



S O L A R .
UNI-KASSEL.DE

Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland

Teil 1 des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben
„SOPREN – Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“

Förderkennzeichen: 0329601T

Autoren:

C. Lauterbach, B. Schmitt, K. Vajen

Institut für Thermische Energietechnik

Universität Kassel



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
1. Einleitung	6
2. Bisherige Potentialstudien zur solaren Prozesswärme	8
3. Industrieller Wärmebedarf in Deutschland.....	11
4. Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland	15
4.1. Methodik.....	15
4.2. Potentialermittlung	16
4.3. Branchenspezifisches Potential	19
5. Geeignete Branchen zur Nutzung solarer Prozesswärme	21
5.1. Chemische Industrie	21
5.1.1. Energieverbrauch	22
5.1.2. Prozesse.....	23
5.2. Ernährungsgewerbe	25
5.2.1. Zuckerindustrie	27
5.2.2. Milchverarbeitung.....	29
5.2.3. Schlachten und Fleischverarbeitung	35
5.2.4. Herstellung von Back- und Teigwaren	37
5.2.5. Obst- und Gemüseverarbeitung	38
5.2.6. Herstellung von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten.....	41
5.2.7. Herstellung von Bier	42
5.2.8. Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen.....	47
5.2.9. Herstellung von Süßwaren.....	48
5.2.10. Verarbeitung von Kaffee u. Tee, H. v. Kaffee-Ersatz	49
5.2.11. Mineralwassergewinnung, H. v. Erfrischungsgetränken.....	50
5.2.12. Herstellung von Futtermitteln.....	50
5.2.13. Herstellung von Malz	51
5.3. Papiergewerbe	52
5.3.1. Energieverbrauch	53
5.3.2. Prozesse.....	55

5.4. Herstellung v. Metallerzeugnissen (Oberflächenveredelung)	61
5.4.1. Energieverbrauch	62
5.4.2. Prozesse der Oberflächenveredelung	63
5.5. Maschinenbau	72
5.5.1. Energieverbrauch	72
5.6. Gummi- und Kunststoffe	74
5.6.1. Energieverbrauch	75
5.6.2. Prozesse	77
5.7. Textilgewerbe	80
5.7.1. Energieverbrauch	80
5.7.2. Prozesse	81
5.8. Holzgewerbe	83
5.8.1. Energieverbrauch	83
5.8.2. Prozesse	84
6. Geeignete Prozesse zur Nutzung solarer Prozesswärme.....	86
7. Potentialerschließung	89
7.1. Hemmnisse	89
7.2. Handlungsempfehlungen	91
7.3. Fazit	93
8. Anhang	94
Literaturverzeichnis	94
Abbildungsverzeichnis	100
Tabellenverzeichnis	102
Zusammenfassung bisheriger Potentialstudien	103

Zusammenfassung

Der Klimaschutz macht die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien in allen Bereichen notwendig. Im Jahr 2007 betrug der Anteil der deutschen Industrie am gesamten Endenergieverbrauch 28 %. Dabei kommt der thermischen Energie große Bedeutung zu, da rund drei Viertel der verbrauchten Endenergie in der Industrie zur Wärmebereitstellung genutzt wurden. 21 % des industriellen Wärmebedarfs (ca. 4,5 % des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs) liegen im, für thermische Solaranlagen sehr günstigen, Bereich unter 100 °C und weitere 10 % im Temperaturbereich von 100 bis 250 °C, der mit weiterentwickelten Komponenten solarthermisch bereitgestellt werden kann.

Auf Basis vorangegangener Potentialstudien zur solaren Prozesswärme und der Struktur des Wärmebedarfes der Industrie in Deutschland erscheinen neun Wirtschaftszweige bzw. Branchen besonders geeignet für die Nutzung von Solarwärme. Die Chemische Industrie stellt den Wirtschaftszweig mit dem insgesamt größten Potential dar, wobei zur möglichen Nutzung von Abwärme und Identifikation besonders geeigneter Prozesse weitere Untersuchungen notwendig sind. Das Ernährungsgewerbe hat aufgrund des hohen Anteils von Prozessen bei niedrigen Temperaturen wohl das größte Potential zur Nutzung solarer Prozesswärme, was auch bereits frühere Potentialstudien ermittelten. Im Papiergewerbe wird viel Wärme bei Temperaturen über 100 °C benötigt. Dies ist ungünstig für den Einsatz thermischer Solaranlagen mit Standardkomponenten, mit weiterentwickelten Kollektoren jedoch prinzipiell bereitstellbar. Im Textilgewerbe fällt der gesamte Wärmebedarf unter 100 °C an, weshalb diese Branche interessant ist, trotz eines insgesamt nur kleinen Anteils am industriellen Wärmebedarf. In der Gummi- und Kunststoffindustrie wird ca. 40 % des Energieverbrauchs für Prozesswärme aufgewendet. Das Trocknen von Pellets und Granulat ist ein interessantes Anwendungsgebiet für solare Wärme. In den Wirtschaftszweigen Herstellung von Kraftwagen, Metallerzeugnissen und Maschinenbau wird der Großteil des Wärmebedarfs für Warmwasser und Raumheizung unter 100 °C benötigt. Die Analyse dieser Wirtschaftszweige und vorangegangener Potentialstudien zeigt, dass es eine Vielzahl von industriellen Prozessen gibt, die prinzipiell für die Integration von Solarwärme geeignet sind. Viele dieser Prozesse benötigen Temperaturen unter 100 °C oder nur geringfügig darüber.

Das theoretische Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland, welches als Wärmebedarf unter 250 °C in den neun ausgewählten Wirtschaftszweigen definiert wird, beträgt ca. 130 TWh/a. Unter Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen, begrenzten Dachflächen und der Annahme einer mittleren solaren Deckungsrate von 30 % ergibt sich ein technisches Potential von 15,6 TWh/a oder 3,1 % des industriellen Wärmebedarfs. Damit liegt das für Deutschland ermittelte Potential unter dem Durchschnitt vorangegangener Studien für andere europäische Länder, die Potentiale zwischen 3 und 4,5 % des jeweiligen industriellen Wärmebedarfs berechnet haben. Trotzdem ist es absolut gesehen das mit Abstand größte in Europa. Das technische Potential für die EU25 Staaten liegt bei gut 70 TWh/a (Vannoni et al., 2008). Zur Erschließung des technischen Potentials wären in Deutschland Kollektoren mit ca. 25 GW_{th} (35 Mio. m²), in den EU25 Staaten insgesamt ca. 110 GW_{th} (155 Mio. m²) nötig, was ein erheblicher Markt für solarthermische Anlagen wäre.

1. Einleitung

Zum Erreichen der Klimaschutzziele ist die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien in allen Bereichen notwendig. Da 56 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland für die Wärmeversorgung benötigt wird, kommt dem Ausbau regenerativer Energien in diesem Bereich entscheidende Bedeutung zu. Innerhalb dieser Wärmeversorgung spielt die Prozesswärme im Jahr 2010 mit einem Anteil von 37 %, neben der Raumwärme (55 %) und Trinkwarmwasser (8 %), eine sehr wichtige Rolle. Das Ziel der Bundesregierung ist, im Jahr 2020 einen Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Wärmebereitstellung von 14 % zu erreichen. Gemäß der im Auftrag des BMU erarbeiteten Leitstudie 2010 (Nitsch et al., 2010) soll im Jahr 2050 gut die Hälfte der Nachfrage im Wärmebereich mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Im Jahr 2010 betrug deren Anteil 9,5 %.

An der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien hat die Solarthermie im Jahr 2010 einen Anteil von knapp 4 %, wobei biogene Brennstoffe (fest, flüssig und gasförmig) über 90 % ausmachen. Da das Potenzial biogener Brennstoffe begrenzt ist, wird es nicht möglich sein, deren Nutzung für die Wärmebereitstellung in größerem Umfang auszuweiten. Obwohl die Wärmenachfrage deutlich sinken soll und Biomasse insbesondere in KWK-Anlagen sehr effizient genutzt werden kann, wird im Jahr 2050 maximal 23 % des Wärmebedarfs durch Biomasse gedeckt werden können. Im Bereich der Wärmeversorgung spielt daher eine stärkere Nutzung thermische Solaranlagen und Erdwärme (inkl. Umweltwärme für Wärmepumpen) eine wichtige Rolle für den Klimaschutz (Nitsch et al., 2010).

In Deutschland waren im Jahr 2010 thermische Solaranlagen mit einer Leistung von insgesamt rund 9,8 GW_{th} (14 Mio. m²) installiert. Davon wurden 0,8 GW_{th} (1,2 Mio. m²) im Jahr 2010 neu installiert. Bisher werden die installierten Systeme allerdings fast ausschließlich zur Warmwasserbereitung und Raumheizung im Wohn- und Beherbergungsbereich sowie zur Wassererwärmung in Schwimmbädern verwendet. Thermische Solaranlagen sind im industriellen Bereich wegen des oft hohen Grundlastbedarfs und der Möglichkeit, prozessinterne Speicher einzubinden eigentlich deutlich wirtschaftlicher zu betreiben als in Wohngebäuden. Obwohl also technisch und ökonomisch nahe liegend, wurden solarthermische Anlagen aber sowohl in Deutschland, als auch in anderen Ländern bisher nur sehr selten in industrielle Prozesse integriert. Im Vergleich zur weltweit installierten Kollektorkapazität spielt die industrielle Prozesswärme mit einem Anteil von nur 0,02 % bisher praktisch keine Rolle (Vannoni et al., 2008). Nach den Ergebnissen einer internationalen Expertengruppe mit dem Titel „Solar Heat for Industrial Processes“ der Internationalen Energie Agentur (IEA) waren 2008 weltweit lediglich 90 thermische Solaranlagen mit insgesamt ca. 25 MW_{th} für industrielle Anwendungen installiert. Die bereits bestehenden Anlagen verteilen sich auf 21 Länder und 13 Industriezweige, hauptsächlich auf die Wirtschaftszweige Textilindustrie, Lebensmittel/Getränke, Transporteinrichtungen und Chemie (Vannoni et al., 2008). Bei etwa zwei Drittel aller erhobenen Anlagen wurden Flachkollektoren verwendet, wobei die Prozesstemperaturen zwischen 60 °C und 90 °C liegen. Die Bandbreite reicht von Kleinanlagen mit 6 kW_{th} zur Unterstützung eines Entfettungsprozess in Österreich, bis hin zu einer 1,9 MW_{th} Anlage zur solaren Klimatisierung einer Lagerhalle in Griechenland.

In Deutschland wurden bis zum Jahr 2011 neun Anlagen zur Prozesswärmebereitstellung erfasst. Zwei Anlagen wurden in metallverarbeitenden Betrieben zur Beheizung von Entfettungs- und Galvanikbädern errichtet (Meyer, 2007). In einer Lackiererei und einer Brauerei wurden Anlagen zur Erwärmung von Luft zum Trocknen installiert, in zwei weiteren Brauereien zur Erwärmung von Brauwasser und Beheizung einer Flaschenwaschmaschine. Zur Warmwasserbereitstellung dient die Solaranlage bei einem Feinkosthersteller und einer Wäscherei, bei der zusätzlich Kesselspeise- und -zusatzwasser aufgeheizt wird. Schließlich wurde eine Anlage zur solaren Dampferzeugung realisiert.

Für verschiedene europäische Länder und Regionen wurden in der Vergangenheit Potentialstudien zur Nutzung solarer Prozesswärme durchgeführt. Für Deutschland existierte bisher keine umfassende Potentialstudie, es wurden lediglich einzelne Wirtschaftszweige untersucht. In der vorliegenden Studie wird nach einer Analyse des industriellen Wärmebedarfs das Potential der solaren Prozesswärme in Deutschland ermittelt und diejenigen Branchen identifiziert und genauer beschrieben, die sich für die Nutzung solarer Wärme besonders eignen. Der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), der ebenfalls einen, wenn auch wesentlich niedrigeren, Prozesswärmebedarf hat, wird in dieser Studie nicht betrachtet.

Im zweiten Kapitel „Bisherige Potentialstudien zur solaren Prozesswärme“ wird die Methodik existierender Studien vorgestellt und deren Ansätze beispielhaft anhand von zwei umfassenden Studien gezeigt. Des Weiteren werden die Ergebnisse vorangegangener Studien zusammengefasst und verglichen.

Im dritten Kapitel „Industrieller Wärmebedarf in Deutschland“ wird die Struktur des Wärmebedarfs der deutschen Industrie dargestellt, analysiert und die Anteile der jeweiligen Temperaturbereiche für die Nutzung solarer Prozesswärme ermittelt.

Im vierten Kapitel „Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland“ wird zunächst die Methodik dieser Studie vorgestellt und anschließend die Ermittlung des Potentials beschrieben sowie die Ergebnisse für die gesamte Industrie und einzelne Branchen dargestellt.

Im fünften Kapitel „Geeignete Branchen zur Nutzung solarer Prozesswärme“ wird im Detail auf die vorher identifizierten Branchen eingegangen. Dazu werden die Branchen kurz allgemein beschrieben, auf ihren Energieverbrauch eingegangen und schließlich wichtige Prozesse für die Nutzung solarer Wärme erläutert.

Im sechsten Kapitel „Geeignete Prozesse zur Nutzung solarer Prozesswärme“ werden die Ergebnisse vorangegangener Studien hinsichtlich der Eignung industrieller Prozesse zur Integration thermischer Solaranlagen mit den Erkenntnissen der Branchenrecherche aus Kapitel 5 dieser Studie zusammengefasst und dargestellt.

Im letzten Kapitel werden Hemmnisse für die weitere Erschließung industrieller Prozesswärme durch thermische Solaranlagen aufgeführt und Handlungsempfehlungen für Forschung, Industrie und Politik gegeben.

2. Bisherige Potentialstudien zur solaren Prozesswärme

In der Vergangenheit wurden für verschiedene Länder und Regionen Potentialstudien durchgeführt und einige Branchen und Prozesse als geeignet für die Nutzung solarer Prozesswärme identifiziert. Die wesentlichen Ergebnisse hinsichtlich des quantitativen Potentials wurden im Task 33/IV „Solar Heat for Industrial Processes“ der Internationalen Energieagentur zusammengefasst (Vannoni et al., 2008). Die ermittelten Potentiale sind in Abbildung 2-1 aufgeführt und dienen in Kapitel 4 zur Einordnung des ermittelten Potentials für Deutschland. Die existierenden Studien unterscheiden sich wesentlich in ihrer Methodik zur Berechnung des Potentials solarer Prozesswärme. Die Ansätze reichen von der Berechnung des Potentials auf Basis des industriellen Energie- bzw. Wärmeverbrauchs, über die Bestimmung mittels verfügbarer Dachflächen bis zur Hochrechnung der Ergebnisse aus Fallstudien einzelner Industriebetriebe. Für die Wahl einer geeigneten Methodik für die vorliegende Studie wurde das Vorgehen der bisher durchgeführten Potentialstudien zur Nutzung solarer Prozesswärme analysiert und verglichen. Generell lässt sich das Vorgehen unterscheiden in:

- **Top-Down Ansatz:** es werden Daten für die gesamte Industrie analysiert und zur Auswahl von Wirtschaftszweigen bzw. zur Ermittlung des Potentials genutzt.
- **Bottom-Up Ansatz:** einzelne Betriebe werden in Fallstudien analysiert und die Ergebnisse über Daten zur Anzahl von Betrieben hochgerechnet.

Im Folgenden wird das Vorgehen ausgewählter Potentialstudien kurz zusammengefasst und deren Ergebnisse beschrieben, die in Kapitel 4 zur Auswahl der Wirtschaftszweige dieser Studie genutzt werden sollen.

Das Projekt „**POSHIP – The Potential of Solar Heat for Industrial Processes**“ (Schweiger et al., 2001) aus dem Jahr 2001, das als Beispiel für den Bottom-Up Ansatz dienen soll, hatte zum Ziel das Potential für solare Wärme bei niedrigen ($<60\text{ °C}$) und mittleren ($60..150\text{ °C}$) Temperaturen auf der Iberischen Halbinsel zu quantifizieren. Da keine detaillierten Informationen zum industriellen Wärmebedarf und dessen Temperaturniveaus vorlagen, wurden diese durch Fragebögen und Interviews erhoben. Auf dieser Basis wurden jene Industriezweige identifiziert, die günstige Bedingungen für die Nutzung solarer Wärme aufweisen. Um die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit solarer Wärmebereitstellung genauer bewerten zu können, wurden Fallstudien durchgeführt, in denen Daten zum Wärmebedarf bzw. Lastprofil, der herkömmlichen Wärmeversorgung und den verfügbaren Dach- und Bodenflächen erhoben wurden. Das technische Potential für einzelne Betriebe wurde ermittelt, indem die maximal zur Verfügung stehende Dachfläche abgeschätzt und eine maximale solare Deckungsrate von 60 % für Prozesse mit konstanter Nachfrage angesetzt wurde. Für das wirtschaftliche Potential wurde eine Kostenreduktion für Solarsysteme in den folgenden 10 Jahren von 50 % und eine öffentliche Förderung von 25 % angenommen und ermittelt, in welchen Fällen Solarwärme konkurrenzfähig zur fossilen Wärmebereitstellung ist. Da bei den meisten Firmen die verfügbare Dachfläche der begrenzende Faktor war, gab es zwischen dem technischen und wirtschaftlichen Potential keinen Unterschied. Daraufhin konnte ein technisch-wirtschaftliches Potential für einzelne Betriebe ermittelt werden, welches mit den

Daten aus einer Umfrage und den Interviews zu einem technisch-wirtschaftlichen Potential für die Spanische und Portugiesische Industrie hochgerechnet wurde.

In der Studie „**PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie**“ (Müller et al., 2004), mit der das Vorgehen bei einem Top-Down Ansatz gezeigt werden soll, wurde 2004 die Nutzung thermischer Solaranlagen in Industrie- und Gewerbebetrieben in Österreich untersucht. In einem ersten Schritt wurde der Energiebedarf der österreichischen Industrie analysiert und der Niedertemperatur-Wärmebedarf (Prozesse bis 250 °C) bestimmt. Anschließend wurden durch eine schriftliche Befragung von Industriebetrieben und eine Analyse vorangegangener Potentialstudien diejenigen Wirtschaftszweige identifiziert, die für den Einsatz solarthermischer Anlagen in Frage kommen. Der Niedertemperatur-Wärmebedarf der ausgewählten Branchen wurde als theoretisches Potential ermittelt, wobei zwischen kurzfristigem (bis 100 °C) und mittelfristigem (bis 250 °C) unterschieden wird. Das theoretische Potential wird dann aufgrund von betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und möglichen Steigerungen der Energieeffizienz um 60 % reduziert und eine mittlere solare Deckungsrate von 40 % angesetzt, um ein kurzfristiges und mittelfristiges technisch-wirtschaftliches Potential zu berechnen.

Nachfolgend werden die ermittelten Potentiale bisheriger Studien zur Nutzung solarer Prozesswärme dargestellt und eine Übersicht über die als geeignet identifizierten Wirtschaftszweige gegeben. Die Ergebnisse der Potentialstudien, die ein quantitatives Potential für ein Land angeben, sind in Abbildung 2-1 zusammengefasst.

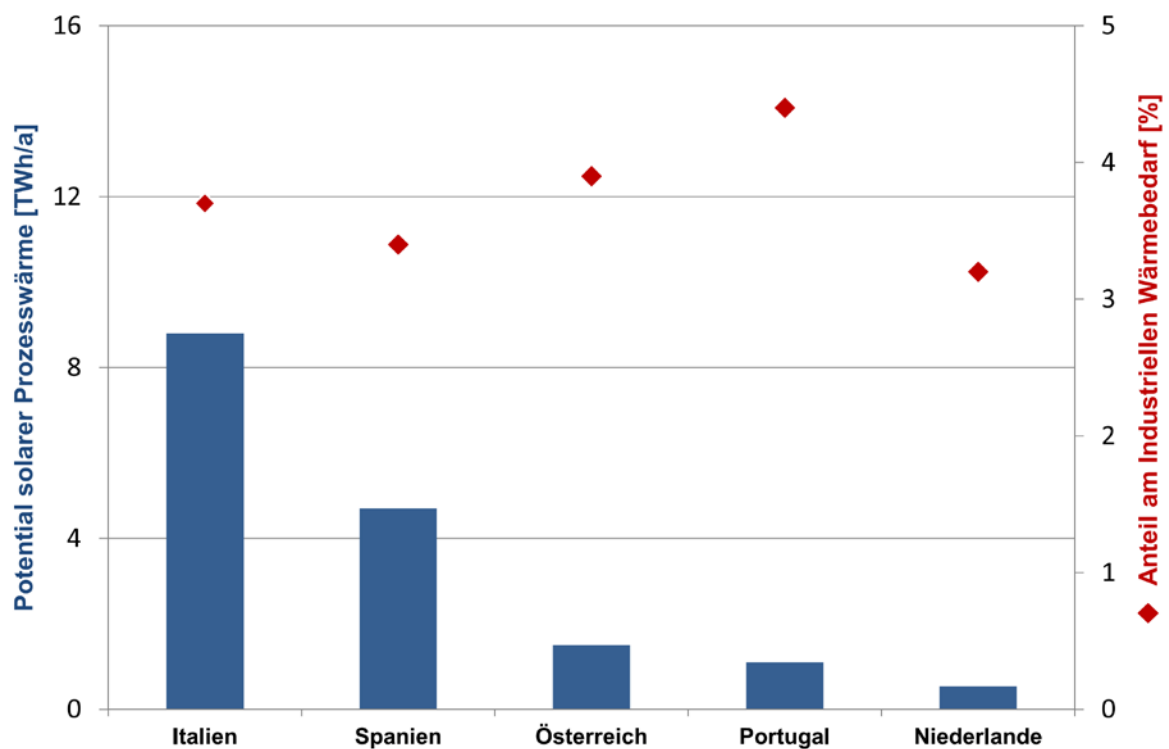


Abbildung 2-1 Potential für solare Prozesswärme und Anteil am industriellen Wärmebedarf ausgewählter Länder (Vannoni et al., 2008)

Die Abbildung zeigt, dass das Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme im Bereich von 3,2 bis 4,5 % des industriellen Wärmebedarfs des entsprechenden Landes liegt. Das gesamte Potential für Österreich, Spanien, Portugal, Italien und die Niederlande liegt bei 16,7 TWh/a. In einer weiteren Untersuchung für Zypern (Kalogirou, 2003) wird kein quantitatives Potential angegeben, sodass diese nicht für den Vergleich berücksichtigt werden konnte. Gleiches gilt für die Studie zu einzelnen Branchen in Griechenland, Deutschland und Wallonie (Belgien) (Aidonis et al., 2002), Victoria (Australien) (McLeod et al., 2005) und Schweden (Kovacs et al., 2003), da die Ergebnisse zum Teil nur für sehr kleine Teile eines Landes gelten, nur wenige Branchen untersucht oder das Potential nur durch eine sehr grobe Abschätzung ermittelt wurden. Eine Zusammenfassung der erwähnten Studien findet sich im Anhang.

In allen genannten Studien wurden einzelne Wirtschaftszweige bzw. Branchen auf ihre Eignung zur Nutzung solarer Prozesswärme untersucht. Teilweise wurden zusätzlich innerhalb der Wirtschaftszweige Prozesse zur Integration thermischer Solaranlagen identifiziert. In Tabelle 2-1 sind die als geeignet identifizierten Wirtschaftszweige vorangegangener Potentialstudien zusammengefasst.

Tabelle 2-1: Identifizierte Branchen für die Nutzung solarer Prozesswärme aus vorangegangenen Studien

Wirtschaftszweig	Österreich	Griechenland	Deutschland	Italien	Iberische Halbinsel	Niederlande	Victoria (Australien)	Wallonie (Belgien)
Baugewerbe	X							
Chemische Industrie		X		X	X		X	X
Ernährungsgewerbe	X	X	X	X	X	X	X	X
Lederwaren		X		X	X			
Maschinenbau							X	
Automobilindustrie	X	X		X	X			
Papiergewerbe		X	X	X	X	X	X	X
Gummi u. Kunststoffe	X							
Textilgewerbe	X	X	X	X	X	X	X	X
Tabakindustrie		X		X	X			X

Die Tabelle zeigt, dass einige Wirtschaftszweige, wie z.B. das Ernährungsgewerbe, in allen vorangegangenen Studien als vielversprechend identifiziert wurden, wohingegen andere nur ein einziges Mal erwähnt sind. Dies kann dadurch begründet werden, dass bei manchen Studien lediglich wenige Subsektoren einer Branche untersucht wurden bzw. nur wenige Fragebögen zur Verfügung standen, was die Einschätzung der Eignung sehr schwer macht. Wie oben erwähnt, wurden in einigen Studien auch geeignete Prozesse zur Einbindung solarer Wärme identifiziert. Diese werden in Kapitel 6 zusammen mit den Ergebnissen der Analyse der Wirtschaftszweige dieser Studie dargestellt, um eine Gesamtübersicht der geeigneten Branchen und Prozesse zu ermöglichen.

3. Industrieller Wärmebedarf in Deutschland

Deutschland benötigte im Jahr 2007 zur Deckung seines Energiebedarfs 2.384 TWh an Endenergie. Der Energieverbrauch gliedert sich wie in Abbildung 3-1 dargestellt in vier große Sektoren: Haushalte, Industrie, Verkehr und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD).

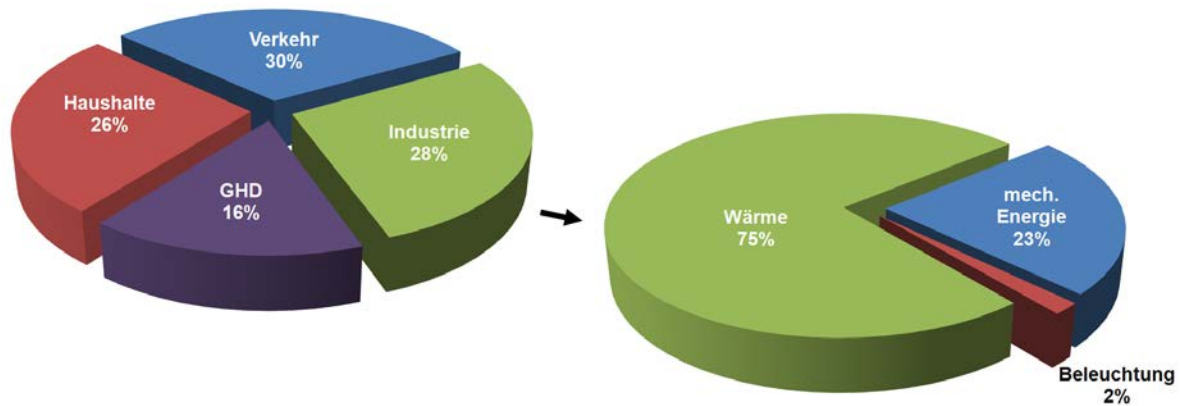


Abbildung 3-1: Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2007 und Aufteilung nach Anwendungen im industriellen Sektor (BMWi, 2010b)

Der anteilige Endenergiebedarf der deutschen Industrie betrug mit 678 TWh dabei 28 %. Große Bedeutung kommt der thermischen Energie im industriellen Sektor zu. Rund drei Viertel der verbrauchten Endenergie wurden zur Bereitstellung von Prozesswärme, Raumwärme und Warmwasser aufgewendet. Knapp ein Viertel der Nutzenergie entfällt auf die Bereitstellung von mechanischer Energie, ein sehr geringer Teil auf Beleuchtung (BMWi, 2010b). Zur Wärmeerzeugung werden wie aus Abbildung 3-2 ersichtlich hauptsächlich fossile Brennstoffe eingesetzt.

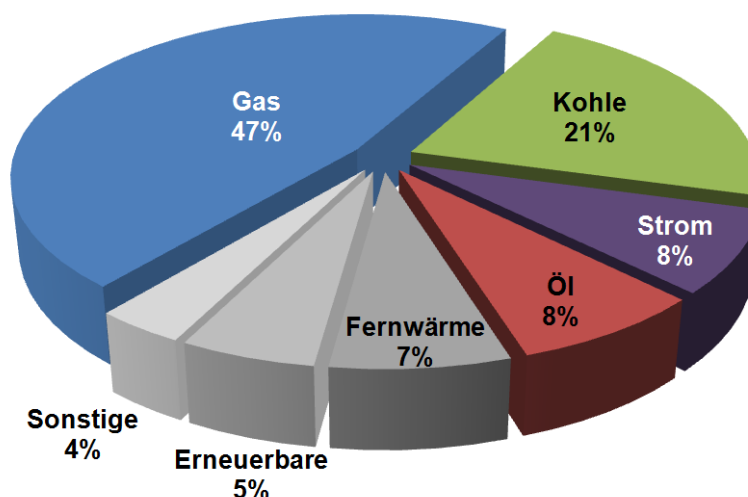


Abbildung 3-2: Energieträger für die Bereitstellung von Prozesswärme im Jahr 2007 (BMWi, 2010b)

Betrachtet man ausschließlich den industriellen Sektor steht die Verfeuerung von Gas mit einem Anteil von rund 47 % an erster Stelle. Es folgt der Einsatz fester Brennstoffe, vorwie-

gend als Koks in der Stahlerzeugung, mit ca. 21 %. Elektrische Energie wird aufgrund der guten Verfügbarkeit und vielfältiger Einsatzmöglichkeiten mit steigendem Anteil in verschiedensten Prozessen zur Wärmeerzeugung (Elektrothermie) eingesetzt und hat einen Anteil von ca. 8 % (BMW, 2010b). Für die Identifikation von Wirtschaftszweigen, die für den Einsatz thermischer Solaranlagen besonders geeignet sind, ist eine genauere Betrachtung des Wärmeverbrauchs und dessen Temperaturniveaus notwendig. Tabelle 3-1 zeigt die Struktur des industriellen Wärmebedarfs gegliedert nach Temperaturniveau.

Tabelle 3-1: Struktur des industriellen Wärmebedarfs im Jahr 2007 in TWh/a, abgeleitet aus branchenspezifischen Endenergiekennwerten (Nast et al., 2010)

Wirtschaftszweig	WW +RH	Prozesswärme				Summe	Anteil
		<100°C	100 ..500°C	500 ..1000°C	>1000°C		
Ernährungsgewerbe	7,3	9,4	11,6	0	0	28,3	5,6%
Tabakverarbeitung	0,0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,0%
Textilgewerbe	2,1	2,9	0	0	0	5,0	1,0%
Bekleidungsgewerbe	0,2	0,2	0	0	0	0,4	0,1%
Ledergewerbe	0,2	0,2	0	0	0	0,4	0,1%
Holzgewerbe	0,3	1,3	0,3	0	0	1,9	0,4%
Papiergewerbe	2,9	3,0	11,1	0	0	17,0	3,3%
Verlags-/Druckgewerbe	0,9	0,4	5,1	0	0	6,4	1,3%
Chemische Industrie	8,3	15,4	24,0	51,2	12,6	111,5	21,9%
H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren	1,9	1,0	3,8	0	0	6,7	1,3%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden	4,2	1,3	2,0	29,6	61,2	98,3	19,3%
Metallerzeugung und -bearbeitung	5,3	0,9	2,9	34,0	133,5	176,6	34,7%
H.v. Metallerzeugnissen	6,5	2,0	1,6	0,9	2,1	13,1	2,6%
Maschinenbau	5,6	1,7	1,3	0,6	1,7	10,9	2,1%
H.v. Büromaschinen, Datenverarbeit. u. -einrichtungen	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1%
H.v. Geräten der Elektrizitäts- erzeugung, -verteilung, u.Ä.	2,8	0,8	0,6	0,3	0,9	5,4	1,1%
Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik	0,9	0,3	0,2	0,1	0,3	1,9	0,4%
Medizin-, Mess-, Steuer-, Regelungs- technik, Optik	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	1,1	0,2%
H.v. Kraftwagen u- Kraftwagenteilen	9,9	3,0	2,3	1,1	3,1	19,4	3,8%
Sonstiger Fahrzeugbau	1,4	0,4	0,3	0,1	0,4	2,8	0,5%
H.v. Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten	0,5	0,3	0,7	0,0	0,1	1,6	0,3%
Recycling	0,0	0	0	0	0	0,0	0,0%
Summe	61,9	44,8	67,9	118,1	216,2	508,6	100,0%
Anteil	12,2%	8,8%	13,3%	23,2%	42,5%	100,0%	

Angaben ohne Einheit in TWh; WW: Warmwasser; RH: Raumheizung; 0,0 > 0;

Bei der Betrachtung der Verteilung des industriellen Wärmebedarfs fällt die Dominanz der Wirtschaftszweige der Metallherzeugung- und -bearbeitung, der Chemischen Industrie und des Glas- und Keramikgewerbes auf. Diese Wirtschaftszweige haben zusammen einen Anteil von ca. 76 % am gesamten Wärmebedarf der deutschen Industrie. Weitere Wirtschaftszweige mit nicht vernachlässigbaren Anteilen sind das Ernährungsgewerbe, die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteile, das Papiergewerbe, die Herstellung von Metallherzeugnissen und der Maschinenbau mit zusammen ca. 17 % des industriellen Wärmebedarfs.

Bei der Betrachtung der Verteilung bezüglich des Temperaturniveaus ist der hohe Anteil des Hochtemperaturbereichs ab 500 °C mit knapp 66 % offensichtlich. Hochtemperaturprozesse finden sich vorwiegend in grundstoffverarbeitenden Industriezweigen. Beispiel hierfür sind Trennprozesse in der Mineralölverarbeitung, welche Teil der Chemischen Industrie ist sowie Aufschließ- und Schmelzprozesse in der Metallherzeugung. Im mittleren Temperaturbereich von 100 bis 500 °C fallen nach Tabelle 3-1 ca. 13 % des industriellen Wärmebedarfs an, im Niedertemperaturbereich ca. 21 %. Dabei sind sowohl Prozesswärme unter 100 °C, als auch die Bereitstellung von Warmwasser und Raumheizung berücksichtigt. In diesem, für die Nutzung solarer Wärme besonders interessanten, Temperaturbereich weist die Chemische Industrie mit 22 % den höchsten Prozesswärmebedarf auf. Dieser Bedarf ist primär Wasch- und Trocknungsprozessen, als auch Eindampfverfahren geschuldet. Im Niedertemperaturbereich (PW <100°C und WW+RH) folgt das Ernährungsgewerbe mit 16 %. Die Wirtschaftszweige Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteile, Herstellung von Metallherzeugnissen, Maschinenbau, Papiergewerbe, Metallherzeugung und -bearbeitung und Textilgewerbe mit einem Anteil von zusammen 43 %. Somit haben die 8 genannten Wirtschaftszweige einen Anteil von insgesamt 81 % am industriellen Wärmebedarf bis 100 °C.

Zur Einschätzung des Potentials für die Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland ist insbesondere der Temperaturbereich unterhalb von 250 °C interessant. Daher wurde im nachfolgenden Kapitel 4 der Temperaturbereich von 100..500 °C mit Hilfe der Angaben aus Tabelle 4-2 weiter unterteilt. Abbildung 3-3 zeigt als Ergebnis dieser Unterteilung einen Überblick über die Verteilung des industriellen Wärmebedarfs auf relevante Temperaturbereiche.

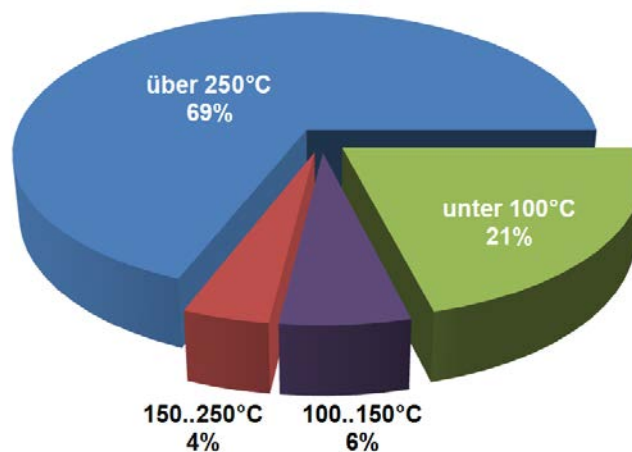


Abbildung 3-3: Industrieller Wärmebedarf in Deutschland nach Temperaturniveau für das Jahr 2007

Die Abbildung zeigt, dass 21 % des industriellen Wärmebedarfs im, für thermische Solaranlagen sehr günstigen, Bereich unter 100 °C liegen. Weitere 6 % liegen im Temperaturbereich von 100 bis 150 °C, der mit weiterentwickelten Komponenten solarthermisch bereitgestellt werden kann. Der Temperaturbereich von 150 bis 250 °C, der mit konzentrierenden Kollektoren prinzipiell erreicht werden kann, hat nur einen geringen Anteil von 4 % am Wärmebedarf der Industrie. Hochtemperaturprozesse mit Temperaturen über 250 °C machen einen Anteil von 69 % aus, wobei nur 3 % im Bereich von 250 bis 500 °C liegen (Nast et al., 2010). Die Daten aus Tabelle 3-1 ergeben leicht abweichende Werte als in Abbildung 3-3 dargestellt, da hierfür eine andere Quelle verwendet wurde, um den Temperaturbereich von 100 bis 500 °C detaillierter darstellen zu können.

In der Literatur finden sich teilweise abweichende Angaben zu der ermittelten Verteilung des industriellen Wärmebedarfs. (Werner, 2006) gibt an, dass ca. ein Drittel des gesamten industriellen Wärmebedarfs in Europa bei Temperaturen unter 100 °C und fast 60 % bei Temperaturen unter 400 °C benötigt werden. In (Schweiger et al., 2000) wird der Anteil des industriellen Wärmebedarfs bei Temperaturen unter 250 °C mit über 50 % abgeschätzt. Die in den genannten Veröffentlichungen angegebenen Anteile des industriellen Wärmebedarfs bei niedrigen und mittleren Temperaturen erscheinen aufgrund der Daten aus Tabelle 3-1 und Tabelle 4-2 sehr hoch. Dies lässt sich u.a. mit der Dominanz der Wirtschaftszweige Metallherzeugung- und -bearbeitung, Chemische Industrie und Glas- und Keramikgewerbe erklärt werden, die jeweils einen großen Teil ihres Wärmebedarfs bei hohen Temperaturen benötigen.

Die Verteilung des industriellen Wärmebedarfs auf die einzelnen Branchen und innerhalb dieser auf die verschiedenen Temperaturniveaus wird im Kapitel 4 zur Ermittlung des Potentials für solare Prozesswärme in Deutschland genutzt. Des Weiteren werden die Ergebnisse vorangegangener Potentialstudien zur solaren Prozesswärme für die Potentialermittlung berücksichtigt. Aufgrund der im letzten Absatz aufgeführten Angaben aus der Literatur lässt sich schließen, dass das im Folgenden ermittelte Potential für Deutschland eine eher konservative Angabe ist.

4. Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland

In diesem Kapitel wird zunächst die verwendete Methodik vorgestellt und anschließend die Ermittlung des Potentials solarer Prozesswärme in Deutschland beschrieben. Schließlich werden das Potential der einzelnen Wirtschaftszweige und die Anwendungsgebiete solarer Prozesswärme innerhalb der Wirtschaftszweige kurz erläutert.

4.1. Methodik

In diesem Abschnitt soll zunächst die verwendete Methodik zur Potentialermittlung vorgestellt und die später verwendeten Potentialbegriffe definiert werden. Folgende Schritte wurden zur Potentialermittlung durchgeführt:

- **Analyse des industriellen Wärmebedarfs**

In einem ersten Schritt wird der industrielle Wärmebedarf (Tabelle 3-1) insgesamt analysiert und die Anteile der relevanten Temperaturbereiche berechnet, wie in Abbildung 3-3 dargestellt. Der maximal substituierbare Wärmebedarf ($<250\text{ }^{\circ}\text{C}$) kann bestimmt werden.

- **Auswahl geeigneter Wirtschaftszweige**

Auf Basis der Ergebnisse bisheriger Potentialstudien zur Nutzung solarer Prozesswärme wird eine erste Auswahl geeigneter Wirtschaftszweige getroffen. Anschließend wird diese Auswahl unter Berücksichtigung der Struktur des Wärmebedarfes einzelner Wirtschaftszweige verfeinert.

- **Ermittlung des theoretischen Potentials**

Durch Analyse des Wärmebedarfs und Berechnung der Anteile von relevanten Temperaturbereichen der ausgewählten Wirtschaftszweige wird das theoretische Potential ermittelt. Dies ist definiert als der Wärmebedarf unter $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ der ausgewählten Wirtschaftszweige.

- **Ermittlung des technischen Potentials**

Unter Berücksichtigung von begrenzten Dachflächen und Effizienzmaßnahmen, die die Nutzung solarer Prozesswärme einschränken, sowie der Annahme einer mittleren solaren Deckungsrate kann das technische Potential ermittelt werden.

- **Ermittlung der benötigten Kollektorfläche bzw. Marktvolumens**

Mit Hilfe der Annahme eines mittleren spezifischen Solarertrages kann die benötigte Kollektorfläche zur Erschließung des technischen Potentials bestimmt werden, die auch das Marktvolumen für solare Prozesswärme in Deutschland beschreibt.

4.2. Potentialermittlung

Bevor das Potential der Nutzung solarer Prozesswärme in der Deutschen Industrie berechnet werden kann, müssen die Wirtschaftszweige festgelegt werden, die für die Potentialermittlung berücksichtigt werden. Dafür werden die Ergebnisse vorangegangener Potentialstudien zur solaren Prozesswärme ebenso berücksichtigt, wie die Struktur des Wärmebedarfes der Industrie in Deutschland. Von den in Tabelle 2-1 aufgeführten Wirtschaftszweigen werden die Tabakverarbeitung, das Ledergewerbe und das Baugewerbe nicht in die Berechnung einbezogen, da ihr Wärmebedarf vernachlässigbar ist. Zusätzlich zu den in Kapitel 3 erwähnten Wirtschaftszweigen, werden das Holzgewerbe und die Herstellung von Metallerzeugnissen für die Potentialermittlung berücksichtigt, da beide einen relativ hohen Wärmebedarf bei niedrigen Temperaturen und niedrigen Wärmebedarf bei hohen Temperaturen haben. Des Weiteren sind schon mehrere thermische Solaranlagen in Galvanikbetrieben installiert, die Teil des Wirtschaftszweiges der Herstellung von Metallerzeugnissen sind, was die Machbarkeit der Nutzung solarer Prozesswärme in diesem Bereich demonstriert. Tabelle 4-1 zeigt die Struktur des Wärmebedarfs der berücksichtigten Wirtschaftszweige.

Tabelle 4-1: Struktur des Wärmebedarfs der berücksichtigten Wirtschaftszweige (Nast et al., 2010)

Wirtschaftszweig	WW +RH	Prozesswärme				Summe	Anteil*
		<100°C	100 ..500°C	500 ..1000°C	>1000°C		
Ernährungsgewerbe	7,3	9,4	11,6	0	0	28,3	5,6%
Textilgewerbe	2,1	2,9	0,0	0	0	5,0	1,0%
Holzgewerbe	0,3	1,3	0,3	0	0	1,9	0,4%
Papiergewerbe	2,9	3,0	11,1	0	0	17,0	3,3%
Chemische Industrie	8,3	15,4	24,0	51,2	12,6	111,5	21,9%
H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren	1,9	1,0	3,8	0	0	6,7	1,3%
H.v. Metallerzeugnissen	6,5	2,0	1,6	0,9	2,1	13,1	2,6%
Maschinenbau	5,6	1,7	1,3	0,6	1,7	10,9	2,1%
H.v. Kraftwagen u- Kraftwagenteilen	9,9	3,0	2,3	1,1	3,1	19,4	3,8%
Summe	44,8	39,8	55,9	53,8	19,5	213,8	42,0%
Anteil*	8,8%	7,8%	11,0%	10,6%	3,8%	42,0%	

*am gesamten industriellen Wärmebedarf; Angaben ohne Einheit in TWh; WW: Warmwasser; RH: Raumheizung

Die Tabelle zeigt, dass die ausgewählten Wirtschaftszweige einen erheblichen Anteil von gut 40 % des Wärmebedarfs der deutschen Industrie ausmachen. Dabei wird auch der Wärmebedarf für Heißwasser und Raumheizung berücksichtigt, da dieser in vielen Betrieben nicht einzeln zu bemessen ist und von den gleichen Wärmeversorgungsnetzen gespeist wird, wie die Produktionsprozesse. Weiterhin wird in vielen Betrieben Warmwasser direkt für Produktionsprozesse, oder aber für die Reinigung von Produktionsanlagen benötigt. Für die Berechnung des Potentials zur Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland ist es zunächst erforderlich, den Temperaturbereich von 100..500 °C weiter zu unterteilen, da nur der Wärmebedarf bis zu einem Temperaturniveau von 250 °C berücksichtigt werden soll. Tabelle 4-2 zeigt die Verteilung des industriellen Wärmebedarfs bis 500 °C für das Ernährungsgewerbe

und die Chemische Industrie sowie für alle verbleibenden Wirtschaftszweige. Da diese Tabelle auf einer anderen Quelle beruht, weichen die Werte leicht von Tabelle 4-2 ab.

Tabelle 4-2: Industrieller Wärmebedarf bis zu 500°C ohne WW und RH (Hofer, 1995)

	<100 °C	100 ..150°C	150 ..200°C	200 ..250°C	250 ..300°C	300 ..500°C	Andere
alle Wirtschaftszweige	12,7%	11,3%	4,1%	1,2%	0,8%	8,1%	61,9%
Ernährungsgewerbe	42,9%	40,7%	16,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Chemische Industrie	22,5%	9,2%	7,0%	6,1%	3,0%	8,0%	44,3%

Zur Berechnung des Potentials für solare Prozesswärme in Deutschland, wird in einem ersten Schritt das theoretische Potential ermittelt, indem der Prozesswärmebedarf bis 250 °C und der Wärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung der als vielversprechend identifizierten Wirtschaftszweige addiert werden. Die Werte aus Tabelle 4-2 für den jeweiligen Wirtschaftszweig werden verwendet, um den Wärmebedarf im Bereich von 100 bis 500 °C zu unterteilen, der in Tabelle 4-1 angegeben ist. Die Struktur des Wärmebedarfs mit einer detaillierteren Aufschlüsselung des Temperaturbereichs von 100..500 °C zeigt Tabelle 4-3.

Tabelle 4-3: Struktur des Wärmebedarfs bis 250°C der berücksichtigten Wirtschaftszweige

Wirtschaftszweig	WW +RH	Prozesswärme				Summe	Anteil*
		<100°C	100 ..150°C	150 ..250°C	>250°C		
Ernährungsgewerbe	7,3	9,4	8,3	3,3	0	28,3	5,6%
Textilgewerbe	2,1	2,9	0	0	0	5,0	1,0%
Holzgewerbe	0,3	1,3	0,2	0,2	0	1,9	0,4%
Papiergewerbe	2,9	3,0	5,5	5,5	0	16,9	3,3%
Chemische Industrie	8,3	15,4	6,6	9,4	71,7	111,5	21,9%
H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren	1,9	1,0	1,7	0,8	1,3	6,8	1,3%
H.v. Metallerzeugnissen	6,5	2,0	0,7	0,3	3,5	13,0	2,6%
Maschinenbau	5,6	1,7	0,6	0,3	2,8	11,0	2,2%
H.v. Kraftwagen u- Kraftwagenteilen	9,9	3,0	1,0	0,5	5,0	19,5	3,8%
Summe	44,8	39,8	24,6	20,3	84,3	213,8	42,0%
Anteil*	8,8%	7,8%	4,8%	4,0%	16,6%	42,0%	

*am gesamten industriellen Wärmebedarf; Angaben ohne Einheit in TWh; WW: Warmwasser; RH: Raumheizung

Für Papier- und Holzgewerbe wird jeweils der gesamte Wärmebedarf im Bereich 100 bis 500 °C aus Tabelle 4-1 für den Wärmebedarf bis 250 °C berücksichtigt, da es in diesen Wirtschaftszweigen gemäß (Rudolph und Wagner, 2008) keinen Wärmebedarf über 200 °C gibt. Wie Abschnitt 5.3 zeigt, gibt es zumindest für das Papiergewerbe einzelne Prozesse wie z.B. das Trocknen, bei denen höhere Temperaturen als 250 °C benötigt werden. Das ermittelte Potential im Papiergewerbe über 100 °C ist daher mit einer Unsicherheit behaftet. Für die anderen, in Tabelle 4-1 aufgelisteten, Wirtschaftszweige werden jeweils ca. 17 % des Wärmebedarfs von 100 bis 500 °C für die Ermittlung des theoretischen Potentials berücksichtigt, was aus der Zeile für alle Wirtschaftszweige aus Tabelle 4-2 hervorgeht, wenn man die Werte der Bereiche von 100 bis 250 °C addiert. Mit den zuvor aufgeführten Werte, dem

Prozesswärmebedarf unter 100 °C und dem Wärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung kann das theoretische Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland mit ca. 130 TWh/a berechnet werden. Selbstverständlich kann das ermittelte theoretische Potential nicht komplett mit thermischer Solarenergie bereitgestellt werden, sondern unterliegt weiteren Einschränkungen. Zunächst können sowohl der Bedarf an Prozesswärme, wie auch der Bedarf für Heißwasser und Raumheizung durch Energieeffizienzmaßnahmen wie Wärmerückgewinnung reduziert werden. Weiterhin muss ein Teil der benötigten Wärme aus betrieblichen Gründen durch Strom bereitgestellt werden. Schließlich steht bei vielen Betrieben der Industrie nicht ausreichend Dachfläche zur Installation einer thermischen Solaranlage zur Verfügung. Wie in (Müller et al., 2004) wird davon ausgegangen, dass ein Anteil von 60 % des theoretischen Potentials aufgrund dieser Restriktionen nicht zu erschließen ist. Des Weiteren wird eine mittlere solare Deckungsrate von 30 % angesetzt. Mit diesen Annahmen errechnet sich aus dem theoretischen Potential von 130 TWh/a ein technisches Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland von 15,6 TWh/a oder 3,1 % des industriellen Wärmebedarfs. Obwohl zusätzliche Wirtschaftszweige für die Potentialermittlung berücksichtigt werden, liegt das ermittelte Potential für solare Prozesswärme in Deutschland unter dem Durchschnitt vorangegangener Studien, die Potentiale zwischen 3 und 4,5 % des jeweiligen industriellen Wärmebedarfs berechnet haben, wie aus Abbildung 4-1 hervorgeht.

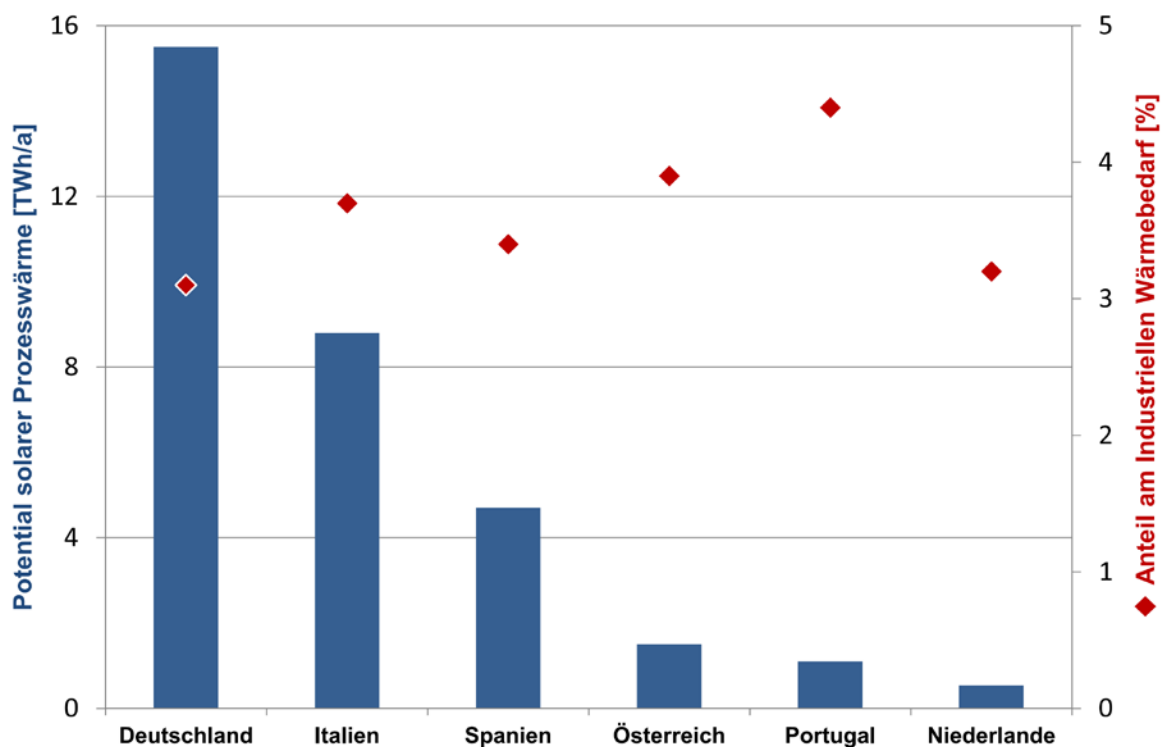


Abbildung 4-1: Potential für solare Prozesswärme in Deutschland und Vergleich mit anderen Ländern

Das technische Potential für die EU25 Staaten liegt bei gut 70 TWh/a (Vannoni et al., 2008). Zur Erschließung des technischen Potentials wären in Deutschland, bei einem durchschnittlichen spezifischen Jahresertrag von 450 kWh/(m²*a), Kollektoren mit ca. 25 GW_{th} (35 Mio. m²), in den EU25 Staaten insgesamt ca. 110 GW_{th} (155 Mio. m²) nötig, was ein erheblicher Markt für solarthermische Anlagen wäre.

4.3. Branchenspezifisches Potential

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt das Potential solarer Prozesswärme insgesamt dargestellt wurde, wird in diesem das Potential der einzelnen Wirtschaftszweige beschrieben und damit gezeigt, welche am vielversprechendsten für die Nutzung solarer Prozesswärme erscheinen. Außerdem werden in den jeweiligen Wirtschaftszweigen beispielhafte Prozesse identifiziert, die sich für die Integration thermischer Solaranlagen prinzipiell eignen. Abbildung 4-2 zeigt das Potential derjenigen Wirtschaftszweige, die für die Nutzung solarer Prozesswärme als geeignet identifiziert wurden.

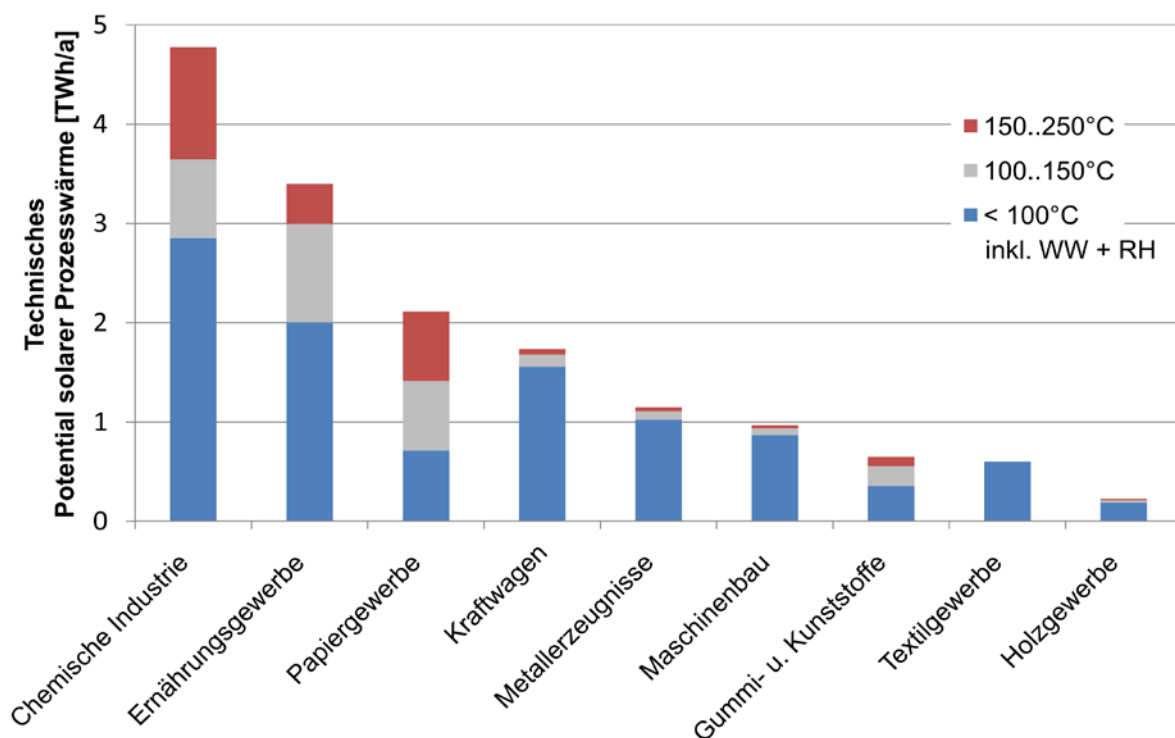


Abbildung 4-2: Potential zu Nutzung solarer Prozesswärme verschiedener Wirtschaftszweige

Weiterhin lässt sich die Verteilung verschiedener Temperaturbereiche erkennen, die eine Einschätzung zur Erschließung des Potentials des Wirtschaftszweiges ermöglicht, da z.B. die wirtschaftliche Bereitstellung von Wärme unter 100 °C derzeit eher mit thermischen Solaranlagen möglich ist, als dies für höhere Temperaturen der Fall ist. Aus Abbildung 4-2 und den Angaben aus Tabelle 4-3 wird deutlich, dass in den Wirtschaftszweigen Herstellung von Kraftwagen, Metallerzeugnisse und Maschinenbau der Großteil des Wärmebedarfs für Warmwasser und Raumheizung benötigt wird. Das dargestellte Potential bezieht sich daher nicht nur auf industrielle Prozesswärme, diese Wirtschaftszweige sind aber dennoch vielversprechend für die Nutzung thermischer Solarenergie. Gerade bei der Herstellung von Metallerzeugnissen nimmt der Wärmebedarf einen hohen Anteil von 45 % am gesamten Energiebedarf ein (Eikmeier et al., 2005). Die Energiekosten liegen bei 0,3 bis 1,6 % der Produktionskosten (WKO, 2003). In diesem Wirtschaftszweig, insbesondere in der Oberflächenveredelung, wird viel Wärme bei niedrigen Temperaturen benötigt.

Die Chemische Industrie stellt, aufgrund der Struktur ihres Wärmebedarfs, den Wirtschaftszweig mit dem insgesamt größten Potential zur Nutzung solarer Prozesswärme dar. Bezüglich der möglichen Nutzung von Abwärme und zur Identifikation besonders geeigneter Prozesse in diesem Wirtschaftszweig sind aber aufgrund der hohen Komplexität der Produktionsanlagen weitere Untersuchungen notwendig. Für den gesamten Energiebedarf der Chemischen Industrie spielt der Wärmebedarf eine wichtige Rolle und obwohl ein großer Teil der Wärme bei hohen Temperaturen benötigt wird, ist im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen auch ein hoher Bedarf bei niedrigen und mittleren Temperaturen vorhanden. Vor allem die Petrochemie ist sehr energieintensiv, wohingegen der Pharmabereich weniger Energie benötigt. Aufgrund der hohen Komplexität der Produktionsanlagen im chemischen Sektor muss im Einzelfall eine genaue Betrachtung der vorhandenen Prozesse stattfinden.

Das Ernährungsgewerbe wurde in allen durchgeführten Potentialstudien zur solaren Prozesswärme als besonders vielversprechend bezeichnet. Wie aus Tabelle 4-3 und Abbildung 4-2 hervorgeht, existiert in diesem Wirtschaftszweig ein hoher Wärmebedarf unter 150 °C und damit ein großes Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme. Verbreitete Prozesse sind das Pasteurisieren von flüssigen Produkten bei 60..145 °C, das Kochen um die 100 °C, das Blanchieren bzw. Brühen von Gemüse und Fleischprodukten (45..95 °C), das Trocknen (40..240 °C) von Gemüse und Früchten sowie das Reinigen (60..90 °C) von Produktionsanlagen. Unter Berücksichtigung des hohen Anteils von Prozessen bei niedrigen Temperaturen und der Ergebnisse durchgeführter Potentialstudien hat das Ernährungsgewerbe wohl das größte Potential zur Nutzung solarer Prozesswärme.

Im Papiergewerbe werden zwei Drittel des Wärmebedarfs bei Temperaturen größer als 100 °C benötigt, was ungünstig für den Einsatz thermischer Solaranlage mit Standardkomponenten ist, mit weiterentwickelten Kollektoren jedoch prinzipiell abzudecken ist. Weiterhin besteht ein Drittel des Wärmebedarfs bei Temperaturen unter 100 °C für Prozesswärme sowie die Bereitstellung von Warmwasser und Raumheizung. Das Vorwärmen von Kesselzusatzwasser stellt in diesem Wirtschaftszweig eine aussichtsreiche Anwendung dar, da große Mengen Dampf zur Trocknung der Papierprodukte benötigt werden.

Im Textilgewerbe fällt der gesamte Wärmebedarf nach Tabelle 4-3 bei Temperatur unter 100 °C an. In Prozesse wie Waschen bei 30..100 °C, Trocknen und in einigen Veredelungsprozessen wie Bleichen (40 bis 100 °C) wird der Hauptteil der Prozesswärme benötigt. Aus der Österreichischen Studie „PROMISE“ (Müller et al., 2004) geht hervor, dass zwischen 25 und 50 % des Wärmebedarfs in der Textilindustrie mit thermischer Solarenergie gedeckt werden könnten. Dies stellt ein nicht zu vernachlässigendes Potential dar, auch wenn der Anteil am industriellen Wärmebedarf gering ist.

In der Gummi- und Kunststoffindustrie wird ca. 40 % des Energieverbrauchs für Prozesswärme aufgewendet. Tabelle 4-3 zeigt, dass ein beachtlicher Teil der Wärme bei niedrigen und mittleren Temperaturen benötigt wird. Neben der Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme stellt das Trocknen von Pellets und Granulat bei Temperaturen von 50..150 °C ein interessantes Anwendungsgebiet für thermische Solaranlagen dar.

5. Geeignete Branchen zur Nutzung solarer Prozesswärme

In diesem Kapitel werden die zur Nutzung solarer Prozesswärme geeigneten Branchen detailliert beschrieben. Nach einer allgemeinen Beschreibung wird jeweils auf den Energieverbrauch und wichtige Prozesse eingegangen.

5.1. Chemische Industrie

Zu den bedeutendsten Industriezweigen der deutschen Wirtschaft gehört die Chemische Industrie. Sie ist in Bezug auf ihren Umsatz von 162 Mrd. Euro im Jahr 2007 eine der vier größten Branchen (VCI, 2009). Vom gesamten Umsatz des verarbeitenden Gewerbes erwirtschaftete die Chemische Industrie im Jahre 2008 rund 10,3 %. Sie umfasst einerseits Bereiche, die Produkte des Umweltschutzes, der Ernährung oder Medikamente herstellen. Andererseits stellt sie auch Produkte für andere Industriezweige wie die Kunststoffverarbeitung, die Automobilindustrie oder die Baubranche zur Verfügung. Die Chemische Industrie setzt sich aus sehr unterschiedlichen Sparten zusammen, die in Abbildung 5-1 nach ihren anteiligen Produktionswerten aufgeführt sind.

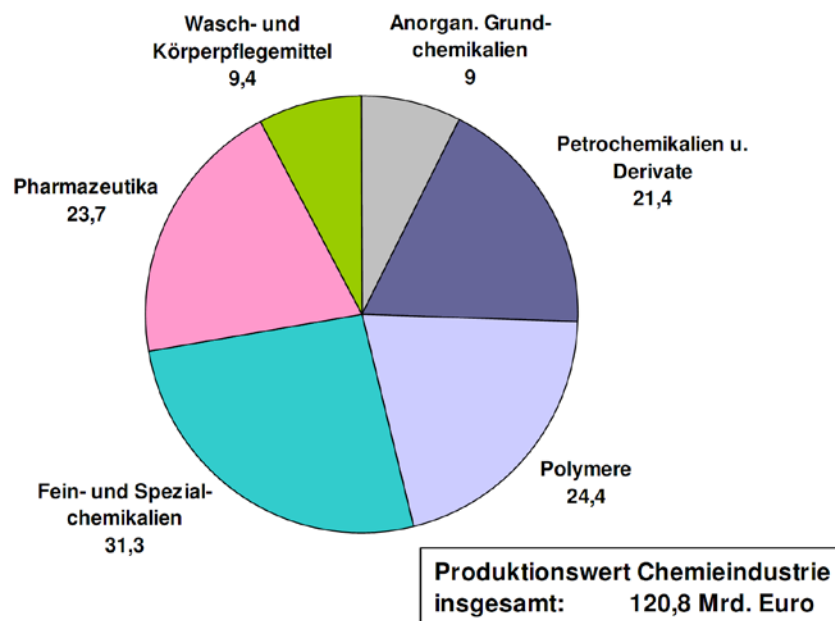


Abbildung 5-1: Produktionsstruktur der Chemischen Industrie in Deutschland, Produktionswerte in Mrd. Euro, 2006 (VCI, 2007)

Den höchsten Produktionswert erreicht die Grundstoffchemie – zu denen die Erzeugung von Polymeren, Petrochemikalien und anorganischen Grundchemikalien gehört. Ein wichtiger Baustein sind zudem die Fein- u Spezialchemikalien. Schließlich gehören konsumnahe Bereiche wie die Herstellung von Pharmazeutika oder Wasch- und Körperpflegemitteln ebenfalls zur Chemiebranche. Im Vergleich zu anderen Industriesektoren weist die Chemische Industrie äußerst komplexe Verfahrensabläufe auf. Davon betroffen sind zum einen die Stoffströme und zum anderen die Energieströme. In vielen Fällen verzweigt sich nach einem Prozess der Stoffstrom und wird für verschiedenste Produkte in weiterführenden Verfahren verarbeitet.

Endotherme als auch exotherme Prozesse kommen in Produktionsanlagen häufig gemeinsam vor. So findet auch die energetische Verknüpfung vieler Operationen in sinnvoller Weise statt um den Energiebedarf so gering wie möglich zu halten. Diese stoffliche und energetische Verkettung von Prozessen zeigt sich meist in großen Chemiestandorten an denen verschiedenste Produktionsanlagen betrieben werden. Die Bündelung erhöht die Komplexität weiter, so dass eine Aufteilung und allgemeine energetische Bewertung einzelner Prozesse schwer darzustellen ist (VCI, 2009).

5.1.1. Energieverbrauch

Die Chemische Industrie ist eine der Rohstoff- und energieintensivsten Branchen Deutschlands. Die Energiekosten liegen durchschnittlich bei 4 bis 5 % der Produktionskosten, können allerdings innerhalb der einzelnen Sparten stark variieren. Vor allem die Petrochemie ist sehr energieintensiv, wohingegen der Pharmabereich weniger Energie benötigt. Im Jahre 2007 belief sich der Endenergiebedarf auf etwa 20 % (136 TWh) des industriellen Endenergiebedarfs in Deutschland (VCI, 2006). Die energieintensivsten Prozesse der Chemischen Industrie sind die Herstellung von Ammoniak, was ein wichtiger Grundstoff zur Herstellung von Düngemitteln ist, das Cracken von Naphta zu Ethylen und Propylen als wichtiger Baustein der petrochemischen Industrie sowie die Chlorherstellung. Die entsprechenden Energieverbräuche in der EU im Jahr 1990 sind Tabelle 5-1 aufgeführt.

Tabelle 5-1: Energiebedarf der Chemischen Industrie für ausgewählte Produkte in der EU 1990 (Leimkühler und Helbig, 2006)

Bedarf [TWh]	Ammoniak ¹	Petrochemie ¹	Chlor/Alkali		andere Chemikalien	
	Brennstoffe	Brennstoffe	Brennstoffe	el. Strom	Brennstoffe	el. Strom
Deutschland	6,5	38,8	1,0	10,3	78,5	58,1
EU	38,6	160,3	3,3	32,7	166,9	161,9

¹ Annahme: Strombedarf durch Eigenerzeugung am Standort gedeckt

Die Bereitstellung von Wärme nimmt in der Chemischen Industrie den weitaus größten Teil des Endenergiebedarfs in Anspruch, wobei die Prozesswärme im Temperaturbereich von 500 bis 1000 °C den größten Anteil hat. Aber auch die Prozesswärme unter 100 °C und die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser machen insgesamt ca. 22 TWh bzw. 21 % des gesamten Wärmebedarfs aus, wie Tabelle 5-2 zeigt.

Tabelle 5-2: Energiekennwerte der Chemischen Industrie, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000 °C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh / (B a)	15,7	30,7	47,7	102,0	25,2	221,3
Anteil	7,1%	13,9%	21,6%	46,1%	11,4%	100,0%

Die Struktur des Wärmebedarfs in der Chemieindustrie nach Betriebsgrößen zeigt Tabelle 5-3 auf. Zunächst wird deutlich, dass in der Chemischen Industrie viele kleinere und mittlere Unternehmen tätig sind. Die 74 größten Betriebe mit Mitarbeiterzahlen über 1000 stehen für 47 % des Gesamtwärmebedarfs. Die drei Klassen zwischen 100 bis 1000 Mitarbeiter haben einen Anteil von jeweils 13,5 bis 14,5 %. Mit 59 % der gesamten Chemiebetriebe beschäftigen die meisten Unternehmen weniger als 99 Angestellte und kommen auf einen Wärmebedarfsanteil von 11 %.

Tabelle 5-3: Struktur des Wärmebedarfs in der Chemischen Industrie Im Jahr 2003 nach Betriebsgrößenklassen (Eikmeier et al., 2005)

Beschäftigte	Unternehmen	Gesamtwärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RW	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	659	4%	6,4	0,0	0,4	0,9	1,4
50 – 99	437	7%	15,6	0,0	1,1	2,2	3,4
100 – 249	404	13%	34,4	0,1	2,4	4,8	7,4
250 – 499	188	14%	78,1	0,2	5,4	10,8	16,9
500 – 999	102	15%	149,0	0,3	10,3	20,7	32,2
> 1000	74	47%	653,0	1,4	44,9	90,6	140,9
Gesamt	1864	100%					

5.1.2. Prozesse

Die in der Chemischen Industrie vorherrschenden Produktionstechnologien basieren auf einer Kombination stoffumwandelnder chemischer Reaktionen und physikalisch-technischer Grundoperationen zur Veränderung von Stoffen hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Art und Zusammensetzung. Diverse chemische Prozesse im Nieder- und Mitteltemperaturbereich laufen bei Temperaturen von 60..180 °C ab. Hier sei als Beispiel die Produktion von Polypropylen genannt, welche zwischen 60 und 85 °C stattfindet. Immer wiederkehrende Prozesse sind vor allem Kochen (85..105 °C) und Destillieren (110..300 °C). Im Bereich der pharmazeutischen Industrie finden sich vielfältige Verfahren, die auf biochemischen Reaktionen basieren und niedrige Temperaturen von 25..55 °C erfordern. Aufgrund der hohen Komplexität der Produktionsanlagen im chemischen Sektor muss im Einzelfall eine genaue Betrachtung der vorhandenen Prozesse stattfinden. Unter Berücksichtigung der individuellen Prozessabhängigkeiten, der potentiellen Einbindungspunkte sowie vorhandener Wärmequellen kann die Machbarkeit einer solarthermischen Unterstützung ermittelt werden.

Die **Produktion von Polypropylen** ist ein wichtiger Prozess der Chemischen Industrie, da es in sehr vielen Bereichen eingesetzt. Es findet sich im Maschinen- und Automobilbau, in der Elektrotechnik, der Bauindustrie und der Textilbranche wieder (Ceresana Research, 2010). Ein häufig eingesetztes Verfahren ist das NOVOLEN-Verfahren. Es besteht aus einer Kaskade von zwei gerührten Gasphasenreaktoren. Die Reaktionstemperatur liegt bei 60..85 °C, der Druck bei 20..35 bar. Für eine Anlagenkapazität von 250.000 t/a wird ein spe-

zifischer Energieverbrauch von 330 kWh/t und Dampfbedarf von 200 kg/t angegeben. Die spezifischen Herstellungskosten liegen bei 115 bis 135 €/t (Keim, 2006).

Die **Destillation** ist ein thermisches Trennverfahren für ineinander lösliche Stoffe mit unterschiedlichen Siedepunkten. Durch Erhitzen des Gemischs gehen die Flüssigkeiten in die gasförmige Phase über. Aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte ist die Konzentration der leichter siedenden Komponente im Dampf höher. Durch Kondensation des Dampfes kann diese Komponente aufkonzentriert werden. Die Andere Komponente verbleibt in höherer Konzentration im Sumpf. Durch wiederholte Destillation kann der Reinheitsgrad erhöht werden. Destillation wird hauptsächlich in der erdölverarbeitenden Industrie, der chemischen Industrie und der Spirituosenherstellung eingesetzt. Die Destillation kann chargenweise oder kontinuierlich betrieben werden. Bei der chargenweisen Destillation wird das Gemisch in die Destillierblase gegeben und darin erhitzt. Hierdurch erfolgt die Trennung des Stoffgemischs. Durch Wiederholen des Vorgangs lässt sich die Reinheit des Destillats steigern. Das Verfahren bietet kaum Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung und ist vergleichsweise energieineffizient. Bei der kontinuierlichen Destillation (Rektifikation) werden dem Kolonne genannten Destillationsgefäß sowohl Sumpfprodukt als auch Destillat kontinuierlich entnommen während Destillationsgemisch und Wärme kontinuierlich zugeführt werden. Die Kolonne verfügt über Böden in denen sich jeweils ein Gleichgewicht einstellt. Schwerkraftbedingt findet sich im obersten Boden die höchste Konzentration der leichter siedenden Komponente (Destillationsprodukt), während sich im untersten Boden die höchste Konzentration der schwerer siedenden Komponente (Sumpfprodukt) befindet. Mit steigender Anzahl der Böden steigt die Güte der Trennung (EIPPCB, 2003a).

Verwendete Temperaturen und Drücke hängen stark vom Destillationsprodukt. Danach wird das geeignete Verfahren ausgewählt. Die Temperaturen reichen von 85 °C in der Spirituosenherstellung bis zu über 400 °C in der Petrochemie. Es werden in einer Destillationskolonne zunächst die flüchtigsten Bestandteile wie Naphta bei 125 °C abgetrennt. Der Sumpf wird in die nächste Kolonne gepumpt und bei 130 °C erneut destilliert. In einer dritten Kolonne werden bei höheren Temperaturen weitere Fraktionen gebildet. Schlussendlich folgt eine Vakuumdestillation. Da alle Prozesse kontinuierlich ablaufen besteht ein großes Potential für Wärmerückgewinnungsmaßnahmen (EIPPCB, 2003a).

5.2. Ernährungsgewerbe

Das Ernährungsgewerbe umfasst Herstellung und Weiterverarbeitung von landwirtschaftlichen und industriellen Rohstoffen zu Nahrungsmitteln. Rohstoffgewinnung, Transport und Distribution im Handel werden nicht hinzugezählt. Mit einem Endenergieeinsatz von knapp 60 TWh in 2009 hat das Ernährungsgewerbe in Deutschland einen Anteil von etwa 8,8 % am gesamten Endenergieeinsatz des verarbeitenden Gewerbes. Der Bedarf verteilt sich überwiegend auf die Energieträger Gas (51 %), Strom (29 %) und Heizöl (9 %). Neben Kohle (5 %) und Fernwärme (3 %) spielen Erneuerbare Energien mit einem Anteil von 1 % kaum eine Rolle. Diese Zahlen deuten bereits darauf hin, dass der Schwerpunkt des Endenergieeinsatzes im Ernährungsgewerbe auf der thermischen Energie liegt. Diese wird überwiegend in Form von Prozesswärme benötigt. Die Sektoren mit dem höchsten Endenergieverbrauch in 2009 sind die Zuckerindustrie (8,5 TWh), die Milchverarbeitung (7,8 TWh), Schlachten und Fleischverarbeitung (6,8 TWh) sowie die Herstellung von Back- und Teigwaren (6,4 TWh) (DeStatis, 2010b). Einen Überblick der Branchen des Ernährungsgewerbes mit einem Energieverbrauch von über 1 TWh zeigt Abbildung 5-2.

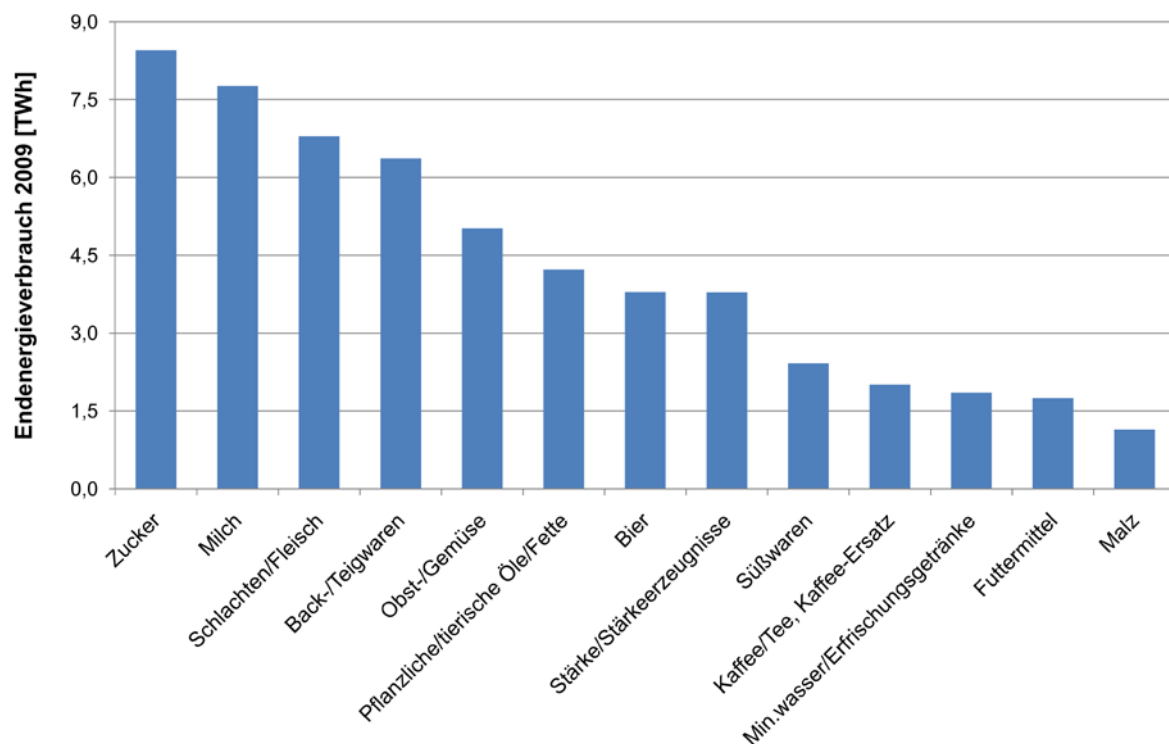


Abbildung 5-2: Endenergieverbrauch im Jahr 2009 von Branchen des Ernährungsgewerbes mit einem Endenergieverbrauch von über 1 TWh/a (DeStatis, 2010b)

In Abbildung 5-3 sind einige Verfahren zusammengestellt, die in der Ernährungsindustrie von Bedeutung sind. Die Vielzahl an Niedertemperatur-Prozessen unter 100 °C macht die Branche attraktiv für die Anwendung solarthermischer Prozesswärme. Nachfolgend werden die Branchen aus Abbildung 5-2 detaillierter beschrieben.

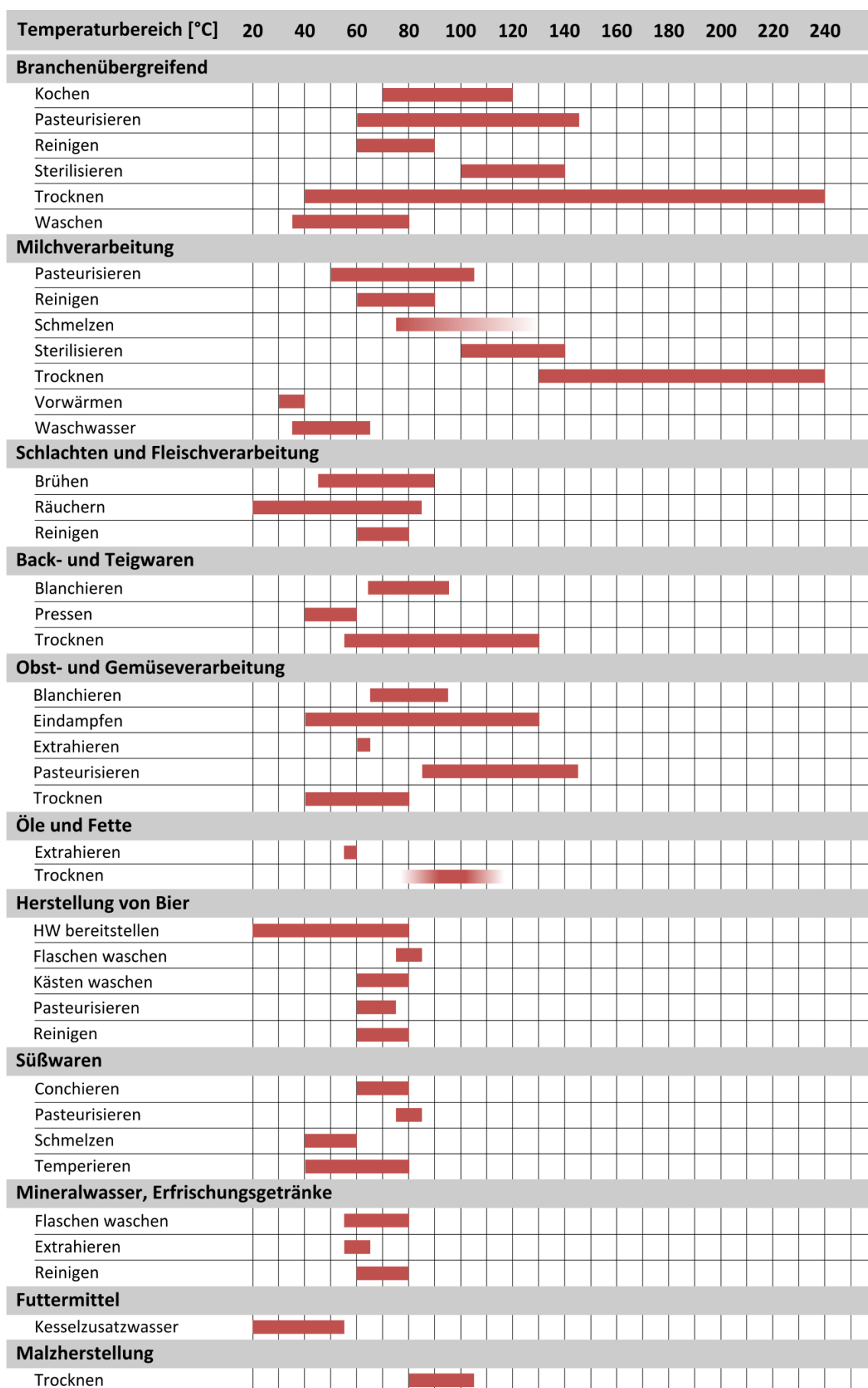


Abbildung 5-3: Bedeutende Behandlungsverfahren im Ernährungsgewerbe

5.2.1. Zuckerindustrie

In Deutschland bildet der Anbau von Zuckerrüben seit mehr als 200 Jahren die Grundlage für die Erzeugung von Zucker. Die Zuckerrübenanbaufläche nahm 2009 etwa 3 Prozent der gesamten Ackerfläche ein. Die auf dieser Fläche angebauten und geernteten Zuckerrüben wurden in 20 Zuckerfabriken zu Zucker verarbeitet. Rübenanbau und Zuckerindustrie sind für den ländlichen Raum nach wie vor von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung. Die Zuckerfabriken in Deutschland verteilen sich auf lediglich vier Unternehmen. Diese sind die Suiker Unie GmbH mit einer Fabrik in Anklam, die Südzucker AG mit neun Werken, die Pfeifer & Langen KG mit fünf Werken sowie die Nordzucker AG mit ebenfalls fünf Werken.

Die Zuckerproduktion erfolgt in der sogenannten Kampagne. Diese beginnt im September mit der Ernte der Rüben und dauert rund 100 Tage. Die Kampagne 2009/10 dauerte mit 133 Tagen deutlich länger. Während dieser Zeit wurden insgesamt rund 4,2 Mio. Tonnen Zucker produziert. Hierzu wurden durchschnittlich gut 230.000 t Rüben pro Kampagnetag verarbeitet (WVZ, 2011). Der Zeitraum der Kampagne ist für die Nutzung von Solarwärme sehr ungünstig, sodass das Potential in der Zuckerindustrie als gering eingeschätzt werden kann.

Abbildung 5-4 zeigt den Produktionsablauf in einer Zuckerfabrik. Zunächst erfolgt die Reinigung der angelieferten Rüben sowie die Zerkleinerung zu sogenannten Schnitzeln. Diese werden in einer Maische auf 70 °C erwärmt und dem Extraktionsturm zugeführt. Dort wird der Zucker mit Hilfe von heißem Wasser entzogen. Die ausgelaugten Schnitzel werden als Tierfutter weiter verwendet, der mit Zucker angereicherte Saft wird mit Kalkmilch versetzt, um unerwünschte Stoffe zu entfernen.

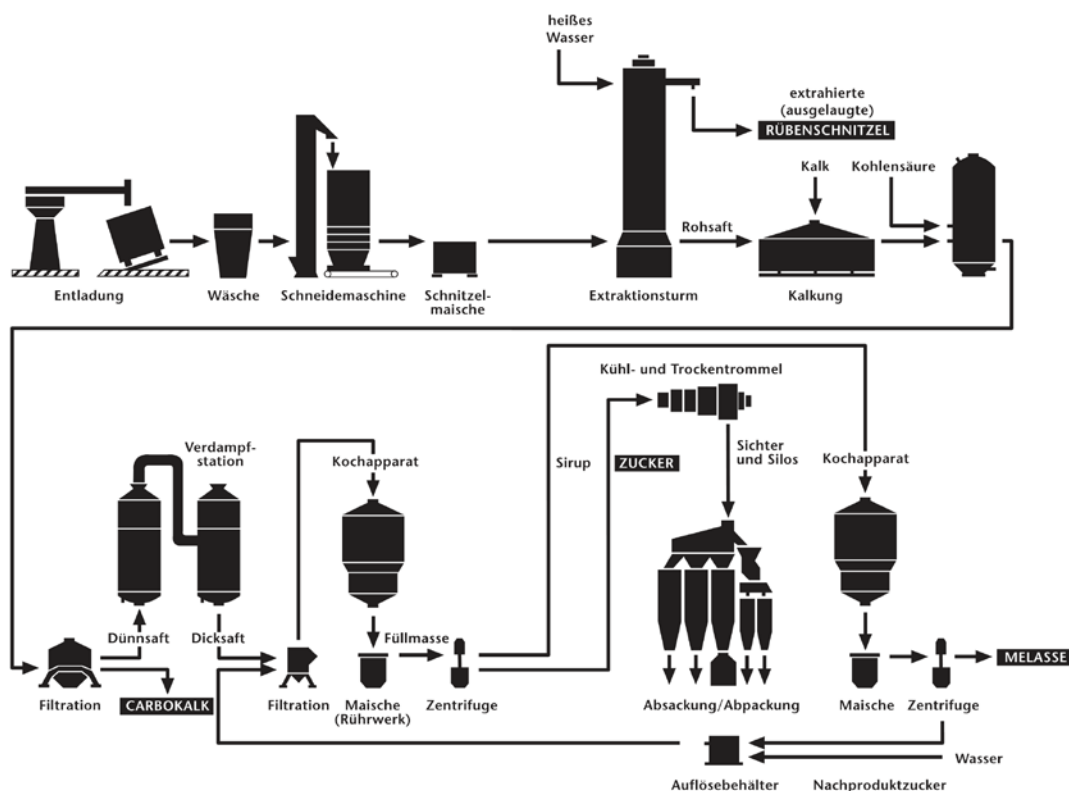


Abbildung 5-4: Produktionsablauf in einer Zuckerfabrik (Pfeifer & Langen, 2008)

Der nach der Filtration anfallende Dünnsaft mit etwa 15 % Zuckergehalt wird durch Verdampfung aufkonzentriert. In der anschließenden Kochstation findet die Kristallisation des Zuckers statt. Dies erfolgt durch Druckbeaufschlagung bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen. Der anschließend abgetrennte Zucker wird getrocknet und verpackt. Die am Ende des Produktionsprozesses verbleibende Melasse wird zur Herstellung von Hefe oder Alkohol sowie als Futtermittel verwendet (Pfeifer & Langen, 2008).

Der gesamte Energieverbrauch der Zuckerindustrie betrug im Jahr 2009 etwa 8,5 TWh. Der Anteil von Strom an den insgesamt bezogenen Energieträger ist mit knapp 10 % sehr gering (DeStatis, 2010b). Dies basiert auf der Tatsache, dass Zuckerfabriken in der Regel mit Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung ausgestattet sind, welche zu Produktionszeiten mehr Strom bereitstellen, als der Betrieb benötigt (Südzucker AG, 2005). Auch aus diesem Grund scheint die Zuckerproduktion kein geeignetes Anwendungsgebiet für solare Prozesswärme zu sein.

Ein zentraler Prozess der Zuckerindustrie ist die **Extraktion**. Dies ist ein physikalisches Trennverfahren, bei dem mittels eines Lösungsmittels eine oder mehrere Komponenten aus einem festen oder flüssigen Stoff gelöst werden. Das Lösungsmittel wird als Extraktionsmittel und das Ausgangsmaterial wird als Extraktionsgut bezeichnet. Die gelösten Stoffe werden als Extrakt bezeichnet. Die Extraktion kommt zum Einsatz, wenn eine Destillation technisch nicht möglich oder unwirtschaftlich ist. Dies ist beispielsweise bei Stoffen mit nahe beieinander liegenden Siedepunkten, azeotropen Gemischen, bei sehr temperatursensiblen Stoffen oder bei der Abtrennung von Verunreinigungen aus Abwässern der Fall (EIPPCB, 2006). Je nach Art des Extraktionsguts spricht man von fest-flüssig oder flüssig-flüssig Extraktion. In Beiden Fällen wird sich jedoch die unterschiedlich gute Löslichkeit der einzelnen Komponenten im verwendeten Extraktionsmittel genutzt. Die Extraktion kann chargenweise oder kontinuierliche ablaufen. Bei der kontinuierlichen flüssig-flüssig Extraktion wird ähnlich der Destillation in Kolonnen durchgeführt wie in Abbildung 5-5 zu sehen ist.

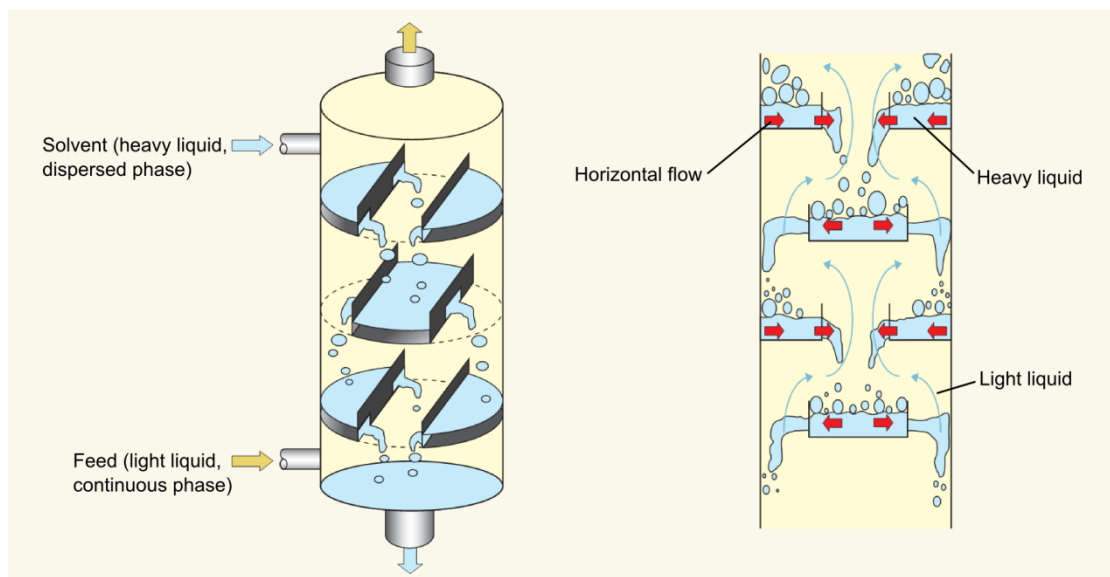


Abbildung 5-5: Extraktionskolonne mit Abscheideblechen (JGC Corporation, 2010)

Dabei durchströmt die schnellersiedende Flüssigkeit die Kolonne von unten nach oben, die später siedende im Gegenstrom von oben nach unten. Durch Einbauten wie Siebböden, Rührwerke, Leitbleche oder Füllkörper eine intensive Durchmischung beider Flüssigkeiten und somit eine effektive Extraktion bewirkt. Die Temperaturen reichen von ca. 70 °C bei der Herstellung von Zucker aus Rüben bis ca. 100 °C bei der Herstellung von Instantkaffee, die zu einer anderen Branche zählt

5.2.2. Milchverarbeitung

In Deutschland werden in Molkereien jährlich knapp 30 Mio. t (BLE, 2009) Rohmilch zu Konsummilch, Käse, Joghurt und anderen Produkten verarbeitet. Dabei erwirtschafteten ca. 140 Unternehmen mit 1.200 Mitarbeitern einen Umsatz von gut 21 Mrd. Euro (DeStatis, 2011). Mit einem Endenergieverbrauch von ca. 7,8 TWh in 2009 liegt die milchverarbeitende Industrie innerhalb der Lebensmittelindustrie an zweiter Stelle. Der mit Abstand wichtigste Energieträger bei der Milchverarbeitung ist Erdgas mit 54 %. Strom nimmt einen Anteil von 30 %, Heizöl und Fernwärme von jeweils 6 % ein (DeStatis, 2010b). Zur Einschätzung des Bedarfs eines einzelnen Betriebes illustriert Tabelle 5-4 den Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Mitarbeiterzahl.

Tabelle 5-4: Durchschnittlicher mitarbeiterspezifischer Wärmebedarf in milchverarbeitenden Betrieben nach Betriebsgrößenklasse und Anwendungsbereichen (Blesl et al., 2008)

Mitarbeiterzahl	Raumwärme	Warmwasser	NT-Prozesswärme	MT-Prozesswärme	HT-Prozesswärme	Vollaststunden Produktion
[-]	[MWh _{th} /(Mitarbeiter*a)]					[h/a]
bis 10	9,07	0,31	41	0	0	2000
bis 100	9,18	0,32	50	5	0	3000
über 500	6,24	0,22	59,4	5,9	0	4000

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass sich der Wärmebedarf zu 85 % auf die Bereitstellung von Prozesswärme und zu 15 % auf Raumwärme aufteilt. Ein Großteil der benötigten Prozesswärme wird in niedrigen Temperaturbereichen (NT-Prozesswärme) unter 100 °C benötigt. In geringem Maße besteht auch ein Bedarf an Mitteltemperatur-Prozesswärme (MT-Prozesswärme), jedoch keiner für Hochtemperatur-Prozesswärme (HT-Prozesswärme).

In Molkereien wird Rohmilch zu einer Vielzahl von Produkten verarbeitet (siehe Abbildung 5-6). Die hierfür eingesetzten Prozesse sind in einem Produktionsflussdiagramm in Abbildung 5-7 dargestellt. Die aus den Vorbehandlungsprozessen Separieren und Pasteurisieren gewonnenen Zwischenprodukte Rahm und Magermilch werden in den Produktionsprozessen Reifen/Buttern, Abfüllen, Eindampfen, Sterilisieren und Bruchbereitung zu Produkten verarbeitet. Aus den Reststoffen werden durch Eindicken und Trocknen Kasein, Milchzucker, Milch-, Molke- und Mineralstoffpulver, sowie Konzentrate und flüssige Restprodukte ge-

wonnen. Nach der Anlieferung wird die Rohmilch durch Filtration von Verunreinigungen befreit und von 10..12 °C auf 4 °C herunter gekühlt und in einem Tank gelagert. In einem Separationsschritt wird die Rohmilch in die definierten Zwischenprodukte Magermilch und Rohrahm getrennt und jeweils pasteurisiert. Am Ende des Vorbehandlungsschritts stehen die Produkte Magermilch und Rahm. Durch Mischen von Rahm und Magermilch wird Milch mit genau definierten Fettgehalten für die nachfolgenden Prozesse bereitgestellt (EIPPCB, 2006).

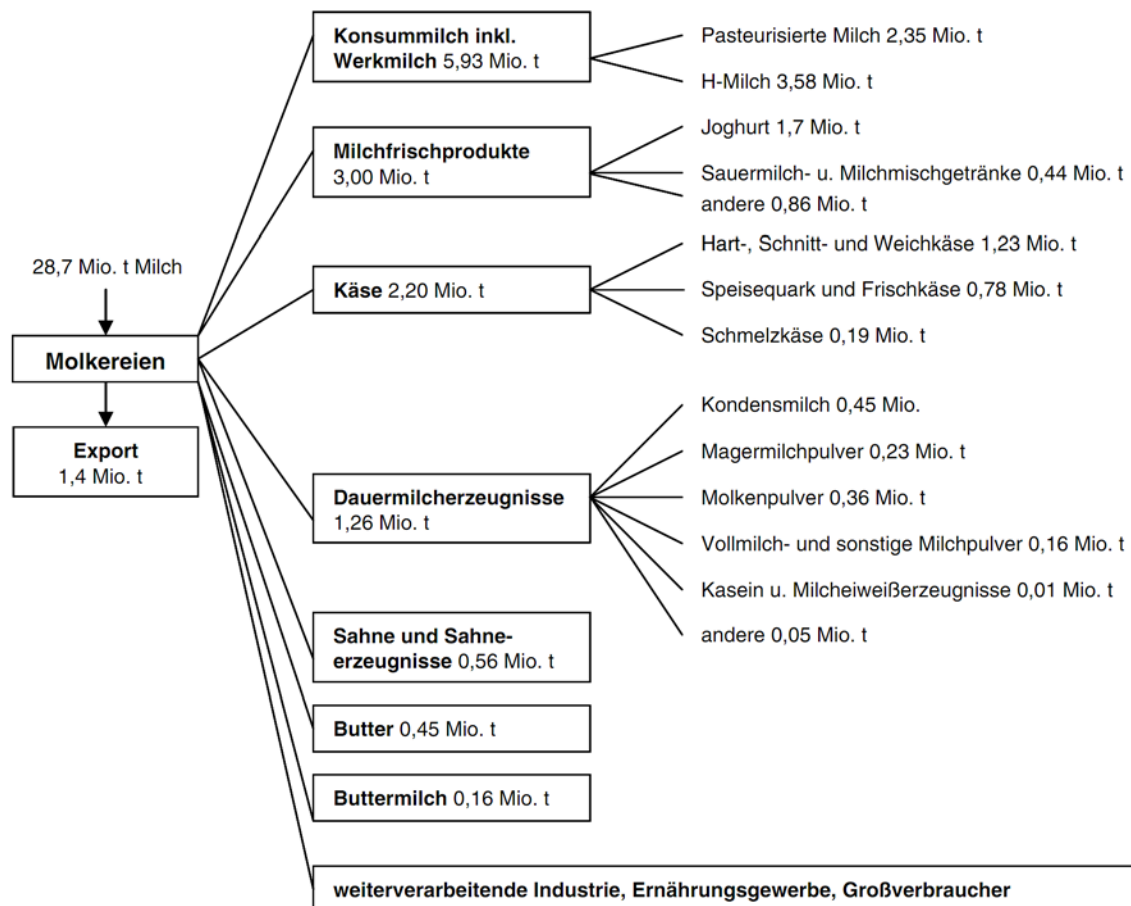


Abbildung 5-6: Produktion von Milcherzeugnissen in Deutschland im Jahre 2007 (Rimbach et al., 2010)

Bei der **Butterherstellung** wird zunächst der pasteurisierte Rahm zur Reifung 12 bis 15 Stunden gekühlt gelagert. Anschließend wird in einer Butterungsmaschine die Butter durch mechanische Bearbeitung von der Buttermilch abgetrennt und danach handelsüblich verpackt. Die **Konsummilch** wird lediglich auf einen Fettgehalt eingestellt und anschließend abgefüllt. Zur **Kondensmilchherstellung** wird homogenisierte pasteurisierte Milch einem gekühlten Tank entnommen und für 10 bis 25 Minuten auf 85 bis 100 °C erhitzt. Durch Abtötung von Mikroorganismen und Verringerung der Fettabscheidung erhöht sich die Lagerfähigkeit der Milch. Durch anschließendes Verdampfen wird die Trockenmasse auf konzentriert. Die gewonnene Kondensmilch wird meist noch mit Zucker und Laktose versetzt. Für die **Herstellung von Käse** wird pasteurisierte Milch durch Zugabe von Lab in einem Fermentationsprozess dickgelegt. Die Fermentation erfolgt bei 30 bis 45 °C über 30 Minuten. Durch Erhitzen auf bis zu 55 °C schrumpfen die Käsebruchkörner und geben Molke ab. Bei

der Produktion von Schnitt- oder Hartkäse wird zudem die überschüssige Molke mechanisch abgepresst. Zu Laiben geformt muss der Käse je nach Art 2 bis 18 Monate reifen (Foissy, 2005), (Goff, 2011).

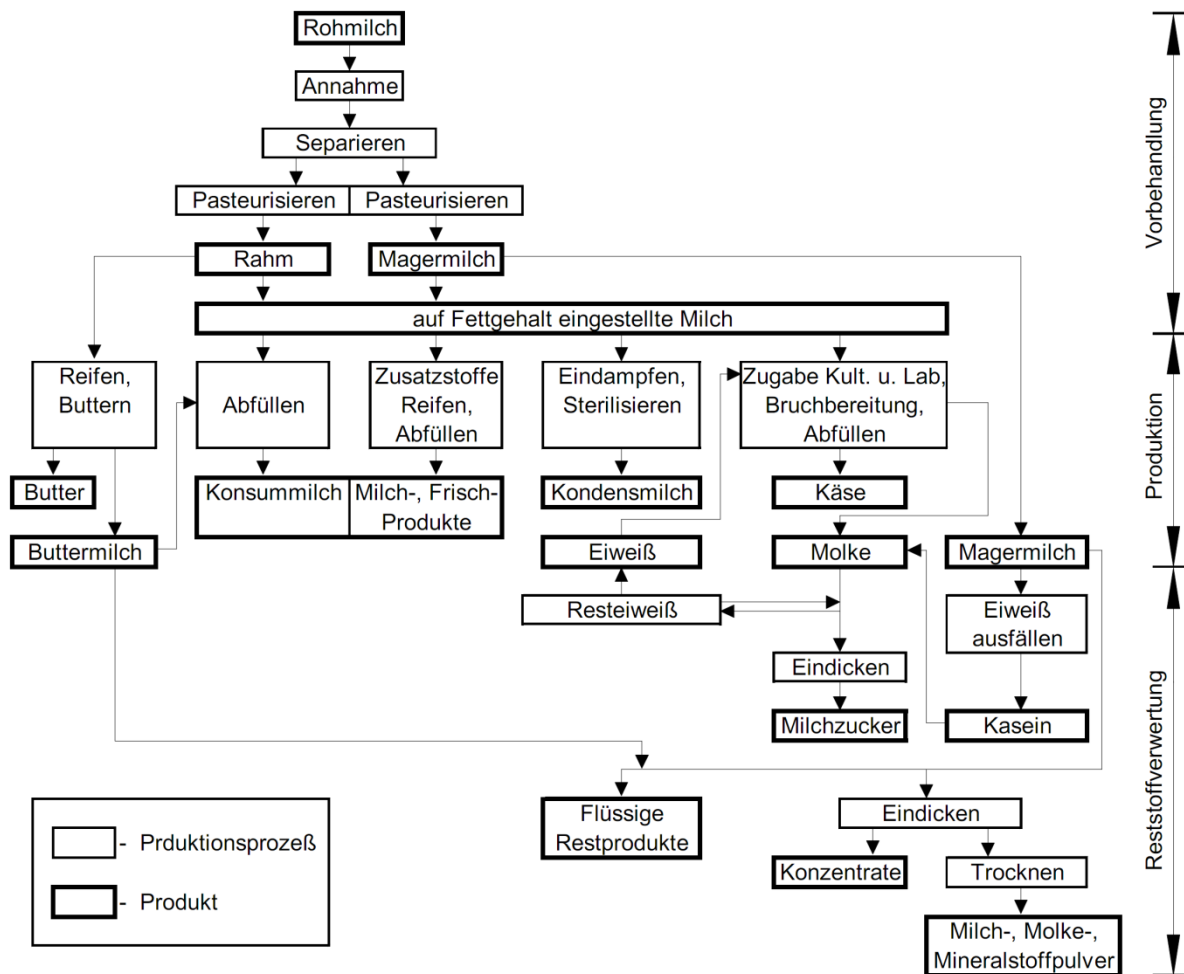


Abbildung 5-7: Produktionsprozesse und Produkte in Molkereien (BMZ, 1996)

Bei der **Frischkäseherstellung** werden zu pasteurisierter Milch Milchsäurebakterien hinzugegeben. Durch Fermentation bei 23 °C wird der pH Wert reduziert und die Milch dickt ein. Hat der Frischkäse den gewünschten pH Wert erreicht werden die Bakterien durch Erhitzen auf 52 °C bis 63 °C abgetötet. Zur **Herstellung von Trockenmilch** wird der Wasseranteil der Milch verdampft und die enthaltene Trockensubstanz extrahiert. Dies geschieht unter hoher Temperatur und hohem Druck in Sprühtrocknungsanlagen oder in Walzentrocknungsanlagen. Für die **Herstellung von Sauermilch** wird die pasteurisierte Milch mit Bakterienkulturen versetzt. Durch Fermentation der Laktose bei 25 °C bis 28 °C über 15 bis 20 Stunden wird die Milch dickgelegt. Bei der **Rahmherstellung** wird der Rahm durch zentrifugieren von nicht homogenisierter Rohmilch abgetrennt und pasteurisiert. Über die anteilige Mischung von Rahm und Milch kann der Fettgehalt für Folgeprozesse eingestellt werden. Für die Weiterverarbeitung zu Schlagrahm (Schlagsahne) wird Rahm mit 30 % Fettanteil mit Milchsäurebakterien versetzt und bei 10 °C ein bis zwei Tage lang ruhen gelassen.

Zur **Joghurtherstellung** wird Milch durch Hinzugabe von mesophilen oder thermophilen Bakterienkulturen bei 25 °C bzw. 43 °C ca. 6 Stunden lang fermentiert. Der spezifische

Energieverbrauch und das Temperaturniveau der einzelnen Verarbeitungsprozesse sind in Tabelle 5-5 aufgeführt. Die oberen Temperaturniveaus (T_o) vieler Prozesse liegen unterhalb von 100 °C. Den meisten Produktionsprozessen wird Milch aus gekühlten Tanks mit einem unteren Temperaturniveau (T_u) von 5 °C zugeführt.

Tabelle 5-5: Temperaturniveaus und Wärmebedarf von Produktionsprozessen einer Molkerei (Blesl et al., 2008)

Prozess	Bemerkung	T_o	T_u	q
[-]	[-]	[°C]	[°C]	[Wh/kg]
CIP-Reinigung		85	10	1,1
Pasteurisieren	mit interner WRG	78	73	5,0
Behälter sterilisieren		120	80	2,0
Erwärmen		75	5	14,7
Kondensmilchherstellung	mit Verdampfen	100	5	199,0
Sauermilchherstellung	mit Verdampfen	70	5	310,2
Friskäseherstellung		23	5	17,0
Weichkäseherstellung		39	5	11,1
Butterherstellung		13	5	16,4
Schlagrahmherstellung		40	5	15,5
Streichrahmherstellung		40	5	13,0
Joghurtherstellung		40	5	21,6
Milchpulverherstellung	mit Verdampfen	200	5	1293,7

Die niedrigen Temperaturniveaus bei der Milchverarbeitung machen Molkereien zu einem attraktiven Anwendungsfeld für solare Prozesswärme. Im Rahmen der Styrian PROMISE Studie (Brunner et al., 2008) wurden drei Molkereien hinsichtlich der solarthermisch erschließbaren Prozesswärmepotentiale untersucht. Dabei wurden in allen drei Fällen Solaranlagen zur Frischwassererwärmung in einem Fall auch noch zur Bereitstellung von Heißwasser für den Pasteur vorgeschlagen.

Das **Pasteurisieren** ist ein Wärmebehandlungsverfahren zur Steigerung der Haltbarkeit von Produkten in der Lebensmittelindustrie. Durch kurzzeitige Erhitzung über 60 °C und eine rasche Abkühlung erfolgt die Abtötung von Bakterien und Enzymen, ohne die Qualität des Produkts nennenswert zu beeinflussen. Haupteinsatzgebiet ist die Produktion von Fruchtsäften, Milchprodukten sowie einigen Fleischprodukten. Für die Pasteurisierung wurden verschiedene Verfahren entwickelt, die je nach Hitzeempfindlichkeit des Produkts und der zu produzierenden Produktmenge eingesetzt werden. Im Falle der chargenweise Pasteurisierung wird das Produkt in einem Rührkessel durch einen Mantelwärmeübertrager erhitzt. Das Verfahren eignet sich für kleine Produktmengen. Beim kontinuierlichen „high-temperature-short-time (HTST)“ Verfahren bzw. „flash“ Pasteurisierung wird ein Flüssigprodukt vorgewärmt,

durch einen Wärmeübertrager (meist Plattenwärmeübertrager) geführt und kurzzeitig stark erhitzt. Anschließend wird es schnell wieder abgekühlt. Ein Schema einer HTST-Anlage ist in Abbildung 5-8 dargestellt. Die Pasteurisierung geschieht meist in einem Durchlauf. Bei Milch kann die Haltbarkeit auf 5 bis 7 Tage erhöht werden (EIPPCB, 2006).

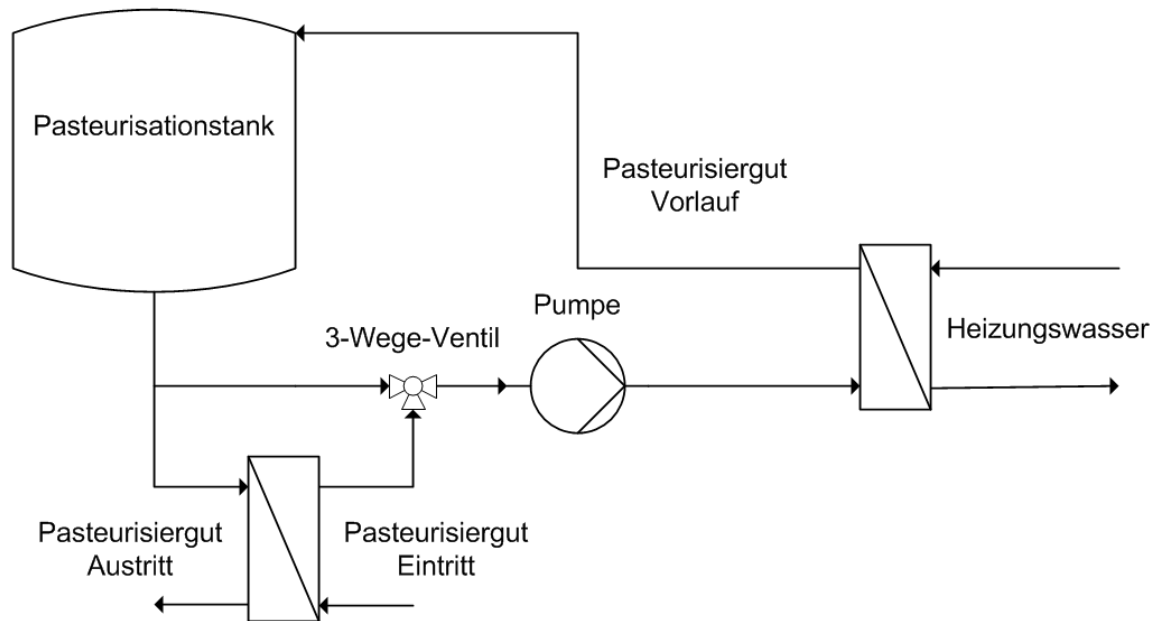


Abbildung 5-8: Kontinuierliche Pasteurisierung (HTST- und HHST-Verfahren)

Das „higher-heat-shorter-time“ Verfahren hat ein leicht höheres Temperaturniveau als das HTST-Verfahren. Die Pasteurisierung kann in mehreren Durchläufen geschehen. In modernen Anlagen, die mit dem „ultra-high-temperature“ Verfahren arbeiten wird das Flüssigprodukt durch Platten- oder Rohrbündelwärmeübertrager vorgewärmt und anschließend durch Dampfinkjektion auf bis zu 135 °C erhitzt. Durch die hohe Temperatur kann bei Milch die Haltbarkeit auf 3 bis 6 Monate erhöht werden (EIPPCB, 2006). Beim vergleichsweise jungen „extended-shelf-life“ Verfahren wird die Milch ähnlich wie bei der UHT über kurze Zeit sehr stark erhitzt. Die Milch muss jedoch nicht als „ultrahoch“ erhitzt, sondern nur als pasteurisiert gekennzeichnet werden. Die Haltbarkeit von Milch wird auf 12 bis 21 Tage erhöht (GEA, 2009). In einem Tunnelpasteur werden bereits abgefüllte Produkte pasteurisiert. Bei PET-Flaschen muss Aufgrund des Flaschenmaterials die Temperatur exakt zwischen 62°C und 64 °C gehalten werden (WFAG, 2008). Tabelle 5-6 bietet eine Übersicht über Temperaturen und Verweildauern einiger Produkte in verschiedenen Pasteurisierungsverfahren.

Das **Sterilisieren** ist ein Verfahren zur Abtötung von Mikroorganismen aller Art in Lebensmitteln und auf Gegenständen. Das Absterben der Mikroorganismen erfolgt zeitlich nach dem Zerfallsgesetz. Der Erfolg einer Sterilisation hängt daher von der Dauer der Anwendung und dem Verfahren ab. Für den Einsatz solarthermischer Anlagen kommt lediglich die am weitesten verbreitete Sterilisation durch Erhitzen in Frage (NIFST, 2011). Eine Sterilisation durch Erhitzen kann chargenweise oder kontinuierlich geschehen. Die kontinuierliche Variante ermöglicht Wärmerückgewinnung und ist daher effizienter. Sie wird für größere Produktmengen eingesetzt. Bei der Dampfsterilisation wird ein Autoklav verwendet. Die

Temperatur liegt gewöhnlich bei 110 bis 130 °C und wird 20 bis 40 Minuten gehalten. Ist die Temperatur für das Keimen der abzutötenden Mikroorganismen zu hoch kann auch bei geringeren Temperaturen sterilisiert werden. Für die Heißluftsterilisation wird ein Heißluft-Sterilisationsschrank verwendet. Es müssen höhere Temperaturen von 160 bis 180 °C und längere Sterilisationszeiten von mehreren Stunden eingehalten werden, da die trockene Umgebung die Widerstandsfähigkeit der Bakterien heraufsetzt. Vereinzelt werden sogar Sterilisationstemperaturen von bis zu 400 °C verwendet (EIPPCB, 2006).

Tabelle 5-6: Temperaturen und Zeitbedarf verschiedener Pasteurisierungsverfahren (Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e. V. (WFAG), 2008), (EIPPCB, 2006)

Prozess	Temperatur	Zeit	Anwendung
Chargenweise Pasteurisierung	62..65°C	bis 30 min	Milch
High-temperature-short-time Pasteurisation (HTST)	72..75°C	15..240 s	Milch, Saft, Bier
Higher-heat-shorter-time Pasteurisation (HHST)	85..90°C	1..25 s	Milch
Extended Shelf Life (ESL)	127°C	3 s	Milch
Ultra-high Temperature processing (UHT)	135°C	1..2 s	Milch
Tunnelpasteur	70..90 °C Glas 64 °C PET	30..100 min	Saft, Limonade, Konserven

5.2.3. Schlachten und Fleischverarbeitung

Die fleischverarbeitende Industrie gliedert sich in die beiden Bereiche Schlachtbetriebe und Fleischereien, in denen die Weiterverarbeitung und Veredelung des Fleisches statt findet. Die Branche liegt mit einem jährlichen Endenergieverbrauch von 6,8 TWh auf dem dritten Platz in der Lebensmittelindustrie (DeStatis, 2010b). Der thermische Energieverbrauch von Fleischereien unterscheidet sich aufgrund der Betriebsgröße und unterschiedlicher Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung deutlich. Die Betriebe werden daher in zwei Größenklassen eingeteilt. Bei einem Fleischdurchsatz von weniger als 250 t/a liegt der durchschnittliche spezifische Wärmeverbrauch bei 1,3 kWh/kg, darüber können 0,7 kWh/kg angenommen werden (Energie Agentur NRW, 2010b). Insgesamt macht Wärme 65 % des Energieverbrauchs aus und verteilt sich auf 61 % für Prozesswärme, 34 % für Warmwasserbereitstellung und 5 % für Raumheizung (Blesl et al., 2008). Die in der Fleischverarbeitung ablaufenden Prozesse sind in Abbildung 5-9 nach Schlachtbetrieben und Fleischereien aufgegliedert. Prozesse in denen Wärme benötigt wird sind rot eingefärbt.

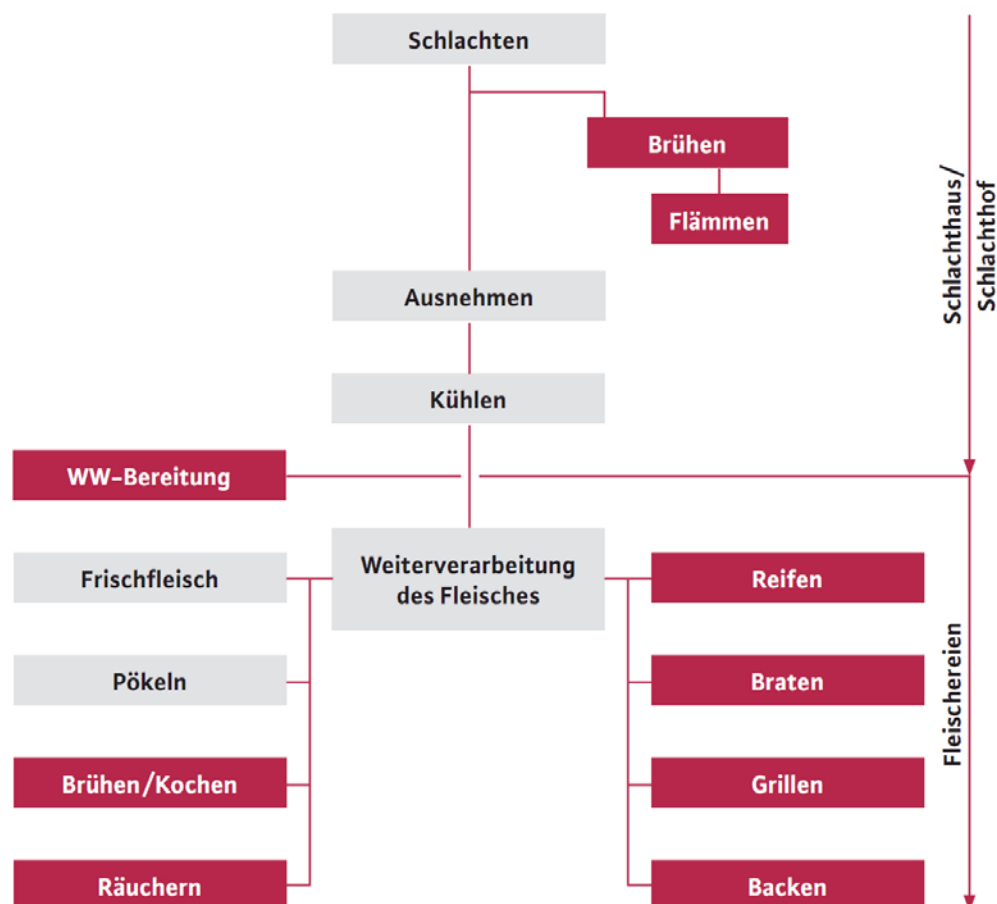


Abbildung 5-9: Prozesse in der Fleischverarbeitung (Strempel, 2005)

In Abbildung 5-10 ist durch die deutliche Ausprägung von Leistungsspitzen zu erkennen, dass die Prozesse zumeist chargenweise ablaufen. Die Schwankung der Leistungsabnahme über die Tage hängt von dem jeweils hergestellten Produkt ab.

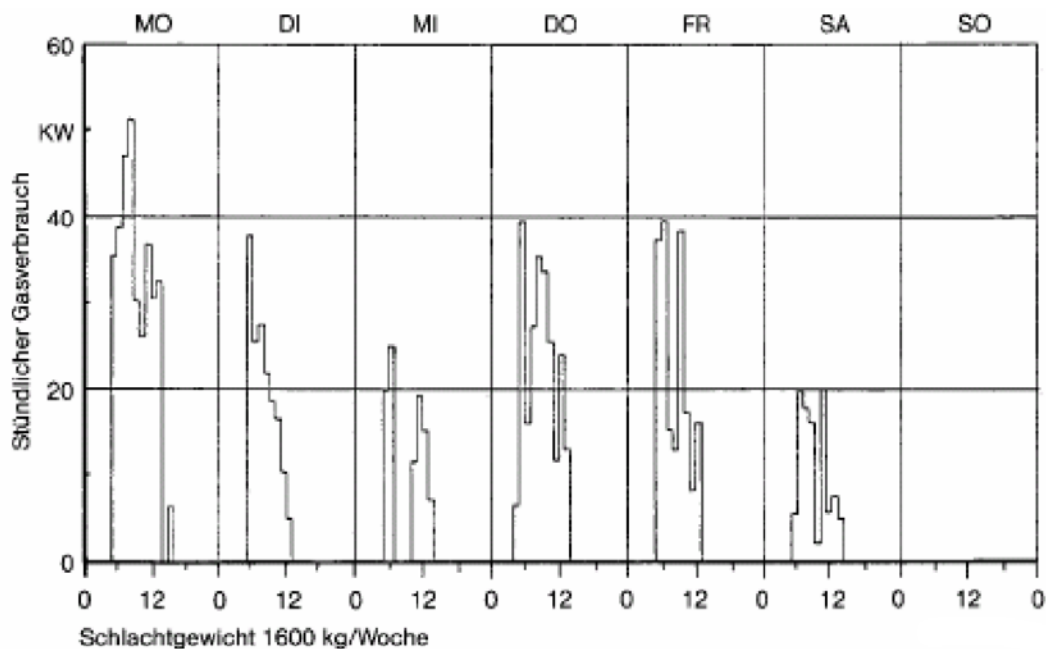


Abbildung 5-10: Wochengang für benötigte Prozesswärme in einem Fleischereibetrieb (Strempel, 2005)

Während Frischfleisch ohne thermische Behandlung in den Verkauf geht, werden andere Erzeugnisse wie Fleischkäse, Kochschinken oder Brühwurst noch in Räucherammern und in Koch- oder Brühkesseln behandelt. Kochen und Brühen finden in denselben Geräten statt. Während in kleineren Betrieben häufig offene Kessel verwendet werden, kommen bei größeren Produktionsmengen Kochkammern zum Einsatz, die mit Rollwagen beschickt werden können. Diesen Kammern wird Wärme zugeführt indem feuchte Luft in Zwangszirkulation über Wärmeübertrager oder Gasbrenner geleitet wird.

Gebrüht werden hauptsächlich Wurstwaren bei Temperaturen von 75 °C über einen Zeitraum von 15 bis 45 Minuten. Aufschnitt wird für 110 Minuten gebrüht. Abhängig von der zu behandelnden Fleischsorte kann das Brühen auch bei niedrigeren Temperaturen stattfinden (z.B. Geflügel bei 48..65 °C). Gekocht werden Kasseler, Kochschinken, sowie einige Wurstsorten bei einer Temperatur von 100 °C (Strempel, 2005), (Wieting et al., 2009). Beim Räuchern unterscheidet man drei Temperaturniveaus. Kalträuchern erfolgt bei Temperaturen von 15 bis 20 °C. Hier besteht kein Bedarf an Prozesswärme. Warmräuchern erfolgt bei 25 bis 50 °C über Zeiträume von 2 bis 24 Stunden. Pro 100 kg Räuchergut werden 40 kWh thermische Energie benötigt. Heißräuchern erfolgt bei 50 bis 80 °C über 10 bis 180 Minuten. Dafür werden 24 kWh Wärme pro 100 kg Räuchergut benötigt. Die Wärmezufuhr erfolgt in gleicher Weise, wie bei Kochkammern. Zum Teil können zum Kochen und Räuchern die gleichen Kammern verwendet werden (Strempel, 2005). Da Einrichtungen zum Flämmen, Braten, Grillen und Backen bei hohen Temperaturen und daher zumeist direkt mit Gasbrennern betrieben werden, liegen die Potentiale für die Anwendung solarer Niedertemperaturpro-

zesswärme vor allem im Brühen, Kochen und Räuchern, sowie in der Warmwasserbereitung. Für das Reifen von Wurstwaren und Schinken sind nur geringe Wärmemengen oder sogar Kühlung nötig, da die Temperaturen bei 12 °C bis 14 °C liegen (Ortner et al., 2006).

Reinigungsprozesse kommen sowohl beim Schlachten und der Fleischverarbeitung, als auch in vielen anderen Bereichen des Ernährungsgewerbes vor. Reinigung bezeichnet die Entfernung von Produktrückständen und Mikroorganismen von einer Oberfläche. Reinigungsprozesse dienen daher meist der Einhaltung hygienischer Standards. Auch bei der Umstellung einer Anlage auf die Produktion eines anderen Produkts erfolgt eine Reinigung. Die Frequenz der Reinigungsvorgänge hängt vom produzierten Produkt und vom Prozess ab. In der Regel werden Produktionsanlagen gereinigt, wohingegen Behältnisse wie Flaschen, Kisten, Gläser, etc. die das Endprodukt beinhalten gewaschen werden. Die Reinigung von Produktionsanlagen kann automatisiert oder manuell erfolgen. Die automatisierte wird in der Regel als CIP (cleaning in place) und die manuelle Reinigung als COP (cleaning out of place) Verfahren bezeichnet. Beim **CIP Verfahren** werden im Anschluss an einen Produktionszyklus alle durchflossenen Anlagenteile mit einer Reinigungslösung gespült, ohne dass die Anlage zerlegt werden muss. Bei dieser Methode unterscheidet man zwischen zwei Verfahrensprinzipien. Bei der verlorenen Reinigung wird die verschmutzte Reinigungslösung direkt nach der Reinigung dem Abwasser zugeführt. Einsatzgebiet sind kleine, selten genutzte und/oder sehr stark verschmutzende Anlagen. Bei der Stapelreinigung werden die Reinigungslösungen gemischt und temperiert in Stapeltanks bevorratet und nach ihrem Einsatz wieder dorthin zurückgeführt. Beim **COP Verfahren** werden die Teile der Anlagen teilweise demontiert und anschließend gereinigt. Dieses geschieht meist manuell durch Waschen oder Hochdruckreinigen der verschmutzten Anlagenteile. Die verwendeten Temperaturen liegen meist bei 60 °C. Die Reinigung von Produktionsanlagen erfolgt in der Regel in einem Temperaturbereich von 60..85 °C (EIPPCB, 2006).

5.2.4. Herstellung von Back- und Teigwaren

Die Branche Herstellung von Back- und Teigwaren unterteilt sich in die drei Bereiche Herstellung von Backwaren (Brot, Brötchen und feine Backwaren wie Kuchen, Torten, Waffeln, etc.), Herstellung von Dauerbackwaren (Knäckebrot, Zwieback, Spritzgebäck, Kracker, Bretzeln, etc.) sowie Herstellung von Teigwaren (hauptsächlich Nudeln, aber auch Couscous und gefrorene Teigwaren). Insgesamt betrug der Energieverbrauch dieser Branche in 2009 knapp 6,4 TWh, wovon etwas weniger als 40 % auf Strom entfielen. Dieser Stromanteil ist repräsentativ für die beiden zuerst genannten Bereiche dieser Branche. Bei der Herstellung von Teigwaren hat Strom einen Anteil von gut einem Viertel am gesamten Energieverbrauch (DeStatis, 2010b). Die Branche umfasst knapp 2.400 Unternehmen mit insgesamt knapp 270.000 Beschäftigten, deren Großteil jedoch aus den Bereich der Backwarenherstellung resultiert. Lediglich 100 Unternehmen sind im Bereich der Dauerbackwaren und Teigwaren tätig. Der Umsatz der Branche betrug etwa 18,4 Mrd. Euro in 2009 (DeStatis, 2011).

Der energetisch bedeutendste Bereich, die Herstellung von Backwaren, erscheint aus solarthermischer Sicht eher uninteressant. Zwar ist ein großer Warmwasserbedarf für Teigberei-

tung und Reinigungsprozesse vorhanden, welcher allerdings durch Wärmerückgewinnungsmaßnahmen der Ofenabluft und Kältebereitstellung gedeckt werden kann. Abhängig von Größe, Produktsortiment und Effizienzgrad des jeweiligen Betriebes können sich dennoch sinnvolle Möglichkeiten der Nutzung solarer Prozesswärme ergeben.

Die Teigwarenherstellung ist hauptsächlich durch die **Produktion von Nudeln** geprägt. Deren Produktion verläuft in den drei Schritten Dosieren/Mischen, Ausformen und Trocknen. Bei der Produktion von herkömmlichen Nudeln spielt die **Trocknung** aus thermischen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle. Hierbei kommen hauptsächlich die Hochtemperaturtrocknung bei 55..85 °C sowie die Ultrahochtemperaturtrocknung bei 75..130 °C zum Einsatz. Bei der Herstellung von Spätzle ist auch der Ausformungsprozess durch einen hohen thermischen Energiebedarf gekennzeichnet, da dieses durch Blanchieren geschieht (Werner, 2010).

5.2.5. Obst- und Gemüseverarbeitung

In Deutschland werden jährlich ca. 4,5 Mio. Tonnen Obst und Gemüse erzeugt und teilweise zu Veredelungsprodukten weiterverarbeitet (BMELV, 2009). Dazu verbrauchen die über 200 in dieser Branche tätigen Unternehmen im Jahre 2009 gut 5 TWh. Hiervon entfielen knapp 30 % auf Strom, der Großteil ist thermische Energie (DeStatis, 2010b). Die in dieser Branche verwendeten Prozesse benötigen mitunter erhebliche Wärmemengen. Abhängig von der Frucht- oder Gemüsesorte kommen verschiedene Veredelungsschritte in Frage. Bei der **Saftherstellung** wird für die Weiterverarbeitung bei einem Saftersteller ein Saftkonzentrat als Zwischenprodukt hergestellt. Der Wassergehalt des Saftes wird dabei durch Eindampfen reduziert, was den Transport vereinfacht. Säfte mit niedrigen pH-Werten müssen zusätzlich pasteurisiert werden. Für die **Herstellung von Konservenobst und -gemüse** werden die Produkte zunächst gewaschen, sortiert und anschließend bei bis zu 90 °C blanchiert. Nach der Dosenabfüllung werden diese in einem Pasteurisierungsschritt kurzzeitig auf 85 bis 100 °C erwärmt. Die Herstellung von **Tiefkühlgemüse** folgt im Wesentlichen den Prozessschritten der Konservenherstellung. Nach dem Blanchieren folgen Tiefgefrieren und Abpacken. Das **Trocknen** kommt insbesondere für Trauben, Birnen, Äpfel und Pflaumen sowie Tomaten, Zwiebeln und Pilze zum Einsatz. Zumeist werden sie in Trockentunneln, die mit heißer Luft durchströmt werden, getrocknet. Für sensible Produkte kommen auch alternative Verfahren wie Gefriertrocknen in Frage. Für die **Marmeladenherstellung** werden Früchte zunächst zerkleinert und dann unter Zugabe von Zucker gekocht. Anschließend erfolgt eine Pasteurisierung bei mindestens 85 °C. Das Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme liegt vorwiegend in der Wärmebereitstellung für das Blanchieren oder Pasteurisieren. Auch das Trocknen von Obst und Gemüse ist ein interessantes Anwendungsgebiet (EIPPCB, 2006).

Blanchieren bezeichnet das kurzzeitige Erhitzen von Lebensmitteln (z.B. Gemüse) auf 65 bis 95 °C zu deren Konservierung durch die Deaktivierung von Enzymen und die Reduktion der Keimbelastung. Tomaten werden beispielsweise zur Vereinfachung des Schälvorgangs zuvor blanchiert. Gewöhnlich werden die Produkte vor dem Blanchiervorgang vorgewärmt und direkt danach abgekühlt. Die meisten Gemüse werden nach dem Blanchieren sofort tiefgefroren und verpackt. Blanchieranlagen können sowohl für die chargenweise, als auch für

die kontinuierliche Produktion ausgeführt werden. In der Industrie spielen chargenweise betriebene Anlagen nur in sehr kleinen Betrieben eine Rolle. Die häufiger verwendeten kontinuierlichen Blanchieranlagen unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der Wärmezufuhr in Vorwärmzone und Blanchierzone, sowie der Wärmeabfuhr in der angeschlossenen Abkühlzone. Die Wärmezufuhr kann direkt durch ein Wasserbad, durch Zuführen von Wasserdampf oder indirekt durch Wärmeübertrager erfolgen (EIPPCB, 2006). Es wird zwischen Band- und Trommelblancheuren unterschieden. Abbildung 5-11 zeigt einen Bandblancheur.

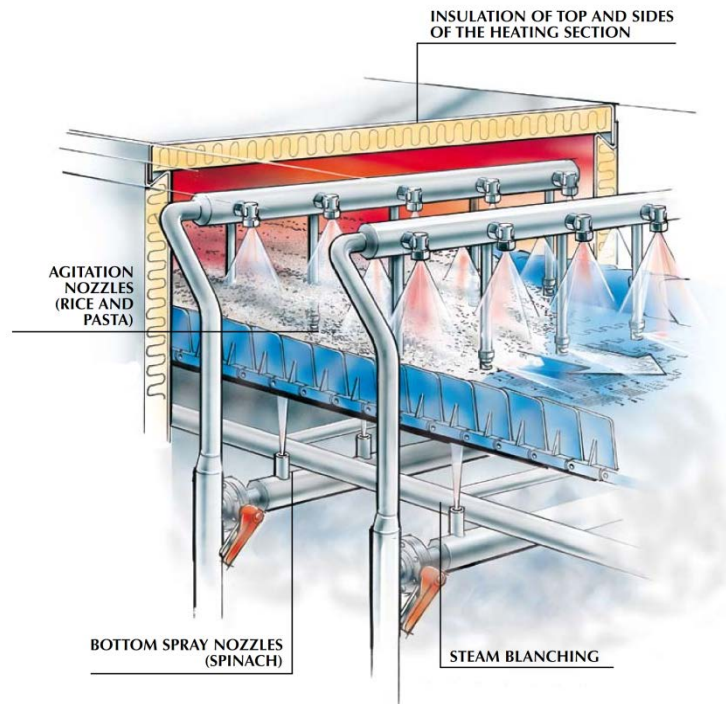


Abbildung 5-11: Schematische Darstellung eines Bandblancheurs (Cabinplant, 2010)

Bei dieser Bauart wird zwischen Luft- und Wasserkühlung unterschieden. Die Blanchierprodukte durchlaufen auf einem Band Vorwärm-, Blanchier- und Abkühlzone. In der Abkühlzone werden die Produkte von oben und/oder von unten mit 2..15°C kaltem Wasser besprüht. Die Verwendung von Einrichtungen zur Wasser- und Wärmerückgewinnung ist bei modernen Anlagen technischer Standard. Meist wird das in der Kühlzone erwärmte Wasser gefiltert und der Vorwärmzone zugeführt. Diese Blanchiermethode ist die Energieeffizienteste. Die Temperatur des Blanchiervorgangs liegen wie in Tabelle 5-7 zu sehen knapp unterhalb von 100°C. Sie ist Abhängig vom gewählten Verfahren und den behandelten Produkten. Der Prozessablauf bei Bandblancheuren ist meist kontinuierlich. Beim Trommelblancheur wird das Produkt mit einer Förderschnecke durch den Blancheur geführt und anschließend herunter gekühlt, wie in Abbildung 5-12 gezeigt.

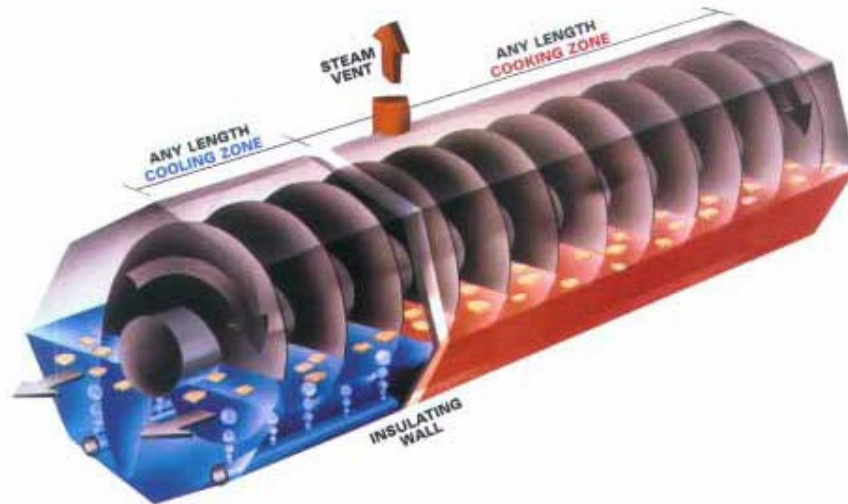


Abbildung 5-12: Schematische Darstellung eines Trommelblancheurs

Trommelblancheure haben eine geringere Baugröße als Bandblancheure sind aber vergleichsweise energieineffizient. Es wird zwischen gewöhnlicher Wasser/Luftkühlung und Gegenstromkühlung unterschieden. Bei der Gegenstromkühlung wird das in der Abkühlzone erwärmte Wasser zur Wärmerückgewinnung der Blanchierzone zugeführt und dabei indirekt durch einen zwischengeschalteten Wärmeübertrager oder direkt durch Einleitung von Dampf auf Blanchiertemperatur gebracht. Der Prozessablauf bei Bandblancheuren ist meist diskontinuierlich. Die Tabelle 5-7 gibt eine qualitative Übersicht zum Energiebedarf der verschiedenen Anlagen.

Tabelle 5-7: Eigenschaften verschiedener Bandblancheure (EIPPCB, 2006)

Verfahren	Vorwärmzone [°C]	Blanchierzone [°C]	Energie	Wasser
Dampf-Bandblancheur mit Luftkühlung	60	65..95	3	1
Bandblancheur mit Wasserkühlung	60	80..95	1	3
Bandblancheur mit Luftkühlung	60	80..95	4	2

1: niedrigster Verbrauch; 4: höchster Verbrauch

In einigen Bereichen der Lebensmittelindustrie werden Mikrowellen zum Blanchieren von Gemüse genutzt. Dadurch kann sowohl Abwasser, als auch Energie eingespart werden. Zusätzlich kann in einigen Fällen die Durchlaufzeit verringert werden, die Anlagen sind jedoch sehr teuer. Eine weitere Möglichkeit zum Einsparen von Energie liegt in der Umstellung der weniger effizienten Verfahren auf Bandblancheur mit Wasserkühlung, da insbesondere diese Art der Kühlung den geringsten Energieverbrauch aufweist. Hierbei kann das Wasser aus der ersten Kühlzone in der Vorwärmzone genutzt werden.

Eindampfen ist ein Verfahren zur Volumenverringerung von Flüssigkeiten durch Wasserentzug. Flüssigkeiten werden gewöhnlich auf 40 bis 75 % Trockenmassegehalt eingedampft. In einigen Verfahren sind auch bis zu 90 % Trockenmassegehalt erreichbar. Bei komplettem Entzug des Wassers spricht man nicht mehr von Eindampfen, sondern von Trocknen. Die Flüssigkeit wird erhitzt während der freiwerdende Dampf abgeführt wird. Bei temperatursensiblen Produkten findet der Vorgang unter Vakuumbedingungen statt um die Siedetemperatur herabzusetzen. Eindampfen wird vor allem in der Fruchtsaft-, Milch- und Gemüsepastenherstellung genutzt (EIPPCB, 2006).

Der Eindampfprozess wird zumeist bei Temperaturen zwischen 50 und 100°C (unter Druck auch bei bis zu 130 °C) betrieben. Tabelle 5-8 gibt beispielhaft einige Temperaturniveaus für Eindampfvorgänge an. Die benötigte Wärmeenergie beträgt für den Entzug von Wasser zwischen 0,7 kWh und 1 kWh pro erzeugtem Kilogramm Konzentrat (EIPPCB, 2006). Oft wird die thermische Energie durch Abwärme aus anderen Prozessen bereitgestellt.

Tabelle 5-8: Temperaturen von Eindampfprozessen (JOINTS, 2010)

Produkt	Temperatur [°C]
Fruchtsaft	40..70
Zuckersaft unter Druck	105..129
Zuckersaft im Vakuum	55..104

5.2.6. Herstellung von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten

Die Branche Herstellung von pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen lässt sich in drei Bereiche aufteilen. Zunächst erfolgt die Herstellung von rohen Ölen und Fetten in den Ölmühlen. Die Rohöle können direkt in den Großhandel gehen oder werden für die Herstellung von raffinierten Ölen und Fetten verwendet. Die Produkte der Raffination können schließlich direkt als Speiseöle Verwendung finden oder zu Margarine und ähnlichen Nahrungsfetten weiterverarbeitet werden (OVID, 2011).

Die Branche ist mit 24 Unternehmen und etwa 6.300 Beschäftigten relativ überschaubar und erwirtschaftete in 2009 einen Umsatz von 5,3 Mrd. € (DeStatis, 2011). Der Energieverbrauch der Branche lag im Jahr 2009 bei 4,2 TWh, wobei 75 % davon auf den Energieträger Erdgas zurückzuführen ist (DeStatis, 2010b).

In den Ölmühlen wird aus verschiedenen Rohstoffen das Rohöl gewonnen. Hierzu werden die Saaten zunächst gründlich gereinigt und getrocknet. Anschließend erfolgt das so genannte Brechen. Dabei werden die erwärmten Körner zerkleinert und gewalzt. Das Öl wird danach aus dem Zellgewebe gelöst. Bei der Extraktion des Öls bleiben die entölten Schrote übrig, die in so genannten Toastern mit Wasserdampf behandelt werden. Nach Abkühlung und Trocknung sind die Schrote gebrauchsfertige Futtermittel für die Landwirtschaft. Für die gewonnenen Rohöle und -fette schließt sich ein Veredelungsprozess an. Bei dieser so genannten Raffination werden für die beabsichtigte Verwendung unerwünschte Stoffe entfernt. Bei der Raffination unterscheidet man die Chemische von der Physikalischen. Die chemische Raffination

durchläuft die Stufen Entschleimung, Neutralisation, Bleichung und Desodorierung. Die physikalische Raffination beinhaltet die Entschleimung, Bleichung, destillative Entsäuerung und Desodorierung. Da bei der Desodorierung Prozesstemperaturen von 200..250 °C benötigt werden und demnach vorgeschaltete Prozesse über Wärmerückgewinnung versorgt werden können, scheinen die Einsatzmöglichkeiten solarer Prozesswärme bei der Raffination sehr begrenzt. Auch die anschließenden Prozesse zur Weiterverarbeitung zu beispielsweise Margarine verfügen über vergleichsweise hohe Temperaturen (Bockisch, 1993).

Lediglich die Prozesse zur Ölherstellung in den Ölmühlen lassen einen potentiellen Einsatz von Solarthermie vermuten, da die Saaten getrocknet bzw. erwärmt werden und die entölten Schrote ebenfalls thermisch behandelt werden. Allerdings verfügen viele der in Deutschland ansässigen großen Ölmühlen über eine nachgelagerte Raffination am gleichen Standort, so dass die unterschiedlichen Produktionseinheiten energetisch miteinander verknüpft sein sollten.

5.2.7. Herstellung von Bier

Im Jahr 2009 gab es in Deutschland über 580 Brauunternehmen, die mit knapp 31.000 Beschäftigten 1.327 Brauereien betrieben und dabei insgesamt 5.000 verschiedenen Biersorten produzierten (Berkhout et al., 2009), (Kelch, 2010). Der Großteil dieser Braustätten entfällt auf die Größenklasse mit einer Jahresproduktion unter 5.000 Hektoliter (hl) (so genannte Kleinst- oder Gasthausbrauereien). Diese Brauereien produzierten lediglich 1,5 % der deutschen Gesamtjahreserzeugung. Etwa 30 % sind typisch mittelständische Brauereien mit einem Ausstoß zwischen 5.000 hl und 500.000 hl pro Jahr. Weniger als 5 % aller Betriebe sind Großbrauereien mit einer Jahresproduktion über 0,5 Mio. hl. Diese produzierten jedoch in 2009 über 74 % der Gesamtjahreserzeugung von knapp 95 Mio. hl Bier. Der gesamte Umsatz der Branche lag bei etwa 8,2 Mrd. Euro. In der Verteilung der Marktanteile auf die jeweiligen Biersorten liegt Pils mit 55 % vor Export mit 10 % und Weizen mit 8 % an der Spitze (Marx, 2009). Im Konsum ist Bier hinter Wasser, Bohnenkaffee und Erfrischungsgetränken mit 110 Litern pro Kopf eines der beliebtesten Getränke. Der Energieverbrauch des Brauwesens lag in 2009 bei etwa 3,8 TWh (DeStatis, 2010a). Große Brauereien (Ausstoß > 1 Mio. hl) benötigen für die Produktion eines Hektoliters Bier durchschnittlich knapp 40 kWh. Davon fallen in der Regel 75 % für die Bereitstellung von Prozesswärme an. Kleinere Brauereien (Ausstoß von 50.000 bis 100.000 hl) haben einen höheren spezifischen Energiebedarf, der im Mittel bei etwa 50 kWh pro hl liegt. Im Einzelfall kann der tatsächliche Energieverbrauch weit über diesen durchschnittlichen Werten liegen.

Aus einer Branchenanalyse der Universität Stuttgart geht der Einfluss der Betriebsgröße auf den jährlichen Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten hervor. Die in Tabelle 5-9 dargelegte Wärmebedarfs- und Kostenstruktur zeigt, dass die Kosten der Wärmebereitstellung bei kleinen Betrieben unter 20 Mitarbeitern erheblich über denen größerer Betriebe liegen, da kleinere Anlagen mit weniger Vollaststunden laufen.

Tabelle 5-9: Wärmebedarf und Kostenstruktur von Brauereibetrieben (Blesl et al., 2007)

Betriebsgröße	Vollbenutzungsstundenzahl	Spez. Investitionskosten	Spez. Fixkosten	Brennstoffkosten
[Mitarbeiter]	[h/a]	[€/kWh _{th}]	[€/MWh _{th}]	[€/MWh _{th}]
< 20	1.000	310	2,07	65
20 bis 80	1.500	94	0,31	60
> 80	2.500	40	0,10	55

Abbildung 5-13 veranschaulicht die Aufteilung des Wärmebedarfs in Brauereibetrieben. Mit durchschnittlich 55 % ist das Sudhaus der größte thermische Energieverbraucher einer Brauerei, gefolgt von der Flaschenhalle mit 30 %. Der größte Stromverbraucher in Brauereien ist die Bereitstellung von Kälte, welche für den Gär- und Lagerkeller benötigt wird. Doch auch in der Flaschenhalle sorgen eine Vielzahl von Pumpen, Antrieben und Maschinen für einen hohen Stromverbrauch.

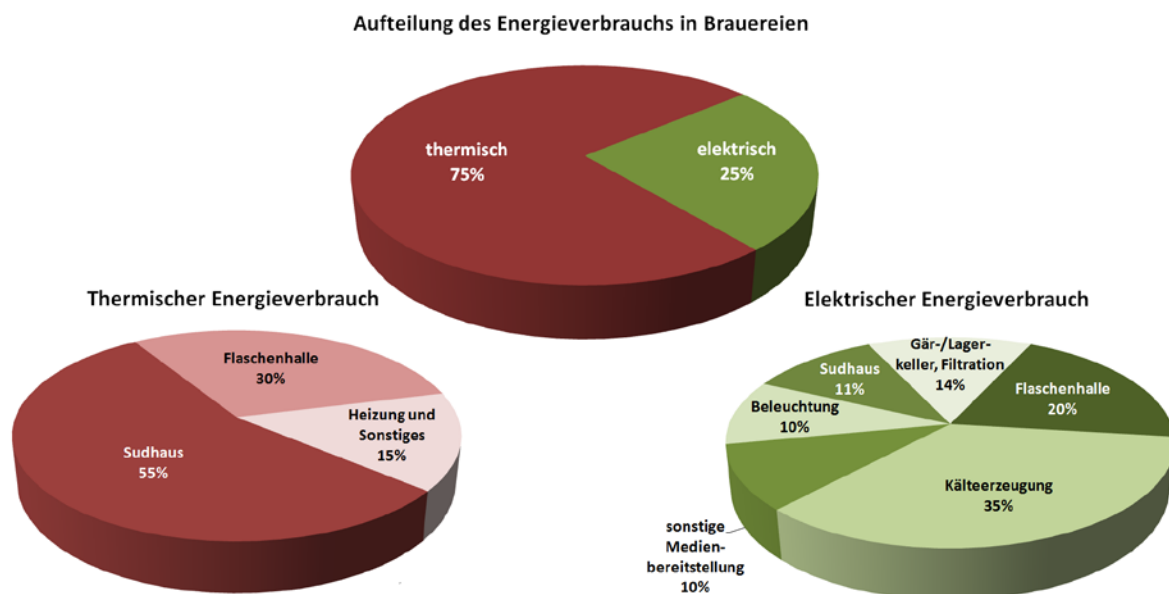


Abbildung 5-13: Aufteilung des Wärmebedarfs in Brauereien (Hackensellner und Bühler, 2008)

Nach dem deutschen Reinheitsgebot werden für die Produktion von Bier lediglich Wasser, Malz, Hopfen und Hefe verwendet. Neben diesen Rohstoffen benötigen Brauereien zur Produktion weitere Hilfsstoffe wie CO₂, Lauge und andere Chemikalien zur Reinigung sowie unterschiedliche Behältnisse zur Abfüllung des Bieres. Der Produktionsablauf innerhalb einer Brauerei lässt sich unabhängig von Größe und Sortiment in drei Abschnitte unterteilen. Diese sind nach Abbildung 5-14 das Sudhaus (Herstellung der Würze), der Gär- und Lagerkeller (Gären und Lagern) sowie die Abfüllhalle (Abfüllen und Haltbarmachung). Neben diesen drei Produktionsbereichen gibt es noch Nebeneinrichtungen, die wichtige Aufgaben zur Ver- und

Entsorgung des Produktionsablaufes wahrnehmen (Medienversorgung, Reinigungseinrichtungen, Wasseraufbereitung sowie Lagerhallen und Bürogebäude).

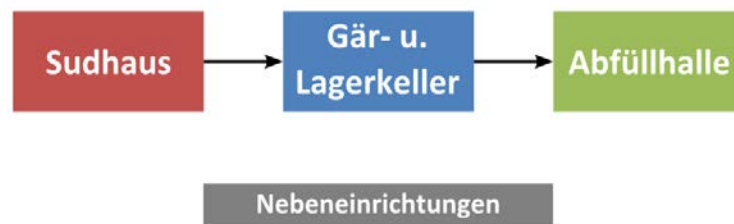


Abbildung 5-14: Vereinfachte Darstellung des Produktionsablaufes in Brauereien

Die Temperaturniveaus der thermisch relevanten Prozesse innerhalb einer Brauerei liegen meist im Bereich um 80 °C. Lediglich beim Kochen der Würze liegt die Prozesstemperatur bei 100 °C. Vor dem eigentlichen Brauprozess steht die Malzherstellung, welche in der Regel nicht in den Brauereien erfolgt. Abbildung 5-15 zeigt die Prozess im Sudhaus.

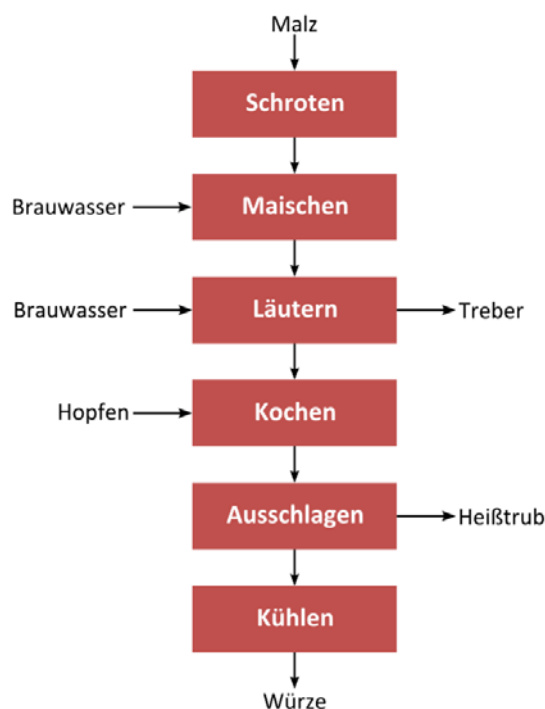


Abbildung 5-15: Produktionsabläufe im Sudhaus

Beim **Maischen** wird geschrotetes Malz je nach Einmischverfahren mit 35 °C, 45 °C oder 61 °C warmem Wasser gemischt wodurch die Inhaltsstoffe des Malzes in Lösung gebracht werden. Danach wird in einem genau definierten Verlauf die Temperatur bis auf 76 °C erhöht (Kunze, 2007). Zwischenzeitliches Abzapfen und Kochen kleiner Maischemengen bei 100 °C wird Dekoktion genannt (Kunze, 2007). Die Variation von Temperaturniveau, Haltezeiten und Dekoktionsschritten beeinflusst stark den späteren Geschmack des Bieres und variiert je nach Brauerei.

Beim anschließenden **Läutern** erfolgt die Trennung von Würze und Treber (unlösliche Malzbestandteile). Dies geschieht in zwei Phasen. Zunächst erfolgt das Abziehen der gewonnenen Würze in einem Filtrationsprozess. Dies wird als Abläutern der Vorderwürze bezeichnet. Anschließend erfolgt das Auswaschen des nach dem Filtrationsprozess in den Trebern noch verbleibenden Extraktes durch heißes Wasser. Dies wird auch als Anschwänzen bezeichnet. Das Abläutern erfolgt heute hauptsächlich mittels Läuterbottichen oder Maischefiltern (Blechschmidt, 2010).

Anschließend erfolgt die **Würzekochung**. Dabei wird die gewonnene Würze 50 bis 70 Minuten unter Zugabe von Hopfen in der Würzepfanne gekocht. Dabei werden bittere und aromatische Bestandteile des Hopfens in die Würze überführt und gleichzeitig Eiweißstoffe ausgeschieden. Da die Vorderwürze beim Läutern durch die Nachgüsse stark verdünnt wurde, muss beim Kochen eine definierte Menge Wasser verdampft werden, um die gewünschte Würzekonzentration zu erhalten. Dazu werden etwa 8..10 % des Würzevolumens verdampft. Zudem wird die Würze während der Kochung sterilisiert. Die Kochzeit beträgt je nach verwendetem Kochverfahren 40..100 Minuten (Berkermann, 2010). Bei Verdampfung von 5 % des Wassers werden 7,5-7,8 kWh pro Hektoliter an Prozesswärme benötigt. Bei Verdampfung von 10 % des Wassers sind es 11-11,4 kWh pro Hektoliter (Hackensellner und Bühler, 2005). Ist der gewünschte Stammwürzegehalt erreicht, endet der Kochvorgang und es beginnt das **Ausschlagen**. Dabei wird der sogenannte Heißtrub entfernt, der beim Kochen entsteht.

Nach dem Ausschlagen erfolgt das **Kühlen** der Würze. Für die klassische Untergärung wird die Würze auf 4..7 °C, zum Teil auch auf 10 °C abgekühlt. Für obergärige Biere (z.B. Weizenbier) muss die Würze lediglich auf 12..18 °C gekühlt werden (Blechschmidt, 2010). Die Abkühlung der Würze erfolgt mit ein- oder zweistufigen Plattenwärmeübertragern. Bei der Verwendung von einstufigen Wärmeübertragern wird frisches Brauwasser auf 2..5 °C gekühlt und im Gegenstrom zur Würze geführt. Das Brauwasser erwärmt sich dabei auf mindestens 80 °C und wird der Brauwasserreserve zugeführt. Beim nächsten Sud kann das heiße Brauwasser zum Einmaischen und Läutern verwendet werden. Bei zweistufigen Wärmeübertragern wird die Würze zunächst durch ungekühltes Brauwasser (10..15 °C) abgekühlt. Das Brauwasser erwärmt sich in diesem Fall ebenfalls auf eine Temperatur von mindestens 80 °C und kann zum Einmaischen und Läutern verwendet werden. Im zweiten Abschnitt des Wärmeübertragers wird Eiswasser oder ein anderes Kühlmittel (Glykol oder Ammoniak) verwendet. Der Wärmeübertrager ist derart ausgelegt, dass der gesamte Kühlungsprozess der Würze nicht länger als 60 Minuten dauert (Hackensellner und Bühler, 2008).

Der nächsten Abschnitt im Produktionsprozess einer Brauerei ist der Gär- und Lagerkeller, dessen Prozess in Abbildung 5-16 zu sehen sind.

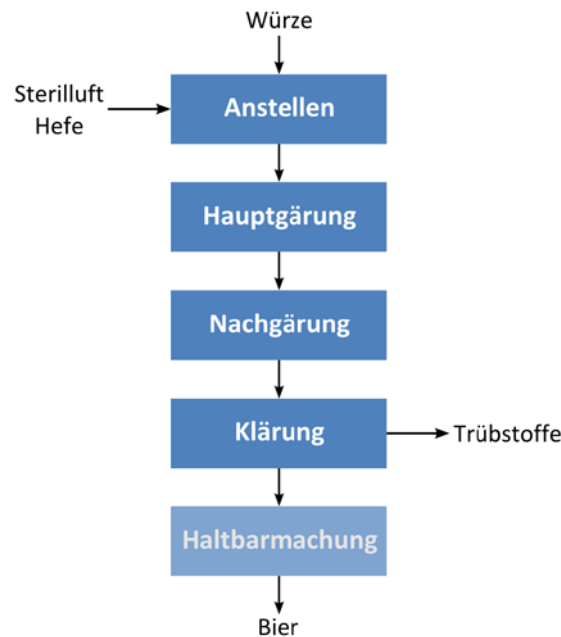


Abbildung 5-16: Produktionsabläufe im Gär- und Lagerkeller

Beim **Anstellen** wird die Würze mit Sterilluft und Hefe versetzt und in Gärtanks gepumpt. Die zugegebene Hefe vergärt den meisten Zucker innerhalb von 8 Tagen zu Alkohol. Die **Gärung** des Bieres verläuft abhängig von Sorte und Fortschritt des Gärungsprozesses bei etwa 10..16 °C und kann bis zu zehn Tage andauern. Anschließend erfolgt die **Lagerung** des Bieres kurz oberhalb des Gefrierpunkts.

Nach Abschluss der Lagerung erfolgt die Haltbarmachung und Abfüllung in unterschiedliche Gebinde. Dazu werden bei den meisten Biersorten Trübstoffe (Eiweißgerbstoffe, Hopfenharze, Hefe oder andere bierverderbende Bakterien) abgeschieden. Dies erfolgt durch Filtrieren oder Zentrifugieren. Nach der **Filtration** kann das Bier direkt in Fässer, Flaschen und Dosen gefüllt werden oder es erfolgt eine Lagerung in Drucktanks, aus denen je nach Bedarf die Abfüllung der unterschiedlichen Gebinde erfolgt. Zur **Haltbarmachung** des Bieres gibt es mehrere Möglichkeiten. Die effizienteste Variante ist die Kurzzeiterhitzung mittels Plattenwärmeübertrager auf mindestens 68..72 °C. Biermischgetränke und alkoholfreie Biere werden in der Regel nach der Abfüllung pasteurisiert. Dies kann bei kleineren Chargen in Palettenpasteuren erfolgen. Effizienter ist hingegen die kontinuierliche Wärmebehandlung in sogenannten Tunnelpasteuren, wofür bei 62 °C etwa 3,8..4,6 kWh Wärme pro Hektoliter Bier benötigt werden (Hackensellner und Bühler, 2005).

In der Abfüllhalle finden die abschließenden Prozesse der Bierherstellung statt, wie Abbildung 5-17 zeigt. Die **Abfüllung** von Bier erfolgt in Flaschen, Dosen und Fässer. Bei Verwendung von Mehrwegflaschen werden diese vollautomatisch in einer Flaschenreinigungsmaschine bei Temperaturen von bis zu 80 °C gewaschen. Pro Flasche liegt der Wärmebedarf bei 7..13,8 Wh (Hackensellner und Bühler, 2005). Interne Möglichkeiten zur

Wärmerückgewinnung werden in modernen Maschinen sehr gut ausgenutzt. Auch die Reinigung und Abfüllung von Kegs (zylindrische Metallfässer aus Aluminium oder Chromnickelstahl mit einem hermetisch abgeschlossenen Innenteil) erfolgt in der Regel vollautomatisch.

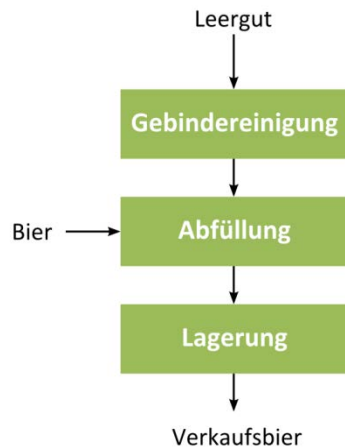


Abbildung 5-17: Produktionsabläufe in der Abfüllhalle

Brauereien bieten aufgrund ihres hohen Wärmebedarfs bei Temperaturen unter 100 °C ein großes Potential für solare Prozesswärme. Weiterhin wird der Einsatz einer Solaranlage dadurch begünstigt, dass in den Sommermonaten häufig mehr Bier produziert wird als in den Herbst- und Wintermonaten. Mögliche Anwendungsgebiete für solare Prozesswärme sind die Bereitstellung von heißem Brau- oder Reinigungswasser, die Beheizung der Flaschenwaschmaschine oder die Bereitstellung von Wärme für CIP Anlagen.

5.2.8. Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen

Eine relativ überschaubare Branche ist die Herstellung von Stärke & Stärkeerzeugnissen mit 13 Unternehmen und etwa 2.800 Mitarbeitern. Diese erwirtschafteten in 2009 einen Umsatz von 1,54 Mrd. € (DeStatis, 2011). Der Energieverbrauch der Branche belief sich im Jahre 2009 auf knapp 3,8 TWh, wobei der thermische Energieanteil etwa 80 % am Gesamtenergieeinsatz ausmacht (DeStatis, 2010b).

Stärkeprodukte werden vor allem aus Mais, Weizen und Kartoffeln gewonnen. Hierzu wurden innerhalb Deutschlands etwa 4,5 Mio. Tonnen im Jahr 2009 verarbeitet. Die Herstellung von Stärke erfolgte zu 44 % aus Kartoffeln, zu 29 % aus Weizen und zu 27 % aus Mais. Etwa 57 % der produzierten Produkte dienen der Weiterverarbeitung in der Lebensmittelindustrie, hauptsächlich zur Produktion von Süßwaren, aufbereiteten Lebensmitteln (Fertiggerichte, Nudeln oder Babynahrung) und Getränken. Die restlichen 43 % werden in anderen Wirtschaftszweigen zur Herstellung von Wellpappe, Papier, Kunststoffen, Harzen, Klebstoffen, Weichmachern, Zahnpasta oder Pharmazeutika benötigt (NGG, 2010).

Der Prozess der Stärkeherstellung gliedert sich in den Aufschluss des Rohmaterials, das Auswaschen der Stärke, die anschließende Raffination sowie die Entwässerung und Trocknung. Je nach eingesetztem Rohstoff ist der Aufschluss mehr oder weniger aufwendig

(Tscheuschner, 2004). Unabhängig vom Rohstoff ist die Stärkeproduktion allerdings durch komplexe Verfahrenstechnik geprägt, sodass ein potentieller Einsatz thermischer Solarenergie auf Anhieb nicht ersichtlich ist und im Einzelfall genau geprüft werden muss.

5.2.9. Herstellung von Süßwaren

Die deutsche Süßwarenbranche ist mit 130 Unternehmen und insgesamt etwa 33.000 Angestellten ein stark mittelständisch geprägtes Gewerbe. Der Umsatz dieser Branche, die aus den drei Bereichen Schokolade, Schokoladenerzeugnisse und Kakao, Zuckerwaren sowie Knabberartikel besteht, beträgt im Jahr 2009 etwa 8,22 Mrd. Euro (DeStatis, 2011). Der größte Anteil der Produktion und des Umsatzes ist auf die Produktion und Verarbeitung von Schokolade zurückzuführen. Der Energieverbrauch der Süßwarenbranche von gut 2,4 TWh verteilt sich hauptsächlich auf Erdgas (52 %) und Strom (42 %). Der restliche Bedarf wird durch Heizöl und Fernwärme gedeckt (DeStatis, 2010b). Ein Großteil der Prozesse zur Produktion und Verarbeitung von Süßwaren sind thermischer Natur. Bei der Schokoladenherstellung und -verarbeitung sind dies insbesondere Temperieren, Kristallisieren und Kühlen, bedingt auch Rösten und Schmelzen. Bei der Verarbeitung von Zuckerwaren sind vor allem Eindampfen, Trocknen, Kristallisieren und Kühlen zu nennen. Zudem gibt es auch hier Schmelz- und Temperierprozesse (AKMAS, 2009). Aus solarthermischer Sicht scheint vor allem die Herstellung von Schokoladenwaren interessant, da die zu verarbeitende Schokoladenmasse meist bei Temperaturen um 40 °C temperiert gelagert wird, um ein einfaches Pumpen gewährleisten zu können. Hierzu sind die Lagerbehälter und Rohre meist doppelwandig ausgeführt und durch Wasser beheizt. Häufig geschieht das Temperieren durch Strom.

Das **Schmelzen** ist ein häufiger Prozess in der Süßwarenbranche bei der Herstellung von Schokolade anzutreffen. Im Allgemeinen bezeichnet man als Schmelzen den direkten Übergang eines Stoffes vom festen in den flüssigen Aggregatzustand. Dieses geschieht unter Wärmezufuhr bei konstanter Temperatur (Schmelztemperatur). Im industriellen Maßstab werden Stoffe oder Stoffgemische meist zur Weiterverarbeitung oder zur Trennung aufgeschmolzen. Das Schmelzen kann chargenweise oder kontinuierlich durchgeführt werden. Für den chargenweisen Prozess kommen Kessel zum Einsatz, während für den kontinuierlichen Prozess meist Kratzrührer wie in Abbildung 5-18 dargestellt verwendet werden.

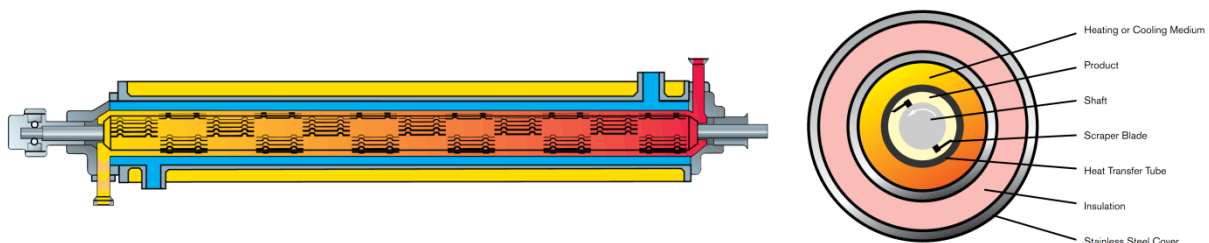


Abbildung 5-18: Kratzrührer mit Mantelwärmeübertrager (Waukesha, 2010)

In einem rohrförmigen Kratzrührer verhindern rotierende Messer das Anhaften von Stoffen an der Wand. Wärme kann sowohl direkt per Dampfinjektion oder indirekt per Mantelwärmeüber-

bertrager eingebracht werden. Soweit möglich wird der Schmelzprozess mit der Abwärme anderer Prozesse betrieben (EIPPCB, 2006). Die Temperaturen von Schmelzprozessen in der Lebensmittelindustrie liegen gewöhnlich unter 100 °C, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 5-10: Schmelzprozesse in der Lebensmittelindustrie (EIPPCB, 2006)

Produkt	Wärmezufuhr	Temperatur [°C]
tierisches Fett	Dampfinjektion	90
Palmöl	Mantelwärmeübertrager	75
Käse	Mantelwärmeübertrager	> 75
dunkle Schokolade	Mantelwärmeübertrager	45..60
weiße Schokolade	Mantelwärmeübertrager	40..50

5.2.10. Verarbeitung von Kaffee u. Tee, H. v. Kaffee-Ersatz

Die relativ kleine Branche „Verarbeitung von Kaffee u. Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz“ umfasst in Deutschland 40 Unternehmen mit gut 8.000 Beschäftigten. Der Umsatz dieser Branche lag in 2009 bei gut 3 Mrd. Euro (DeStatis, 2010b). Obwohl in Deutschland große Mengen Kaffee und Tee konsumiert werden, ist der Energieverbrauch dieser Branche mit 2 TWh in 2009 nicht allzu hoch (DeStatis, 2011). Dies liegt daran, dass die energieintensiven Prozessschritte wie Fermentation und Trocknung in den Ursprungsländern stattfinden und in Deutschland lediglich nachgeschaltete Veredelungsprozesse zu finden sind. Bei der Verarbeitung von Kaffee ist dies hauptsächlich die Röstung, welche bei bis zu 300 °C verläuft. Die Röstung wird heute meist kontinuierlich in perforierten, gasbeheizten, rotierenden Zylindern oder Schalen durchgeführt. Die Röstdauer hängt von der Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders und vom Wassergehalt der rohen Bohnen ab. Nach dem Rösten werden die Bohnen sofort abgekühlt. Ein weiterer Prozess bei der Verarbeitung von Kaffee ist die Entkoffeinierung. Dabei werden die Kaffeebohnen durch Dämpfen aufgeschlossen und das Coffein entfernt. Der entkoffeinierte Rohkaffee und das separierte Koffein müssen anschließend getrocknet werden. Bei der Herstellung von Kaffeeextrakt werden aus gerösteten und gemahlenen Kaffeebohnen die löslichen Bestandteile extrahiert. Anschließend wird der Kaffeeextrakt durch Eindampfen aufkonzentriert und mittels Sprüh- oder Gefriertrocknung getrocknet. Instant-Kaffee (löslicher Kaffee) wird aus geröstetem Kaffee durch Extraktion mit Heißwasser (etwa 165 °C) bei einem Druck bis etwa 20 bar und anschließender Gefrier- oder Sprühtrocknung gewonnen (Rimbach et al., 2010), (Ebermann und Elmadfa, 2008). Im Bereich der Verarbeitung von Tee sind thermisch relevante Prozesse hauptsächlich bei der Produktion von Instanttee vorhanden. Dabei wird Schwarzer Tee mit Wasser extrahiert, der Extrakt konzentriert und sprühgetrocknet (Belitz et al., 2001).

5.2.11. Mineralwassergewinnung, H. v. Erfrischungsgetränken

Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sind neben Bier die absatzstärksten Produkte der Getränkeindustrie. Unter Erfrischungsgetränke fallen Fruchtschorlen, Soft- und Energy-Drinks. Der Endenergieverbrauch der Branche lag in 2009 bei 1,85 TWh, dabei nahm Strom einen Anteil von 48 % ein (DeStatis, 2010b). Bezogen auf die Produktmenge bedeutet dies einen Energieeinsatz von durchschnittlich 0,8 kWh/l. Für die Produktion von Erfrischungsgetränken muss zunächst ein Getränkekonzentrat mit Wasser vermischt werden. Diese Mischung wird mit Kohlensäure versetzt und auf 2 bis 5 °C abgekühlt. Gleiches gilt auch für einige Mineralwässer. Nach diesem Schritt gleichen sich die Produktionsprozesse von Mineralwässern und Erfrischungsgetränken. Werden Mehrwegflaschen verwendet, so durchlaufen diese eine Flaschenwaschanlage. Durch Einspritzen warmer Lauge werden Glasflaschen bei Temperaturen von 75 bis 85 °C maschinell gereinigt. Bei der Verwendung von PET-Flaschen liegt die Temperatur der Reinigungslauge um die 55 °C. Der Wärmebedarf dieser Anlagen liegt bei 12 bis 22 kWh pro 1000 Flaschen (Aidonis et al., 2005). Die Getränke werden dann in die Flaschen abgefüllt und verschlossen. Durch besprühen mit warmem Wasser wird die Produkttemperatur der Raumtemperatur angenähert, da die sonst einsetzende Kondensation der Raumluftfeuchte an den Flaschen problematisch für die nachfolgende Etikettierung und Verpackung der Getränke wäre. Für die Nutzung solarer Prozesswärme kommen vor allem die Flaschenreinigung und die Reinigung der Produktionsanlagen in Frage. Die benötigten Temperaturniveaus liegen im niedrigen Bereich bis 85 °C. Auch für die Temperaturanhebung der Getränke nach der Abfüllung könnte solare Prozesswärme zum Einsatz kommen.

5.2.12. Herstellung von Futtermitteln

Die Branche Herstellung von Futtermitteln umfasste 2009 knapp 120 Unternehmen mit ca. 13.000 Beschäftigten und erwirtschaftete einen Umsatz von 7,8 Mrd. Euro (DeStatis, 2011). Der Energieverbrauch von 1,7 TWh basiert hauptsächlich auf Strom und Erdgas (zu annähernd gleichen Teilen). Knapp zehn Prozent werden durch Heizöl bereitgestellt, ein kleiner Anteil wird durch Kohle, Fernwärme und sonstige Energieträger gedeckt (DeStatis, 2010b). Als wichtigster Teil dieser Branche gilt die Mischfutterindustrie, welche für die unterschiedlichen Nutztierarten Mischfutter produziert. Dieses wird in Alleinfutter und Ergänzungsfuttermittel unterteilt. In nahezu allen Mischfutterwerken finden sich vergleichbare Abläufe und Prozesse. Die zu Futter zu verarbeitenden Rohwaren werden dosiert und meist mittels Hammermühlen mit Siebeinrichtungen vermahlen. Nach der anschließenden Vermischung erfolgt das Konditionieren und Pressen zu Pellets (bei 80 % des Mischfutters). Das Futtergemisch gelangt nach dem Mischer über einen Konditionierer, bei dem gesättigter Dampf zugesetzt wird, in die Pelletpresse. Anschließend erfolgt die Abkühlung auf Umgebungstemperatur mittels Band- oder Gegenstromschachtlkühler (DVT, 2011). Da während des Herstellungsprozesses von Mischfutter gesättigter Dampf stofflich genutzt wird, kann solare Prozesswärme zur Bereitstellung von Kesselzusatzwasser verwendet werden.

5.2.13. Herstellung von Malz

In Deutschland gibt es 14 Unternehmen mit etwa 45 Handelsmälzereien, die mit gut 600 Mitarbeitern über zwei Mio. Tonnen Malz pro Jahr produzieren (DeStatis, 2010b). Der Energieverbrauch dieser Branche betrug im Jahr 2009 1,1 TWh und ist hauptsächlich durch thermischen Energieverbrauch geprägt. Lediglich 15 % der verbrauchten Energie fallen in Form von Strom an (DeStatis, 2010b). Malz wird hauptsächlich aus Gerste, aber auch aus Weizen, Roggen oder Dinkel hergestellt. Die Herstellung von Malz wird in die drei Bereiche Weichen, Keimen und Darren gegliedert. Beim Weichen wird dem Getreide das zum Keimen notwendige Wasser zugeführt. Dieser Prozess dauert 40..80 Stunden und verläuft bei Temperaturen zwischen 12 und 24 °C. Nach Erlangen des gewünschten Wassergehalts beginnt die Keimung. Während diesem Prozess muss hauptsächlich Wärme abgeführt werden, um zu Beginn eine Temperatur von 16..18 °C und später 11..13 °C gewährleisten zu können. Beim abschließenden Darren wird der Wassergehalt des Malzes von 43..47 % auf 2,5..4,5 % reduziert. Die Endtemperatur der stufenweisen Trocknung ist abhängig vom Malz. Helles Malz wird bei 80 °C, dunkles Malz bei 106 °C getrocknet (Rimbach et al., 2010). Für das Darren werden zwischen 610 und 750 kWh pro Tonne Fertigmalz benötigt (Kunze, 2007).

5.3. Papiergewerbe

Die Papierindustrie lässt sich in die Bereiche „Herstellung von Holz- und Zellstoff“ sowie „Herstellung von Papier, Karton und Pappe“ (Papiergewerbe) unterteilen. Die deutsche Zellstoff- und Papierindustrie erwirtschaftete im Jahr 2007 einen Umsatz von 16,5 Mrd. Euro. Bundesweit waren in 154 Betrieben gut 41.000 Personen beschäftigt. Damit zählt Deutschland zum größten Erzeugerland der Europäischen Union und zum viertgrößten weltweit nach den USA, China und Japan (Vogt et al., 2008). Die Produktion des Papiergewerbes wird üblicherweise in folgende Gruppen (sog. Hauptsorten) eingeteilt:

- Grafische Papiere
- Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke
- Hygienepapiere
- Papier und Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke

Die Produktionsmengen der Hauptsorten und deren Anteil an der Gesamtproduktion in 2007 können Abbildung 5-19 entnommen werden. Grafische Papiere sowie Verpackungspapiere stellen mit ca. 46,3 % bzw. 41,3 % die mit Abstand größten Anteile der Gesamtproduktion, es folgen Hygienepapiere und Technische Papiere mit 5,7 % bzw. 6,6 %.

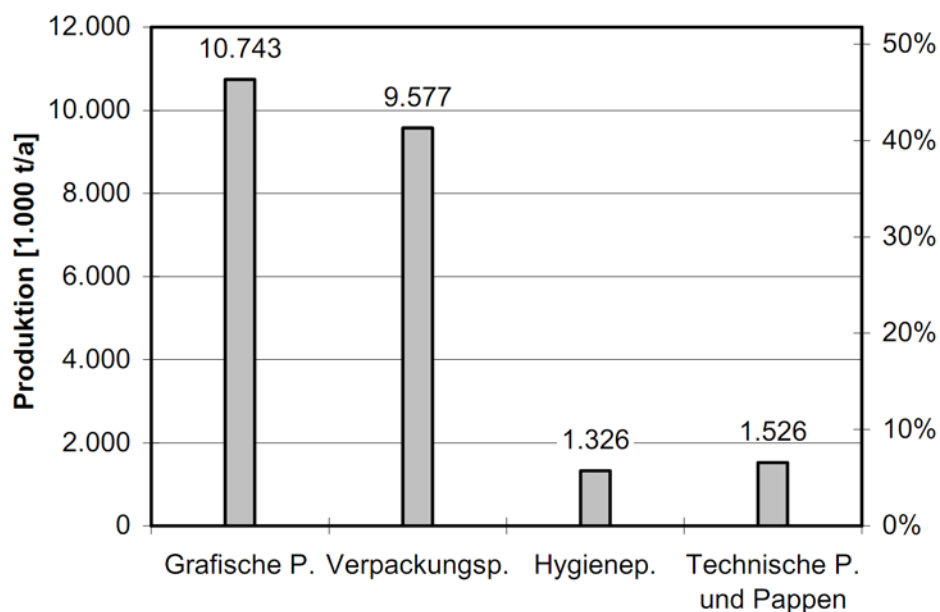


Abbildung 5-19: Produktionsmengen der Papierindustrie und die Produktionsanteile im Jahr 2007 (Vogt et al., 2008)

In Abbildung 5-20 ist die durchschnittliche Kostenstruktur des Papiergewerbes in 2006 dargestellt. Darin zeigt sich, dass die Kosten für den Materialverbrauch mit 44 % des Bruttoproduktionswertes den mit Abstand bedeutendsten Kostenfaktor ausmachen. Die den Materialkosten zugerechneten Aufwendungen für Energie stellen einen erheblichen Kostenfaktor dar. Sie lagen 2006 bei durchschnittlich 11 % des Bruttoproduktionswertes und liegen damit in

einer ähnlichen Größenordnung wie die Personalkosten mit knapp 14 %. Hieran zeigt sich deutlich, dass dem Produktionsfaktor Energie in der Papier- und Zellstoffindustrie aufgrund der hohen Energieintensität des Herstellungsprozesses große Bedeutung zukommt (Vogt et al., 2008). Je nach Endprodukt können die Energiekosten auch einen wesentlich höheren Anteil haben.

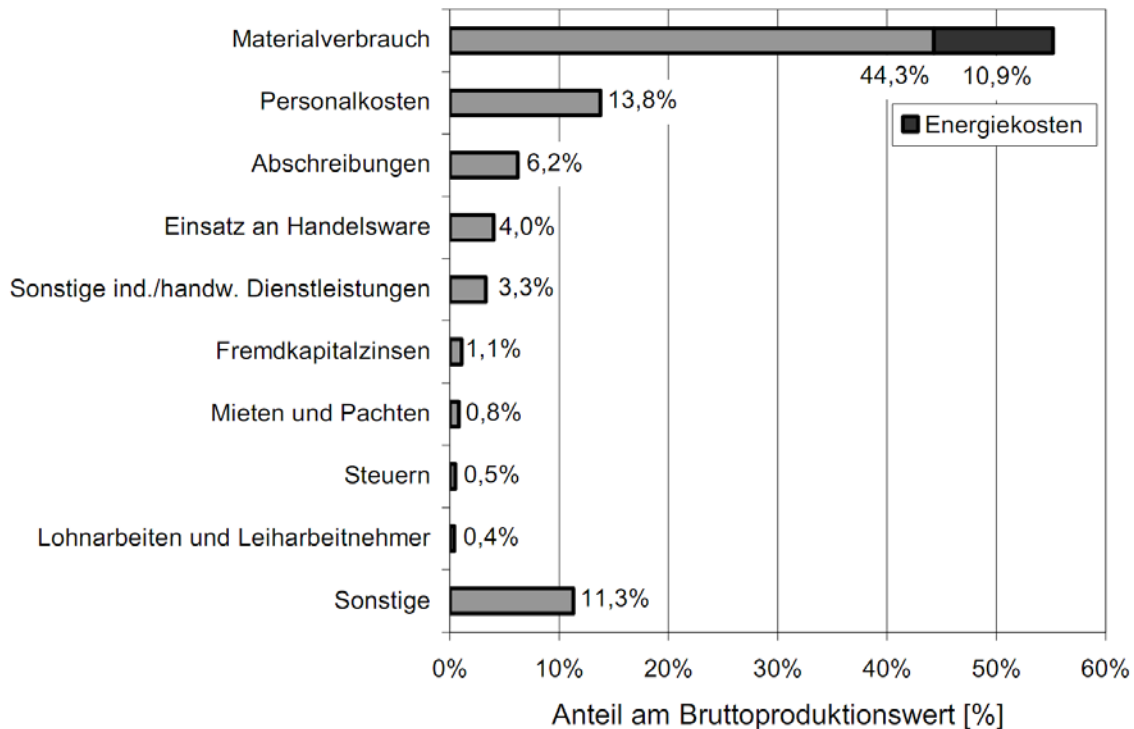


Abbildung 5-20: Kostenstruktur der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie für 2006 (Vogt et al., 2008)

5.3.1. Energieverbrauch

Auf das deutsche Papiergewerbe entfiel im Jahr 2009 ein Endenergieeinsatz von ca. 76 TWh. Sie ist damit der fünftgrößte industrielle Endenergieverbraucher. Abbildung 5-21 zeigt den Endenergieverbrauch im Jahr 2005, sowie die relative Verteilung der einzelnen Endenergeträger. Im Bereich der Brennstoffe stellt Erdgas mit 45 % des gesamten Endenergieeinsatzes den wichtigsten Energieträger dar. Die wirtschaftlich wie ökologisch in der Regel sinnvolle Verwertung von Rückständen deckt 17 % des Endenergieeinsatzes, welche damit die zweithäufigsten eingesetzten Brennstoffe sind. Der Fremdstrombezug macht 23,5 % des Endenergieeinsatzes aus (Vogt et al., 2008).

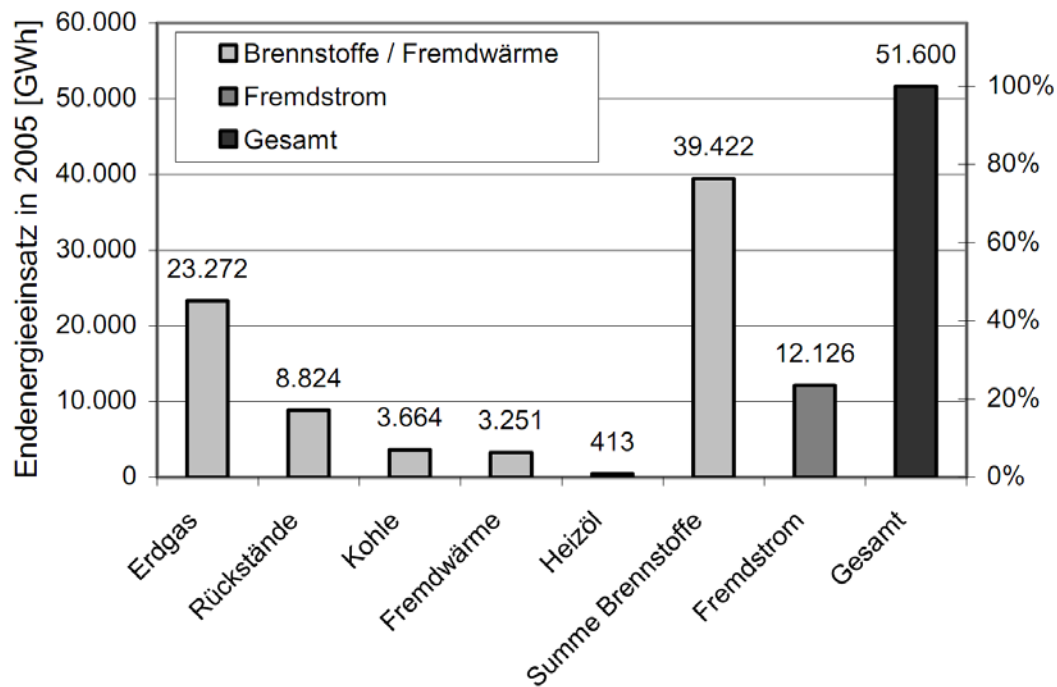


Abbildung 5-21: Struktur des Endenergieeinsatz der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie im Jahr 2005 (Vogt et al., 2008)

Für die Bereitstellung von Prozesswärme ist der größte Energieaufwand notwendig. Tabelle 5-11 gibt den beschäftigten-spezifischen Wärmebedarf nach Temperaturniveau und den jeweiligen Anteil wieder. Danach wurde mit einem Anteil von ca. 66 % die meiste Energie für Wärme im Temperaturbereich von 100..500 °C benötigt. Für Prozesswärme unter 100 °C, Warmwasser sowie Raumheizung wurde insgesamt ein Anteil von 34 % benötigt.

Tabelle 5-11: Energiekennwerte der Papierindustrie, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh/(B a)	18,2	19,5	72,4	0,0	0,0	110,1
Anteil	16,5%	17,7%	65,8%	0,0%	0,0%	100,0%

Die Struktur des Wärmebedarfs in der Papierindustrie nach Betriebsgrößen zeigt Tabelle 5-12 auf. Dieser beträgt für Prozesswärme von 100..500 °C je Beschäftigten im Jahr 72,4 GWh. Es folgt Prozesswärme unter 100 °C mit 19,5 GWh und Warmwasser sowie Raumwärme mit zusammen 18,2 GWh im Jahr. Den höchsten Wärmebedarf mit etwa 30 % weist die Größenklasse 100..249 Mitarbeiter auf. Die nächst größere Klasse mit 250..499 Mitarbeitern steht für 25 % des Wärmebedarfs. Zehn Betriebe mit mehr als 1000 Mitarbeitern haben einen Anteil von 10 % des Gesamtwärmebedarfs.

Tabelle 5-12: Struktur des Wärmebedarfs in der Papierindustrie nach Betriebsgrößenklassen (Eikmeier et al., 2005)

	Unter- nehmen	Gesamt- wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
Beschäftigte	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RW	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	363	8%	3,5	0,0	0,6	0,6	2,3
50 – 99	238	12%	8,0	0,1	1,3	1,4	5,2
100 – 249	264	29%	17,4	0,1	2,8	3,1	11,5
250 – 499	105	25%	37,5	0,3	5,9	6,6	24,7
500 – 999	34	15%	70,5	0,5	11,2	12,5	46,4
> 1000	10	10%	156,8	1,1	24,8	27,8	103,2
Gesamt	1014	100%					

5.3.2. Prozesse

Neben Altpapier ist Zellstoff im Papierherstellungsprozess der wichtigste Rohstoff. Es werden vier Erzeugungsprozesse unterschieden: die Halbstoffherzeugung, die Stoffaufbereitung, die Papiermaschinerie und die Veredlung. Einen Überblick über die wesentlichen Verfahrensschritte zeigt die Abbildung 5-22.

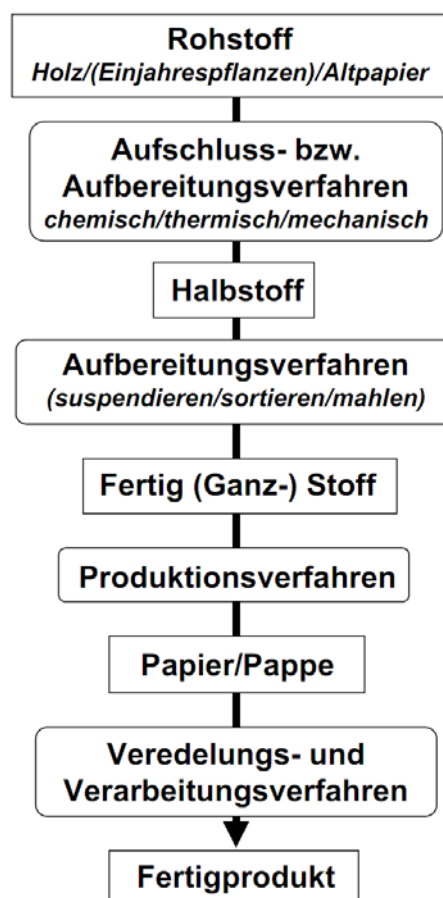


Abbildung 5-22: Verfahrensschritte der Papier- und Pappenherstellung (Vogt et al., 2008)

Für den Verbrauch thermischer Energie von Bedeutung sind vor allem die thermischen Prozesse Kochen in der Halbstoffherzeugung und Trocknen am Ende der Papiermaschine. Tabelle 5-13 gibt einen Überblick zu vorherrschenden Prozesstemperaturen an.

Tabelle 5-13: Verfahren in der Papierherstellung mit thermischem Energiebedarf

Prozess	Temperatur in °C
Bleichen	40..100
Kochen	110..180
Trocknen	95..700

In der **Halbstoffherzeugung** erfolgt zunächst die Verarbeitung von Holz zu Zellstoff. Diese kann mechanisch oder thermomechanisch erfolgen. Bei der thermomechanischen Variante werden die Cellulosefasern durch **Kochen** in chemischen Lösungen aufgeschlossen. Zwei unterschiedliche chemische Verfahren finden ihre Anwendung (EIPPCB, 2001). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der erzielten Zellstoffeigenschaften. Im Sulfatverfahren (Kraftaufschluss) wird Weißlauge eingesetzt. Der Prozess kann sowohl kontinuierlich, als auch diskontinuierlich gefahren werden. Im Sulfidverfahren wird zwischen dem diskontinuierlichen Kalziumbisulfidverfahren und dem kontinuierlichen Magnesium-bisulfidverfahren unterschieden. Thermische Energie wird entweder indirekt durch Dampfheizschlangen (Mitscherlich Verfahren) oder direkt durch das Einblasen von Wasserdampf (Ritter-Kellner Verfahren) zugeführt. Vereinzelt werden auch beide Verfahren kombiniert.

In der weiteren Papierverarbeitung werden **Bleichverfahren** zum Entfernen von unerwünschten Farbstoffen eingesetzt. Beim Bleichen werden oxidative und reduktive Varianten unterschieden. Durch die Oxidation werden Farbstoffe irreversibel zerstört. Eine reduktive Entfärbung kann dagegen durch erneute Oxidation, z.B. durch Luftsauerstoff reversibel sein. Die am häufigsten eingesetzten Bleichmittel sind Chlordioxid, Wasserstoffperoxid und Natriumdithionit. Bei Recyclingpapier steht die Druckfarbenentfernung im Vordergrund. Dieser Prozess wird Deinking genannt und kann über ein Wasch- oder Flotationsprinzip durchgeführt werden. In Europa wird häufiger das Flotationsprinzip angewendet, in dem die Druckerfarbe chemisch bei ca. 50 °C aus dem Papier entfernt und flотиert wird (Bleichschmidt, 2010). Danach kann der Zellstoff gebleicht werden. Das Bleichen von Zellstoff findet in mehreren Schritten statt zwischen denen das Produkt gewaschen wird. Bei der lange Zeit verwendeten Chlorbleiche fallen viele zum Teil toxische Nebenprodukte an. Daher wurde sie größtenteils von moderneren Verfahren verdrängt. Diese laufen bei Temperaturen von 40..100 °C ab (John Wiley & Sons, 2010). Die Bleiche wird kontinuierlich in Bleichtürmen mit einer Zugabe von oben und einer Entleerung unter Verdünnung mit Wasser am Boden des Turms durchgeführt.

In der **Stoffaufbereitung** wird der an der Papierfabrik angelieferte Halbstoff oder das Altpapier zur weiteren Verarbeitung in der Papiermaschine vorbereitet. In einem Pulper werden der Zellstoff und optionale Hilfsstoffe unter Zugabe von Wasser gelöst und vermischt. In einer nachfolgenden Reinigungsstufe werden enthaltene Störstoffe (Sand, Metall- oder Kunststoffteile usw.) in Hydrozyklonen entfernt um nachfolgende Maschinen zu schützen und die Produktqualität sicherzustellen. Je nach Halbstoffqualität und Papierproduktion wird der Zellstoff in Mahlwerken (Refiner) weiter verfeinert und bestehende Faserbündel im Entstipper geteilt. Die aufbereitete Zellstoffsuspension wird in einer Bütte für die weiteren Prozessschritte vorgehalten.

In der **Papiermaschine** erfolgt die Blattbildung und in mehreren Stufen die weitere Entwässerung und Trocknung der Papierbahn. Der Wassergehalt von etwa 99 % im Stoffauflauf wird mechanisch und thermisch auf unter 10 % im Endprodukt reduziert. Abbildung 5-23 zeigt das Schema einer typischen Papiermaschine mit den einzelnen Bereichen vom Stoffauflauf angefangen über die Sieb- und Pressenpartie, die Trockenpartie und die abschließende Aufrollung.

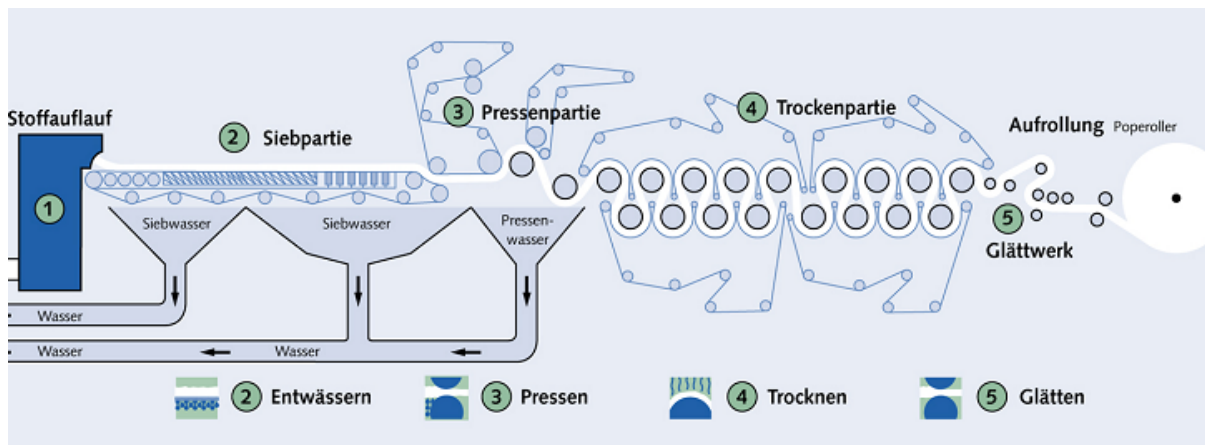


Abbildung 5-23: Schema der Prozesse in der Papierherstellung (VDP, 2010)

Der Stoffauflauf am Anfang der Papiermaschine hat die Aufgabe, die Fasersuspension gleichmäßig über die gesamte Breite der umlaufenden Siebbahn zu verteilen. Anschließend erfolgt die erste Entwässerung auf der Siebbahn durch Schwerkraft. Zur weiteren Entfernung des Wassers durchläuft die Zellstoffbahn mehrere Pressen. Nach der Pressenpartie hat das Papier einen Feuchtigkeitsgehalt von 40 bis 50 % (Vogt et al., 2008). Im Anschluss an die Pressenpartie gelangt die Papierbahn in die **Trockenpartie**. Die Trocknung des Papiers verursacht den größten Energieverbrauch in der Produktionskette. Abbildung 5-24 macht deutlich, dass die Entfernung des restlichen Wasseranteils in der Trockenpartie sehr energieaufwändig ist. Dieses lässt sich mit den physikalischen Vorgängen während der Trocknung erklären.

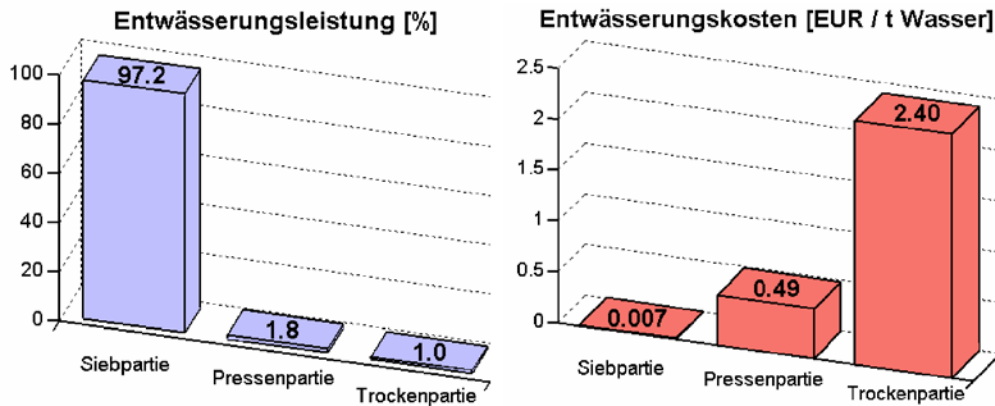


Abbildung 5-24: Leistung und Kosten der Entwässerung (Vogt et al., 2008)

Die Trocknung kann durch verschiedene Verfahren erfolgen. Abbildung 5-25 zeigt einige Trocknungsverfahren und ihre Prinzipien.

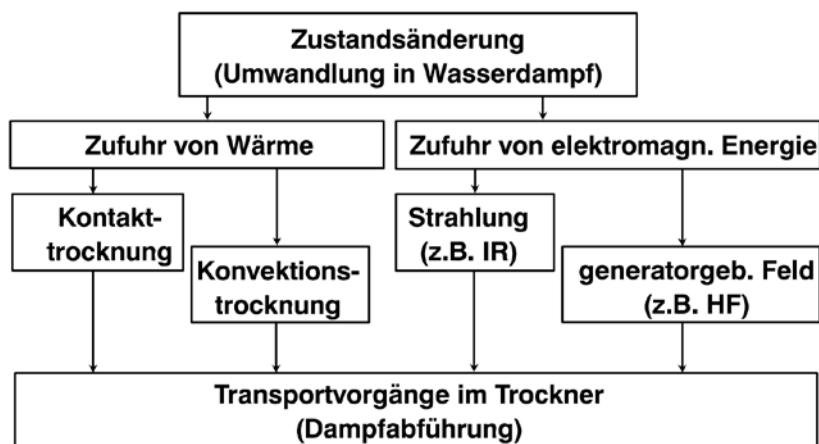


Abbildung 5-25: Trocknungsverfahren in der Papierherstellung (Vogt et al., 2008)

Neben der Zufuhr von Wärme ist auch die Zufuhr von Energie mittels elektromagnetischer Strahlung möglich. Hierzu gehören die Infrarot (IR)-Strahlungstrockner und die Hochfrequenz (HF)-Trockner. Bei den Verfahren Durch Wärmezufuhr unterscheidet man die Kontakt-trocknung und die Konvektionstrocknung. Die verbreitetste Art der Papiertrocknung ist die Kontakt-trocknung, also der Wärmeübergang von einer beheizten Fläche auf die berührende Papierfläche durch Wärmeleitung, durch dampf-beheizte Zylinder. Dabei wird die Wärmeenergie durch direkten Kontakt von den Außenwänden der Trockenzylinder auf die Papieroberfläche übertragen. Dabei wird die Papierbahn aufgeheizt, das Wasser verdampft und durch Zuluft aufgenommen und abtransportiert. Um die Qualitätsanforderungen und eine gute Verdampfung zu gewährleisten, muss beim Betrieb ein Temperaturregime (Aufheizkurve) beachtet werden. Ein zu schnelles Aufheizen kann zu Blasenbildung und damit zu Löchern führen. Abbildung 5-26 zeigt einen solchen dampf-beheizten Zylinder.

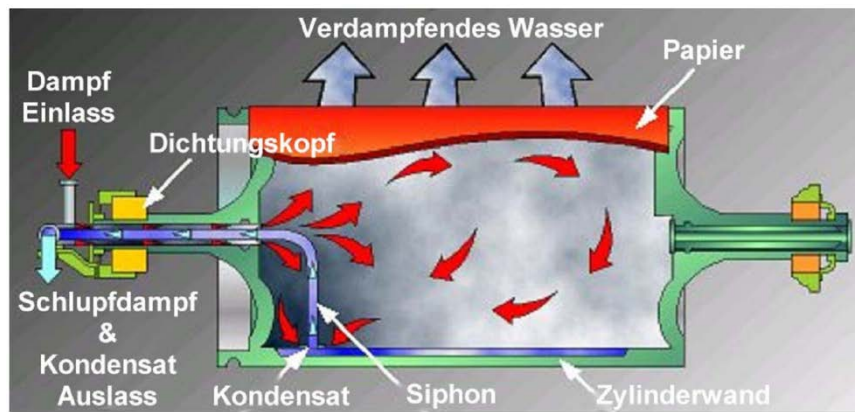


Abbildung 5-26: Aufbau und Funktionsweise eines Trockenzylinders (Vogt et al., 2008)

Typische Temperaturen liegen für dieses Verfahren bei ca. 95..120 °C. Damit wird das Papier sehr schonend getrocknet und über die Einstellung der Züge eine gezielte Qualitätsbeeinflussung durchgeführt. Neben der Zylindertrocknung wird auch die konvektive Trocknung durch Heißlufttrockenhauben eingesetzt, wie in Abbildung 5-27 beispielhaft dargestellt.

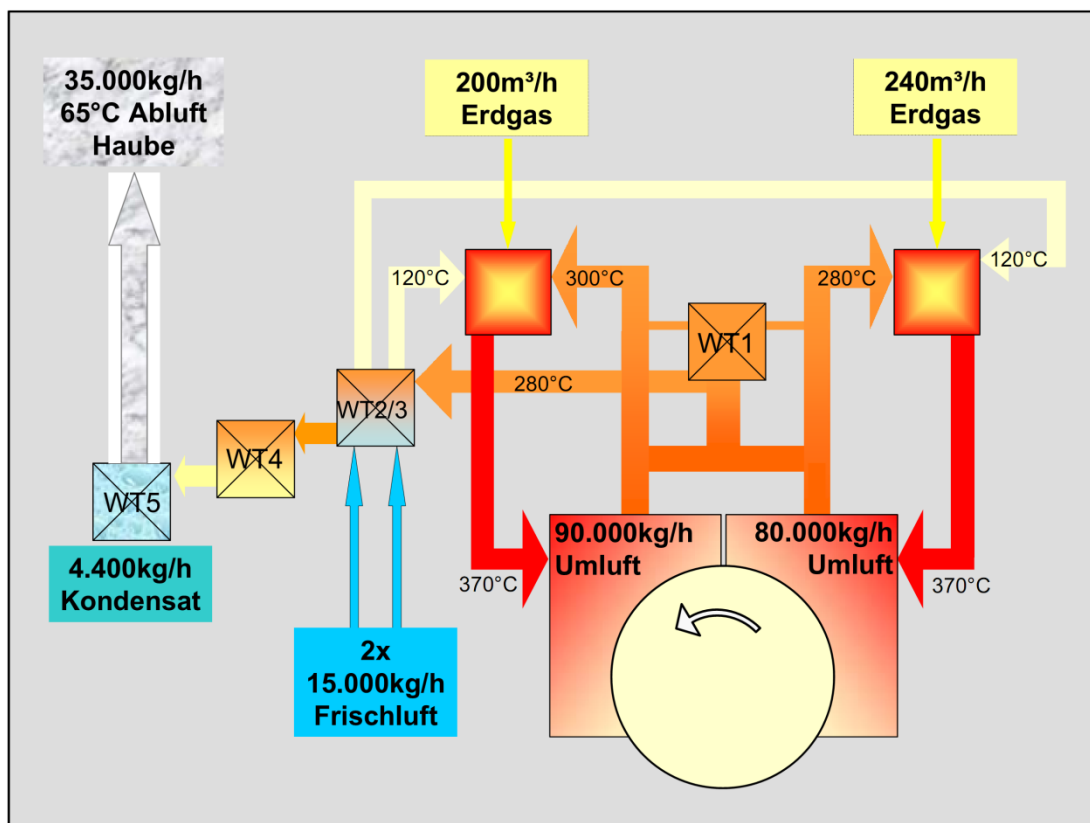


Abbildung 5-27: Beispielhaftes Schema einer Trocknung mit Heißlufttrockenhauben (Vogt et al., 2008)

Hierbei wird die zur Trocknung erforderliche Wärme mit der Luft auf die Papierbahn durch erzwungene Konvektion übertragen. Das verdampfte Wasser wird mit der Luft wieder abgeführt. Diese Ausführung wird für die Erzeugung v.a. von Hygiene- und Filterpapieren eingesetzt. Dabei wird die Papierbahn um einen einzigen, dampfbeheizten Zylinder gefahren, der

neben Aufwärmung und Trocknung der Bahn auch die Aufgaben der Pressgegenwalze, des Transportes durch die Lufthaube und am Ende für die Kreppung durch geeignete Schaber übernimmt. Die Luft in der Heißlufthaube wird zum Teil im Kreis mit der Zuluft gefahren. Das Temperaturregime in der Luft ist mit bis zu 700 °C deutlich höher als bei der Kontakt-trocknung, die Beheizung erfolgt meist mit Gas. An dieser Stelle wird deutlich, dass, anders als in (Rudolph und Wagner, 2008) angegeben und im Kapitel 3.2 für die Potentialermittlung übernommen, es in der Papierproduktion zumindest einzelne Prozesse und damit einen Wärmebedarf über 200 °C gibt.

Für die Trocknung in Papiermaschinen sind sehr große Luftmengen erforderlich. Dies ist sowohl bei der konvektiven Trocknung als auch bei der Zylinderkontakttrocknung der Fall, da das verdampfte Wasser mit der Luft aus der Haube abgeführt werden muss. Als Erfahrungswert kann für die Zylindertrocknung (Kontakttrocknung) eine Abluftmenge von 10 kg trockener Luft pro kg verdampftes Wasser angenommen werden. Da die Zuluftmenge, die erwärmt werden muss, um die Wasseraufnahmekapazität zu erhöhen, und die abgeführte Abluft somit eine hohe Enthalpie haben, werden mit den Luftströmen auch sehr große Energieströme bewegt (Vogt et al., 2008), (Blechtschmidt, 2010).

Im Anschluss an die Trockenpartie wird die Papierbahn durch ein Glättwerk geführt, um die nahezu trockene Papierbahn zu verdichten und zu glätten. Die fertige Papierbahn mit einer Restfeuchte von ca. 2 bis 8 % wird abschließend aufgerollt und zur Veredelung weitertransportiert (Vogt et al., 2008).

5.4. Herstellung v. Metallerzeugnissen (Oberflächenveredelung)

Die Metallindustrie im weiteren Sinne beinhaltet die Wirtschaftszweige Metallerzeugung und -bearbeitung sowie die Herstellung von Metallerzeugnissen (Metallverarbeitung). Während der Energieverbrauch der Metallerzeugung und -bearbeitung von Hochtemperaturprozessen bestimmt wird, finden sich im Bereich der Herstellung von Metallerzeugnissen eine Reihe von Prozessen die Wärme im Nieder- bzw. Mitteltemperaturbereich erfordern und somit ein Potential für solarthermische Energie bieten. Dies gilt insbesondere für die Branche der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung, die daher im Folgenden vertiefend beschrieben wird. Branchen die in vielen Bereichen ähnliche Prozesse aufweisen sind der Maschinen- und Anlagenbau sowie der Automobilbau und deren Zulieferer.

Zur Stahl- und Metallverarbeitung wurden im Durchschnitt des Jahres 2008 mehr als 4.900 Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten gezählt. Rund 450.000 Menschen waren in der Branche beschäftigt. Der Umsatz aller Unternehmen des Industriebereiches betrug im Jahr 2008 etwa 81,5 Mrd. € (WSM, 2010). Die Branche gehört zu den zehn großen, dabei ausgesprochen mittelständisch geprägten, Industriezweigen in Deutschland. Produkte sind neben verschiedenen Dienstleistungen, wie der mechanische Bearbeitung von Stahl- und Aluminiumteilen und deren spezielle Oberflächenbehandlung, klassische Konsumgüter, Investitionsgüter aber vor allem Produkte, die als Zulieferungen unmittelbar in die Produktion nachgelagerter Industriebereiche eingehen. Das sind vor allem Schmiede- und Blechumformteile, Erzeugnisse der Pulvermetallurgie, Federn, Verbindungselemente, Ausbauelemente, Druckkessel, Stahlrohre, Blankstahl, Kaltband, Draht und Erzeugnisse daraus. Abbildung 5-28 stellt die Produktsegmente des Wirtschaftszweiges der Herstellung von Metallerzeugnissen dar. Abnehmerbereiche sind vor allem der Fahrzeugbau, der Maschinenbau, die Chemische Industrie, die Elektroindustrie und das Baugewerbe.

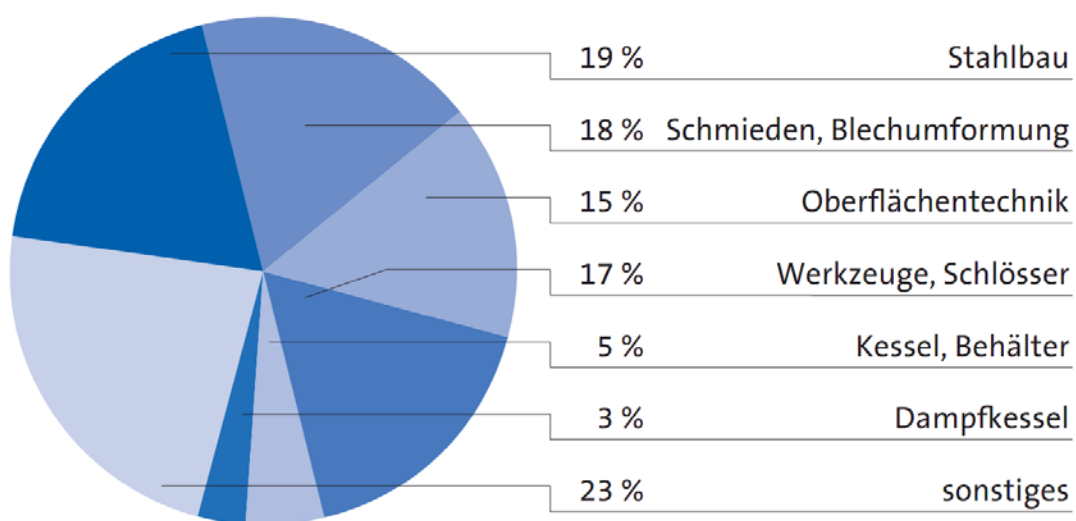


Abbildung 5-28: Produktsegmente in der Metallverarbeitung (Eckert-Kömen et al., 2009)

5.4.1. Energieverbrauch

Im Jahre 2008 belief sich der Endenergieverbrauch des Wirtschaftszweiges Herstellung von Metallerzeugnissen auf etwa 26 TWh was einem Anteil von ca. 4 % des Endenergieverbrauchs der deutschen Industrie entspricht (DeStatis, 2010a). Nach Daten der Wirtschaftskammer Österreich beträgt der Energiekostenanteil zwischen 0,3 und 1,6 %, im Mittel 0,7 %, gemessen am Umsatz (WKO, 2003). Diese Erkenntnisse decken sich mit denen von (Daun, 2003) der für Nordrhein-Westfalen einen Energiekostenanteil der Metallverarbeitung von 1,6 % angibt. Abbildung 5-29 gibt die Struktur des Energieverbrauchs bezüglich der Energieträger wieder. Elektrische Energie ist mit 46 % die häufigste Energiequelle. Es folgt leichtes Heizöl mit 34 % und Erdgas mit 17 %. Mit 3 % folgen an letzter Stelle sonstige Energieträger. Hier ist der Einsatz von Festbrennstoffen zu vermuten.

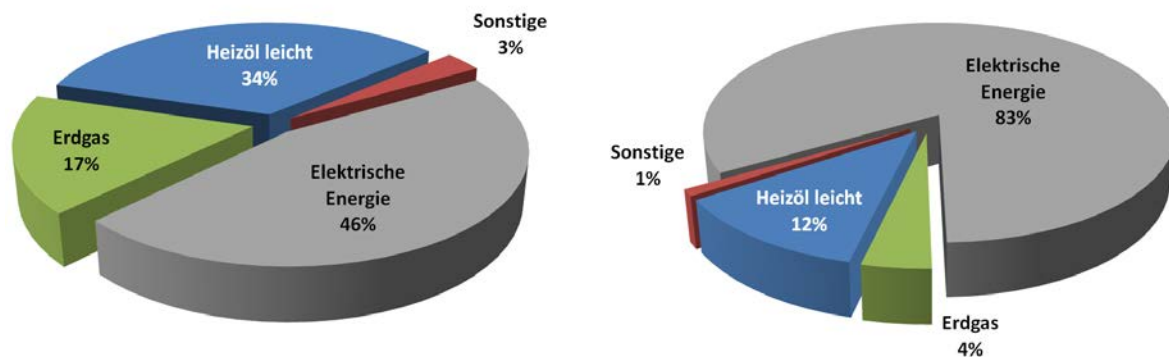


Abbildung 5-29: Energieverbrauchsstruktur und Energiekostenverteilung (WKO, 2003)

Wärme als Nutzenergie wird in vielen Prozessen der Metallverarbeitung benötigt. Die Struktur des Wärmebedarfs wurde von (Eikmeier et al., 2005) ermittelt und findet sich in Tabelle 5-14 wieder. Für Prozesswärme unter 100 °C und der Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme werden 64,5 % der Wärme benötigt.

Tabelle 5-14: Energiekennwerte der Herstellung von Metallerzeugnissen, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh /(B a)	9,9	3,2	2,5	1,4	3,3	20,4
Anteil	48,7%	15,8%	12,4%	6,7%	16,3%	100,0%

(Eikmeier et al., 2005) ermittelten ebenfalls den Wärmebedarf nach Betriebsgrößenklassen (Tabelle 5-15). Hier wird wiederum deutlich, welche wichtige Rolle kleine und mittlere Betriebe in dieser Branche spielen. Den höchsten Anteil am Wärmebedarf mit 25 % hat die Betriebsgrößenklasse 100 bis 249 Mitarbeiter gefolgt von der Klasse 1 bis 49 Mitarbeiter mit 21 %, die mit 3.957 gezählten Unternehmen die größte Klasse darstellen. Aber auch 30 sehr große Betriebe mit über 1000 Mitarbeitern haben einen Anteil von 8 %.

Tabelle 5-15: Struktur des Wärmebedarfs bei der Herstellung von Metallerzeugnissen nach Betriebsgrößenklassen (Eikmeier et al., 2005)

Beschäftigte	Unter- nehmen	Gesamt- wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RW	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	3957	21%	0,6	0,0	0,3	0,1	0,1
50 – 99	1698	20%	1,4	0,1	0,6	0,2	0,2
100 – 249	935	25%	3,1	0,2	1,3	0,5	0,4
250 – 499	273	16%	7,1	0,4	3,0	1,1	0,9
500 – 999	90	10%	13,3	0,8	5,7	2,1	1,7
> 1000	30	8%	31,5	1,9	13,5	5,0	3,9
Gesamt	6983	100%					

5.4.2. Prozesse der Oberflächenveredelung

Hinsichtlich des thermischen Energieverbrauchs bei niedrigen Temperaturen spielt die Branche der Oberflächenveredelung im Wirtschaftszweig der Herstellung von Metallerzeugnissen eine entscheidende Rolle. Daher werden die Prozesse dieser Branche im Folgenden detailliert betrachtet. Produkte aus Materialien wie Stahl, Aluminium, oder Kunststoff können hohen Anforderungen meist nur dann gerecht werden, wenn ihre Oberflächen mit edleren Metallen beschichtet sind. Die Erzeugung dieser Oberflächen wird über die Oberflächenveredelung gewährleistet (Förster et al., 2003). Da die Prozesse der Wärmebehandlung hohe Temperaturen bis zu 1000 °C erfordern, wird auf diese nicht näher eingegangen. Abbildung 5-30 zeigt eine Übersicht der Verfahren der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung, wobei die Galvanotechnik mit 26 % das größte Segment darstellt (Baunach, 2007), (Breitenbach, 2009).

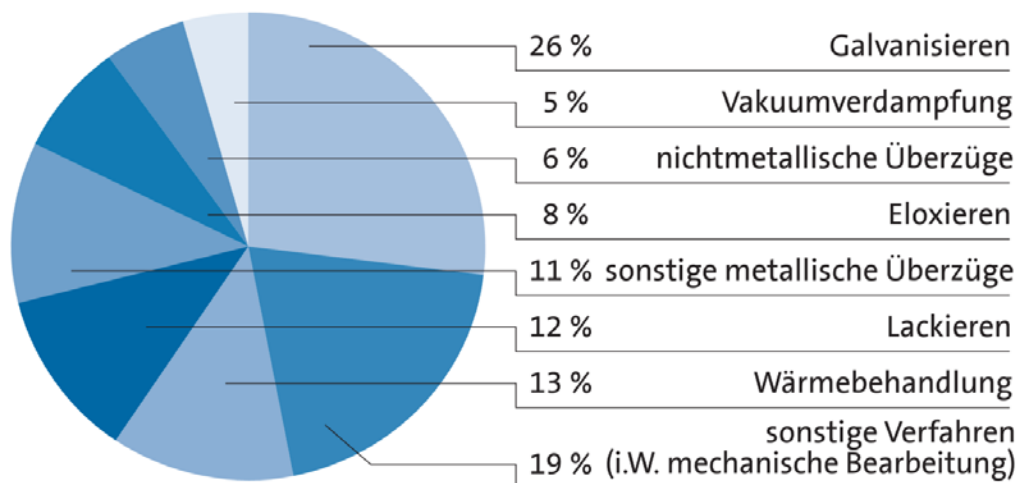


Abbildung 5-30: Anteile verschiedener Verfahren in der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung (IKB, 2005)

Insgesamt ergeben sich bei der Oberflächenbehandlung durch eine Kombination physikalischer, chemischer und physikalisch-chemischer Methoden mehr als 80 Verfahren. Das Grundprinzip der Oberflächenveredelung ist das chemische oder elektrochemische Auftragen verschiedener Materialien auf die Werkstückoberfläche. Es gliedert sich grundsätzlich in die

drei Verfahrensabschnitte Vorbehandlung, Hauptbehandlung (Beschichtungsvorgang) und Nachbehandlung (ZVO, 2007). Abbildung 5-31 zeigt einen Auszug von Prozessen, welche in den einzelnen Verfahrensabschnitten angewendet werden und in einem für die Solarthermie geeigneten Temperaturbereich liegen. In den folgenden Abschnitten werden diese Prozesse näher beschrieben.

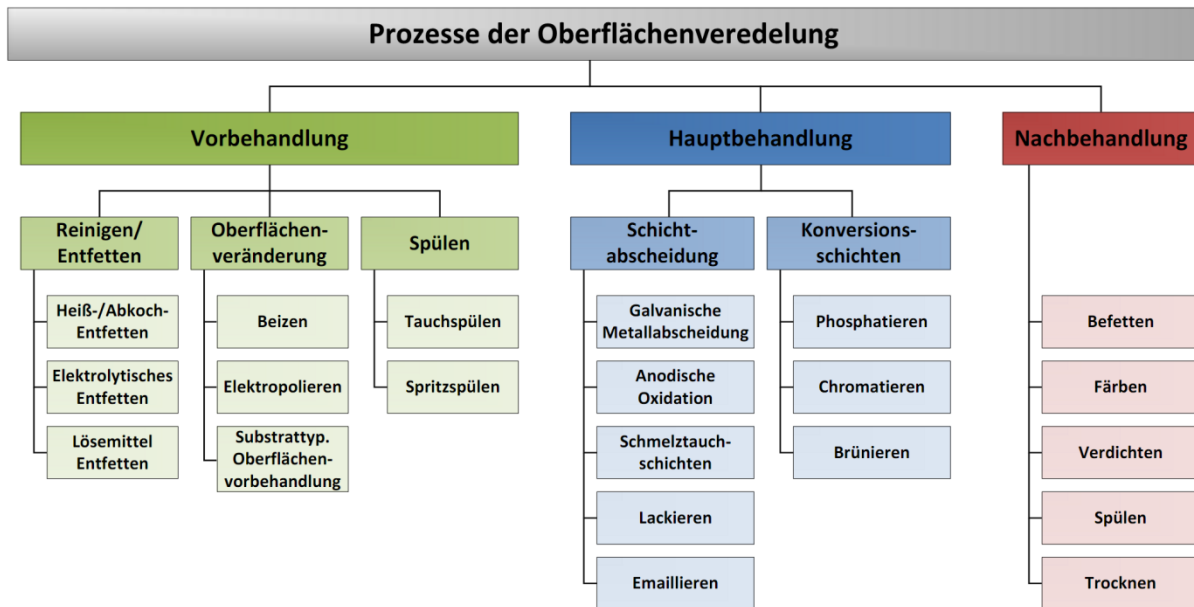


Abbildung 5-31: Überblick zu den Vor-, Haupt- und Nachbehandlungen in der Oberflächenveredelung die für die Anwendung von Solarthermie geeignet sind, eigene Darstellung nach (Müller, 1996), (Hofmann und Spindler, 2004)

Mit der **Vorbehandlung** der Werkstücke wird die Oberfläche optimal auf das darauffolgende Beschichtungsverfahren vorbereitet. Hierfür werden mechanische, thermische und chemische Verfahren angewendet. Zu den mechanischen Verfahren gehören z.B. das Schleifen und Polieren. Thermische Verfahren sind unter anderem das Härten von Metallen (LfU, 2006), (Adams und Jelinek, 1999). Nachfolgend wird nur auf die chemischen Vorbehandlungsprozesse eingegangen, da diese auf geeigneten Temperaturniveaus ablaufen.

Für jedes Metall und jeden Kunststoff gibt es einen entsprechend abgestimmten **Reinigungsprozess** vor der eigentlichen Beschichtung. Die Auswahl des erforderlichen Verfahrens ist abhängig von der Art der Verschmutzung (Korrosionsschutzmittel, alte Beschichtung), Form und Material des Werkstücks sowie den Qualitätsanforderungen der nachfolgenden Verfahrensschritte (BUBW, 2009). Die Reinigungsverfahren werden durch ihre Behandlungsbedingungen (Dauer, Temperatur, Konzentration, Stromdichte, etc.) und das eingesetzte Reinigungsmittel charakterisiert. Innerhalb der Prozessfolge treten je nach Verfahren neben der eigentlichen Reinigungsstufe zusätzliche Spülstufen und evtl. auch Trocknungen auf (Adams und Jelinek, 1999).

Heiß- bzw. Abkochentfettungen werden zur Grob- und Feinentfettung aller Metalle ohne Angriff der Oberfläche eingesetzt. Sie werden in der Regel in Tauchbädern durchgeführt.

Seltener findet ihre Anwendung im Spritzverfahren, oder für Kleinteile in Trommeln statt. Die Entfettung wird bei Temperaturen zwischen 30 und 100 °C durchgeführt. Je höher die Temperatur, desto besser die Reinigungswirkung und geringer die Expositionszeit. Die Temperatur ist weiterhin abhängig vom Werkstück, mechanischer Bewegung, Ultraschall, vom Verfahren und der Badzusammensetzung. Je nach Anlagentyp beträgt die Behandlungszeit 3 bis 10 Minuten (Förster et al., 2003), (Hofmann und Spindler, 2004). Das **elektrolytische Entfetten** für Metalle wird meist als letzte (stark) alkalische Reinigungsstufe in Tauchbädern angewendet. In Abhängigkeit vom Verunreinigungsgrad, der Stromdichte und der angelegten Spannung läuft dieses Verfahren bei Raumtemperatur bis 80 °C für mindestens 5 Minuten ab (Förster et al., 2003), (Adams und Jelinek, 1999). Die Wärmeversorgung der Bäder erfolgt mit Heißwasser oder Dampf. Für die **Entfettung** können verschiedene **Lösemittel** mit unterschiedlichen Siedebereichen verwendet werden, so dass die Anwendungstemperaturen stark variieren, und je nach Verfahren (Tauchen oder Spritzen) auch von 40 bis über 200 °C betragen können. Der Vorteil der Behandlung bei hohen Temperaturen besteht darin, dass die Werkstücke nach der Entfettung schneller Trocknen. Da diese Methode allerdings hohe Kosten (Anschaffung, Entsorgung, Energie) und kritische Emissionen generiert, wird sie seltener angewendet (Adams und Jelinek, 1999).

Wie beschrieben, läuft das Entfetten bei Temperaturen von Raumtemperatur bis über 100 °C ab. Oft finden diese Behandlungsschritte in Tauchbädern statt. Die Abwärme der Prozesslösung in den Bädern kann aufgrund der Warenbewegung (Ausheben der Werkstücke aus dem Bad) nicht durch eine Absaugvorrichtung rückgewonnen werden. Unabhängig davon, ist der Wärmeverlust der Prozessbäder ohnehin sehr gering. Somit ist ein Einsatz von Wärmerückgewinnungstechniken für diese Bäder meistens nicht vorgesehen. Von den drei vorgestellten Verfahren eignet sich die Heiß-/Abkochtentfettung für den Einsatz von solarer Prozesswärme am besten, da das Temperaturniveau am niedrigsten und das Verfahren am weitesten verbreitet ist. Des Weiteren können sowohl Metalle als auch Kunststoffe behandelt werden. Da die Prozessbäder oft auf ein bestimmtes Temperaturniveau aufgeheizt werden müssen, und diese für eine längere Zeit aufrecht erhalten werden muss, kann die z.Z. hauptsächlich durch Heißwasser oder Strom erzeugte Wärme durch solare Wärme ersetzt werden.

Die **Oberflächenveränderung** als Vorbehandlungsschritt umfasst die Prozesse Beizen, Elektropolieren und die substrattypische Vorbehandlung von Aluminium. Beim **Beizen** handelt es sich um einen Lösungsprozess an der Werkstoffoberfläche, um metallisch reine Oberflächen zu erhalten (Förster et al., 2003). Es kann rein chemisch oder auch elektrolytisch erfolgen und wird in der Regel in mit Heißwasser oder Dampf beheiztem Tauchverfahren, seltener im Spritzverfahren, durchgeführt. Je nach Beizmittel, dem zu beizendem Metall und der Badkonzentration läuft der Beizprozess bei verschiedenen Temperaturen zwischen Raumtemperatur und 98 °C bei Behandlungszeiten von wenigen Sekunden bis 60 Minuten ab (Förster et al., 2003). Für das Beizen wird z.B. Stahl mit Schwefelsäure bei 40 bis 70 °C für 10 bis 45 Minuten oder Nickel mit Kaliumpermanganat bei 70 bis 98 °C für 10 bis 20 Minuten behandelt (BUBW, 2009). **Elektrolytisches Polieren** kommt dann zum Einsatz, wenn andere Abtrageverfahren keine oder nur ungenügende Ergebnisse erzielen. Bei Edelstählen z.B. liegt die Temperatur des Schwefel-/Phosphorsäure-Elektrolyten bei

65 °C (AOT, 2008). In Abhängigkeit von der Prozesslösung und der angelegten Spannung kann die Betriebstemperatur zwischen 40 bis 95 °C liegen (UBA, 2005). Das zumeist in Tauchbädern durchgeführte Elektropolieren kommt nur in seltenen Fällen zum Einsatz. Aufgrund des Temperaturniveaus ist die Anwendung von Solarthermie möglich. Bei der **substrattypischen Oberflächenbehandlung** handelt es sich um die spezielle Vorbehandlung von Aluminium, bei der die natürliche Oxidschicht durch eine alkalische Beize entfernt wird. In einer anschließenden sauren Beize werden andere Beläge, die die alkalische Beize verursacht, entfernt. Je nach Anwendungsfall liegt die Temperatur zwischen Raumtemperatur und 60 °C. Die Dauer liegt zwischen 1 und 20 Minuten (Förster et al., 2003).

Die Behandlungen werden in mit Heißwasser temperierten Tauchbädern durchgeführt. Da die Anwendungstemperaturen in einem für die Solarthermie moderatem Bereich liegen, kommen diese Verfahren für den Einsatz solarer Wärme in Frage. Wie bereits bei den Entfettungen erwähnt, ist eine Abwärmenutzung auch hier schwer realisierbar. Da die Behandlungstemperaturen zum überwiegenden Teil in einem Bereich von 40 bis 60 °C liegen, ist die direkte Beheizung der, mit Heißwasser beheizten, Tauchbäder mit solarer Prozesswärme möglich. Für höhere Temperaturen kann sie zur Vorwärmung genutzt werden.

Um die Verschleppung von Badinhaltsstoffen in die Folgebäder zu vermeiden, erfolgt nach jeder einzelnen Behandlungsstufe das **Spülen** des vorbehandelten oder beschichteten Werkstücks (Förster et al., 2003). Das Spülen wird in Spülstufen durchgeführt. Eine Spülstufe umfasst alle Behälter einer Spüloperation nach einer Behandlungsstufe. Es können ein oder mehrere Behälter sein. Mehrere Behälter in einer Kaskade geschaltet, reduzieren den Wasserverbrauch beträchtlich (UBA, 2005). Die Spülverfahren lassen sich in Tauch- und Spritzspülungen unterscheiden.

Es werden meist 1 bis 2 **Tauchspülen** zur Reinigung des Werkstücks eingesetzt. Dabei wird es in eine heiße oder warme Lösung getaucht und längere Zeit behandelt. Die erzielte Reinigungskraft kann durch eine mechanische Bewegung, Ultraschall, Elektrolyse oder ein Hintereinanderschalten mehrerer Bäder in einer Kaskade verbessert werden. Die Behandlungszeit ist abhängig vom vorangegangenen Behandlungsschritt bzw. der Verunreinigung des Werkstücks. Für die Spülung werden Temperaturen über 70 °C eingesetzt, in der Regel mit einer Behandlungszeit von 5 bis 10 Minuten (Adams und Jelinek, 1999). Aufgrund der Verfahrensbedingungen eignet sich die Tauchspülung für den Einsatz von Solarthermie. Die **Spritzspülung** ist die wirtschaftlichere Spülmethode und wird meist in der Serienfertigung verwendet. Die Badtemperatur beträgt 40 bis 60 °C bei einer Behandlungszeit von meist 90 bis 120 Sekunden (Adams und Jelinek, 1999). Aufgrund der verwendeten Verfahrensbedingungen eignet sich der Einsatz solarthermisch bereitgestellter Energie zur Wärmeversorgung der Spülungen. In der Regel werden in den Betrieben eher Tauchspülen als Spritzspülen eingesetzt. Dies ergibt sich aus den Vorteilen der Tauchspüle: Die Erstellungskosten, Instandhaltungskosten und der Platzbedarf sind im Vergleich zur Spritzspüle gering. Sie ist zudem für verschiedenste Werkstücke universell einsetzbar. Die Tauchspüle ist daher auch am weitesten verbreitet. Der einzige Nachteil besteht in den höheren Energiekosten.

Bei der **Hauptbehandlung** werden die vorbehandelten Oberflächen beschichtet. Hierbei unterscheidet man die Verfahren der Schichtabscheidung von Metallen und der Ausbildung von Konversionsschichten, wie in Abbildung 5-32 gezeigt.

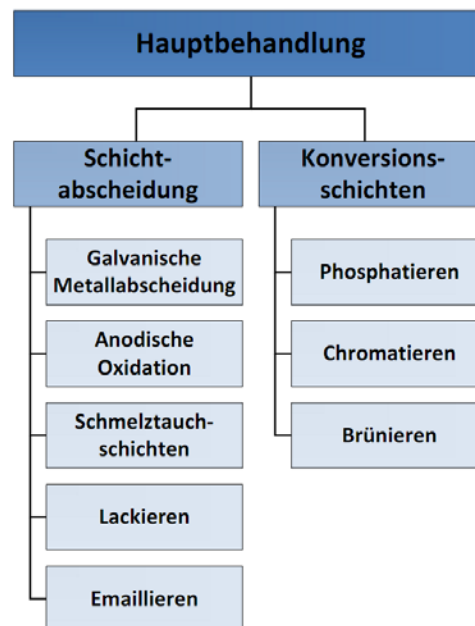


Abbildung 5-32: Überblick der Hauptbehandlungsverfahren in der Oberflächenveredlung

Unter **Schichtabscheidung** werden die Verfahren galvanische Metallabscheidung, anodische Oxidation, Schmelztauschichten, Nass- und Pulverlackieren sowie Emaillieren verstanden. Die **galvanische Oberflächenveredlung** gehört zu den metallauftragenden Verfahren, in dem durch eine Elektrolyse in wässrigen Metallsalzlösungen Metallschichten auf andere Metalle oder metallisch leitend gemachte Nichtmetalle aufgetragen wird. Durch diesen Prozess erhält das Werkstück je nach Anwendungsbedarf harte oder weiche Oberflächen, Korrosionsschutz oder eine dekorative Oberfläche (Förster et al., 2003). Im Wesentlichen werden metallische Werkstücke aus Eisen und Stahl, aber auch Gusswerkstoffe galvanisiert. Zunehmend erfolgt aus gewichtersparenden Gründen auch die Beschichtung von Aluminiumlegierungen und Kunststoffen (Winkel, 2009). Für die Schichtbildung wird das zu behandelnde Werkstück meist in eine entsprechende Elektrolytlösung getaucht und bei Temperaturen von 20 bis 90 °C durch Anlegen einer Spannung behandelt. Die Temperaturen und Behandlungszeiten sind abhängig vom verwendeten Elektrolyten und der angelegten Spannung. Bei der **anodischen Oxidation** handelt es sich um die elektrolytische Oxidation von Aluminium (auch: Eloxal). Auf der Aluminiumoberfläche werden durch das Zusammenwirken von Werkstück und Prozessbad elektrolytisch Schichten gebildet, die sich je nach Behandlungszeit weiter in das Werkstückinnere ausbreiten. Die Temperaturen der Anodisier-Verfahren liegen in einem Bereich zwischen 15 und 95 °C. Für das Standard-Anodisierverfahren „Ematal“ liegt z.B. die Temperatur bei 50 bis 70 °C mit einer Behandlungszeit von 20 bis 40 Minuten. In der **Lackiertechnik** werden Werkstücke aus Holz, Metall oder Kunststoff in einer Nasslackierung oder Pulverlackierung beschichtet. Bei der Nasslackierung werden Spritz-Lackieranlagen mit flüssigen Lacken, bei der Pulverlackierung elektrostatische

Sprüheinrichtungen verwendet (AOT, 2008). Während bei der Nasslackierung die Schicht direkt aufgespritzt wird, besteht der Grundprozess des Pulverlackierens darin, dass die Metalloberflächen mit aufgeschmolzenem Lackpulver beschichtet werden (AOT, 2008). Die Lackapplikation erfolgt in der Regel bei Raumtemperatur, und kann in mehrfachen Schichten aufgetragen werden. Hierfür finden zwischen den einzelnen Schichtaufträgen Zwischentrocknungen bei 60 bis 120 °C für 10 Minuten statt. Die Zwischentrocknung eignet sich aufgrund des Temperaturniveaus für die Anwendung solarer Prozesswärme. Durch das **Emaillieren** wird die Oberfläche von Werkstücken aus Stahlblech, Gusseisen und duktiler Eisensorten, seltener Aluminium, Kupfer und anderer Grundmetalle unter anderem gegen Korrosion, Temperatur und Abrasion geschützt (Förster et al., 2003). Vor dem Einbrennen bei bis zu 900 °C wird der Schlicker in Trocknern bei Temperaturen von bis zu 100 °C getrocknet. Je nach Trocknungstemperatur und Feuchtigkeit der Schlicker beträgt die Trocknung 5 bis 25 min (AOT, 2008). Aufgrund der hohen Temperatur ist das Einbrennen für die Solarthermie sehr ungeeignet. Da die Werkstücke oft mehrmals beschichtet werden, gehört das Trocknen zu einer der Hauptbehandlungen des Emaillierens. Bei Temperaturen von maximal 100 °C ist die Einbindung solarer Wärme hier möglich. Wie bereits bei der Vorbehandlung erwähnt, ist auch bei den Verfahren der Schichtabscheidung für Tauchbäder eine Wärmerückgewinnung schwer realisierbar. Für die Verfahrensschritte, die eine Zwischentrocknung beinhalten (Lackieren, Emaillieren), kann die Wärme aus der Kabinenabluft rückgewonnen werden. Zum überwiegenden Teil wird diese Anwendung in den Betrieben jedoch bisher nicht angewendet da die Reinigungs- und Wartungskosten zu hoch sind. Daher verlässt die Abwärme den Betrieb meist mit der Abluft. In der Industrie sind die Verfahren der galvanischen Schichtabscheidung und z. T. des Anodisieren von Aluminium am weitesten verbreitet. Aufgrund der großen Verbreitung der Galvanotechnik und des günstigen Temperaturniveaus, eignet sich dieses Verfahren besonders für den Einsatz solarer Wärme. Das Anodisierverfahren ist ein spezielles Verfahren für das anodische Oxidieren von Aluminium und wird für die Nutzung solarer Prozesswärme aufgrund der geringeren Verbreitung auch eine weniger wichtige Rolle spielen. Die Zwischentrocknungen beim Lackieren oder Emaillieren spielen für den Einsatz von Solarthermie nur eine untergeordnete Rolle, da hier die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung vorhanden ist.

Konversionsschichten sind chemische Umwandlungsschichten auf Metallen, die der Passivierung der Werkstoffoberfläche oder als Korrosionsschutz dienen. Sie können auch zur Vorbehandlung vor der organischen Beschichtung, wie Nasslackieren oder Pulverlackieren, eingesetzt werden. Grundsätzlich lösen sich in der Prozesslösung Metallionen vom Werkstück ab, die dann mit den Badinhaltsstoffen zu einer Schicht reagieren und sich an der Werkstoffoberfläche abscheiden (AOT, 2008). Bei der **Phosphatierung** wird im Tauchverfahren auf der Werkstoffoberfläche in sauren, phosphathaltigen Bädern oder einer entsprechenden Sprühvorrichtung eine schwerlösliche Metallphosphatschicht aufgetragen. Für die Eisenphosphatierung betragen die Prozessparameter im Tauchverfahren in der Regel 50 bis 90 °C bei einer Behandlungszeit von 2 bis 5 Minuten, im Spritzverfahren 55 bis 65 °C für 1 bis 2 Minuten. Je nach Anwendungsfall kann die Phosphatierung unterhalb von 60 °C betrieben werden. Die Temperatur liegt jedoch nie unterhalb von 35 °C, da bei der

Anwendung im Spritzverfahren sonst eine störende Schaumbildung auftritt. Hierbei handelt es sich um klassische Niedertemperatur-Phosphatierungen (Adams, 1999). Für Werkstücke die weder im herkömmlichen Spritz- oder Tauchverfahren behandelt werden können, ist die Hochdruckphosphatierung eine Alternative. Die Mindestbehandlungszeit dieses Spritzverfahrens beträgt 2 min bei 95 °C. Das Verfahren kann auch mittels Dampfstrahl betrieben werden, das mit einer Temperatur von meist 120 bis 150 °C arbeitet. Die Beheizung der Bäder erfolgt überwiegend indirekt durch einen außenliegenden Plattenwärmeübertrager. Dabei wird die Badflüssigkeit und das Heizmedium mittels einer Pumpe umgewälzt (Adams, 1999). Auch das **Chromatieren** erfolgt meist im Tauch- oder Spritzverfahren auf Zinkoberflächen in sauren oder alkalischen Lösungen. Bei einer Temperatur von 20 bis 70 °C werden für 15 Sekunden bis 12 Minuten dünne, aber dichte Deckschichten aus einer Chromsalz-Lösung aufgebracht (AOT, 2008).

Beim konventionellen **Brünieren** werden in einem Tauchverfahren Eisensubstrate in einer chemischen Reaktion zu Eisenoxiden umgewandelt und auf der Werkstückoberfläche abgeschieden (GIMA e.K., 2009). Man unterscheidet Heißbrünieren und Kaltbrünieren, für das keine Wärmezufuhr notwendig ist. Heißbrünieren findet bei Temperaturen zwischen 120 bis 145 °C statt. Um die Badtemperatur beim Heißbrünieren konstant zu halten, erfolgt z.T. eine Vorwärmung der Werkstücke in 60 bis 80 °C warmen Wasser. Aufgrund der hohen Behandlungstemperaturen sind die Verdunstungsverluste der Bäder sehr hoch. Die Bereitstellung solarthermischer Energie zur Vorwärmung der Werkstücke oder der Bäder ist eher möglich. Die beschriebenen Verfahren werden in der Regel in Tauchbädern durchgeführt. Aufgrund des Temperaturniveaus wird für die, meist mit Heißwasser, beheizten Bäder viel Energie zur Aufheizung verwendet. Die Abwärme die durch die Bäder, vor allem beim Heißbrünieren, entsteht, kann aus den bereits im Abschnitt Vorbehandlung erwähnten Gründen schwer rückgewonnen werden. Für Prozesse die auch im Spritzverfahren durchgeführt werden können, werden ebenfalls selten Wärmerückgewinnungstechniken eingesetzt, da der Reinigungs- und Wartungsaufwand z.B. der Wärmeübertrager zum Teil sehr hoch ist. Im Vergleich der beschriebenen Prozesse eignen sich für eine solarthermische Wärmebereitstellung besonders das Chromatieren und Phosphatieren. Beide Verfahren laufen auf in einem niedrigen Temperaturbereich ab und sind sehr verbreitet.

Als **Nachbehandlungsschritte** zählen diejenigen Schritte, die nach einer Beschichtung stattfinden. Je nach Veredlungsverfahren können dies auch Zwischenbehandlungen zur Vorbereitung auf ein weiteres Beschichtungsverfahren sein. Zu den Nachbehandlungen zählen Färben, Verdichten, Spülen und Trocknen.

Oberflächen, die anodisch oxidiert sind, können nach der Oxidation in einem weiteren Schritt durch Einlagerung von organischen und anorganischen Farbpigmenten eingefärbt werden. Bei Temperaturen von 30 bis 50 °C werden unterschiedliche Farbnuancen in Abhängigkeit der Expositionszeit erzielt. Mit organischen Farbstoffen können im Temperaturbereich von 18 bis 50 °C fast alle Farbtöne erreicht werden (Förster et al., 2003). Das **Verdichten** (Sealing) wird im Anschluss zur anodischen Oxidation von Aluminium zum Schutz vor Korrosion angewendet, indem durch chemische Veränderung der Oxidschicht die Poren geschlossen werden. Man unterscheidet: Heißwassersealing, Dampfsealing und Kaltsealing. Beim

Heißwassersealing beträgt die Behandlungstemperatur 96 bis 98 °C für eine Verdichtungszeit von 3 Minuten pro 1 µm Oxidschicht. Bei organisch eingefärbten Schichten wird das Ausbluten des Farbstoffs dadurch verhindert, indem zuvor in 70 bis 80 °C warmen Wasser vorverdichtet wird. Das Dampfsealing erfolgt im Sattedampf über 98 °C, bei einer Behandlungszeit von 3 Minuten pro 1 µm Oxidschicht. Beim Kaltsealing wird bei einer Temperatur von 25 bis 40 °C das Quellen der Oxidschicht hervorgerufen. Das **Spülen** wird nicht nur als Vorbehandlungsschritt verwendet, sondern findet auch zwischen einzelnen Behandlungen innerhalb eines Beschichtungsverfahrens statt. Es stellt somit ein Bindeglied zwischen der Vor-, Haupt- und Nachbehandlung dar. Hierfür werden ebenfalls die unter der Vorbehandlung beschriebenen Verfahren verwendet.

Das **Trocknen** der beschichteten Werkstücke tritt sowohl als abschließender Behandlungsschritt, als auch als Zwischentrocknung innerhalb eines Beschichtungsverfahrens auf, mit dem Ziel Wasser und/oder Lösemittel zu entfernen, oder die aufgetragene Schicht zu vernetzen und auszuhärten (LfU, 2006). Für die zuvor in der Vor- und Hauptbehandlung beschriebenen Verfahren werden zum Trocknen und/oder Einbrennen der aufgetragenen Schicht Temperaturen von 60 bis 240 °C angewendet. Temperaturen über 120 °C werden hauptsächlich in der Lackiertechnik benötigt. In der Regel werden Umluft- (Konvektions) Trockner eingesetzt. Die Trockner werden elektrisch, mit Heißwasser, Dampf oder einer Gasbefehuerung beheizt. Die 50..120 °C warme Luft wird mittels Ventilatoren umgewälzt (LfU, 2003), so dass der zirkulierende Heißluftstrom am Werkstück vorbei geführt wird. Dadurch findet an der Oberfläche ein Energie- und Stoffaustausch statt (Lutz, 2009). In Trockenkammern herrschen meist Umlufttemperaturen von über 100 °C, was eine kurze Trocknungszeit und eine Objekttemperatur von 80 °C gewährleistet.

Die Prozesse Färben, Verdichten und Spülen werden hauptsächlich in Tauchbädern durchgeführt, auch hier findet aus den erwähnten Gründen selten eine Rückgewinnung der entstehenden Abwärme statt. Die Trocknungsanlagen bieten aufgrund ihres hohen Temperaturniveaus ein theoretisches Potential zur Abwärmenutzung. Für die Anwendung von Solarthermie eignen sich die Verfahren der Verdichtung und das Färben von Metallen. Die erforderlichen Temperaturbedingungen liegen in der Regel in einem mit Solarthermie abdeckbaren Bereich. Der Nachteil dieser beiden Verfahren ist ihre Spezifität bezüglich ihrer Anwendung ausschließlich für Metalle die anodisch oxidiert werden. Die Möglichkeit der solaren Einbindung von Prozesswärme zur Beheizung der Trocknungsanlagen kann nicht verallgemeinert werden. Ein Einsatz muss in Abhängigkeit des vorangegangenen Beschichtungsverfahrens betrachtet werden. Für Trocknungstemperaturen unterhalb von 80 °C ist ein Einsatz solarer Wärme möglich. Wie bereits erwähnt, eignen sich auch die Spülprozesse aufgrund ihres Mehrfacheinsatzes besonders für die Integration solarer Prozesswärme. In jedem der Bereiche Vor-, Haupt- und Nachbehandlung gibt es viele Prozesse, die sich für eine Integration von Solarthermie zur Wärmeversorgung eignen. Betrachtet man die Kombination einzelner Vor-, Haupt- und Nachbehandlungen im Ganzen, so ergibt sich insgesamt ein hohes Potential zur Einbindung solarer Prozesswärme. Die geeignetsten Verfahren sind zusammenfassend in Tabelle 5-16 dargestellt.

Tabelle 5-16: Zusammenstellung geeigneter Prozesse für die Integration solarer Prozesswärme

	Prozess	Temperatur [°C]	Zeit [min]	WRG	Mögliche Einbindung solarer PW
Vorbehandlung	Heiß-/Abkochentfettung	30..100	3..10	-	++
	Elektrolytische Entfettung	RT..80	> 5	-	+
	Beizen	20..98	< 60	-	++
	Substrattypische Oberflächenbehandlung	RT..60	> 20	-	+
	Spülen	40..> 70	5..10	-	++
Hauptbehandlung	Galvanische Metallabscheidung	20..90	k.A.	-	++
	Anodische Oxidation	15..95	10..60	-	++
	Phosphatieren	35...90	< 5	-	+
	Chromatieren	20..70	< 12	-	+
Nachbehandlung	Färben	RT..80	> 5	-	+
	Verdichten	25..80	~ 3	-	+
	Spülen	40..> 70	5..10	-	++
	Trocknen	60..120	< 30	+	+

Bewertung: ++ sehr gut möglich + gut möglich – nicht möglich

RT: Raumtemperatur, WRG: Wärmerückgewinnung, k.A.: keine Angabe, PW: Prozesswärme

Die Eignung für die Einbindung solarer Wärme wird hier nur anhand des Temperaturniveaus des jeweiligen Prozesses beurteilt. Die Integration einer thermischen Solaranlage in einem Betrieb der Oberflächenveredelung wird oftmals durch die Tatsache erschwert, dass die Wärmebereitstellung durch Strom realisiert wird und keine Infrastruktur zur Wärmeverteilung durch Heißwasser vorhanden ist. Die Möglichkeit zur Nutzung solarer Wärme für einzelne Bäder muss im Einzelfall geprüft werden. Ansonsten stellt der Ausgleich von Verdunstungsverlusten ein mögliches Anwendungsgebiet dar.

5.5. Maschinenbau

Die Branche des Maschinen- und Anlagenbaus zählt zu den wichtigsten und größten Wirtschaftszweigen Deutschlands. Etwa eine Million Beschäftigte in 6.099 Betrieben erwirtschafteten im Jahr 2008 einen Umsatz von 208 Mrd. Euro (VDMA, 2010). 15 % des Umsatzes wurden mit Antriebstechnik erzielt. Werkzeugmaschinen trugen mit 13 %, Pumpen und Kompressoren sowie Fördermittel mit jeweils 8 % zum Umsatz bei. Weiterhin sind die Bereiche Armaturen und Baumaschinen mit je 7 % und die Kälte- und Lufttechnik mit 6 % Umsatzanteil erwähnenswert (Berkermann, 2010). Mittelständische Firmen prägen das Bild des Maschinenbaus. 88 % der Unternehmen haben weniger als 250 Beschäftigte. Die Firmen sind häufig hoch spezialisiert und fertigen überwiegend Einzelstücke oder in Kleinserien. Gemessen am Branchenumsatz liegt der Maschinenbau in Deutschland auf Rang 2 hinter dem Fahrzeugbau (BMW, 2010a).

5.5.1. Energieverbrauch

Im Jahre 2007 belief sich der Wärmebedarf des Wirtschaftszweiges Maschinenbau auf 10,9 TWh, was einem Anteil von ca. 2 % des gesamten Wärmebedarfs der deutschen Industrie entspricht (Lutz, 2009). Nach Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2008 beträgt der Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert etwa 0,9 % (DeStatis, 2010a). Tabelle 5-17 gibt die Struktur des Wärmebedarfs in der Maschinenbaubranche wieder. Danach entfällt der größte Anteil des Wärmebedarfs mit knapp 50 % auf die Bereitstellung von Warmwasser und Raumheizung. Auch die Prozesswärme unter 100 °C hat einen Anteil von ca. 16 %, sodass ein erheblicher Wärmebedarf bei niedrigen Temperaturen besteht.

Tabelle 5-17: Energiekennwerte der Maschinenbauindustrie, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh /(B a)	5,1	1,6	1,2	0,6	1,7	10,2
Anteil	49,8%	15,9%	12,0%	5,8%	16,5%	100,0%

(Eikmeier et al., 2005) ermittelten ebenfalls den Wärmebedarf nach Betriebsgrößenklassen (Tabelle 5-18). Der höchste Wärmebedarf besteht mit 24 % in der Betriebsgrößenklasse, die Betriebe mit mehr als 1000 Beschäftigten erfasst. Es folgt die Klasse der Betriebe mit 100 bis 249 Beschäftigte mit 22 %. In 3354 Betrieben mit weniger als 50 Mitarbeitern werden 10 % der Wärme verbraucht.

Tabelle 5-18: Struktur des Wärmebedarfs im Maschinenbau nach Betriebsgrößenklasse, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	Unter- nehmen	Gesamt- wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
Beschäftigte	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RH	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	3354	10%	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0
50 – 99	1727	12%	0,7	0,0	0,3	0,1	0,1
100 – 249	1335	22%	1,6	0,1	0,7	0,3	0,2
250 – 499	503	18%	3,5	0,2	1,6	0,6	0,4
500 – 999	191	13%	6,9	0,4	3,0	1,1	0,8
> 1000	127	24%	18,7	1,1	8,2	3,0	2,2
Gesamt	7237	100%					

Wie die beiden Tabellen verdeutlichen, besteht im Maschinenbau der größte Anteil des Wärmebedarfs für die Bereitstellung von Warmwasser und Raumheizung. Auch im Maschinenbau finden sich Prozesse auf niedrigem Temperaturniveau zur Veredelung von Oberflächen, wie im Kapitel 5.4.2 Prozesse der Oberflächenveredelung beschrieben.

5.6. Gummi- und Kunststoffe

Die kunststoffverarbeitende Industrie ist ein großes Standbein des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland und hat einen Anteil von 8 % der globalen Kunststoffproduktion. Die Produktionskette lässt sich in drei Glieder unterteilen. So fällt die Herstellung des Rohstoffs Kunststoff in den Bereich der chemischen Industrie, während die Aufbereitung und abschließende Formgebung der kunststoffverarbeitenden Industrie zuzurechnen ist. Mit 2.800 der Branche zuzurechnenden Betrieben wurde im Jahr 2009 ein Gesamtumsatz von 46 Mrd. Euro mit Kunststofferzeugnissen erzielt. Der Größte Produktionsanteil fällt nach Abbildung 5-33 der Herstellung von Verpackungen zu. Nach Daten aus 2004 wurden 32,5 % der Kunststoffprodukte zu Verpackungszwecken hergestellt. Zu ihnen zählen unter anderem Folien, Schläuche, Verbundstoffe und Formteile. 27 % sind der Herstellung von sonstigen Kunststoffprodukten, wie z.B. für medizinische Anwendungen, Haushalte usw., zuzurechnen. Die Produktion von Artikeln für die Baubranche hat einen Anteil von 24,5 %. Zu diesen Produkten zählen sowohl verschiedenste Folien als auch Bauteile wie Rohre, Schläuche und Profile. Für den Automobilbau werden 8,5 % der Kunststoffprodukte hergestellt. Hier handelt es sich vorwiegend um vielfältige Artikel in der Innenraumgestaltung. Mit 7,5 % fällt der Elektro- und Elektronikbranche der geringste Kunststoffverbrauch zu. Anwendungsfelder sind z.B. Platinen, Gehäuse und verschiedenste Formen der Isolierungen. Insgesamt wurden 2004 in Deutschland etwa 11 Mio. Tonnen Kunststoffe verbraucht (Plastics Europe, 2010).

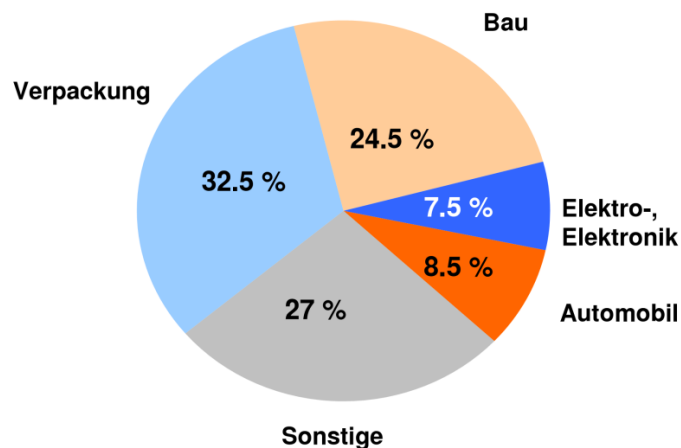


Abbildung 5-33: Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten, Deutschland 2004 (Plastics Europe, 2006)

Die verarbeitenden Rohstoffe lassen sich wie folgt einteilen (Schwarz et al., 2005):

Thermoplaste ändern in einem bestimmten Temperaturbereich ihren Zustand und der Kunststoff wird zäh bis niedrigviskos. Der so verformbare Kunststoff wird durch verschiedenste Verfahren unter Wärmeeinfluss in Form gebracht, anschließend wieder abgekühlt und behält so die vorher aufgeprägte Form dauerhaft. Dieser Vorgang ist reversibel und kann beliebig oft erfolgen. Die meisten Kunststoffe aus der Alltagswelt sind den Thermoplasten zuzurechnen. Beispielhafte Produkte wären Dosen, Tüten, Türgriffe usw.

Duroplaste hingegen sind einmal ausgehärtet nicht wieder erneut formbar. Sie werden in formbaren Zustand verarbeitet und erhalten ihre Festigkeit durch chemische Reaktionen bei Umgebungstemperatur oder durch zusätzliche Energiezufuhr in Form von Wärme oder UV-Strahlung. Ihr Vorteil gegenüber den Thermoplasten ist die höhere thermische Beständigkeit. Produkte sind z.B. Schutzhelme, Karosserieteile und Topfgriffe.

Elastomere sind Kunststoffe die im Alltag als Gummi bekannt sind. Sie sind formfest aber gleichzeitig elastisch verformbar. Grund für diese Eigenschaft ist die bei der Vulkanisation entstehende Molekülstruktur der Polymerketten. Je nach Bedarf kann die Elastizität bei diesem Verfahren beeinflusst werden um so Produkte verschiedenster Härte zu erreichen. Typische Anwendungsgebiete sind Reifen, Gummibänder und Dichtungen.

Abbildung 5-34 zeigt die Anteile der verarbeiteten Kunststoffe in der EU, Norwegen und der Schweiz aus dem Jahr 2005. Thermoplaste (hier LDPE, HDPE, PP, PVC, PS, PET) dominieren aufgrund der einfachen Verarbeitung und ihrer wirtschaftlichen Herstellung den Markt deutlich.

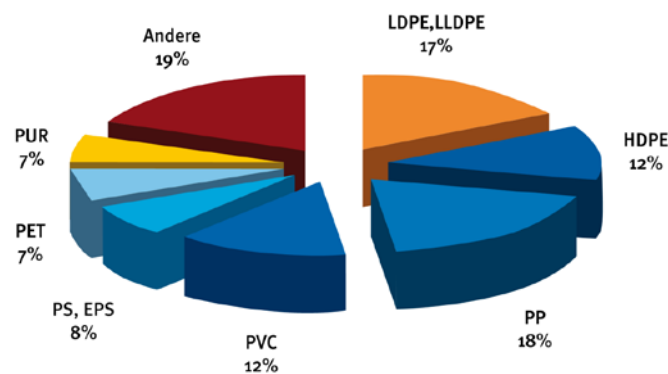


Abbildung 5-34: Verarbeitung nach Kunststoffarten in EU27+NO+CH (Plastics Europe, 2008)

5.6.1. Energieverbrauch

Der Endenergiebedarf der kunststoffverarbeitenden Industrie betrug im Jahr 2008 rund 24 TWh und damit 3,5 % der gesamten Industrie Deutschlands. Den höchsten Energiebedarf hatten Hersteller mit dem Produktspektrum Platten, Folien, Schläuche und Profile. Der Bedarf summiert sich hier auf 6,9 TWh und damit auf etwa 45,4 %. Sonstige Kunststoffwaren stehen mit einem Verbrauch von 4,9 TWh für 32,2 % des branchenspezifischen Endenergiebedarfs. Für die Herstellung von Verpackungsmitteln wurden 2,5 TWh (16,4 %) und für Baubedarfsartikel 864 GWh (6 %) benötigt (Trautmann et al., 2002). Eine Darstellung der Anteile der verschiedenen Energieträger an der Energieversorgung in der Kunststoffverarbeitung gibt Abbildung 5-35 wieder. Gedeckt wird der Energiebedarf vorwiegend über elektrische Energie. Betrachtet man die gesamte Branche so ist Strom mit 60 % der maßgebende Energieträger. Besonders in der Teilbranche der Verpackungsmittel spielt Strom mit 80 % eine sehr große Rolle. Alle anderen Teilbranchen liegen zwischen 50 % und 60 %. Ein weiterer wichtiger Energieträger ist Gas. Im Mittel ergibt sich für die Kunststoffverarbeitung ein Gasanteil von etwa 30 %. Mineralöl spielt eine eher untergeordnete Rolle. Branchenweit werden nur knapp 10 % des Energiebedarfs über Mineralöl gedeckt.

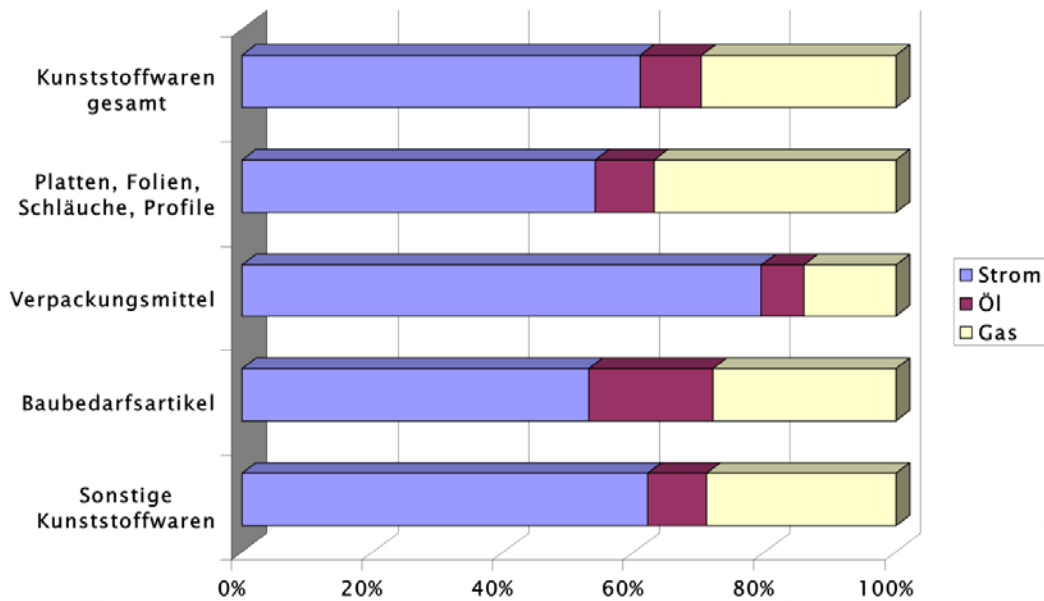


Abbildung 5-35: Einsatz der Energieträger in den einzelnen Teilbranchen (2000) (Hesselbach, 2007)

Elektrische Energie ist aufgrund der flexiblen Einsatzmöglichkeiten und der technisch günstigen Einbindung der wichtigste Energieträger sowohl für mechanische als auch thermische Produktionsprozesse. Wärme wird in vielen Prozessen der Kunststoffverarbeitung benötigt. Die Anwendungsbereiche umschließen Trocknungsprozesse zur Aufbereitung von Granulaten, in Form von Prozessdampf das Aufschäumen von z.B. Polystyrol und die vielfältigen formgebenden Verfahren. Die Struktur des Wärmebedarfs ist aus Tabelle 5-19 ersichtlich. Die Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme nimmt mit 28 % einen hohen Anteil ein. Für Prozesswärmeanwendungen unterhalb 100 °C wurden 15 %, aufgewendet. Den größten Anteil benötigen Prozesse mit einem Temperaturniveau zwischen 100 und 500 °C mit rund 57 % des Wärmebedarfs.

Tabelle 5-19: Energiekennwerte der kunststoffverarbeitenden Industrie, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh /(B a)	4,7	2,5	9,7	0	0	17,0
Anteil	27,8%	14,9%	57,3%	0,0%	0,0%	100,0%

(Eikmeier et al., 2005) ermittelten ebenfalls den Wärmebedarf nach Betriebsgrößenklassen, wie in Tabelle 5-20 dargestellt. Hier wird deutlich, dass die kunststoffverarbeitende Industrie von kleinen bis mittleren Betrieben dominiert wird. Der höchste Wärmebedarf besteht mit 24 % bei der Betriebsgrößenklasse 100 bis 249 Mitarbeiter. Allein die 33 Betriebe mit mehr als 1000 Mitarbeitern haben einen Anteil von 14 %.

Tabelle 5-20: Struktur des Wärmebedarfs in der chemischen Industrie nach Betriebsgrößenklassen (Eikmeier et al., 2005)

Beschäftigte	Unter- nehmen	Gesamt- wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RW	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	1422	12%	0,5	0,0	0,1	0,1	0,3
50 – 99	879	17%	1,2	0,0	0,3	0,2	0,7
100 – 249	565	24%	2,6	0,0	0,7	0,4	1,5
250 – 499	196	19%	5,9	0,1	1,6	0,9	3,4
500 – 999	77	14%	11,4	0,1	3,1	1,7	6,5
> 1000	33	14%	25,4	0,2	6,8	3,8	14,5
Gesamt	3172	100%					

5.6.2. Prozesse

Die in der Kunststoffverarbeitung vorkommenden Prozesse sind primär formgebender Natur. Hinzu kommen vielfältige Vor- und Nachbehandlungsschritte. Abbildung 5-36 zeigt den typischen Ablauf vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt. In allen drei Phasen sind neben mechanischen auch thermische Prozesse präsent bzw. Kombinationen aus beiden.



Abbildung 5-36: Der Weg vom Rohstoff zum Produkt (Hesselbach, 2007)

Im Weiteren soll vor allem die Trocknung von Granulat herausgegriffen werden, die ein Potential für den Einsatz von thermischer Solarenergie besitzt. Einige weitere Prozesse mit thermischem Energiebedarf, die sich aber weitaus weniger für die Nutzung thermischer Solarenergie eignen, werden kurz beschrieben.

Die **Granulattrocknung** ist ein häufiger Prozess der Kunststoffverarbeitung, da viele Kunststoffe vor der Weiterverarbeitung getrocknet werden müssen. Kondenswasser an den Granulatoberflächen und innere Feuchte von hygroskopischen Kunststoffarten kann die

Qualität der Produkte durch Blasenbildung und ähnliches negativ beeinträchtigen. Beispielsweise führt zu hohe Feuchte des hygroskopischen Kunststoffs PET, bekannt für die Getränkeflaschen, zu Qualitätseinbußen. Hier muss immer eine Trocknung vorgeschaltet sein. In der Regel werden thermische Trockner eingesetzt. Diese können sowohl als Umgebungslufttrockner oder als Trockenlufttrockner ausgeführt werden. Umgebungslufttrockner erwärmen angesaugte Umgebungsluft auf ein bestimmtes Temperaturniveau und blasen anschließend die aufgewärmte Luft durch das Granulat. Nachteil dieser Technologie ist, dass die angesaugte Luft bereits einen in Abhängigkeit von Wetter und Umgebung bestimmten Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Daraus resultiert ein höherer Energieaufwand zum Aufheizen der Luft und eine schlechtere spezifische Trockenleistung. Hygroskopische Kunststoffe lassen sich auf diese Weise nicht ausreichend trocknen, da die notwendige Dampfdruckdifferenz zum Austreiben der inneren Feuchte nicht sicher erreicht wird.

Trockenlufttrockner umgehen diesen Nachteil, indem die beladene Luft über ein Adsorptionsmittel oder ein Molekularsieb geleitet wird und so die Feuchtigkeit entzogen wird. Die trockene Luft wird schließlich wieder erwärmt und in das Granulat geblasen. Diese Systeme werden meist wie in Abbildung 5-37 dargestellt als Zweikammersystem ausgelegt, so dass ein kontinuierlicher Betrieb möglich ist

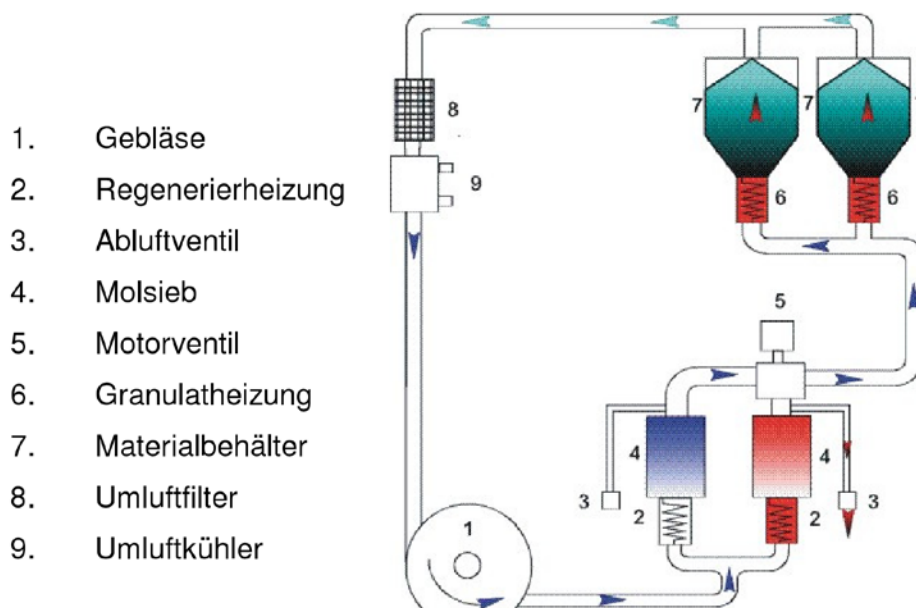


Abbildung 5-37: Trockenlufttrockner mit zwei Trockenmittelkammern der Firma GERCO Apparatebau (GERCO, 2010)

Die Trockenmittelkammern wechseln zyklisch zwischen Betriebsphase und Regenerierung des Adsorbens bzw. des Molekularsiebs. Typische Temperaturen für diese Trockner reichen von 50 bis 150 °C. Die Volumenströme sind wie die Trocknungstemperatur sowohl von der Feuchte als auch von der Verweilzeit des Granulats abhängig (Trautmann et al., 2002), (Domininghaus et al., 2008).

Spritzgießen ist das häufigste urformende Verfahren in der Kunststoffverarbeitung. Generell eignen sich für das Spritzgießverfahren Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere. Grundsätzlich finden zwei Prozesse innerhalb einer Spritzgießmaschine nacheinander statt. Nach

dem Einfüllen des Kunststoffgranulats wird dieses in der Schnecke aufgeschmolzen und homogenisiert. Dieser Vorgang wird Plastifizierung genannt. Im nächsten Schritt wird der Kunststoff in das Formwerkzeug eingespritzt. Hier kühlt das Formteil ab, erstarrt und wird aus dem Werkzeug entnommen. Die Plastifiziereinheit wird üblicherweise mit Strom beheizt (Domininghaus et al., 2008). Die Temperaturen zur Plastifizierung sind abhängig von der zu verarbeitenden Kunststoffart und können von 40..110 °C für Elastomere, über 80..160 °C für Duroplaste bis zu 130..400°C für Thermoplaste reichen. In vielen Fällen erfolgt eine Vorwärmung des Kunststoffgranulats (Johannaber und Michaeli, 2004).

Extruder sind ähnlich aufgebaut wie Spritzgießmaschinen, jedoch findet hier die Urformung kontinuierlich statt. D.h. es wird ein endloses Profil gefertigt. Typische Produkte sind Folien, Rohre, Profile usw. Der Prozessablauf im Extruder ist analog zum Spritzgießen. Das Granulat wird in einer beheizten Schnecke plastifiziert, d.h. geschmolzen, vermischt und homogenisiert. Anschließend wird die Masse im Extrusionswerkzeug geformt. Das austretende Profil kühlt ab und wird je nach Anforderung abgezogen. Die Erwärmung des Granulats im Extruder erfolgt mit Strom als Energieträger. Dazu sind um den Zylinder Zonenweise elektrische Heizbänder gelegt über die sich die Temperatur regeln lässt. Ein Teil der benötigten Wärme wird durch dissipative Effekte (Reibung) in der Schnecke beigesteuert. Da viele Kunststoffe einen engen Schmelzbereich aufweisen, sind zusätzlich Kühlelemente vorhanden um die Temperatur bei Bedarf schnell senken zu können (Domininghaus et al., 2008), (Trautmann et al., 2002). Die Temperaturen liegen bei ca. 60..280 °C (Greif, 2004), (Trautmann et al., 2002).

5.7. Textilgewerbe

Die Erzeugung von Textilien lässt sich in die Branchen Textilindustrie und Bekleidungsindustrie gliedern. Die Textilindustrie erzeugt Garne und Textilflächen die von der Bekleidungsindustrie konfektioniert werden. Die Unternehmen der Textilindustrie haben einen hohen Spezialisierungsgrad ausgebildet und führen zumeist nur einen Prozessschritt für bestimmte Ausgangsstoffe durch. Die Betriebe sind daher zumeist kleine und mittelständische Unternehmen. Typische Erzeugnisse sind Haushalts- und Heimtextilien sowie Bekleidungsstücke. Insbesondere in Deutschland werden zunehmend auch Funktionstextilien für den technischen Einsatz hergestellt.

5.7.1. Energieverbrauch

Die Struktur des Wärmebedarfs im Textilgewerbe ist in Tabelle 5-21 dargestellt. Danach entfällt knapp 40 % des Wärmebedarfs auf die Bereitstellung von Warmwasser und Raumheizung und 60 % auf Prozesswärme unter 100 °C.

Tabelle 5-21: Energiekennwerte des Textilgewerbes, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh/(B a)	17,9	27,2	0,0	0,0	0,0	45,0
Anteil	39,7%	60,3%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Die Übersicht des Wärmebedarfs nach Betriebsgrößenklassen (Tabelle 5-22) zeigt, dass der höchste Wärmebedarf mit 35 % in der Betriebsgrößenklasse, die Betriebe mit 100 bis 249 Beschäftigten erfasst, besteht. Es folgen die Klassen mit 50 bis 99 Mitarbeitern und die Klasse mit 250 bis 499 Beschäftigten mit jeweils 19 %.

Tabelle 5-22: Struktur des Wärmebedarfs des Textilgewerbes nach Betriebsgrößenklasse, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

Beschäftigte	Unternehmen	Gesamt-wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RH	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	511	15%	1,3	0,0	0,5	0,8	0,0
50 – 99	278	19%	3,2	0,1	1,2	1,9	0,0
100 – 249	228	35%	7,0	0,1	2,6	4,2	0,0
250 – 499	56	19%	15,4	0,3	5,8	9,3	0,0
500 – 999	15	10%	29,1	0,5	11,0	17,5	0,0
> 1000	1	2%	83,4	1,6	31,5	50,3	0,0
Gesamt	1089	100%					

Der Jahreswärmebedarf pro kg Produktmenge in der Textilindustrie wird für Garn- und Flächenerzeugung getrennt betrachtet. Während für die Garnveredelung 3,1..23,7 kWh/(kg*a)

benötigt werden, kommt die Garnerzeugung mit 0,2..2,2 kWh/(kg*a) aus. Ähnliche Größenordnungen gelten für die Flächenveredelung mit 2,4..9,4 kWh/(kg*a) gegenüber der Flächenherzeugung mit 0,1..3,6 kWh/(kg*a) (Energie Agentur NRW, 2010a).

5.7.2. Prozesse

Dieser Abschnitt bezieht sich hauptsächlich auf die Textil- und Garnveredelung, da sie sowohl Bestandteil vieler Prozessschritte, als auch der größte Wärmeverbraucher ist. In Veredelungsprozessen werden Optik, Haptik und technische Eigenschaften der Textilien verändert. Es existiert aufgrund der Vielfalt textiler Erzeugnisse eine große Anzahl unterschiedlicher Veredelungsverfahren.

In der Textilindustrie erfolgt das Bleichen von Baumwolle und Flachs mit Wasserstoffperoxid. Wolle wird mit Wasserstoffperoxid und anschließend mit Dithionit bei geringen Temperaturen gebleicht. Nach dem Bleichschritt werdend die verwendeten Bleichmittel herausgewaschen. Typische Temperaturen im Bleichbad liegen bei 40 bis 70 °C und Verweilzeiten ca. 40 min (EIPPCB, 2003b).

Durch das **Färben** werden Textilien durch Einwirken von Farbmitteln eingefärbt. Das Färben ist gewöhnlich ein Niedertemperaturprozess. Textile Produkte können in jeder Verarbeitungsstufe gefärbt werden (zum Beispiel: Wollfärben, Garnfärben, Stofffärben). Gewöhnlich läuft der Färbeprozess in der Industrie kontinuierlich ab. Bei kleinen Produktmengen wird aber aus Kostengründen noch immer chargenweise gefärbt.

Beim chargenweisen Auszieh färben werden in der Färbemaschine textiles Material und Farblösung zusammengeführt. Die Farbstoffe ziehen aus dem Färbebad, lagern sich an der Faser an und diffundieren in das Faserrinnere. Durch die Steuerung von pH-Wert, Temperatur und die Zugabe von Hilfsstoffen kann der Prozess beschleunigt werden. Nach dem Färben wird das ausgezogene Färbebad abgelassen. Abschließend wird der Farbstoff durch Chemikalien- oder Hitze einwirkung fixiert. Es folgt ein Spülschritt, um überschüssigen Farbstoff abzutrennen.

Beim kontinuierlichen und semi-kontinuierlichen Verfahren wird das Textilgut dabei zunächst mit der Färbeflotte imprägniert. Anschließend wird der Farbstoff durch Walzen in das Material gepresst. Gleichzeitig streifen diese die überschüssige Farbe ab. Die Farbstoffe können auch durch Besprühen, als Farbpulver oder Farbschaum aufgebracht werden. Danach wird der Farbstoff durch Chemikalien- oder Hitze einwirkung fixiert. Die Wärme kann indirekt über beheizte Walzen oder direkt durch Dampfbeaufschlagung zugeführt werden. Dem Färben folgt stets ein Waschschrift um nicht fixierten Farbstoff auszuwaschen. Bei semi-kontinuierlichen Verfahren finden Färben, Fixieren und Auswaschen in getrennten Maschinen statt. In kontinuierlichen Verfahren durchläuft das Textilgut die Nachbehandlungsschritte direkt nach dem Färben (EIPPCB, 2003b). Die in Tabelle 5-23 dargestellten Temperaturen hängen sowohl von den Textilien, wie auch von den verwendeten Farbstoffen ab. Dem Färben geht gewöhnlich das Bleichen voraus.

Tabelle 5-23: Zum Färben verwendete Farbstoffe und Temperaturen (EIPPCB, 2003b)

Faser	Beispiel für Farbstoff	Temperatur [°C]
Pflanzenfaser	Reaktivfarbstoff	40..80
	Schwefelfarbstoff	60..110
Wolle	Chromfarbstoff	bis 80
	Reaktivfarbstoff	65..70
Polyamidfaser	Säurefarbstoff	70..80
	Reaktivfarbstoff	ca. 95
Polyesterfaser	Dispersionsfarbstoff	100..135
Acrylfaser	Dispersionsfarbe	bis 100
	Kationenfarbstoff	100..102

Aus Tabelle 5-23 geht hervor, dass einzelne Prozesse im Textilgewerbe bei Temperaturen über 100 °C stattfinden. Dies ist nicht konsistent mit den Daten aus Tabelle 5-22, die keinen Wärmebedarf über 100 °C angibt, da die Tabelle auf unterschiedlichen Quellen beruhen. Möglicherweise ist die Verwendung von Prozesstemperaturen > 100 °C selten.

Das **Waschen** kommt in der Textilindustrie nach den Prozessschritten Bleichen und Färben zum Einsatz. Es wird grundsätzlich zwischen der Nass- und Trockenreinigung unterschieden. Bei Kleidung oder Garn sind die Waschprozesse meist diskontinuierlich, während die Wäsche von Stoffbahnen kontinuierlich erfolgt. Bleichprozessen nachgeschaltete Nasswäschen dienen der Abtrennung der eingesetzten Chemikalien. Nach Färbeprozessen wird in einer Nasswäsche überschüssiges und nicht fixiertes Färbemittel ausgewaschen. Bei diskontinuierlichen Prozessen werden die Textilien oft direkt in den Bleich- bzw. Färbemaschinen gewaschen. Bei kontinuierlichem Betrieb ist den Bleich- bzw. Färbeprozessen eine Waschanlage nachgeschaltet. Bei der Nassreinigung werden die Textilien in einem mit Waschmitteln versetzten Wasserbad gewaschen oder mit Waschlösung besprüht. Die Temperaturen liegen bei 30 bis 100 °C. Nach dem Waschen werden die Textilien mit Frischwasser gespült um Rückstände der Waschmittel zu entfernen. Gewaschen wird entweder chargenweise in Trommelwaschmaschinen oder kontinuierlich in Tunnelwaschmaschinen bzw. Waschstraßen. Letztere bieten vielfältige Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung.

Beim **Entschlichten** wird durch Zugabe von Schlichtmitteln unerwünschte Stoffe aus Textilfasern und Garnen herausgewaschen. Dadurch verbessert sich Griff, Webverhalten sowie Durchfärbeverhalten. Übliche Temperaturniveaus für Schlichtverfahren liegen bei 80..90 °C. Durch **Dekatieren** wird vor allem in der Wollverarbeitung Glanz und Griff des Gewebes verbessert. Zudem wird die Ware geglättet. Beim Dekatieren wird das Gewebe durch Dampfeinwirkung erhitzt und glattgepresst. Die Temperaturen liegen bei der drucklosen Dampfbehandlung bei 105 °C und bei der Druckbehandlung bei bis zu 140 °C. Durch **Krumpfen** werden durch die Herstellung entstandene Spannungen im Textilgewebe abgebaut. Dadurch erhalten die Gewebe eine höhere Formstabilität und laufen später nicht ein. Beim Tragebandkrumpfen wird die Ware auf einem Band durch die Maschine geführt und einer Intensivdampfbehandlung unterzogen. In einem weiteren Krumpfverfahren wird die Ware zunächst befeuchtet, dann einem Hitzeschock unterzogen und anschließend über eine heiße Platte geführt. Bei diesem Verfahren ist der Dampfverbrauch weitaus geringer.

5.8. Holzgewerbe

Das Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln) weist knapp 1.300 Betriebe ca. 84.000 Beschäftigten auf (DeStatis, 2010a). Über 50 % des Energieverbrauchs dieses Wirtschaftszweiges geht auf die Herstellung von Furnier-, Sperrholz-, Holzfaser- und Holzspanplatten zurück. Auch Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerke haben einen relevanten Energieverbrauch. Nur geringe Energieverbräuche haben die Herstellung von Verpackungsmitteln, Lagerbehältern und Ladungsträgern aus Holz und Herstellung von anderen Holz Kork-, Flecht- und Korbwaren.

5.8.1. Energieverbrauch

Der Energiebedarf des Holzgewerbes betrug im Jahr 2008 ca. 20 TWh (DeStatis, 2010a). Thermische Energie spielt eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Holz. Neben dem Trocknen von Holz sind weitere thermische Prozesse, wie z.B. Dämpfen und Beschichten, in der Holzindustrie zu finden. Der Wärmebedarf steht mit 1,8 TWh für etwa 9 % des Endenergieverbrauchs. Tabelle 5-24 gibt die Struktur des Wärmebedarfs für das Holzgewerbe wieder.

Tabelle 5-24: Energiekennwerte des Holzgewerbes, 2003 (Eikmeier et al., 2005)

	WW+RH	<100°C	100..500°C	500..1000°C	>1000°C	Summe
Beschäftigten-spezifisch in GWh/(B a)	2,5	13,7	3,6	0,0	0,0	19,9
Anteil	12,8%	69,1%	18,1%	0,0%	0,0%	100,0%

Für Prozesswärme unter 100 °C wird knapp 70 % des Wärmebedarfs eingesetzt, für die Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme weitere 13 %. Aufgegliedert nach Betriebsgrößenklassen (Tabelle 5-25) zeigt sich, dass der höchste Gesamtwärmebedarf im Holzgewerbe mit 29 % bei Betrieben zwischen 1 bis 49 Mitarbeiter besteht. In nur 4 Betrieben mit über 1000 Mitarbeitern werden 5 % des Wärmebedarfs benötigt (Eikmeier et al., 2005).

Tabelle 5-25: Struktur des Wärmebedarfs im Holzgewerbe nach Betriebsgrößenklassen (Eikmeier et al., 2005)

Beschäftigte	Unternehmen	Gesamt-wärmebedarf	Wärmebedarf je Unternehmen in GWh				
	Anzahl	Anteil	Gesamt	WW	RH	PW<100°C	PW 100..500°C
1 – 49	1098	29%	0,5	0,0	0,1	0,3	0,1
50 – 99	259	20%	1,4	0,0	0,2	1,0	0,3
100 – 249	140	25%	3,1	0,0	0,4	2,1	0,6
250 – 499	38	14%	6,5	0,1	0,8	4,5	1,2
500 – 999	10	7%	12,3	0,1	1,5	8,5	2,2
> 1000	4	5%	22,1	0,2	2,6	15,3	4,0
Gesamt	1549	100%					

5.8.2. Prozesse

Die Prozesse in der Holzverarbeitung können in vier Gruppen unterteilt werden. Hierbei handelt es sich um mechanische Vorgänge (z.B. Sägen, Hobeln), rein thermische Prozesse (z.B. Dämpfen, Kochen, Trocknen), sowie vor allem fügende und Beschichtungsverfahren (Imprägnieren, Beschichten, Lackieren). Der Prozess mit dem höchsten thermischen Energiebedarf in Säge- und Hobelwerken ist die Trocknung, die einen Bedarf an thermischer Energie von 120 bis 1260 kWh/m³ Holz aufweist (Tech et al., 2003). Auch in der Produktion von Lagenholz besteht für die Trocknung ein erheblicher thermischer Energiebedarf von 650 bis 2580 kWh/m³ Holz. Darüber hinaus wird beim Pressen (260...1240 kWh/m³) und Beschichten (210...860 kWh/m³) Wärme benötigt (Tech et al., 2003).

Es wird deutlich, dass die **Trocknung** der entscheidende Prozess für den thermischen Energiebedarf im Holzgewerbe ist. Das Trocknen von Holz ist besonders als Zwischenschritt nach dem Zuschneiden des frischen Holzes von Bedeutung, der in Säge- und Hobelwerken stattfindet. Bevor das noch frische geschnittene Holz mit einem Wassergehalt 40..200 % (bezogen auf die Trockenmasse) weiterverarbeitet wird, muss der Feuchtegehalt reduziert werden. Je nach Anwendungsbereich soll das Holz einen Feuchtegehalt aufweisen, der sich auch im Gebrauchszustand im Mittel einstellt. So wird für Möbel etwa eine Konzentration von 9..13 % und für Konstruktionen im Freien eine Konzentration von 15..21 % angestrebt. Insgesamt ist der Energieaufwand für diese Trocknungsverfahren erheblich. Für 1 m³ Schnittholz müssen für die Trocknung ca. 400..950 kWh bzw. zwischen 0,3 und 1,7 kWh/kg_{H₂O} in Abhängigkeit vom Wassergehalt, Temperaturniveau und Trocknungsverfahren eingesetzt werden. In der Praxis existieren verschiedene Trocknungsverfahren.

Frischluf ttrockner erwärmen angesaugte Umgebungsluft und leiten sie in die Trocknungskammer. Die warme Luft nimmt die Feuchtigkeit auf und wird anschließen an die Umgebung wieder abgegeben. Nachteil dieser Technologie ist, dass die angesaugte Luft bereits einen in Abhängigkeit von Wetter und Umgebung bestimmten Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Daraus resultieren ein höherer Energieaufwand zum Aufheizen der Luft und eine schlechtere spezifische Trockenleistung (Tech et al., 2003).

Bei **Vakuumtrocknern** wird in der Trockenkammer ein Unterdruck erzeugt. Dieser bewirkt, dass der Dampfdruck abgesenkt wird und das im Holz gebundene Wasser auch bei niedrigeren Temperaturen als im Frischluf ttrockner ausdampft. Auf diese Weise ist eine schonendere aber auch effizientere Trocknung möglich. Es wird weniger thermische Energie benötigt, jedoch mehr elektrische Energie für die Erzeugung des Unterdrucks. Die Temperaturen in Vakuumtrocknern liegen meist deutlich unter 100 °C.

Ein weiteres Verfahren stellt die **Kondensationstrocknung** dar. Mit dieser Methode lassen sich erhebliche Mengen Energie einsparen. Das Prinzip ist ein Umluf ttrockner, bei dem die erwärmte Luft in die Trockenkammer gegeben wird. Die beladene feuchte Luft wird aus der Kammer geführt und getrocknet. Anschließend wird diese trockene Luft wieder erwärmt und erneut in die Trockenkammer geblasen. Vorteil ist der wesentlich höhere Wirkungsgrad und die schonendere Behandlung des Holzes. Typische Temperaturen liegen zwischen 50..70 °C.

Bei der **Hochtemperaturtrocknung** (auch Verdampfungstrocknung) erfolgt die Trocknung bei Temperaturen zwischen 100 und 150 °C. Tabelle 5-26 zeigt den spezifischen Energieeinsatz für verschiedene Trocknungsverfahren auf (Tech et al., 2003).

Tabelle 5-26: Spezifischer Energieeinsatz verschiedener Trocknungsverfahren (Tech et al., 2003)

Trocknungsverfahren	Spezifischer Energieeinsatz [kWh/kgH₂O]
Infrarottrockner	1,5
Vakuumtrockner	1,5
Hochtemperaturtrockner	0,3
Kondensationstrockner	0,9
Kondensationstrockner (3. Generation)	0,3
Frischlufte-Abluft-Trockner	1,5

Ein weiterer thermisch relevanter Prozessschritt ist das **Dämpfen**. Dieses dient hauptsächlich der Plastifizierung des Holzes und dem Abbau von inneren Spannungen. Dabei kann das Holz in einer Kammer direkt mit Dampf behandelt werden (meist bei Massenware) oder in einem beheizten Wasserbad (meist für Edelholz). Die Temperaturen bei diesem Prozess sind vom zu behandelnden Holz abhängig, bewegen sich aber meist im Bereich von 75 bis 95 °C. Eine Alternative zum Dämpfen des Holzes stellt das **Kochen** dar, bei dem das Holz in 85 °C warmen Wasser behandelt wird (Niemez et al., 2003).

6. Geeignete Prozesse zur Nutzung solarer Prozesswärme

Die Analyse der verschiedenen Wirtschaftszweige in Kapitel 5 zeigt, dass es eine Vielzahl von industriellen Prozessen gibt, die für die Integration von Solarwärme geeignet sind. Abbildung 6-2 zeigt eine Übersicht dieser geeigneten Prozesse auf Basis verschiedener Studien (Aidonis et al., 2005, Müller et al., 2004, Schweiger et al., 2001) und der Recherche im Rahmen dieser Studie.

Aus der Abbildung geht hervor, dass einige geeignete Prozesse, wie das Vorwärmen, Aufwärmen von Kesselspeise- oder -zusatzwasser und Waschen, in nahezu allen Wirtschaftszweigen vorhanden sind. Die meisten Prozesse finden sich im Ernährungsgewerbe, weshalb diesem zurzeit das größte Potential zur Nutzung solarer Prozesswärme zugesprochen wird. Weiterhin zeigt sich, dass viele Prozesse bei niedrigen oder mittleren Temperaturen ablaufen.

Das Temperaturniveau des zu versorgenden Prozesses spielt für die Nutzung solarer Wärme eine entscheidende Rolle, weil die Effizienz einer thermischen Solaranlage mit steigender Temperatur sinkt. Wie in Abbildung 6-2 zu sehen ist, existieren in allen betrachteten Wirtschaftszweigen Prozesse die Temperaturen unter 100 °C benötigen. Im Rahmen des Task 33/IV „Solar Heat for Industrial Processes“ der Internationalen Energieagentur wurden etwa 70 bestehende Solaranlagen zur Bereitstellung von solarer Wärme für industrielle Prozesse analysiert. Abbildung 6-1 zeigt die Temperaturen des versorgten Prozesses existierenden Solaranlagen in der Industrie.

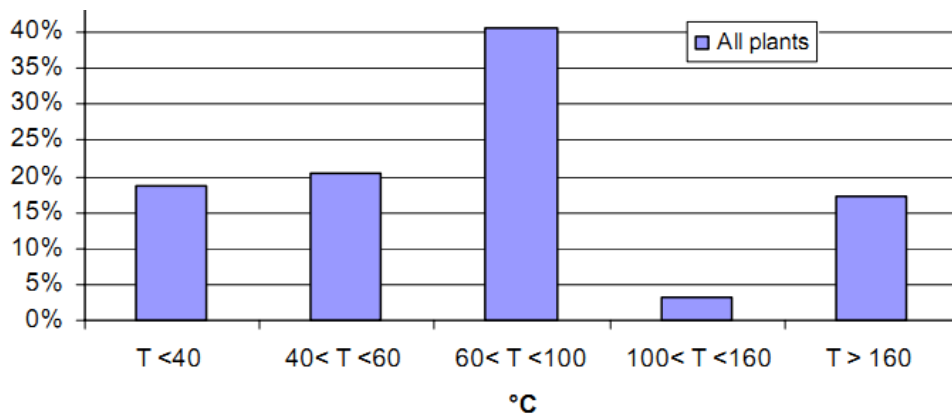


Abbildung 6-1: Temperatur des versorgten Prozesses von existierenden Solaranlagen in der Industrie (Vannoni et al., 2006b)

Es ist zu sehen, dass jeweils ca. 20 % der bis zum Jahr 2006 installierten Solaranlagen für Prozesse mit Temperaturen unter 40 °C bzw. von 40..60 °C eingesetzt wurden. Insgesamt liegen ca. 80 % der Prozesse bei Temperaturen unter 100 °C.

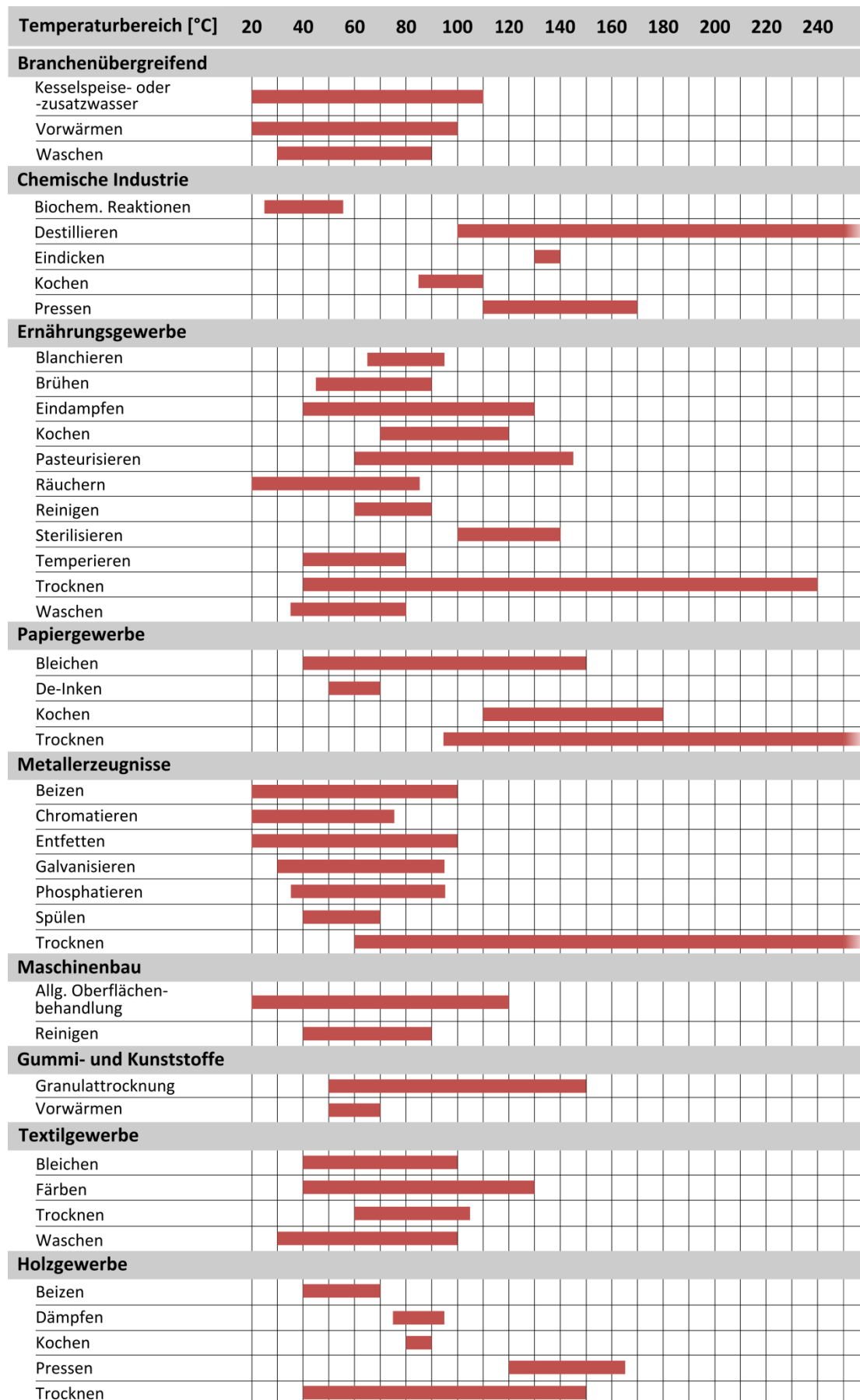


Abbildung 6-2: Geeignete Prozesse zur Einbindung solarer Prozesswärme (Aidonis et al., 2005, Müller et al., 2004, Schweiger et al., 2001 und eigene Recherchen)

Im Rahmen eines Energiescreening für das europäische Projekt „Solar Process Heat (SO-PRO)“ (Salve, 2010) wurden 90 Industriebetriebe analysiert und diejenigen Prozesse identifiziert, die sich für die Integration solarer Wärme eignen. Abbildung 6-3 zeigt sowohl die Verteilung der Temperaturen der identifizierten Prozesse, als auch die Art des Prozesses. Auch hier zeigt sich, dass eine Vielzahl von Prozessen auf niedrigem Temperaturniveau für die Nutzung solarer Wärme vorhanden ist.

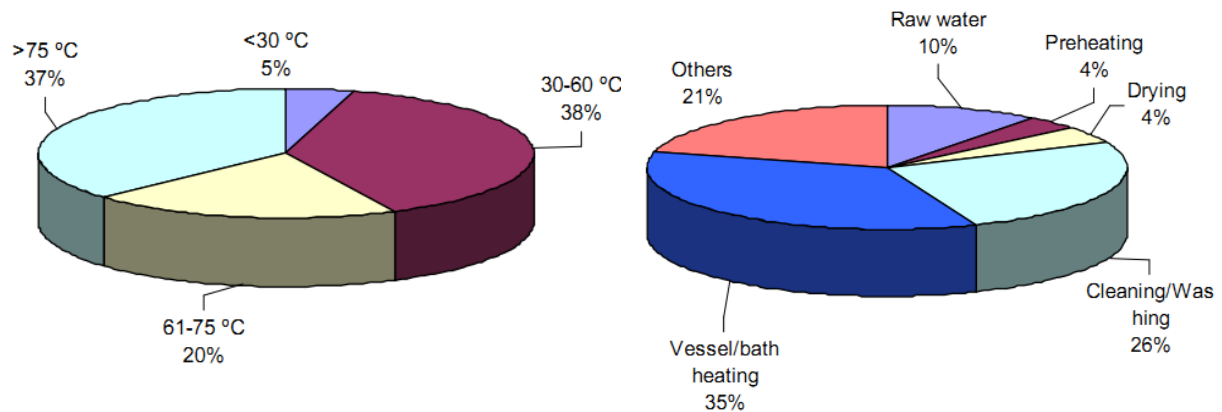


Abbildung 6-3: Geeignete Prozesse zur Einbindung solarer Prozesswärme und deren Temperaturniveau in den untersuchten Betrieben im SO-PRO Projekt (Salve, 2010)

Im SO-PRO Projekt wurden drei sogenannte „priority applications“ für solare Prozesswärme identifiziert. Dies sind „Reinigen/Waschen“, „Beheizen von Bädern/Apparaten“ und „Trocknen“. Aufgrund einer Analyse der Prozesse aus Abbildung 6-2 lassen sich daraus drei wesentliche Anwendungen für die Nutzung solarer Prozesswärme ableiten bzw. abstrahieren. Dies sind:

- **Aufheizen eines Fluidstroms**

Prozesse bei denen ein kalter (oder vorgewärmter) Fluidstrom aufgeheizt wird, fallen unter diese Anwendung. Neben Reinigen und Waschen sind dies auch das Aufwärmen von Kesselspeise- oder -zusatzwasser sowie das Vorwärmen. Die Prozesse dieser Anwendung finden sich in fast allen Wirtschaftszweigen und machten in der in Abbildung 6-3 gezeigten Untersuchung 40 % der Prozesse aus (Salve, 2010).

- **Beheizen von Bädern/Apparaten**

Diese Anwendung umfasst Prozesse, bei denen ein Bad oder Apparat, der mit einem Fluid gefüllt ist, beheizt oder auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden muss. Auch diese Anwendung findet sich in nahezu allen Wirtschaftszweigen, da Prozesse wie Kochen, Blanchieren, Entfetten und Bleichen aber auch Waschen dazu zählen.

- **Trocknen**

Auch wenn beim Trocknen ein Fluidstrom erwärmt wird, wird dieser Prozess als separate Anwendung eingestuft, da sich die Möglichkeit zur Nutzung anderer Komponenten (z.B. Luftkollektoren) und Systemkonfigurationen bietet.

7. Potentialerschließung

In Kapitel 3 wurde dargelegt, dass der thermischen Energie für den Endenergieverbrauch der deutschen Industrie eine große Bedeutung zukommt. Rund drei Viertel der verbrauchten Endenergie in der Industrie wird zur Wärmebereitstellung genutzt. 21 % des industriellen Wärmebedarfs liegen im, für thermische Solaranlagen sehr günstigen, Bereich unter 100 °C und weitere 10 % im Temperaturbereich von 100 bis 250 °C, der mit weiterentwickelten Komponenten ebenfalls solarthermisch bereitgestellt werden kann. Auf Basis vorangegangener Potentialstudien zur solaren Prozesswärme und der Struktur des Wärmebedarfes der Industrie in Deutschland erscheinen neun Wirtschaftszweige bzw. Branchen besonders geeignet für die Nutzung von Solarwärme. Dies sind die Chemische Industrie, das Ernährungsgewerbe, das Papiergewerbe, das Textilgewerbe, die Gummi- und Kunststoffindustrie, die Herstellung von Kraftwagen, die Herstellung von Metallerzeugnissen, der Maschinenbau und das Holzgewerbe. Die Analyse dieser Wirtschaftszweige und vorangegangener Potentialstudien zeigen, dass es eine Vielzahl von industriellen Prozessen gibt, die für die Integration von Solarwärme geeignet sind. Viele dieser Prozesse benötigen Temperaturen unter 100 °C oder nur leicht darüber. Das theoretische Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme in Deutschland, welches als Wärmebedarf der neun ausgewählten Wirtschaftszweige unter 250 °C definiert wird, beträgt ca. 130 TWh/a. Unter Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen, begrenzten Dachflächen und der Annahme einer mittleren solaren Deckungsrate von 30 % errechnet sich ein technisches Potential von 15,6 TWh/a oder 3,1 % des industriellen Wärmebedarfs. Damit liegt das ermittelte technische Potential unter dem Durchschnitt vorangegangener Studien für andere europäische Länder, die Potentiale zwischen 3 und 4,5 % des jeweiligen industriellen Wärmebedarfs ermittelt hatten. Trotzdem ist es absolut gesehen das mit Abstand Größte in Europa. Das technische Potential für die EU25 Staaten liegt bei gut 70 TWh/a (Vannoni et al., 2008). Zur Erschließung des technischen Potentials wären in Deutschland Kollektoren mit ca. 25 GW_{th} (35 Mio. m²), in den EU25 Staaten insgesamt mit ca. 110 GW_{th} (155 Mio. m²) nötig, was ein erheblicher Markt für solarthermische Anlagen wäre. Durch die erheblichen Energiepreissteigerungen der letzten Jahre gibt es ein stark wachsendes Interesse bei Unternehmen, sich intensiver mit den Themen Energieeffizienz und erneuerbaren Energien zu beschäftigen. Insgesamt ist die solare Prozesswärme eine interessante Technologie mit einem erheblichen Potential, deren Erschließung innerhalb der nächsten Jahre forciert werden sollte. In den folgenden Abschnitten soll zunächst auf die Hemmnisse zur verstärkten Nutzung solarer Prozesswärme eingegangen und anschließend Handlungsempfehlungen für Forschung, Industrie und Politik gegeben werden.

7.1. Hemmnisse

Trotz des großen Potentials industrielle Prozesswärme durch thermische Solaranlagen bereitzustellen gibt es in Deutschland nur sehr wenige Anlagen und auch kaum Zuwachs in diesem Anwendungsfeld. Ein erstes Hemmnis für die Nutzung solarer Wärme in Industriebetrieben ist das vorhandene Informationsdefizit über die Möglichkeiten dieser Technologie. Zwar besteht bei den Entscheidungsträgern ein Bewusstsein für die Notwendigkeit zur Steigerung

der Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien, allerdings steht dabei oftmals der Stromsektor im Vordergrund und nicht der industrielle Wärmeverbrauch. Die darüber hinaus geringe Bekanntheit der Möglichkeiten solarer Prozesswärme bei Industriebetrieben und Energieberatern ist durch die geringe Anzahl von installierten Anlagen begründet.

Des Weiteren ist in vielen Betrieben ein erhebliches Potential für Effizienzmaßnahmen im Bereich der Energieverwendung und -bereitstellung vorhanden, welches meist einfacher und wirtschaftlicher zu erschließen ist. Gerade im Bereich der Wärmeversorgung bestehen jedoch vielfältige Wechselwirkungen von Effizienzmaßnahmen und Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Wärmeversorgung, was ein umfassendes Energiekonzept notwendig macht, um das gesamte Potential zur Nutzung regenerativer bzw. solarer Wärme zu erschließen.

Aufgrund dieser Notwendigkeit stellt die Komplexität und Vielfalt industrieller Prozesse im Vergleich zu Ein- oder Mehrfamilienhäusern ein weiteres Hemmnis für die Nutzung solarer Prozesswärme dar. Meist ist umfassende Kenntnis der Prozesse und der jeweiligen Branche bzw. viel Erfahrung notwendig, um in angemessener kurzer Zeit herauszufinden, ob, und wenn ja, an welchen Stellen innerhalb eines Betriebes Solarenergie sinnvoll eingesetzt werden kann. Um diesbezügliche Aussagen treffen zu können, müssen zunächst Energieverbrauch und -versorgung einzelner Prozessschritte erhoben und analysiert werden. Da diese Daten in der geforderten Güte nur selten vorliegen und zudem weitere Optionen wie z.B. Wärmerückgewinnung ebenfalls mit berücksichtigt werden müssen, ist der zurzeit noch sehr hohe und individuelle Planungsaufwand ein großes Hemmnis. Zudem müssen neben Solaringenieuren auch Prozessfachleute einbezogen werden, welche über das verfahrenstechnische Know-how der Prozesse verfügen.

Wenn sich ein Prozess für die Integration einer thermischen Solaranlage eignet, kann allerdings auch der Aufwand für Installation und Integration der Solaranlage zum Hemmnis werden. Dies kann durch mangelnde statische Belastbarkeit vieler Industriehallendächer oder durch den Anschluss der Solaranlage an die bestehende Wärmeversorgung entstehen. Bei der Einbindung bestehen oftmals besondere Anforderungen (wie z.B. Edelstahlverrohrungen in der Lebensmittelindustrie oder besondere Leckagesicherheit), die zu höheren Kosten als bei Solaranlagen zur Trinkwasserbereitung und Raumheizung führen.

Als weiteres Hemmnis erweisen sich die Amortisationsvorstellungen vieler Industriebetriebe. Ein Großteil der Investitionsentscheidungen deutscher Unternehmen wird derzeit ausschließlich nach der Methode der Amortisationszeit (d.h. einem Risiko-Maß) getroffen, anstatt sie nach ihrer Rentabilität (Barwert oder interne Verzinsung) zu beurteilen (BMU, 2008). Bei großen Firmen mit Konzernangehörigkeit liegen gängige Amortisationserwartungen im Bereich von zwei bis drei Jahren, in Ausnahmefällen auch bei bis zu fünf Jahren. Leider ist diese Maßgabe meist unabhängig von der Lebensdauer des betrachteten Objektes. Bei kleineren, eigenständigen Unternehmen können unter Umständen auch Projekte mit längeren Amortisationszeiten realisiert werden, wobei die Obergrenze meist bei zehn Jahren liegt. Eine Amortisationserwartung weit unterhalb der Komponentenlebensdauer, für solarthermische Systeme mit Lebenszeiten zwischen 20 und 25 Jahren, basiert in der Regel auf der

Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung des Unternehmens (z.B. Produktspektrum, Produktionsprozesse, Märkte, etc.).

Schließlich ist die fehlende Verfügbarkeit von kostengünstigen Komponenten, insbesondere für Temperaturen über 100 °C, ein Hemmnis für die stärkere Nutzung solarer Prozesswärme. Zwar sind einige Komponenten, wie schwach reflektierende Kollektoren, auf dem Markt verfügbar, einen effizienten Markt mit einer Vielzahl von Anbietern gibt es allerdings nicht. Aufgrund der genannten Hemmnisse, vor allem des komplexen Planungsaufwands, hat sich trotz des großen Potentials bisher weder in Deutschland noch in Europa ein wirklicher Markt für große Solaranlagen im industriellen Sektor entwickelt.

7.2. Handlungsempfehlungen

Aus den genannten Hemmnissen lassen sich Handlungsempfehlungen für die Bereiche Forschung, Industrie und Politik ableiten.

Im Bereich der Forschung sollten die Grundlagen geschaffen werden, die Planungskosten von Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme zu senken. Hierzu werden geeignete Hilfsmittel benötigt, die während des Planungsprozesses zur Identifikation der geeigneten Systemintegration, Anlagendimensionierung und Ertragsabschätzung dienen. Nur mit Hilfe von Planungshilfsmitteln wie Checklisten, Systemkatalogen oder Auslegungstools können Solarplaner Anfragen aus der Industrie kosteneffizient bedienen.

Ein zweites Handlungsfeld ist die Integration thermischer Solaranlagen in bestehende Prozesse. Die in dieser Studie identifizierten Branchen und Prozesse müssen detailliert hinsichtlich der Systemintegration untersucht werden. Hierzu sollten genaue Prozessanalysen erfolgen, bei welchen repräsentative Temperaturniveaus, Leistungen und Energiebedarfsprofile erhoben werden, um die am besten geeigneten Prozesse zur Einbindung thermischer Solaranlagen zu identifizieren. So können mittelfristig so genannte Branchenkonzepte entwickelt werden, die den bisher sehr hohen Planungsaufwand für die Integration thermischer Solaranlagen maßgeblich vermindern können. Insbesondere im Niedertemperaturbereich wird ein deutlicher Schwerpunkt darauf liegen, mit bestehenden Komponenten geeignete und auf viele Anlagen übertragbare Strategien und Hydrauliken zur Systemeinbindung zu entwickeln.

Ein drittes Handlungsfeld entsteht, wenn die Solarenergie im hohen Temperaturbereich in die bestehenden Wärmeverteilnetze (z.B. Heißwasserkreislauf) eingespeist werden kann und die Systemintegration somit nur eine untergeordnete Rolle spielt. Der Forschungsschwerpunkt für diesen Temperaturbereich wird verstärkt in der Entwicklung neuer, für einen Hochtemperatureinsatz geeigneter Komponenten liegen. Hierzu zählen neben geeigneten Prozesswärmekollektoren auch Speicher und weitere Hydraulikkomponenten wie Ventile oder Ausdehnungsgefäße.

Die Errichtung von Pilot- und Demonstrationsanlagen ist ein weiteres Handlungsfeld, wobei dies neben der Wissenschaft auch Industrie und Politik betrifft. Der Bau solcher Anlagen zur Bereitstellung solarer Prozesswärme in möglichst vielen Branchen soll weitere Erkenntnisse

und vereinfachte Lösungsansätze für die genannten Handlungsfelder liefern und als Referenz innerhalb der jeweiligen Branchen dienen.

Die wichtigste Handlungsempfehlung für die Solarthermie-Industrie ist eine weitere Kostenreduktion der Komponenten thermischer Solaranlagen. Wenn Industrieunternehmen thermische Solarenergie in absehbarer Zeit als einen ernstzunehmenden Bestandteil einer nachhaltigen Wärmeversorgung wahrnehmen sollen, müssen die spezifischen Investitionskosten signifikant reduziert werden. Zusätzlich ist Herstellern bzw. Planern zu empfehlen, Projekte zur Bereitstellung solarer Prozesswärme möglichst aus einer Hand durchzuführen, sodass Planung, Installation und Inbetriebnahme von nur einer Firma realisiert werden. Dies führt zu einer Kostenersparnis und einem verbesserten Projektablauf.

Sowohl Planer als auch Systemanbieter sollten die Möglichkeit von Contracting-Projekten nutzen, bei denen die thermische Solaranlage von einem externen Contractor errichtet und betrieben wird und das Unternehmen lediglich einen langfristigen Wärmeliefervertrag abschließt. Eine Amortisationszeit von zehn Jahren entspricht einer Rendite von etwa 8,5 %, sodass Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme durchaus ein interessantes Geschäftsfeld darstellen (Lauterbach et al., 2011). Für eine Verbreitung von Contracting als Finanzierungsinstrument von Solaranlagen in der Industrie sind jedoch einige Anpassungen bei Förderung und Vorschriften notwendig. Beispielsweise sollten öffentliche Bürgschaften auch schon für kleinere Projekte ab 50.000 € Investitionsvolumen bundesweit übernommen werden. Um auch potentielle Anwendungen im Bereich von Industrie und Gewerbe mit Amortisationszeiten über 10 Jahren zu ermöglichen ist eine Ausweitung der Vertragslaufzeiten der AVBFernwärmeV bzw. eine Ausnahmeregelung für thermische Solaranlagen nötig. Schließlich sind spezielle Zuschüsse für Messtechnik zur Qualitätssicherung und Abrechnung notwendig.

Trotz steigender Kostenanteile ist in sehr vielen insbesondere mittelständischen Unternehmen der genaue Energieverbrauch und dessen Verteilung auf einzelne innerbetriebliche Verbraucher und Prozesse nicht bekannt. Unabhängig vom Einsatz solarer Prozesswärme wäre es Industriebetrieben dringend anzuraten, Energieeffizienzberatungen in Anspruch zu nehmen, bei der auch die Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien geprüft werden sollte. Alle Erfahrung zeigt, dass die mögliche Kostenersparnis durch eine solche Beratung die, großzügig vom Bund geförderten, Kosten bei weitem übersteigen.

Von Seiten der Industrie- und Handelskammern sowie der Unternehmensverbände ist ein verstärktes Werben für die systematische Beschäftigung mit dem Thema (Solar-)Energie und für die Durchführung von Energieeffizienzberatungen in Unternehmen wünschenswert. Dazu gehört auch die Unterstützung interessierter Firmen bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln.

Für den Bereich der Förderung bleibt zu sagen, dass das derzeitige Fördermodell der KfW eine zügige Markterschließung nicht hinreichend unterstützt. Soll innerhalb der nächsten Jahre eine signifikante Zunahme von Anlagen zur Bereitstellung solarer Prozesswärme erfolgen, muss die Förderung von 30 % auf 50 % der Investitionskosten angehoben werden, bis die Energiepreise deutlich über 70 €/MWh steigen. Auch die umfangreichen Vorarbeiten, die

derzeit noch für eine Entscheidung für oder gegen den Bau einer Solaranlage notwendig sind, sollten in die Förderung einbezogen werden. Zudem ist das Fördermodell des zinsgünstigen Kredites zu überdenken bzw. durch eine Variante mit direkter Bezuschussung zu ergänzen. Wenn zur Finanzierung eines Projektes eigentlich kein Kredit notwendig ist, stellen Beantragung und Abwicklung des Kredites einen erheblichen Mehraufwand gegenüber einem direkten Zuschuss dar. Des Weiteren wollen Industrieunternehmen derartige Investitionen oftmals durch Eigenkapital bewältigen, da sich durch Aufnahme eines Kredites das Fremdkapital innerhalb der Unternehmensbilanz erhöht.

Ein wesentliches Problem bei der Verbreitung solarthermischer Anlagen in der Industrie ist wie erwähnt oft die Dachstatik. Die Dächer vieler Fabrik- und Betriebsgebäude sind häufig nicht direkt für eine zusätzliche Belastung durch Solarkollektoren oder Photovoltaikmodule geeignet. Hier sind die baurechtlichen Voraussetzungen zu schaffen, dass zumindest neu errichtete Gebäude grundsätzlich die Möglichkeit für die Verwendung von Solaranlagen bieten.

7.3. Fazit

Die solare Prozesswärme stellt, wie in Kapitel 4 gezeigt, ein Anwendungsfeld mit erheblichem Potential und damit einen interessanten Markt für thermische Solaranlagen dar. Allerdings sind in Deutschland bisher nur sehr wenige Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme installiert. Dies ist u.a. durch ein Informationsdefizit über die Möglichkeiten der Nutzung solarer Wärme in der Industrie, dem erheblichen Potential von vorrangigen Effizienzmaßnahmen, der Komplexität und Vielfalt industrieller Prozesse und dem damit verbundenen Aufwand für Integration und Installation der Solaranlage begründet. Des Weiteren stellen die kurzen, von Industrieunternehmen geforderten, Amortisationszeiten und die fehlende Verfügbarkeit von kostengünstigen Komponenten Hemmnisse bei der Erschließung dar. Deshalb sollte die Forschung zum Ziel haben, die Planungskosten zu reduzieren, die Integration thermischer Solaranlagen zu vereinfachen, Komponenten für höhere Temperaturen zu entwickeln und Pilot- und Demonstrationsanlagen zu errichten. Für die Solarthermie-Industrie sind eine weitere Kostenreduktion und Nutzung der Finanzierung durch Contracting wichtige Handlungsfelder. Im Bereich der Förderung sind eine Erhöhung der Förderquote, die Förderung umfangreicher Vorarbeiten und die Möglichkeiten von direkten Zuschüssen notwendig. Wenn es gelingt, die genannten Maßnahmen in Forschung, Industrie und Politik umzusetzen, kann die solare Prozesswärme einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und für eine nachhaltige Wärmeversorgung leisten.

8. Anhang

Literaturverzeichnis

- Adams, H.-N., Jelinek, T.W.**, 1999. *Reinigen und Entfetten in der Metallindustrie*. 1. Auflage, Leuze, Saulgau. ISBN 9783874801553.
- Adams, K.H.**, 1999. *Oberflächenvorbehandlung - Lackieren, Kleben, Emaillieren*, Wiley-VCH, Weinheim. ISBN 9783527297498.
- Aidonis, A., Drosou, V., Mueller, T., Staudacher, L., Fernandez-Llebrez, F., Oikonomou, A., Spencer, S.**, 2002. *PROCESOL II - Solar thermal plants in industrial processes: Design and Maintenance Guidelines*. Center for Renewable Energy Sources, Pikermi, Greece.
- Aidonis, A., Drosou, V., Müller, T., Staudacher, L., Fernandez-Llebrez, F., Oikonomou, A., Spencer, S.**, 2005. *PROCESOL II - Solarthermische Anlagen in Industriebetrieben: Planungs- und Wartungsrichtlinien*. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching.
- Arbeitsgemeinschaft Oberflächentechnik**, 2008. *Referenzdokument für die Oberflächentechnik*, Wien.
- Arbeitskreis „Maschinen und Anlagen in der Süßwarenindustrie“ (AKMAS)**, 2009. *Leitfaden Energieeffizienz in der Süßwarenindustrie*. Lebensmitteltechnik 12.
- Baunach, H.**, 2007. *Galvano- und Oberflächentechnik – Garanten des technischen Fortschritts*. Zentralverband der Oberflächentechnik, Hilden.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)**, 2003. *Effiziente Energienutzung in der Galvanik-industrie*, Augsburg.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)**, 2006. *Klima schützen - Kosten senken, Energie sparen bei der Lackierung*, Augsburg.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., Schieberle, P.**, 2001. *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. 5. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg [u.a.]. ISBN 9783540410966.
- Berkermann, U.**, 2010. *IKB Branchenbericht Maschinenbau*. IKB Deutsche Industriebank AG, Düsseldorf.
- Berkhout, B., Boersma, N., Kruis, G., Poel, P., de Wit, W.**, 2009. *The Contribution made by Beer to the European Economy*. Ernst & Young, Amsterdam.
- Blehschmidt, J.**, 2010. *Taschenbuch der Papiertechnik*, Fachbuchverl. Leipzig Hanser, München. ISBN 9783446419674.
- Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U.**, 2007. *Wärmeatlas Baden-Württemberg*. Zwischenbericht anlässlich des Statuskolloquiums des BWPLUS am 07. und 08. März 2007 im Forschungszentrum Karlsruhe. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
- Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U., König, A., Jenssen, T., Eltrop, L.**, 2008. *Wärmeatlas Baden-Württemberg*. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
- Bockisch, M.**, 1993. *Nahrungsfette und -öle*, Ulmer, Stuttgart. ISBN 3800158175.
- Breitenbach, H.**, 2009. *Allgemeines zur Spülwasserführung und -behandlung*. Zentralverband der Oberflächentechnik, Hilden.

- Brunner, C., Slawitsch, B., Giannakopoulou, K., Trinkaus, P., Schnitzer, H., Weiss, W., Schröttner, S., Reif, B.,** 2008. *Styrian Promise - Produzieren mit Solarenergie, Initiative zur Nutzung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien (solare Prozesswärme) in Steirischen Betrieben*. Johanneum Research - Institut für nachhaltige Techniken und Systeme, Graz, Austria.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE),** 2009. *Milchwirtschaft in Deutschland auf einen Blick*, Bonn.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF),** 2008. *Weißer Biotechnologie*, Berlin.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,** 2009. *Nationale Strategie für nachhaltige operationelle Programme der Erzeugerorganisationen für Obst und Gemüse in Deutschland für den Zeitraum 2008 bis 2013*.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,** 2008. *Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi),** 2010a. *Branchenfokus Maschinen- und Anlagenbau*, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi),** 2010b. *Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung*, Berlin.
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ),** 1996. *Umwelthandbuch Molkereien*, Berlin.
- Cabinplant A/S,** 2010.
http://cabinplant.de/produkte_und_loesungen/prozessmaschine_waehlen/waermebehandlung/blancheur/, abgerufen am 21.12.2010.
- Ceresana Research,** 2010. *Marktstudie Polypropylen*.
- Daun, T.,** 2003. *Rationelle Energienutzung in der Metallindustrie - Leitfaden zur Kostensenkung im Unternehmen*. 1. Auflage, Vieweg, Braunschweig. ISBN 9783528058616.
- Deutsche Industriebank (IKB),** 2005. *Oberflächentechnik – Bericht zur Branche*, Düsseldorf.
- Deutscher Verband Tiernahrung e.V. (DVT),** 2011. *Technologie der Mischfutterherstellung*, Bonn.
- Domininghaus, H., Elsner, P., Eyerer, P., Hirth, T.,** 2008. *Kunststoffe - Eigenschaften und Anwendungen*. 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. ISBN 9783540724018.
- Ebermann, R., Elmadfa, I.,** 2008. *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*, Springer, Wien [u.a.]. ISBN 9783211486498.
- Eckert-Kömen, J., Mohaupt, M., Nemarnik, N.,** 2009. *Metallindustrie 2020*. Deutsche Industriebank (IKB), Düsseldorf.
- Eikmeier, B., Gabriel, J., Schulz, W., Krewitt, W., Nast, M.,** 2005. *Analyse des nationalen Potenzials für den Einsatz hocheffizienter KWK einschließlich hocheffizienter Kleinst-KWK unter Berücksichtigung der sich aus der EU-KWK-RL ergebenden Aspekte*. bremer energie institut; DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, Bremen.
- Energie Agentur NRW,** 2010a. *Energieeffizienz in der Textilindustrie - NRW-Branchenenergiekonzept*, Düsseldorf.
- Energie Agentur NRW,** 2010b. *Energieeffizienz in Fleischereibetrieben - NRW-Branchenenergiekonzept*, Düsseldorf.
- European IPPC Bureau (EIPPCB),** 2001. *Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Pulp and Paper Industry*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.

- European IPPC Bureau (EIPPCB)**, 2003a. *Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for Mineral Oil and Gas Refineries*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.
- European IPPC Bureau (EIPPCB)**, 2003b. *Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for the Textile industry*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.
- European IPPC Bureau (EIPPCB)**, 2006. *Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Food, Drink and Milk Industries*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.
- Foissy, H.**, 2005. *Milchtechnologie*. Vorlesungsskript. Universität für Bodenkultur Wien.
- Förster, H., Moran, R., Hartinger, L., Karigl, B., Waginger, H., Uger, P.**, 2003. *Branchenkonzept Oberflächentechnik*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wirtschaftskammer Österreich, Wien.
- GEA TDS GmbH (GEA)**, 2009. *Prozessverfahren für die Produktion von ESL-Milch*, Sarstedt.
- GERCO Apparatebau GmbH & Co. KG**, 2010. *Produktinformationen zu Trockenlufttrockner GTT 101 ES / GTT 60 ES*, Sassenberg.
- Gewerkschaft Nahrung-Genuss-Gaststätten (NGG)**, 2010. *Branchenbericht 2009 der Stärkeindustrie*, Hamburg.
- GIMA e.K.**, 2009. *Brünieren bei Raumtemperatur*. Galvanotechnik 4, S. 844–850.
- Goff, D.**, 2011. *Dairy science and Technology*. <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/home.html>, abgerufen am 10.03.2011.
- Greif, H.**, 2004. *Technologie der Extrusion*. Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung, Hanser, München, Wien. ISBN 3446226699.
- Hackensellner, T., Bühler, T.M.**, 2005. *Efficient use of energy in the brewhouse*. Technical documentation, Kitzingen.
- Hesselbach, J.**, 2007. *Energieeffiziente Produktion*. Vorlesungsskript. Universität Kassel.
- Hofer, R.** *Strom- und Wärmepotenziale von industriellen KWK-Anlagen*. BWK Bd. 47 (1995), S.453–457.
- Hofmann, H., Spindler, J.**, 2004. *Verfahren der Oberflächentechnik: Grundlagen - Vorbehandlung - Beschichtung - Oberflächenreaktionen - Prüfung*. 1. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, München. ISBN 9783446222281.
- JGC Corporation**, 2010. <http://www.jgc.co.jp/en/04tech/10plant/wintray.html>, abgerufen am 12.01.2010.
- Johannaber, F., Michaeli, W.**, 2004. *Handbuch Spritzgießen*. 2. Auflage, Hanser, München. ISBN 3446229663.
- Johanneum Research - Institut für nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)**, 2010. *Matrix of Industrial Process Indicators: Evaporation & distillation*. http://energy-in-industry.joanneum.at/energy-in-industry/index.php/Evaporation_%26_distillation, abgerufen am 21.12.2010.
- John Wiley & Sons**, 2010. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Kalogirou, S.**, 2003. *The potential of solar industrial process heat applications*. Applied Energy 76, S. 337–361.
- Keim, W.**, 2006. *Kunststoffe*. Synthese, Herstellungsverfahren, Apparaturen, Wiley-VCH, Weinheim. ISBN 9783527608973.
- Kelch, K.**, 2010. *Gravierende Veränderungen der betriebenen Braustätten von 1987 bis 2009*. Brauwelt 15-16, S. 446-447.

- Kovacs, P., Quicklun, H., Pettersson, U.,** 2003. *Solenergi i industriell processvärme - En förstudie av svenska möjligheter*. SP Rapport 2003. SP Technical Research Institute of Sweden, Borås.
- Kunze, W.,** 2007. *Technologie Brauer & Mälzer*. 9. Auflage, VLB, Berlin. ISBN 9783921690567.
- Lauterbach, C., Schmitt, B., Jordan, U., Vajen, K.,** 2011. *Solare Prozesswärme in Deutschland - Potential und Markterschließung*, 21. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein.
- Leimkühler, H.-J., Helbig, J.,** 2006. *CO₂-Minderung in der chemischen Industrie*. Chemie Ingenieur Technik 4, S. 367–380.
- Lutz, B.,** 2009. *Pulverlackieranlagen*. LUTZ Oberflächen Technik, Überlingen.
- Marx, C.,** 2009. *Rauer Wind im Biermarkt*. Redaktions-Special Bier. KM Media GmbH.
- McLeod, V., Annas, J., Stein, W., Hinkley, J.,** 2005. *Application of solar process heat to the commercial & industrial sectors*. Energetics Pty Ltd, Sydney.
- Meyer, J.-P.,** 2007. *Prozesswärme; Waschen, kochen, trocknen*. Sonne, Wind & Wärme 1.
- Müller, K.-P.,** 1996. *Lehrbuch Oberflächentechnik*, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden. ISBN 9783528049539.
- Müller, T., Weiß, W., Schnitzer, H., Brunner, C., Begander, U., Themel, O.,** 2004. *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.
- Nast, M., Pehnt, M., Frisch, S., Otter, P.,** 2010. *Prozesswärme im MAP*, Stuttgart.
- New Zealand Institute of Food Science and Technology (NIFST),** 2011. *Unit Operations in Food Processing*, Palmerston North, Neuseeland.
- Niemetz, P., Bächle, F., Sonderegger, W.,** 2003. *Holztechnologie I - Holzbe- und Verarbeitung*. Vorlesungsskript. ETH Zürich.
- Nitsch, J., Pregger, T., Scholz, Y., Naegler, T., Sterner, M., Gerhardt, N., von Oehsen, A., Pape, C., Saint-Drenan, Y.-M., Wenzel, B.,** 2010. *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global – „Leitstudie 2010“*. im Auftrag des BMU. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik; Ingenieurbüro für neue Energien, Stuttgart, Kassel, Teltow.
- Ortner, M., Wagner, F.S.,** 2006. *Qualitätshandbuch für Fleisch und Fleischerzeugnisse aus bäuerlicher Produktion*. Landwirtschaftskammer Österreich, Wien.
- Pfeifer & Langen,** 2008. *Über den Zucker*. <http://www.pfeifer-langen.de/>.
- Plastics Europe - Verband der Kunststoffherzeuger,** 2006. *Kunststoff – Werkstoff des 21. Jahrhunderts: Tendenzen der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung*, Frankfurt am Main.
- Plastics Europe - Verband der Kunststoffherzeuger,** 2008. *Daten und Fakten zu Kunststoff 2007*, Frankfurt am Main.
- Plastics Europe - Verband der Kunststoffherzeuger,** 2010. *Kunststoff - Daten und Fakten*, Frankfurt am Main.
- Rimbach, G., Möhring, J., Erbersdobler, H.F.,** 2010. *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*, Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 3642044859.
- Rudolph, M., Wagner, U.,** 2008. *Energieanwendungstechnik: Wege und Techniken zur effizienteren Energienutzung*. VDI-Buch, Springer, Berlin. ISBN 9783540790211.
- Salve, F. P.,** 2010. *WP2 - Summary Screenings*. Report des SO-PRO Project im Rahmen von Intelligent Energy Europe.

- Schwarz, O., Ebeling, F.-W., Furth, B.,** 2005. *Kunststoffverarbeitung*. 10. Auflage, Vogel, Würzburg. ISBN 383433037X.
- Schweiger, H., Mendes, J., Benz, N., Hennecke, K., Prieto, G., Cusi, M., Goncalves, H.,** 2000. *The potential of solar heat in industrial processes. A state of the art review for Spain and Portugal*. Proceedings Eurosun Copenhagen.
- Schweiger, H., Mendes, J., Schwenk, C., Hennecke, K., Barquero, C., Sarvisé, A., Carvalho, M.,** 2001. *POSHIP - The Potential of Solar Heat for Industrial Processes*. AIGUASOL Engenharia, Inst. Nacional de Engenharia e Tecnologia, Bayr. Zentrum für angewandte Energieforschung e.V., Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Institut Català d'Energia, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Barcelona, Lissabon, München, Köln, Madrid.
- Statistisches Bundesamt Deutschland (DeStatis),** 2010a. *Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes nach ausgewählten Wirtschaftszweigen 2008*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt Deutschland (DeStatis),** 2010b. *Erhebung über die Energieverwendung der Wirtschaftszweige B und C der Bundesrepublik Deutschland für den Berichtszeitraum 2009*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt Deutschland (DeStatis),** 2011. *Produzierendes Gewerbe 2009*, Wiesbaden.
- Strempel, T.,** 2005. *Erdgas in Fleischereien*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Bonn.
- Südzucker AG,** 2005. *Nachhaltigkeitsbericht der Südzucker AG*.
- Tech, T., Bodden, P., Albert, J.,** 2003. *Rationelle Energienutzung im Holzbe- und verarbeitenden Gewerbe*. Leitfaden für die betriebliche Praxis. 1. Auflage, Vieweg, Wiesbaden. ISBN 3528058625.
- Trautmann, A., Meyer, J., Herpertz, S.,** 2002. *Rationelle Energienutzung in der Kunststoff verarbeitenden Industrie - Leitfaden für die betriebliche Praxis*. 1. Auflage, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden. ISBN 9783528058104.
- Tscheuschner, H.-D.,** 2004. *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. 3. Auflage, Behr, Hamburg. ISBN 3899470850.
- Umweltbundesamt (UBA),** 2005. *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung - Merkblatt zu den besten verfügbaren Techniken für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen*, Dessau.
- van de Pol, V., Wattimena, L.,** 2001. *Onderzoek naar het potentieel van zonthermische energie in de industrie*. KWA Bedrijfsadviseurs B.V.
- Vannoni, C., Battisti, R., Drigo, S.,** 2008. *Potential for Solar Heat in Industrial Processes*. Report within IEA SHC Task 33/IV. Department of Mechanics and Aeronautics - University of Rome "La Sapienza", Rome.
- Vannoni, C., Battisti, R., Drigo, S., Corrado, A.,** 2006a. *SHIP Potential Studies Report*. Report within IEA SHC Task 33/IV. Department of Mechanics and Aeronautics - University of Rome "La Sapienza".
- Vannoni, C., Drigo, S., Battisti, R., Schweiger, H.,** 2006b. *SHIP Plant Survey Report*. Report within IEA SHC Task 33/IV. Department of Mechanics and Aeronautics - University of Rome "La Sapienza", Rome.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI),** 2006. *Energie in Deutschland zu teuer - Warum die chemische Industrie wettbewerbsfähige Energiepreise braucht*, Frankfurt am Main.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI),** 2007. *Die Chemische Industrie in Deutschland*, Frankfurt am Main.

- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI)**, 2009. *Chemiewirtschaft in Zahlen 2009*, Frankfurt am Main.
- Verband der Ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID)**, 2011, abgerufen am <http://www.ovid-verband.de/>.
- Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)**, 2010. *Maschinenbau in Zahl und Bild 2010*, Frankfurt am Main.
- Verband Deutscher Papierfabriken (VDP)**, 2010. *Papier machen - Informationen zu Rohstoffen und Papierherstellung*, Bonn.
- Vogt, M., Blum, O., Hutter, A., Jung, H., Meyer, B., Kirschbaum, S., Schubert, A., Meyer, J.**, 2008. *Branchenleitfaden für die Papierindustrie*. Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier.
- Waukesha, C.B.**, 2010. *Scraped Surface Heat Exchangers - Technische Produktbroschüre*. SPX Corporation, Delevan.
- Werner, S.**, 2006. *ECOHEATCOOL - workpackage 1. The European Heat Market*. Final Report IEE ALTENER Project. Euroheat&Power, Belgien.
- Werner, S.**, 2010. *Carotinoide und Vitamin E in Hartweizen und daraus hergestellten Teigwaren – analytische, technologische und ernährungsphysiologische Aspekte*. Dissertation. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Wieting, J., Wigbert, A.**, 2009. *Leitfaden Schlachtbetriebe*.
- Winkel, P.**, 2009. *Konstruktion und Oberflächentechnik*. IGT Verlag, München.
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. (WVZ)** <http://www.zuckerverbaende.de/>, abgerufen am 20.03.2011.
- Wirtschaftskammer Oberösterreich (WKO)**, 2003. *Energiekennzahlen und Energiesparpotentiale in der metallverarbeitenden Industrie*, Linz.
- Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg (BUBW)**, 2009. *Produktionsverfahren in den metallverarbeitenden Branchen*, Stuttgart.
- Wirtschaftsverband Stahl- und Metallverarbeitung e.V. (WSM)**, 2010. *Strukturmerkmale der Stahl- und Metallverarbeitung*. <http://www.wsm-net.de/WSM-Industrie.2.0.html>, abgerufen am 10.06.2010.
- Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e. V. (WFAG)**, 2008. *PET im Tunnelpasteur - Schweizer Mosterei Möhl mit erfolgreicher Gratwanderung*. Getränkeindustrie 10.
- Zentralverband der Oberflächentechnik (ZVO)**, 2007. *Branchenanalyse der deutschen Galvano- und Oberflächentechnik*, Frankfurt am Main.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Potential für solare Prozesswärme und Anteil am industriellen Wärmebedarf ausgewählter Länder.....	9
Abbildung 3-1: Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2007 und Aufteilung nach Anwendungen im industriellen Sektor	11
Abbildung 3-2: Energieträger für die Bereitstellung von Prozesswärme im Jahr 2007	11
Abbildung 3-3: Industrieller Wärmebedarf in Deutschland nach Temperaturniveau für 2007	13
Abbildung 4-1: Potential für solare Prozesswärme in Deutschland und Vergleich mit anderen Ländern	18
Abbildung 4-2: Potential zu Nutzung solarer Prozesswärme verschiedener Wirtschaftszweige	19
Abbildung 5-1: Produktionsstruktur der Chemischen Industrie in Deutschland, Produktionswerte in Mrd. Euro, 2006	21
Abbildung 5-2: Endenergieverbrauch im Jahr 2009 von Branchen des Ernährungsgewerbes mit einem Endenergieverbrauch von über 1 TWh/a.....	25
Abbildung 5-3: Bedeutende Behandlungsverfahren im Ernährungsgewerbe	26
Abbildung 5-4: Produktionsablauf in einer Zuckerfabrik	27
Abbildung 5-5: Extraktionskolonne mit Abscheideblechen.....	28
Abbildung 5-6: Produktion von Milcherzeugnissen in Deutschland im Jahre 2007	30
Abbildung 5-7: Produktionsprozesse und Produkte in Molkereien (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	31
Abbildung 5-8: Kontinuierliche Pasteurisierung (HTST- und HHST-Verfahren)	33
Abbildung 5-9: Prozesse in der Fleischverarbeitung.....	35
Abbildung 5-10: Wochengang für benötigte Prozesswärme in einem Fleischereibetrieb	36
Abbildung 5-11: Schematische Darstellung eines Bandblancheurs	39
Abbildung 5-12: Schematische Darstellung eines Trommelblancheurs.....	40
Abbildung 5-13: Aufteilung des Wärmebedarfs in Brauereien.....	43
Abbildung 5-14: Vereinfachte Darstellung des Produktionsablaufes in Brauereien.....	44
Abbildung 5-15: Produktionsabläufe im Sudhaus.....	44
Abbildung 5-16: Produktionsabläufe im Gär- und Lagerkeller.....	46
Abbildung 5-17: Produktionsabläufe in der Abfüllhalle	47
Abbildung 5-18: Kratzrührer mit Mantelwärmeübertrager	48
Abbildung 5-19: Produktionsmengen der Papierindustrie und die Produktionsanteile im Jahr 2007 ...	52
Abbildung 5-20: Kostenstruktur der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie (2006).....	53
Abbildung 5-21: Struktur des Endenergieeinsatz der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie.....	54
Abbildung 5-22: Verfahrensschritte der Papier- und Pappenherstellung	55
Abbildung 5-23: Schema der Prozesse in der Papierherstellung.....	57
Abbildung 5-24: Leistung und Kosten der Entwässerung.....	58
Abbildung 5-25: Trocknungsverfahren in der Papierherstellung	58
Abbildung 5-26: Aufbau und Funktionsweise eines Trockenzylinders	59
Abbildung 5-27: Beispielhaftes Schema einer Trocknung mit Heißlufttrockenhauben.....	59
Abbildung 5-28: Produktsegmente in der Metallverarbeitung	61
Abbildung 5-29: Energieverbrauchsstruktur und Energiekostenverteilung	62

Abbildung 5-30: Anteile verschiedener Verfahren in der Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung.....	63
Abbildung 5-31: Überblick zu den Vor-, Haupt- und Nachbehandlungen in der Oberflächenveredlung die für die Anwendung von Solarthermie geeignet sind, eigene Darstellung nach.....	64
Abbildung 5-32 Überblick der Hauptbehandlungsverfahren in der Oberflächenveredlung	67
Abbildung 5-33: Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten, Deutschland 2004.....	74
Abbildung 5-34: Verarbeitung nach Kunststoffarten in EU27+NO+CH.....	75
Abbildung 5-35: Einsatz der Energieträger in den einzelnen Teilbranchen (2000).....	76
Abbildung 5-36: Der Weg vom Rohstoff zum Produkt	77
Abbildung 5-37: Trockenlufttrockner mit zwei Trockenmittelkammern der Firma GERCO Apparatebau	78
Abbildung 6-1: Temperatur des versorgten Prozesses von existierenden Solaranlagen in der Industrie	86
Abbildung 6-2: Geeignete Prozesse zur Einbindung solarer Prozesswärme.....	87
Abbildung 6-3: Geeignete Prozesse zur Einbindung solarer Prozesswärme und deren Temperaturniveau in den untersuchten Betrieben im SO-PRO Projekt	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Identifizierte Branchen für die Nutzung solarer Prozesswärme aus vorangegangenen Studien.....	10
Tabelle 3-1: Struktur des industriellen Wärmebedarfs im Jahr 2007 in TWh/a, abgeleitet aus branchenspezifischen Endenergiekennwerten.....	12
Tabelle 4-1: Struktur des Wärmebedarfs der berücksichtigten Wirtschaftszweige Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 4-2: Industrieller Wärmebedarf bis zu 500°C ohne WW und RH.....	17
Tabelle 4-3: Struktur des Wärmebedarfs bis 250°C der berücksichtigten Wirtschaftszweige.....	17
Tabelle 5-1: Energiebedarf der Chemischen Industrie für ausgewählte Produkte in der EU 1990.....	22
Tabelle 5-2: Energiekennwerte der Chemischen Industrie, 2003.....	22
Tabelle 5-3: Struktur des Wärmebedarfs in der Chemischen Industrie Im Jahr 2003 nach Betriebsgrößenklassen.....	23
Tabelle 5-4: Durchschnittlicher mitarbeiterspezifischer Wärmebedarf in milchverarbeitenden Betrieben nach Betriebsgrößenklasse und Anwendungsbereichen	29
Tabelle 5-5: Temperaturniveaus und Wärmebedarf von Produktionsprozessen einer Molkerei	32
Tabelle 5-6: Temperaturen und Zeitbedarf verschiedener Pasteurisierungsverfahren.....	34
Tabelle 5-7: Eigenschaften verschiedener Bandblancheure	40
Tabelle 5-8: Temperaturen von Eindampfprozessen.....	41
Tabelle 5-9: Wärmebedarf und Kostenstruktur von Brauereibetrieben	43
Tabelle 5-10: Schmelzprozesse in der Lebensmittelindustrie	49
Tabelle 5-11: Energiekennwerte der Papierindustrie, 2003	54
Tabelle 5-12: Struktur des Wärmebedarfs in der Papierindustrie nach Betriebsgrößenklassen.....	55
Tabelle 5-13: Verfahren in der Papierherstellung mit thermischem Energiebedarf.....	56
Tabelle 5-14: Energiekennwerte der Herstellung von Metallerzeugnissen, 2003.....	62
Tabelle 5-15: Struktur des Wärmebedarfs bei der Herstellung von Metallerzeugnissen nach Betriebsgrößenklassen.....	63
Tabelle 5-16: Zusammenstellung geeigneter Prozesse für die Integration solarer Prozesswärme.....	71
Tabelle 5-17: Energiekennwerte der Maschinenbauindustrie, 2003	72
Tabelle 5-18: Struktur des Wärmebedarfs im Maschinenbau nach Betriebsgrößenklasse, 2003.....	73
Tabelle 5-19: Energiekennwerte der kunststoffverarbeitenden Industrie, 2003.....	76
Tabelle 5-20: Struktur des Wärmebedarfs in der chemischen Industrie nach Betriebsgrößenklassen..	77
Tabelle 5-21: Energiekennwerte des Textilgewerbes, 2003.....	80
Tabelle 5-22: Struktur des Wärmebedarfs des Textilgewerbes nach Betriebsgrößenklasse, 2003	80
Tabelle 5-23: Zum Färben verwendete Farbstoffe und Temperaturen.....	82
Tabelle 5-24: Energiekennwerte des Holzgewerbes, 2003	83
Tabelle 5-25: Struktur des Wärmebedarfs im Holzgewerbe nach Betriebsgrößenklassen.....	83
Tabelle 5-26: Spezifischer Energieeinsatz verschiedener Trocknungsverfahren	85

Zusammenfassung bisheriger Potentialstudien

Spanien und Portugal

Im Oktober 2001 wurde der Bericht des Projekts „POSHIP – The Potential of Solar Heat for Industrial Processes“ vorgestellt (Schweiger et al., 2001). Dieses Projekt wurde von der EU-Kommission finanziert und von verschiedenen Forschungsinstituten aus Portugal, Spanien und Deutschland durchgeführt. Das Ziel der Studie bestand darin, das Potential für solare Wärme bei niedrigen und mittleren Temperaturen auf der Iberischen Halbinsel zu quantifizieren. Da keine detaillierten Informationen zum Wärmeverbrauch auf bestimmten Temperaturniveaus vorlagen, wurden an 1.652 Unternehmen Fragebögen verschickt und 30 persönliche Kontakte zu verschiedenen Firmen in den industriellen Sektoren Spaniens und Portugals hergestellt, wodurch den einzelnen Industrien und Prozessen Temperaturbereiche zugeordnet werden konnten. Der Rücklauf der Fragebögen beschränkte sich auf 59 Antworten (3,5 %). Anhand dieser Informationen wurden jene Industriezweige identifiziert, die günstige Bedingungen für die Anwendung von Solarthermie aufweisen. Um die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit solarer Wärmebereitstellung genauer bewerten zu können, wurden 34 Fallstudien durchgeführt, in denen zur besseren Abschätzung z.B. Daten zum Wärmebedarf (täglich, wöchentlich, jährlich), der herkömmlichen Wärmeversorgung und den verfügbaren Dach- und Bodenflächen erhoben wurden. Für Unternehmen mit den besten Bedingungen für die Nutzung von Solarthermie wurden Vorschläge für Demonstrationsprojekte und Richtlinien für die Bewertung technischer und wirtschaftlicher Machbarkeit erarbeitet. Die Ergebnisse aus den Fallstudien wurden auf die gesamte Industrie übertragen (Bottom-Up-Methode) und daraufhin das technisch-wirtschaftliche Potential für industrielle Prozesswärme ermittelt.

Das technische Potential wurde ermittelt, indem die maximal zur Verfügung stehende Dachfläche abgeschätzt und eine maximale solare Deckungsrate von 60 % für Prozesse mit konstanter Nachfrage angesetzt wurde. Für das wirtschaftliche Potential wurde eine Kostenreduktion für Solarsysteme in den nächsten 10 Jahren von 50 % und eine öffentliche Förderung von 25 % angenommen. Da bei den meisten Firmen die verfügbare Dachfläche der begrenzende Faktor war, gab es zwischen dem technischen und wirtschaftlichen Potential keinen Unterschied.

Die Analyse des Wärmebedarfs der betrachteten Wirtschaftszweige ergab, dass, außer in der Papierindustrie, mehr als 60 % des Wärmebedarfs unter 160 °C anfällt und in einigen Sektoren fast der gesamte Wärmebedarf unter 60 °C liegt. Für Spanien wurde ein technisch-wirtschaftliches Potential von 4,7 TWh/a (3,4 % des industriellen Wärmebedarfs) und für Portugal von 1 TWh/a (4,4 % des industriellen Wärmebedarfs) ermittelt.

Neben einem quantitativen Potential wurden auch Wirtschaftszweige und Industrieprozesse identifiziert, die sich für die Nutzung solarer Prozesswärme besonders eignen. Das Ernährungsgewerbe wird als der Wirtschaftszweig, mit den meisten vielversprechenden Prozessen zur Einbindung thermischer Solaranlagen genannt. Weitere Branche und Prozesse, die in der

Studie als vielversprechend zur Nutzung solarer Prozesswärme identifiziert wurden, sind in Tabelle A-1 aufgeführt.

Tabelle A-1: Vielversprechende Branchen und Prozesse aus der POSHIP Studie

Branche	Prozess	Temperaturniveau [°C]
Brauereien	Würzekochen	100
	Flaschenwaschen	60..90
	Kühlen	90
	Trocknen	60
Molkereien	Pasteurisieren	62..85
	Sterilisieren	130..150
Lebensmittel -konservierung	Sterilisieren	110..125
	Pasteurisieren	< 80
	Kochen	70..98
	Brühen	95..100
	Bleichen	< 90
Fleisch	Waschen, Sterilisieren, Reinigen	< 90
	Kochen	90..100
Wein und Getränke	Flaschenwaschen	60..90
	Kühlen (Absorption)	80..95
Textilindustrie	Waschen, Beichen, Färben	< 90
	Kochen	140..200
Automobilindustrie	Lacktrocknen	160..220
	Entfetten	35..55
Papierindustrie	Zellstoffkochen	170..180
	Kochervorheizung	< 90
	Bleichen	130..150
	Trocknen	130..160
Lederindustrie	Dampfbereitung	165..180
Korkindustrie	Trocknen, Korkbacken	40..155

Niederlande

Die Potentialstudie für die Niederlande wurde im Jahr 2001 fertiggestellt (van de Pol et al., 2001). Die Industrie hat in den Niederlanden einen Anteil von 36 % am gesamten Primärenergiebedarf von 554 TWh. Die Branchen, die in dieser Studie untersucht wurden, haben mit knapp 25 TWh einen Anteil von 4,5 %. Um die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit solarthermischer Anwendungen abzuschätzen, wurden im Rahmen dieser Studie zunächst diejenigen Branchen identifiziert, die am aussichtsreichsten für die Nutzung solarer Prozesswärme sind. Anschließend wurde der Energiebedarf der entsprechenden Branchen im Gesamten analysiert, um den Anteil des Wärmebedarfs auf niedrigen Temperaturen am gesamten Energiebedarf abzuschätzen und darzustellen, welcher Teil davon am besten mit ST-Systemen bereitgestellt werden kann. Durch eine detaillierte Analyse des Energiebedarfs

von Unternehmen und typischen Prozessen dieser Branchen, wird der Anteil der Niedertemperaturwärme am Gesamtwärmebedarf bestimmt. Es folgt eine Abschätzung des Solarertrages und der Wirtschaftlichkeit für die Anwendung thermischer Solaranlagen für die Prozesse in diesen Unternehmen. Daraus wurde ein technisch-wirtschaftliches Potential für die einzelnen Prozesse ermittelt und auf die Branche hochgerechnet (Vannoni et al., 2006a). Für die zwölf betrachteten Branchen wurde ein technisch-wirtschaftliches Potential von ca. 423 GWh/a bzw. 1,7 % des Primärenergiebedarfs der untersuchten Branchen ermittelt. Dabei wurde eine solare Deckungsrate von 30 % angenommen. Bezogen auf den gesamten industriellen Wärmebedarf liegt das Potential bei 3,2 % (Vannoni et al., 2008). Eine Kollektorfläche von ca. 1 Mio. m² ist notwendig, um das Potential zu erschließen. Das gesamte Potential für solare Prozesswärme wird aber höher eingeschätzt, weil bei den nicht ausgewählten Unternehmen ebenfalls potentielle Anwendungen zu erwarten sind, wenn auch in kleinerem Maßstab. Zudem wurde in dieser Studie der sanitäre Warmwasserverbrauch und das Speisewasser für Dampfanlagen nicht berücksichtigt. Der Fokus der Studie lag auf der Bereitstellung von Warmwasser für Prozesse bis 60 °C in 12 verschiedenen Branchen. Dies waren industrielle Wäschereien, Pappe- und Papierindustrie, Textilwaren und Teppichindustrie, Lebensmittelindustrie (Kartoffeln, Obst, Gemüse, Fleisch, Brot, Kakao, Öl, Molkereien) und Getränkeindustrie (Brauereien). Eine Übersicht der Ergebnisse zeigt Tabelle A-2.

Tabelle A-2: Vielversprechende Branchen aus der Niederländischen Studie

Branche	Anzahl Firmen	Primär-energiebedarf [TWh/a]	Solar Potential [GWh/a]	Solar Potential [%]	Solar Potential [1000 m²]
Industrielle Wäschereien	60	0,4	36,7	10,2	70,0
Papierindustrie	28	8,7	58,1	0,7	110,0
Textilwaren	46	0,9	33,1	3,5	63,0
Kartoffeln	16	2,2	26,5	1,2	50,0
Brauereien	14	1,1	32,5	3,0	62,0
Kakao	5	0,6	3,9	0,6	7,0
Getränke	7	0,2	3,1	1,4	6,0
Frucht und Gemüse	28	0,7	43,9	6,1	83,0
Speiseöl	26	2,3	0,0	0,0	0,0
Fleisch	73	1,3	70,5	5,4	134,0
Molkereien	75	4,8	103,3	2,2	196,0
Brot	3400	1,3	11,4	0,9	22,0
Total	3778	24,6	422,9	1,7	803,0

Auch Alternativen zur solaren Prozesswärme bzw. konkurrierende Technologien wurden in der Studie betrachtet. Die Nutzung von Abwärme wird als stärkstes Hemmnis für die Nutzung solarer Prozesswärme eingestuft. Als Einschränkung wird genannt, dass bei gut ausgelegten Gesamtsystemen für Niedertemperaturanwendungen auch nur Niedertemperaturabwärme zu Verfügung steht, was zu höheren Investitionen für Wärmeübertrager führt. Als weiteres Hemmnis werden nicht verfügbare Dachfläche aufgeführt, wobei dies nur für Unternehmen

mit im Verhältnis zur Gesamtfläche hohen Energieintensität und hohem Niedertemperaturwärmebedarf ein limitierender Faktor ist. Ein weiteres Hemmnis ist die Nutzung von konkurrierenden Technologien, wie Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen. Bei Letzteren liegt die Konkurrenz im Bereich der Dachnutzung und nicht beim versorgten Verbraucher. Ob das ermittelte Potential für solare Prozesswärme kurz- oder langfristig erreicht wird, hängt laut der Studie sehr stark von der Wettbewerbsfähigkeit der thermischen Solaranlagen gegenüber konventionellen und alternativen Techniken ab. Zurzeit werden thermischen Solaranlagen bezüglich der Kosten im Nachteil gegenüber den Alternativen gesehen. In absehbarer Zukunft ist nach Einschätzung der Autoren daher keine wesentliche Erschließung des ermittelten Potentials zu erwarten.

Griechenland, Deutschland und Wallonie (Belgien)

Dieses EU-Altener Projekt unterteilt sich in PROCESOL und PROCESOL II. Die Studien untersuchten das Potential solarer Prozesswärme für die Bereitstellung von Wärme auf niedrigen Temperaturen für einige ausgewählte Branchen der Industrie. In Griechenland, Deutschland und der Wallonischen Region (Belgien) wurden ausgewählte Branchen untersucht, wobei die Auswahl in den drei Ländern bzw. Regionen unterschiedlich war.

Die Potentialanalyse für Griechenland konzentrierte sich auf die Warmwasserbereitstellung in sechs griechischen Industriezweigen: Chemische Industrie, Maschinen- und Fahrzeugbau, Nahrungsmittel-, Tabak-, Papier- und Textilindustrie. In einem ersten Schritt wurden der Energiebedarf bis 2010 und die technisch-wirtschaftlichen Randbedingungen zur Realisierung solarthermischer Anlagen zur Warmwasserbereitstellung abgeschätzt und damit bereits 40 % der griechischen Branchen ausgeschlossen. In einem zweiten Schritt wurden Szenarien zur Substitution von Brennstoffen entwickelt. Um das technisch-wirtschaftliche Potential zu bestimmen wurde eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt. Hierfür wurde die Entwicklung der Energiepreise für die nächsten zehn Jahre abgeschätzt und als Input zur Berechnung der Warmwasserbereitung benutzt. Daraufhin wurden unterschiedliche Finanzierungskonzepte analysiert, untereinander verglichen und das technisch-wirtschaftliche Potential von bis zu 1 Mio. m² (je nach Szenario) Kollektorfläche abgeschätzt. Anschließend wurde angenommen, dass das tatsächliche Potential bei ca. 20 % des technisch-wirtschaftlichen Potentials liegt. Unter Berücksichtigung nicht-technischer Einflüsse (z.B. Investitionsentscheidungen) wurde das tatsächliche Potential auf bis zu 255.000 m² Kollektorfläche abgeschätzt (Vannoni et al., 2006a).

Für Deutschland wurde in PROCESOL II das Potential für solare Prozesswärme in den Wirtschaftszweigen der Papier-, Lebensmittel- und Textilindustrie untersucht. Für jede Branche wurde der Energieverbrauch, die theoretisch substituierbare Wärmemenge und das theoretische Potential abgeschätzt. Da die Verfügbarkeit von Informationen in den einzelnen Branchen stark variierte, wurden für das technische Solarpotential nur für zwei Sub-Sektoren abgeschätzt: Altpapierproduktion und das Flaschenwaschen in Brauereien. Bei der Altpapierproduktion wurde ein theoretisches Potential bei niedrigen Temperaturen (40..60 °C) von ca. 181 GWh/a ermittelt. Mit der Annahme einer solaren Deckungsrate von 30 % wurde das

technische Potential zu 60 GWh/a berechnet. Des Weiteren wurde ein spezifischer Kollektor-ertrag von 400 kWh/m²a angesetzt und eine mögliche Kollektorfläche von 150.000 m² für diesen Teil der Branche bestimmt. Für das Flaschenwaschen in Brauereien wurde ein theoretisches Potential von 556 GWh/a ermittelt, von dem 167 GWh/a durch thermische Solaranlagen gedeckt werden könnten. Aufgrund des höheren Temperaturniveaus wurde ein spezifischer Kollektor-ertrag von 300 kWh/m²a angesetzt und eine mögliche Kollektorfläche von 557.000 m² für diese Anwendung in Brauereien errechnet. Für die Wallonische Region (Belgien) wurden im Rahmen von PROCESOL II 220 verschiedene Firmen nach dem jährlichen Wasserverbrauch, der benötigten Temperatur und der verfügbaren Dachflächen befragt. Aufgrund des Warmwasserverbrauchs wurden die Nahrungsmittelindustrie und die chemische Industrie als vielversprechend identifiziert. Insgesamt wurde ein Potential für eine Kollektorfläche von ca. 34.000 m² ermittelt (Aidonis et al., 2002).

Schweden

Die Studie „The potential for solar heat for industrial processes - A preliminary study of Swedish possibilities“ wurde 2003 vom „SP Swedish National Testing and Research Institute“ erstellt. Auf der Basis vorhandener Statistiken und persönlicher Kontakte zu Verbänden, Institutionen und Fachleuten einzelner Unternehmen wurden notwendige Daten erhoben. In einem ersten Schritt wurde der Energiebedarf der schwedischen Industrie beschrieben und analysiert. In diesem Zusammenhang wurde auch das Abwärme- und Wärmerückgewinnungspotential derzeitiger Anwendungen beschrieben und als wichtige Randbedingung für solarthermische Anwendungen herausgestellt. Es wurden Informationen zu Anwendungstemperaturen, Energieträgern, theoretische und praktische Abwärme- und Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten, sowie wärmeintensiven Prozessen und deren Energieverbrauch zusammengetragen. Basierend auf diesen Ergebnissen, der technischen Realisierbarkeit und schwedischer Einstrahlungsdaten wurde die Obergrenze für solarthermische Anwendungen bei 150 °C festgesetzt. Das Potential für die Nutzung thermischer Solarenergie in der schwedischen Industrie wurde auf 1,5..2 % des Wärmebedarfs geschätzt. Es wurden genauere Branchenbeschreibungen für die Stahl- und Eisenindustrie, Holz-, Papier- und Zellstoffindustrie, Chemische Industrie, Nahrungsmittelindustrie, den Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden sowie den Maschinenbau (Automobilindustrie) durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass es zahlreiche Möglichkeiten zur Nutzung solarer Prozesswärme gibt und die Lebensmittelindustrie und der Maschinenbau als diejenigen Industrien mit dem größten Potential herausgestellt. Bezüglich der Erschließung des Potentials werden niedrige Energiepreise, das ungenutzte Potential im Bereich der Wärmerückgewinnung und ein fehlendes Bewusstsein für die Möglichkeit der Nutzung solarer Wärme in der Industrie als hauptsächliche Hemmnisse genannt (Kovacs et al., 2003).

Zypern

Das Ziel dieser Arbeit war, mittels des Simulationsprogramms TRNSYS, die Realisierbarkeit solarer Wärme in industriellen Prozessen für die zyprische Industrie zu untersuchen. Mit TRNSYS wurden die möglichen jährlichen Energiegewinne der Kollektor-Systeme zu 550 bis 1.100 kWh/m²a simuliert. Hierfür wurden die klimatischen Bedingungen von Zypern verwendet. Auf der Basis von TRNSYS-Simulationen wurde dann eine Abschätzung zur Integration von Solarthermie in industrielle Prozesse gemacht. Zunächst wurden aus einer Reihe von Studien zu industriellen Wärmeanforderungen die Branchen und Prozesse identifiziert, die günstige Temperaturniveaus für die Anwendung von solarer Wärme aufweisen (z.B. Lebensmittelindustrie, Trocknen, Waschen). Vor allem die Anwendungen der Lebensmittelindustrie wurden besonders hervorgehoben, da sie aufgrund ihres Wärmebedarfs und des Temperaturniveaus günstige Voraussetzungen bieten. Auf der Grundlage steigender Ölpreise, wurde der Solarthermie zur Wärmebereitstellung ein großes Potential eingeräumt allerdings ohne dies genauer zu quantifizieren (Kalogirou, 2003).

Italien

In der Studie zur solaren Prozesswärme in Italien wurde das Potential über die nutzbaren Flächen (Dach, Fassade) zur Installation von Solaranlagen abgeschätzt. Zunächst wurden existierende Potentialstudien zur solaren Prozesswärme gesichtet und Statistiken zum industriellen Energiebedarf in Italien untersucht, um relevante Wirtschaftszweige und Prozess festzulegen. Die Studie betrachtet industrielle Prozesse bis 250 °C der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Textil-, Papier-, Fahrzeug- und zum Teil auch der Chemischen Industrie. Daraufhin wurden auf der Basis von Kenngrößen zum beschäftigten-spezifischen Flächenangebot die verfügbaren Flächen abgeschätzt und unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Realisierbarkeit um 80 % bei Dächern und um 92,5 % bei Fassaden reduziert. Daraus ergab sich technisches Potential bezüglich der Fläche für solarthermische Prozesswärmanwendungen bei niedrigen bis mittleren Temperaturen von ca. 29,6 Mio. m² bestehend aus 24 Mio. m² Dachfläche und 5,6 Mio. m² Fläche an Fassaden. Anschließend wurde ein technisches Potential zur Nutzung solarer Wärme von 15,6 TWh/a ermittelt, indem die durchschnittliche Einstrahlung für unterschiedliche Regionen (Nord-, Mittel- und Süditalien) zugrunde gelegt und damit der Kollektorertrag mit mehreren Kollektortechnologien bei verschiedenen Betriebstemperaturen ermittelt wurde. Unter Berücksichtigung einer verminderten Erschließung von Mitteltemperatur-Anwendungen über 90 °C wurde das Potential für diesen Temperaturbereich für Dachflächen um 60 % und für Fassaden um 80 % reduziert, so dass sich das technisch-wirtschaftliche Potential auf 8,8 TWh/a bzw. 14,3 Mio. m² beläuft, was 10 % des Wärmebedarfs bei niedrigen und mittleren Temperaturen der untersuchten Wirtschaftszweige der italienischen Industrie entspricht (Vannoni et al., 2006a). Tabelle A-3 fasst die Potentiale der einzelnen Wirtschaftszweige zusammen.

Tabelle A-3: Technisch-wirtschaftliches Potential nach Branchen und Arbeitstemperaturen (Vannoni et al., 2006a)

Branche	Potential [TWh/a]	Potential [Mio. m²]
Ernährungsgewerbe	5,8	9,4
Papiergewerbe	0,2	0,3
Chemische Industrie	1,0	1,6
Textilgewerbe	0,9	1,5
Automobilindustrie	0,9	1,5
Summe	8,8	14,3
Niedrigtemperatur	4,6	7,3
Mitteltemperatur	4,2	7,0

Österreich

Die Studie „PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie“ wurde 2004 vom AEE INTEC und JOANNEUM RESEARCH im Auftrag des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" erstellt. In der Potentialstudie wurde die Nutzung thermischer Solaranlagen in Industrie- und Gewerbebetrieben anhand von Niedertemperaturanwendungen analysiert. Darauf aufbauend wurden Systemkonzepte zur Einbindung von Solaranlagen erstellt und Fallstudien in verschiedenen Branchen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde der Gesamtenergiebedarf für die österreichische Sachgütererzeugung nach der NACE-Klassifizierung analysiert, der sich in 1998 auf 73 TWh/a belief. Der Niedertemperaturbedarf für die gesamte Industrie wurde auf näherungsweise 23,6 TWh/a bestimmt. In einem zweiten Schritt wurden durch eine Fragebogenaktion diejenigen Industrien identifiziert, die für den Einsatz solarthermischer Anlagen in Frage kommen. Die Umfrage erfolgte für alle Branchen und Unternehmensgrößen. Das Ziel bestand darin detaillierte Angaben zu den jeweiligen Prozessen (wärmeintensive Prozesse, Wärmeverbrauch, Energieträger, Temperaturniveau) zu erhalten. Als Branchen-Auswahlkriterien dienten ein hoher Endenergieverbrauch, geringes Abwärmepotential, geeignetes Temperaturniveau und eine Mindestbetriebsgröße von 20 Mitarbeitern. Insgesamt wurden 650 Betriebe angeschrieben. Der Rücklauf von 56 Fragebögen (9 %) beschränkte sich hauptsächlich auf die Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Chemische Industrie, Holzverarbeitung, Stein- und keramische Industrie, Oberflächenbehandlung, sowie einigen wenigen Nischensparten. Des Weiteren wurden die bis dato international durchgeführten Studien zur Bestimmung des solarthermischen Potentials in der Industrie verglichen und geeignete Branchen zur solarthermischen Prozesswärmegenerierung identifiziert. Schließlich wurden die Nahrungs- und Genussmittelindustrie (mit Schwerpunkten Milch-, Fleischverarbeitung und Brauereien), die Textilindustrie, die Chemische Industrie, die Gummi- und Kunststoffindustrie und die Herstellung von Betonfertigteilen für die weitere Betrachtung ausgewählt. Der Wärmebedarf für Niedertemperaturanwendungen in diesen Branchen liegt bei 10,3 TWh/a. Aufgrund der Möglichkeiten zur Nutzung von Wärmerückgewinnung wurde dieses Potential um 60 % reduziert. Weiterhin wurde eine solare Deckungsrate von 40 % für Prozesswärme-anwendungen und 20 % für

Hallenheizung angenommen. Daraus wurde ein kurzfristiges Potential für solare Prozesswärme von 0,9 TWh/a errechnet und auf mittlerer Sicht eines von 1,5 TWh/a, welches auch Anwendungen mit etwas höheren Temperaturen beinhaltet. Daraus ergibt sich ein kurzfristiges Marktpotential von 2,6 Mio. m² und ein Mittelfristiges von 4,3 Mio. m². Anhand des Wärmeenergieverbrauchs, des jeweiligen Abwärmepotentials, geeigneter Temperaturniveaus bedeutender Prozesse und Interessensbekundungen einzelner Nischen-sparten wurden für die Milch- und Fleischverarbeitung, Textil- und Bierherstellung, sowie für die Erzeugung von Kunststoffen und Betonerzeugnissen eine detaillierte Branchen- und Prozessbeschreibung erstellt, sowie das jeweilige Solarpotential bestimmt (Müller et al., 2004).

Victoria (Australia)

Das Ziel der Studie, die für den Australischen Staat Victoria durchgeführt wurde, war das Potential für die Bereitstellung thermischer Solarenergie unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen von industriellen und gewerblichen Anwendungen. Zunächst wurde der Bedarf für Prozesswärme in verschiedenen Industrien identifiziert untersucht und jene Branchen bestimmt, die aufgrund ihres Wärmebedarfs für solarthermische Anwendungen geeignet sind. Eine erste Analyse der Industrie erfolgte auf der Basis von Daten zum Endenergiebedarf nach Energieträgern nationaler Statistiken. Der Wärmebedarf für industrielle und gewerbliche Anwendungen wurde daraufhin auf über 41 TWh (53 % des gesamten Endenergiebedarfs) geschätzt. Das technische Potential für die Nutzung solarer Prozesswärme wurde auf 10 TWh/a geschätzt, wobei dabei auch Kühlung berücksichtigt wurde. Von diesem technischen Potential entfallen auf industrielle bzw. gewerbliche Prozesswärme 2,6 TWh/a bzw. 3,6 TWh/a. Für die Deckung des Potentials für industrielle Anwendungen wurde eine notwendige Kollektorfläche von 1,7 Mio. m² errechnet. Bei der Abschätzung des Potentials wurden eine maximale Temperatur von 150 °C, die von thermischen Solaranlagen bereitgestellt werden kann und ein konstantes Lastprofil angenommen. Das wirtschaftliche Potential für industrielle und gewerbliche Prozesswärme sowie Kühlung wird mit 1,8 TWh/a angegeben. Im zweiten Schritt wurde die industrielle Prozesswärmenutzung der Branchen genauer betrachtet. Hierzu wurden verschiedene Statistiken ausgewertet, und Informationen zur Produktion, zum geschätzten Energieverbrauch, eingesetzter Energieträger und energieintensiven Prozessen mit dem jeweiligen Temperaturniveau zusammengestellt. Viele der Angaben beruhen jedoch auf Schätzungen. Wirtschaftszweige, die als vielversprechend erwähnt werden, sind Fleisch- und Fleischwarenindustrie, Milchverarbeitende Industrie, Obst- und Gemüseindustrie, Getreide- und Backwaren-Produktion und Malz- und Getränkeindustrie. Des Weiteren wurden der Maschinenbau, die Textilindustrie, die Holzindustrie, die Trocknung landwirtschaftlicher Güter und die Meerwasserentsalzung als eingeschränkt geeignet erwähnt (McLeod et al., 2005).