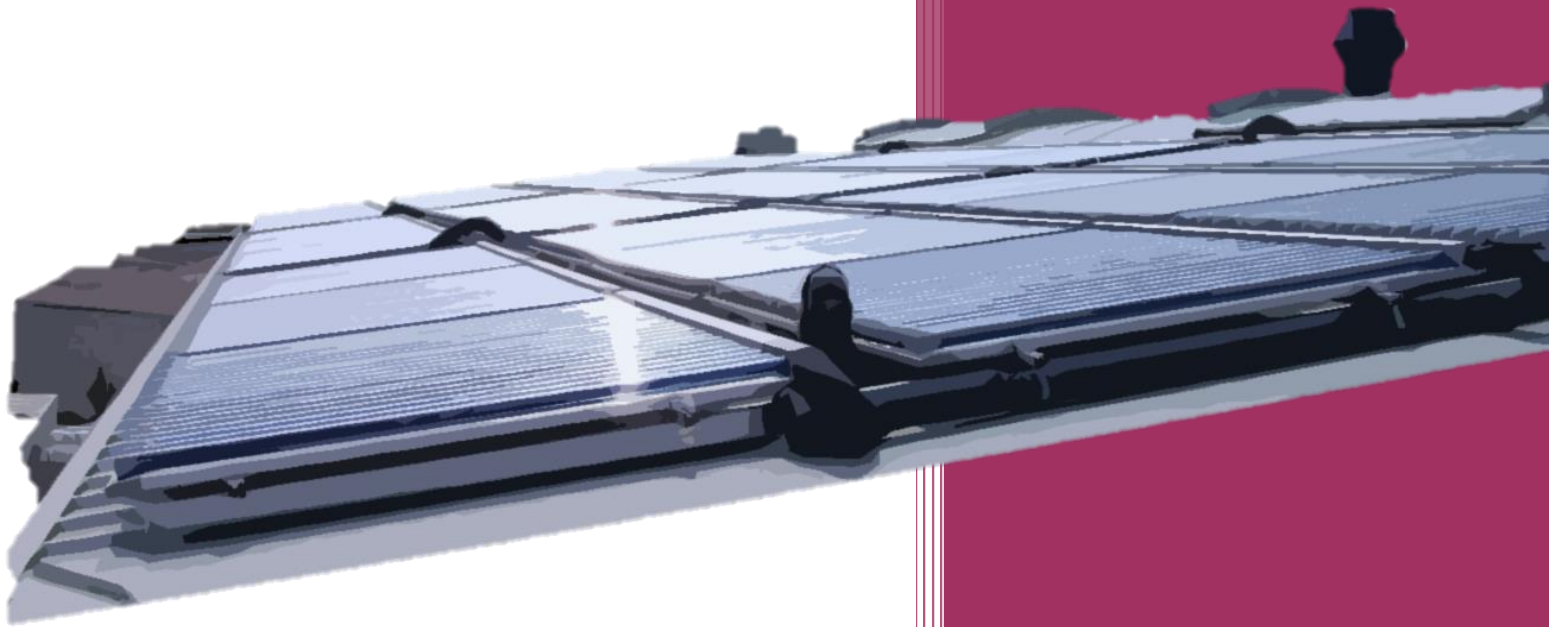
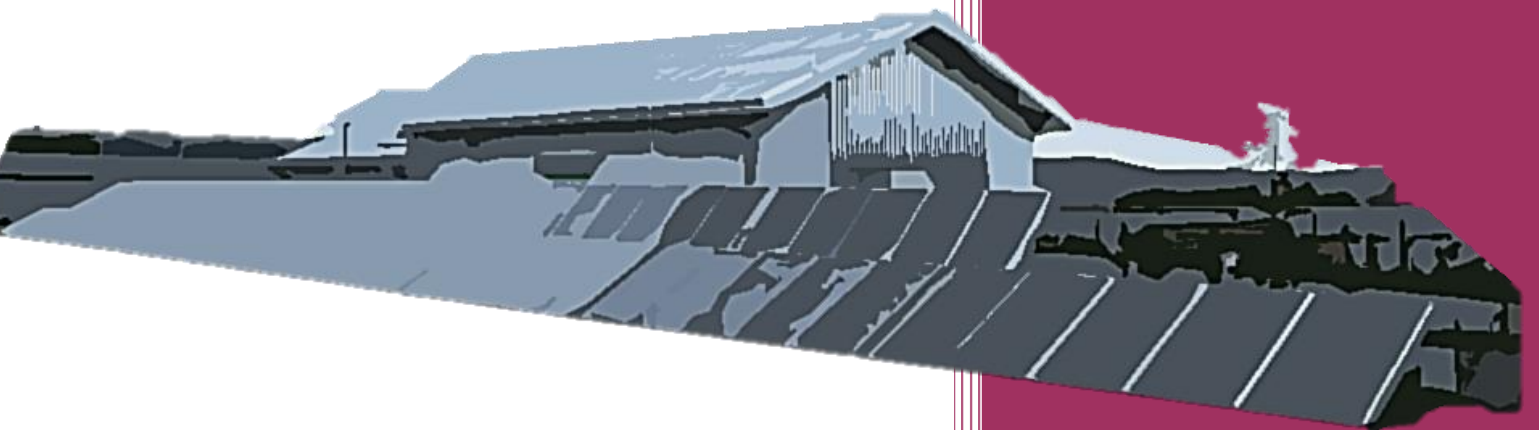




S O L A R .
UNI-KASSEL.DE



Analyse und Erschließung des Marktes für solare Prozesswärme in Deutschland



Analyse und Erschließung des Marktes für solare Prozesswärme in Deutschland

Abschlussbericht

Förderkennzeichen 03MAP286

Autoren:

D. Ritter, B. Schmitt, K. Vajen
Institut für Thermische Energietechnik
Universität Kassel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Marktentwicklung	5
2.1. Entwicklung bewilligter Anlagen	5
2.2. Regionale Unterschiede	7
2.3. Übersicht der Anlagengrößen	9
2.4. Anwendungsfelder und Antragsteller	11
2.5. Ausgewählte Anwendungen	13
2.6. Fazit zur Marktentwicklung	15
3. Technische Aspekte	16
3.1. Kollektoren solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland	16
3.2. Übersicht Temperaturbereiche	17
3.3. Dimensionierung und Performance	19
3.4. Standardisierte Anwendungsfelder	21
3.5. Fehlerpotentiale und Fehlervermeidung	24
3.6. Fazit zu technischen Aspekten	26
4. Finanzielle Aspekte	28
4.1. Übersicht der Systemkosten	28
4.2. Kollektortypabhängige Kostenentwicklung	30
4.3. Analyse der Kostenbestandteile	31
4.4. Statische CO ₂ -Vermeidungskosten	33
4.5. Fazit und Ausblick Kostenentwicklung	35
5. Markthemmnisse und Unterstützung der Markterschließung	36
5.1. Hemmnisse bei der Markterschließung	36
5.2. Informationsverbreitung	37
5.3. VDI 3988 und Informationswebseite	38
5.4. Ausblick Hemmnisse und Markterschließung	38
6. Schlussfolgerungen und Ausblick	40
Quellenverzeichnis	43
Anhang	44

1. Einleitung

Seit Ende August 2012 werden thermische Solaranlagen zur Prozesswärmebereitung innerhalb der Innovationsförderung des Marktanreizprogrammes (MAP) entsprechend der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt mit bis zu 50 % gefördert, sofern sie hauptsächlich Wärme für Prozesse in industriellen und gewerblichen Unternehmen bereitstellen. Dazu muss die solar bereitgestellte Wärme größtenteils zur Herstellung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von Produkten verwendet oder zur Erbringung einer Dienstleistung mit Prozesswärmebedarf verwendet werden. Mit dem Fördermechanismus sollte ein wichtiger Beitrag zur Erschließung des großen Potentials solarer Prozesswärme geschaffen werden.

Da der Anteil des Wärmebedarfes am gesamten Endenergiebedarf der Industrie nahezu 75 % beträgt und 21 % dieses Wärmebedarfs unterhalb von 100 °C für Prozesswärme, Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizung benötigt werden, ist die Bereitstellung solarer Prozesswärme ein aussichtsreiches Anwendungsgebiet [1]. Gerade der Bereich bis 100 °C kann sehr effizient durch thermische Solaranlagen gedeckt werden. Unter Berücksichtigung von Restriktionen wie Wärmerückgewinnung, Mangel an tragfähigen Dachflächen und einer solaren Deckung von durchschnittlich 30 % resultiert für den industriellen Nieder-temperaturwärmebedarf ein technisches Potential von 22,6 Mio. m² Kollektorfläche [2]. Berücksichtigt man zusätzlich den Wärmebedarf in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wäre das Potential noch deutlich größer. Die zumindest teilweise Erschließung dieses großen Potentials könnte ein wesentlicher Beitrag zu dem Ziel der Bundesregierung leisten, 14 % des Endenergiebedarfes zur Wärmeversorgung in Deutschland bis 2020 durch erneuerbare Energien zu decken. Auch der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) sieht die solare Prozesswärme bis 100 °C als eines der zukünftigen wesentlichen Marktfelder für die Solarthermie mit einem signifikanten Marktwachstum ab 2020 [3].

Ziel der MAP-Förderung ist es daher, die Zahl der installierten Solaranlagen in Industrie und GHD und damit die Sichtbarkeit des Anwendungsfeldes deutlich zu erhöhen, da vor August 2012 nahezu keine Prozesswärmeanlagen realisiert wurden. Die wenigen bis dahin in Deutschland realisierten Anlagen entstanden meist im Rahmen von Forschungsprojekten. Einerseits lässt sich der generelle Mangel an Pilotanlagen auf die Vielfalt der Prozesse bzw. Wärmesenken in Industrie und GHD zurückführen, die sich bspw. in variablen Lastprofilen und einer großen Bandbreite an benötigten spezifischen Speichervolumen darstellt. Andererseits lässt er sich auch teilweise auf die gegebene Komplexität der Wärmesenkenanbindung zurückführen, da es für die meisten Planer aufgrund des fehlenden Hintergrundwissens nicht möglich ist in angemessener Zeit effiziente Anlagenkonzepte zu entwickeln, da eine differenzierte Datenerhebung ausschlaggebend ist.

Seit der Aufnahme solarer Prozesswärme im MAP werden Anlagen ab 20 m² Kollektorfläche über das BAFA mit Investitionszuschüssen und ab 40 m² über die KfW mit Tilgungszuschüssen auf zinsgünstige Darlehen bezuschusst. Hierbei gibt es aktuell keine Einschränkungen zur max. Kollektorfeldgröße oder der Unternehmensgröße. Zusätzlich wurde die Möglichkeit einer ertragsorientierten Förderung geschaffen. Auch im Rahmen von Contracting realisierte Anlagen sind förderfähig.

Um die Entwicklung dieses noch sehr kleinen, aber aussichtsreichen Marktsegmentes zu analysieren und voranzutreiben zu können, startete 2013 ein wissenschaftliches Begleitvorhaben

der Universität Kassel. Hauptaspekte waren die Analyse solarer Prozesswärmeanlagen, eine gezielte Informationsverbreitung, um Marktbarrieren abzubauen und die Qualität neu installierter Systeme sicherzustellen.

Ziele des Vorhabens

Ein wesentlicher Inhalt des Begleitvorhabens war die Identifikation geeigneter Anwendungen für die Realisierung effizienter Prozesswärmeanlagen auf Basis von Antragsunterlagen sowie Gesprächen mit relevanten Marktakteuren, die eine schnelle Markterschließung ermöglichen, was vor allem in kleinen und familiengeführten Unternehmen und Nischen der Industrie der Fall ist.

Die Analyse der Antragsunterlagen sollte außerdem Aufschluss über sich entwickelnde Standards in spezifischen Anwendungsgebieten geben und Marktteilnehmern durch anonymisierte Marktdaten und Hinweisen zur Fehlervermeidung während Planung und Installation den Markteintritt ermöglichen bzw. erleichtern. Um dies zu unterstützen fand zusätzlich eine Bewertung der technischen Anforderungen zur Antragsstellung statt.

Neben der Antragsanalyse waren Gespräche mit Planungs- und Installationsfirmen sowie mit Anlagenbetreibern Grundlage für die Ableitung von Unterstützungsmaßnahmen. Zusätzlich zu der bei Bedarf individuellen Weitergabe gewonnener Informationen und der Informationsverbreitung in Veröffentlichungen wurden auch mehrere Informationsveranstaltungen und eine Schulung durchgeführt, um die relevanten Marktakteure gezielt ansprechen zu können.

Diese Informationsverbreitung auf unterschiedlichen Ebenen diente nicht nur der Unterstützung bei der Fehlervermeidung und der Bereitstellung von Marktdaten, sondern auch dem Abbau von Barrieren durch die Erhebung von Nutzwärmeerträgen größerer solarer Prozesswärmeanlagen, um deren Leistungsfähigkeit darstellen zu können. Zusätzliche Informationen über die Eignung bestimmter Anwendungen für den Einsatz solarer Prozesswärme sowie zu planerischen und technischen Herausforderungen bei der Realisierung wurden aus einem detaillierten Monitoring generiert, das drei neu errichtete Anlagen umfasste.

Ergänzend zur Markt- und Anlagenanalyse, sowie zur Informationsverbreitung und dem Monitoring wurde es Bewilligungsbehörden sowie Planern, Installateuren und Anlagenbetreibern ermöglicht, Fragen basierend auf einer neutralen wissenschaftlichen Perspektive zu klären.

Durchführung und Laufzeit

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanzierte sowie administrativ und fachlich vom Projektträger Jülich (PtJ) begleitete Vorhaben startete am 01.09.2013 und endete zum 31.12.2017. Durchgeführt wurde das Begleitvorhaben vom Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik (SAT) des Instituts für Thermische Energietechnik (ITE) der Universität Kassel. Bei der Durchführung wurde das SAT durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und die KfW Bankengruppe (KfW) unterstützt, die exemplarisch Anträge zu solaren Prozesswärmeanlagen für Auswertungen sowie gesammelte Daten zum Markt bereitstellten. Zusammen mit Informationen aus Gesprächen mit Planungs- und Installationsfirmen konnten auf dieser Basis folgende Analysen und Auswertungen erstellt werden.

Projektbeteiligte

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

Das BAFA hat neben den Kernaufgaben Ausfuhrkontrolle und Einfuhrregelung u. a. auch die Wirtschafts- und Energieförderung zur Aufgabe. Im Rahmen der Energieförderung, die Fördermaßnahmen hinsichtlich energieeffizienter Technologien, Energieeinsparung und die Nutzung erneuerbarer Energien umfasst, wurden von August 2012 bis Ende 2016 entsprechend der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ innerhalb der Innovationsförderung solare Prozesswärmeanlagen durch Investitionskostenzuschüsse von bis zu 50 % gefördert. Die Zusammenarbeit zwischen dem BAFA und der Universität Kassel bestand im Informationsaustausch zu Antragsunterlagen sowie bei Bedarf der Kontaktvermittlung zu Antragstellern bzw. Planern. Die Antragsunterlagen wurden zur Marktanalyse in technischer und ökonomischer Hinsicht genutzt.

KfW Bankengruppe

Die KfW ist die weltweit größte nationale Förderbank und bezogen auf die Bilanzsumme eine der größten Banken Deutschlands. Eines der vielfältigen Fördersegmente umfasst das Themengebiet Energie & Umwelt in Unternehmen. Durch das Programm „Erneuerbare Energien – Premium (271, 281)“ wurden im Zeitraum von August 2012 bis Ende Dezember 2016 unter anderem solare Prozesswärmeanlagen durch zinsgünstige Kredite und die Gewährung von Tilgungszuschüssen von bis zu 50 % entsprechend der o. g. Richtlinie mittelbar über Hausbanken als Finanzierungspartner gefördert. Die Zusammenarbeit bestand ebenso wie beim BAFA durch die Informationsweitergabe von Antragsunterlagen zur technischen und wirtschaftlichen Analyse.

Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik

Das SAT ist seit 2001 am ITE der Universität Kassel vertreten. Unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Vajen und apl. Prof. Dr. Ulrike Jordan arbeiten mehr als 20 WissenschaftlerInnen an aktuellen Fragestellungen aus dem Bereich der Solarthermie, genauer an der Entwicklung, experimentellen Untersuchung und mathematischen Modellierung solarthermischer Komponenten und Energiesysteme. Im Bereich der Prozesswärme hat das SAT langjährige Erfahrung aus nationalen und internationalen Forschungs- und Beratungsprojekten sowie aus der Mitarbeit im Task 33/IV „Solar Heat for Industrial Processes“ und im Task 49/IV „Solar heat for production and advanced applications“ der Internationalen Energieagentur (IEA).

Im Rahmen des abgeschlossenen Vorhabens „Solar Prozesswärme und Energieeffizienz – SOPREN“ (FKZ 0329601T) beschäftigte sich das SAT intensiv mit der Bereitstellung solarer Wärme für industrielle Prozesse. Dabei wurden Audits zur Analyse von industriellen Prozessen durchgeführt eine Potentialstudie zur solaren Prozesswärme in Deutschland erstellt, eine Pilotanlage in einer Brauerei umgesetzt und wissenschaftlich begleitet sowie ein Branchenkonzept für die Nutzung solarer Prozesswärme in Brauereien erarbeitet. Innerhalb des vom SAT initiierten und vom An-Institut IdE durchgeführten Vorhabens „Solarwärme für die Ernährungsindustrie - SolFood“ (FKZ 0325541A) wurden Planungshilfsmittel für die solare Prozesswärme erarbeitet und Fallstudien in diversen Betrieben der Ernährungsindustrie durchgeführt werden. Im Rahmen des IEE Projekts GREENFOODS - Towards zero fossil CO₂ emission in the European food & beverage industry war das SAT für die Erstellung von Konzepten zur Einbindung alternativer Wärmequellen wie Solarthermie, biomassebasierte KWK oder Wärmepumpen zuständig. Darüber hinaus war das SAT als Consultant für die Analyse zur Einbindung

solarer Prozesswärmeanlagen in die kuwaitische Rohölaufbereitung und die Konzeptentwicklung tätig. Seit Mai 2016 werden im Rahmen des deutsch-österreichischen Vorhabens „SolarAutomotive - Solare Prozesswärme für die Automobil- und Zulieferindustrie“ (FKZ 0325863A) entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Automobilindustrie Anwendungen identifiziert, um solare Prozesswärme sowohl auf Prozess- als auch auf Versorgungsebene als Bestandteil der Wärmeversorgungskonzepte in der Automobilbranche zu etablieren. Hierzu werden Fallstudien durchgeführt und die Installation von Leuchtturmprojekten vorangetrieben.

Erläuterung zur Förderung im Marktanreizprogramm

Von der Entscheidung für die Installation einer solaren Prozesswärmeanlage bis hin zur Auszahlung (Investitionskostenzuschuss) bzw. Buchung (Tilgungszuschuss) der Förderung müssen mehrere Phasen durchlaufen werden. Zu Beginn werden anhand einer energetischen Analyse im Unternehmen und der darauf basierenden Vorplanung mit entsprechenden Angeboten die Antragsunterlagen erstellt. Nach deren Einreichung beim BAFA bzw. der KfW findet bei der jeweiligen Bewilligungsbehörde die Antragsprüfung statt, bevor nach einer möglichen Nachforderung von Unterlagen eine Bewilligung bzw. in einzelnen Fällen eine Ablehnung des Antrages erfolgt. In der Bewilligung ist die maximale Auszahlungs- (BAFA) bzw. Buchungssumme (KfW) der Förderung festgelegt. Nach der erfolgten Bewilligung kann mit der Detail- und Ausführungsplanung und darauf basierend mit der Installation der solaren Prozesswärmeanlage begonnen werden. Sobald die Anlage installiert und in Betrieb genommen wurde, kann der Anlagenbetreiber (identisch mit Antragsteller) die gesammelten Unterlagen zum Nachweis der durchgeführten Arbeiten und den damit verbundenen Kosten auf Basis von Rechnungen an die jeweilige Bewilligungsbehörde schicken, wo dann geprüft wird, ob die nachgewiesenen Kosten der bewilligten Anlage entsprechen bzw. nur begründet abweichen. Nach erfolgter positiver Prüfung wird die Förderung ausgezahlt bzw. der Zuschuss gebucht. Durch das beschriebene Verfahren kommt es von Beantragung der Förderung bis hin zur Auszahlung der Förderung für die in Betrieb genommene Anlage zu einem erheblichen zeitlichen Verzug. Dieser Verzug ist natürlich sehr stark abhängig von der Qualität der Antragsunterlagen und der Kostennachweise nach Inbetriebnahme. Sind die Unterlagen vollständig, korrekt und verständlich zusammengestellt, sind Prüfungen bei den Bewilligungsbehörden in relativ kurzer Zeit und ohne Nachforderungen möglich, bei mangelhaften Unterlagen kann sich das Verfahren abhängig vom Antragsteller nahezu beliebig in die Länge ziehen.

Entsprechend dieses Ablaufs beziehen sich die Analysen im vorliegenden Abschlussbericht entweder auf bewilligte oder geförderte Anträge bzw. Kollektorflächen.

2. Marktentwicklung

2.1. Entwicklung bewilligter Anlagen

In den folgenden Abschnitten wird die Marktentwicklung solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland im Zeitraum 15.08.2012 bis zum 31.12.2016 beschrieben. Die Auswertungen innerhalb dieses Abschlussberichtes berücksichtigen alle Anlagen, deren Förderung innerhalb des genannten Zeitraumes beantragt wurde. Während des Untersuchungszeitraumes wurde die Förderung über den Investitionszuschuss durch das BAFA der Inanspruchnahme der zinsgünstigen KfW-Kredite mit Tilgungszuschuss gegenüber präferiert. 91 % der Anträge mit 83 % der Kollektorfläche wurden beim BAFA eingereicht.

Um möglichst alle Anlagen aus dem oben genannten Zeitraum berücksichtigen zu können, beziehen sich alle folgenden Auswertungen und Darstellungen auf die durch BAFA und KfW bewilligten Anlagen inkl. den geförderten, also bereits realisierten Systemen. Offene Anträge, also diejenigen, über deren Förderwürdigkeit noch nicht entschieden wurde, sind nicht berücksichtigt. Analysen, in die die jeweiligen Kollektorfeldgrößen mit einfließen, beziehen auf die Bruttokollektorfläche. Bei abweichender Datengrundlage ist dies kenntlich gemacht.

Nach Einführung der Förderung von bis zu 50 % für solare Prozesswärmeanlagen im August 2012 gingen bis Ende des Jahres nur wenige Anträge ein, was sich mit der zunächst geringen Bekanntheit des Förderprogrammes und den notwendigen Zeiten zur Projektentwicklung vor der Antragstellung erklären lässt. In den darauffolgenden Jahren 2013 bis 2015 wurden 81, 92 bzw. 79 Anträge gestellt. In 2016 fiel die Antragszahl deutlich auf 42 ab. Von den insgesamt 313 beantragten Anlagen wurde mit 263 Anlagen der bei weitem größte Anteil auch bewilligt. Nur rund 6 % der Anträge mussten zumeist aus formalen Gründen abgelehnt werden, weil es sich beispielsweise um falsche Anwendungen wie die Beheizung von Schwimmbädern handelte oder die Mindestgröße für das Kollektorfeld nicht erreicht wurde. Knapp 7 % der Anträge wurden seitens der Antragsteller nach Bewilligung aus nicht bekannten Gründen storniert, bzw. sie ließen ohne Verlängerung den Bewilligungszeitraum auslaufen. 8 Anträge (2,6 %) waren zum 31.12.2016 noch offen, d. h. für die Bewilligung fehlten noch Unterlagen, bzw. die Prüfung konnte noch nicht abgeschlossen werden. Von den 263 bewilligten Anlagen waren zum 31.12.2017 189 Anlagen gefördert und demnach im Betrieb.

Nachdem die Novelle des MAP gegen Ende August 2012 in Kraft getreten ist, dauerte es einige Zeit, bis erste Anträge beim BAFA bzw. der KfW eingingen, wodurch bedingt durch die Zeit zur Antragsprüfung in 2012 nur rund 175 m² Kollektorfläche für solare Prozesswärmeanlagen bewilligt werden konnten. Inbetriebnahmen der neu beantragten Anlagen gab es aufgrund der kurzen Zeitdauer noch keine. In den darauffolgenden Jahren 2013 bis 2015 konnten Anlagen mit rund 9.500 m² Kollektorfläche gefördert werden, wobei zwischen Bewilligung und Inbetriebnahme im Regelfall ein Zeitraum von einem halben bis zu einem Jahr lag, was sich auch anhand der Differenz zwischen den Summen bewilligter und geförderter Flächen nach Abbildung 1 gut nachvollziehen lässt. Dies zeigt sich zusätzlich dadurch, dass die Antragszahlen in 2015 und damit verbunden auch die bewilligten Kollektorflächen verglichen mit 2014 bereits zurückgingen, während die geförderten, also einige Zeit zuvor in Betrieb genommenen, Kollektorflächen noch anstiegen. In 2016 zeigte sich dann allerdings der Effekt der rückläufigen Antragszahlen auch in den geförderten, also den im entsprechenden Jahr in Betrieb genommenen, Flächen. Insgesamt befanden sich zum 31.12.2016 mit 12.825 m² bereits 72 % der bewilligten Kollektorfläche im Betrieb.

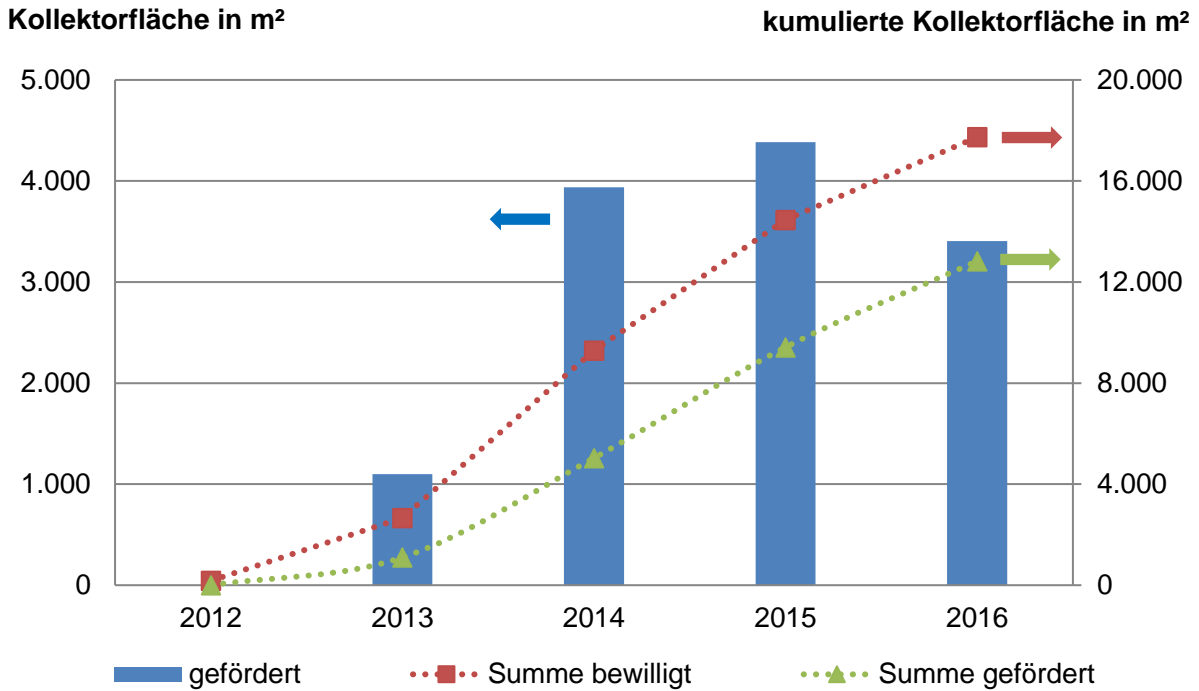


Abbildung 1: Darstellung der jährlich geförderten Kollektorfläche in m² sowie kumulierte Kollektorflächen auf Basis bewilligter und geförderter, also im Betrieb befindlicher, Anlagen

Bezogen auf die Anzahl bewilligter und bereits geförderter Anlagen ergibt sich entsprechend Abbildung 2 ein leicht abweichendes Bild. Während sich die Jahre 2013 und 2014 im Vergleich mit Abbildung 1 sehr ähnlich entwickelten, weichen 2015 und 2016 ab. Dies ist durch die kleine mittlere Anlagengröße der in 2012 und 2013 bewilligten, mit Verzug realisierten, Prozesswärmeanlagen begründbar. Die Entwicklung der Anlagengröße zeigt Abbildung 8.

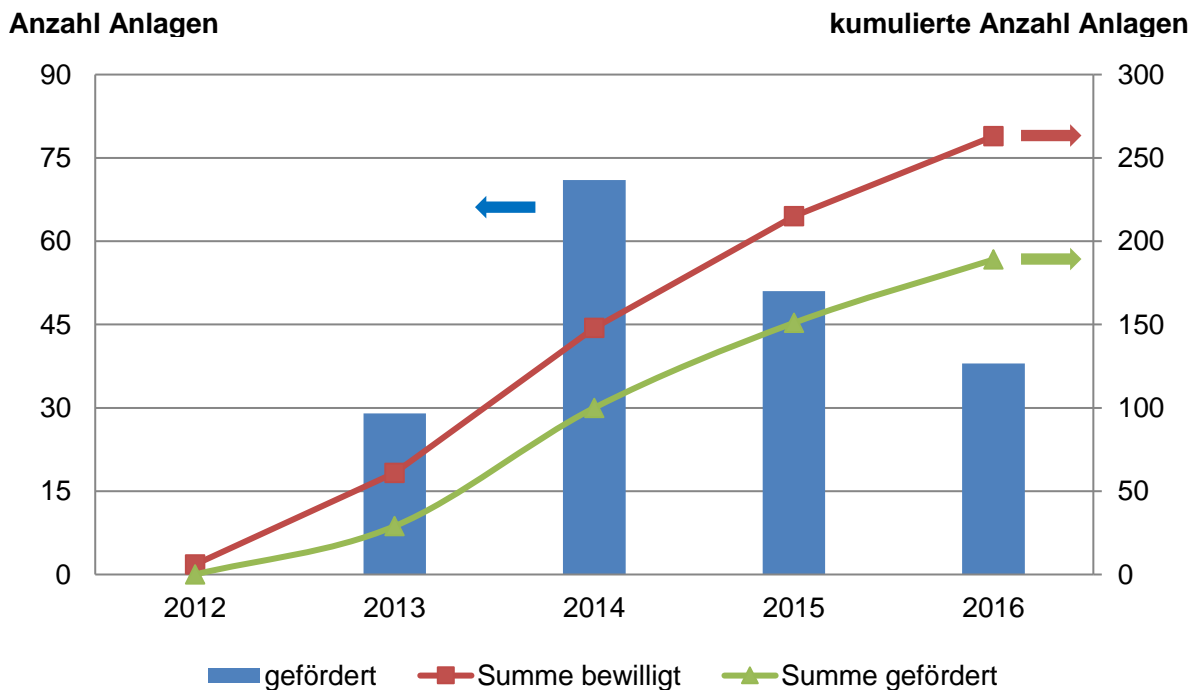


Abbildung 2: Darstellung der jährlich geförderten Anlagenanzahl sowie kumulierte Anzahl auf Basis bewilligter und geförderter, also im Betrieb befindlicher, Anlagen

In Tabelle 1 im Anhang sind alle in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellten Zahlen dargestellt und zusätzlich nach Anlagen, die beim BAFA bzw. der KfW beantragt wurden aufgeteilt.

Als Hauptgrund für den Rückgang der Antragszahlen und damit auch der in Betrieb genommenen Kollektorflächen seit Ende 2014 nennen Planungs- und Installationsfirmen den Verfall der Ölpreise. Wie Abbildung 3 zeigt, fiel der Rohölpreis an der Börse (WTI) seit Mitte 2014 innerhalb von einem halben Jahr von ca. 110 auf rund 50 USD/Barrel (149 Liter), wo er seitdem mit Schwankungen verharrt (Schlusskurs am 25.04.2017: 49,39 USD/Barrel). Mit leichtem zeitlichen Verzug fielen auch die Antragszahlen deutlich ab, was sich in den ab Q2 2015 bewilligten Flächen deutlich abzeichnet. Dieser Preisverfall von mehr als 50 %, sowie das seither relativ konstant niedrige Niveau der Ölpreise führen zusätzlich zu Verunsicherungen in Hinblick auf die zukünftige Preisentwicklung. Als Folge werden viele Projekte auf unbestimmte Zeit verschoben und die Zahl der neu eingereichten Anträge für solare Prozesswärme stagniert auf niedrigem Niveau.

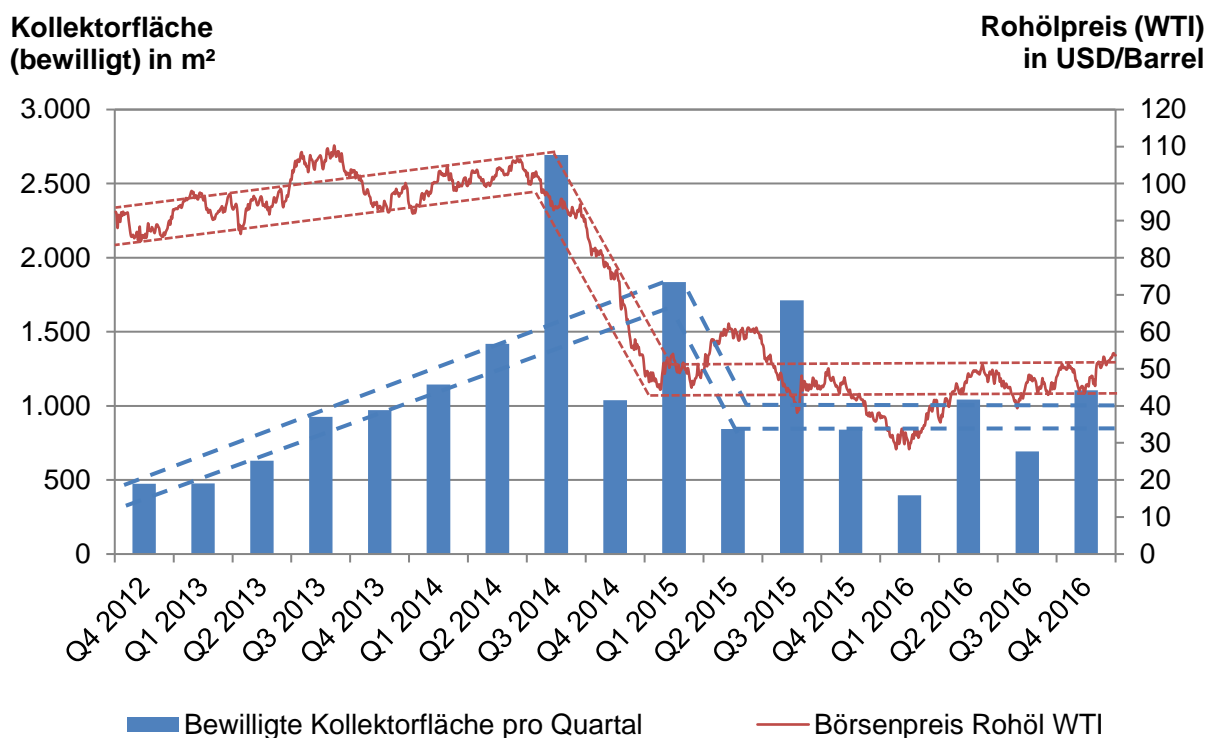


Abbildung 3: Entwicklung der Rohölpreise (WTI) in USD je Barrel und der bewilligten Kollektorflächen in m² im Zeitraum Q4 2012 bis Q4 2016

Die beiden großen Ausreißer aus dem blauen „Entwicklungskorridor“ der bewilligten Kollektorfläche (roter Entwicklungskorridor für Rohölpreis) in Q3 2014 und Q3 2015 lassen sich durch jeweils nur eine bewilligte Anlage mit 960 m² (Q3 2014) und knapp 600 m² (Q3 2015) erklären, die auch gleichzeitig die größten solaren Prozesswärmeeinrichtungen aus dem Zeitraum Q4 2012 bis Ende 2016 sind.

2.2. Regionale Unterschiede

Ein Blick auf die Verteilung der Anlagen über die Bundesländer, wofür 205 der 263 bewilligten Anträge (14.138 m² von 17.736 m²) ausgewertet werden konnten, zeigt, dass die südlicheren Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg, aber auch Rheinland-Pfalz und Hessen mit

47 % der Anlagen und 59 % der Kollektorfläche einen großen Anteil der Anlagen stellen. Besonders aber sticht Nordrhein-Westfalen (NRW) hervor, das mit 66 Anlagen 32 % der bewilligten Anträge und 29 % der Kollektorfläche repräsentiert. Dies lässt sich dadurch erklären, dass zusätzlich zur MAP-Prozesswärmeförderung von bis zu 50 % in NRW ein weiterer Zuschuss für thermische Solaranlagen von 90 €/m² (Bruttofläche) für Anlagen zwischen 20 m² und 1.000 m² gewährt wird.

Durch diese Zusatzförderung „progres.nrw: Markteinführung – Solarthermie“ können unter Berücksichtigung der EU-Beihilfegrenzen Zuschüsse von bis zu 65 % der Nettoinvestitionskosten erreicht werden. Abbildung 4 zeigt die Anzahl der bewilligten Anträge und der entsprechenden Kollektorflächen auf die entsprechenden Bundesländer. Hierbei fällt auf, dass in den nördlichen sowie den östlichen Bundesländern bislang relativ wenige Anlagen realisiert wurden.

Für die 58 bewilligten Anträge mit knapp 3.600 m², also im Mittel 62 m² pro Anlage, lagen keine entsprechenden Daten vor, weshalb sie in dieser Auswertung nicht berücksichtigt werden konnten.

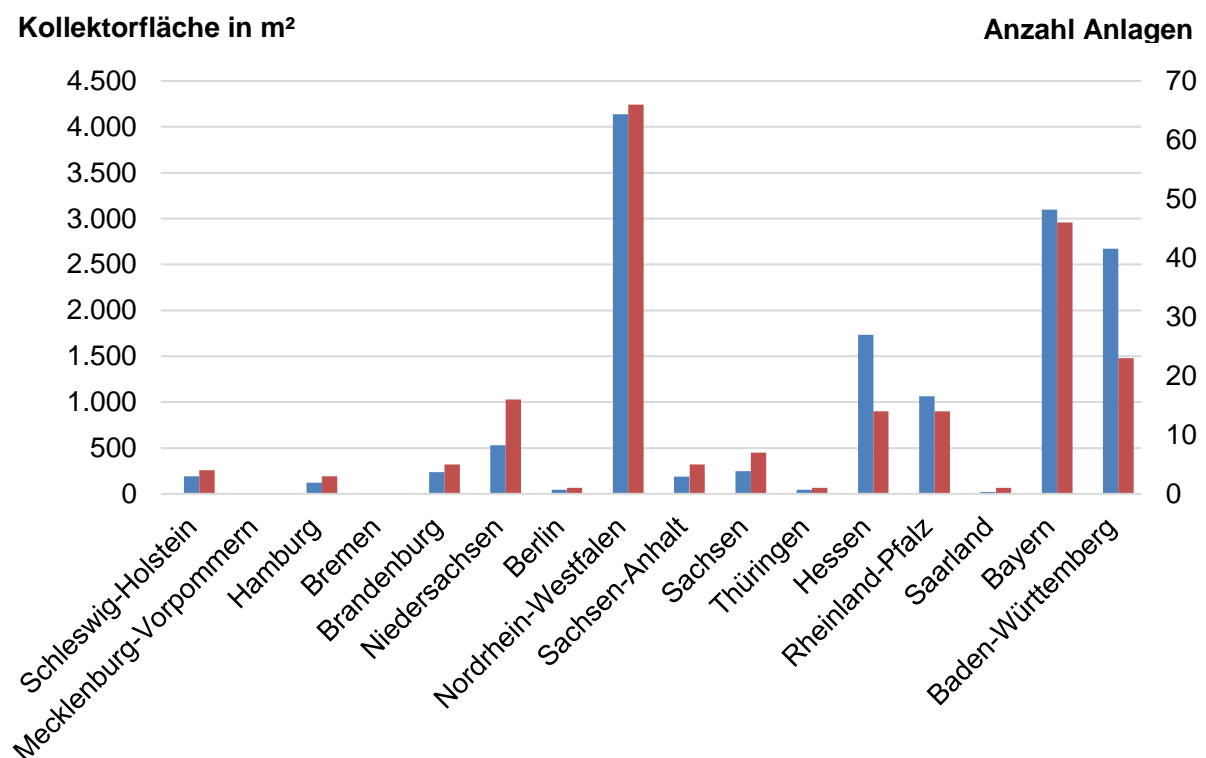


Abbildung 4: Verteilung bewilligter Anlagen und Kollektorflächen entsprechend dem Anlagenstandort auf die jeweiligen Bundesländer (Stichprobe 205 von 263 Anlagen)

Die mittlere Kollektorfeldgröße in Abhängigkeit des jeweiligen Bundeslandes zeigt Abbildung 5. Diese Darstellung zeigt, dass die 14 in Hessen lokalisierten Anlagen mit im Mittel 124 m² Kollektorfläche am größten sind, gefolgt von den 22 Anlagen in Baden-Württemberg mit 114 m². Mit etwas deutlicherem Abstand folgen Anlagen in Rheinland-Pfalz (14), Bayern (46) und Nordrhein-Westfalen (66) mit durchschnittlich 76 m², 67 m² und 63 m² Kollektorfeldgröße.

mittlere Kollektorfläche in m²

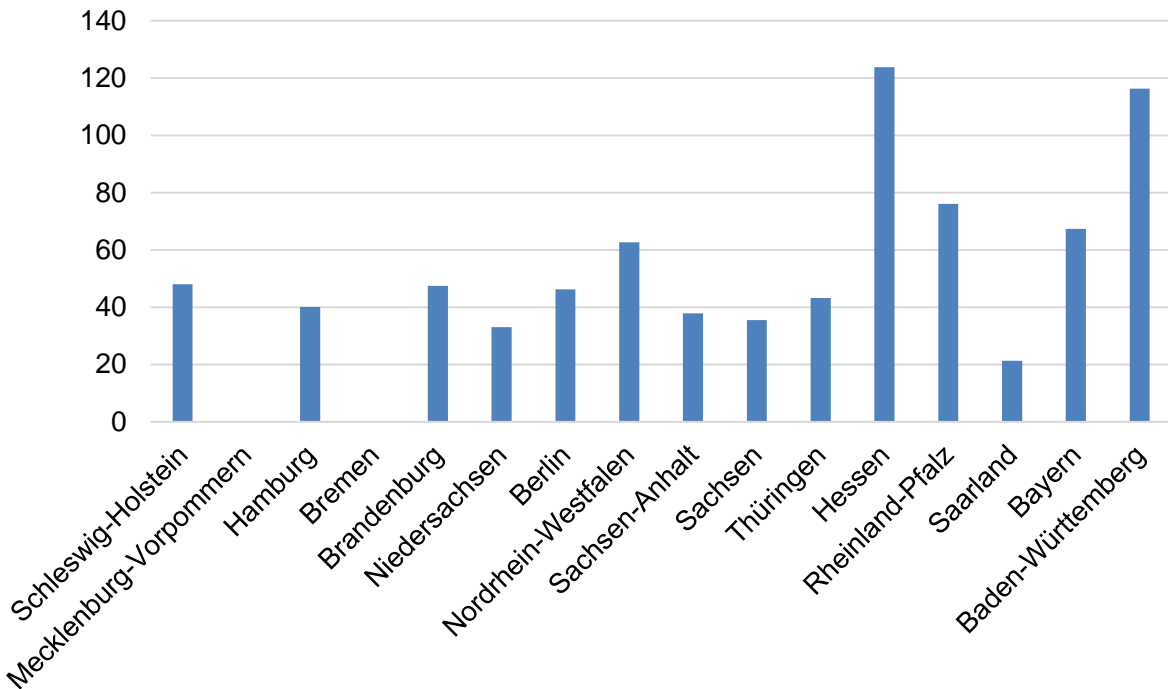


Abbildung 5: Mittlere Kollektorfeldgröße der in den verschiedenen Bundesländern installierten solaren Prozesswärmeanlagen (Stichprobe 205 von 263 Anlagen)

2.3. Übersicht der Anlagengrößen

Bezogen auf die Anlagengrößen wird der deutsche Markt für solare Prozesswärme von sehr kleinen Anlagen mit 20 bis < 40 m² Kollektorfläche dominiert, die die Hälfte der bewilligten Anlagen ausmachen. Auch der Größenbereich von Anlagen mit 40 bis < 100 m² ist mit ca. einem Drittel der Anlagen gut repräsentiert, wohingegen nur 36 der 263 bewilligten Anlagen in den Bereich ab 100 m² fallen.

Abbildung 6 zeigt die Anzahl der bewilligten Anlagen in den drei Größenklassen aufgeteilt nach den Jahren 2012 bis 2016.

Anzahl bewilligter Anlagen

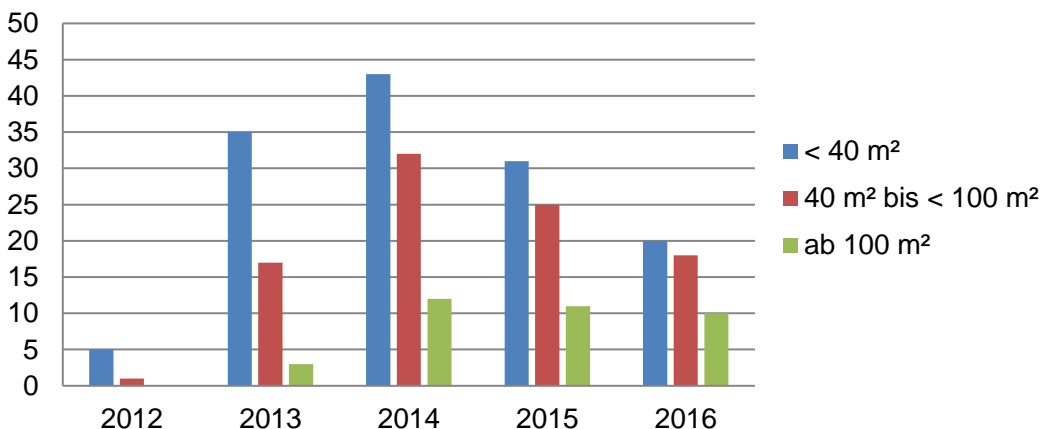


Abbildung 6: Anzahl solarer Prozesswärmeanlagen nach Größenklasse und Jahr der Bewilligung

Die Darstellung der Kollektorflächen aufgeteilt nach den Größenklassen und über die Jahre entsprechend Abbildung 7 zeigt den deutlichen Effekt der größeren Kollektorflächen. Insgesamt gehören knapp 50 % der gesamten Fläche zu Anlagen aus dem Bereich ab 100 m² und nur gut 20 % zu den Anlagen mit weniger als 40 m² Bruttokollektorfläche. In 2014 und 2015 zeigt sich wiederum der Einfluss der beiden größten Anlagen mit 960 m² bzw. knapp 600 m².

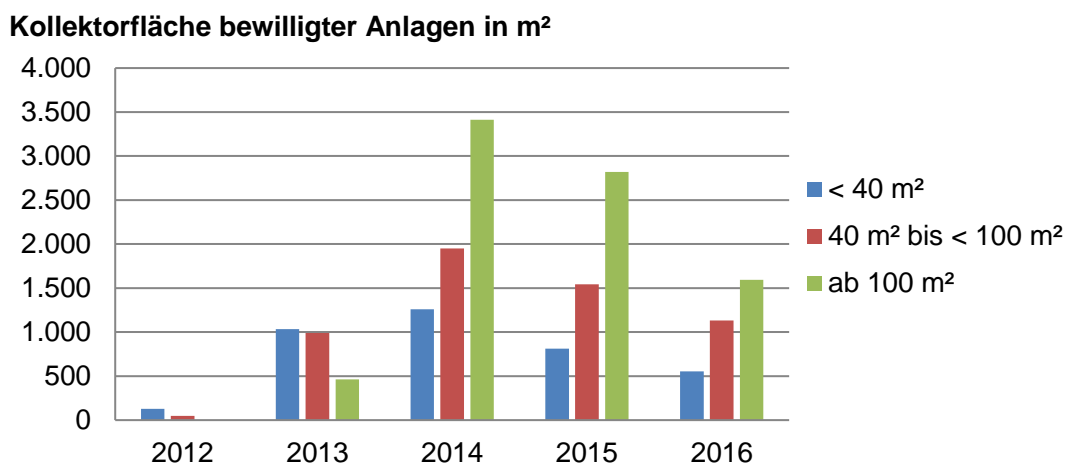


Abbildung 7: Kollektorflächen solarer Prozesswärmeanlagen nach Größenklasse und Bewilligungsjahr

Bei der Verteilung auf die drei nicht zuletzt auch durch die Förderung bestimmten Größenklassen zeigen sich zwei Besonderheiten: Da bei der KfW nur Anlagen ab 40 m² gefördert werden, entfällt der Bereich der sehr kleinen Anlagen von 20 m² bis < 40 m², der beim BAFA 56 % der bewilligten Anträge bzw. 27 % der bewilligten Fläche ausmacht. Aber auch in den beiden Größenklassen „40 m² bis < 100 m²“ und „ab 100 m²“ zeigen sich Unterschiede zwischen dem BAFA und der KfW. Bezogen auf die von der KfW bewilligte Anlagenzahl gibt es nahezu eine Gleichverteilung zwischen beiden Kategorien, bezogen auf die Kollektorfläche sind nur 21 % aus dem kleineren Bereich. Bei der BAFA sind dagegen nur 10 % der bewilligten Anträge aus dem Bereich der Anlagen ab 100 m², stellen aber 38 % der Kollektorfläche. Alle Daten zur Entwicklung der Kollektorfeldgrößen aufgeteilt nach BAFA und KfW sind in der Tabelle 2 im Anhang inklusive einer Aufteilung nach Kollektortyp zu finden.

Insgesamt lässt sich bezogen auf die durchschnittliche Größe der von BAFA und KfW bewilligten solarer Prozesswärmeanlagen ein Trend zu größer werdenden Anlagen erkennen. Während die mittlere Anlagengröße in 2012 noch bei knapp 30 m² lag, erreichte sie in 2016 nach einem Hoch im Vorjahr etwa 70 m². Dabei sind deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der verwendeten Kollektortechnologie erkennbar, wie es Abbildung 8 zeigt.

Während Flachkollektoren (FK) über die Jahre hauptsächlich für kleinere Anlagen unterhalb von 50 m² genutzt wurden, lag die mittlere Kollektorfeldgröße von Luftkollektoren (LK) in 2016 bei 100 m², die von Vakuumröhren- bzw. CPC-Kollektoren (VRK / CPC) bei 85 m². In den beiden vorherigen Jahren war die Anlagengröße von LK und VR- bzw. CPC-Kollektoranlagen sogar noch größer. Der große Sprung der durchschnittlichen FK-Anlagengröße von 2013 auf 2014 ist auf eine einzelne Anlage mit 960 m² zurückzuführen, die zur Entfeuchtung und Beheizung von Gewächshäusern im Gemüsebau genutzt wird. Ohne diese Anlage würde sich der Wert für 2014 auf 55 m² reduzieren. Diese Zunahme der mittleren Kollektorfeldgröße kann positiv bewertet werden, da sich die Planer aus dem Bereich solarer Prozesswärme vermehrt

an größere Anlagen herantrauen, die bisher nicht zum Leistungsspektrum gehörten. Tendenziell hat dieser Trend auch einen positiven Einfluss auf die spezifischen Anlagenkosten, da diese mit zunehmender Anlagengröße sinken, wie es in Abschnitt 4 näher erläutert wird.

Die in Abbildung 8 dargestellten Daten sind in Tabelle 3 im Anhang aufgegliedert nach den durch das BAFA bzw. die KfW bewilligten Anlagen zu finden.

Mittlere Kollektorfeldgröße in m²

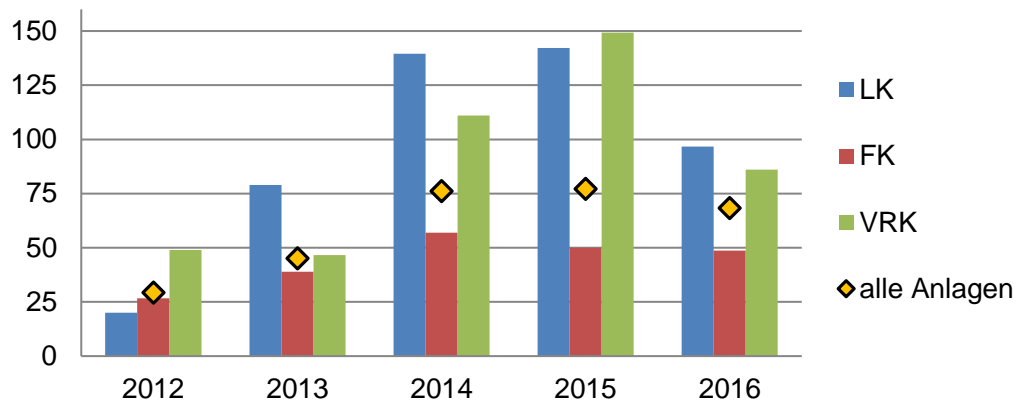


Abbildung 8: Mittlere Kollektorfeldgröße in m² nach Kollektortyp und Jahr sowie jährlicher Mittelwert aller Kollektortypen

2.4. Anwendungsfelder und Antragsteller

Von den seit der MAP-Novelle in 2012 bis zum 31.12.2016 bewilligten rund 17.750 m² Kollektorfläche wurden mit 12.825 m² bereits 72 % der gesamten Fläche gefördert, also in Betrieb genommen. Bezogen auf die bewilligte Kollektorfläche gibt es drei dominante Anwendungsfelder: Fahrzeugreinigung (29 %), Trocknung (26 %) sowie Aufzucht von Nutztieren (16 %). Bei der Fahrzeugreinigung wird der bei weitem größte Anteil der Kollektorfläche zur Reinigungswasserbereitung für SB-Waschboxen und PKW-Waschstraßen eingesetzt. 17 % sind für Anlagen zur Reinigung von Nutz- und Kranfahrzeugen, Lokomotiven, Lastzügen, der Tankinnenreinigung bzw. für die reine Reifenwäsche vorgesehen. FK werden bei der Fahrzeugreinigung mit 63 % der Kollektorfläche etwas häufiger genutzt als VR- bzw. CPC-Kollektoren. LK kommen hier nicht zum Einsatz. Bei dem zweithäufigsten Anwendungsgebiet, der Trocknung, sind biogene Trockengüter wie Hackschnitzel, Heu, Stückholz oder Getreide dominierend. Nur rund 20 % der Kollektorfläche sind für andere Anwendungen z.B. bei Automobilzulieferern, im Bau- und Druckereigewerbe sowie bei Dienstleistern oder im Möbelbau eingesetzt vorgesehen. Im Bereich der Trocknung werden vorzugsweise LK genutzt (84 %), FK sind mit 6 % vertreten. Bei der Tieraufzucht entfallen gut 85 % auf Anlagen zur Aufzucht von Ferkeln, der Rest entfällt vor allem auf Fischzucht. Weitere Anwendungen sind Geflügel- und Insektenaufzucht (biologische Schädlingsbekämpfung). In diesem Anwendungsfeld werden vor allem FK eingesetzt (81 %), lediglich 3 % sind LK.

Weitere Anwendungsfelder und deren Marktanteil sind Abbildung 9 zu entnehmen. Alle dargestellten Prozentzahlen beziehen sich auf die von August 2012 bis Dezember 2016 durch BAFA und KfW bewilligten Kollektorflächen. Eine ähnliche Darstellung wie in Abbildung 9 ergänzt um Anlagen, die vor August 2012 realisiert wurden, ist unter www.solare-prozesswärme.info zu finden.

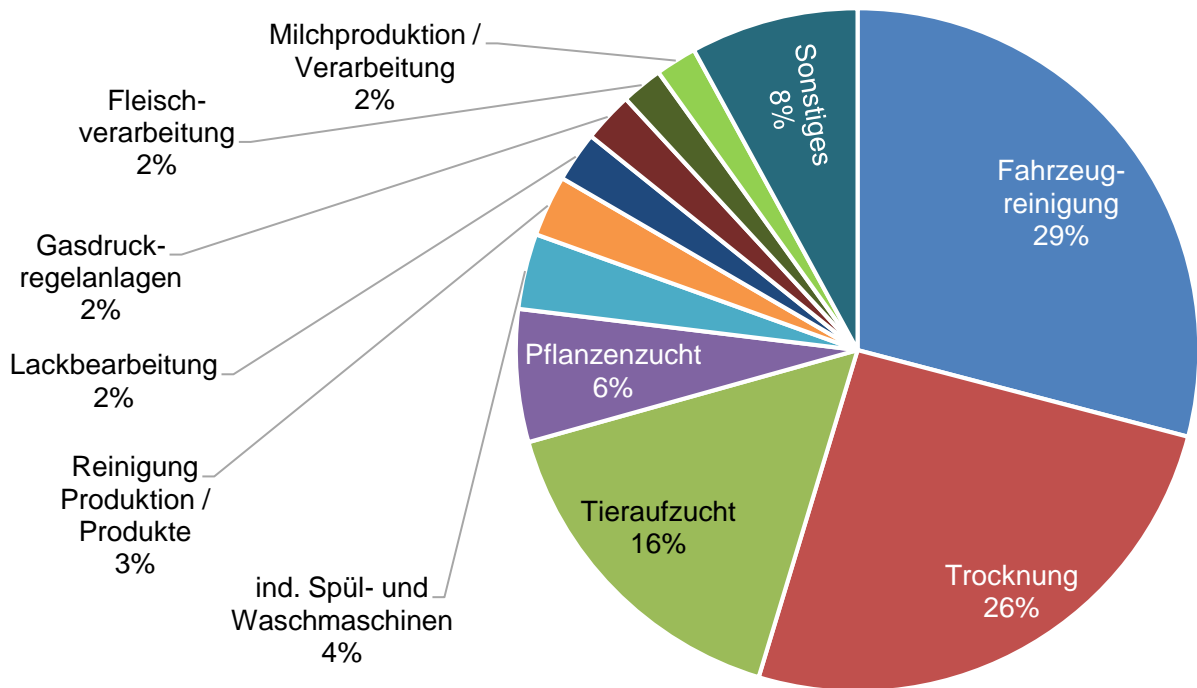


Abbildung 9: Anwendungsfelder der innerhalb des MAP bewilligten solaren Prozesswärmeanlagen auf Basis der bewilligten Kollektorflächen (September 2012 bis Ende 2016)

Der Teil „Sonstiges“ beinhaltet Oberflächenveredler, Pharma- und Kosmetikproduzenten, Produkttests, Bitumenproduktion, Wäschereien und Lederproduzenten, ebenso wie sonstige Lebensmittelproduzenten sowie Futterhersteller.

Bezogen auf die Zahl der bewilligten Anträge ergibt sich ein leicht anderes Bild. Vor allem die Reihenfolge der größten Anwendungsfelder ist vertauscht, wie Abbildung 10 zeigt.

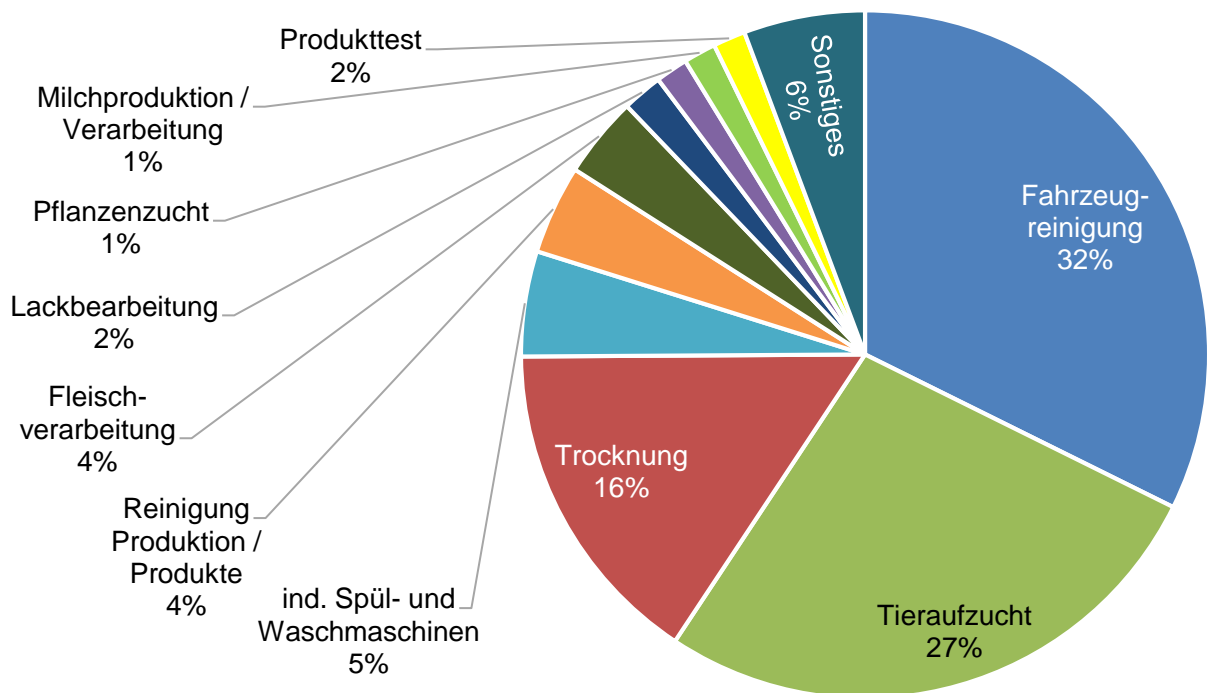


Abbildung 10: Anwendungsfelder der innerhalb des MAP bewilligten solaren Prozesswärmeanlagen auf Basis der Anzahl bewilligter Anträge (September 2012 bis Ende 2016)

Bspw. ist das Verhältnis von Tieraufzucht und Trocknung nahezu umgekehrt, was auf die vielen, aber relativ kleinen Anlagen vor allem in der Ferkelaufzucht zurückzuführen ist. Auch die Anwendung Pflanzenaufzucht rückt deutlich in den Hintergrund. Gasdruckregelung fällt im Austausch mit Produkttests unter „Sonstiges“.

In Tabelle 4 im Anhang findet sich eine Aufteilung zu den Anwendungsfeldern nach durch BAFA bzw. KfW bewilligten Anträgen.

Die Analyse von 156 bewilligten Anträgen zeigt, dass sich der Markt für solare Prozesswärme bisher vor allem auf das Anwenderfeld von kleinen Unternehmen (54 %) sowie die Land- und Forstwirtschaft (35 %) konzentriert. Mittlere Unternehmen beantragen seltener solare Prozesswärmeanlagen (10 %) und Großunternehmen sind nur in Ausnahmefällen (1 %) unter den Antragstellern. Im Contracting wurde bislang nur eine Anlage bewilligt und gefördert. Gespräche mit Planern und Installationsfirmen bestätigen die Verteilung der Auswertung von knapp 60 % der insgesamt bewilligten Anträge. (Mehrheitlich) im Kommunalbesitz befindliche Unternehmen sind zwischen August 2012 und Dezember 2016 nicht als Antragsteller im Bereich der solaren Prozesswärme in Erscheinung getreten.

2.5. Ausgewählte Anwendungen

Neben den drei häufigsten Anwendungen – Ferkelaufzucht, Hackschnitzeltrocknung und PKW-Reinigung -, die sich als optimal geeignet für die Nutzung solarer Prozesswärme erwiesen haben und die in 3.4 detailliert vorgestellt werden, wurden in der Zeit von August 2012 bis Dezember 2016 auch in vielen weiteren interessanten Anwendungsfeldern Anlagen installiert. Im Folgenden ist eine Auswahl von Anwendungen mit einigen Besonderheiten, die die Nutzung solarer Prozesswärme attraktiv machen, dargestellt, wobei es sich nicht um eine umfassende Auflistung von Anwendungsfeldern und Besonderheiten handelt.

Als ein gut geeignetes Anwendungsfeld haben sich industriell bzw. gewerblich genutzte Spül- und Waschmaschinen erwiesen, da diese Wärmesenken häufig mit einem relativ konstanten Wärmebedarf über das Jahr betrieben werden. Im Hotel- und Gastgewerbe kann aufgrund des saisonal stark ausgeprägten Sommertourismus sogar eine Korrelation zwischen Solarstrahlung und Wärmebedarf für Spül- und Waschmaschinen bestehen. Ausnahme sind Wintersportgebiete. Ebenso eignen sich Waschmaschinen im Bereich der professionellen Textilreinigung sehr gut, da in Wäschereien eine über das Jahr gesehen möglichst gleichbleibend hohe Auslastung bei für Waschmaschinen geeigneten Standardtextilien anzustreben ist.

Eine sehr interessante Anwendung, bei der ähnlich zur PKW-Reinigung eine sehr gute Korrelation zwischen Strahlungsangebot und Wärmebedarfs besteht ist die Bereitung von Bitumenemulsionen für den Straßenbau. Da bei Regenfällen im Regelfall keine Asphaltierung möglich ist, da die noch nicht ausgehärtete Asphaltfläche Schaden nehmen könnte, wird die Produktion wetterabhängig geplant. Zusätzlich besteht eine saisonale Prägung des Wärmebedarfes. Produktionszeiten sind klimaabhängig ca. von Anfang April bis Ende Oktober.

Einige der solaren Prozesswärmeanlagen wurden auch im Bereich der Lackierung von Fahrzeugen in die Trocknungskammern integriert. Die benötigten Temperaturen von 60 °C bis 80 °C in den Trocknungskammern werden häufig durch elektrische Heizregister, oder aber direkt mittels Gasbrennern erzeugt. Die Solaranlage kann entweder als Flächenheizsystem mit Zwangskonvektion oder ebenfalls mittels wassergeführtem Heizregister eingebunden werden. Sie kann die Aufheizphase der Trocknungskammer zumindest unterstützen und die Temperatur in der Kammer aufrechterhalten.

Ebenfalls interessant sind Unternehmen, in denen Becken beheizt werden müssen. Innerhalb des Zeitraums des wissenschaftlichen Begleitvorhabens wurden beispielsweise Anlagen im Bereich der Fischzucht (tropisch), der Entlackung von Fahrzeugen und der Veredelung metallischer Oberflächen (Galvanotechnik) beantragt und realisiert. Besonders gut geeignet sind diese Anwendungen, da die vorhandenen Becken leicht übertemperiert werden können, d.h. es gibt prozessinterne Speichermöglichkeiten, was die Kosten für den Pufferspeicher reduzieren kann. Außerdem müssen die meisten Bäder auch immer eine Mindesttemperatur halten, wodurch auch am Wochenende ein Wärmebedarf besteht. Im Bereich der Galvanotechnik und Entlackung ist dieser zwar reduziert, bei der Fischzucht, bleibt er jedoch konstant, bzw. wie unter der Woche umgebungstemperaturabhängig. Ein ökonomischer Vorteil, der auch die ggf. relativ aufwändige Anbindung einer solaren Prozesswärmeanlage an vorhandene Bäder mittels interner Wärmeübertrager rechtfertigen kann, ist, dass häufig eine elektrische Beheizung stattfindet, wodurch der Referenzpreis für die konventionelle Wärmeversorgung relativ hoch ist. Auch finden sich in Unternehmen mit den genannten Anwendungen oft weitere geeignete Wärmesenken, die solar versorgt werden können, wie bspw. die thermische Reinigung und Desinfektion oder Trocknungsprozesse.

Als ein vielversprechendes Anwendungsgebiet haben sich auch Gasdruckregelanlagen erwiesen, in denen das unter hohem Druck stehende Erdgas aus Verteilleitungen auf das Druckniveau des jeweilig hinter der Druckregelstation liegende Netz mit einem niedrigeren Druck (Gemeinde- / Stadtnetz) entspannt wird. Beim Entspannen kühlt sich das Erdgas ab und würde ohne eine vorherige Beheizung den Gefrierpunkt deutlich unterschreiten, wodurch es zu unerwünschter Eisbildung kommen würde. Konventionell wird die Vorwärmung des Erdgases vor der Entspannung daher mittels Gaskesseln realisiert. Da jedoch nur sehr geringe Temperaturhübe nötig sind, reichen bereits wärmeerzeugerseitige Temperaturen von 40 °C meist aus, um die erforderliche Aufwärmung zu erreichen. Durch dieses sehr niedrige Temperaturniveau, können solare Prozesswärmeanlagen sehr effizient eingesetzt werden. Der erzielbare solare Deckungsgrad ist dabei sehr abhängig von dem angeschlossenen Ortsnetz. Bei sehr hohem Anteil von Haushalten im Netz, nähert sich das jährliche Lastprofil dem eines durchschnittlichen Wohnhauses an, verfügt als über deutliche Spitzen im Winter. Mit steigendem Anteil an Industrie und GHD mit Wärmebedarf, steigt auch der Wärmebedarf im Sommer und das Jahreslastprofil wird flacher, wodurch höhere Deckungsraten möglich werden.

Im land- und forstwirtschaftlichen Bereich gibt es neben der Hackschnitzeltrocknung zur energetischen Nutzung und der Tieraufzucht mit dem Gemüsebau in Gewächshäusern ein weiteres für thermische Solaranlagen gut geeignetes Anwendungsfeld. Hierbei besteht nicht nur ein Wärmebedarf zur Verlängerung der Wachstumsperioden bspw. von Tomaten- und Gurkenpflanzen in Frühjahr und Herbst, sondern auch ein zusätzlicher Wärmebedarf zur Entfeuchtung, um das Faulen des Gemüses bei zu hoher Luftfeuchtigkeit im Innern der Gewächshäuser zu vermeiden. Hierfür gibt es mehrere Optionen. Eine davon ist die Beheizung der Gewächshausluft auch im Sommer, damit die warme Luft mit hoher Feuchte aus den Lüftungsöffnungen entweicht, während kühlere Außenluft mit geringerem Feuchtigkeitsgehalt nachströmt.

2.6. Fazit zur Marktentwicklung

Abschließend lässt sich festhalten, dass sich der Markt für solare Prozesswärme mit der MAP Novelle in 2012 bis hin zum Verfall des Ölpreises von einem fast ausschließlich durch wissenschaftlich begleiteten Pilotanlagen repräsentierten Anwendungsgebiet zu einem kleinen Markt mit Fokus auf GHD entwickelt hat. Seit 2015 werden durch die Verunsicherung der potentiellen Anwender in Hinsicht auf die Preisentwicklung fossiler Energieträger jedoch nur noch wenige Anlagen realisiert.

Geprägt ist der Markt durch meist relativ kleine Anlagen, die hauptsächlich in kleinen Gewerbebetrieben und Nischen realisiert werden, wobei aber eine Tendenz zu größeren Anlagen festzustellen ist. Insgesamt werden zwar deutlich mehr Anlagen durch das BAFA gefördert, jedoch sind die Anlagen, die bei der KfW beantragt wurden, im Mittel deutlich größer. Es hat sich am Beispiel von NRW sehr deutlich gezeigt, dass regionale Anreizprogramme, die mit der Förderung durch den Bund kombinierbar sind, zu einer deutlich beschleunigten Marktentwicklung führen können.

In Hinblick auf die Anwendungen wurden hauptsächlich relativ einfache Anlagen in Betrieben mit wenig komplexen Prozessen in Hinsicht auf die Wärmeversorgung realisiert. Dies zeigt sich sehr deutlich in Abbildung 9 und Abbildung 10 durch die klare Fokussierung auf Fahrzeugreinigung, Trocknungsanwendungen und die Tieraufzucht. Diese Konzentration auf zunächst sehr einfache Anwendungen mit geringeren technischen Herausforderungen bei der Realisierung entspricht jedoch den Erwartungen in Bezug auf ein neues Anwendungsfeld.

Der Fokus des Marktes für solare Prozesswärme in Deutschland liegt bisher bei den „low hanging fruits“ in kleinen Unternehmen sowie der Land- und Forstwirtschaft, was sich in der prozentualen Verteilung der antragstellenden Unternehmen widerspiegelt. Diese Konzentration auf einfache Anwendungen und familiengeführte Unternehmen bzw. Kleinstunternehmen mit nur einer Entscheidungsebene ist typisch für einen sich am Anfang der Entwicklung befindlichen Markt.

3. Technische Aspekte

3.1. Kollektoren solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland

Bezogen auf den Anteil der verwendeten Kollektortypen weicht das Anwendungsfeld solare Prozesswärme deutlich vom Gesamtmarkt ab, auf dem FK rund 90 % der Kollektorfläche ausmachen [4]. Wie Abbildung 11 zeigt, ist bei den solaren Prozesswärmeanlagen dagegen nur jeder zweite m² ein FK. VR- bzw. CPC-Kollektoren stellen 27 % der Fläche, LK 23 %. Da in 2012 nur der Zeitraum von Ende August bis Ende Dezember berücksichtigt werden kann und in dieser Zeit nur 6 Anträge mit insgesamt 176 m² Kollektorfläche bewilligt wurden, ist dieses Tortendiagramm nur bedingt aussagekräftig.

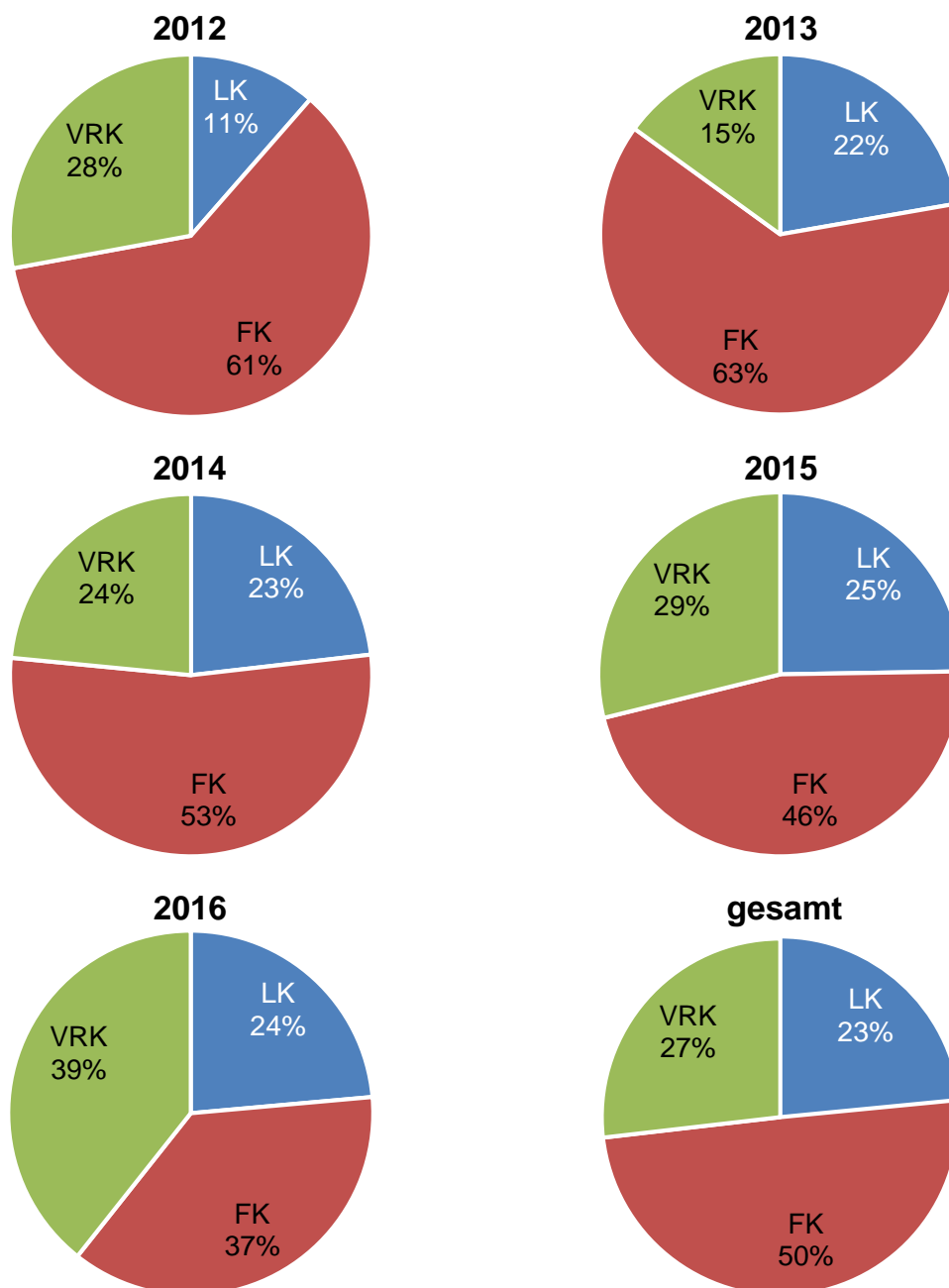


Abbildung 11: Entwicklung des Marktanteils verschiedener Kollektortechnologien für solare Prozesswärmeanlagen in Deutschland von August 2012 bis Dezember 2016 auf Basis bewilligter Kollektorflächen

Von Anfang 2013 bis Ende 2016 lässt sich ein kontinuierlicher jährlicher Anstieg des Anteils von VR- bzw. CPC-Kollektoren von 15 % in 2013 auf bis zu 39 % in 2016 erkennen. Der Anteil der LK-Anlagen blieb in dem gleichen Zeitraum nahezu unverändert bei rund 25 %, wodurch der anfangs sehr hohe FK-Anteil von mehr als 60 % auf 37 % in 2016 zurückging. In 2016 trat erstmals der Fall auf, dass mehr VR bzw. CPC-Kollektoren installiert wurden als FK.

Eine Trennung nach Anlagen, die von BAFA bzw. KfW bewilligt und größtenteils auch schon gefördert wurden, findet sich in Tabelle 5 im Anhang. Hier sind deutliche Unterschiede in Bezug auf die verwendeten Kollektoren zu erkennen. Besonders auffällig ist der niedrige Anteil von FK-Anlagen, die bei der KfW beantragt wurden. Hier liegt der Anteil der LK-Anlagen bei knapp 54 %, der von VR- und CPC-Anlagen etwas über 34 %.

Eine Übersicht dazu, welche Kollektortypen zu welchem Anteil bezogen auf Anlagenzahl und Kollektorfläche in den verschiedenen Größenklassen zum Einsatz kommen, gibt Abbildung 12. Der innere Kreis zeigt immer den Anteil bezogen auf die Anzahl bewilligter Anträge, der äußere Kreis zeigt den Anteil bezogen auf die zugehörige Kollektorfläche. Hier wird sehr deutlich ersichtlich, dass vor allem LK, aber auch VR- bzw. CPC-Kollektoren für größere Anlagen eingesetzt werden, FK jedoch hauptsächlich für kleine Anlagen genutzt werden. Gleichzeitig wurde jedoch die mit 960 m² bislang größte Anlage mit FK realisiert. Die Größte Anlage mit LK hat eine Größe von 510 m², bei VR- bzw. CPC-Kollektoren sind es 600 m².

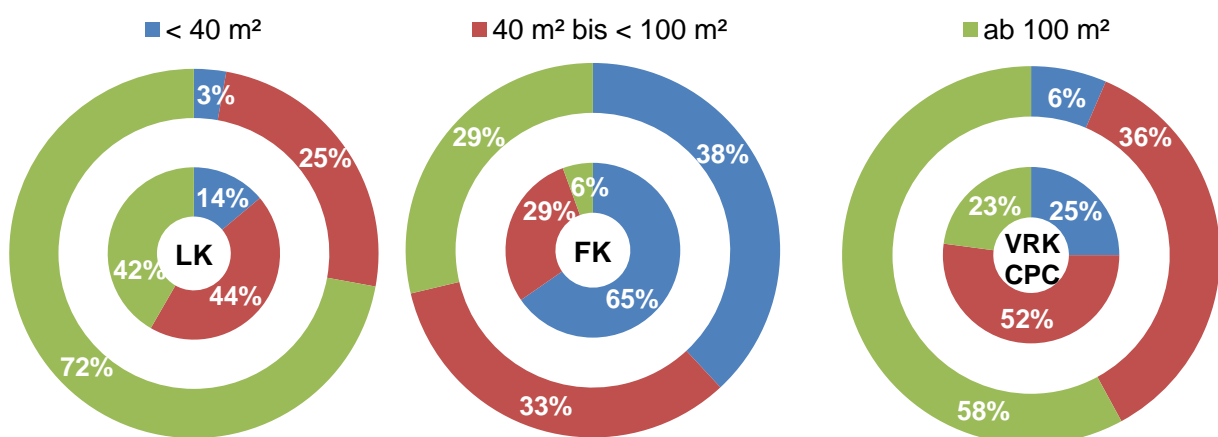


Abbildung 12: Anteil der Kollektortypen an den drei Größenklassen nach Anzahl bewilligter Anträge (innerer Kreis) und entsprechender Kollektorfläche (äußerer Kreis)

3.2. Übersicht Temperaturbereiche

Die meisten Anlagen werden dezentral auf Prozessebene installiert und können sowohl zum Vorwärmen als auch zum alleinigen Beheizen der jeweiligen Wärmesenke genutzt werden. Hierbei erhitzen einige Anlagen direkt Kaltwasser, andere heizen abgekühlte Rückläufe der Wärmesenke auf. Die Minimaltemperaturen, die die solaren Prozesswärmeeinheiten erreichen müssen, um das jeweilige Prozessmedium vorwärmen zu können, liegen häufig in einem sehr niedrigen Temperaturbereich zwischen 20 °C und 40 °C. Aber auch in dem Bereich von 40 °C bis 60 °C für die Minimaltemperatur finden sich viele Anlagen. Einige Anlagen müssen bis zu 80 °C bereitstellen können, bevor eine Wärmelieferung an die jeweilige Wärmesenke erfolgen kann. Bei den Zieltemperaturen die nötig sind, um die jeweilige Wärmesenke auf Solltemperatur aufheizen zu können, ohne dass der konventionelle Wärmeerzeuger nachheizen muss, liegt der Großteil im Bereich von 40 °C bis 60 °C, aber auch in dem Bereich 60 °C bis 80 °C

findet sich die Zieltemperatur vieler Anlagen. Nur wenige müssen bis zu 100 °C erreichen, damit der konventionelle Kessel (für die jeweilige Wärmesenke) ausgeschaltet bleiben kann. Über die Zieltemperatur hinausgehende Temperaturen werden im Regelfall für spätere Wärmebedarfe gespeichert, d.h. dass auch höhere Temperaturen - im Regelfall bis knapp unterhalb von 100 °C - in den Anlagen mit niedrigen Zieltemperaturen auftreten.

Abbildung 13 zeigt eine Stichprobe von 87 Anlagen (2/3 FK, 1/3 VR- bzw. CPC-Kollektoren) mit dem jeweiligen Temperaturbereich zwischen Minimal- und Zieltemperatur, wobei es einige Anlagen gibt, bei denen dieser Bereich sehr klein ist, oder sogar die Minimal- auch gleichzeitig der Zieltemperatur entspricht. Eine Anlage sticht mit einer sehr hohen Zieltemperatur von 130 °C hervor, wobei es sich um eine Trocknungsanwendung mit Vakuumröhren-Luftkollektoren handelt.

Luftkollektoranlagen zur Trocknung von Biomasse sind nicht in der Abbildung enthalten, da diese in Abhängigkeit der Außentemperatur geregelt werden, wodurch Minimal- und Zieltemperaturen sehr stark variieren. Im Regelfall gibt es nur Grenzen um ein Unterschreiten des Gefrierpunktes, eine Degradation durch zu hohe Temperaturen (Heu, Getreide) oder das Entzünden des Trockengutes (Hackschnitzel) ausschließen zu können.

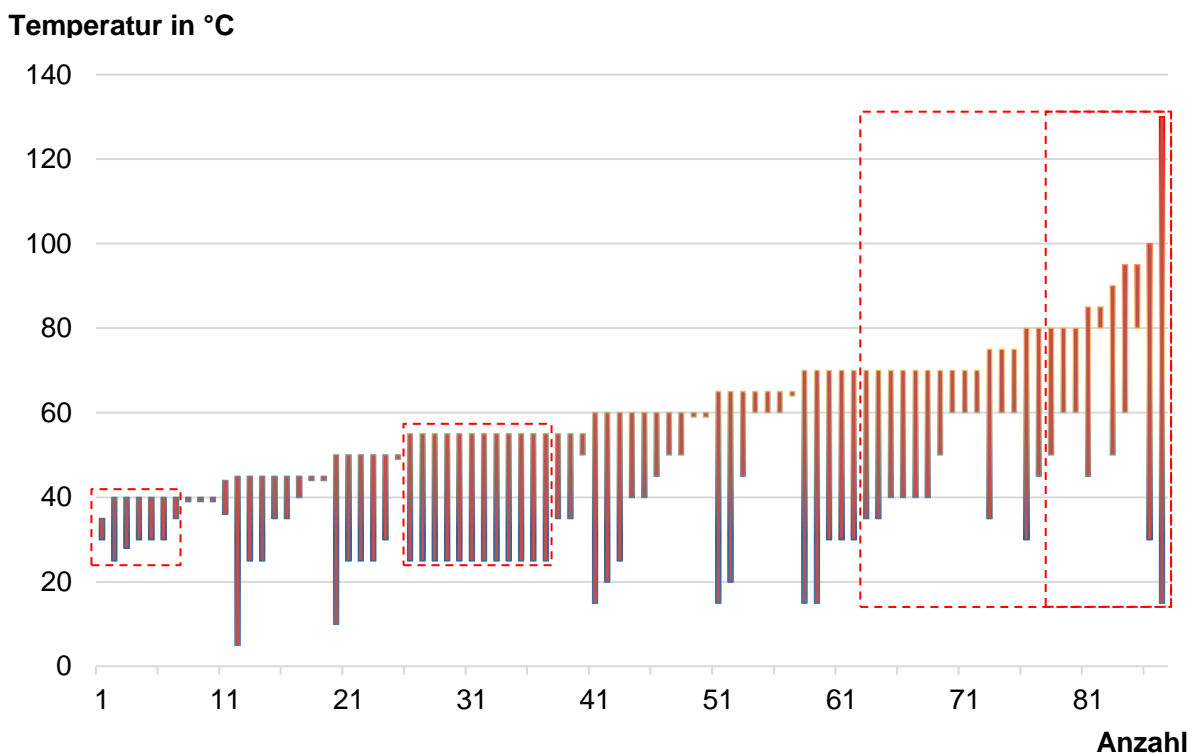


Abbildung 13: Minimal- und Zieltemperaturen solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland

Besonders hervorzuheben sind drei Bereiche. Die linke Markierung, die die sieben Anlagen mit den niedrigsten Temperaturanforderungen umfasst, beinhaltet überraschend drei Anlagen mit VRK. Eine für eine Fischzucht, zwei für die Ferkelaufzucht. Da FK in diesem Temperaturbereich höhere Wirkungsgrade erzielen und die verwendeten VRK auch nicht durch einen besonders niedrigen Komponentenpreis auffallen, hätte eine besser an die Temperaturen angepasste Kollektorwahl zu niedrigeren Wärmegegestehungskosten führen können. Alle in dieser ersten Markierung enthaltenen Anlagen werden zur Aufzucht von Tieren verwendet.

Der zweite markierte Bereich ist sehr auffällig, da alle 12 enthaltenen Anlagen über dieselbe Minimal- und Zieltemperatur verfügen. Darüber hinaus werden alle Anlagen mit FK betrieben und für die PKW Reinigung in SB-Waschboxen genutzt. Hieran lässt sich sehr gut die Standardisierung des Anwendungsfeldes erkennen. Weitere Informationen zu standardisierten Anwendungen sind in Abschnitt 3.4 zu finden.

Hinter der dritten Markierung, die 25 Anlagen umfasst zeigt, stehen 17 Anlagen mit VR- bzw. CPC-Kollektoren, zwei davon mit Luft als Wärmeträgermedium, nur knapp ein Drittel der hier abgebildeten Wärmesenken werden mit FK beheizt. Dies zeigt, dass die Wahl eines an die Temperatur angepassten Kollektortyps im Bereich der höheren Temperaturanforderungen gut funktioniert. Dies wird noch deutlicher, wenn man sich die letzten zehn Anwendungen anschaut, von denen acht mit VR- bzw. CPC-Kollektoren realisiert wurden - zwei davon mit Vakuumröhren-Luftkollektoren - und nur zwei Anlagen mit FK betrieben werden.

3.3. Dimensionierung und Performance

Bei den bewilligten Prozesswärmeanlagen besteht im Mittel pro Quadratmeter Kollektorfläche ein Wärmebedarf der Senke von 1,77 MWh/a, wobei erhebliche Schwankungen auftreten (96 auswertbare Anträge). Bei Hackguttrocknungen liegt dieser Wert bei rund 0,6 MWh/(m²·a), was einer solaren Deckung von 100 % bei dieser Sonderanwendung entspricht und geht hoch auf bis zu 9,8 MWh/(m²·a) für eine Ferkelaufzucht, was letztendlich auch einer sehr niedrigen projektierten solaren Deckungsrate von knapp 5,5 % entspricht.

Bezogen auf das spezifische Speichervolumen ergeben sich im Mittel der 158 auswertbaren Anträge knapp 80 l/m² Kollektorfläche (speicherlose Anlagen nicht berücksichtigt), wobei auch hier die Streuung sehr hoch ist. Während bei den meisten Hackguttrocknungen komplett auf die Speicherung verzichtet wird, wurde der Speicher bei einer Geflügelzuchtanlage mit 333 l/m² sehr groß dimensioniert, was die Vermutung nahelegt, dass der Speicher parallel für einen oder mehrere zusätzliche Wärmeerzeuger genutzt wird. Diese starke Streuung der spezifischen Auslegungsfaktoren lässt sich auch bei der Betrachtung einzelner Anwendungsfelder wiederfinden. So schwankt bspw. die spezifische Last der Wärmesenke bei der PKW Reinigung – einem relativ stark standardisierten Anwendungsfeld - in einem Bereich von 0,6 bis 4,7 MWh/(m²·a) bei einem Mittelwert von rund 1,5 MWh/(m²·a) und einem spezifischen Speichervolumen von 15 l/m² bis hin zu 250 l/m² (Mittelwert von 65 l/m²).

Die mittleren projektierten spezifischen solaren Erträge von 530 kWh/(m²·a) - hier Solarkreis-ertrag, da für kleine Anlagen kein Nutzwärmeertrag vorliegt - liegen bedingt durch die relativ simplen Anlagen mit im Mittel geringen Temperaturanforderungen (vgl. Abbildung 13) recht hoch. Dabei ergeben sich Unterschiede zwischen den Kollektortypen. Die höchsten spezifischen Erträge werden entsprechend den Planungsunterlagen mit LK-Anlagen erreicht (685 kWh/(m²·a)), gefolgt von FK-Anlagen mit 470 kWh/(m²·a). Für Systeme mit VR- bzw. CPC-Kollektoren wurden im Mittel 520 kWh/(m²·a) projektiert. Hierbei ist zu beachten, dass sich alle Werte auf die Bruttokollektorfläche beziehen. Grundlage der Auswertung sind 34 Anlagen mit LK, 179 mit FK und 48 mit VR- bzw. CPC-Kollektoren. Abbildung 14 zeigt eine kollektortypunabhängige Verteilung der solaren Prozesswärmeanlagen nach ihren spezifischen solaren Erträgen, aufgeteilt auf zehn Ertragsbereiche.

Anzahl Anlagen

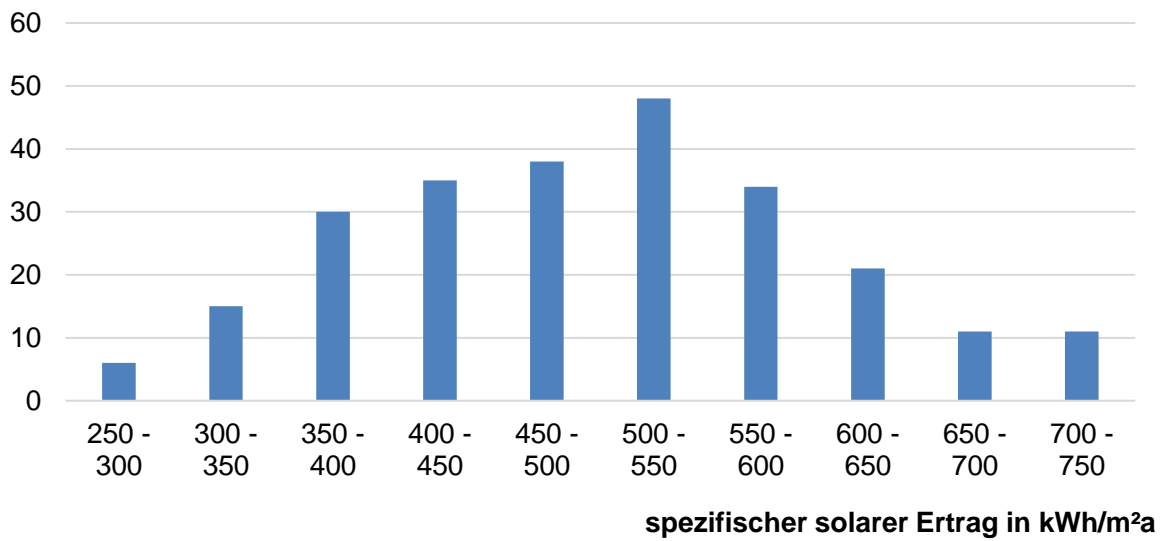


Abbildung 14: Projektierte spezifische solare Erträge solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland auf Basis von 249 Anträgen

Für die Darstellung der projizierten solaren Deckungsraten entsprechend Abbildung 15 konnten 91 Anträge eindeutig ausgewertet werden. Während nur wenige solare Prozesswärmeanlagen eine solare Deckungsrate im Bereich von nur bis zu 10 % erreichen liegt der Schwerpunkt der Verteilung mit gut 50 % der Anlagen im Bereich von > 10 % bis hin zu 40 % solarer Deckungsrate. Die Anlagen mit einer Deckung von mehr als 80 % bis hin zu 100 % sind nahezu ausschließlich Hackgutttrocknungsanlagen sowie eine Tierfuttermitteltrocknung. In dem Bereich von > 50 % bis 80 % findet sich eine große Bandbreite von Anwendungen wie Funktionssprüfungen, Hackgutttrocknungen, Waschanlagen, Spül- und Waschmaschinen, die Reinigung von Produktionseinrichtungen sowie eine Wäscherei.

Anteil Anlagen

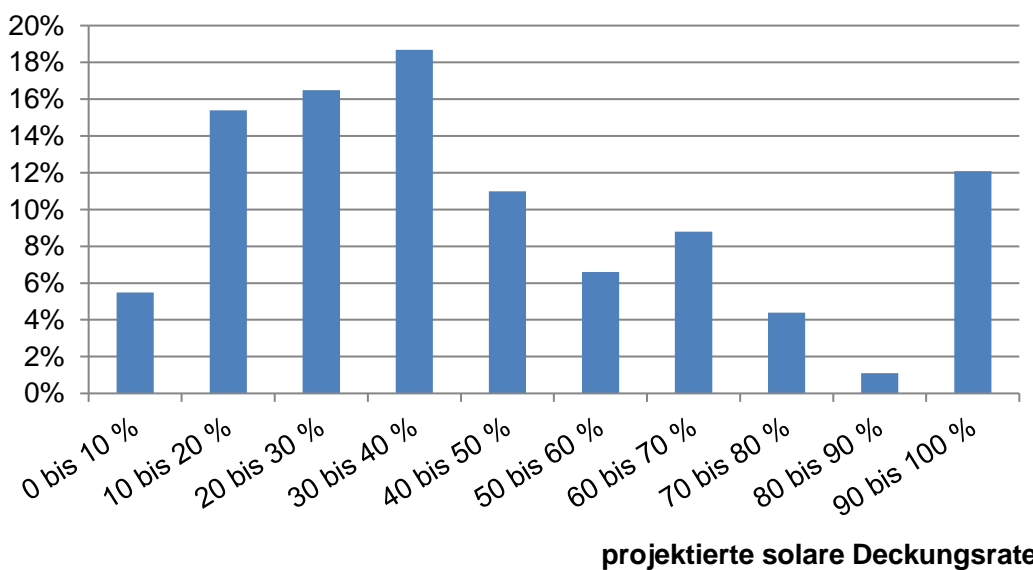


Abbildung 15: Verteilung der projizierten solaren Deckungsraten solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland auf Basis von 91 Anträgen

Bei dieser Auswertung ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch die Vielzahl an Hackguttrocknungen und PKW-Reinigungsboxen überdurchschnittlich viele Anlagen mit einer saisonalen Prägung des Energiebedarfes vertreten sind, bei denen relativ einfach eine vergleichsweise hohe Deckungsrate erzielbar ist.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die seit der MAP Novelle 2012 recht einfache Systeme mit niedrigen Temperaturanforderungen und einem teils mit dem Strahlungsangebot korrelierenden Wärmebedarf realisiert werden, wodurch sich hohe spezifische Erträge und relativ hohe solare Deckungsraten ergeben. Es ist jedoch auch ersichtlich, dass sich in Bezug auf Auslegungsgrößen selbst für standardisierte solare Prozesswärmesysteme einzelner Anwendungsgebiete keine Orientierungsgrößen zur Auslegung ableiten lassen. Für die starke Variation der Auslegungswerte in einzelnen Anwendungsbereichen, sowie anwendungsübergreifend kann es mehrere Gründe geben:

- Stark variierende Bedingungen vor Ort, speziell bezogen auf ein begrenztes Angebot verfügbarer Flächen für das Kollektorfeld und ggf. vorhandene und nutzbare Speicher
- Sehr unterschiedlicher Erfahrungsstand der jeweiligen Planer, woraus sich unterschiedliche ggf. auch nur erfahrungsbasierte Auslegungswerte ergeben
- Stark projektbezogene individuelle Rahmenbedingungen, die die Auslegung der jeweiligen Solaranlage beeinflussen
- Unterschiedliche Vorgaben des jeweiligen Unternehmens, wie bspw. maximale Investitionskosten, Vorgabe der solaren Deckungsrate oder angestrebter Wärmepreis

3.4. Standardisierte Anwendungsfelder

In den drei größten Anwendungsgebieten, der Fahrzeugreinigung, der Trocknung und der Tieraufzucht, haben sich für drei spezielle Anwendungen standardisierte Anlagenkonzepte entwickelt, die teilweise auch von einzelnen spezialisierten Anbietern in den Markt gebracht werden. Dies ist bei der Reinigung von PKWs (vor allem in SB-Waschboxen), bei der Ferkelaufzucht sowie bei der Hackschnitzeltrocknung der Fall. Hier haben sich Standardsysteme entwickelt, die hauptsächlich entsprechend der Last skaliert werden.

SB-Waschboxen für PKW

Bei der Reinigung von PKW werden im Regelfall zwei Wärmesenken bedient. Zum einen ist dies die Erwärmung des Reinigungswassers, zum anderen wird an sonnigen Wintertagen eine Eisfreihaltung für die Reinigungsplätze betrieben, um Eisbildung und damit Sturzgefahr für Kunden zu verhindern. Die Systeme ähneln sehr stark größeren Anlagen im Mehrfamilienhausbereich. Die Solarwärme wird in einen Pufferspeicher eingebracht, der im oberen Teil durch einen konventionellen Wärmeerzeuger nachgeheizt wird. Für die Erwärmung des Reinigungswassers wird bei Bedarf heißes Wasser aus dem oberen Teil des Pufferspeichers entnommen, um das noch kalte Frischwasser zur Reinigung über eine Frischwasserstation auf die Zieltemperatur zu erwärmen. Das abgekühlte Heizungswasser aus dem Puffer wird wieder in den unteren Speicherteil eingebracht. Für die zweite Wärmesenke, die Eisfreihaltung, die einer Fußbodenheizung gleichkommt, wird Heizungswasser bei ca. 1/3 der Höhe des Pufferspeichers entnommen, um über einen Wärmeübertrager das Fluid im Eisfreihaltungskreis (Glykol-Wasser-Gemisch) zu erwärmen. Das abgekühlte Heizungswasser wird unten in den Puffer zurückgeführt. Abbildung 16 zeigt ein vereinfachtes Schema einer solaren Prozesswärmanlage für SB-Waschboxen.

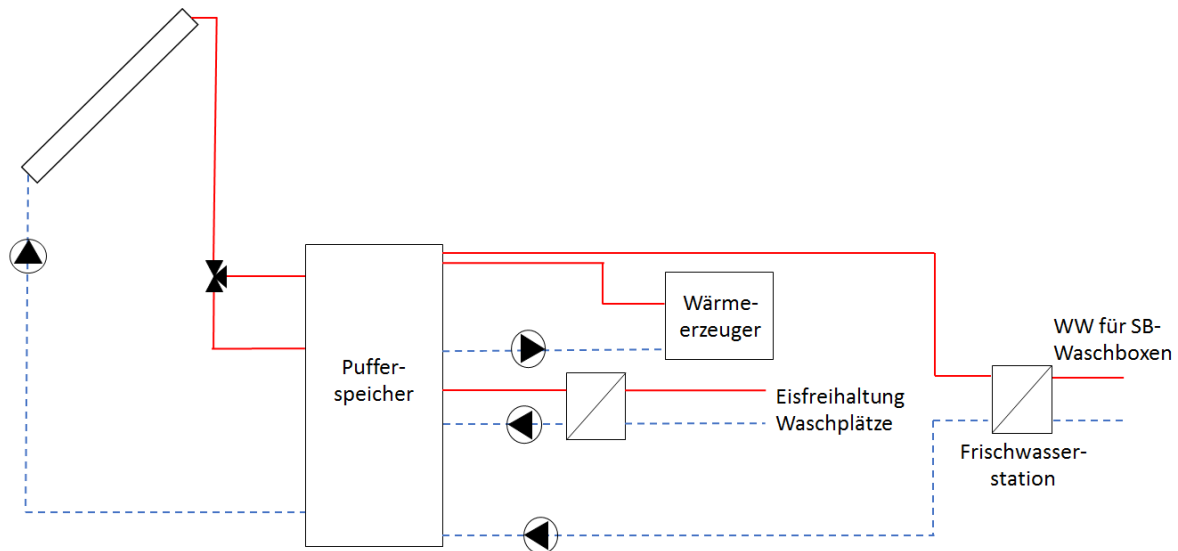


Abbildung 16: Typisches Anlagenschema einer solaren Prozesswärmanlage zur Reinigung von PKW an SB-Waschboxen mit Eisfreihaltung

Im Mittel haben die Anlagen zur PKW Reinigung eine Größe von gut 60 m², wobei die größte Anlage knapp 600 m² Kollektorfläche hat, die kleinste nur 20 m². Bezogen auf den Kollektor werden überwiegend Flachkollektoren genutzt, was bei den niedrigen Zieltemperaturen von im Regelfall 55 °C bis 60 °C zu erwarten war. Allerdings sind auch ca. 1/3 der Flächen für diesen Anwendungsbereich VR- bzw. CPC-Kollektoren. LK kommen nicht zum Einsatz. Die spezifischen Investitionskosten (netto, ohne Förderung) liegen im Mittel bei 900 €/m², wovon knapp 65 €/m² für die Anbindung an die beiden Wärmesenken benötigt werden.

Ferkelaufzucht

Die Anlagen für die Beheizung der sogenannten Abferkelplätze kommen partiellen Fußbodenheizungssystemen gleich, die jedoch ganzjährig betrieben werden. Die solar erzeugte Wärme wird in den Puffer eingebracht und von dort aus bei ausreichend hoher Temperatur in die beheizten Bodenplatten eingebracht. Als Zieltemperatur werden hierfür nur 40 °C bis 45 °C benötigt, um eine Bodentemperatur der Abferkelplätze von gut 30 °C zu erreichen. Abbildung 17 zeigt ein vereinfachtes Anlagenschema einer solchen Anlage. In einigen Fällen wird die Nachheizung nicht durch das Beimischen von konventionell erwärmtem Heizungswasser realisiert, sondern durch einem dem Speicher nachgeschalteten Durchlauferhitzer.

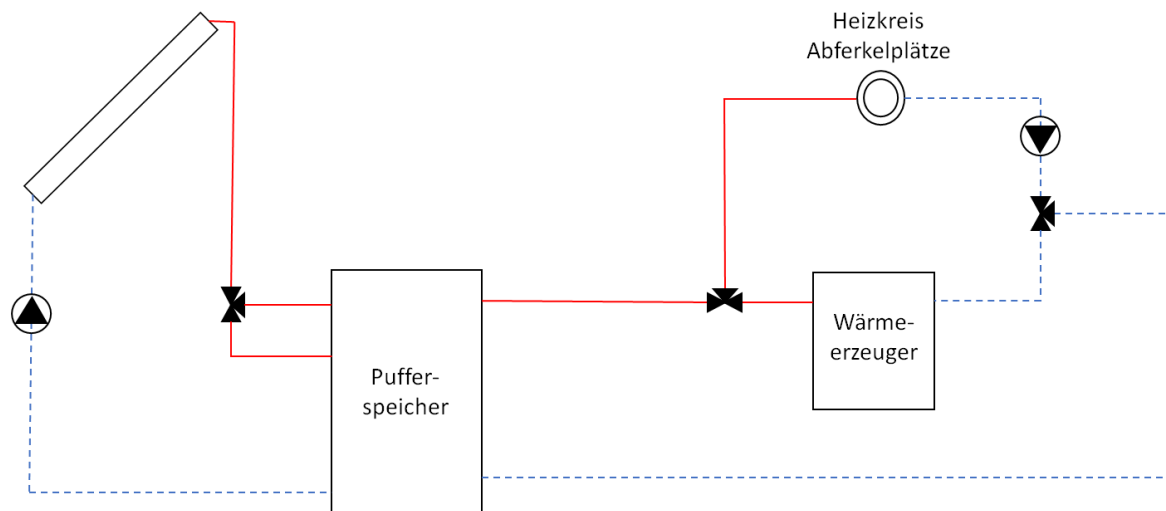


Abbildung 17: Typisches Anlagenschema einer solaren Prozesswärmanlage zur Aufzucht von Ferkeln

Für diese spezielle Anwendung werden aufgrund der sehr geringen Temperaturanforderungen fast ausschließlich FK verwendet. Lediglich 11 % der Planer greifen auf andere Kollektortypen zurück. Diese Art der Anlagen ist im Mittel mit 39 m² installierter Kollektorfläche sehr klein, wobei die Bandbreite zwischen 20 und knapp 100 m² liegt. Die Systemkosten liegen mit rund 750 €/m² (netto, ohne Förderung) und damit etwas unterhalb denen von SB-Reinigungsanlagen für PKW. Zur Wärmesenkenanbindung werden durchschnittlich ca. 50 €/m² benötigt.

Hackgutrocknung

Für die aktive Trocknung von Hackgutschnitzeln zur energetischen Nutzung wird erwärmte Luft durch Gitterböden von unten durch das aufgeschüttete Trockengut geblasen. Durch die aktive Trocknung entstehen mehrere Vorteile. Gefälltes Holz kann direkt ohne Zwischenlagerung gehackt und in die Trocknung gebracht werden, durch die homogene Trocknung entsteht ein lagerfähiger Brennstoff, der nicht verrottet oder schimmelt und durch den geringeren Wassergehalt ergibt sich ein geringeres Transportgewicht bei gleichzeitig steigendem Heizwert der Hackschnitzel. Darüber hinaus erhält man aus derselben Ausgangsmenge an fechten Hackschnitzeln mehr Trockengut verglichen mit der passiven Trocknung, da Verrottungsprozesse während der Trocknung selbst weitgehend unterbunden werden. Abbildung 18 zeigt ein typisches Anlagenschema einer solarthermisch beheizten Hackgutrocknung.

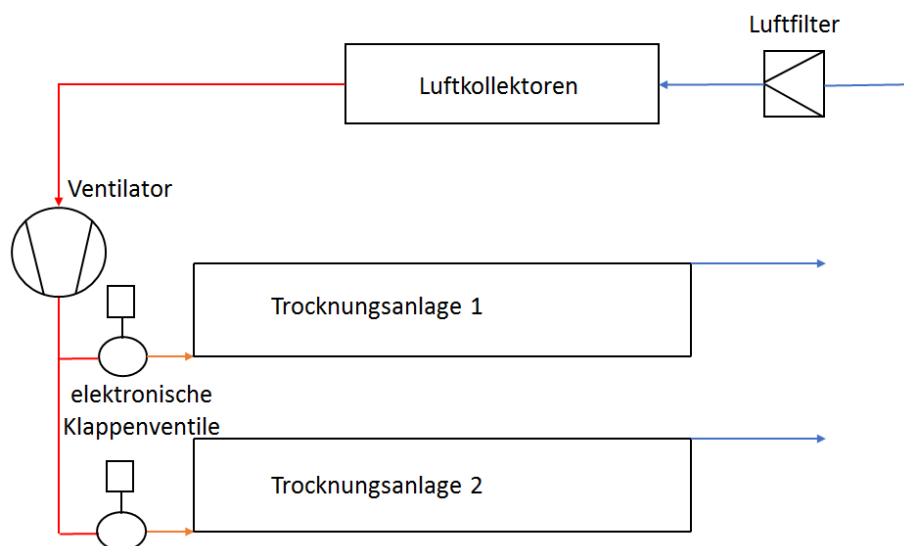


Abbildung 18: Typisches Anlagenschema einer solaren Prozesswärmanlage aktiven zur Trocknung von Holz hackschnitzeln

Bei diesen Systemen wird Umgebungsluft mittels eines hinter dem Kollektorfeld installierten Ventilators eingesaugt und zunächst durch einen Filter gereinigt bevor sie durch das Kollektorfeld strömt. Dort erhitzt sich die Luft, wodurch die relative Feuchte deutlich absinkt. Die erhitzte Luft wird dann durch Belüftungsböden von unten durch das Trockengut geblasen. Bei zu hohen Temperaturen nach dem Kollektorfeld (meist bei > 60 °C) wird ein hinter dem Ventilator installiertes Klappenventil stückweise geöffnet, wodurch Außenluft beigemischt wird, um die Temperatur wieder auf die gewünschte Temperatur abzusenken. Nutzbar sind nahezu alle erzielbaren Temperaturen oberhalb der Umgebungstemperatur, meist mit der Einschränkung, dass die Anlage nicht unterhalb des Gefrierpunktes betrieben wird. Für das beschriebene Anlagenkonzept kommen ausschließlich Luftkollektoren zum Einsatz. Da es aber auch Einzelfälle gibt, bei denen die Wärme zur Trocknung über ein wassergeführtes System (Flächenheizsysteme) eingebracht wird, wurden auch 4 % der Anlagen zur Hackschnitzeltrocknung mit FK

oder VR- bzw. CPC-Kollektoren realisiert. Die Anlagen zur Trocknung von Hackschnitzeln sind mit durchschnittlich 125 m² Kollektorfläche relativ groß und sind auf Grund der verwendeten Komponenten verglichen mit den anderen beiden großen Anwendungsfällen mit rund 520 €/m² relativ günstig, wobei mit gut 65 €/m² ein nicht zu vernachlässigender Anteil auf die Anbindung an die Wärmesenke entfällt.

3.5. Fehlerpotentiale und Fehlervermeidung

Die Analyse der eingehenden Anträge zeigte, dass die Qualität der Antragsunterlagen in den meisten Fällen als positiv zu bewerten ist. Es fielen nur wenige Mängel auf, die zumeist durch eine Rückmeldung an die Antragsteller darauffolgende kleinere Anpassungen noch behoben werden konnten, wobei die meisten Planer sehr offen und positiv auf Anmerkungen zur Anpassung reagiert haben. Häufig aufgetretene Probleme bezogen sich im Wesentlichen auf die Realisierung des benötigten Speichervolumens, das Verständnis des Begriffes Nutzwärmeertrag und dessen Erfassung, sowie in einigen Fällen auf die Wahl des Kollektors.

Bei der Realisierung des benötigten Speichervolumens wurde in der Vorplanung mehrfach auf die Verschaltung mehrerer sehr kleiner Speicher (0,5 m³ bzw. 1 m³) zurückgegriffen (im Extremfall 14 Stück). Dies ist bedenklich, da bereits viele negative Praxiserfahrungen mit verschalteten Speichervolumina (vor allem parallel, aber auch seriell) im Rahmen von Langzeitüberwachungen publiziert wurden und generell die Installation eines einzelnen großen Speichers empfohlen wird [5], [6]. Diese Verschaltung mehrerer Speicher hatte in den meisten Fällen nichts mit örtlichen Restriktionen zu tun, sondern basierte auf dem Standardangebot des Lieferanten. Im Rahmen der Förderung solarer Prozesswärmeanlagen wurde in diesen Fällen die Empfehlung ausgesprochen, nach Möglichkeit einen einzelnen Speicher zu nutzen, jedoch nicht mehr als drei, möglichst seriell verbundene Speicher, zu installieren. In Ausnahmefällen, aufgrund nachweislicher Einschränkungen örtlicher Gegebenheiten, wurden auch bis zu vier Speicher bewilligt.

Bei der Analyse der Antragsunterlagen wurde außerdem ersichtlich, dass häufig das Verständnis für die solare Nutzwärme, also die tatsächlich an die Wärmesenke gelieferte solare Wärme, fehlt. Der Nutzwärmeertrag wurde in vielen Fällen mit dem Solarkreisertrag gleichgesetzt, also die Wärme, welche in den Speicher eingebracht wird. Dadurch würden Speicherverluste als Nutzenergie für den Anlagenbetreiber bilanziert, wodurch die tatsächlich genutzte solare Prozesswärme überschätzt wird. Dementsprechend waren zumeist auch die Messkonzepte zur Erfassung des Nutzwärmeertrages unbrauchbar und mussten im Rahmen der Antragsprüfung und –bewilligung angepasst werden. Begründete Ausnahmen wurden bei Anlagen zwischen 40 und 100 m² gemacht, wenn der messtechnische Aufwand und damit die Kosten zur Erfassung der realen solaren Nutzwärme deutlich höher gewesen wären, als die Erfassung des Solarkreisertrages.

Bei einigen Anwendungen wurden zudem nicht die am besten geeigneten Kollektortypen gewählt. So wurden bspw. effiziente und teure VRK für Zieltemperaturen unterhalb von 50 °C ausgewählt wie es auch Abbildung 13 zeigt, obwohl günstigere FK in diesem Temperaturbereich einen besseren Wirkungsgrad haben. Eine solche Entscheidung kann u. U. bei der Verwendung eines sehr günstigen VRK (Endkundenpreis) aus ökonomischer Sicht vorteilhaft für den späteren Anlagenbetreiber sein, was in diesen Fällen basierend auf den angegebenen Kollektorkosten jedoch nicht zu erkennen war. Da die Förderung aber technologieoffen und herstellernerneutral gewährt wird, konnte in diesen Fällen lediglich ein Hinweis gegeben werden, dass ein anderer Kollektortyp für den vorgesehenen Anwendungszweck effizienter wäre.

Aus der Kontrolle des Nutzwärmeertrages (NWE) im Rahmen des Begleitvorhabens konnten ebenfalls Erkenntnisse gewonnen werden. Das Konzept hinter der NWE-Kontrolle bestand aus der Anforderung, dass Anlagenbetreiber neu installierter solarer Prozesswärmeanlagen mit einer Kollektorfläche von mindestens 100 m², sofern sie die Förderung nutzen wollten, die Auflage hatten den NWE messtechnisch zu erfassen und jeweils nach einem vollen Betriebsjahr zu übermitteln. Diese Nutzwärmeerträge wurden dann mit den erwarteten Erträgen aus der Planung abgeglichen. Anlagenbetreiber, bei denen auffällige Abweichungen festgestellt werden konnten, wurden mit dem Angebot kontaktiert, unentgeltlich eine Analyse weiterer Messdaten vorzunehmen, sofern weitere Messdaten die dies zulassen aufgezeichnet wurden. Auch wenn bei den meisten Anlagen der simulierte Ertrag und die Realität nahe beieinanderlagen und somit eine hohe Zufriedenheit bei den Anlagenbetreibern bestand, konnten bei einigen Anlagen teils deutliche Abweichungen festgestellt werden. Diese beruhten jedoch nicht immer auf Fehlern bei Planung, Installation oder Betrieb der Anlage, sondern waren bspw. durch einem in der Planungsphase nicht absehbaren außerplanmäßigen langen Betriebsurlaub im Sommer aufgrund voller Produktlager begründet. Bei anderen Anlagen ließen sich jedoch keine ähnlichen Gründe finden, weshalb eine Fehleranalyse angeboten wurde. Die angebotene Analyse wurde jedoch von keinem der Antragsteller in Anspruch genommen, dennoch war die Rückmeldung zur Auswertung sehr positiv, da somit diese Abweichung überhaupt erst auffiel und eine Grundlage zur Kontaktierung des Anlagenplaners zwecks Fehleranalyse ermöglicht wurde. In einem der Fälle war sich der Anlagenbetreiber auch relativ sicher, dass die Last der Wärmesenke überschätzt wurde. Die Verwendung einer überschätzten Last zur Anlagendimensionierung führt zu einer sehr großen Kollektorfläche, die wiederum nicht nutzbare Wärmeüberschüsse im Sommer produziert, wodurch der reale Nutzwärmeertrag deutlich unter dem simulierten und damit erwarteten Ertrag liegt. Abschließend lässt sich zum Konzept der Nutzwärmeertragskontrolle festhalten, dass sie durch das Aufzeigen von Abweichungen vom erwarteten Solarertrag eine wichtige Funktion erfüllt. Andererseits ist das Fehlen von Vorgaben zur Messtechnik sowie die nicht mögliche Kontrolle des korrekten Einbaus einer passend ausgewählten Messtechnik ein Problem, da die erfassten und übermittelten Daten nicht näher spezifizierte Messgenauigkeiten beinhalten.

Auch bei den Anlagenbetreibern der solaren Prozesswärmeanlagen, die einem Monitoring unterzogen wurden, besteht eine hohe Zufriedenheit mit den Anlagen. Doch auch bei diesen Prozesswärmeanlagen konnten einige Probleme identifiziert werden, die auf Mängel bei der Planung und Installation zurückzuführen sind:

Durch eine bei der Planung nicht ausreichend genau ermittelte Spitzenlast der Wärmesenke wurde der Wärmeübertrager zur Wärmesenkenanbindung nicht ausreichend groß dimensioniert, wodurch entgegen der Planung auch bei hohem Temperaturniveau im Solarspeicher nicht die Zieltemperatur des Prozessmediums erreicht werden kann. Einerseits muss dadurch der fossile Kessel immer nachheizen, andererseits wird der Speicher bei Wärmeentnahme weniger als erwartet abgekühlt, wodurch letztendlich auch die Rücklauftemperaturen zum Kollektorfeld höher als nötig sind, was zu Einbußen bei der Effizienz führt.

Durch eine nicht ausreichende Aufbereitung des Pufferspeicherwassers bildeten sich bei einer der Anlagen frühzeitig Ablagerungen auf der Be- und Entladeseite des Speichers, wodurch sich ein deutlicher Abfall der Übertragerleistung einstellte. Somit mussten die Wärmeübertrager ausgebaut und gespült werden.

Für Probleme sorgt ebenfalls das Fehlen von hydraulischen Weichen zum Entkoppeln der unterschiedlichen Versorgungskreise für die Wärmesenken bei einer der Prozesswärmeanlagen.

Zwar ist mit dem installierten Pufferspeicher eine Trennung zwischen Wärmequellen und Wärmesenken gegeben, jedoch entstehen Vermischungen an Verbindungsstellen von den Vor- und Rückläufen der unterschiedlichen Versorgungskreise der Wärmesenken, wodurch ungewollte Durchmischungen sowie Fehlströme im Anlagenbetrieb entstehen. Dies führt unter anderem zu erhöhten Rücklauftemperaturen in den Pufferspeicher, was wiederum die Rücklauftemperaturen für die Solaranlage negativ beeinflusst. Es wäre zu empfehlen gewesen kalte und warme Ströme sauber zu trennen, Durchmischungen zu vermeiden und entsprechend der Temperatur in den Puffer einzubringen.

Ebenfalls traten Probleme durch von der Planung abweichende Pumpen ohne variable Drehzahl auf, wodurch sehr unterschiedliche Kapazitätsströme zwischen Primär- und Sekundärkreisen bestehen. Dies führt unter anderem dazu, dass der Solarkreis nicht ausreichend abgekühlt werden kann und im Betrieb teilweise logarithmische Temperaturdifferenzen von mehr als 20 K entstehen, worunter die Kollektoreffizienz durch erhöhte Rücklauftemperaturen leidet.

Neben den bisher beschriebenen Mängeln, konnte bei Anlagenbesichtigungen mit der mangelhaften oder teilweise fehlenden Isolation von Rohrleitungsabschnitten und Anschlüssen ein weiteres, weit verbreitetes Problem festgestellt werden, das es zu vermeiden gilt.

Insgesamt zeigt sich, dass viele bereits länger bekannte und problemlos vermeidbare Fehler auch in einigen der seit August 2012 neu installierten solaren Prozesswärmeanlagen auftreten. Daher ist es wichtig, dass ein Wissenstransfer mit den Erkenntnissen der messtechnischen Begleitungen großer Solaranlagen und Prozesswärmeanlagen in Planungs- und Installationsbetriebe vorangetrieben wird, um bekannte Fehler bei zukünftigen Neuinstallationen vermeiden zu können.

3.6. Fazit zu technischen Aspekten

Mit der technischen Analyse konnten mehrere interessante Aspekte herausgearbeitet werden. So gibt es bspw. bei dem Anteil verwendeter Kollektoren eine deutliche Abweichung zum Gesamtmarkt. Während VR- und CPC-Kollektoren insgesamt relativ selten installiert werden, ist deren Anteil im Marktsegment solare Prozesswärme von knapp 20 % in 2012 / 2013 auf nahezu 40 % in 2016 gestiegen. Auch zeigt sich, dass LK und VR- bzw. CPC-Kollektoren eher in größeren Anlagen eingesetzt werden, während FK eher für kleine Systeme genutzt wurden. Gleichzeitig wurde die größte zwischen August 2012 und Dezember 2016 installierte solare Prozesswärmeanlage mit Flachkollektoren (Großflächenkollektor) realisiert. Bezogen auf die nötigen Temperaturen, die die solaren Prozesswärmeanlagen bereitstellen müssen, hat sich gezeigt, dass nahezu alle Anlagen auch zur Vorwärmung eines kalten oder abgekühlten Fluidstroms genutzt werden können und, dass rund die Hälfte der Anlage nur Temperaturen von bis zu 60 °C erzielen müssen. Dies ist bedingt durch die häufig recht einfachen Anwendungen, wie die Fahrzeugreinigung und die Ferkelaufzucht, bei denen nur niedrige Temperaturen erforderlich sind. Bei den einfachen, häufig realisierten Anwendungen sind Standardsysteme erkennbar, die nur entsprechend des Wärmebedarfes skaliert werden. Dies gilt für die Hackgutrocknung, die Ferkelaufzucht sowie die PKW-Reinigung. Es konnten aber auch viele andere gut geeignete Anwendungsfelder identifiziert werden, wie das Beheizen von Bädern (bspw. bei Oberflächenveredelungsbetrieben), das Beheizen von Trocknungskammern, der Gemüsebau sowie die Gasvorwärmung in Gasdruckregelanlagen. In Hinblick auf die Analyse der Auslegungswerte hat sich durch die starke Varianz gezeigt, dass auch bei großen Anwendungsfeldern mit vielen Anlagen keine zuverlässigen Bereiche angegeben werden können. Dies lässt sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die stark standortabhängigen Rahmen-

bedingungen zurückführen, die projektspezifische erhoben und bei der Auslegung berücksichtigt werden müssen. Die hohen projektierten solaren Erträge und solaren Deckungsraten lassen sich durch die relativ einfachen Anwendungen mit teils saisonaler Prägung des Wärmebedarfes und den entsprechend Abbildung 13 niedrigen Temperaturanforderungen begründen. Insgesamt sind die Vorplanungen zur Antragstellung als positiv zu bewerten, zumal Antragsteller sehr offen auf Feedback bei kleineren Mängeln reagiert haben. Bemängelte Aspekte wurden bei häufiger in Erscheinung tretenden Planungsfirmen in Folgeaufträgen meist von alleine berücksichtigt. Leider zeigte sich auch, dass viele seit langem bekannte Fehler aus Planung und Installation immer noch in neu installierten Systemen zu finden sind, was dafür spricht, dass auch seit langem im wissenschaftlichen Bereich bekannte und dokumentierte Fehler die Praxis, also Planer und Installationsbetriebe, nicht erreichen. Dies betrifft bspw. Aspekte wie die Realisierung des benötigten Speichervolumens, das möglichst nur aus einem Behälter bestehen sollte, die nicht an den Temperaturbereich angepasste Kollektorstahlwahl, die mangelhafte Datenerhebung bezogen auf Lastprofil und Spitzenlasten sowie Installationsfehler gerade auch in Bezug auf Isolation und Aufbereitung der Fluide (Bsp. Befüllung Pufferspeicher). Deshalb ist es dringend zu empfehlen, dass ein zielgruppenspezifischer Wissenstransfer von der Wissenschaft in die Praxis vorangetrieben wird, um diese Fehler in Zukunft zu vermeiden.

4. Finanzielle Aspekte

4.1. Übersicht der Systemkosten

Die Analyse der spezifischen Nettoinvestitionskosten schlüsselfertiger solarer Prozesswärmeanlagen ohne Förderung zeigt vor allem bei kleinen Anlagen (< 100 m²) eine sehr ausgeprägte Streuung. Aber auch die Kosten großer Anlagen variieren teils erheblich. Wie Abbildung 19 zeigt, lassen sich klare Unterschiede der Anlagenkosten (netto, ohne Förderung) in Abhängigkeit des verwendeten Kollektortyps sowie eine Tendenz sinkender Anlagenkosten mit zunehmender Kollektorfeldgröße feststellen. Die dargestellten Kosten beinhalten die Planung, alle Komponenten und Bauteile inkl. der Wärmesenkenanbindung, Mess- und Regelungstechnik sowie Installation und Inbetriebnahme der Solaranlagen.

spez. Nettoinvestitionskosten in €/m²

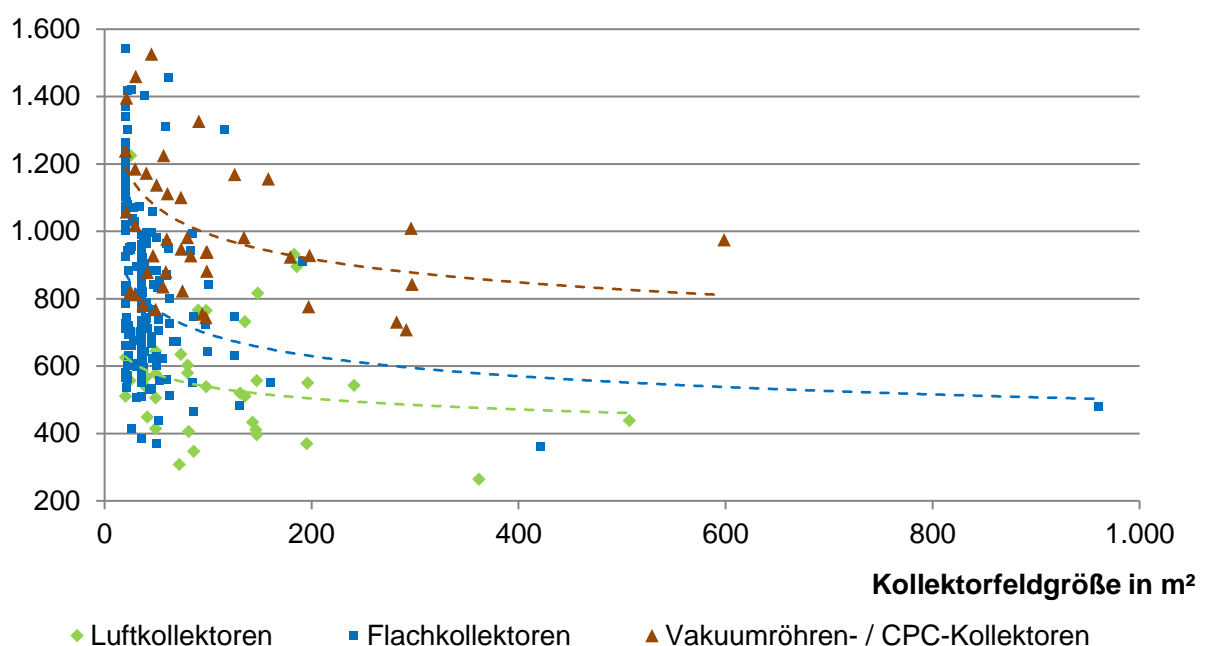


Abbildung 19: spezifische Nettoinvestitionskosten schlüsselfertiger solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland ohne Förderung, Zeitraum August 2012 bis Dezember 2016

Die spezifischen Nettoinvestitionskosten für einen Quadratmeter Kollektorfläche lagen im Zeitraum August 2012 bis Ende 2016 gemittelt über alle Kollektortypen bei knapp 775 €/m² (schlüsselfertige Anlagen in Betrieb genommen, ohne Förderung). Die mittleren Kosten für LK-Anlagen lagen bei 540 €/m², die von FK-Anlagen bei 770 €/m². Für VR- bzw. CPC-Kollektoranlagen mussten durchschnittlich 985 €/m² investiert werden. Die jeweils niedrigsten Investitionskosten für LK-, FK- und VR- bzw. CPC-Kollektoranlagen lagen bei 265 €/m², 365 €/m² und 705 €/m². Die mittleren Investitionskosten schlüsselfertiger Prozesswärmeanlagen aus den Jahren 2012 (ab August) bis 2016 sind aufgeteilt nach Kollektortyp und Fördermittelgeber (BAFA und KfW) im Anhang in Tabelle 6 zu finden.

Bezogen auf die in 2.3 genannten Größenklassen zeigt sich entsprechend Abbildung 20 ein vom Kollektortyp abhängiges Bild. Während Flachkollektoranlagen erst ab 100 m² erkennbar günstiger wurden, trat bei Luftkollektoranlagen bereits ab 40 m² eine deutliche Kostensenkung auf, wobei dann auch bei größeren Anlagen die mittleren Kosten konstant bleiben. Bei Anlagen mit Vakuumröhren- bzw. CPC-Kollektoren war eine konstante Kostenreduktion über die drei

Größenklassen zu erkennen, allerdings von einem sehr hohen Niveau aus. Im Mittel über alle Kollektortechnologien ließ sich über die Jahre eine leichte Kostenreduktion feststellen. Die durchschnittlichen Kosten der Anlagen in Abhängigkeit der Größe über die Projektlaufzeit betragen:

- Anlagen von 20 m² bis weniger als 40 m²: 865 €/m²
- Anlagen von 40 m² bis weniger als 100 m²: 836 €/m²
- Anlagen mit mindestens 100 m²: 699 €/m²

spez. Kosten in €/m²

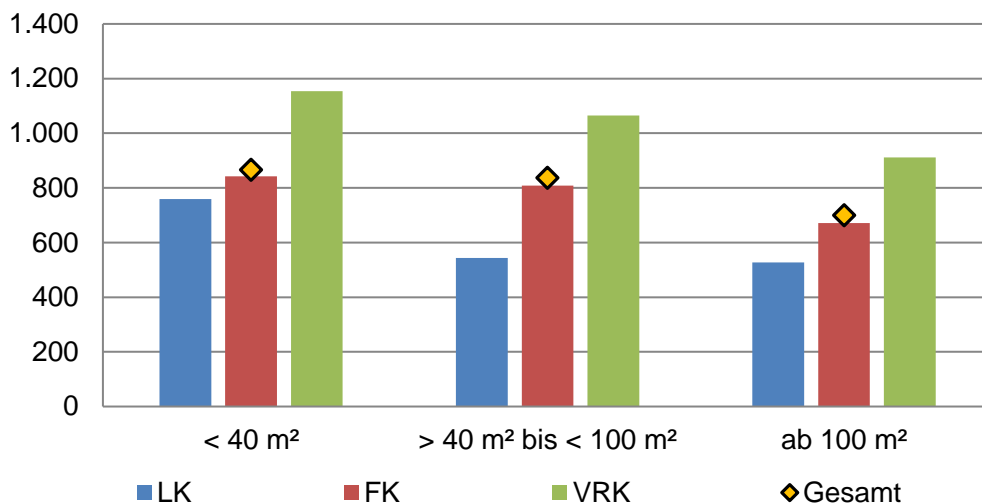


Abbildung 20: Systemkosten schlüsselfertiger solarer Prozesswärmanlagen in Abhängigkeit von Kollektor und Anlagengröße (ohne Förderung)

Erkennbare Unterschiede gab es auch bei den mittleren Kosten im Vergleich zwischen BAFA und KfW. Wie Abbildung 21 zeigt lagen die mittleren Systemkosten bei den von der KfW bewilligten Anlagen durchgängig unterhalb denen, die durch das BAFA bewilligt wurden.

spez. Kosten in €/m²

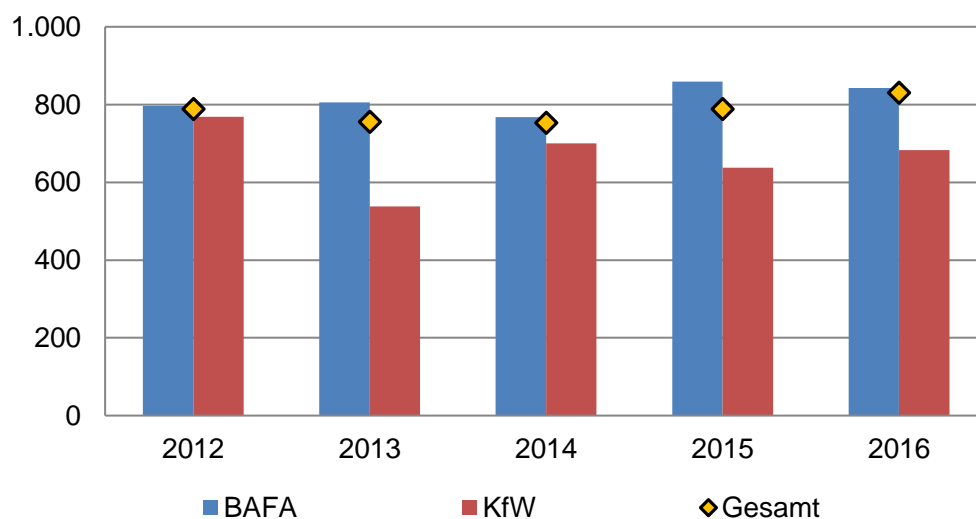


Abbildung 21: Vergleich der spezifischen Systemkosten zwischen beim BAFA und der KfW eingereichten Anträgen im Verlauf der Jahre (ohne Förderung, schlüsselfertig)

Dies lässt sich auf zwei Faktoren zurückführen. Zum einen sind bei der KfW erst Anlagen ab 40 m² Kollektorfläche förderfähig, wodurch die Größenklasse der sehr kleinen und entsprechend Abbildung 20 teureren Anlagen wegfällt, zum anderen gibt es zwischen BAFA und KfW deutliche Unterschiede beim Anteil der bewilligten Kollektoren. Während beim BAFA 60 % der bewilligten Kollektorfläche auf FK und nur 15 % auf LK entfallen, waren bei der KfW nur 12 % der bewilligten Fläche FK und 53,5 % LK-Anlagen. Tabelle 7 im Anhang zeigt die Entwicklung der Anteile der Kollektortechnologien aufgeteilt nach BAFA und KfW über die Jahre 2012 (ab August) bis 2016 mit den im jeweiligen Jahr entstandenen mittleren spezifischen Systemkosten schlüsselfertiger solarer Prozesswärmeanlagen ohne Förderung.

4.2. Kollektortypabhängige Kostenentwicklung

Die in Abbildung 22 dargestellte Entwicklung der spezifischen Systemkosten über den Berichtszeitraum in Abhängigkeit des Kollektortyps lässt sich nur bedingt durch den Vergleich mit der Entwicklung der Anlagengrößen entsprechend der Abbildung 8 erklären. Während die nahezu konstanten Kosten für FK-Anlagen mit der kleinen Kollektorfeldgröße korrelieren, bewegen sich die Kosten für LK-Anlagen unabhängig von der stark gestiegenen Anlagengröße in einem Bereich von 450 €/m² bis 625 €/m². Ähnliches gilt für die VR- und CPC-Kollektoranlagen. Unter Berücksichtigung, dass die spezifischen Kosten in 2013 ohne die zwei teuersten Anlagen (2.100 €/m² und 1.530 €/m²) nur bei 930 €/m² gelegen hätten, kann man sogar trotz der seit 2012 deutlich gestiegenen mittleren Kollektorfeldgröße eine leicht steigende Tendenz der spezifischen Kosten von 770 €/m² in 2012 auf 970 €/m² in 2016 erkennen.

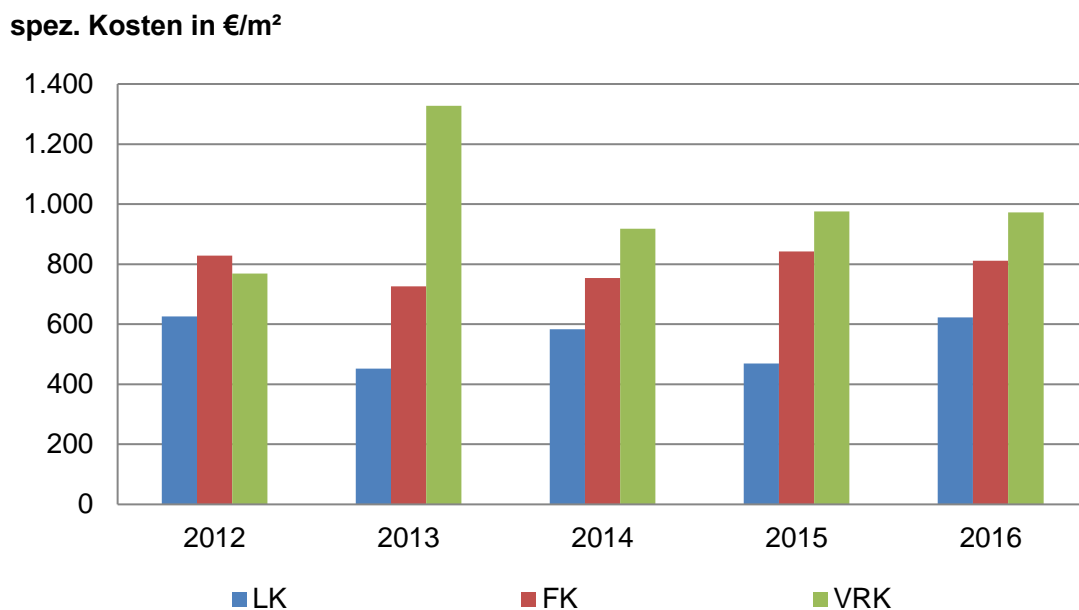


Abbildung 22: Spezifische Systemkosten solarer Prozesswärmeanlagen ohne Förderung zwischen August 2012 und Dezember 2016 in Abhängigkeit der Kollektortechnologie

Die Entwicklung – steigende Kosten bei deutlicher Zunahme der mittleren Anlagengröße – lässt sich bedingt durch den entsprechend Abbildung 11 von 2013 bis 2016 kontinuierlich gestiegenen Anteil an VR- und CPC-Kollektoren bei gleichbleibendem Anteil an LK-Anlagen erklären. Allerdings dürften auch Gewinnmitnahmen durch den fehlenden Wettbewerb zwischen Anbietern im Bereich der solaren Prozesswärme eine Rolle spielen.

4.3. Analyse der Kostenbestandteile

Die Verteilung der Investitionskosten auf die einzelnen Anlagenbestandteile basierend auf 167 Anlagen (davon 149 Anlagen < 100 m²) zeigt, dass sich die solaren Prozesswärmeanlagen nicht wesentlich von Anlagen in anderen Anwendungsfeldern unterscheiden (siehe Abbildung 23).

Die beiden größten Kostenblöcke sind die Kollektoren (36 %) und die Montage der gesamten Solaranlage (16 %) gefolgt von Hydraulikbauteilen (13 %) und der Prozess- bzw. Wärmesensenanbindung (9 %). Etwas weniger fallen die Speicherkosten (8 %) und die Aufständering der Kollektoren (8 %) ins Gewicht. Kosten für Mess- und Regeltechnik, Planung und Sonstiges (zusammen 9 %) haben dagegen keinen großen Einfluss auf die Gesamtkosten. Unterschiede zwischen Anlagen unter 100 m² bzw. Anlagen ab 100 m² Kollektorfläche ergeben sich hauptsächlich beim Anteil der Kollektorkosten (30 % vs. 45 %), sowie bei der Montage, den Hydraulikkomponenten, der Prozessanbindung und den Pufferspeicherkosten.

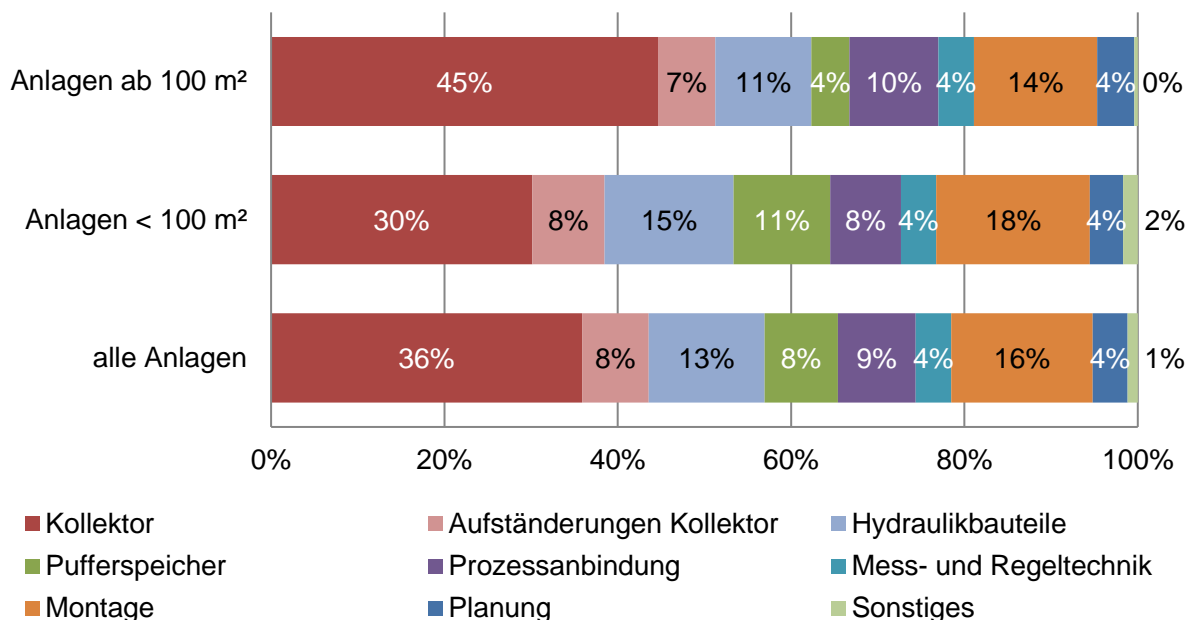


Abbildung 23: Kostenanteile solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland aufgeteilt nach Größen

Interessante Unterschiede ergeben sich in Bezug auf die Kostenbestandteile bei einer Betrachtung in Abhängigkeit des verwendeten Kollektortyps, wie es Abbildung 24 zeigt. Auffällig ist, dass bei VR- bzw. CPC-Kollektoranlagen sowie LK-Anlagen die Kollektorkosten einen größeren Anteil haben, als es bei den FK-Anlagen der Fall ist. Bei VR- bzw. CPC-Kollektoren ist dies durch den höheren Kollektorpreis zu erklären, während die Erklärung bei den Luftkollektoranlagen eher in den verhältnismäßig niedrigen Aufwendungen für die restlichen Komponenten zu finden ist. Der verglichen mit FK und LK nur etwa halb so hohe Anteil bei VR- bzw. CPC-Kollektoranlagen für die Aufständeringe lässt den Schluss zu, dass Röhrenkollektoranlagen seltener aufgeständert werden.

Bezogen auf den Pufferspeicher, die Prozessanbindung, die Mess- und Regelungstechnik sowie Montage, Planung und Sonstiges bestehen kaum Unterschiede bei den Anlagen mit VR- bzw. CPC-Kollektoren bzw. FK. Aus Abbildung 24 wird auch der in nahezu allen Fällen nicht benötigte bzw. verwendete Pufferspeicher bei LK-Anlagen ersichtlich. Lediglich bei einer Anlage werden solare Wärmeüberschüsse auch zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt. Auffällig

ist der prozentual höhere Anteil der Kosten für die Prozessanbindung. Dieser höhere Kostenanteil lässt sich durch den zusätzlich benötigten im Verhältnis relativ teuren Ventilator für die Durchströmung des Kollektorfeldes erklären sowie dadurch, dass Kosten für einen Bypass zur Beimischung von kalter Außenluft, die normalerweise in den Bereich Hydraulik fallen würden (bei LK-Anlagen die Luftkanäle und Klappen) hier zur Prozessanbindung gezählt werden, da dieser die Funktion der Temperaturbegrenzung übernimmt.

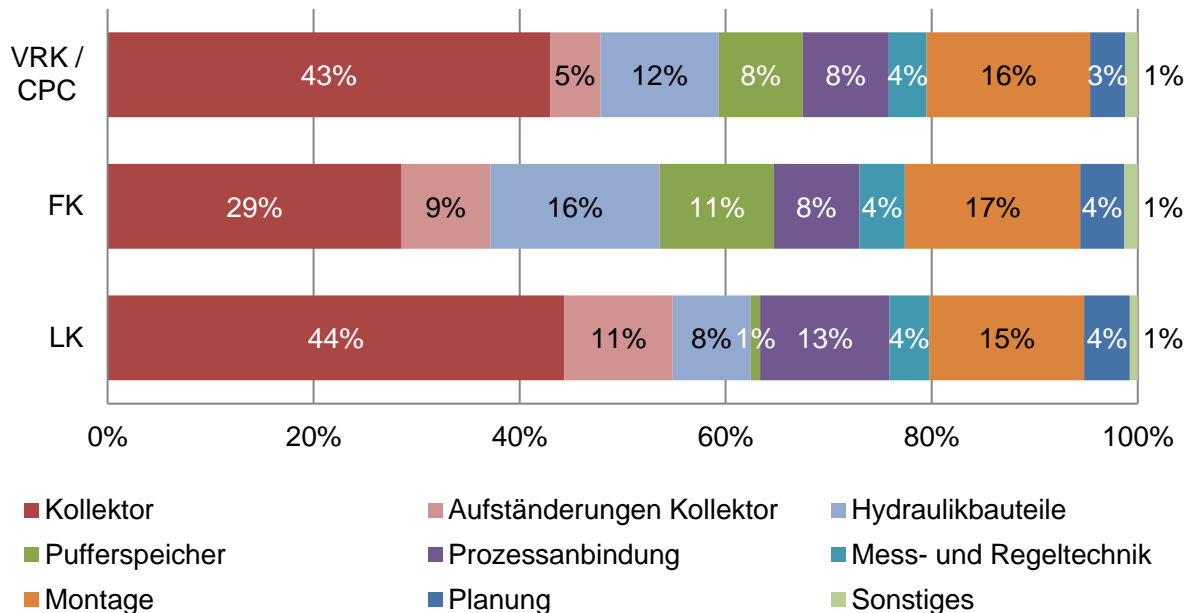


Abbildung 24: Kostenanteile solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland aufgeteilt nach Kollektortyp

In Hinblick auf die Auswertung der spezifischen Anbindungskosten an die Wärmesenke ergibt sich eine sehr breite Streuung, wie es Abbildung 25 zeigt. Bei einem Großteil der Anlagen (70 %) liegen die Anbindungskosten in dem Bereich unter 100 €/m² mit einem Mittelwert aller auswertbaren Anlagen von 85 €/m². Bei gut 5 % der Anlagen lagen die Kosten im Bereich von 100 €/m² bis 200 €/m², nur knapp 5 % der Anlagen liegen darüber.

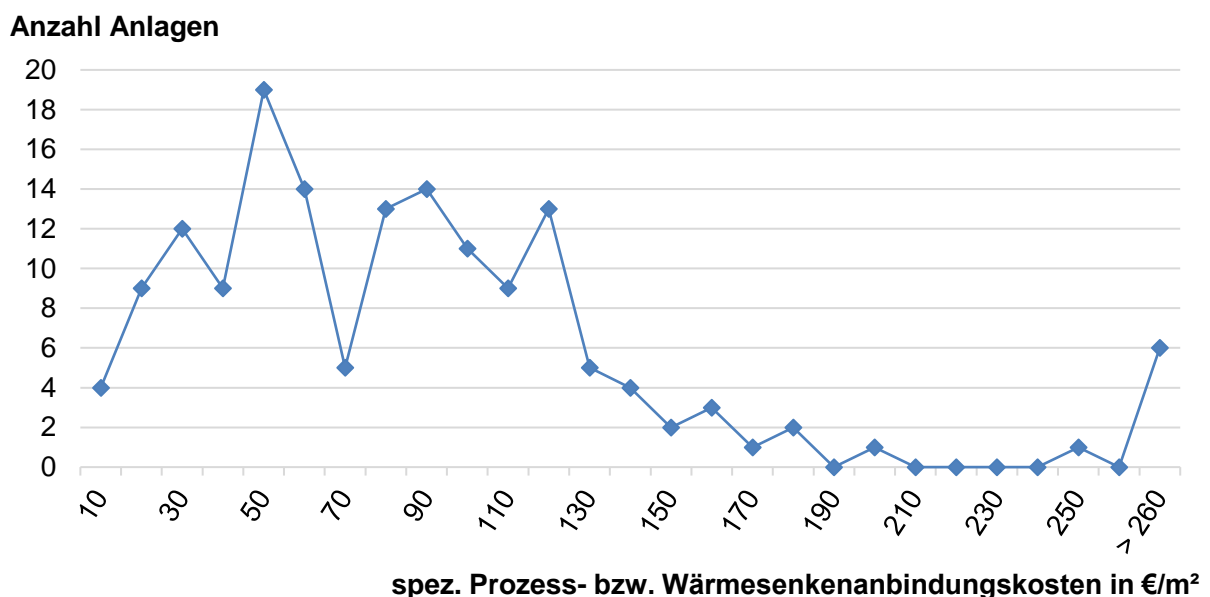


Abbildung 25: Spezifische Anbindungskosten an die Wärmesenke (Stichprobe 157 Anlagen)

Diese verhältnismäßig niedrigen Anbindungskosten, die, wie es Abbildung 23 zeigt, nur knapp 10 % der Gesamtkosten ausmachen, lassen sich auf die oft relativ einfachen Anwendungen zurückführen, deren Anbindung an die Wärmesenke mit einer Frischwasserstation oder Fußbodenheizung im Mehrfamilienhausbereich zu vergleichen ist.

Eine Auswertung, die ebenfalls durchgeführt wurde, ist die Auftragung der spezifischen Investitionskosten in €/m² (netto, ohne Förderung) über den spezifischen Ertrag in kWh/m²a unterschieden nach den Kollektortypen. Hierbei konnten 26 Anlagen mit LK, 36 Anlagen mit FK und 22 Anlagen mit VR- bzw. CPC-Kollektoren berücksichtigt werden. Diese Auswertung ist in Abbildung 26 zu sehen. Auffällig ist, dass sich viele LK-Anlagen im Bereich unten rechts befinden, also einen hohen Ertrag bei niedrigen Kosten liefern, was jedoch aufgrund der Anlagenkonzepte und nutzbaren Temperaturen so zu erwarten war. Festzustellen ist außerdem, dass bei FK und VR- bzw. CPC-Kollektoren keine Tendenz von unten links (niedrige Kosten, niedriger Ertrag) nach oben rechts (hohe Kosten, hoher Ertrag) zu erkennen ist, was bedeutet hätte, dass die Systeme bei höheren Erträgen auch etwas teurer sein dürften. Stattdessen ist eine breite Streuung ohne klare Tendenz zu sehen.

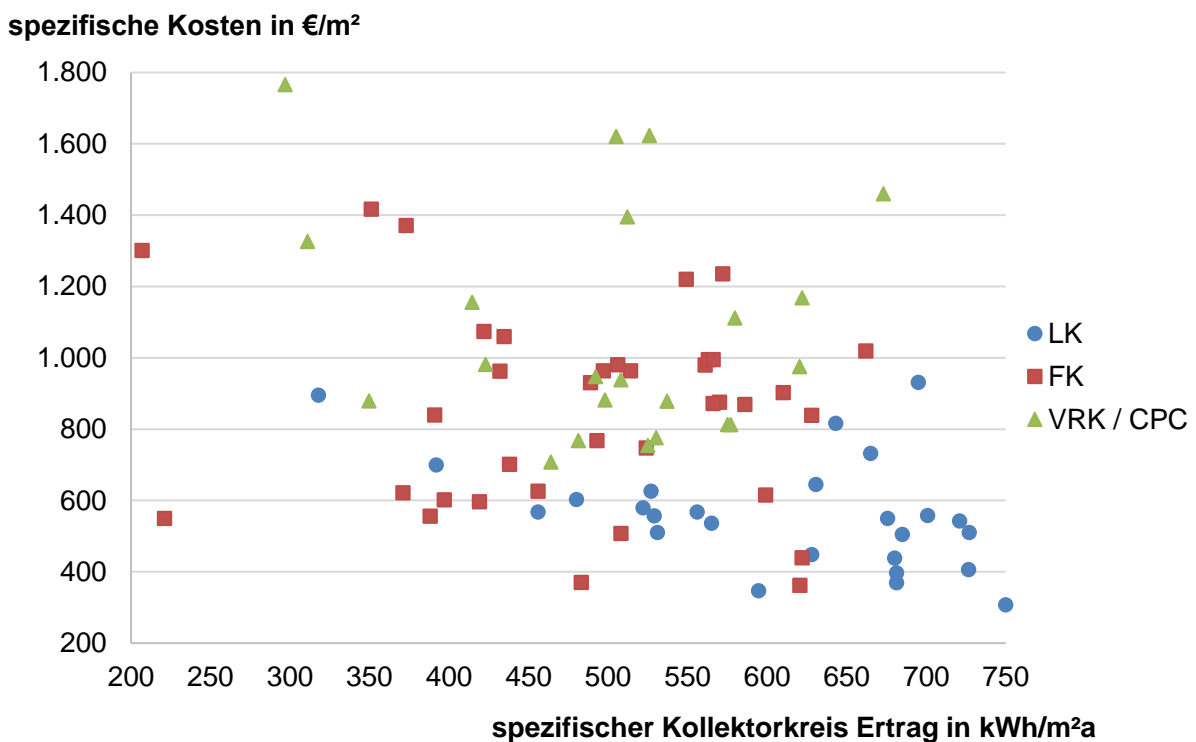


Abbildung 26: Spezifische Kosten schlüsselfertige solarer Prozesswärmeanlagen in Abhängigkeit des spezifischen Ertrages nach Kollektortypen (Stichprobe 106 Anlagen)

4.4. Statische CO₂-Vermeidungskosten

Eine weitere Auswertung, die auf Basis der Antragunterlagen möglich ist, ist die Ermittlung der statischen CO₂-Vermeidungskosten. Dies ist möglich, da die schlüsselfertigen Investitionskosten für die solareren Prozesswärmesysteme inklusive Wärmesenkenanbindung und Inbetriebnahme, der verwendete Referenzenergieträger sowie der erwartete Ertrag der Solaranlage auf Simulationsbasis in den Unterlagen enthalten sind. Somit kann mit Hilfe von in Veröf-

fentlichungen zugänglichen CO₂-Emissionsfaktoren in Kombination mit angenommenen Nutzungsgraden der konventionellen Wärmeversorgungssysteme¹ eine realistische Spannweite der Vermeidungskosten ermittelt werden, wie es Abbildung 27 zeigt.

Bei der Berechnung wurde die derzeitige Förderung von 50 % berücksichtigt, da es gerade bei mittleren und großen Unternehmen entscheidend ist, wie selbst gesetzte, oder ggf. auch politisch vorgegebene CO₂-Reduktionsziele, aus Unternehmerperspektive am kosteneffektivsten erreicht werden können. Die CO₂-Vermeidungskosten können also je nach politischen Vorgaben und gesetzten Unternehmenszielen neben klassischen Kennzahlen eine weitere unternehmerische Entscheidungsgröße für oder gegen eine solare Prozesswärmeanlage sein. Der Strombedarf für Pumpen sowie für die Mess- und Regelungstechnik wurde vernachlässigt, d.h. der CO₂-Faktor für die solare Prozesswärme wurde vereinfacht mit 0 kg/kWh angesetzt. Da die berechneten CO₂-Faktoren abhängig vom für die konventionelle Wärmebereitstellung eingesetzten Energieträger sehr unterschiedlich sind und die Vermeidungskosten mit sinkenden Emissionen des jeweiligen Energieträgers stark ansteigen.

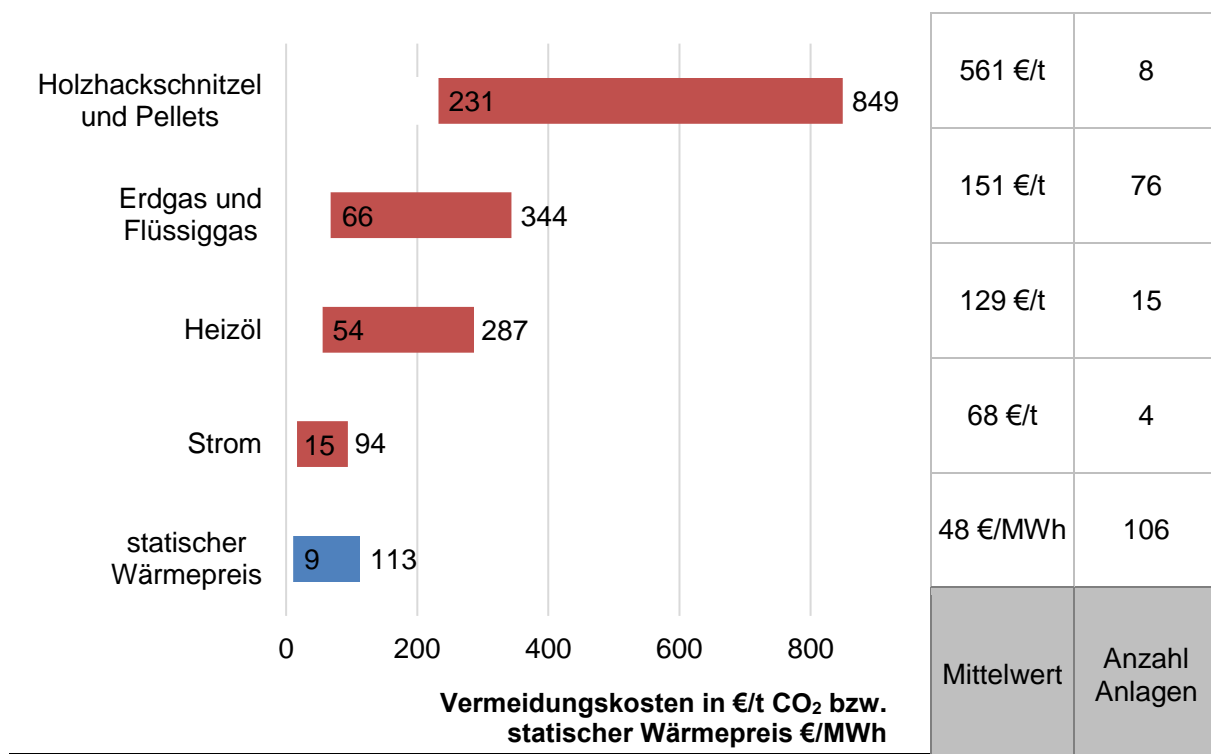


Abbildung 27: Bandbreite der statischen CO₂-Vermeidungskosten in Abhängigkeit des verwendeten konventionellen Energieträgers und statische Wärmegestehungskosten unter Berücksichtigung einer 50 % Förderung über 20 Jahre Betrachtungszeitraum

¹ CO₂-Emissionsfaktoren: Hackschnitzel 0,0621 kg/kWh, Holzpellets 0,0686 kg/kWh, Erdgas 0,2481 kg/kWh, Flüssiggas 0,2749 kg/kWh, Heizöl 0,3144 kg/kWh, Strom 0,6210 kg/kWh [7] [8]

Verwendete Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger: Hackschnitzel und Pellets 0,75; Erdgas, Flüssiggas und Heizöl 0,8; Strom 0,99 (Annahme)

Am unteren Ende ergeben sich Vermeidungskosten von minimal 15 €/t beim Referenzenergeträger Strom, diese steigen auf bis zu 849 €/t bei Holzhackschnitzeln und Pellets an. Um einen vergleichbareren Wert über alle Anlagen zu erhalten, wurden zusätzlich noch die Investitionskosten je MWh Solarertrag (über den Zeitraum von 20 Jahren, statisch) errechnet und in Abbildung 27 eingefügt. Diese statischen Wärmegestehungskosten reichen von 9 bis 113 €/MWh, wobei die sehr niedrigen Wärmegestehungspreise nur bei der Hackschnitzeltrocknung erreicht werden.

4.5. Fazit und Ausblick Kostenentwicklung

Eine wesentliche Erkenntnis aus der Analyse von Kosten und Anwendungen sowie aus Gesprächen mit Planungsfirmen aus dem Bereich der solaren Prozesswärme ist, dass bei gleichen Anwendungen mit vergleichbaren, teilweise sogar baugleichen Komponenten trotzdem erhebliche Kostenunterschiede bestehen, teils bis zu einem Faktor von 3,5. Dies ist einerseits auf einen nahezu nicht vorhandenen Wettbewerb zwischen den Anbietern zurückzuführen, andererseits treten häufig neue Marktakteure in Erscheinung, die mangels Erfahrungen hohe Sicherheitsaufschläge einkalkulieren. Aber auch Anbieter, die sich auf solare Prozesswärme spezialisiert haben, kalkulieren im derzeitigen Marktumfeld häufig mit hohen Aufschlägen, um bei der sehr geringen Marktnachfrage nach solaren Prozesswärmeanlagen die Zeiten zwischen Aufträgen überbrücken zu können. Hinzu kommt eine basierend auf der niedrigen Nachfrage an Komponenten ungünstige Position zur Verhandlung der Einkaufspreise gegenüber Produzenten bzw. Handelspartnern.

Somit sind die im Mittel noch sehr hohen Kosten für die meist relativ einfachen Systeme der solaren Prozesswärmeanlagen zu einem großen Anteil auf den noch sehr kleinen Markt zurückzuführen, wodurch eine in Zukunft noch notwendige Reduktion der Endkundenpreise erst mit einem deutlichen Marktwachstum zu erwarten ist. Dass es aber prinzipiell möglich ist selbst kleine Anlagen (< 100 m²) im derzeitigen Marktumfeld für 600 €/m² und teilweise sogar deutlich darunter anbieten und realisieren zu können, zeigt Abbildung 19. In diesem Zusammenhang muss allerdings festgehalten werden, dass bei Anlagen mit einem deutlich erhöhten Integrationsaufwand, bspw. durch nötige Sonderanfertigungen, Materialvorgaben aufgrund von Hygienevorschriften, Anforderungen an Säurebeständigkeit oder Druckfestigkeit von Komponenten, oder der Anbindung mehrerer Wärmesenken auch höhere Anlagenkosten gerechtfertigt sein können. Bei spezifischen Kosten, die deutlich oberhalb der oben genannten Mittelwerte für Anlagen mit der jeweiligen Kollektorart liegen, ist es potentiellen Investoren aber zu empfehlen, sich Vergleichsangebote einholen.

5. Markthemmnisse und Unterstützung der Markterschließung

5.1. Hemmnisse bei der Markterschließung

Neben dem derzeitigen Haupthemmnis solarer Prozesswärme – den niedrigen Preisen für fossile Energieträger – gibt es eine Reihe zusätzlicher Barrieren, die eine schnellere Markterschließung derzeit ausbremsen.

Prinzipiell fehlt bei sehr vielen potentiellen Anlagenbetreibern das Wissen, das sich thermische Solaranlagen auch in Unternehmen zur teilweisen Deckung des Energiebedarfes gut eignen. Hinzu kommt häufig das fehlende Verständnis dafür, dass solare Prozesswärme nur den Bedarf des konventionellen Energieträgers senkt, nicht aber die benötigte Kesselleistung reduziert. Somit ist eine Aufklärung der Zielgruppe, also Unternehmern aus Industrie und GHD, über die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes solarer Prozesswärme nötig, um Wissen über und das Vertrauen in solare Prozesswärme aufzubauen.

Auch die Realisierung solarer Prozesswärmeanlagen selbst ist derzeit als ein Hemmnis zu sehen. Da es sich um ein neues, derzeit noch relativ kleines Anwendungsfeld handelt, gibt es nur wenig spezialisierte Anbieter für solare Prozesswärmeanlagen. Dies birgt die Gefahr, dass aufgrund mangelnder Kenntnis zum Vorgehen keine ausreichende Datengrundlage für eine angepasste Planung geschaffen wird. Da Anforderungen an die Anlage und Lastprofile der Wärmesenke aber teils deutlich von standardisierten Anwendungsfällen wie Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung abweichen, können bekannte Auslegungsgrößen nicht ohne gründliche Überprüfung angewandt werden. Daher kommt der Datenerhebung und Machbarkeitsabschätzungen im Bereich der solaren Prozesswärme eine besondere Rolle zu. Hinzu kommen Probleme im Bereich der Installation, nicht zuletzt deshalb, da die Anlagen teilweise mit Komponenten aus dem Kleinanlagenbereich installiert werden. Somit ist in dem jungen Markt auch im Bereich der Planung und Installation eine Informationsverbreitung zum Vorgehen, der Datenerfassung und Fehlervermeidung wichtig.

Ein weiteres Problem, das die Markterschließung hemmt, sind die basierend auf dem derzeitigen Marktumfeld (kleiner Markt, kaum Wettbewerb, hohe Aufschläge, schlechte Verhandlungsposition Einkauf) noch relativ hohen Systemkosten, die solare Prozesswärmeanlagen in Verbindung mit den derzeit sehr niedrigen fossilen Energiepreisen wirtschaftlich weniger attraktiv machen (siehe hierzu Abschnitt 4). Auch sind die häufig angewendeten Bewertungsmaßstäbe für solare Prozesswärmeanlagen problematisch, da eine Amortisationszeit von zwei bis drei Jahren kein angemessener Bewertungsmaßstab für eine technische Anlage mit einer Nutzungsdauer von 20 bis 25 Jahren sein kann. Ein Ausweg aus dieser Diskrepanz zwischen wirtschaftlichen Erwartungshaltungen und der Nutzungsdauer solarer Prozesswärmeanlagen kann das Energieliefercontracting bieten, da das Unternehmen bei dieser Geschäftsbeziehung weder in die Anlage investieren muss, noch in den Betrieb eingebunden ist. Das Unternehmen zahlt lediglich einen im Vorfeld vertraglich festgelegten Wärmepreis pro MWh Solarwärme. Somit liegen wirtschaftliche und technische Aspekte des Anlagenbetriebs komplett in der Verantwortung des Contactors. Allerdings muss bei dieser Form der Zusammenarbeit bedacht werden, dass es für ein funktionierendes Geschäftsmodell langfristige Vertragslaufzeiten von 10 Jahren und darüber hinaus benötigt. Allerdings besteht bei diesen Verträgen noch die Möglichkeit die solare Prozesswärmeanlage nach einer Mindestlaufzeit des Contractings (bspw. 3 oder 5 Jahre) für einen Restwert auszulösen, wodurch Betrieb und Besitz von Contactor an das jeweilige Unternehmen übergehen.

Gespräche mit Planern ergaben außerdem, dass gerade bei größeren Unternehmen die Entscheidungsstrukturen teilweise sehr komplex sind, wodurch sich zumindest sehr lange Zeitspannen von mehreren Monaten bis hin zu einem Jahr bis zur Auftragsvergabe ergeben können. Oft treten in der Zwischenzeit jedoch auch andere produktionsspezifische Probleme in den Vordergrund, wodurch die Entscheidung für oder gegen eine solare Prozesswärmeanlage in den Hintergrund rückt.

Generell haben Unternehmensansprachen in Rahmen diverser wissenschaftlicher Vorhaben sowie der Erfahrungsaustausch mit Planern und Installationsfirmen ergeben, dass es eines der größten Probleme ist, an den potentiellen Kunden heranzukommen. Dabei ist es von entscheidender Wichtigkeit den richtigen Ansprechpartner mit ausreichender Motivation ausfindig zu machen, um einen Unterstützer im Unternehmen selbst zu haben, der das Vorhaben voranbringen kann. Dies ist darin begründet, dass in den meisten Betrieben nicht die Energie-, sondern die Rohstoff- und Personalkosten den weitaus größten Anteil an den Produktionskosten ausmachen und daher entscheidend sind, wodurch Energieeffizienzinvestitionen mit längeren Amortisationszeiten sowie Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien für die meisten Entscheider im Unternehmen nicht im Fokus stehen.

5.2. Informationsverbreitung

Um die genannten Hemmnisse zur Markerschließung zu beseitigen bzw. um diese abzubauen, wurden innerhalb des wissenschaftlichen Begleitvorhabens mehrere Informationsveranstaltungen zusammen mit regionalen Handelskammern bzw. mit einer städtischen Organisation sowie ein Planungsworkshop „solare Prozesswärme“ durchgeführt.

Bei den insgesamt sieben Informationsveranstaltungen konnten in Summe 170 Teilnehmer erreicht werden, denen Informationen rund um die solare Prozesswärme in einem dreigeteilten inhaltlichen Aufbau nahegebracht wurde. Die Zielgruppe war breit gestreut und ging von potentiellen Anwendern über Energieberater bis hin zu Anlagenplanern. Der erste Block der Veranstaltungen enthielt Informationen zum Potential, den Anwendungsmöglichkeiten und der Förderung solarer Prozesswärme. Im zweiten Block wurde die Wirtschaftlichkeit dargestellt und anhand von Beispielen aus Industrie und Gewerbe präsentiert. Der dritte Block wurde durch externe Akteure gestaltet, um auch Aspekte aus Sicht der freien Wirtschaft mit in die Veranstaltung einfließen zu lassen. Ziel war das Verbreiten von Informationen über die Möglichkeiten und Grenzen der solaren Prozesswärme, um ein Bewusstsein über das Anwendungsfeld zu schaffen.

Der Workshop, der schwerpunktmäßig für Fachplaner und Installationsbetriebe ausgelegt war, wurde ebenfalls von einer breiten Zielgruppe angenommen. Neben den hauptsächlich angesprochenen Adressaten waren auch Energieberater, Hersteller von Solarkomponenten sowie vereinzelte Teilnehmer aus dem wissenschaftlichen Bereich unter den Teilnehmern. Schwerpunkt war neben einer kurzen Information zum Potential solarer Prozesswärme die Marktübersicht Deutschland mit relevanten Anwendungsfeldern sowie der Erfahrungsaustausch mit Teilnehmern aus der Praxis, um bei Planung und Realisierung auftretende Herausforderungen diskutieren zu können. Zusätzlich wurde anhand eines anonymisierten Fallbeispiels eine Machbarkeitsstudie mit Vorauslegung der thermischen Solaranlage und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, bevor abschließend noch Zeit für die Diskussion offener Fragen und nicht besprochener Problemstellungen bestand. Auch hier wurde als ein wichtiger Aspekt hervorgehoben, dass die Schaffung einer ausreichenden Datengrundlage von entscheidender

Bedeutung für die Planung und die Realisierung einer qualitativ hochwertigen solaren Prozesswärmeanlage ist. Dieser Aspekt der Grundlagenermittlung für die folgenden Planungsstufen wird unter anderem auch in der derzeit in Erstellung befindlichen „VDI 3988 – Solarthermische Prozesswärme“ aufgegriffen und umfassend erläutert.

5.3. VDI 3988 und Informationswebseite

In der VDI Richtlinie 3988 „Solarthermische Prozesswärme“, die derzeit für die Veröffentlichung als Gründruck finalisiert wird, werden alle nötigen Schritte für eine erfolgreiche Projektrealisierung solarer Prozesswärmeanlagen dargelegt. Wichtige Aspekte sind ebenfalls die Machbarkeitsabschätzung, Vorplanung sowie durchgehend die Vermeidung bekannter und typischer Fehler bei der Planung und Realisierung.

Beginnend mit der Grundlagenermittlung, die neben Voraussetzungen für die mögliche Nutzung solarer Prozesswärme das Vorgehen zur Erfassung der energetischen und örtlichen Gegebenheiten für die Entscheidung bezüglich möglicher Integrationspunkte behandelt, werden die unterschiedlichen Planungsstufen der HOAI durchlaufen: Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung und Ausführungsplanung. Zusätzlich werden Hinweise zur Installation, Inbetriebnahme, Abnahme, Instandhaltung und Anlagenüberwachung gegeben. Abschließend gibt es für angrenzende Anwendungsfelder mit deutlichen Überschneidungen mit der solaren Prozesswärme zusätzliche Informationen in Hinsicht auf die jeweiligen Besonderheiten des entsprechenden Anwendungsfeldes.

Auch derzeit gibt es bereits geeignete Hilfsmittel, die die Datenerhebung und eine schnelle Machbarkeitsabschätzung mit anschließender Vorauslegung einer solaren Prozesswärmeanlage unterstützen: Im Rahmen eines Forschungsprojektes entstand der kostenlos zur Verfügung stehende „Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme - Machbarkeitsabschätzung und Vorauslegung solarthermischer Prozesswärmeanlagen“, der auf der Webseite www.sol-food.de heruntergeladen werden kann.

Eine weitere Möglichkeit, um neutrale Informationen über die Technik, Marktentwicklungen, die Wirtschaftlichkeit und Anlagenbeispiele zu bekommen, bietet die Webseite www.solare-prozesswaerme.info. Zusätzlich zu Informationen über potentielle Anwendungen, Integrationsmöglichkeiten, erzielbare Wärmepreise und die Eignung unterschiedlicher Anlagenkomponenten wird derzeit das Verfahren des oben genannten Leitfadens in ein Auslegungstool überführt, das nach einer Testphase ab Sommer 2017 kostenfrei auf der Webseite zur Verfügung gestellt werden soll.

5.4. Ausblick Hemmnisse und Markterschließung

Zurzeit gibt es noch einige Hemmnisse, die die Erschließung des Marktes für solare Prozesswärme nahezu stagnieren lassen. Diese lassen sich in informatorische, technische und ökonomische Aspekte aufteilen.

Das Informationsdefizit bei Unternehmen, Energieberatern und Planern in Bezug auf solare Prozesswärme kann durch Veranstaltungen entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 5.2 adressiert werden, um einerseits die Bekanntheit bei potentiellen Anwendern zu steigern und andererseits vermeidbare Problem bei Planung und Installation zu vermeiden. Obwohl die Evaluation dieser Veranstaltungen seitens der Teilnehmer sehr positiv ausfiel, wäre es sehr zu empfehlen deren notwendige Weiterführung durch zusätzliche Maßnahmen, wie bspw. die

Ansprache des Themenfeldes solare Prozesswärme durch Energieberater in Unternehmen selbst, voranzutreiben.

Die technischen Markthemmnisse, die in aller Regel nicht auf die Technik an sich, sondern auf Planungs- und Installationsmängel zurückzuführen sind, lassen sich nur durch Richtlinien wie die in Erstellung befindliche VDI 3988 und Schulungen für Installationsbetriebe beheben. Dabei ist es wichtig, dass vorhandene Erfahrungen aus dem Monitoring solarthermischer Großanlagen zielgruppenspezifische aufgearbeitet und verbreitet wurden, da viele lange bekannte und vermeidbare Probleme (vgl. Abschnitt 3.5) auch noch in neu installierten Systemen auftreten.

Die ökonomischen Hemmnisse beruhen auf den derzeitigen niedrigen Preisen für fossile Energieträger, die im Mittel hohen Endkundenpreise schlüsselfertiger solarer Prozesswärmeanlagen sowie die oft nur auf kurzlebige Investitionsgüter ausgerichteten Bewertungskriterien für solare Prozesswärme in Unternehmen. Da die Entwicklung der fossilen Energiepreise nicht vorhersagbar ist und eine wie derzeit gegebene sehr starke Abhängigkeit des Zubaus solarthermischer Anlagen von fossilen Energiepreisen vermieden werden sollte, ist es für eine nachhaltige Marktentwicklung von entscheidender Bedeutung, dass sich die Endkundenpreise der Systeme reduzieren. Neben der Optimierung von Systemkonzepten, Neuentwicklungen bzw. Materialverbesserungen auf Komponentenebene und der Senkung von Produktionskosten ist hierzu vor allem die Reduktion der Preisaufschläge in der Vertriebskette von Komponentenherstellern bis zum Endkunden von entscheidender Bedeutung. Gerade für Anwendungsgebiete wie die solare Prozesswärme mit individuellen Systemen wäre der Aufbau eines Direktvertriebs zusammen mit dem Angebot der Planungs- und Installationsleistungen durch spezialisierte Firmen eine denkbare Lösung. Bezogen auf die kurzfristig orientierten unternehmerischen Bewertungskriterien kann das Energieliefercontracting eine Lösung bieten, da das jeweilige Unternehmen somit nicht selbst investieren muss und für den Betrieb kein eigenes Personal aufgewendet werden muss.

Um eine nachhaltige Marktentwicklung zu fördern, wäre es aber auch wichtig, dass seitens der Politik unterstützende Entscheidungen getroffen bzw. Vorgaben gemacht werden. Da die Energiekosten in den meisten Unternehmen verglichen mit dem Personal- und Materialeinsatz nur von untergeordneter Rolle sind, bietet die Förderung der Installation solarer Prozesswärmeanlagen zwar einen zusätzlichen Anreiz, setzt im Regelfall aber trotzdem einen bereits nachhaltig denkenden und motivierten Unternehmer voraus, da sich mit anderen Maßnahmen, bspw. durch Steigerung der Materialeffizienz, im Regelfall höhere monetäre Einsparungen erzielen lassen. Um diese Diskrepanz zwischen politisch gewollten und geförderten Investitionen in erneuerbare Energien bzw. Maßnahmen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes einerseits und der untergeordneten Rolle der Energiekosten in den meisten Unternehmen andererseits zu beseitigen, wären Maßnahmen wie das Einführen einer flächendeckenden CO₂-Steuer oder die Vorgabe von branchenspezifischen Benchmarks bezogen auf die CO₂-Intensität kombiniert mit CO₂-Reduktionszielen wichtig. Nur durch solche oder ähnliche Entscheidungen und Vorgaben lässt es sich erreichen, dass sich Unternehmen aktiv mit der CO₂-Reduktion und damit verbunden dann bspw. auch mit der Installation solarer Prozesswärmeanlagen auseinandersetzen.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Markt für solare Prozesswärme in Deutschland konnte mit der MAP Novelle 2012 von einem im Wesentlichen durch wissenschaftlich begleitete Pilotanlagen geprägten Markt hin zu einem kleinen eigenständigen Markt mit Fokus auf den Sektor GHD entwickeln. Zunächst konnte auch ein langsames aber stetiges Wachstum mit einem breiten Spektrum an Anwendungsgebieten festgestellt werden, wodurch bis Ende 2015 rund 14.450 m² Kollektorfläche bewilligt und 9.425 m² installiert werden. Durch den in 2015 eingesetzten Ölpreisverfall, der eine Wirtschaftlichkeit solarer Prozesswärme erschwert und zu Verunsicherungen bzgl. der zukünftigen Preisentwicklung führt, stagnierte der Markt auf niedrigem Niveau, wodurch die bewilligten und installierten Flächen in 2016 nur noch um 3.250 m² bzw. 3.400 m² zunahmen.

In Hinsicht auf die installierten Anlagen wird der Markt von meist relativ kleinen Anlagen in Kleinunternehmen und Nischenbereichen von Industrie und GHD dominiert. Hierbei werden vor allem Anlagen mit wenig komplexer Anbindung an die Wärmesenken realisiert, was sich auch in der Fokussierung des Marktes auf die Fahrzeugreinigung, Tieraufzucht und Trocknungsanwendungen (LK) zeigt. Allerdings ließ sich über den Zeitraum des Vorhabens eine Tendenz zu größer werdenden Anlagen mit teils komplexeren Anbindungskonzepten feststellen. Dies entspricht den Erwartungen an einen sich gerade erst entwickelnden Markt, dass zunächst Nischenanwendungen und „low hanging fruits“ erschlossen werden.

Regionale Unterschiede konnten vor allem in Bezug auf Bundesländer mit viel Land- und Forstwirtschaft (Bayern, Baden-Württemberg) sowie solche mit regionalen Zusatzförderprogrammen (z.B. progres.nrw: Markteinführung – Solarthermie) zurückgeführt werden, die eine beschleunigte Markterschließung unterstützen.

Die technischen Untersuchungen zeigten, dass es in Bezug auf die verwendeten Kollektortypen eine deutliche Abweichung vom Gesamtmarkt für thermische Solaranlagen gibt, obwohl die meisten Anlagen zur Vorwärmung eingesetzt werden können und die Zieltemperaturen von rund der Hälfte der Anlagen bei bis zu 60 °C liegen. So sind rund 25 % der installierten Flächen VR- bzw. CPC-Kollektoren und nur jeder zweite m² ein FK. In 2016 waren sogar 39 % VR bzw. CPC-Kollektoren und 24 % LK. Auf Basis der Planungsunterlagen zeigten sich vergleichsweise hohe solare Deckungsraten bei gleichzeitig hohen spezifischen solaren Erträgen, was einerseits auf die simplen Anwendungen mit teils saisonaler Prägung zurückzuführen ist, andererseits aber auch auf die niedrigen Temperaturanforderungen.

Standardisierungsbestrebungen konnten in den drei größten Anwendungsgebieten Ferkelaufzucht, Fahrzeugreinigung, Hackschnitzeltrocknung festgestellt werden. In diesen Bereichen haben sich Hydraulikkonzepte gezeigt, die entsprechend des Wärmebedarfes der Wärmesenke skaliert werden. Aber auch darüber hinaus konnten viele Anwendungsbereiche identifiziert werden, die sich sehr gut für den Einsatz solarer Prozesswärme eignen. Hierzu zählen vor allem die Beheizung von Bädern und Trocknungskammern, die Produktion von Bitumenemulsionen für den Straßenbau, die Entfeuchtung von Gewächshäusern im Gemüsebau sowie die Gasdruckregelung.

Trotz der Versuche zur Standardisierung hat es sich anhand der großen Bandbreite von spezifischen Auslegungsfaktoren gezeigt, dass eine gewissenhafte Untersuchung der unternehmensspezifischen Standortbedingungen sehr wichtig ist. Dies zeigte sich auch in Bezug auf Mängel bei der Erhebung der Lastprofile und –spitzen, was in zu großen Anlagen oder falsch dimensionierten Wärmeübertragern resultieren kann.

Bei den durchschnittlichen Kosten hat sich gezeigt, dass diese mit rund 775 €/m² zwar etwas unterhalb der Kosten aus dem Haushaltsbereich liegen, jedoch über den Erwartungen zu Beginn des Vorhabens lagen. Trotz der im Mittel noch relativ hohen Kosten bei einer sehr großen Streuung, werden aber auch Anlagen mit Nettoinvestitionskosten (ohne Förderung) von deutlich unterhalb von 600 €/m² realisiert, was nicht nur die LK-Anlagen betrifft.

Sehr auffällig ist, dass bei gleichen Anwendungen mit vergleichbaren, teils sogar baugleichen Komponenten trotzdem erhebliche Kostenunterschiede bis hin zu einem Faktor von 3,5 bestehen. Gründe hierfür sind der in dem sehr kleinen Markt für solare Prozesswärmeanlagen fehlende Wettbewerb zwischen Anbietern, teils unerfahrene Marktakteure, die Sicherheitszuschläge für mögliche Probleme einkalkulieren müssen sowie schlechte Verhandlungspositionen bzgl. Einkaufskonditionen aufgrund der geringen abgenommenen Mengen. Aber auch spezialisierte Anbieter müssen im derzeitigen Marktumfeld mit Aufschlägen kalkulieren, um die Zeiten zwischen Aufträgen überbrücken zu können. Die in Zukunft noch dringend nötige Reduktion der Endkundenpreise ist aufgrund der beschriebenen Marktbedingungen erst mit einem deutlichen Marktwachstum zu erwarten.

In Bezug auf die Antragsunterlagen ließ sich feststellen, dass diese meist gut sind, jedoch häufig ähnliche Fehler bzw. Mängel auftreten. So werden oft viele kleine Speicher zu einer Speicherbatterie (teils auch parallel) verschaltet, VRK werden für Zieltemperaturen deutlich unter 50 °C verwendet und der Nutzwärmeertrag (NWE) wird oft mit dem Solarkreisenertrag gleichgesetzt, wodurch viele Messtechnikkonzepte unbrauchbar sind und der NWE überschätzt wird. Entsprechende Anmerkungen und Hilfestellungen wurden jedoch sehr positiv von Planungs- und Installationsfirmen aufgenommen.

Neben diesen drei Fehlern lassen sich immer wieder Mängel feststellen, die auf eine unzureichende Datenerhebung für die Anlagendimensionierung oder Installationsmängel zurückzuführen sind und die im Rahmen wissenschaftlicher Projekte bereits untersucht und dokumentiert wurden. Allerdings erreichen diese Erkenntnisse zur Fehlervermeidung oftmals nicht die Praxis. Daher ist ein zielgruppenspezifischer Wissenstransfer notwendig (z.B. für Planer oder Installateure), wozu die in Erstellung befindliche VDI 3988 zu solaren Prozesswärmeanlagen einen wesentlichen Beitrag leisten kann. Allerdings sind weitere Verbreitungsmaßnahmen dringend zu empfehlen.

Als Markthemmnisse konnten neben den niedrigen fossilen Energiepreisen Informationsdefizite bei potentiellen Anwendern, aber auch bei Planern, Energieberatern und Installationsbetrieben festgestellt werden, sowie ein mangelndes Vertrauen in die Technologie. Zusätzlich wirken sich die hohen Endkundenpreise schlüsselfertiger Systeme und die auf Investitionsgüter mit kurzer Nutzungsdauer ausgerichteten unternehmerischen Bewertungsansätze (Bsp. Amortisation) negativ auf die Marktentwicklung aus.

Da Energiekosten in Unternehmen verglichen mit Personal- und Materialkosten zusätzlich meist vergleichsweise gering sind, bedarf es für eine nachhaltige Marktentwicklung auch politische Entscheidungen, die eine Bepreisung von CO₂-Emissionen oder branchenspezifische Reduktionsziele betreffen, um Unternehmen einen Anreiz zu geben Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien in Betracht zu ziehen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Vorhabens (FKZ 03MAP286), dem Projektträger Jülich für die administrative und fachliche Betreuung sowie dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle und der KfW Bankengruppe für die vertrauensvolle und produktive Zusammenarbeit.

Quellenverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014: Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung.
- [2] Lauterbach, C., Schmitt, B., Vajen, K., 2011: Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland. Teil 1 des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben „SOPREN – Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“; Förderkennzeichen: 0329601T.
- [3] Bundesverband Solarwirtschaft e.V., 2012: Fahrplan Solarwärme - Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030.
- [4] Bundesverband Solarwirtschaft e.V., 2017: Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie).
- [5] Peuser et al. (2001): Langzeiterfahrung Solarthermie. Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen, Solarpraxis, Berlin.
- [6] Croy et al. (2011): Solarthermie-2000. Teilprogramm 2 und Solarthermie-2000plus. Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung und Mess-programm (Phase 4). Abschlussbericht zum Projekt 032 9601 Q. Teil 2: Systemtechnik und Planungshinweise.
- [7] Umweltbundesamt (2014): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. Dessau, November 2014.
- [8] Bayrisches Landesamt für Umwelt (2016): Excel-Tabelle zur Berechnung der CO₂-Äquivalent-Emissionen (CO₂-Rechner).
http://www.izu.bayern.de/download/xls/co2-emissionen_berechnung_lfu.xlsx

Alle Auswertungen basieren auf Antragsunterlagen die das BAFA und die KfW Bankengruppe im Rahmen des Projektes „Analyse und Erschließung des Marktes für solare Prozesswärme in Deutschland“ (03MAP286) an das Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik der Universität Kassel zur Analyse weitergeleitet haben. Weiterführende Erkenntnisse konnten durch telefonischen und persönlichen Kontakt zu Anlagenplanern und Installationsfirmen gewonnen werden.

Anhang

Tabelle 1: Übersicht durch BAFA, KfW und insgesamt bewilligte und geförderte Anlagen (m², Anzahl)

			Jahr				
			2012	2013	2014	2015	2016
BAFA	bewilligt	Fläche in m ²	127	2.022	5.174	3.524	3.023
		Anzahl	5	50	78	59	46
	gefördert	Fläche in m ²	0	782	2.985	3.157	2.387
		Anzahl	0	24	63	45	36
KfW	bewilligt	Fläche in m ²	49	463	1.449	1.649	256
		Anzahl	1	5	9	8	2
	gefördert	Fläche in m ²	0	317	951	1.227	1.020
		Anzahl	0	5	8	6	2
BAFA u. KfW	bewilligt	Fläche in m ²	176	2.485	6.623	5.173	3.279
		Anzahl	6	55	87	67	48
	gefördert	Fläche in m ²	0	1.099	3.936	4.383	3.407
		Anzahl	0	29	71	51	38
Summe	bewilligt	Fläche in m ²	176	2.661	9.284	14.457	17.736
		Anzahl	6	61	148	215	263
	gefördert	Fläche in m ²	0	1.099	5.035	9.418	12.825
		Anzahl	0	29	100	151	189

Tabelle 2: Anzahl Anlagen und Kollektorfeldgröße in den drei Anlagengrößenklassen nach BAFA und KfW (August 2012 bis Dezember 2016)

			2012		2013		2014		2015		2016		gesamt	
			Zahl	m ²	Zahl	m ²	Zahl	m ²	Zahl	m ²	Zahl	m ²	Zahl	m ²
BAFA	LK	< 40 m ²	1	20	2	48	1	25	0	0	1	24	5	117
		40 m ² bis < 100 m ²	0	0	1	40	3	160	2	152	4	287	10	639
		ab 100 m ²	0	0	1	136	2	389	2	545	2	266	7	1.335
	FK	< 40 m ²	4	107	30	907	41	1.214	29	760	13	369	117	3.357
		40 m ² bis < 100 m ²	0	0	9	522	18	1.068	15	847	9	445	51	2.882
		ab 100 m ²	0	0	1	131	3	1.252	2	326	3	402	9	2.110
	VRK CPC	< 40 m ²	0	0	3	79	1	20	2	50	6	159	12	308
		40 m ² bis < 100 m ²	0	0	3	161	7	468	5	350	4	341	19	1.320
		ab 100 m ²	0	0	0	0	2	579	2	494	4	730	8	1.803
KfW	LK	40 m ² bis < 100 m ²	0	0	2	135	2	122	2	147	0	0	6	404
		ab 100 m ²	0	0	1	195	3	840	3	436	1	196	8	1.667
	FK	40 m ² bis < 100 m ²	0	0	0	0	0	0	1	46	0	0	1	46
		ab 100 m ²	0	0	0	0	0	0	1	421	0	0	1	421
	VRK CPC	40 m ² bis < 100 m ²	1	49	2	133	2	132	0	0	1	60	6	374
		ab 100 m ²	0	0	0	0	2	355	1	599	0	0	3	954

Tabelle 3: Entwicklung der mittleren Kollektorfeldgrößen nach Kollektortyp unterteilt nach BAFA und KfW

		BAFA		KfW	
		mittlere Kollektorfläche	alle Anlagen	mittlere Kollektorfläche	alle Anlagen
2012	LK	20		0	
	FK	27	25	0	49
	VRK / CPC	0		49	
2013	LK	56		110	
	FK	39	40	0	93
	VRK / CPC	40		67	
2014	LK	96		192	
	FK	57	66	0	161
	VRK / CPC	107		122	
2015	LK	174		117	
	FK	42	60	234	206
	VRK / CPC	99		599	
2016	LK	82		196	
	FK	49	66	0	128
	VRK / CPC	88		60	

Tabelle 4: Übersicht zu Anzahl und Kollektorfläche der Anwendungsfelder solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland von August 2012 bis Dezember 2016 aufgeteilt nach BAFA und KfW

	BAFA		KfW	
	Fläche in m²	Anzahl	Fläche in m²	Anzahl
Fahrzeugreinigung	4.225	81	933	4
Trocknung	2.468	27	2.071	14
Tieraufzucht	2.661	68	174	3
Pflanzenzucht	1.112	4	0	0
ind. Spül- und Waschmaschinen	633	13	0	0
Reinigung Produktion / Produkte	512	11	0	0
Lackbearbeitung	214	3	207	2
Gasdruckregelanlagen	0	0	421	1
Fleischverarbeitung	348	10	0	0
Milchproduktion / Verarbeitung	347	4	0	0
Galvanik	297	1	0	0
Pharma- / Kosmetikprodukte	223	2	0	0
Produkttest	158	3	60	1
Bitumenproduktion	191	1	0	0
Wäscherei	151	3	0	0
Lebensmittelproduktion	124	3	0	0
Futterproduktion	106	3	0	0
Lederherstellung	99	1	0	0

Tabelle 5: Entwicklung der jährlichen Gesamtfläche und des prozentualen Anteils der Kollektortypen aufgeteilt nach BAFA und KfW

		BAFA		KfW	
		Fläche in m ²	Anteil	Fläche in m ²	Anteil
2012	LK	20	16%	0	0%
	FK	107	84%	0	0%
	VRK / CPC	0	0%	49	100%
2013	LK	223	11%	330	71%
	FK	1.559	77%	0	0%
	VRK / CPC	240	12%	133	29%
2014	LK	574	11%	962	66%
	FK	3.533	68%	0	0%
	VRK / CPC	1.067	21%	487	34%
2015	LK	697	20%	583	35%
	FK	1.934	55%	467	28%
	VRK / CPC	894	25%	599	36%
2016	LK	577	19%	196	76%
	FK	1.216	40%	0	0%
	VRK / CPC	1.229	41%	60	24%

Tabelle 6: Entwicklung mittlerer spezifischer Systemkosten solarer Prozesswärmeanlagen in Deutschland ohne Förderung aufgeteilt nach Kollektortyp und Fördermittelgeber

	mittlere spez. Systemkosten in €/m ²					
	BAFA			KfW		
	LK	FK	VRK / CPC	LK	FK	VRK / CPC
2012	626	828	-	-	-	769
2013	554	726	1.554	384	-	918
2014	651	754	875	543	-	1.011
2015	481	941	977	454	432	975
2016	647	812	966	550	-	1.112

Tabelle 7: Mittlere spezifische Systemkosten solarer Prozesswärmeanlagen aufgetragen nach Jahr und Fördermittelgeber zusammen mit Überblick über Anteile der Kollektortypen

		Anteil LK	Anteil FK	Anteil VRK / CPC	mittlere spez. Kosten in €/m ²
BAFA	2012	16%	84%	0%	796
	2013	11%	77%	12%	805
	2014	11%	68%	21%	767
	2015	20%	55%	25%	859
	2016	19%	40%	41%	843
KfW	2012	0%	0%	100%	769
	2013	71%	0%	29%	538
	2014	66%	0%	34%	700
	2015	35%	28%	36%	637
	2016	76%	0%	24%	683