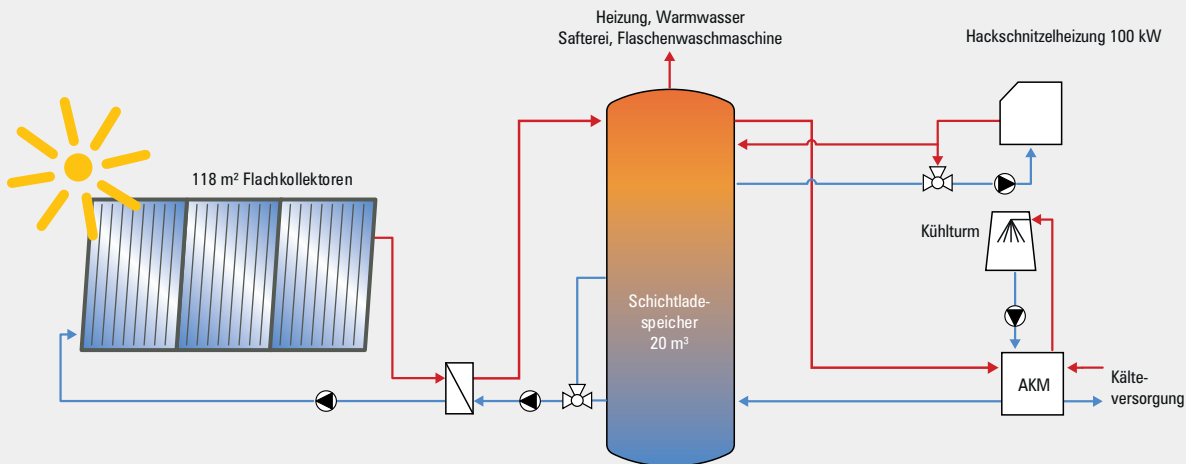
Kögerlhof Krispel

Unternehmen

Unternehmenssitz:	Markt Hartmannsdorf (AT)
Mitarbeiterzahl:	3
Umsatz:	0,7 Mio. €/a
Verarbeitete Früchte:	600 t/a
Wärmebedarf:	ca. 230 MWh/a (Prozesswärme, Kälte und Raumheizung)

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld:	118 m ² _{brutto} FK
Pufferspeicher:	20 m ³
Warmwasser f. Reinigung:	75 °C
Warmw. f. Pasteurisation:	80 °C
Systemertrag:	ca. 45 MWh/a
Inbetriebnahme:	2012



Die Wärme aus den Flachkollektoren wird in den Schichtladespeicher eingeschichtet. Neben der Pasteurisation und Flaschenreinigung ist auch eine Adsorptionskältemaschine an den Speicher angeschlossen.

keine Einspeisemöglichkeit ins öffentliche Stromnetz verfügt, reduziert auch den Strombedarf. Der gesamte erzeugte Strom wird selbst verbraucht, darüber hinaus benötigter Strom wird aus dem Netz bezogen. Die Inbetriebnahme des innovativen und durch erneuerbare Energien dominierten Energieversorgungssystems erfolgte 2012. Das Foto zeigt die Solarkollektoren (vorderes Dach) zur Wärme- und Kälteversorgung und die PV-Module (hinteres Dach).

Für das Solarthermiekollektorfeld kamen neun Großflächenkollektoren mit jeweils ca. 13 m² zum Einsatz, die einen **20 m³ Pufferspeicher** mit einer 30 cm dicken Isolierung und Schichtlanzen für eine optimale Temperaturschichtung beladen. Die Kollektoren wurden auf 45° aufgeständert, um die Solarerträge besser über das Jahr zu verteilen, da die Wärme an sonnenreichen Sommertagen fast ausschließlich für die Kälteerzeugung in Kombination mit der Adsorptionskältemaschine verwendet wird.

Um die Flaschenwaschmaschine, den Pasteur und die Adsorptionskälteanlage betreiben zu können, sind Zieltemperaturen in einem Bereich von 80..98°C erforderlich. Daher wurden doppelt abgedeckte Kollektoren verwendet, die auch bei höheren Temperaturen effizient arbeiten. Reicht die Solarstrahlung nicht aus, wird der Hackschnitzelkessel zum Nachheizen des Puffers verwendet. Trotz der hohen Prozesstemperaturen und des saisonal geprägten Wärmebedarfes erreichen die Kollektoren einen spezifischen Ertrag von **380 kWh/m² brutto a** und eine solare Deckung von rund 20% bezogen auf Wärme- und Kälteversorgung, was einem Gesamtertrag von **45 MWh/a** entspricht. Die obestehende Abbildung zeigt die Hydraulik des beschriebenen Systems.

Die Kosten der neu installierten Solaranlage lagen zusammen mit dem auch durch den Hackschnitzelkessel beheizten 20 m³-Puffer, der Prozessanbindung und der Adsorptions-

kälteanlage bei etwa 145.000 €. Knapp ein Drittel entfiel hierbei allein auf die Kälteanlage. Die spezifischen Kosten der Solaranlage inkl. Puffer und Anbindung an die Prozesse lagen daher bei **855 €/m²**. Da die Solaranlage nicht nur die günstigen Hackschnitzel als Energieträger, sondern auch Strom für die vorher benutzte Kompressionskälte ersetzt, ist das energetische Gesamtpaket für den Kögerlhof Kripel nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich sehr interessant.

Kontakt

Kögerlhof Kripel

Großeggstraße 244
A-8311 Markt Hartmannsdorf
Österreich

Telefon: +43 (0) 3114 2287

E-Mail: office@koegerlhof.com

www.koegerlhof.com

4.4 Süß- und Backwaren: Backwaren Hack Sahnefrei dank Solarthermie

Die Gebr. HACK Gastro-Service oHG mit dem Sitz in Kurtscheid ist ein Tochterunternehmen der HACK AG, das Tiefkühl- und Frischbackwaren herstellt. Eine sehr wichtige Produktgruppe sind Sahnetorten, für die täglich mehr als 4t an Sahne verarbeitet werden. Derzeit arbeiten 100 Mitarbeiter bei der Hack Gastro-Service oHG, wovon rund 75 direkt in der Produktion tätig sind.

Bedingt durch die Produkte verbleiben vor allem Sahne- und Zuckerrückstände auf der Fertigungslinie und den Werkzeugen. Diese müssen aus hygienischen Gründen nach jedem Produktionstag restlos entfernt werden. Für diese Endreinigung müssen die gesamten Produktionseinrichtungen mit einer Reinigungslösung eingeschäumt und anschließend zum Entfernen von Fetten, Zucker und weiteren Verunreinigungen mit über **10 m³ Heißwasser** gründlich abgespült werden. Der Wärmebedarf für diesen Reinigungsprozess liegt knapp unter **200 MWh/a**.



Bevor im April 2014 eine solare Prozesswärmeanlage in Betrieb ging, erfolgte das Aufheizen des dafür notwendigen Frischwassers mittels Wärmerückgewinnung und einem Gaskessel. An sonnenreichen Sommertagen reduziert die Solaranlage den Gasverbrauch für die Brauchwasserbereitung nun um etwa zwei Drittel. Bereitgestellt wird die Wärme von **rund 100 m² Vakuumröhrenkollektoren** (55,8 m²_{app}), die, wie es das Foto zeigt, an der Südfassade der Produktionshalle installiert wurden. Über das Jahr gesehen, erreicht die solare Prozesswärmeanlage einen auf den Reinigungsprozess bezogenen Deckungsgrad von knapp 30 %.

Die Installation der 20 Vakuumröhrenkollektoren an der Fassade wäre in diesem Fall aus statischen Gründen nicht notwendig gewesen. Die Firma Hack entschied sich dennoch bewusst für diese Form der Installation, um die Sichtbarkeit der Anlage und damit die Aufmerksamkeit der Nutzung von Solarenergie zu erhöhen. Dafür wurden bei der Installation sogar ein damit verbundener höherer Zeitaufwand und somit auch höhere Kosten in Kauf genommen.

Trotz des relativ steilen Neigungswinkels der Kollektoren wurden die im Rahmen der Planung eher konservativ abgeschätzten jährlichen Solarerträge deutlich übertroffen und

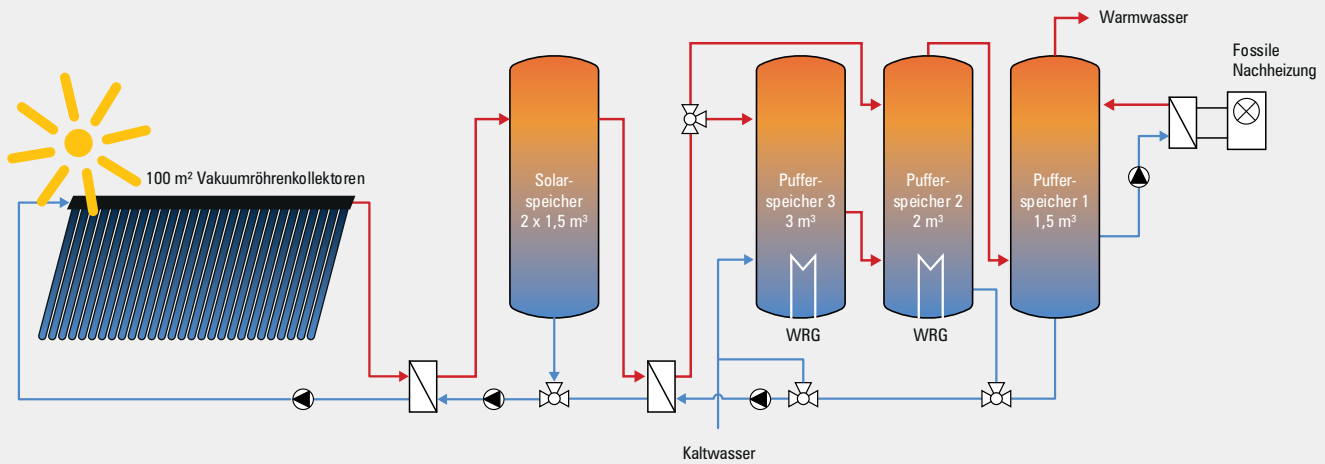
Hack Gastro-Service oHG

Unternehmen

Unternehmenssitz:	Kurtscheid (DE)
Mitarbeiterzahl:	ca. 75 (Produktion)
Umsatz:	rund 50 Mio. €/a (Hack AG)
Wärmebedarf:	ca. 1.150 MWh/a
Wasserbedarf Reinigung:	> 10 m ³ /d

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld:	100 m ² _{brutto} VRK
Pufferspeicher:	3 m ³
Warmwasser f. Reinigung:	65 °C
Systemertrag:	ca. 60 MWh/a
Wärmepreis solar:	40 €/MWh inkl. Förderung
Inbetriebnahme:	April 2014



Die Solarwärme wird zunächst in zwei Pufferspeicher eingespeist. Über einen externen Wärmetauscher beheizen die Solarpuffer eine Speicherkaskade, die den großen Warmwasserbedarf für die reinigungsintensiven Nachmittagsstunden bereithält. Die fossile Nachheizung beheizt nur den kleinen Bereitschaftsspeicher ganz rechts, um die Wärmeverluste an den Speichern gering zu halten.

liegen nun bei rund **600 kWh/m²_{brutto}** a. Die obenstehende Hydraulik zeigt das generelle Schema der solaren Prozesswärmanlage für die Bereitung des Reinigungswassers.

Vor dem Bau der Solaranlage erfolgte die Bereitstellung des Reinigungswassers über eine Kaskade von drei Speichern mit insgesamt 6,5 m³ (rechts in der Hydraulik abgebildet). In den ersten beiden Pufferspeichern erfolgt bereits eine Vorwärmung des Wassers mittels Wärmerückgewinnung aus der Kältebereitstellung. Der dritte Speicher (ganz rechts) wird über eine konventionelle Nachheizung auf Solltemperatur gebracht. Aus diesem Speicher wird das Wasser für die Reinigung abgezogen.

Für die Solaranlage wurden zwei weitere Speicher mit jeweils 1,5 m³ installiert. Diese beladen über einen externen Wärmetauscher die beiden größeren Puffer der Speicherkaskade. Bei ausreichender Einstrahlung werden diese auf bis zu 95 °C aufgeheizt. Nach der eigentlichen Produktion der Backwaren wird dann das heiße Wasser, das bei Bedarf durch den Gaskessel nachgeheizt wird, aus den Speichern entnommen und bei 65 °C zum Abspülen der zuvor eingeschäumten Produktionseinrichtungen verwendet.

Jährlich stellt die installierte Solaranlage ca. **60 MWh** an Wärmeenergie für den Reinigungsprozess bereit. Durch die Reduktion des Erdgasverbrauches um mehr ca. **6.000 m³** vermindert die Solaranlage die jährlichen CO₂-Emissionen damit um rund **14 t**.

Die Gesamtkosten der Anlage von rund 93.000 € wurden über das Marktanreizprogramm mit 50 % bezuschusst, woraus sich für die Anlage eine Amortisationszeit von deutlich **unter zehn Jahren** ergibt.

Kontakt

Jörg Spingler

SP Solutions

Oraniensteiner Str. 7

65582 Diez

Telefon: +49 6432 921154

E-Mail: spingler@sp-solutions.de

www.sp-solutions.de

1

2

3

4

5

6

7

4.5 Getränke: Hütt-Brauerei Bier mit Sonnenkraft gebraut

In der Hütt-Brauerei Bettenhäuser GmbH & Co KG, einer mittelständischen Privatbrauerei im Raum Kassel, die bereits in der 9. Generation in Familienbesitz ist, wird seit 1752 Bier gebraut. Produziert wird in der sogenannten Knallhütte in Baunatal. Hütt beschäftigt derzeit ca. 45 Mitarbeiter, die gut 60.000 hl Bier pro Jahr produzieren. Zusätzlich werden jährlich etwas weniger als 10.000 hl an alkoholfreien Getränken produziert. Insgesamt werden dadurch jährlich ca. 8 Mio. € Umsatz generiert.

Für den Produktionsprozess werden ca. **4 GWh/a Wärmeenergie** benötigt, bereitgestellt durch einen mit Gas beheizten Dampfkessel. Zur Reduktion des fossilen Energieverbrauchs und der Energiekosten entschied sich die Hütt-Brauerei im Rahmen eines vom BMU geförderten und von der Universität Kassel durchgeführten Projektes für die Umsetzung eines neu entwickelten Energiekonzeptes für das Sudhaus und die Errichtung einer solaren Prozesswärmanlage.



Das Energiekonzept für das Sudhaus umfasste eine Erneuerung der Anlagentechnik durch den Austausch der bis dahin atmosphärischen Würzekochung durch ein **Vakuumkochenverfahren**, wodurch der Prozess bei niedrigeren Temperaturen betrieben werden kann. Darüber hinaus wurde die **Wärmerückgewinnung im Sudhaus optimiert**.

Für das Kollektorfeld der neu installierten solaren Prozesswärmanlage wurden 22 dachintegrierte Flachkollektoren mit einer Größe von jeweils 7,69 m² installiert. Diese **170 m² große Kollektorfläche** (155 m²_{ap}) wurde in das Dach des Verwaltungsgebäudes eingebracht. Hierfür war es nötig das Dach der Verwaltung abzudecken und die Sparren zu

erneuern, um die Tragfähigkeit des Daches zu erhöhen. Die Anlage liefert seit der Inbetriebnahme in 2010 jährlich bis zu **70 MWh Wärme** an den **10 m³ Pufferspeicher**, der bis maximal 95 °C aufgeheizt werden kann.

Angebunden wurde der Solarspeicher an den Entleerungsspeicher der Brauwasserreserve. Das kalte Brauwasser wird dabei über einen externen Wärmetauscher auf bis zu 80 °C durch die im Puffer gespeicherte Solarwärme aufgeheizt und in den **50 m³ Entleerungsspeicher** mit einem variablen Füllstand eingebracht. Dieser ist Teil der Brauwasserreserve, die aus zwei Speichern mit je ca. 50 m³ Fassungsvermögen besteht. Der zweite Speicher der Brauwasserreserve,

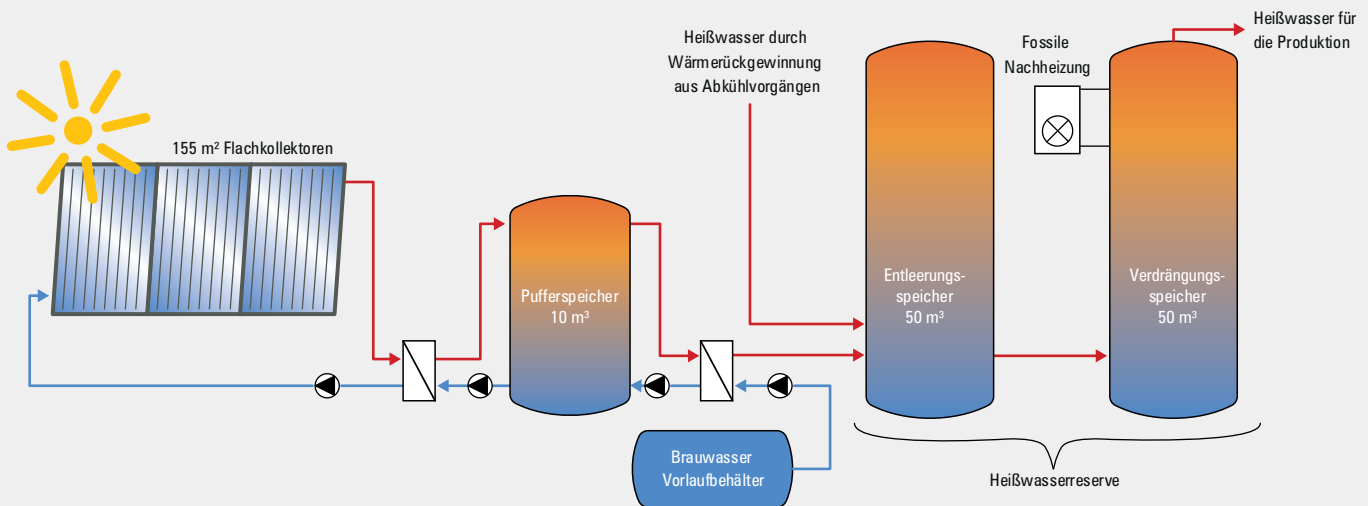
Hütt-Brauerei

Unternehmen

Unternehmenssitz:	Baunatal (D)
Mitarbeiterzahl:	ca. 45
Umsatz:	ca. 8 Mio.€ (2008)
Produktion:	ca. 70.000 hl/a (inkl. rund 12 % alkoholfreier Getränke)
Gasverbrauch:	4 GWh/a

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld:	170 m ² _{brutto} FK, dachintegriert
Pufferspeicher:	10 m ³
Vorwärmung Brauwasser:	bis 80°C
Systemertrag:	450 kWh/m ² a (projektiert, Apertur)
Wärmepreis solar:	50 €/MWh inkl. Förderung
Inbetriebnahme:	2010



Über einen externen Wärmetauscher beheizen die dachintegrierten Flachkollektoren den 10 m³ Pufferspeicher, der wiederum im Durchlauferhitzerverfahren das Kaltwasser für den Entleerungsspeicher vorwärmt.

der Verdrängungsspeicher, ist stets vollständig gefüllt und wird im oberen Teil immer auf 80...98°C gehalten. Aus diesem Speicher heraus werden hauptsächlich das **Maischen** und das **Läutern mit Heißwasser** versorgt. Das obige Bild zeigt die Hydraulik der solaren Prozesswärmanlage bei der Hütt-Brauerei.

Die Regelung für die Beladung des Entleerungsspeichers sieht vor, dass er nachgefüllt wird, sobald das Volumen in diesem Speicher unter 35 m³ sinkt. Dieses Brauwasser wird dann mit einem Volumenstrom von 1 m³/h über den Entladewärmetauscher des Solar-speichers geführt und auf bis zu 80°C aufgeheizt.

Für die Anlage wurde die Detailplanung, Ausschreibung und Bauüberwachung von der Firma FSAVE Solartechnik übernommen, die Installation wurde von der Firma ThüSolar GmbH durchgeführt. Die Universität Kassel war maßgeblich an der Entwicklung des neuen Energiekonzeptes für das Sudhaus der Hütt-Brauerei beteiligt, unterstützte die Detailplanung der solaren Prozesswärmanlage und führte ein Monitoring der Anlage durch.

Die Gesamtkosten für die solare Prozesswärmanlage betragen inkl. den Integrationskosten 96.000 €, wovon 50% durch das BMU im Rahmen des Projektes Solarthermie-2000plus getragen wurden. Insgesamt ergibt

sich somit mit dem durch Simulationsstudien projektierten Ertrag ein solarer Wärmepreis von **50 €/MWh**.

Kontakt

Universität Kassel

Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik

Kurt-Wolters-Str. 3

34125 Kassel

Telefon: +49 (0) 561 804 3890

E-Mail: solar@uni-kassel.de

www.solar.uni-kassel.de

1

2

3

4

5

6

7

4.6 Lebensmittellogistik: Contank Mit Solarwärme eine saubere Sache

Die spanische Firma Contank eröffnete im Jahr 2004 ihren neuen Standort ParkingService Castellbisbal S.A. im gleichnamigen Ort. Die Firma ist auf Aktivitäten im Transport- und Logistiksektor spezialisiert. Neben Reparatur- und Lackierarbeiten werden hier ebenfalls Innen- und Außenreinigungen von Transportfahrzeugen durchgeführt. Aufgrund des **hohen Strahlungsangebots von 1471 kWh/m²** im Jahr wurde bereits zu Baubeginn des neuen Standorts die Errichtung einer Solaranlage zur Prozesswärmebereitstellung auf dem Dach eingeplant. Zudem wurde bei dem Design der Waschprozesse die Integration der Solarwärme berücksichtigt, was die Installation letztendlich stark vereinfacht hat. Planung, Design und Optimierung der Betriebsweise der Solaranlage wurden von der Firma Aguasol Ingeniería übernommen.

Bei Projektbeginn wurde der Wärmebedarf von dem Betrieb auf knapp **2 GWh/a** abgeschätzt. Größter Wärmeverbraucher ist der Waschprozess. Hier werden auf der einen Seite Dampf (54%) und auf der anderen Seite Warmwasser benötigt (46%). Täglich werden rund **70..80 m³** auf einem Temperaturniveau von bis zu 80°C benötigt. Die Prozesse laufen an 5,5 Tagen in der Woche bzw. an 264 Tagen im Jahr, wobei der Standort an 22 Tagen während der Sommerferien geschlossen ist. Seit dem Jahr 2005 liefern 92 Flachkollektoren von Sonnenkraft mit einer leichten Ostausrichtung bei einer Neigung von 25° einen relevanten Teil der Wärme. Wie auf der untenstehenden Abbildung zu sehen ist, teilt sich die Solaranlage mit ihren **570 m²** (510 m²_{app}) in zwei getrennte Felder auf, die sich auf den unterschiedlich hohen Hallendächern wiederfinden. Falls die Anlage mit ihrer Leistung von 357 kW_{th} nicht ausreichend Wärme zur Verfügung stellen kann, erfolgt die Nachheizung über den erdgasbefeuelten Dampferzeuger.

Der Primärkreislauf ist mit einem Wasser-Glykol-Gemisch (70/30%) gefüllt und gibt



die gewonnene Sonnenenergie über einen Wärmetauscher an den Sekundärkreislauf ab, in dem für den Waschprozess aufbereitetes (entkalktes) Wasser enthalten ist. Um die Sonnenenergie zu speichern, steht ein **40 m³ druckloser Pufferspeicher** sowie zwei kleine Trinkwarmwasserspeicher mit je 3 m³ zur Verfügung. Nach der Vorwärmung wird das Wasser auf das entsprechende Druckniveau und falls nötig im **Durchlauferhitzerprinzip** in einem Rohrbündelwärmetauscher durch das fossile Dampfsystem auf die Zieltemperatur gebracht. Zu Projektbeginn wurden auch andere Integrationskonzepte diskutiert, bei denen eine direkte Solardampferzeugung bzw. eine Rücklaufanhebung des Heiznetzes

Contank

Unternehmen

Unternehmenssitz: Castellbisbal (ES)

Wasserbedarf Reinigung: 70..80 m³/d

Solare Prozesswärme

Kollektorfeld: 570 m²_{brutto} FK, Aufdach

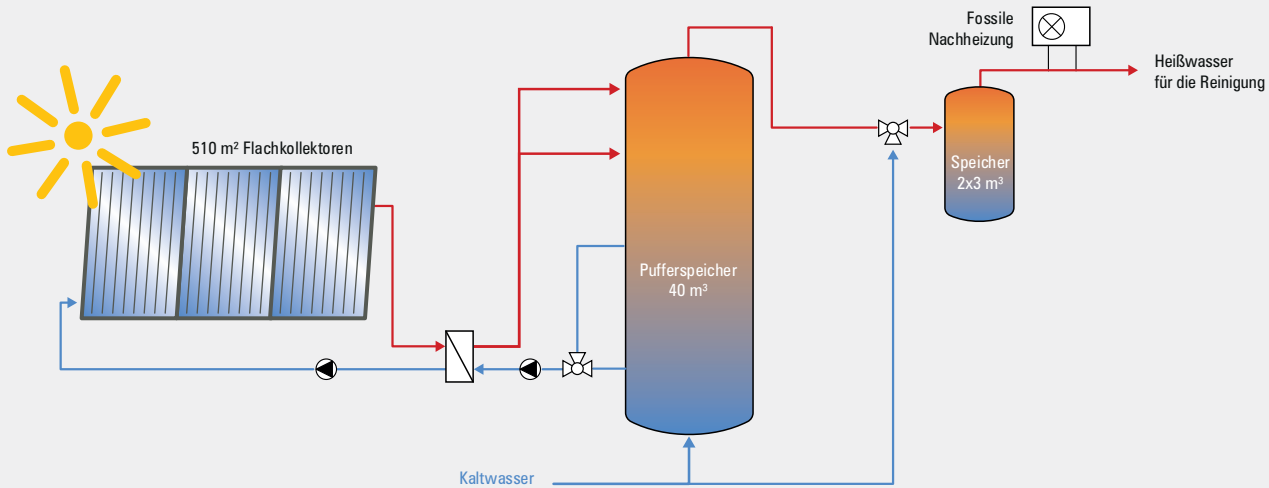
Pufferspeicher: 40 m³

Warmwasser f. Reinigung: 70..80 °C

Systemertrag: 429 MWh/a

Wärmepreis solar: 19 €/MWh

Inbetriebnahme: 2005



Dank der Aufdachsolaranlage, die einen großen 40 m³ Pufferspeicher beheizt, kann rund ein Drittel der Wärme für Warmwasser solar bereitgestellt werden. Wenn notwendig, kann das solar erhitze Wasser durch die fossile Nachheizung im Durchlauferhitzerverfahren nachgeheizt werden.

vorgesehen war. Um die mit hohen Kollektortemperaturen einhergehende schlechtere Effizienz und verminderte Solarerträge zu vermeiden, wurden diese Konzepte jedoch verworfen.

Zwar wurde das System mit TRNSYS simuliert und optimiert, jedoch lagen die tatsächlichen Erträge leicht unter den Erwartungen, was auf einen zu hoch geschätzten Wärmebedarf zurückzuführen ist. Um den verringerten Wärmebedarf zu kompensieren und häufige Stagnationszeiten zu vermeiden, wurde nachträglich eine Nachtauskühlung installiert. Durch die falschen Annahmen konnte der projektierte spezifische Solarertrag von bis

zu **841 kWh/m²** (429 MWh/a) nicht ganz erreicht werden. Gleichzeitig konnte jedoch die erwartete solare Deckungsrate von 21,5% auf bis zu rund einem Drittel gesteigert werden. Die Investitionskosten lagen bei rund 270.000 €, wobei nur rund die Hälfte aus Eigenmitteln aufgewendet werden musste. Die andere Hälfte wurde über Fördermittel und Steuererleichterungen finanziert. Obwohl damit niedrige solare Wärmegestehungskosten von fast **19€/MWh** erreicht werden, liegt die Amortisationszeit dennoch aufgrund eines geschätzten Gaspreises von 25€/MWh bei ca. neun Jahren.

Kontakt

AIGUASOL Ingeniería

C/Roger de Llúria n° 29 3er-2a

08009 Barcelona

Spanien

Telefon: +34 (0) 93 342 47 55

E-Mail: infoaiguasol@aiguasol.coop

www.aiguasol.com



5 Konkurrenztechnologien Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe

Charakteristisch für die Betriebe der Ernährungsindustrie im Allgemeinen ist der **hohe Kältebedarf** zu Kühlungs-, Lagerungs- und Haltbarkeitszwecken, der überwiegend durch elektrische Kompressionskältemaschinen gedeckt wird. Da bei der Nutzung dieser Kältemaschinen signifikante Mengen Abwärme aus den Kondensatoren abgeführt werden müssen, spielt die Konkurrenzsituation von Wärmerückgewinnung (WRG) ggf. in Kombination mit Großwärmepumpen zu thermischer Solarenergie eine wichtige Rolle.

Das tatsächlich nutzbare **Abwärmepotential** wird maßgeblich durch die am Kondensator der Kältemaschine anfallende Temperatur bestimmt, welche typischerweise bei maximal 40°C liegt. Damit eignet sich die Abwärme zur Vorwärmung im Rahmen der Warmwasserbereitstellung oder Aufheizung von Kesselzusatzwasser. Grundsätzlich können aber auch höhere **Kondensationstemperaturen** eingestellt werden, sodass auch eine Vorwärmung von Warmwasser auf ein höheres Temperaturniveau erfolgen könnte. Allerdings verringert sich die Effizienz einer elektrischen Kompressionskältemaschine

mit der Temperaturerhöhung im Kondensator deutlich. Ohne die Nutzung eines Wärmerückgewinnungssystems sollte die Kondensationstemperatur im Idealfall an die Außentemperatur gekoppelt sein und möglichst niedrig gehalten werden, dass die Temperatur gerade ausreicht, um die Abwärme an die Umgebung abzuführen. Je Kelvin Temperaturerhöhung im Kondensator verringert sich die Effizienz der Kälteanlage um rund 2 %, wodurch je Einheit bereitgestellter Kälte entsprechend mehr Strom aufgewendet werden muss. Anwender geraten hierbei in einen

Zielkonflikt, der auch Auswirkungen auf die Einbindung von Solarwärme hat. Die Kälteanlage kann einerseits durch eine möglichst niedrige Kondensationstemperatur so effizient wie möglich betrieben werden, sodass in der Folge weniger Wärme zurückgewonnen werden kann. Andererseits könnte mit einer erhöhten Kondensationstemperatur ein höherer Stromeinsatz bei der Kälteerzeugung in Kauf genommen werden, um in der Folge möglichst viel Energie aus den Kondensatoren für die Warmwasserbereitstellung nutzen zu können. Im letzteren Fall fungiert die Kältemaschine gleichzeitig als eine Art Wärme-

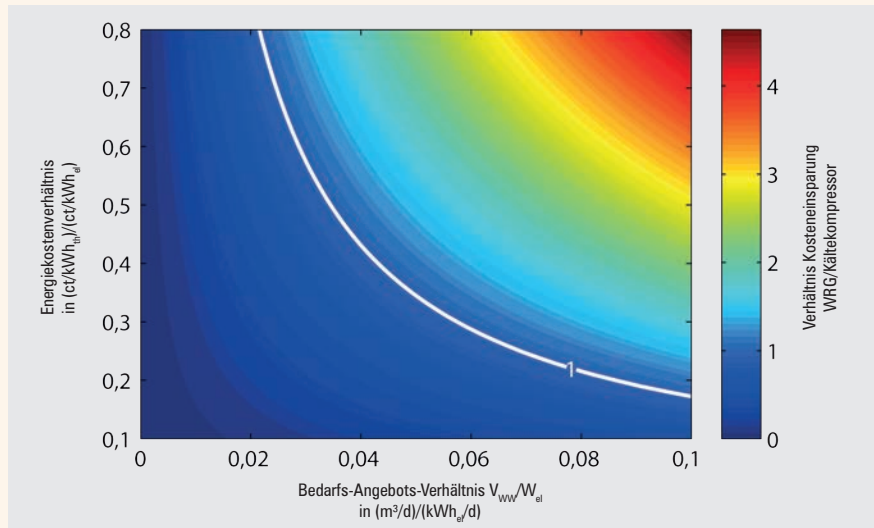
pumpe, die dementsprechend nachteilig für die Nutzung einer Solarthermieanlage wäre, da sie die solar bereitzustellende Wärme und somit die mögliche Kollektorfeldgröße reduziert.

Die Entscheidung darüber hängt im Wesentlichen von zwei Kennwerten ab: Dies ist zum einen das Verhältnis aus den Energiepreisen für Wärme und Strom und zum anderen das Verhältnis des Warmwasserbedarfs (60°C) zu der eingesetzten elektrischen Energie zur Kühlung, im Folgenden **Bedarfs-Angebots-Verhältnis** genannt. Diese beiden Einflussgrößen finden sich in der Abbildung Wirtschaftliche Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen auf S. 54 wieder. Farblich dargestellt ist in Abhängigkeit dieser beiden Parameter ein **Kosten-Nutzen-Verhältnis**. Bei einer Erhöhung der Kondensationstemperatur um 1 K werden die eingesparten Kosten durch Nutzung der Wärmerückgewinnung mit den zusätzlichen Kosten für die Kältebereitstellung verglichen. Im umgekehrten Fall, bei einer Senkung der Kondensationstemperatur, muss aufgrund der verringerten Nutzung der WRG mehr konventionelle Energie zur Wärmebereitstellung aufgewendet werden. Der finanzielle Mehr-

aufwand hierfür wird ins Verhältnis gesetzt zu den eingesparten Kosten durch eine effizientere Kältebereitstellung. Oberhalb der weißen Trennlinie sollte das System zu Gunsten der Nutzung der Wärmerückgewinnung betrieben werden. Dies ist der Fall, wenn die „konventionellen“ Wärmegestehungskosten im Vergleich mit den elektrischen Bezugskosten sowie der Warmwasserbedarf im Verhältnis zu dem für die Kühlung eingesetzten Strom hoch sind. Hingegen sollte die Kälteanlage unterhalb der weißen Linie mit einer niedrigen Kondensationstemperatur möglichst effizient arbeiten. Aus der Erfahrung durchgeführter Fallstudien ist es in der Regel günstiger, durch eine solche aus energetischer Sicht **optimale Betriebsweise der Kälteanlage** elektrische Energie einzusparen, damit auf eine intensiviertere Nutzung der Wärmerückgewinnung zu verzichten und in der Folge mehr Niedertemperaturwärme durch Solar Kollektoren bereitstellen zu können.

Kann die Abwärme neben der Vorwärmung von Warmwasser noch in weiteren Prozessen mit Niedertemperaturwärmebedarf (z. B. Vorwärmung Lüftungstechnik) sinnvoll eingesetzt werden, muss dies in einem erhöhten Bedarfs-Angebots-Verhältnis berücksichtigt werden. Dies kann dazu führen, dass die Anhebung der Kondensationstemperatur aus finanzieller Sicht attraktiver wird. Die Abbildung bietet nur eine erste Abschätzung und sollte in Zweifelsfällen durch einen erfahrenen Anlagenbauer aus dem Bereich Kältetechnik überprüft werden.

Wirtschaftliche Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen

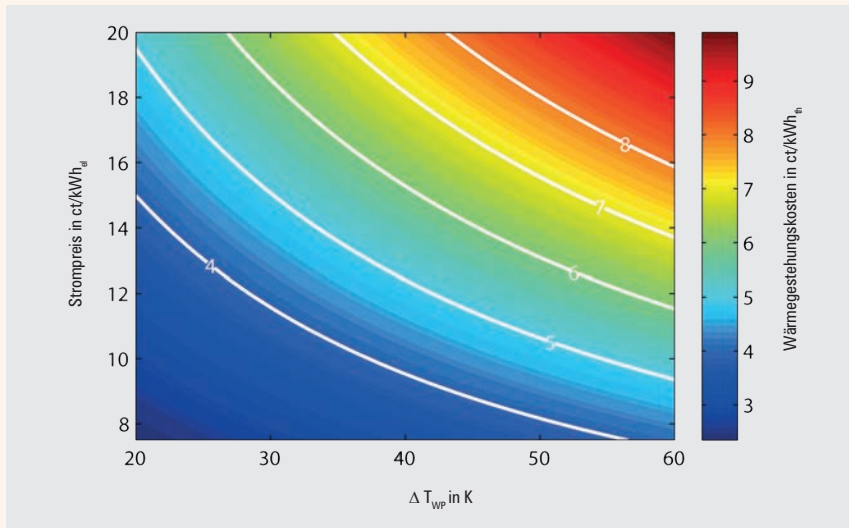


Für die Nutzung der Abbildung müssen in einem Unternehmen auf der technischen Seite der tägliche Warmwasserbedarf sowie die für die Kälteerzeugung eingesetzte elektrische Energie zur Berechnung des Bedarfs-Angebots-Verhältnisses sowie aus der kaufmännischen Abteilung thermische wie elektrische Energiegestehungskosten abgefragt werden. Mithilfe der Graphik kann dann eine wirtschaftliche Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen bei elektrischen Kompressionskältemaschinen durchgeführt werden, indem die Kondensationstemperatur angepasst wird. Stellt sich in einem Unternehmen mit den abgefragten Daten ein Bedarfs-Angebots-Verhältnis von 0,02 sowie ein Energiekostenverhältnis von 0,2 heraus, so muss dem Unternehmen dringend empfohlen werden, die Kälteerzeugung so effizient wie möglich umzusetzen, da dieser Punkt in der Graphik deutlich unterhalb der weißen Linie liegt. In der Praxis bedeutet dies eine möglichst niedrige Kondensationstemperatur der Kälteanlagen, sodass der verbleibende Wärmebedarf solarthermisch gedeckt werden kann.

Durch das hohe Abwärmepotential sowie potentiell sinkende Stromkosten werden **industrielle Großwärmepumpen**, die **Abwärme als Wärmequelle** nutzen, zukünftig zu einer relevanten Konkurrenztechnologie zur solaren Prozesswärmebereitstellung in der Ernährungsindustrie. Aufgrund der Nutzung der Abwärme muss in der Regel nur noch ein **geringer Temperaturhub** durch die Wärmepumpe bereitgestellt werden, was sich positiv auf die Leistungszahl (COP) auswirkt

und sich damit in der Effizienz des Systems niederschlägt. Derzeit finden derartige Systeme jedoch noch nur geringe Verbreitung. Bei den hier betrachteten Wärmepumpen muss berücksichtigt werden, dass aufgrund der Beschränkungen durch die Kältemittel häufig nur maximale Vorlauftemperaturen von 70 °C erreicht werden können. Mit Hochtemperaturwärmepumpen, die mit anderen Kältemitteln (z. B. CO₂) im überkritischen Bereich arbeiten, können auch deutlich höhere Vorlauftempera-

Wärmegestehungskosten industrieller Großwärmepumpen



Unter Kenntnis der Parameter Strompreis und Temperaturhub der Wärmepumpe können mit der Abbildung die Wärmegestehungskosten einer industriellen Großwärmepumpe über einen Betriebszeitraum von 20 Jahren abgeschätzt werden. Liegt bspw. in einem Unternehmen die Abwärme aus Kälteanlagen und Luftkompressoren auf einem Temperaturniveau von 30°C vor und soll eine Zieltemperatur von 60°C erreicht werden, ergibt sich ein Temperaturhub von 30 K. Aus der kaufmännischen Abteilung des Unternehmens ist bekannt, dass der Strompreis bei 15 ct/kWh_e liegt. Damit kann durch Ablesen in obiger Abbildung eine Wärmepreis von 5 ct/kWh_h abgeschätzt werden. Unter den aktuellen Förderbedingungen (12/2015) sind bei guten Integrationsmöglichkeiten bei einer derartigen Anwendung durch thermische Solarkollektoren Wärmegestehungskosten von $3..5 \text{ ct/kWh}_h$ erreichbar.

turen bis ca. 90°C erreicht werden. Aufgrund physikalischer Begebenheiten kann die hier angewendete Berechnungsgrundlage jedoch nicht ohne weiteres auf derartige Wärmepumpensysteme übertragen werden.

Die Wärmegestehungskosten der Wärmepumpe über einen Betriebszeitraum von 20 Jahren werden insbesondere durch den zu gewährleistenden Temperaturhub sowie die **Strombezugskosten** bestimmt. Die Inves-

titionskosten und die Leistung der Wärmepumpe haben dagegen eine nachrangige Bedeutung. Obenstehende Abbildung stellt die Wärmegestehungskosten einer Großwärmepumpe in Abhängigkeit der relevanten Parameter dar. Unter der Kenntnis der relativ einfach abzufragenden Parameter Abwärme- und Zieltemperaturniveau können bei bekannten Strompreisen Wärmegestehungskosten durch die Wärmepumpe abgeschätzt werden. Neben den aktuellen Förderbedingungen

von KfW und BAFA (12/2015) wird neben dem eigentlichen bereitzustellenden Temperaturhub ebenfalls ein weiterer Temperaturabfall an den Wärmetauschern berücksichtigt (je 5 K). Dieser ist notwendig, um ein ausreichend großes treibendes Temperaturgefälle zu erreichen, und muss auf den theoretisch notwendigen Temperaturhub dazu addiert werden, um die tatsächliche Temperaturanhebung zu erhalten, den die Wärmepumpe leisten muss.

Unter günstigen Bedingungen, d. h. insbesondere bei hohen Abwärmepertemperaturen und niedrigen Strompreisen, lassen sich folglich, wie die Abbildung zeigt, **niedrige Wärmegestehungskosten durch eine Großwärmepumpe** realisieren. Mit den aktuellen Förderbedingungen für solare Prozesswärme liegen die Wärmepreise, die mit solarthermischen Systemen unter guten Rahmenbedingungen erreicht werden können, in der Regel jedoch darunter (vgl. dazu Kapitel 4). Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich die Nutzung von Solarthermie und Wärmepumpe nicht grundsätzlich ausschließen, sondern ggf. sogar **effiziente Synergien** nutzen lassen. In diesem Fall sollte die Wärmepumpe im Winter

(bei geringerer Sonneneinstrahlung und niedrigeren Solarerträgen) nur den fehlenden Temperaturhub nach einer solaren Vorwärmung bereitstellen, sodass sie mit einer gesteigerten Effizienz betrieben werden kann.

1

2

3

4

5

6

7



6 Schlusswort

Trotz des großen technischen Potentials von allein in Deutschland mehr als 7,5 Mio. m² thermischen Solarkollektoren in der Ernährungsindustrie sind bisher nur wenige Anlagen realisiert worden. Dies ist nicht zuletzt auf ein **Informationsdefizit bei den entscheidenden Akteuren** über die noch relativ unbekanntenen Nutzungsmöglichkeiten von Solarthermie zur Bereitstellung von Prozesswärme in industriellen Anwendungen zurückzuführen. Mit der Durchführung von Fallstudien konnte zumindest in einigen Unternehmen darauf aufmerksam gemacht werden. Dieser Leitfaden macht die gewonnenen Erkenntnisse über das Prozessspektrum der Ernährungsindustrie, die notwendigen Temperaturniveaus sowie mögliche Integrationskonzepte einem breiteren Publikum zugänglich.

Die Analysen haben gezeigt, dass die Verfahren, die relativ niedrige Prozesstemperaturen aufweisen und somit hohe solare Erträge erwarten lassen, häufig auch einen geeigneten Integrationspunkt für Solarthermie aufweisen. Insbesondere die **Beheizung von Warmwasserbecken** sowie das **Temperieren von Produkten** bieten gute Nutzungsmög-

lichkeiten durch die nachträgliche Installation eines externen Wärmetauschers.

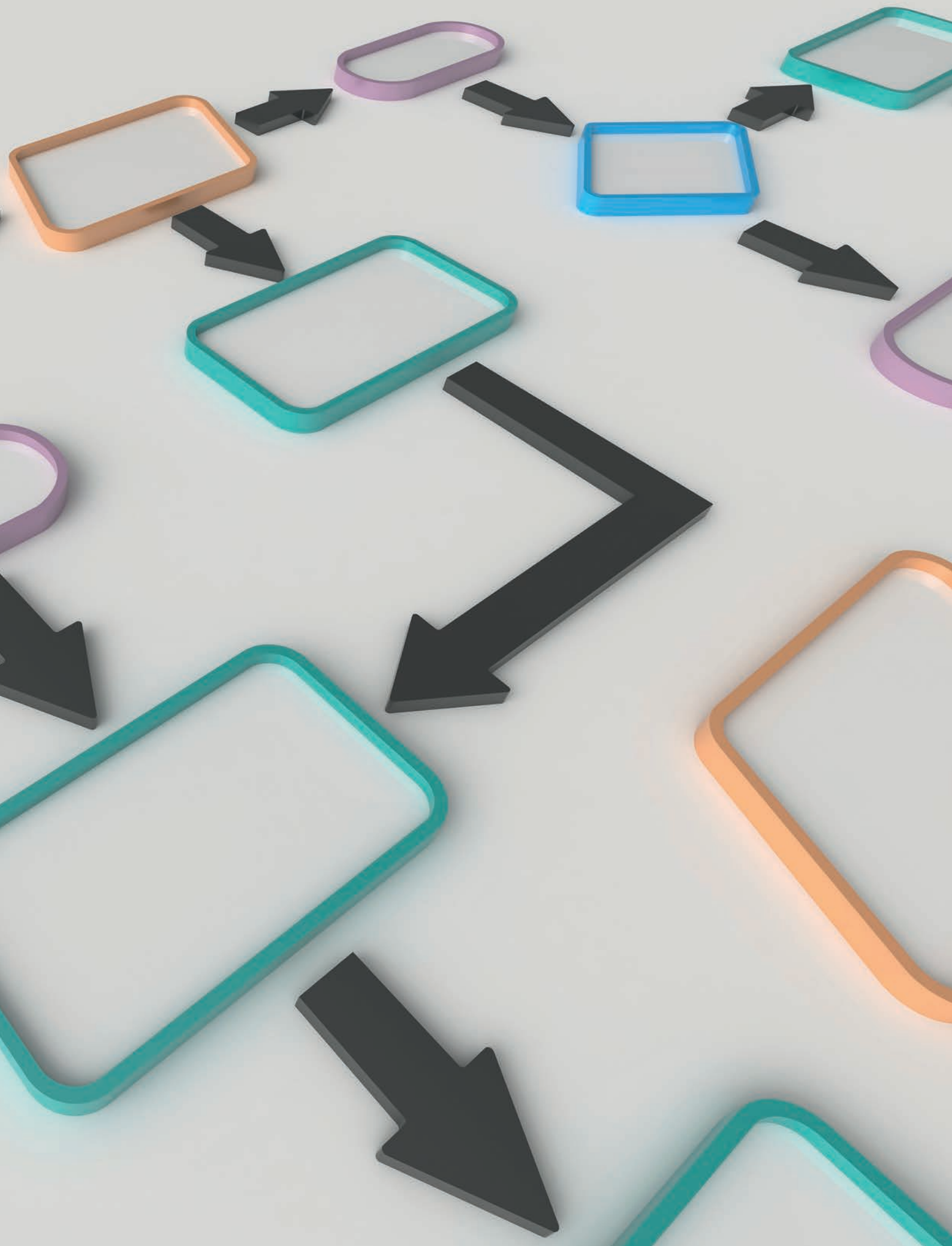
Jedoch haben die Analysen auch gezeigt, dass in der Lebensmittelbranche bei der Nutzung solarthermischer Anlagen eine **besondere Konkurrenzsituation mit Wärmerückgewinnungssystemen** besteht. Aufgrund des hohen Kältebedarfs kann eine große Wärmemenge auf einem niedrigen Temperaturniveau durch Wärmerückgewinnung bereitgestellt werden. Durch die Kombination mit einer elektrischen Großwärmepumpe lassen sich ebenfalls niedrige Wärmegebungskosten realisieren, sodass stets überprüft werden muss, welche Technologie im individuellen Fall die größeren Vorteile bietet.

Wie in Kapitel 4 dargestellt, wurden bereits **viele Demonstrationsprojekte** umgesetzt, die als Leuchttürme für interessierte Firmen genutzt werden können. Unternehmen, die sich bereits für den Einsatz einer thermischen Solaranlage entschieden haben, zeigen sich bisher sehr zufrieden. Sie haben sich zumindest teilweise von schwankenden Rohstoffpreisen fossiler Energien unabhän-

gig gemacht und können in den nächsten 20 Jahren mit stabilen Wärmepreisen kalkulieren. Zusätzlich bietet die Nutzung erneuerbarer Energien einen nicht zu unterschätzenden **Prestige- und Werbegewinn** gegenüber den Endkunden.

Die vergleichsmäßig hohen Investitionskosten können inzwischen durch eine Förderung des Bundes halbiert werden (Stand 12/2015). Zusätzlich können über den Umweg eines Contractingunternehmens anfängliche Investitionskosten und das damit einhergehende Risiko vermieden und dennoch niedrige Wärmegebungskosten erreicht werden.

Können – möglicherweise mithilfe des vorliegenden Leitfadens – mögliche Nutzungs- und Integrationsmöglichkeiten von Solarwärme identifiziert werden, sei abschließend erneut auf den Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärmeanlagen verwiesen. Mit diesem kann eine schnelle Machbarkeitsabschätzung und Vorplanung erfolgen, bevor die Detailplanung an darauf spezialisierte Unternehmen übergeben werden sollte.





In dem **Leitfaden** wurden die wärmeintensiven Prozesse mit den zugehörigen Temperaturen und die jeweils verwendete Anlagentechnik umfänglich beschrieben. Im Anhang finden sich für jede der untersuchten Branchen vereinfachte Prozessfließbilder, in denen die eingesetzten Prozesse in Abhängigkeit des Zielprodukts abgelesen werden können. Prozesse, die hierbei einen thermischen Energiebedarf aufweisen, sind **entsprechend eingefärbt**.

7 Anhang

	Seite
Prozessabläufe in der milchverarbeitenden Industrie	60
Prozessabläufe in Schlachtbetrieben	61
Prozessabläufe in fleischverarbeitenden Betrieben	62
Prozessabläufe in der Obst- und Gemüseverarbeitung	62
Prozessabläufe in der klassischen Süßwarenindustrie	63
Prozessabläufe in der erweiterten Süßwarenindustrie	64
Prozessabläufe bei der Herstellung von Erfrischungsgetränken	65
Prozessabläufe beim Waschen und Reinigen in der Lebensmittellogistik	65
Relevante weiterführende Informationen	66

1

2

3

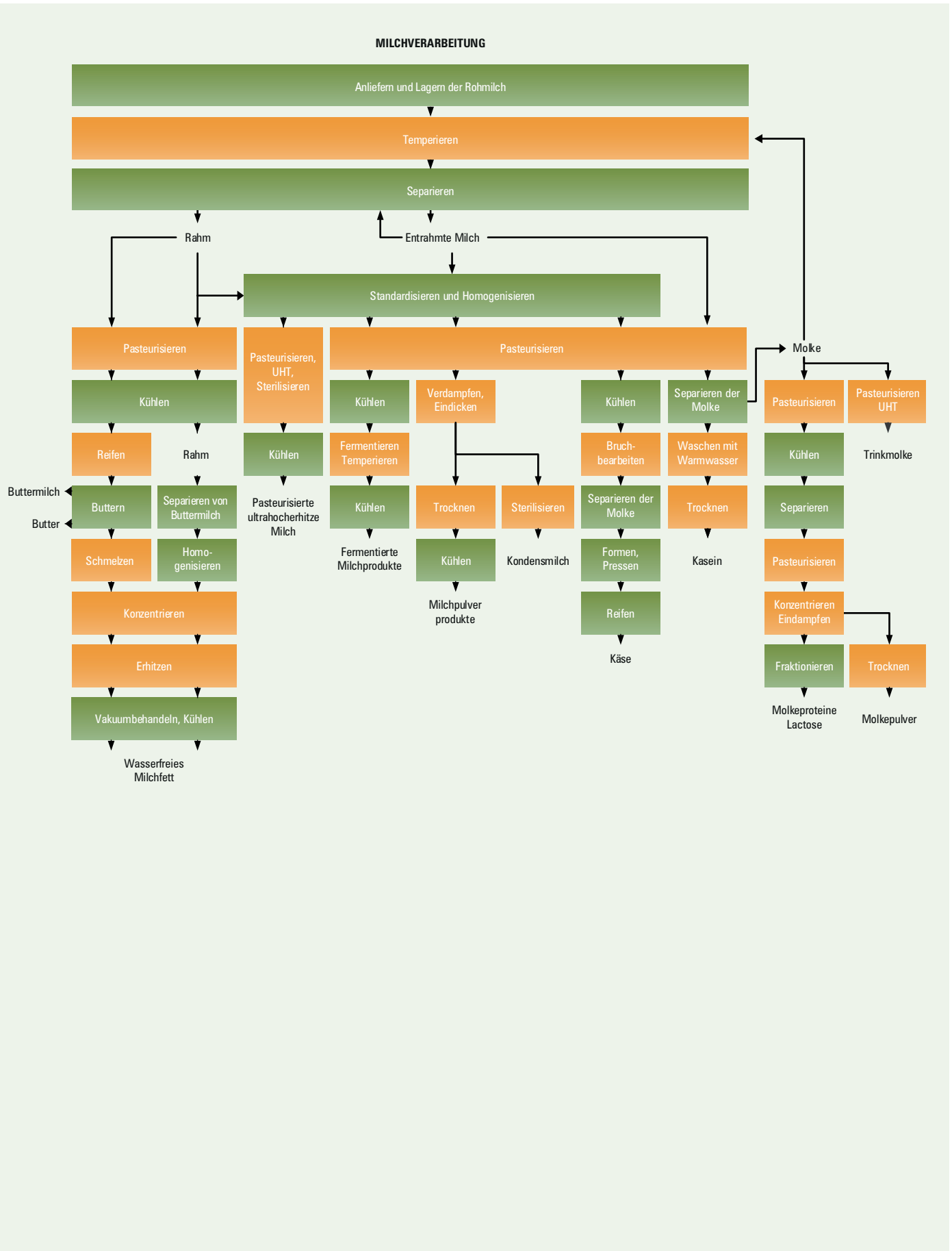
4

5

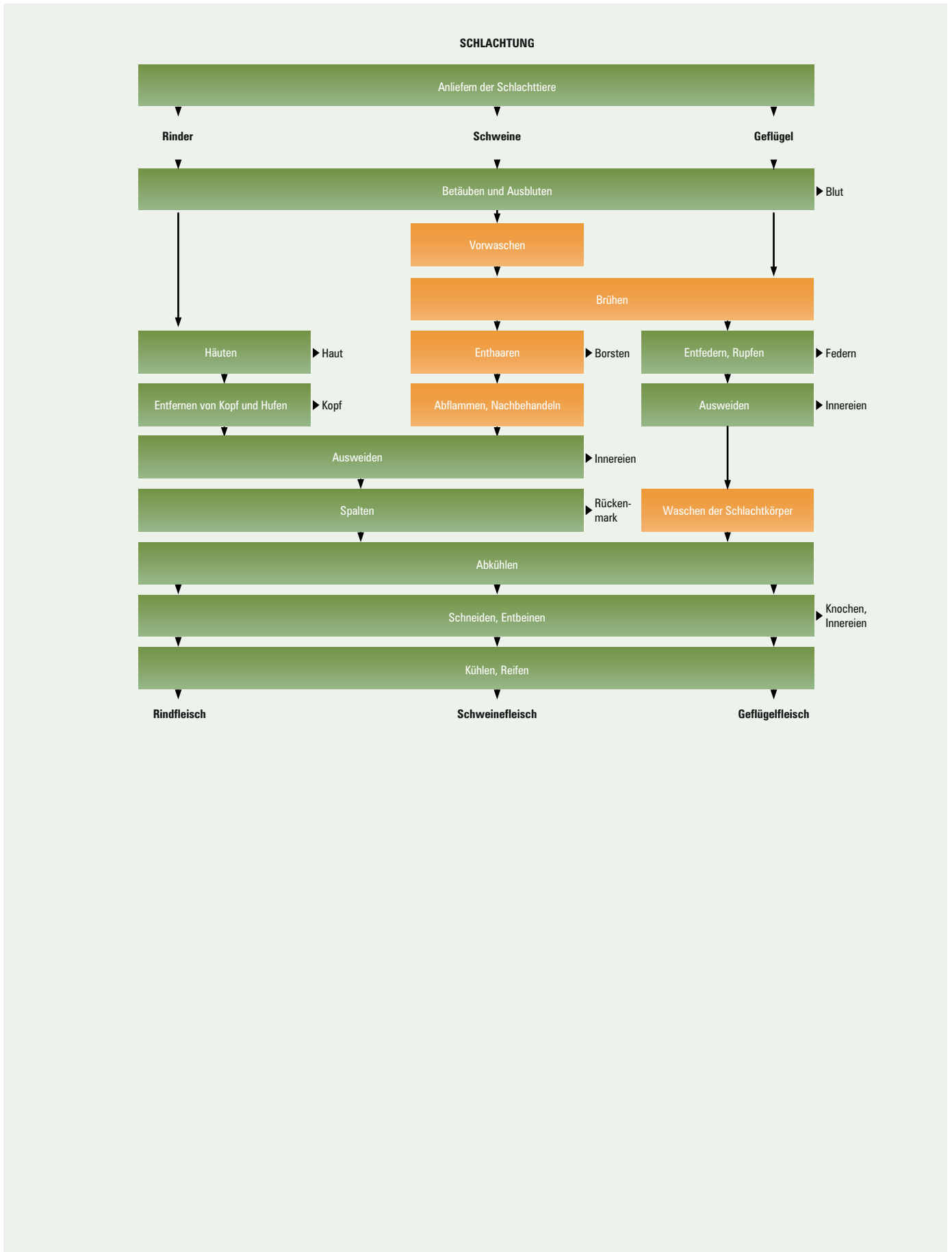
6

7

PROZESSABLÄUFE IN DER MILCHVERARBEITENDEN INDUSTRIE NACH RAMIREZ ET AL. (2006), HEISS (2004), TSCHEUSCHNER (2004), SPREER (2010)



PROZESSABLÄUFE IN SCHLACHTBETRIEBEN NACH RAMIREZ ET AL. (2006)



1

2

3

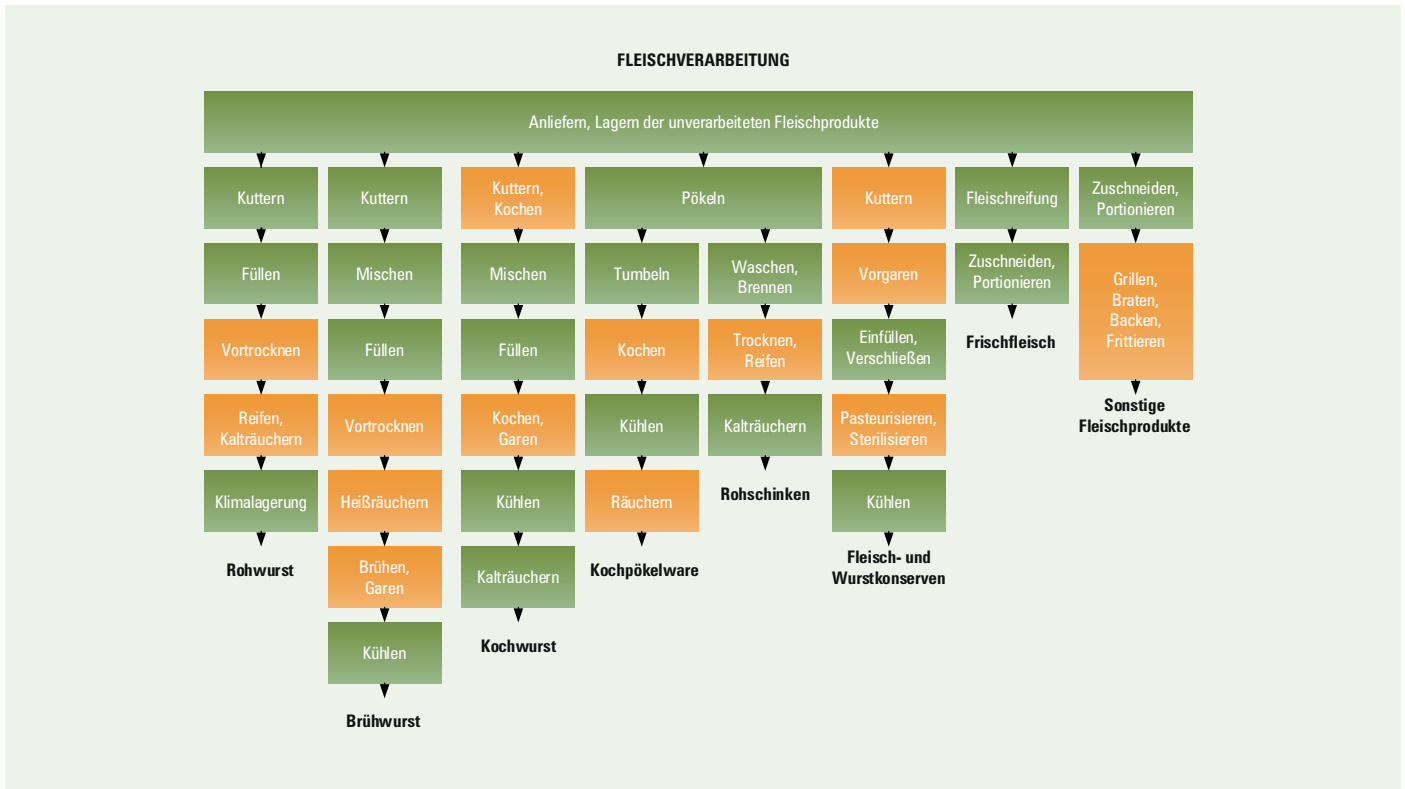
4

5

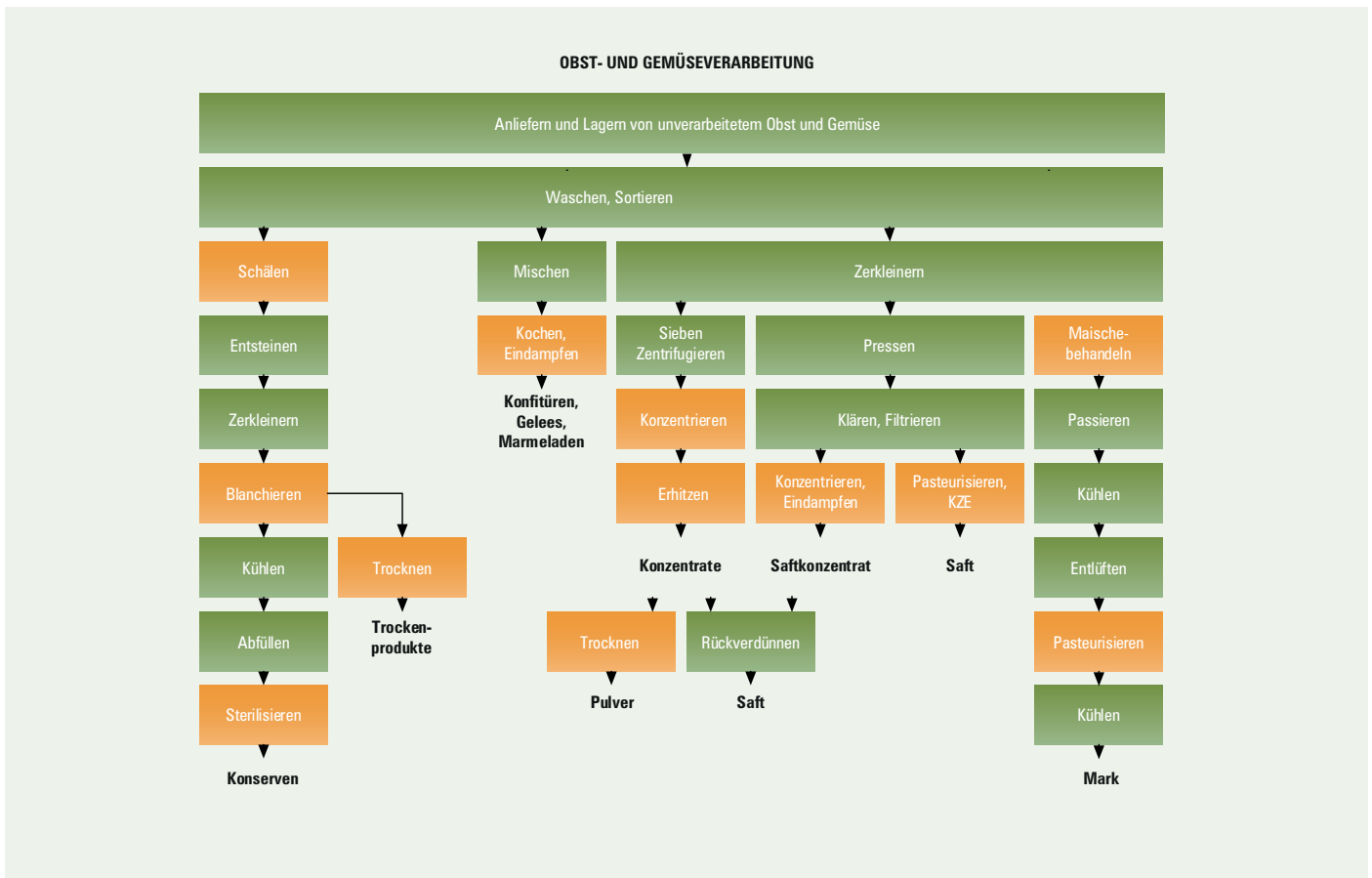
6

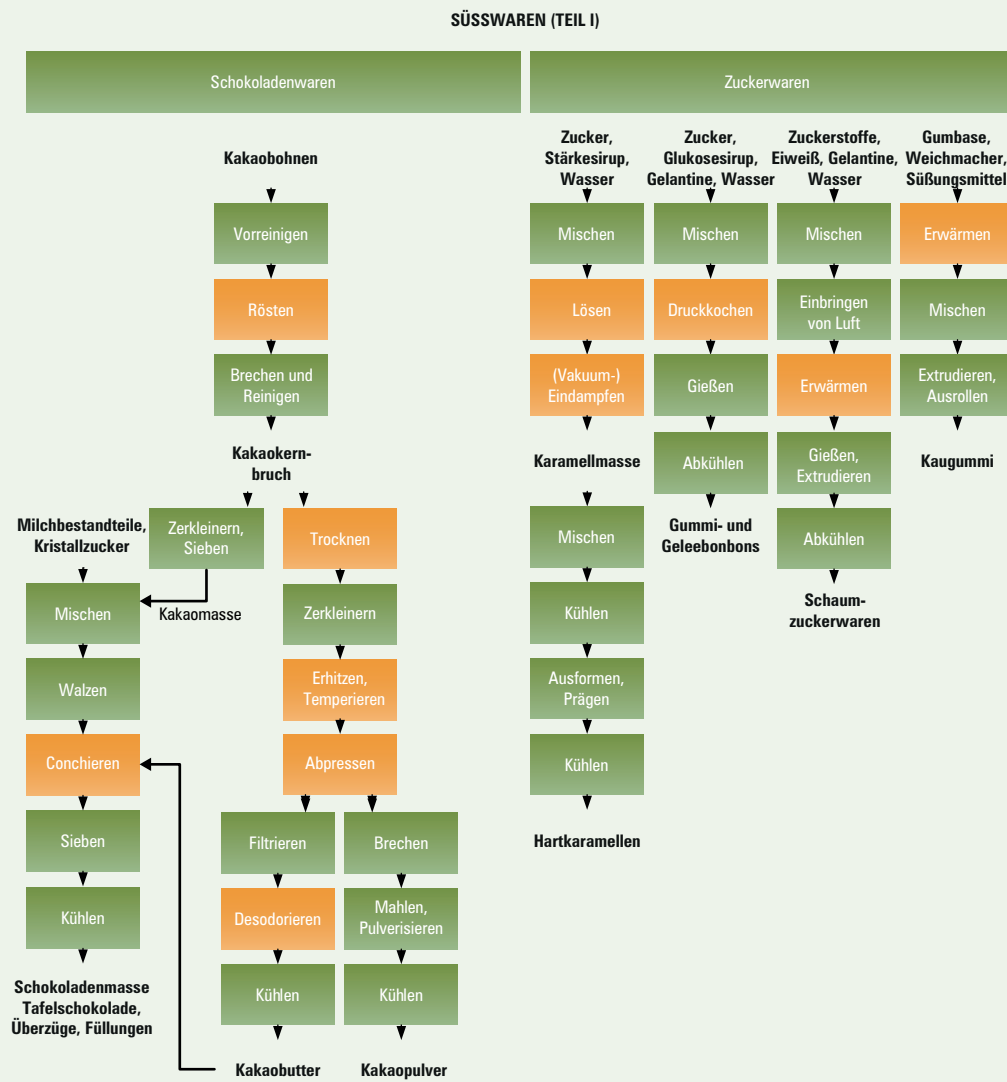
7

PROZESSABLÄUFE IN DER FLEISCHVERARBEITENDEN INDUSTRIE NACH TSCHESCHNER (2004), HEISS (2004)



PROZESSABLÄUFE IN DER OBST- UND GEMÜSEVERARBEITUNG NACH TSCHESCHNER (2004), HEISS (2004)



PROZESSABLÄUFE IN DER KLASSISCHEN SÜSSWARENINDUSTRIE NACH TSCHESCHNER (2004), HEISS (2004)


1

2

3

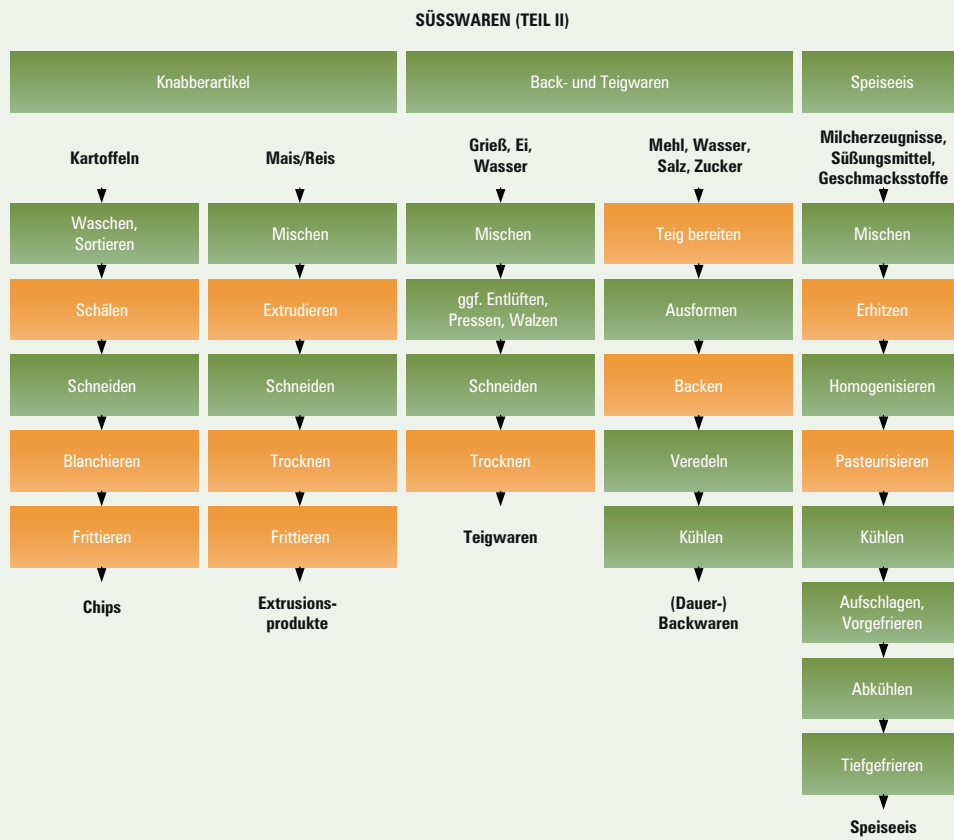
4

5

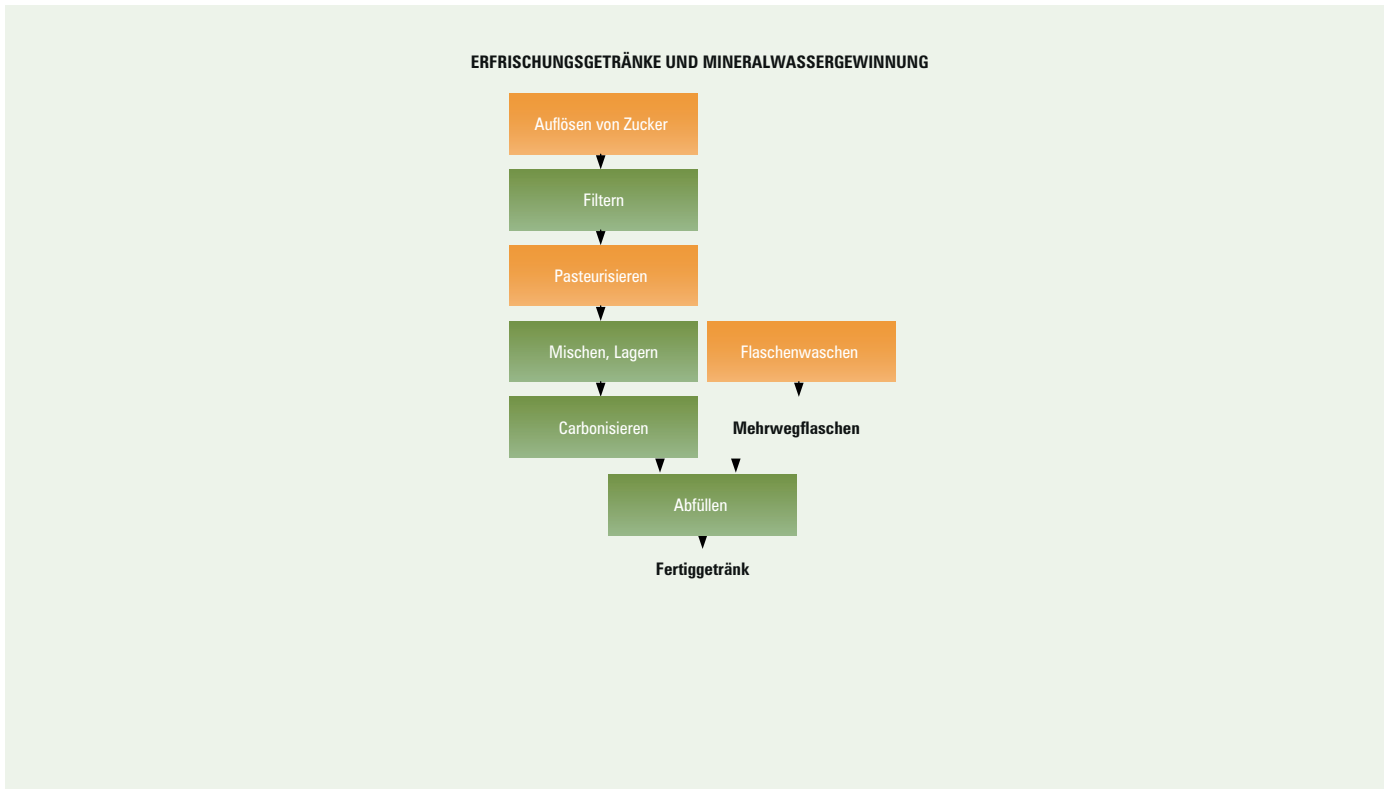
6

7

PROZESSABLÄUFE IN DER ERWEITERTEN SÜSSWARENINDUSTRIE NACH TSCHESCHNER (2004)



PROZESSABLÄUFE BEI DER HERSTELLUNG VON ERFRISCHUNGSGETRÄNKEN UND MINERALWASSER NACH TSCHEUSCHNER (2004)



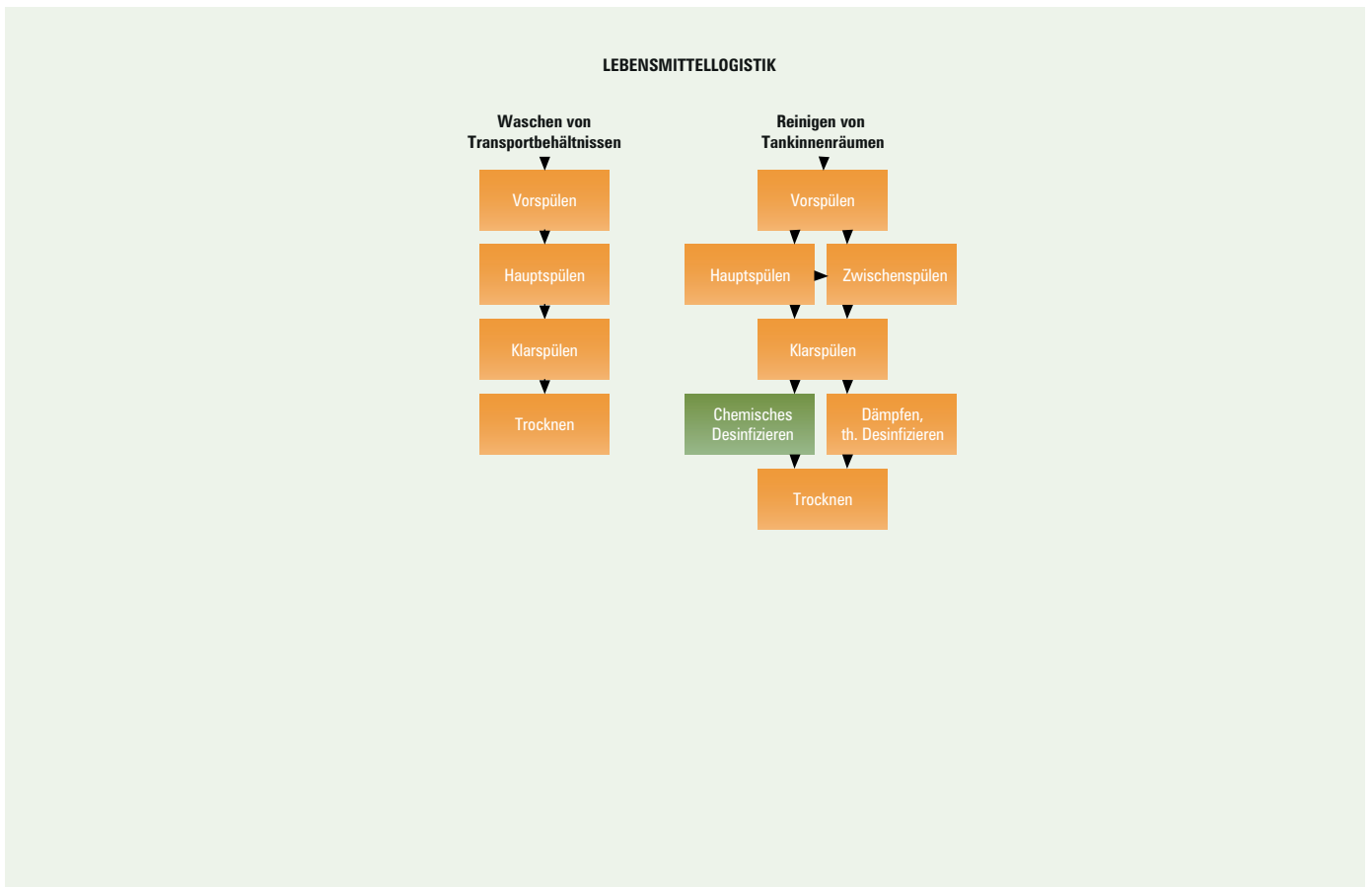
1

2

3

4

PROZESSABLÄUFE BEIM WASCHEN UND REINIGEN IN DER LEBENSMITTELLOGISTIK



5

6

7

Relevante weiterführende Informationen

Branchenübergreifend

Dokumentation weltweit bestehender solarer Prozesswärmeanlagen: www.ship-plants.info

Gewerkschaft Nahrung-Genuss-Gaststätten (NGG): Branchenberichte 2014

Heiss, R. (Hrsg.): Lebensmitteltechnologie, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2004, ISBN: 978-3540004769

Müller, T., Weiss, W., Schnitzer, H.; Brunner, C., Begander, U., Themel, O.: PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie: Potenzialstudie zur thermischen Solarenergienutzung in österreichischen Gewerbe- und Industriebetrieben, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien - Institut für Nachhaltige Technologien, Wien, 2004

Schmitt, B.; Lauterbach, C.; Vajen, K.: Leitfaden zur Nutzung solarer Prozesswärme in Brauereien, Universität Kassel, Kassel, 2012.

Download unter www.solar.uni-kassel.de

Schmitt, B.; Lauterbach, C.; Vajen, K.: Solfood – Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme, IdE Institut dezentrale Energietechnologien, Kassel, 2015. Download unter www.solar.uni-kassel.de

Statistisches Bundesamt: aktuelle Energie- sowie Konjunktur- und Strukturhebungen zum Produzierenden Gewerbe

Tscheuschner, H.-D. (Hrsg.): Grundzüge der Lebensmitteltechnik, 3. Auflage, Behr's Verlag, Hamburg, 2004, ISBN: 978-3899470857



Milchverarbeitende Industrie

Ramirez, C. A., Patel, M.L. Blok, K.: From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry, *Energy*, volume 31, issue 12, S. 1984-2004, 2006

Spreer, E.: *Technologie der Milchverarbeitung*, 10. Auflage, Behr's Verlag, Hamburg, 2011, ISBN: 978-3899478419

Schlachtung und Fleischverarbeitung

Ramirez, C. A., Patel, M.L. Blok, K.: How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries, *Energy*, volume 31, issue 12, S. 2047-2063, 2006

Sielaff, H.: *Fleischtechnologie*, Behr's, Hamburg, 1996, ISBN: 978-3860221884

Toldrà, F.: *Handbook of Meat Processing*, 19. Auflage, Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 2010, ISBN: 978-0813821825

Obst- und Gemüseverarbeitung

Schobinger, U.: *Handbuch der Lebensmitteltechnologie- Frucht- und Gemüsesäfte*, 3. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2001, ISBN: 978-3800158218

Sinha, N.K., Sidhu, J. S.: *Handbook of fruits and fruit processing*, 2. Auflage, Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 2012, ISBN: 9780813808949.

Süßwaren

Minifie, B.W., *Chocolate, cocoa, and confectionery, Science and technology*, 3. Auflage, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989, ISBN: 978-0834213012

Hoffmann, H., Mauch, W., Untze, W., *Zucker und Zuckerwaren*, 2. Auflage, Behr, Hamburg, 2002, ISBN: 978- 3860229378.

Getränkeindustrie

Schumann, G., *Alkoholfreie Getränke – Rohstoffe, Produktion, Lebensmittelrechtliche Bestimmungen*, 9. Auflage, VLB Berlin, 2002, ISBN: 978-3921690468

Kunze, W., *Technologie Brauer & Mälzer*, 9. Auflage, VLB, Berlin, 2007, ISBN: 978-3921690567

Lebensmittellogistik

DIN 10502-2: *Lebensmittelhygiene – Transportbehälter für flüssige, granulatförmige und pulverförmige Lebensmittel – Teil 2: Reinigung und Desinfektion*, ICS: 55.140; 67.020, Beuth Verlag, Berlin, 2014



Impressum

IdE Institut dezentrale Energietechnologien gemeinnützige GmbH

Ständeplatz 15
34117 Kassel

www.ide-kassel.de

Erstellt im Rahmen des Projekts

SolFood – Solarwärme für die Ernährungsindustrie

www.solfood.de

Autoren

Dr.-Ing. Bastian Schmitt
M.Sc. Felix Pag
M.Sc. Lukas Wimmer
M.Sc. Isabelle Best
M.Sc. Dominik Ritter
Prof. Dr. Klaus Vajen

Dank

Vielen Dank für die Unterstützung bei der Fertigstellung an
Christoph Schmelzer, Hannah Pag,
Paulina Majewska und Steven Meyers.

Projekt-Ansprechpartner für SolFood

Dr.-Ing. Bastian Schmitt
Leiter Prozesswärme, Thermische Energiesysteme

Artwork

formkonfekt | konzept & gestaltung | Kassel

© SolFood, Kassel 2015

In Zusammenarbeit mit

Universität Kassel
Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik
Kurt-Wolters-Str. 3
34109 Kassel

www.solar.uni-kassel.de

Förderkennzeichen: 0325541A

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Design: formaniet, Kassel



Solarwärme für die
Ernährungsindustrie

www.solfood.de



S O L A R .
UNI-KASSEL.DE

www.solar.uni-kassel.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft und
Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

www.bmwi.de