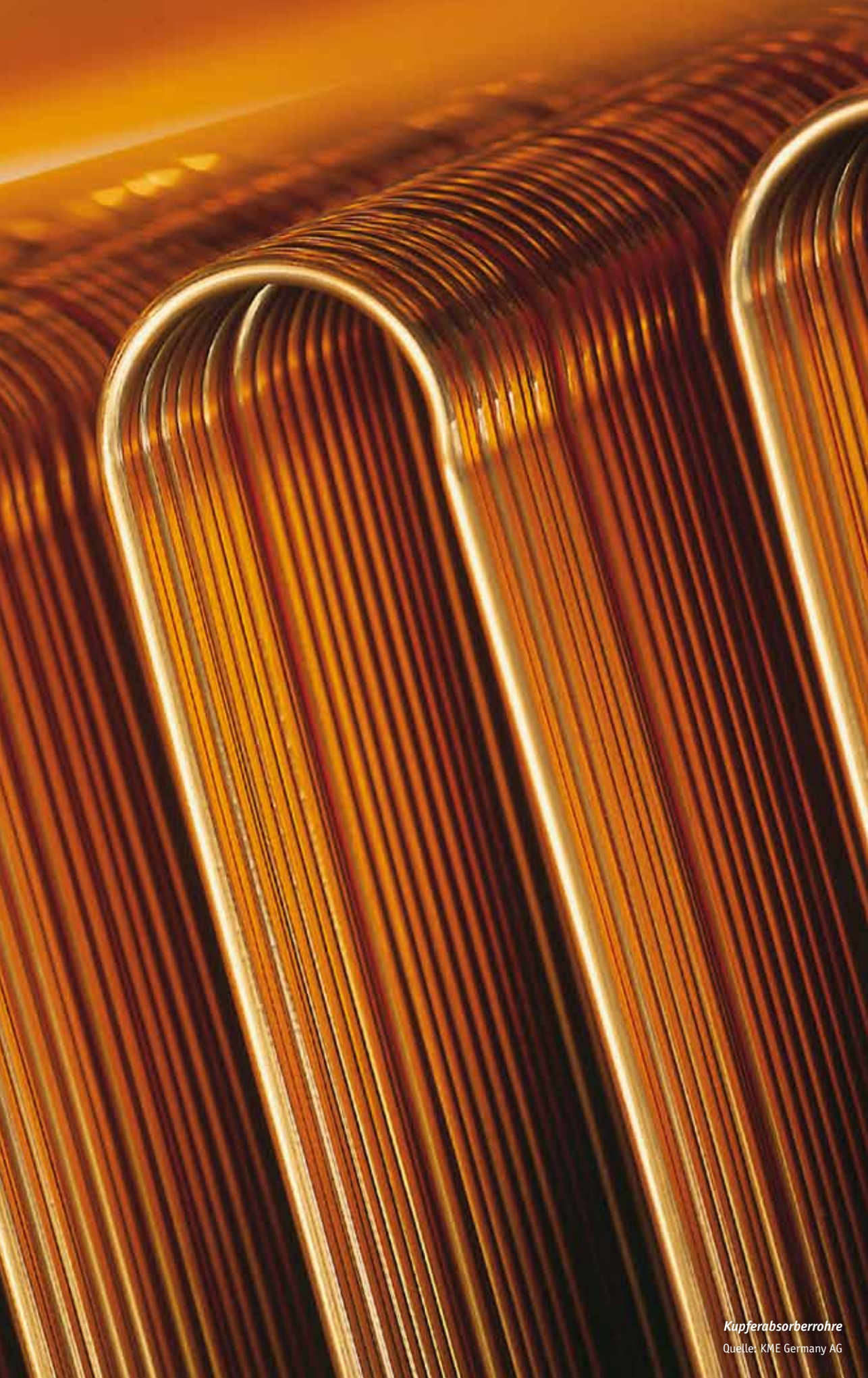


Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030

für eine nachhaltige
Wärme- und Kälteversorgung
Deutschlands





Impressum

Erstellt von Deutsche Solarthermie-Technologie Plattform (DSTTP)
c/o BSW-Solar
Energieforum
Stralauer Platz 34
10243 Berlin
Tel.: 030 2977788 37
Email: info@dsttp.de
www.solarthermie-technologie.de

Redaktionsteam Gerhard Stryi-Hipp, Harald Drück, Volker Wittwer,
Wilfried Zörner

Weitere Autoren Elmar Bollin, Bernd Hafner, Hans-Martin Henning,
Ulrike Jordan, Ralf Köbbemann-Rengers, Michael Köhl,
Klaus Lambrecht, Dirk Mangold, Christian Stadler,
Klaus Vajen

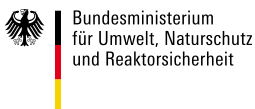
Organisation Jan Michael Knaack

Erstellt unter Mitwirkung der am Ende des Dokuments genannten Experten

Die DSTTP ist eine Initiative von



gefördert von



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030

für eine nachhaltige
Wärme- und Kälteversorgung
Deutschlands



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Bundesregierung verfolgt das Ziel, den Energiebedarf überwiegend mit erneuerbaren Energien zu decken. Dies kann nur erreicht werden, wenn auch der Wärmemarkt erneuerbar wird, denn 54% des Endenergiebedarfs in Deutschland werden für Wärmeanwendungen benötigt. Zusätzlich zur Reduktion des Wärmeverbrauchs ist deshalb eine beschleunigte Entwicklung und Einführung von erneuerbaren Energien im Wärmemarkt zwingend erforderlich.

Seit den 70er Jahren werden solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung in Deutschland eingesetzt. Seit Anfang der 90er Jahre wächst der Markt mit nur wenigen Unterbrechungen kontinuierlich an. Heute gehört die Solarthermie zum festen Bestandteil moderner Heiztechnik.

Trotz der bisherigen Erfolge trägt die Solarthermie erst 0,4% zur Wärmeversorgung in Deutschland bei. Diesen Anteil will die Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP auf etwa 50% im Jahr 2030 steigern. Zur Realisierung dieser Vision braucht es die Entwicklung und Einführung von SolarAktivhäusern, solaraktiver Gebäudemodernisierung sowie den Einsatz der Solarthermie in öffentlichen Gebäuden, Hotels, Gewerbe und in solaren Nahwärmanlagen. Zusätzlich muss die Solarwärme auch für industrielle Produktionsprozesse und zur solaren Kühlung genutzt werden.

Die genannten Ziele sind erreichbar. Hierfür sind allerdings ein starker Wachstumsschub im Solarthermiemarkt und ein starker Entwicklungsschub in der Solarthermie-Technologie erforderlich. Bislang führte die Solarthermie-Forschung ein Schattendasein in der stark stromfokussierten Forschungspolitik für erneuerbare Energien. Das große Technologie-Entwicklungspotenzial der Solarthermie wurde bislang unterschätzt.

Die vorliegende Forschungsstrategie beschreibt eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen und zeigt damit, dass es in der Solarthermie nicht an vielversprechenden Forschungsthemen, sondern an einer entschiedenen, kontinuierlichen und deutlich expansiven Forschungsförderung mangelt. Diese ist auch die Voraussetzung für den notwendigen Ausbau der Solarthermie-Forschungskapazitäten in den Forschungsinstituten und Hochschulen und in der Industrie.

Wir hoffen, dass diese Forschungsstrategie zum Aufbruchssignal für eine deutliche Stärkung der Solarthermie-Forschung wird und bedanken uns herzlich bei allen Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie, die bei der Erstellung dieses Dokuments mitgewirkt haben. Großer Dank gebührt auch dem Bundesumweltministerium und dem Projektträger Jülich, die durch die Unterstützung der DSTTP im Rahmen des Projektes „TechnoSol“ sowie durch ihre fachliche Begleitung der Arbeiten die Erstellung dieses Dokumentes erst ermöglicht haben.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre

Ihr Redaktionsteam



Gerhard Stryi-Hipp, Harald Drück, Volker Wittwer und Wilfried Zörner

Zusammenfassung

Die Niedertemperatur-Solarthermie zur Trinkwassererwärmung, Raumheizung, Kühlung und Prozesswärmebereitstellung kann bis 2030 einen Anteil von etwa 50% an der Wärme- und Kälteversorgung übernehmen. Dies ist die Vision der Experten aus Forschung und Industrie, die in der Deutschen Solarthermie-Technologieplattform DSTTP zusammenarbeiten. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, bedarf es vielfältiger Innovationen, einer deutlichen Weiterentwicklung der bestehenden Technik und der Entwicklung von Technologien für neue Anwendungen.

In Deutschland werden 54% des gesamten Endenergiebedarfs zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Trotzdem führen der Wärmebereich und darunter die Solarthermie bislang ein Schattendasein in der Energie- und Forschungspolitik. Ein Grund hierfür ist die Unkenntnis über die großen technologischen Entwicklungspotenziale der Solarthermie. In der hier vorliegenden Forschungsstrategie wurden deshalb von einer großen Zahl von Expertinnen und Experten¹ aus Forschung und Industrie die wichtigsten Forschungsziele und Forschungsthemen im Bereich der Solarthermie aufgeführt. Die große Fülle belegt die großen technologischen Entwicklungschancen im Bereich Solarthermie, aber auch die Notwendigkeit einer deutlichen Stärkung von Forschung und Entwicklung.

In der Einleitung sind die Rahmenbedingungen für den Solarthermiedmarkt und die Solarthermieforschung beschrieben. Deutschland ist der größte Solarthermiedmarkt Europas und weltweit technologisch führend im Bereich Solarthermie. Allerdings beträgt das Forschungsbudget für die Solarthermie gerade einmal 6% der Finanzmittel, die vom Bundesumweltministerium in die Erforschung erneuerbarer Energien investiert werden und nur 0,9% an den gesamten Energieforschungsausgaben der Bundesregierung. Deshalb ist die klare Botschaft dieser Forschungsstrategie, dass die Forschungsmittel für die Solarthermie deutlich erhöht und die Forschungskapazitäten wesentlich ausgebaut werden müssen, um die Technologieentwicklungspotenziale der Solarthermie zu erschließen.

Um die ambitionierten Ziele zu erreichen, ist in den kommenden Jahren eine signifikante und nachhaltige Erhöhung der öffentlichen Forschungsförderung unbedingt erforderlich. Das öffentliche Forschungsbudget für die Niedertemperatur-Solarthermieforschung sollte bis spätestens 2020 von heute etwa 8 Mio. Euro auf etwa 50 Mio. Euro pro

¹ Zu Verbesserung des Leseflusses wird im weiteren Dokument nur die männliche Form von Berufsbezeichnungen etc. verwendet. Es sind aber ausdrücklich beide Geschlechter gemeint.

Jahr erhöht werden. Geht man davon aus, dass eine innovative Branche mindestens 3% des Umsatzes in Forschung und Entwicklung investiert, dann entspricht der Betrag etwa einer Förderquote von 50%. Österreich stellt heute bezogen auf die Einwohnerzahl das Zehnfache der deutschen Forschungsförderung für die Solarthermie bereit.

Im ersten Kapitel dieser Forschungsstrategie werden die Solarthermie-Vision und Marktpotenziale beschrieben. Es wird erwartet, dass die Solarthermie bis 2030 zur kostengünstigsten Wärmequelle im Nieder-temperaturbereich wird. Die DSTTP ist überzeugt davon, dass die Solarthermie langfristig 50% des Wärmebedarfs decken wird. Wichtige Elemente hierbei sind das SolarAktivhaus, dessen Wärme- und Kältebedarf vollständig durch Solarthermie gedeckt wird, die solare Modernisierung, der deutliche Ausbau von solaren Nah- und Fernwärmeanlagen sowie der solaren Prozesswärme und solarthermischen Kälteerzeugung. Der Vorteil der Solarthermie ist, dass sie keinen Brennstoff benötigt. Da die Rohstoffe zur Produktion der Anlagen ausreichend vorhanden sind, garantiert die Solarthermie langfristig eine kostengünstige Energiebereitstellung mit einem extrem hohen Maß an Versorgungssicherheit.

Im Kapitel Solarkollektoren werden die Möglichkeiten für eine deutliche Kostensenkung in Produktion und Montage der heute schon sehr effizienten Solarkollektoren beschrieben. Die Ziele sind eine architektonisch und technologisch optimierte und kostengünstige Integration großer Kollektorflächen in Dach und Fassade, die Entwicklung von neuen Kollektoren für spezielle Anwendungsgebiete, wie z. B. Prozesswärme- oder photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren und die weitere Erhöhung der Betriebssicherheit der Kollektoren. Leitprojekte sind erforderlich im Bereich neuer Werkstoffe, neuer Kollektorkonzepte, der Weiterentwicklung der Produktionsprozesse sowie der Gebäudeintegration der Kollektoren.

Im Kapitel Wärmespeicher für Einzelgebäude wird deutlich, dass die Speicherung von thermischer Energie eine Schlüsseltechnologie für hohe Anteile von Solarwärme an der Wärmeversorgung darstellt. Die weitgehende solare Beheizung von Gebäuden setzt voraus, dass die im Sommer erzeugte Solarwärme bis in die Wintermonate gespeichert wird. Heute werden dazu große Warmwasserspeicher eingesetzt, die in den kommenden Jahren technologisch weiter optimiert werden müssen. Parallel dazu ist die Entwicklung von Wärme- und Kältespeichern mit deutlich höheren Energiedichten und wesentlich geringeren Wärmeverlusten erforderlich, als dies bei den heute verfügbaren Wärmespeichern der Fall ist. Speicher auf Basis von Phasenwechselmaterialien und thermo-chemische Wärmespeicher weisen theoretisch eine bis zu zehnfach höhere Energiedichte auf als typische Wasserspeicher. Zur Entwicklung

dieser neuen Generation von Wärmespeicher sind teilweise noch grundlegende Forschungsarbeiten erforderlich. Die Wärmespeicher müssen für verschiedene Temperaturniveaus optimiert werden, wobei das Temperaturspektrum von etwa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ für Kältespeicher bis zu ca. $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ für Speicher zum Einsatz in Prozesswärmanwendungen reicht. Eine weitere Entwicklungsaufgabe ist die Nutzung von Gebäudeteilen oder des Erdreichs als Speichermedium.

Die Erfolge bei der Entwicklung sehr großer Wärmespeicher werden im Kapitel Wärmespeicherung in Wärmenetzen aufgezeigt. Deutschland ist aufgrund der kontinuierlichen Forschungsförderung seit 1995 hier weltweit führend. Gegenwärtig sind 15 Langzeitwärmespeicher mit einem Speichervolumen zwischen 300 und über 20.000 m^3 Wasseräquivalent realisiert. Für Stadtteile mit verdichtetem Gebäudebestand werden Nahwärmanlagen in einer nachhaltigen Wärmeversorgung eine wichtige Rolle spielen. Langzeitwärmespeicher ermöglichen die Nutzung der im Sommer gewonnenen Solarwärme für die Beheizung der Gebäude im Winter und erreichen so kostengünstig hohe solare Deckungsanteile. Die Forschung zielt hier insbesondere auf die Kostenreduzierung, Standardisierung und Effizienzsteigerung der großen Speicher ab.

Im Kapitel Systemtechnik werden die Entwicklungspotenziale im Bereich systemtechnische Konfiguration, Automation von Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie der Planung und Ausführung von solarthermischen Anlagen vorgestellt. Die Betriebssicherheit soll deutlich erhöht und der Betrieb effizienter werden, z.B. durch Steuerungen, die die Wettervorhersage mit einbeziehen und die registrieren, wenn die Anlage kein optimales Betriebsverhalten aufweist. Forschungsaktivitäten sind darüber hinaus erforderlich bezüglich der Anlagenhydraulik, der Optimierung der Anlagenkonzepte und der effektiveren Kopplung mit weiteren Wärmequellen. Als Themen für Leitprojekte wurden u.a. Monitoring-Netzwerke, universelle Datenschnittstellen, vernetzte Solarregler sowie der optimierte Aufbau großer solarthermischer Anlagen und industriell vorgefertigte Hydraulikmodule identifiziert.

Im Anwendungsgebiet der Solaren Prozesswärme gibt es bislang nur einzelne Pilotanlagen. Um dieses Feld für die Solarthermie zu erschließen, sind u.a. Prozessanalysen, angepasste Solarkollektoren, Konzepte für die Systemeinbindung der Solarthermie und Auslegungs- und Regelungsstrategien erforderlich. Als Leitprojekte wurden hier die Entwicklung von Planungshilfsmitteln, die Standardisierung und Optimierung der solarthermischen Anlagen und die Komponentenentwicklung für Mittel- und Hochtemperaturanwendungen genannt.

Im Kapitel solare Kühlung und Klimatisierung werden sowohl für geschlossene, wärmebetriebene Kältekreisläufe als auch für offene Verfahren die zentralen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beschrieben. Die Zielsetzung ist dabei, eine höhere Effizienz, kompaktere Geräte, niedrigere Antriebstemperaturen und eine Kostenreduzierung zu erreichen. Hierzu ist z. B. Forschung an neuen Sorptionsmaterialien, neue Wärme- und Stofftransportkonzepte und die Entwicklung neuer thermodynamischer Kreisläufe erforderlich. Leitprojekte werden vorgeschlagen im Bereich der thermisch angetriebenen Kälteprozesse, der Systemtechnik und dem Transfer von solaren Kühltechniken in die Praxis.

Die im Kapitel Qualitätssicherung beschriebenen Maßnahmen und Technologien sind sowohl eine Voraussetzung zur erfolgreichen Markteinführung als auch für eine nachhaltige Marktentwicklung. Hierzu gehören Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Qualität von Komponenten und Gesamtanlagen sowie deren Zertifizierung. Weiter ist die Qualitätssicherung bei der Planung, Installation und insbesondere im Betrieb wichtig für eine erfolgreiche Markteinführung. Hierzu ist z. B. die Weiterentwicklung von Planungswerkzeugen und automatisierten Funktionskontrolltechnologien, die nicht nur die Solaranlage, sondern die gesamte Wärmeversorgung des Gebäudes erfassen, erforderlich. Als Leitprojekte sind u. a. beschleunigte Alterungstests und Maßnahmen zur Qualifizierung von Planern und Installateuren zu entwickeln.

Ein rascher Ausbau der Solarthermie erfordert qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Forschung, Produktion, Vertrieb, Planung und Installation. Im Kapitel Qualifizierungsbedarf /Aus- und Weiterbildung werden die Ergebnisse einer Erhebung vorgestellt, die belegt, dass das Aus- und Weiterbildungsangebot sowohl im Bereich Planung und Installation als auch im Bereich Forschung und Entwicklung derzeit nicht ausreicht, um den notwendigen Aufbau des Marktes und der Forschungsstrukturen zu bewältigen. Deshalb werden Maßnahmen beschrieben, um die berufliche und akademische Qualifizierung weiterzuentwickeln und deutlich auszubauen.





Sonnensimulator

Quelle: ITW, Universität Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

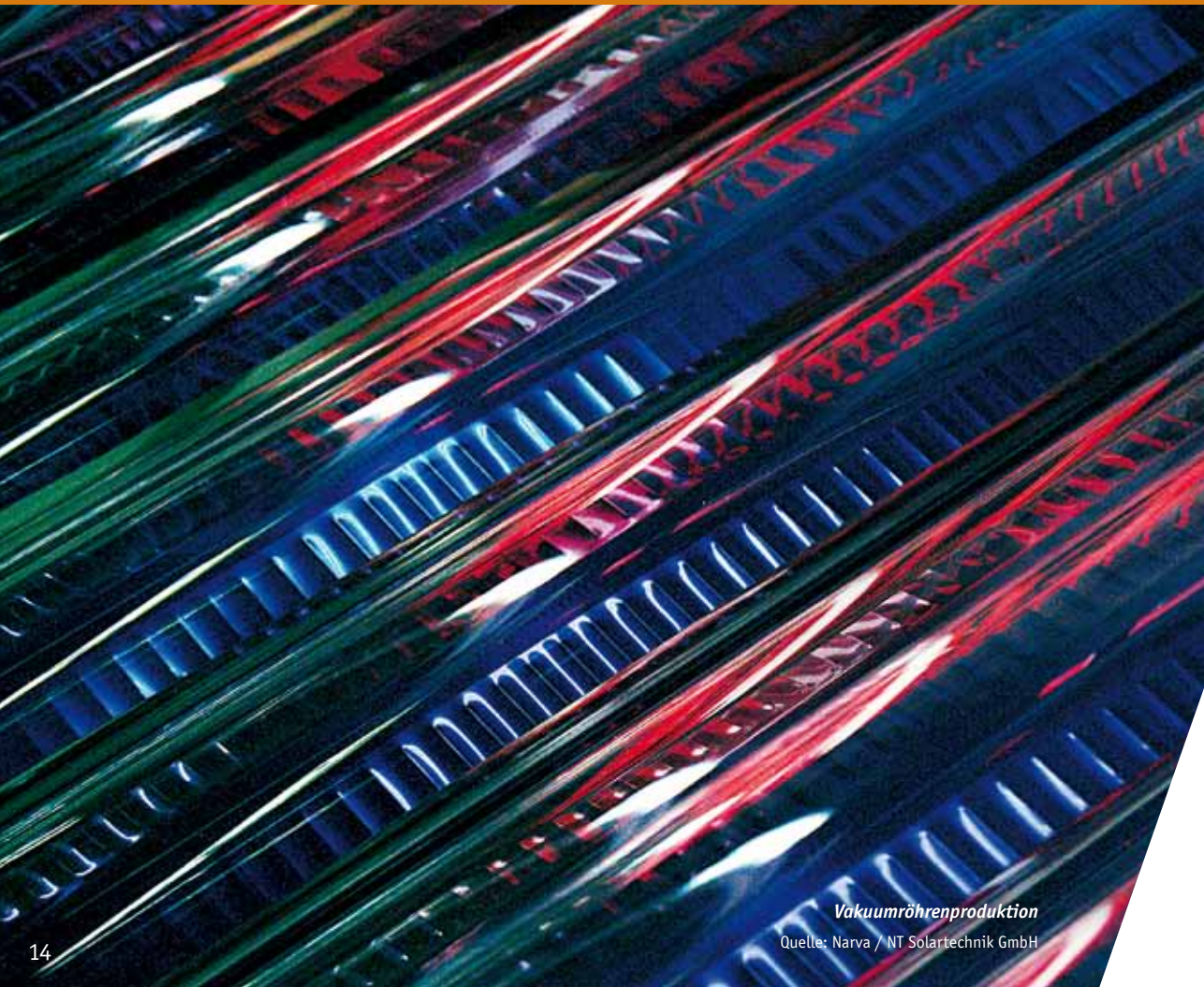
Zusammenfassung	6
1 Einleitung	14
2 Solarthermie-Vision und Marktpotenziale	20
2.1 Vision 2030	21
2.2 Solarthermiemarkt und Einflussfaktoren	23
3 Technologische Perspektiven	30
3.1 Solarkollektoren	31
3.2 Wärmespeicher für Einzelgebäude	42
3.3 Saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen	51
3.4 Systemtechnik	61
3.5 Anwendung: Solare Prozesswärme	73
3.6 Anwendung: Solares Kühlen und Klimatisierung	79
4 Flankierende Maßnahmen	88
4.1 Qualitätssicherung	89
4.2 Qualifizierungsbedarf / Aus- und Weiterbildung	97
Literaturverzeichnis	112
Mitwirkende DSTTP	114

Abkürzungen

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit
DSTTP	Deutsche Solarthermie-Technologie Plattform
EFH	Einfamilienhaus
EMS	Energiemanagementsystem
EnEV	Energieeinsparverordnung
ESTTP	European Solar Thermal Technology Platform
ETP-RHC	European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling
EW	Einwohner
F&E	Forschung und Entwicklung
f_{Sol}	Solarer Anteil an der Wärmeerzeugung, auch: solare Deckung
GfK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
ggf.	gegebenenfalls
GW_{th}	Gigawatt thermisch
HLB	Hochleistungsbeton
HLK	Hochleistungskollektor
HAT	Hochtemperatur
IEA SHC	International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme
KF	Kollektorfläche
kW_{th}	Kilowatt thermisch
m^2	Quadratmeter
MFH	Mehrfamilienhaus
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
MW_{th}	Megawatt thermisch
NT	Niedertemperatur
PCM	Phasenwechselmaterial
PE	Primärenergie
PJ	Petajoule
PVT	photovoltaisch-thermisch
SOA	serviceorientierte Architektur
t	Tonne
TW	Trinkwasser
WE	Wohneinheiten
ZFH	Zweifamilienhaus

1

Einleitung



Deutschland ist gegenwärtig der größte Solarthermiemarkt in Europa, wobei in den vergangenen Jahren die Märkte in Frankreich, Spanien und Italien sowie Polen als wichtigster osteuropäischer Markt deutlich gewachsen sind. Auf Europa entfällt ein Weltmarktanteil von etwa 30%, der mit Abstand größte Markt ist China, in dem allerdings mit sehr preisgünstigen und einfachen Vakuumröhren-Thermosiphonanlagen eine grundlegend andere Technologie eingesetzt wird. Bislang sind jedoch die europäische Solarthermiebranche und die von ihr hergestellten Produkte technologisch mit Abstand weltweit führend.

Trotz des jährlichen Wachstums von im Mittel knapp 20% über die letzten 20 Jahre ist der deutsche Solarthermiemarkt mit einem Umsatz von ca. 1,2 Mrd. Euro im Jahr 2009 immer noch relativ klein und wird dominiert von mittelständisch geprägten Unternehmen, zu denen meist auch noch die Unternehmen der Heizungsindustrie zu zählen sind, auf die gegenwärtig etwa die Hälfte des Umsatzes entfällt. In den Unternehmen der Heizungsindustrie macht der mit der Solarthermie erzielte Umsatz heute noch einen geringen Anteil am Gesamtumsatz aus.

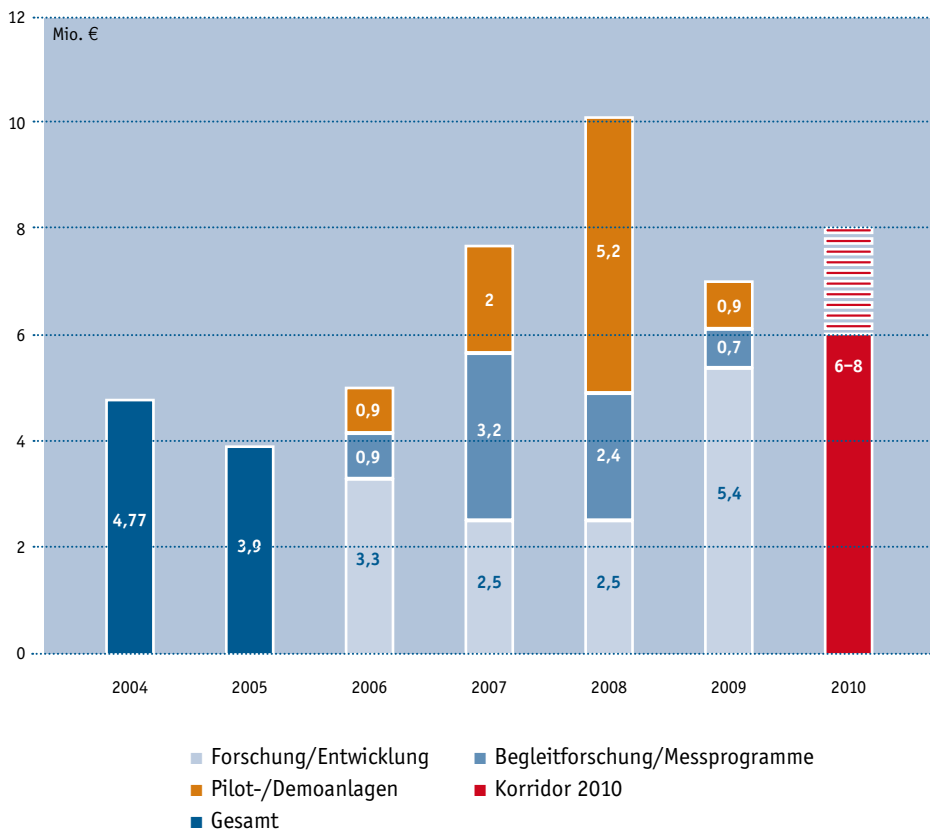


Abb. 1: Entwicklung des jährlichen Bewilligungsvolumens im Bereich Niedertemperatur-Solarthermie im Forschungsprogramm des Bundesumweltministeriums [BMU 2010]

Damit die Solarthermie einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der deutschen und europäischen Klimaschutzziele leisten kann, muss sie in den kommenden Jahren zur relevanten Energiequelle im Bereich Wärme- und Kälteerzeugung entwickelt werden. Dies setzt eine deutliche Beschleunigung der Technologieentwicklung voraus, die auch notwendig ist, um die technologische Führungsrolle der deutschen Solarthermieindustrie langfristig zu sichern.

Abb. 1 zeigt die Entwicklung der Forschungsmittel für Neubewilligungen von Forschungsprojekten für die Niedertemperatur-Solarthermie, die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bereitgestellt werden. Die Neubewilligungen sind in den vergangenen Jahren im Schnitt gestiegen, allerdings bewegt sich die **Forschungsförderung für die Niedertemperatur-Solarthermie immer noch auf einem vergleichsweise sehr niedrigen Niveau**. So betrug ihr Anteil im Jahr 2009 nur ca. 6% an der Forschungsförderung des BMU für Erneuerbare Energien und nur 0,9% an den Gesamtausgaben für Energieforschung in Deutschland (siehe Tab. 1).

Ausgaben für Energieforschung (in Mio. Euro)	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ausgaben des Bundes für Energieforschung und Energietechnologie im Bereich Forschung und Entwicklung	450,0	444,6	468,2	517,5	678,4	691,0
Nukleare Energieforschung (ohne Beseitigung kerntechnischer Anlagen)	88,7	89,3	87,8	94,7	108,8	110,4
Beseitigung kerntechnischer Anlagen; Risikobeteiligung	4,0	4,2	4,1	7,7	33,6	34,6
Kernfusionsforschung	115,0	114,4	121,5	119,4	142,5	143,0
Kohle und andere fossile Energieträger/ Erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung	242,3	236,8	254,8	295,7	393,5	403,0
Forschungsförderprogramm für Erneuerbare Energien des Bundesumweltministeriums	85,8	81,2	81,3	98,5	109,6	120,0
Niedertemperatur-Solarthermieforschung	4,9	6,6	5,7	5,7	6,3	
Anteil NT-Solarthermie an Erneuerbare Energien-Programm	5,7%	8,1%	7,0%	5,8%	5,7%	
Anteil NT-Solarthermie an Energieforschung	1,1%	1,5%	1,2%	1,1%	0,9%	

Tab. 1: Ausgaben für die Energieforschung und die Forschung für Erneuerbare Energien im Bundesumweltministerium von 2005 bis 2010 (Mittelabfluss) [BMU 2010], [BMBF 2010]

Die ambitionierten Ziele der Solarthermie lassen sich nur erreichen, wenn der Marktausbau von einer **stark beschleunigten Technologieentwicklung** begleitet wird. Dies erfordert eine signifikante Erhöhung der Forschungsausgaben, sowohl von den Unternehmen als auch von der öffentlichen Hand, sowohl für die Grundlagen-, als auch für Vorlauf- und angewandte Forschung. Diese müssen ergänzt werden durch Demonstrations- und Pilotanlagen sowie durch den systematischen Aufbau einer umfangreichen Forschungsinfrastruktur.

Bei der Gestaltung der Forschungsprogramme, der Bereitstellung von Forschungsbudgets und der Festlegung von Förderquoten muss besonders die mittelständische Marktstruktur und der große Aufholbedarf in der lange vernachlässigten Solarthermieforschung berücksichtigt werden. So sind die Möglichkeiten der mittelständischen Industrie, F&E-Projekte zu finanzieren nur begrenzt vorhanden. Insbesondere bei Projekten im Bereich der Grundlagen- und Vorlaufforschung, die ein hohes Erfolgsrisiko und lange Zeiträume bis zur Erreichung marktfähiger Produkte aufweisen, fällt es der Industrie schwer, einen nennenswerten Anteil der Finanzierung zu übernehmen.

Schwerpunkte der Forschung im Bereich der **Wärmeerzeugung** mittels solarthermischer Kollektoren sind die Kostenreduzierung durch den Einsatz neuer Materialien (insbesondere Kunststoffe) und Rationalisierungsmöglichkeiten bei der Kollektorfertigung. Die Erforschung innovativer Methoden zur Temperaturbegrenzung (Stillstandfestigkeit), zur Frostsicherheit und zum Wärmetransport im Kollektorsystem sowie neuer Beschichtungen für die transparente Kollektorabdeckung und den Absorber dienen zur Erhöhung der Betriebssicherheit.

Die Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der **Wärmespeicherung** verfolgen zwei grundlegende Ziele. Zum einen sollen Speicher mit einer deutlich höheren Energiedichte und damit deutlich geringeren Speichervolumina bei gleicher Speicherfähigkeit im Vergleich zu heute üblichen Wasserspeichern entwickelt werden. Notwendig hierzu sind grundlegende Materialforschungen zur Identifizierung von Materialien für Latent- und chemische Speicher. Zum zweiten soll die erfolgreiche Entwicklung von Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung mit Wasserspeichern sowohl für Einzelgebäude als auch für Nahwärmanlagen bis zur Marktfähigkeit dieser Technologien fortgeführt werden. Dabei ist auch die Reduzierung der Wärmeverluste beispielsweise durch Vakuumdämmung notwendig sowie die Entwicklung der Systemtechnik zur intelligenten und effizienten Integration dieser Speicher in die Wärmesysteme.

Auf dem Gebiet der **solaren Kühlung** besteht einerseits Forschungsbedarf in Bezug auf die eingesetzten Materialien (Adsorption, Absorption) und die Untersuchung neuer Materialklassen. Im Vordergrund steht hier die Weiterentwicklung von Wärmeübertragungssystemen von Kühlmaschinen in kleineren Leistungsklassen kleiner 10 kW und deren Systemtechnik. Andererseits fehlen bei den wirtschaftlich attraktiveren größeren Anlagen die notwendigen standardisierten Lösungen in den Bereichen Hydraulik und Systemtechnik, insbesondere im Zusammenspiel mit der übrigen Gebäudeenergietechnik.

Im Bereich der **solar beheizten Gebäude** soll der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf von Gebäuden auf über 50% und bis zu 100% erhöht werden. Durch Forschungsarbeiten sind die wissenschaftlichen Grundlagen zur Konzeption, Modellierung und Bewertung des solaren Heizkonzeptes zu erarbeiten und die Systemtechnik zu optimieren. Hohe solare Anteile in der Wärmeversorgung werden sowohl in einzelnen Gebäuden als auch in solaren Nahwärmesystemen an Bedeutung zunehmen. Hierzu sind neben der Systemtechnik auch spezifische Komponenten wie z. B. multifunktionale Gebäudekomponenten zu entwickeln.

Bei der Nutzung von **Solarwärme zur Prozesswärmeerzeugung für Gewerbe und Industrie** besteht Forschungsbedarf bei der Erarbeitung standardisierter Lösungen für einzelne Industriebereiche sowie der Entwicklung von hydraulischen und systemtechnischen Konzepten zur Einspeisung der Solarwärme in die jeweiligen Prozesse. Für Mitteltemperaturanwendungen zwischen 100 °C und 250 °C sind geeignete Komponenten wie Kollektoren, Speicher, Ventile und Ausdehnungsgefäße zu entwickeln.



2

Solarthermie- Vision und Marktpotenziale



Solarbeheiztes Wohn- und Bürogebäude

Quelle: Lambrecht

2.1 Vision 2030

Im Jahr 2030 wird die Solarthermie im Temperaturbereich bis 90 °C die kostengünstigste Wärmequelle darstellen, in vielen Fällen sogar bis 250 °C. Sie wird wesentlich kostengünstiger sein als fossil oder nuklear erzeugte Wärme. Ihr Vorteil, dass sie überall in Deutschland genutzt werden kann und keinen Brennstoff benötigt, macht sie zur Basiswärmequelle für den Wärmemarkt. In vielen Anwendungen wird durch entsprechende Speichertechnik der Wärmebedarf vollständig mit Solarthermie gedeckt werden, in den anderen Fällen wird sie ergänzt durch andere erneuerbare Energiequellen. Auf allen geeigneten Dächern und an vielen Fassaden werden Solarwärmekollektoren neben Photovoltaikmodulen oder kombinierte photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren angebracht sein.

Im künftigen, hauptsächlich mit erneuerbaren Energien versorgten Energiesystem stellen sich für die Solarthermie folgende Fragen:

- Welchen Anteil des Wärmebedarfs kann die Solarthermie in den einzelnen Anwendungen decken unter Berücksichtigung der vorhandenen, solargeeigneten Flächen auf und an den einzelnen Gebäuden, in Nahwärmesystemen, Produktionsprozessen und wärmeangetriebenen Kühlmaschinen, der verfügbaren bzw. installierbaren Speicherkapazitäten, des saisonalen Versatzes des Solarwärmeangebots und dem Wärmebedarf sowie den technischen Einbindungsmöglichkeiten der Solarwärmeanlagen in die Wärmesysteme?
- Wie wettbewerbsfähig ist die Solarthermie in Konkurrenz mit extrem gut wärmegeprägten Gebäuden? Der Wärmedämmstandard von Gebäuden wird flächendeckend massiv erhöht und damit der Heizwärmebedarf deutlich reduziert werden. Zur Absenkung auf das minimalste Wärmeverbrauchslevel gibt es die Alternative einer Absenkung auf ein gemäßigtes Niveau und die Deckung des Restwärmebedarfs mit Solarwärme.
- Wie wettbewerbsfähig ist die Wärmeerzeugung mit Solarthermie im Vergleich zur Wärme aus Biomasse, die entweder in Pellets- oder Hackschnittelkesseln, in Biogas betriebenen Gaskesseln oder als Abwärme in Biomasse betriebenen Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplungsanlagen erzeugt und dann verteilt wird? Dabei ist noch nicht abzusehen, wie viel Biomasse tatsächlich für Wärme- und Energieversorgungsaufgaben zur Verfügung steht, da die Strom- und Kraftstoffherstellung aus Biomasse und auch ihre stoffliche Verwertung an Bedeutung gewinnt [FVEE2010].
- Wie wettbewerbsfähig ist die Solarthermie gegenüber Wärmepumpen, die mit aus erneuerbaren Energiequellen erzeugtem Strom angetrieben werden?

Die Antworten auf diese Fragen entscheiden, welche Rolle die Solarthermie langfristig einnimmt und ob die beschriebene Vision Realität wird. Heute lassen sich die Fragen noch nicht eindeutig beantworten. Sowohl die Deutsche als auch die Europäische Solarthermie-Technologieplattformen DSTTP und ESTTP/ETP-RHC² gehen jedoch davon aus, dass die Solarthermie in hohem Maße wettbewerbsfähig sein und einen wichtiger Baustein der Wärmeversorgung darstellen wird, indem sie im Zeitraum 2030 bis 2050 einen Anteil an der dann noch notwendigen Wärmeversorgung von etwa 50% erreichen wird.

Die Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP hat folgende Vision:

- Im Neubau wird das **SolarAktivhaus** zum Baustandard, dessen Wärmebedarf zu 100% mit Solarwärme gedeckt wird.
- Im Gebäudebestand wird die **solare Modernisierung** mit Kollektoren auf Dächern und in multifunktionalen Fassaden üblich. Trotz der vielfach ungünstigen architektonischen Bedingungen und nicht optimalen Ausrichtung beträgt der solarthermische Anteil nach der Modernisierung üblicherweise 50% oder mehr.
- In **solaren Nah- und Fernwärmanlagen** werden insbesondere große Gebäudekomplexe und Quartiere mit verdichtetem Gebäudebestand mit dezentral oder zentral aufgestellten Kollektorflächen und großen saisonalen Wasserspeichern mit Solarwärme versorgt, der Anteil der Solarwärme beträgt in der Regel weit über 50%.
- In Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft wird die **solare Prozesswärme und solarthermisch erzeugte Kälte** eine wichtige Rolle spielen.

² Die European Solar Thermal Technology Plattform ESTTP ist im Jahr 2008 aufgegangen in der European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling ETP-RHC

*Solarthermische Anlage auf Wohnblock*

2.2 Solarthermiemarkt und Einflussfaktoren

2.2.1 Marktentwicklung

Die Nutzung der Solarthermie zur Trinkwassererzeugung und Heizungsunterstützung begann in Deutschland in den 70er Jahren als Folge der Energiekrisen. Ein erster Marktboom Ende der 70er Jahre endete in einem starken Einbruch Anfang der 80er Jahre aufgrund wieder sinkender Ölpreise und technischer Probleme. Ab Ende der 80er Jahre, nicht unwesentlich beeinflusst durch das Atomunglück in Tschernobyl, befand sich der Markt wieder in einem kontinuierlichen Aufschwung bis zum Jahr 2008, mit Rückschlägen in den Jahren 2001 und 2007. Im Jahr 2009 war erneut ein starker Einbruch um 25% zu verzeichnen und auch 2010 schrumpft der deutsche Solarthermiemarkt nochmals. Allerdings wird der aktuelle Einbruch als vorübergehendes Marktproblem angesehen. Kurz- bis mittelfristig wird die Überwindung der aktuellen Krise und eine Fortsetzung des langfristigen Wachstumstrends erwartet. Das durchschnittliche Marktwachstum betrug seit Anfang der 90er Jahre ca. 18% pro Jahr.

Im Jahr 2009 wurden 1,55 Mio. m² Kollektorfläche mit einer Wärmeleistung von 1,1 GW_{th} in ca. 150.000 Solarwärmeanlagen neu installiert. Der Umsatz der Solarthermiebranche lag bei ca. 1,2 Mrd. Euro. Ende 2009 waren damit in Deutschland thermische Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von 12,9 Mio. m² und einer Wärmeleistung von insgesamt 9 GW_{th} installiert. Dennoch werden heute erst etwa 0,4% des deutschen Wärmebedarfs mit Solarwärme gedeckt (siehe Abb. 2).

Die Solarbranche hat das Ziel, bis 2020 europaweit im Durchschnitt 1 m² Kollektorfläche pro Einwohner zu installieren. Für Deutschland entspricht dies einer Gesamtinstallation von 80 Mio. m² Kollektorfläche mit einer Wärmeleistung von 56 GW_{th}. Dies wird erreicht mit einem jährlichen Marktwachstum von 30% zwischen 2011 und 2020 und führt zu einem Anteil der NT-Solarthermie an der Wärmebereitstellung von ca. 3%. Langfristig können 50% des gesamten Wärmebedarfs durch Solarthermie gedeckt werden.

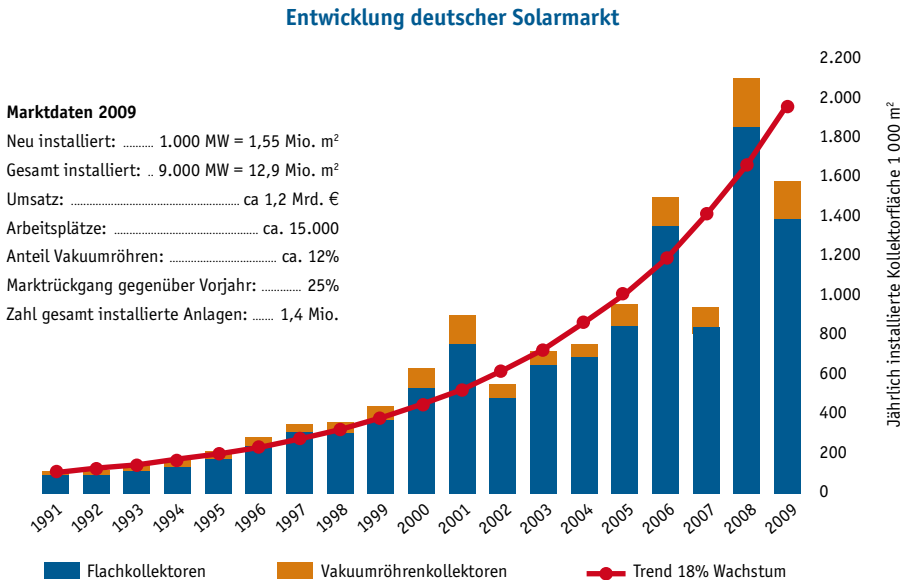


Abb. 2: Entwicklung der jährlich installierten Kollektorfläche in Deutschland
 Quelle: BSW-Solar/BDH, BMU, eigene Berechnungen

2.2.2 Anwendungsbereiche

Solaranlagen zur Wärmeerzeugung werden in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, zu unterschiedlichen Zwecken und für die Bereitstellung unterschiedlicher Temperaturen eingesetzt, eine Übersicht gibt Tab. 2.

Niedertemperatur-Solarwärme wird bislang zu mehr als 90% zur solaren Trinkwassererwärmung und zur Unterstützung der Raumheizung in Ein- und Zweifamilienhäusern genutzt. Bei solaren Kombianlagen, die sowohl zur Trinkwassererwärmung als auch zur Heizungsunterstützung dienen und bei den neu installierten Anlagen einen Marktanteil von etwa 50% aufweisen, betragen die typischen solaren Deckungsanteile zwischen 20% und 30% am gesamten Wärmebedarf, abhängig vom Wärmeverbrauch des Gebäudes. Größere solarthermische Anlagen zur

solaren Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern sowie zur Einspeisung in solare Nahwärmesysteme zur Wärmeversorgung gesamter Siedlungsgebiete sind bislang noch in einer frühen Markteinführungs- bzw. Pilot- und Demonstrationsphase. Allerdings gibt es im Bereich solare Nahwärme seit vielen Jahren kontinuierliche F&E-Aktivitäten, so dass umfangreiches Know-how und eine Reihe von Pilotanlagen in Deutschland existieren. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser von 3 bis 12 Wohneinheiten wurden in den letzten 3 Jahren von Seiten des Bundesumweltministeriums sowie der Solarbranche einige Initiativen gestartet, die eine deutliche Belebung dieses Marktsegmentes erwarten lassen [BSW2007].

	Ein-/Zweifamilienhäuser (EFH/ZFH)	Mehrfamilienhäuser (MFH)	Siedlungen (Nah-/Fernwärme)	Gewerbe, Industrie, öffentliche Gebäude
Trinkwassererwärmung	KF: 3–6 m ² f _{Sol} : 60–65% an TW-Erwärmung 45% der Anlagen 30% der KF	3–12 WE: KF: 10–20 m ² f _{Sol} : 40–60% >12 WE: KF: 20 bis mehrere 100 m ² f _{Sol} : 30–40%	meist in Kombination mit Raumheizung	Anwendungen in Pensionen, Hotels, Altenheimen, Krankenhäusern, Wohnheimen etc. KF: 10–100 m ²
Kombianlagen bis 30% solare Deckung	KF: 8–15 m ² f _{Sol} : 20–30% am Gesamtwärmebedarf in EnEV-Gebäuden 45% der Anlagen 60% der KF	Anlagen nur etwas größer als TW-Anlagen, aber mit Heizkreisen gekoppelt	Solarwärmanlage speist in Nahwärmenetz ein, das Wärme für TW-Erwärmung und Raumheizung bereitstellt	Geringe Anwendung (siehe MFH)
Solare Heizung über 50% solare Deckung	KF: 30–60 m ² Speicher: 6–10 m ³ f _{Sol} : 60–70% am Gesamtwärmebedarf eines Sonnenhauses, das ca. 40% besser als EnEV-Standard gedämmt ist	Nur einzelne Gebäude, Dimensionierung proportional zum EFH	KF: 1,4–2,4 m ² pro MWh jährlichem Wärmebedarf und Speicher: 1,4–2,4 m ³ pro m ² KF f _{Sol} : 50–90% am Gesamtwärmebedarf, 11 Anlagen in Deutschland gebaut	nicht relevant
Prozesswärme	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	In der Produktion, für Reinigungsprozesse, etc. Temp.: 30–250 °C
Solare Kühlung	Einzelne Pilotanlagen	bisher keine realisierten Projekte bekannt	bisher keine realisierten Projekte bekannt	Pilotanlagen zur Kühlung von Räumen, Produktionsprozessen oder Produkten Temp. solar: 70–200 °C

Tab. 2: Anwendungsbereiche und typische Anlagengrößen von Niedertemperatur-Solarthermieanlagen bis 250 °C³

3 KF = Kollektorfläche, f_{Sol} = Solare Deckung, WE = Wohneinheiten, TW = Trinkwasser, Temp. = Temperatur

Im Hinblick auf den Nichtwohnungsbereich sind typische Einsatzgebiete von thermischen Solaranlagen Krankenhäuser, Schwimmbäder, Hallenheizungen für Gewerbebetriebe (vor allem mit Solarluftkollektoren), solare Kühlung und Prozesswärmeerzeugung für Industriebetriebe, Gewerbeimmobilien und öffentliche Einrichtungen.

Thermische Solaranlagen für Ein- und Zweifamilienhäuser zur Erwärmung des Trinkwassers sowie Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung haben bereits einen hohen technischen Stand erreicht. Anlagen für Mehrfamilienhäuser werden zunehmend gebaut. Zwar liegen zu diesen Anlagen aus vielen, auch wissenschaftlich begleiteten Pilot- und Demonstrationsanlagen bereits umfangreiche Praxiserfahrungen vor, doch bei den meisten Planern und Installateuren fehlt noch das Know-how und die Erfahrung in der Planung und Realisierung der Anlagen, was immer wieder auch zu technischen Problemen führt. Anlagen zur solarthermischen Kühlung und zur Erzeugung von solarer Wärme für industrielle Prozesse befinden sich noch im Entwicklungsstadium bzw. am Beginn der Markteinführung. Auch die solaren Nahwärmesysteme sind noch im Entwicklungs- und Demonstrationsstadium.

Noch im frühen Stadium der Markteinführung befinden sich Solarhäuser, die zu mehr als 50% und bis zu 100% solar beheizt werden und einen großen, teilsaisonalen Wasserwärmespeicher aufweisen. Sie werden SolarAktivhaus, Solarhaus 50+ oder Sonnenhaus genannt. Das Interesse an diesen Häusern steigt deutlich an, in Deutschland sind nach Angaben des Sonnenhaus-Instituts bereits über 500 solcher Häuser gebaut, auch Fertighaushersteller haben solche Solarhäuser im Standardangebot.

2.2.3 **Versorgungssicherheit**

2.2.3.1 **Fossile Energieträger**

Beim Einsatz fossiler Energieträger resultieren die entscheidenden Versorgungsrisiken aus der lokalen und globalen Verfügbarkeit. Die lokale Verfügbarkeit wird primär von den Transportwegen bestimmt und ist bei leitungsgebundenen Energieträgern deutlich ausgeprägter als bei einem Transport auf dem See- oder Landweg. Durch geeignete strategische Maßnahmen kann das aus der lokalen Verfügbarkeit resultierende Versorgungsrisiko deutlich minimiert werden. Allerdings besteht die Gefahr, dass die zunehmende Konzentration der verbleibenden Öl- und Gasressourcen auf den Nahen Osten und Russland dazu führt, dass die Versorgung mit fossilen Energien von diesen Staaten auch unter politischen Aspekten gesteuert wird.

Im Gegensatz dazu steht das Versorgungsrisiko, das aus der limitierten globalen Verfügbarkeit fossiler Energieträger resultiert. Da die Verfügbarkeit mit der geförderten Menge abnimmt führt dies zwangsläufig zu einem kontinuierlichen Anstieg des Versorgungsrisikos und damit zu einer kontinuierlichen Abnahme der Versorgungssicherheit. Verknappungen am Weltmarkt drücken sich in Preissteigerungen aus, Preisschwankungen spiegeln kurzfristige Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage, den Einfluss von Spekulanten, vor allem aber auch eine große Unsicherheit in Bezug auf die realen Kapazitäten, sowohl in Bezug auf die Ressourcen als auch die Förderkapazitäten, wieder.

2.2.3.2 *Solarthermie*

Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern ist das zentrale Risiko der Versorgungssicherheit bei der Solarthermie nicht der Brennstoff, sondern die Verfügbarkeit der Rohstoffe zur Herstellung der entsprechenden Anlagen zur Energiegewinnung und Speicherung. Um welchen Rohstoffbedarf es sich hierbei handelt, ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht absehbar. Beispielsweise könnten im Bereich der Wärmespeicherung andere Rohstoffe zum Einsatz kommen, als bisher in der Solarthermie verwendet.

Die zur Energiegewinnung eingesetzten Solarkollektoren bestehen aus den zentralen Komponenten Rahmen, transparente Abdeckung (meist Glas), Absorber und Wärmedämmung. Im Hinblick auf die benötigten Rohstoffe ist aus heutiger Sicht nur die Herstellung des Absorbers als kritisch zu betrachten, da hier bisher überwiegend Kupfer und Aluminium zum Einsatz kommen und diese Materialien aufgrund ihrer guten thermischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit) nur mit erheblichem Aufwand substituiert werden können. Zwar gibt es bereits Forschungsprojekte zur Substitution dieser Absorbermaterialien (z. B. durch Einsatz von Polymeren), doch sind bislang noch keine entsprechenden Produkte zur Erschließung eines Massenmarktes sichtbar.

Die Verfügbarkeit der Energiequelle Solarstrahlung stellt kein Versorgungssicherheitsrisiko dar. Die jährliche Einstrahlungssumme beträgt in Deutschland zwischen 900 und 1.200 kWh/m² auf eine horizontale Fläche und weist im Allgemeinen jährliche Schwankungen von weniger als ±10% auf. Kurzzeitige Fluktuationen der verfügbaren Solarstrahlung im Bereich von Tagen bis hin zu Wochen sind für Solaranlagen mit einem solaren Deckungsanteil deutlich unter 100% unproblematisch, da die Anlagen meist mit einem solaren Wärmespeicher versehen sind und zusätzlich über eine konventionelle Nachheizung verfügen.

Im Vergleich zu fossilen Energieträgern zeichnet sich die Solarenergie dadurch aus, dass sie im Hinblick auf die Verfügbarkeit völlig frei von Versorgungsrisiken ist.

2.2.4 Marktpotenzial

Die Niedertemperatur-Solarthermie hat das Potenzial, in Deutschland im Jahr 2020 etwa 3% des gesamten Wärmebedarfs zu decken. Hierfür ist es erforderlich, dass Solaranlagen mit einer thermischen Leistung von insgesamt 56 GW_{th} bzw. einer Kollektorfläche von 80 Mio. m² installiert werden. Das langfristige Ziel liegt bei der Installation von 8 m² Kollektorfläche bzw. 5,6 kW_{th} thermischer Leistung pro Einwohner. Damit können etwa 50% des gesamten Wärmebedarfs durch Solarthermie bereitgestellt werden unter der Annahme, dass der Wärmebedarf bis 2050 um etwas mehr als die Hälfte im Vergleich zu 2004 gesunken ist (siehe Tab. 3).

	Einheit	Deutschland			Europa		
		2008	2020	2030/ 2050	2008	2020	2030/ 2050
Gesamt inst. Leistung	GW _{th}	7,9	56	448	15,4	336	2.400
Gesamt inst. Kollektorfläche	Mio. m ²	11,3	80	640	22,0	480	3.400
Jährlich inst. Leistung	GW _{th}	1,5	5,7	24	1,9	35	120
Jährlich inst. Kollektorfläche	Mio. m ²	2,1	8,2	34	2,7	50	170
Jährliches Investitionsvolumen	Mrd. € ₂₀₀₅	1,7	3,7	7,2	2,2	23	36
Jährliche Energieeinsparung	TWh	4,5	32	256	8,8	192	1.360
Jährliche CO₂-Einsparung	Mio. t	1,2	8,5	68	2,3	51	363

Tab. 3: Perspektive der Solarthermie-Marktdurchdringung in Deutschland und Europa, die Werte für 2030/2050 können bei forciertem Ausbau bereits 2030 erreicht werden und entsprechen 50% Solarthermie in der Wärmeerzeugung, sie werden spätestens 2050 erreicht (inst. = installiert) [ESTTP2009 und eigene Schätzungen]

Unter der Annahme, dass je m² Kollektorfläche jährlich 400 kWh bzw. je kW_{th} installierter solarthermischer Leistung 571 kWh Primärenergie eingespart werden, ergeben sich die in Tab. 3 für die Energieeinsparung dargestellten Ergebnisse. Je nach angenommenem Nutzungsgrad des konventionellen Wärmeerzeugers liegen die daraus resultierenden Primärenergieeinsparungen um 20% bis 50% (bei Strom 200%) höher.

Für die Ermittlung der im Inland vorhandenen Wertschöpfung wird davon ausgegangen, dass mindestens 75% des Umsatzes zu einer Wertschöpfung im Inland führen [BSW2010]. Unter der Annahme eines gleichbleibenden Anteils resultiert aus dem in Tab. 3 aufgeführten In-

investitionsvolumen für das Jahr 2020 eine nationale Wertschöpfung von 2,8 Mrd. €. Ein verstärkter Ausbau der thermischen Solarnutzung trägt daher signifikant zu einer Stärkung der Binnenkonjunktur bei.

2.2.5 Forschungsbudget

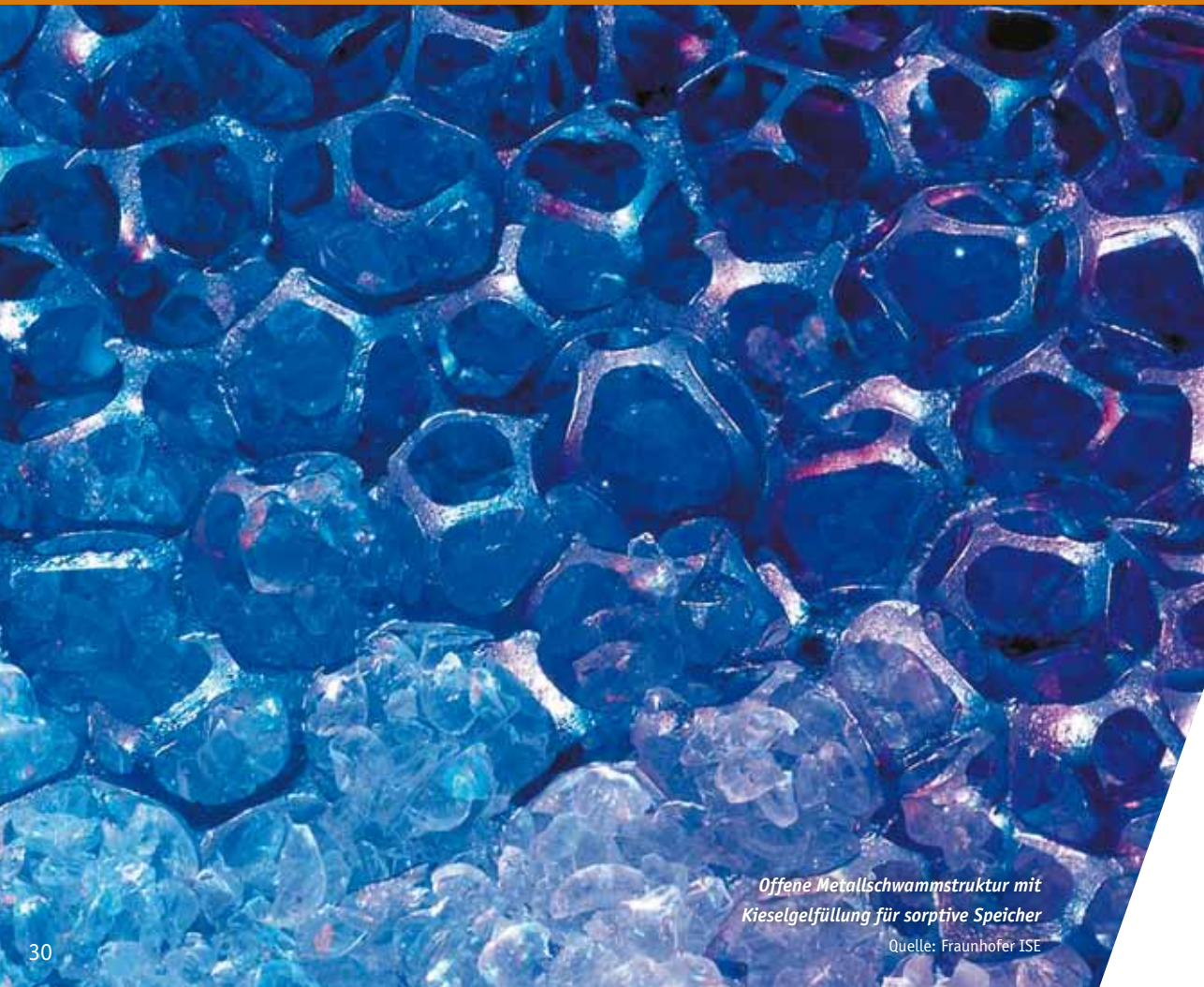
Die dargestellten Markt- und Anwendungspotenziale und die mit ihrer Realisierung verbundenen technologischen Herausforderungen und Forschungsaufgaben, die in den folgenden Kapiteln dargestellt werden, belegen den großen Bedarf an einer Beschleunigung der technologischen Entwicklung der NT-Solarthermie. Bislang werden von der öffentlichen Hand nur ca. 6 bis 8 Mio. Euro Forschungsförderung jährlich direkt für die Niedertemperatur-Solarthermie-Forschung bereitgestellt, was nur ca. 6% des erneuerbaren Energien-Forschungsbudgets und 0,9% des Forschungsbudgets der gesamten Energieforschungsförderung entspricht.

Aktuell macht die Forschungsförderung nur ca. 0,5% des Branchenumsatzes aus. Bei einem Ziel von 3% Forschungsausgaben einer durch Innovationen getriebenen Branche und einer erforderlichen Kofinanzierung der Forschungsaufwendungen von 50% durch die öffentliche Hand **lässt sich ein Bedarf von etwa 50 Mio. Euro jährlich an öffentlicher Forschungsförderung ermitteln.** Bei künftig steigenden Märkten und Umsätzen steigt auch der Bedarf an Forschungsmitteln. Bei dieser Abschätzung ist auch zu berücksichtigen, dass Forschungsaktivitäten in Randbereichen der Solarthermie wie z. B. die Wärmespeicherforschung auch aus anderen Förderprogrammen kofinanziert werden. Allerdings ist festzustellen, dass die Niedertemperatur-Solarthermie aufgrund ihrer forschungspolitischen Vernachlässigung in den vergangenen Jahren einen großen Aufholbedarf hat und der Aufbau von Forschungsinfrastruktur aufgrund der schwierigen Marktlage und der mittelständischen Struktur der Solarthermiebranche vor allem eine Aufgabe der öffentlichen Hand ist.

Neben der Technologieförderung sind weitere Finanzmittel erforderlich, um die Berufs- und Hochschulausbildung sowie die berufsbegleitende Qualifizierung systematisch zu verbessern (siehe Kap. 4.2.3).

3

Technologische Perspektiven



*Offene Metallschwammstruktur mit
Kieselgelfüllung für sorptive Speicher*

Quelle: Fraunhofer ISE



Absorber mit Fractherm®-Kanalstruktur, selektiv beschichtet

3.1 Solarkollektoren

3.1.1 Stand der Technik

Niedertemperatur-Solarthermieanlagen werden bislang fast ausschließlich im Bereich Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung eingesetzt. Dabei kommen in Deutschland gegenwärtig flächenbezogen etwa 88% Flachkollektoren und 12% Vakuumröhrenkollektoren zum Einsatz. Der größte Teil des Marktes wird mit Standardmodulen in der Größe von etwa 1m × 2m bedient, die bei den größeren Herstellern heute auf Fertigungsstraßen mit einem zunehmenden Automatisierungsgrad als standardisiertes Fertigprodukt hergestellt werden.

Ein relativ kleiner Teil des Flachkollektormarktes besteht aus Großkollektoren mit 5–10 m² Kollektorfläche, die teilweise vor Ort aufgebaut werden oder wo vor Ort nur noch die Glasscheiben eingelegt werden. Flachkollektoren haben in Deutschland typischerweise einen Aluminiumprofilrahmen und werden „aufdach“, d. h. oberhalb der Ziegelebene, oder „indach“, d. h. in der Ziegelebene die Ziegel ersetzend und in diesem Fall mit Eindeckblechen wasserdicht an die Ziegelebene anschließend, eingebaut. Eine geringe Bedeutung haben in Deutschland Kollektoren in Holzrahmenbauweise, die vor allem in Österreich eingesetzt und immer „indach“ installiert werden. Sie kommen in Deutschland teilweise bei größeren Kollektorflächen auf Hausdächern zum Einsatz. In Deutschland wurde auch das „Solarroof“ entwickelt, bei dem der Dachaufbau und der Kollektor eine Einheit bilden, die in der Fabrik vorgefer-

tigt wird und auf der Baustelle als Einheit eingebaut wird. Bislang hat das „Solarroof“ allerdings noch keine große Marktbedeutung.

Das Produktangebot an Vakuumröhrenkollektoren hat sich in den vergangenen Jahren deutlich vergrößert. Die klassischen einwandigen Röhren, die entweder direkt durchflossen sind oder mittels Heatpipe die Wärme des Metallabsorbers an den Sammler abgeben, haben ihre Führungsrolle an die Sydneyröhren verloren, die aus zwei ineinander liegenden Glasröhren bestehen. Sie arbeiten nach dem Thermoskannenprinzip, wobei sich das Vakuum im Ringspalt zwischen der inneren und äußeren Glasröhre befindet und die selektive Absorberschicht auf der äußeren Seite der inneren Glasröhre aufgebracht ist. Die gesamte Oberfläche der inneren Glasröhre, also auch der nach der Rückseite gerichtete Teil, arbeitet daher als Absorber, weshalb oftmals ein Reflektor hinter den Röhren angebracht ist, der die zwischen den Röhren durchtretende Strahlung auf die Rückseite der Röhren reflektiert und nutzbar macht.

Die Standardkollektoren weisen heute bereits eine sehr hohe Effizienz mit einem Konversionsfaktor „ η_0 “ zwischen 75% und 85% auf, wobei sehr hochwertige Kollektoren Solarglas mit Antireflexbeschichtung einsetzen. Der lineare Verlustwert a_1 des Kollektors liegt üblicherweise zwischen 3,0 und 4,5 W/m²K bei Flachkollektoren. Vakuumröhrenkollektoren weisen je nach Bautyp ein η_0 zwischen 62% und 82% und einen a_1 -Wert zwischen 0,4 und 3 W/m²K auf. Die F&E-Aufgaben liegen bei Standardkollektoren deshalb vor allem in der Kostenreduktion durch Reduzierung oder Ersatz von teuren Materialien sowie durch konstruktive Maßnahmen und durch produktionstechnische Optimierung. Eine weitere F&E-Aufgabe liegt in Suche nach Möglichkeiten, die Stagnationstemperatur ohne Effizienzreduzierung besser zu beherrschen und den Kollektor optimal in die Gebäudehülle, also in das Dach und die Fassade zu integrieren.

Neben den Standardkollektoren gibt es eine Reihe von Kollektoren mit speziellen Technologien und Konstruktionen, die bislang allerdings nur in sehr kleinen Stückzahlen gefertigt und eingesetzt werden und auf spezifische Anwendungs- und Temperaturbereiche abzielen wie etwa Luftkollektoren, konzentrierende Kollektoren zur Prozesswärmeerzeugung, photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT) oder Fassadenkollektoren. Bei all diesen Kollektoren ist noch F&E-Grundlagenarbeit zu leisten.

3.1.2 Technologievision 2030

Die Solarbranche geht davon aus, dass die Solarthermie langfristig bei entsprechender technologischer Entwicklung für die meisten Anwendungen die kostengünstigste und sicherste Wärmequelle darstellt. Langfristig werden deshalb die Mehrzahl der Dach- und Fassadenflächen zu großen Teilen mit Solarwärmekollektoren belegt sein. Daraus lassen sich die wichtigsten Ziele für die F&E-Arbeit im Bereich der solarthermischen Kollektoren ableiten:

- Kostenreduktion bei Herstellung und Montage von Kollektoren
- Erhöhung des Systemertrags durch Kollektoroptimierung
- Optimierte und kostengünstige Integration großer Kollektorflächen in Dach und Fassade unter Berücksichtigung architektonischer und technologischer Aspekte
- Entwicklung von Kollektoren für neue Anwendungsbereiche
- Erhöhung der Betriebssicherheit der Kollektoren

Voraussetzung für den Erfolg der Solarthermie ist die Reduktion des solaren Wärmepreises des Gesamtsystems, die durch Kostenreduktion der Komponenten und des Systems, durch Ertragssteigerung des Kollektors und des Systems sowie durch Erhöhung des Nebennutzens erreicht werden kann. So werden Kollektoren, die neben der reinen Wärmeerzeugung weitere Funktionen für das Gebäude übernehmen – z. B. statische, bauphysikalische oder lichttechnische – durch Synergieeffekte zu einer deutlichen Kostenreduktion bei gleichzeitigem Gewinn an Ästhetik, architektonischer Qualität und Wohnkomfort führen können. Heute werden etwa 25 bis 30% der Kosten eines typischen Solarsystems vom Kollektorfeld verursacht. Durch kontinuierliche Innovationsanstrengungen, vor allem durch neue Konzepte für Kollektorstruktur und Absorber und durch den Ausbau industrieller Massenfertigung lassen sich bis 2030 die Herstellkosten deutlich reduzieren.

Die Vision von „Smart solar collectors“, die durch passiv oder aktiv ausgelöste Anpassung ihrer optischen und/oder thermischen Eigenschaften auf die aktuelle Bedarfs- und Angebotssituation reagieren können, basiert im Wesentlichen auf der Weiterentwicklung von „Smart materials“, der Miniaturisierung mechanischer und fluidischer Bauteile sowie der zunehmenden Vernetzung technischer Komponenten in Gebäuden. In diesen Technologiebereichen sind im Zeitraum bis 2030 deutliche Fortschritte zu erwarten, von denen die Solarbranche profitieren kann. Eine besondere Herausforderung stellen hierbei bewegte Kollektorkomponenten dar, die im Stand der Technik üblicherweise aus Gründen der Langzeitstabilität vermieden werden. Andererseits sind bewegte Bauteile im Bereich des Sonnenschutzes

notwendig und üblich, so dass auch hier interessante Kombinationen vorstellbar sind.

Eine Maßnahme zur Kostensenkung ist bei wachsendem Solarthermiekmarkt die Diversifizierung der Kollektoren und ihre Anpassung auf die spezifischen Anforderungen einzelner Anwendungsgebiete statt der Produktion eines Universalkollektors, der für viele Anwendungen und Temperaturbereiche geeignet ist. Dabei sind die typischen Arbeitstemperaturbereiche, die erforderliche Effizienz, die lokalen Bau- und Gebäudestandards sowie die lokalen klimatischen Bedingungen und die Strahlungszusammensetzung zu berücksichtigen, wobei nicht nur die Anforderungen in Deutschland, sondern für die zunehmend exportierende Industrie auch die klimatischen Konditionen in anderen Regionen der Erde relevant sind.

Die Kollektoren lassen sich entsprechend ihres typischen Arbeitstemperaturbereichs einteilen wie in Tab. 4 beschrieben

Arbeits-temperaturbereich	Anwendung	Kollektortyp
0–40 °C	Schwimmbadwassererwärmung und als Absorber für Wärmepumpenanwendungen etc.	Niedrigst- und Niedertemperaturkollektoren, meist unabgedeckt aus Kunststoffen oder Metall
30–60 °C	Warmwasservorwärmung und Niedertemperatur-Prozesswärme z. B. in der Lebensmittel-, Getränke-, Textil- oder Chemieindustrie	Einfache, verglaste Flachkollektoren mit geringer Wärmedämmung
40–90 °C	Trinkwassererwärmung, Heizungsunterstützung, Niedertemperatur-Prozesswärme z. B. in der Lebensmittel-, Getränke-, Textil- oder Chemieindustrie, für Waschprozesse, zur solaren Meerwasserentsalzung oder zur solaren Klimatisierung	Effiziente Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren, teilweise mit antireflexbeschichtetem Glas und guter Wärmedämmung
70–150 °C	Prozesswärmeerzeugung für die solare Kühlung und Klimatisierung, Dampferzeugung für Produktionsprozesse, Trinkwasserreinigung oder Meerwasserentsalzung etc.	Nicht nachgeführte, hocheffiziente Flachkollektoren (z. B. Isolierglaskollektoren und/oder mit zweiter transparenter Abdeckung) und Vakuumröhrenkollektoren mit und ohne fixierten Reflektoren
90–250 °C	Hochtemperatur-Prozesswärmeanwendungen	Nachgeführte, konzentrierende Parabolrinnen- oder Fresnelkollektoren

Tab. 4: Übersicht der Kollektortypen nach Temperaturbereichen

3.1.3 Forschungsbedarf Kollektoren

Aus den Technologievisionen lassen sich folgende Schwerpunkte für die Kollektorforschung ableiten.

3.1.3.1 *Neue Werkstoffe und Materialien für Solarkollektoren*

Der Einsatz von Aluminium und Kupfer in Form von Profilen, Blechen und Rohren hat sich in den Solarkollektoren bewährt, diese bieten jedoch nur eingeschränkte Möglichkeiten zur konstruktiven Gestaltung. Da diese Materialien einen hohen Anteil an den Kollektorkosten haben und ihre Preise potenziell stark steigen, spielen Materialeinsparungen und der Ersatz durch günstigere Materialien eine Schlüsselrolle bei der Kostensenkung und der Erschließung neuer Anwendungsgebiete von Solarkollektoren. Die Auswahl der einsetzbaren Materialien hängt stark von den durchschnittlichen Arbeitstemperaturen und den maximal erreichbaren Temperaturen (Stagnationstemperaturen) ab, deshalb müssen bei der Materialauswahl deren Anwendungsbereich und die Systemkonfiguration mit betrachtet werden.

Kostengünstige Kunststoffe sind problemlos einsetzbar bei Arbeitstemperaturen bis 90 °C. Allerdings ist das Problem zu lösen, dass im Stagnationsfall bei heutigen Kollektoren Temperaturen von über 200 °C erreicht werden, denen diese Kunststoffe nicht widerstehen. Voraussetzung ist also bei jeglicher Materialoptimierung die sichere Beherrschung der am Kollektor auftretenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen durch die Entwicklung eigensicherer Bauteile und Systemkonzepte. Funktionale, leichte, unempfindliche und bruchfeste Materialien zur transparenten Abdeckung, als Gehäusematerial, Wärmedämmung oder Absorber haben ein großes Potenzial, Kosten, Bauvolumen und Gewicht zu verringern.

Angepasste, funktionale, kostengünstige, langlebige und umweltverträgliche Beschichtungstechnologien müssen entwickelt werden, um den Einsatz von Kunststoffen, Keramiken oder anderen anorganischen Materialien als Absorber-Materialien zu ermöglichen. Bei unabgedeckten Kollektoren für den Niedertemperaturbereich müssen die Absorberbeschichtungen dauerhaft einer direkten Bewitterung standhalten.

Beschichtungen und Konstruktionen für hocheffiziente, kostengünstige und langzeitbeständige Reflektoren und Konzentratoren werden benötigt für neue Kollektorkonzepte, die Mittel- und Hochtemperatur-Prozesswärme bis zu 250 °C bereitstellen.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Werkstoffe/Materialien in solarthermischen Systemen • kostengünstige Materialien und ihre Eignung in Solarkollektoren <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • ganzheitliche Konzepte zum Einsatz neuer Werkstoffe/ Materialien unter Berücksichtigung ihrer thermisch-mechanischen Belastungsgrenzen sowie konstruktiven Gestaltungsmöglichkeiten • kostengünstige und stabile Beschichtungen für mehrdimensionale Geometrien • farbige Beschichtungen ohne überproportionale Leistungsreduzierung zur besseren architektonischen Integration • funktionale, leichte, unempfindliche und bruchfeste Materialien als Kollektorabdeckung, Wärmedämmung und Absorber • Materialverbünde für photovoltaisch-thermische Kollektoren zur gleichzeitigen Bereitstellung von Wärme und Strom aus Solarenergie <p>Pilot- und Demoprojekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • zur Eignungsprüfung neu entwickelter Materialien im Feld 	<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluierung der Nutzung von Lichtleitern als Alternative zu Wärmeträgerfluiden <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • selbstreinigende Beschichtungen für Kollektorabdeckungen • Werkstoffe/Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen; recyclebare Kollektorkonstruktionen • kostengünstige und langzeitbeständige Materialien für Reflektoren/Konzentratoren • langzeitbeständige, selektive Beschichtungen für direkt bewitterte Absorber sowie für Absorber in korrosiven Umgebungen • “Smart collectors“, die ihre optischen/thermischen Eigenschaften ändern können, z. B. Schichten zur Veränderung der Transparenz der Abdeckungen, um Stagnation zu vermeiden • multi-funktionale Kollektoren zur kombinierten aktiven Energiegewinnung und Einsatz in der Gebäudehülle (Wärmedämmung, Tageslichtversorgung, optischer Komfort) • kostengünstige Wärmedämmstoffe mit verbesserten thermischen und Verarbeitungseigenschaften sowie erweiterten Funktionalitäten • Langzeiterprobung neuer Werkstoffe • Werkstoffe für selbstregelnde Kollektoren mit regelbarer Energieaufnahme (z. B. durch schaltbare optische Eigenschaften) • Materialverbünde für hocheffiziente (großflächig einsetzbare) photovoltaisch-thermische Kollektoren

Tab. 5: Forschungsbedarf im Bereich Werkstoffe/Materialien für Solarkollektoren

3.1.3.2 Konzepte für Niedrigtemperatur- und Prozesswärmekollektoren

Neue Kollektoren, speziell für niedrige und sehr hohe Betriebstemperaturen, müssen in Bezug auf die eingesetzten Materialien und den jeweiligen Einsatzbereich hin entwickelt und optimiert werden, wobei neue Bauformen auch strömungsmechanische, thermische und mechanische Aspekte berücksichtigen müssen. Prozesswärmekollektoren erfordern neue Wärmedämmkonzepte und neue Systeme zur Strahlungskonzentration. Die Problematik der Kollektorüberhitzung muss durch hochtemperaturfeste Materialien und durch neue konzeptionelle Ansätze gelöst werden.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1. Generation Prozesswärmekollektoren bis 250 °C • Kollektoren für Prozesswärme im Nieder-temperaturbereich • Niedersttemperaturkollektoren mit Betriebstemperaturen auch unter dem atmosphärischen Taupunkt • modulare Kollektoren für große Kollektorflächen • Konstruktionen zur Vermeidung einer Kollektorüberhitzung • Optimierung der optischen und thermischen Eigenschaften • konzentrierende Kollektorsysteme • Fassadenkollektoren <p>Pilot- und Demoprojekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • zur Untersuchung der 1. Generation von Prozesswärmekollektoren 	<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • strömungsmechanische, thermische und mechanische Optimierungspotenziale neuer Kollektorkonzepte • neue Ansätze zur Kostensenkung und Effizienzsteigerung fortgeschrittener Kollektorkonzepte • Entwicklungsthemen, die aus dem Up- und/oder Down-Scaling von Konzepten und Prozessen entstehen <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nutzungskonzepte für Überschusswärme im Stagnationsfall und der dafür notwendigen Komponenten • 2. Generation von nicht nachgeführten Prozesswärmekollektoren • konzentrierende, nachgeführte Kollektoren • Gabledach-Kollektorkonzepte für Solaraktivhäuser • kostengünstige Hochtemperaturkollektoren für hoch-effiziente Wärmespeichersysteme <p>Pilot- und Demoprojekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachweis der Dauerhaltbarkeit und Betriebssicherheit von Kollektoren mit neuen Materialien und Anwendungsbereichen • für die 2. Generation von Prozesswärmekollektoren und neuer Kollektorkonzepte

Tab. 6: Forschungsbedarf im Bereich neue Kollektorkonzepte

3.1.3.3 *Kollektoren zur Gebäudeintegration, Groß-, Luft- und Hybridkollektoren*

Die Integration der Solarthermiesysteme in die Heiz- und Haustechnik bei gleichzeitiger Erhöhung des solarthermischen Anteils an der Wärmebereitstellung einerseits sowie die vollständige bauliche Integration größerer Kollektorflächen in die Gebäudehülle andererseits führt zu einer Vielzahl heute noch nicht vollständig vorhersehbarer Anwendungen, Funktionen, Technologiekombinationen, Synergieeffekten und Mehrfachnutzungen. Gleichwohl ist absehbar, dass die Solarthermie zu einem festen Bestandteil der Planungs- und Entwicklungsprozesse der Bauwirtschaft wird. Die Solarkollektoren werden zum integralen Bestandteil der Gebäudehülle und ihre fortschreitende Standardisierung erlaubt eine kostengünstige Herstellung von Solardächern und -fassaden. Gleichzeitig sind neue, individualisierbare Bauformen für fassaden- und dachintegrierte Kollektoren zu entwickeln, um bislang nicht erschlossene Gebäudehüllflächen zu erreichen.

In Solarkollektoren können aber auch weitere Funktionen integriert werden, wie z. B. Wärmespeicherfunktionen durch innovative Wärmespeichermaterialien und -konzepte im Kollektor selbst oder die thermische Ankopplung des Kollektors an das Gebäude zur Nutzung vorhandener Gebäudemassen als Wärmespeicher. Eine andere Form des zukünftigen Einsatzes von Solarkollektoren ist deren Integration in multifunktionale Fassadensysteme, die in der standardisierten, kostenoptimierten und geringinvestiven Modernisierung des Gebäudebestands eine wichtige Rolle spielen werden. Solarkollektoren werden somit zum Modul des Fassadensystems und dienen gleichzeitig der Wärmedämmung des Gebäudes.

Großkollektoren für große thermische Anlagen auf Mehrfamilienhäusern, Industrie, Gewerbe und öffentliche Bauten sowie im Freiland für solare Nahwärmanlagen unterscheiden sich funktionell wenig von den kleinen Modulkollektoren, haben aber das Potenzial zur zusätzlichen Kostenreduktion aufgrund der größeren Einheiten.

Luftkollektoren werden heute nur in Nischen eingesetzt, obwohl sie Vorteile aufweisen wie z. B. Frost- und Stagnationssicherheit. Allerdings weisen sie auch Nachteile auf, wie z. B. die geringe Wärmekapazität der Luft. Mit neuen Luftkollektortypen und zunehmenden aktiven Lüftungssystemen in den Gebäuden ergeben sich neue Chancen für die Luftkollektortechnik, die deshalb entsprechend weiterentwickelt werden muss. Dabei sind auch Konzepte vorstellbar, bei denen luftbasierte Wärmeträger eingesetzt werden, deren Wärmekapazität z. B. durch zusätzliche Stoffe im Luftstrom erhöht wurde.

Die Wärme- und Stromproduktion in photovoltaisch-thermischen Hybridkollektoren (PVT) ist in Zukunft eine sehr vielversprechende Anwendungsoption. Die Photovoltaik nutzt je nach Zelltyp nur 10 bis 20% der eingestrahlten Sonnenenergie, der Rest steht im PVT-Kollektor weiterhin zur Wärmergewinnung zur Verfügung. In getrennten Systemen stehen Photovoltaik und Solarthermie im Wettbewerb um geeignete Dach- und Fassadenflächen, dieses Problem wird durch PVT-Kollektoren gelöst. Voraussetzung ist, dass die Nachteile bei der Kombination beider Technologien weitestgehend reduziert werden. Die Solarthermie- und Photovoltaikanteile können deshalb nicht einfach addiert werden, sondern beide Technologien müssen so angepasst werden, dass der resultierende PVT-Kollektor in einem entsprechenden System signifikante Vorteile gegenüber der Addition der Einzeltechnologien aufweist.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeintegration von Kollektoren für Dach und Fassade <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • standardisierte, kostengünstige integrierte Kollektoren in Dächern und Fassaden • multifunktionale Fassaden mit integrierten Solarkollektoren • optimierte Luftkollektoren für neue Anwendungsbereiche • PVT-Kollektoren mit erhöhter Effizienz • Konzepte zur Kostenreduzierung durch Großkollektoren • Konzepte zur Stillstandssicherheit bei Großkollektoren <p>Pilot- und Demoprojekte</p> <ul style="list-style-type: none"> • solarthermische Fassadensysteme 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • branchenübergreifende, flexible Gebäudeintegrationskonzepte und Schnittstellen • standardisierte, hybride Bauelemente, die an Gebäuden die Funktion des Kollektors mit übernehmen • Hybrid-Kollektoren, die gleichzeitig den Wärmebedarf für Lüftungssysteme und Warmwasserbereitung bedienen • Integrierte, aktive Bauelemente im Kollektor zur Selbstüberwachung im Betrieb • PVT-Kollektoren mit aktiven Elementen zur Begrenzung der Stagnationstemperatur • Konzepte für eine standardmäßige Integration von Prozesswärme-Kollektoren in Industriegebäuden • Zusammenführung von Branchenstandards

Tab. 7: Forschungsbedarf im Bereich Kollektorkonzepte zur Gebäudeintegration, Groß-, Luft- und Hybridkollektoren

3.1.3.4 Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen

Optimierte und neue Fertigungstechnologien und Produktionsverfahren sind ein wichtiger Baustein bei der Kostensenkung von Kollektoren. Neue Fertigungsverfahren, wie beispielsweise das Kleben, bergen bei allen strukturellen Verbindungen am Gehäuse, zwischen Gehäuse und transparenter Abdeckung sowie am Absorber die Chance der konstruktiven Verbesserung und Kostensenkung und ermöglichen optimierte Produktionsmethoden.

Kosten können auch durch die Optimierung der Logistik entlang der gesamten Wertschöpfungskette gesenkt werden.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • neue Füge- und Verbindungstechnologien für Absorber, Gehäuse und Abdeckung für aktuell verwendete und neue Werkstoffe und Materialien • neue Beschichtungstechnologien für Absorber und Abdeckung auch für mehrdimensionale Geometrien • moderne Methoden zur Analyse, Bewertung und Gestaltung betrieblicher Prozesse in die Solarthermie • effiziente Verfahren der Serienprüfung in den verschiedenen Stadien des Produktionsprozesses • neue, flexible und kostengünstige Fertigungsverfahren für unterschiedliche Absorbergeometrien und Kanalstrukturen • neue Fertigungsverfahren zur kostengünstigen Massenproduktion von Solarkollektoren • Ansätze zur Optimierung der Supply-Chain, d. h. moderner Unternehmen-Lieferanten-Beziehungen, insbesondere hinsichtlich der organisatorischen Zusammenarbeit • ressourceneffiziente Fertigungsverfahren und Produktgestaltung 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • moderne Methoden der Produktionsplanung speziell im Hinblick auf die Koexistenz von Standardprodukten und anwendungs- bzw. kundenspezifischen Kleinserien • moderne Methoden der Produktionsplanung speziell im Hinblick auf die stark saisonale Ausprägung des Geschäftsbetriebs • Logistik-Konzepte speziell im Hinblick auf die großvolumigen, teils schweren Komponenten der Solarthermie • Konzepte der Supply-Chain und der Logistik im Hinblick auf die zunehmende Globalisierung der Solarthermiebranche

Tab. 8: Forschungsbedarf im Bereich Produktions- und Logistikprozesse

3.1.4 Leitprojekte

Die DSTP empfiehlt die Durchführung von Leitprojekten, in denen die zentralen F&E-Herausforderungen im jeweiligen Bereich aufgegriffen und bearbeitet werden können.

3.1.4.1 Werkstofftechnologien

Neue Werkstoffe/Materialien spielen eine Schlüsselrolle, wenn einerseits nennenswerte Kostensenkungen und andererseits die Erschlie-

ßung neuer Anwendungsgebiete von Solarkollektoren erreicht werden sollen. Im Leitprojekt Werkstofftechnologien sind deshalb eine systematische Prüfung von Möglichkeiten zur Reduzierung des Materialeinsatzes sowie die systematische Suche nach alternativen Werkstoffen/Materialien durchzuführen. Dabei sind die Anforderungen an die Materialien unter verschiedenen Rahmenbedingungen und in verschiedenen Systemen zu definieren und zu berücksichtigen. Weiter ist zu prüfen, inwieweit beispielsweise eine konstruktive Begrenzung der Maximaltemperatur den Einsatz von günstigeren Materialien ermöglicht.

3.1.4.2 *Kollektorkonzepte*

Bei der erwarteten, zunehmenden Kollektorspezifizierung auf einzelne Anwendungen und dem Einsatz neuer Werkstoffe und Materialien ist sowohl die theoretische als auch die praktische Untersuchung und Bewertung neuer Kollektorkonzepte von großer Bedeutung. Im zukünftigen Zusammenwirken mit anderen technischen Systemen müssen in Kollektoren zudem weitere Funktionen integriert und die Anwendungsgrenzen erweitert werden.

3.1.4.3 *Produktionsprozesse*

Hocheffiziente Produktionsprozesse sind eine Grundvoraussetzung zur Senkung der Herstellkosten und zur Umsetzung der zukünftig benötigten großen Produktionsvolumina. Dabei geht es um die Identifikation und Übertragung moderner Produktionsverfahren aus anderen Branchen und die Entwicklung neuer, solar-spezifischer Verfahren sowie die Identifikation und Übertragung moderner Ansätze der Planung und Organisation von Produktionsstätten auf die Solarbranche. So hat beispielsweise die Automobilindustrie mit dem Wunsch der Gewichtsreduzierung nicht nur eine Reihe modifizierter Werkstoffe und Materialien (z. B. eigenschaftsoptimierte Tailored Blanks in Stahl), sondern auch die zur Verarbeitung der neuen Materialien nötigen Verbindungsverfahren (z. B. Stanznieten von dünnen Aluminiumblechen) entwickelt.

3.1.4.4 *Gebäudeintegration und kombinierte Nutzung*

Auf dem Weg in eine breite Massenanwendung thermischer Solarenergie spielt die Erforschung und Weiterentwicklung geeigneter Schnittstellen zwischen der Solartechnik und Gebäuden bzw. industriellen Anlagen eine entscheidende Rolle. Nur wenn es gelingt, thermische Solaranlagen gut und effizient in größere Systeme wie zum Beispiel Gebäude oder Industrieanlagen zu integrieren, werden sie schnell in den benachbarten Branchen Fuß fassen können.



Mikroskopaufnahme Sorptionsmaterial (Metal organic framework, MOF) für erhöhte Speicherdichten

3.2 Wärmespeicher für Einzelgebäude

3.2.1 Stand der Technik

Die effiziente Speicherung von Wärme ist eine Schlüsseltechnologie für eine deutliche Erhöhung des Anteils der Solarthermie an der Wärmebereitstellung. Die auf deutsche Dächern auftreffende Strahlungsenergie ist um ein Vielfaches höher als der aktuelle und umso mehr als der künftige Wärmebedarf. Allerdings ist, um dieses Strahlungsangebot in Gänze nutzbar zu machen, ein Ausgleich der Tages-, Wochen- und vor allem saisonalen Schwankungen des Strahlungsangebots erforderlich, da der Wärmebedarf im Winterhalbjahr auch künftig in effizienten Gebäuden einen hohen Anteil am Gesamtjahresbedarf ausmacht, in dieser Zeit aber nur etwa ein Drittel der Jahreseinstrahlung zu verzeichnen ist.

In der Niedertemperatur-Solarthermie wird bisher praktisch ausschließlich Wasser als Speichermedium eingesetzt, das die Vorteile einer relativ hohen Wärmekapazität, leichter und kostengünstiger Verfügbarkeit sowie Ungiftigkeit und Umweltverträglichkeit aufweist. Warmwasserspeicher in Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung sind heute üblicherweise aus emailliertem Stahl und relativ selten aus Edelstahl oder Kunststoff gefertigt. Kunststoffspeicher werden aufgrund ihrer Materialeigenschaften bisher drucklos betrieben, was ein anderes Anlagenkonzept erfordert. Trinkwasserspeicher werden in dieser Art üblicherweise auch in konventionellen Heizungsanlagen

eingesetzt, allerdings weisen die Solarspeicher üblicherweise eine etwas bessere Wärmedämmung mit einer 5 bis 10 cm dicken Schicht aus Polyurethan oder Melaminharz als Hart- oder als Weichschaum auf. Die Wärmedämmung wird entweder um den Speicher herumgelegt oder der Speicher mit der Wärmedämmung eingeschäumt, womit diese dann dauerhaft miteinander verbunden sind. Dies reduziert Wärmeverluste, da die Zirkulation von Luft zwischen Speicherwand und Wärmedämmung unterbunden wird. Üblicherweise wird in Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung ein Speichervolumen zwischen 50 und 100 Litern pro Quadratmeter Kollektorfläche eingesetzt.

Kombianlagen, die zusätzlich die Raumheizung unterstützen, unterscheiden sich vor allem durch den Wärmespeicher von den solaren Trinkwasseranlagen und werden seit Mitte der 90er Jahre verstärkt angeboten. Diese sogenannten Kombispeicher wurden von der Solarindustrie speziell für diese Anwendung entwickelt und werden in einer großen Typenvielfalt angeboten. Sie sind üblicherweise aus Stahl und weisen bei typischen Anlagen für ein Einfamilienhaus mit einer 10 bis 15 m² großen Kollektorfläche ein Volumen von 600 bis 1000 Litern auf. Die Trinkwassererwärmung findet entweder mittels eines zweiten kleineren Edelstahl-Trinkwasserspeichers innerhalb des Kombispeichers in Form eines Zylinders (Tank-in-Tank), eines Edelstahlwellrohrschlauchs, der sich von unten bis oben durch den Speicher zieht, oder durch einen externen Wärmeüberträger statt. Die Beladung des Speichers mit Solarwärme erfolgt üblicherweise über einen internen Wärmeüberträger, der manchmal mit einer Schichtenladeeinrichtung ausgestattet ist.

Die Heizungsanbindung erfolgt bei Kombianlagen grundsätzlich nach zwei Prinzipien. Entweder wird die für die Raumheizung benötigte Wärme immer aus dem Pufferspeicher entnommen, was bedeutet, dass der Heizkessel bei Heizbedarf das entsprechende Puffervolumen im Speicher immer auf der gewünschten Temperatur halten muss. Oder das Heizwasser wird nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung immer dann über den Speicher geführt, wenn ausreichend Solarwärme gewonnen werden konnte, um das Pufferspeichervolumen zu erwärmen. Das Heizwasser wird dann weiter über den Heizkessel geführt, der die Temperatur dann bei Bedarf noch auf die gewünschte Vorlauftemperatur der Heizung anhebt. Diese Prinzipien werden in verschiedensten Speicherbauformen kombiniert und ausgeführt. Ziel ist es immer, eine gute Temperaturschichtung im Speicher zu erhalten, um die Solaranlage mit niedrigen Vorlauftemperaturen möglichst effizient betreiben zu können.

Eine nicht zu unterschätzende Quelle von Wärmeverlusten sind die verschiedenen hydraulischen Speicheranschlüsse, die bei ungünstiger Ausführung durch Konvektionseffekte zu permanenten Wärmeverlusten führen. Dies kann durch spezielle Ausführungen und Anslusstechnologien (z. B. Siphon) weitgehend vermieden werden.

In größeren solarthermischen Anlagen z. B. für Mehrfamilienhäuser oder Wohnheime kommen üblicherweise Standardpufferspeicher zum Einsatz, entweder als Großspeicher oder in Speicherbatterien.

Um eine Deckung von über 50% bis zu 100% am Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes mit solarthermischen Anlagen zu erreichen, wird auch bei überdurchschnittlicher Wärmedämmung des Gebäudes bei der Verwendung von Wasserspeichern ein relativ großes Speichervolumen benötigt. Für ein typisches SolarAktivhaus mit einer solaren Deckung zwischen 60% und 70% beträgt das benötigte Speichervolumen zwischen 6.000 und 10.000 Litern.

Die Verbreitung von vornehmlich solar beheizten Gebäuden und der Einsatz von solarthermischen Anlagen mit saisonaler Wärmespeicherung auch im Gebäudebestand wäre wesentlich einfacher oder teilweise erst möglich, wenn das Speichervolumen bei gleicher Speicherkapazität deutlich reduziert und wenn die Wärmeverluste bei der Wärmespeicherung über einen längeren Zeitraum deutlich verringert werden könnten.

Die Erhöhung der Speicherdichten ist durch andere Speichermedien wie Phasenwechselmaterialien (PCM: Phase Change Materials) einerseits und durch thermo-physikalische bzw. thermo-chemische Speichertechnologien (z. B. Sorption) möglich. Zwar gab es in diesen Bereichen in den vergangenen Jahren mehrere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen, allerdings konnte dabei bisher noch kein marktfähiges Produkt bereitgestellt werden.

3.2.2 **Technologievision 2030**

Die Technologievisionen für künftige Speicherkonzepte lassen sich in Bezug auf die zu optimierenden Aspekte und die Zielsetzung wie folgt differenzieren:

Optimierungsaspekt	Technologievisionen
Speicherdichte	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Wärmespeicherdichte bis zu einem Faktor 8 gegenüber heute üblichen Wasserspeichern
Wärmeverluste	<ul style="list-style-type: none"> • Deutlich verminderte Wärmeverluste bei Langzeitspeicherung bei geringerer Dicke der Wärmedämmung durch Vakuumdämmung, Nanoschäume und andere Konzepte • Quasi verlustfreie Wärmespeicherung über lange Zeiträume mittels thermo-chemischer Speicherkonzepte
Be- und Entladung/ Anschlüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Be- und Entladung des Speichers ohne Verwirbelung und unter Erhalt der optimalen Temperaturschichtung des Speichers durch optimierte Einströmöffnungen, Schichtenladeeinrichtungen, Wärmeüberträgergeometrien etc. • Einfachste und verwechslungssichere hydraulische Installation mit Steckverbindungen „plug and flow“ mit integrierten Siphonelementen zur Unterdrückung von Mikrozirkulationen
Speicherkonzepte	<ul style="list-style-type: none"> • Saisonaler Zentralwasserwärmespeicher mit minimalen Wärmeverlusten, sehr guter Temperaturschichtung durch optimierte Be- und Entladetechnik und optimiertem rechnergesteuerten Speicherbe- und Entlademanagement • Im Gebäude verteilte Speicher unter Verwendung von Bauteilaktivierung, teilweise in Kombination mit PCM, die sich bezüglich Temperaturniveau und teilweise Energiedichte unterscheiden und an Verbraucher und Energiequellen angepasst sind, Speicher sind teilweise Bestandteil von Gebäudekomponenten wie multifunktionalen Fassaden oder Solarkollektoren mit integrierten Wärmespeichern
Temperaturbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Wärme- und Kältespeicher werden kombiniert • Systemtrennung von Warmwasserbereitung und Heizung, d. h. verschiedene Wärmespeicher auf unterschiedlichen Temperaturen • Verbreitung von Luftheizsystemen in Kombination mit aktiver Gebäudebe- und -entlüftung nutzen u.a. Gebäudedecken und -wände (Hypokausten) als Wärmespeicher • Durch den breiten Einsatz von Flächenheizsystemen in sehr gut wärmedämmten Gebäuden sinkt die Arbeitstemperatur und damit die erforderliche Speichertemperatur für Heizsysteme • Mögliche Speichertemperaturbereiche: 0–20 °C: Speicher als Wärmequelle für Sorptionssysteme und Wärmepumpen sowie als Kältespeicher 10–30 °C: Speicher für Abtauprozesse (Wärmepumpen, Lüftung mit Wärmerückgewinnung), bevorzugt gespeist von Abwärme beispielsweise aus Lüftungsanlagen 25–35 °C: Speicher für Flächenheizsysteme 50–95 °C: Speicher für Warmwasser, Luftheizung und Radiatorenh Heizungen sowie für den Antrieb von solarthermischen Kältemaschinen 80–200 °C: Speicher für Prozesswärmeanwendungen und solare Kälteerzeugung
Systemtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Modulare sowie drucklose Speicher • Speichersysteme, die eine unkomplizierte Einbindung aller Wärmequellen bieten, optimiert für die individuellen Besonderheiten der Nachheizsysteme wie z. B. Gas- oder Ölbrennwertkessel, Biomassekessel oder Wärmepumpen

Tab. 9: Technologievisionen für die langfristige Entwicklung von Wärmespeichern

3.2.3 Forschungsbedarf

Da Wärmespeicher ein zentraler Baustein zur deutlichen Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung sind, müssen Forschung und Entwicklung deutlich verstärkt werden. Insbesondere sind folgende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben notwendig.

3.2.3.1 *Forschungsbedarf Wasserspeicher*

Speicher mit dem Medium Wasser sind bewährt, universell einsetzbar und relativ preiswert. Sie werden auch künftig eine große Bedeutung haben, ihre Optimierung bleibt deshalb ein Schwerpunkt für Forschung- und Entwicklung.

Technologien zur Reduzierung der Wärmeverluste von Speichern kommen allen Speichertypen zugute, am meisten aber den Wasserspeichern, bei denen sie auch zuerst eingesetzt werden. Sie werden deshalb in diesem Kapitel mit behandelt.

Die spezifischen Anforderungen von Speichern in solarthermischen Anlagen, wie z. B. lange Bevorratungszeiten und Anschlüsse für mehrere Wärmequellen und -verbraucher, machen es notwendig, die Wärmeverluste sowohl über die Speicher Oberfläche als auch über die hydraulischen Anschlüsse stark zu reduzieren. Des Weiteren ist der Aufwand an Hilfsenergie zur Beladung zu beachten und die Fehleranfälligkeit der Installation zu reduzieren.

Darüber hinaus ist eine möglichst ausgeprägte thermische Schichtung im Speicher sicherzustellen. Hierzu ist primär die Entwicklung von Schichtbe- und Entladeeinrichtungen erforderlich. Die bei der direkten Beladung auftretenden Verwirbelungs- und Vermischungsvorgänge müssen vollständig verstanden und mittels numerischer Simulationsrechnungen mit CFD-Werkzeugen (CFD: Computational Fluid Dynamics) beschrieben werden können. Dies ist auch die Basis für eine Verbesserung der Ausführung der hydraulischen Anschlüsse.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimierte Anschlusskonfigurationen und Speicherdämmung von Kombispeichern und deren Einbauten in Abhängigkeit der gewünschten solaren Deckung, der eingesetzten Kollektorfläche und des Lastprofils <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Wärmedämmmaterialien in Bezug auf Wärmeverluste, Lebensdauer und Temperaturbereich sowie deren Montage am Speicher • Optimierte Speicheranschlüsse zur Vermeidung von Mikrozirkulationen und damit zur Verringerung der Wärmeverluste und der Vermeidung von Verwirbelungen bei der direkten Beladung • Optimierte Be- und Entladeeinrichtungen für Kombi- und saisonale Wärmespeicher zur besseren Temperaturschichtung und damit zur Erhöhung des Solarertrags im System 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neuartige Schäume mit verringerter Wärmeleitung (z. B. Nano-Schäume) sowie anderer Hochleistungs-Wärmedämmmaterialien geringer Dicke (z. B. Vakuumpaneele) für Wärmespeicher • Umweltfreundliche Materialien zur Wärmedämmung auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen • Regelkonzepte zur optimierten Be- und Entladung von Wärmespeichern für hohe solare Deckungsanteile • Standardisierte steckbare Anschlüsse für Wärmespeicher mit integrierten Mikrozirkulationsbremsen • Behälter aus neuen, kostengünstigen Materialien insbesondere für den flexiblen Einbau größerer Speichervolumina in den Gebäudebestand

Tab. 10: Forschungsbedarf im Bereich Wasserwärmespeicher

3.2.3.2 Gebäudeteile als Wärmespeicher

Die Nutzung von massiven Wänden und Decken als Wärmespeicher ist eine vielversprechende Option für SolarAktivhäuser mit einem hohen Solarwärmeanteil. Folgende Forschungsthemen sind in diesem Feld erforderlich.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konzepte zur Nutzung von Gebäudeteilen als dezentrale Speicher von solarthermisch erzeugter Wärme <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systeme zur Nutzung von massiven Wänden und Decken als Wärmespeicher in Luftkollektorsystemen zur solaren Beheizung von Gebäuden 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transparente Wärmedämmung (TWD) zur Bauteilaktivierung und Wärmespeicherung in der Gebäudemasse • Konzepte zur Nutzung des Erdreichs unter dem Gebäude mit dem Ziel der Reduzierung der Erschließungskosten des Erdreichs • neue Hochleistungsbetone zur kombinierten Verwendung in der Statik und als Wärmespeicher • das „isotherme Haus“ bzw. die „isotherme Wand“, in denen die Funktionalität Wärmespeicherung und Wärmeabgabe vollständig vereint sind • multifunktionale Gebäudekomponenten mit integrierten thermo-chemischen oder thermo-physikalischen Wärmespeichern

Tab. 11: Forschungsbedarf im Bereich Gebäudeteile als Wärmespeicher

3.2.3.3 *Das Erdreich als Speichermedium*

Das Erdreich eignet sich vor allem zur Speicherung von großen Wärmemengen auf relativ niedrigem Temperaturniveau, da dessen Wärmedämmwirkung relativ gering, das Speichervolumen allerdings sehr groß ist, so dass bereits bei relativ geringen Temperaturdifferenzen relativ große Wärmemengen gespeichert werden können. Im Erdreich vergrabene Warmwasserspeicher werden in Kapitel 3.3 behandelt.

Deshalb bietet sich die Nutzung des Erdreichs insbesondere als Energiequelle für Sorptionssysteme und Wärmepumpen in Kombination mit Solarwärmeanlagen an, die die Auskühlung der Böden verhindern und die Anzahl bzw. Länge der Erdsonden reduzieren können. Gleichzeitig können durch den Einsatz derartiger Speicher die Stagnationszeiten der Solarkollektoren deutlich verringert werden.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
Entwicklungen <ul style="list-style-type: none">• Systemkonzepte zur Kombination von Solarwärme und Erdwärme, beispielsweise als „kalte Nahwärmenetze“	Entwicklungen <ul style="list-style-type: none">• Konzepte zur Nutzung des Erdreichs unter dem Gebäude mit dem Ziel der Reduzierung der Erschließungskosten des Erdreichs• Umweltverträgliche Stoffe die in das Erdreich eingebracht werden können und zu einer deutlichen Erhöhung der Wärmekapazität führen (z. B. makroverkapselte PCMs)

Tab. 12: Forschungsbedarf im Bereich Erdwärmespeicher

3.2.3.4 *Phasenwechselmaterialien (PCM) zur Wärmespeicherung*

PCM-Speicher eignen sich für spezielle Aufgaben der Wärmespeicherung. Das PCM-Speichermedium nutzt bei einer bestimmten Temperatur die aufgenommene Wärme für den Phasenwechsel (z. B. von fest nach flüssig) und kann beim Phasenwechsel in die andere Richtung (z. B. von flüssig nach fest) die Wärme wieder abgeben, ohne die Temperatur zu verändern. Dies ermöglicht eine höhere Speicherdichte und reduziert die Wärmeverluste, da die gleiche Wärmemenge bei niedrigeren Temperaturen gespeichert werden kann als das z. B. in einem Wasserspeicher der Fall ist. PCM-Speicher lassen sich kompakt bauen und können gezielt auf einen Temperaturbereich angepasst werden. Die technologische Herausforderung liegt darin, die für eine Anwendung besten Stoffpaare zu finden und die Be- und Entladung schnell und über eine hohe Zyklenzahl und lange Lebensdauer hinweg zuverlässig zu gestalten.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Materialuntersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detektion geeigneter Stoffpaare für definierte Anforderungsprofile • Grundlagenuntersuchungen, z. B. Keimbildung, Reaktionsvorgänge, Katalysatoren <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verfahrenstechnik zur Realisierung der Speicherprozesse für ausgewählte Materialien • Entwicklung eines PCM-Wärmespeichers zur gleichmäßigen Auslastung von Sorptionsanlagen, die mit Temperaturen von 100 bis 120 °C angetrieben werden • Meßmethoden zur Bestimmung des Ladezustands von PCM-Speichern 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speichermaterialien für den Temperaturbereich von 10–20 °C für Kältespeicher, Wärmepumpen und Sorptionsanlagen • Speichermaterialien für den Temperaturbereich von 0–100 °C für kombinierte Wärme- und Kältespeicher • Abwärmespeicher für Abtauprozesse zum Einsatz in Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpen mit der Quelle „Außenluft“ • Latentwärmespeicher für Temperaturen oberhalb 100 °C für Prozesswärmeanwendung • PCM-Speicher in der Gebäudestruktur (Baukern oder Oberflächen) zur Dämpfung der aus der solaren Einstrahlung resultierenden Temperaturerhöhungen

Tab. 13: Forschungsbedarf im PCM-Wärmespeicher

3.2.3.5 Thermo-chemische und thermo-physikalische Wärmespeicher

Das größte Potential im Hinblick auf eine Erhöhung der Speicherdichte und die Verringerung thermischer Verluste weisen thermo-chemische und thermo-physikalische Wärmespeicher auf. Deren Erforschung steht jedoch noch am Anfang, weshalb grundlegende Untersuchungen zur Identifizierung von geeigneten Reaktionen erforderlich sind, bevor die Produktentwicklung vorangetrieben werden kann.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sorbentien als Speichermaterial (z. B. LiBr, CaCl₂ oder NH₃), auch in Verbindung mit Sorptionskältemaschinen • Chemische Reaktion von zwei Flüssigkeiten (z. B. Oleum und Wasser) • Optimierungspotential durch den Einsatz von Katalysatoren <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Katalysatorsysteme 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modulare Speicherkonzepte für zentrale und dezentrale Speicher: passive (z. B. in der Gebäudemasse) und aktive (z. B. in den Lüftungsanlagen) Speicher • Speicher aus Kombinationen verschiedener Speichertechnologien (z. B. Warmwasserspeicher für Tagesbedarf in Kombination mit PCM- oder thermo-chemischen Speichern) • Technologien zur Steigerung der Entladeleistung von Nichtwasserspeichern • Speicherkonzepte zur Erhöhung der Effizienz der angeschlossenen Nachheizungen • neue Speichermaterialien wie z. B. Zeolithe • Kompositmaterialien mit aktiver und passiver Trägerstruktur • Methoden zur Bestimmung des Ladezustands von thermo-chemischen Speichern

Tab. 14: Forschungsbedarf bei thermo-chemischen und thermo-physikalischen Wärmespeichern

3.2.4 Leitprojekte

3.2.4.1 *Optimierter Wasserspeicher*

Wärmespeicher sind ein zentrales Bauteil in der Solaranlage. In Kombinationen machen dessen Wärmeverluste bei guter Ausführung und Installation etwa 10% des Gesamtwärmebedarfs aus, bei ineffizienter Ausführung und Installation können sie ein Vielfaches betragen. Wasserspeicher werden auch mittelfristig noch die führende Technologie in der Wärmespeichertechnik sein. Ihre Vielfalt hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen und neue Ansätze in Bezug auf Konstruktion, Be- und Entladetechnik sowie Wärmedämmung wurden erarbeitet.

Im Leitprojekt wird eine systematische Analyse aller Verlustmechanismen in Bezug auf die Konstruktion, Be- und Entladeeinrichtungen, verwendete Materialien für Behälter, Einbauten und Wärmedämmung in Abhängigkeit der verschiedenen Betriebsweisen durchgeführt mit dem Ziel, die Wärmeverluste zu reduzieren, die Effizienz zu steigern und die Kosten zu reduzieren.

3.2.4.2 *Speicherkonzepte für Solaraktivhäuser und die solaraktive Modernisierung*

Gebäude mit hohen solaren Deckungsanteilen von über 50 bis zu 100% erfordern teilsaisonale Speicher mit möglichst geringen Wärmeverlusten und einem optimierten Lademanagement, um eine möglichst hohe solare Deckung zu erreichen. In der solaren Modernisierung bieten dezentrale Speicherkonzepte interessante Optionen.

Im Leitprojekt werden innovative Speicher- und Systemkonzepte für die Gebäude mit hohen solaren Deckungsanteilen im Neubau (Solar-Aktivhaus) und bei der solaren Gebäudemodernisierung erarbeitet und bewertet.

3.2.4.3 *Speicher mit hohen Energiedichten und minimalen thermischen Verlusten*

Im Leitprojekt werden neue Ansätze für die Nutzung von Technologien untersucht, die hohe Wärmespeicherdichten ermöglichen und PCM sowie thermo-physikalische und thermo-chemische Effekte nutzen.



Bau des saisonalen Wärmespeichers in München

3.3 Saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen

3.3.1 Stand der Technik

Eine Alternative zu saisonalen Wärmespeichern in Einzelgebäuden ist die solare Nahwärmeversorgung von mehreren Gebäuden bis zu ganzen Quartieren oder Städten. Hierbei werden auf nur wenigen Gebäuden mit hierfür geeigneten Dächern große Kollektorflächen installiert. Die solare Wärme wird über die Heizzentrale verteilt oder von dort in einen zentral gebauten großvolumigen saisonalen Wärmespeicher eingespeichert. Dieser Wärmespeicher hat den Vorteil, dass sein Oberflächen-Volumenverhältnis wesentlich günstiger ist als in kleinen saisonalen Speichern in einzelnen Gebäuden, wodurch die Wärmeverluste vergleichsweise gering sind. Die Größe des Wärmespeichers und der Kollektorfläche bringt Kostenvorteile gegenüber vergleichbaren Anlagen in Einzelgebäuden. Dafür müssen jedoch zusätzliche Wärmeverluste beim Transport der Wärme durch die Nahwärmeleitung in Kauf genommen werden.

Saisonale Wärmespeicherung in Großspeichern ist kein Produkt, sondern eine Technologie: Die Funktion sowie technische und ökonomische Effizienz des eigentlichen Wärmespeichers wird von vielen Faktoren des Gesamtsystems beeinflusst, in das der eigentliche Wärmespeicher integriert ist. Dieses System kann wie in einem Nahwärmesystem sehr komplex sein und umfasst typischerweise mehrere Gewerke wie z. B. das Baugewerbe, die Gebäudetechnik sowie die Energieerzeugung und -verteilung.

In Deutschland begann die Entwicklung von Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung mit dem Bau eines Forschungspeichers im Jahr 1984. Durch das Forschungs- und Demonstrationsprogramm Solarthermie-2000 konnten in den Jahren 1995 bis 2002 acht Pilotanlagen zur solarthermischen saisonalen Wärmespeicherung realisiert und wissenschaftlich-technisch begleitet werden. Seit Februar 2004 wurde das Forschungs- und Demonstrationsprogramm unter dem Namen Solarthermie2000plus durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fortgesetzt. Im Rahmen dieses Programms konnte z. B. die solare Nahwärme mit saisonalem Wärmespeicher Hirtenwiesen 2 in Crailsheim umgesetzt werden, die als Leuchtturmprojekt der Innovationsoffensive der deutschen Wirtschaft und des Umweltministeriums Baden-Württemberg ausgezeichnet wurde.

Ein Stand der Technik existiert nur für große Wärmespeicher, die als freistehender Pufferspeicher mit z. B. 10.000 m³ Inhalt neben Kraftwerken aufgestellt werden und deren Speichergehäuse meist aus Stahl geschweißt ist (Abb. 3). Bei Speichern, die in das Erdreich eingebaut werden, sind beispielsweise die Vorgänge beim gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport in der Wärmedämmung und im Erdreich noch nicht vollständig erforscht. Das vorhandene Wissen beschränkt sich in der Regel auf maximale Temperaturen von 60 °C. Die Anforderungen an den Speicher sind hoch: So muss dieser dem Erddruck standhalten, soll sich in die Umgebung eingliedern, die Speicheroberfläche sollte nutzbar sein und der Speicher sollte eine Lebensdauer von mindestens 40 bis 50 Jahren haben. Erdvergrabene saisonale Wärmespeichertechnologien befinden sich derzeit noch im Stadium von Forschung und Entwicklung, wobei bereits elf Pilotanlagen zum Test von Bauweisen und zur Evaluierung des wissenschaftlich erarbeiteten Wissens erfolgreich realisiert werden konnten.

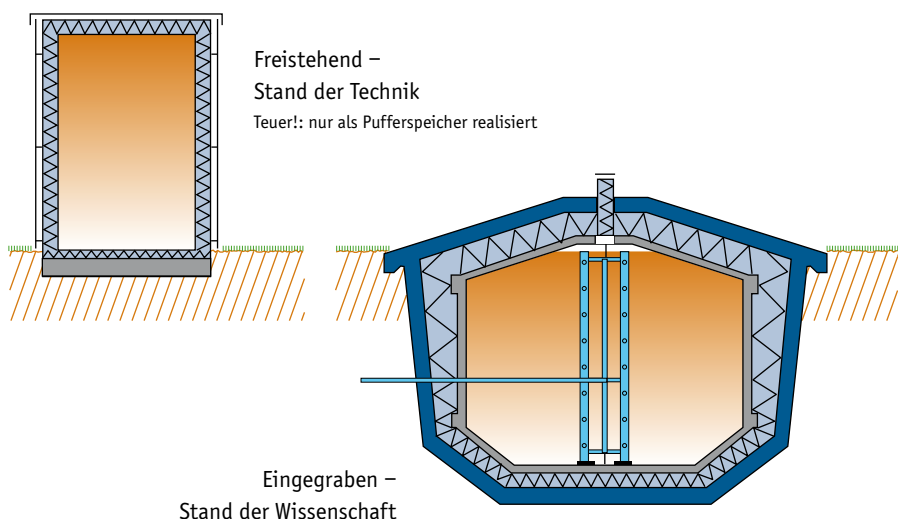


Abb. 3: Entwicklungsstand großvolumiger Wärmespeicher

Der Technologiefortschritt der letzten 10 Jahre für die Behälter-, Erdbecken- und Erdsonden-Wärmespeicher und die derzeitigen Entwicklungslinien sind in Tab. 15/16 dargestellt. Aquifer-Wärmespeicher, die abgeschlossene Grundwasservorkommen zur Wärmespeicherung nutzen, werden kaum mehr für eine solarthermische Wärmespeicherung angefragt.

Zusätzlich wurden Kombinationen aus einzelnen Speichertechnologien wie z. B. der Hybrid-Wärmespeicher entwickelt, der 2001 in Attenkirchen in Betrieb genommen wurde. Dieser Hybrid-Wärmespeicher ist ein Behälter-Wärmespeicher, den ein Erdwärmesondenfeld umgibt. Beide Teilsysteme sind thermisch gekoppelt, so dass die Wärmeverluste des Behälters durch das Erdwärmesondenfeld zurückgewonnen werden können.

Behälter-Wärmespeicher			
	Erste Generation	Zweite Generation	Dritte Generation
Speicherkonstruktion	Ortbetonbehälter; Wand und Dach gedämmt	Ortbetonbehälter, Stahl, glasfaserverstärkter Kunststoff (Gfk), Wand und Dach gedämmt	Ortbetonbehälter oder vorgespannte Fertigteilkonstruktion; ggf. unter Innendruck; Boden, Wand und Dach gedämmt
Abdichtung	Edelstahlblech, verschweißt	Hochleistungsbeton (HLB)	Edelstahl- oder Schwarzstahlblech, auf Fertigteilen vormontiert und verschweißt
Wärmedämmung	Mineralfaser	Blähglasgranulat in Gewebesäcken	Boden: Schaumglas-schotter; Wand und Dach: Blähglasgranulat in Membranschalung
Schutz der Wärmedämmung	konventionell: Mineralfaser und Abdichtbahn	Dampfsperre, Wärmedämmung und diffusionsoffene Dichtbahn	dampfdiffusionsoffene „Dachdämmkonstruktion im Erdreich“, havariesicher
Be- und Entladesystem	obere und untere Tasse	zusätzlich mittlere Tasse	Schichtbeladesystem, Tassen mit automatischer Höhenregulierung
Pilotprojekte	Friedrichshafen, Hamburg (1995)	Ilmenau (1997) Hannover (2000)	München, Crailsheim (2005/ 2006)

Tab. 15: Übersicht der Technologieentwicklung der saisonalen Behälter-Wärmespeicher

Erdbecken-Wärmespeicher			
	Erste Generation	Zweite Generation	Dritte Generation
Speicher-konstruktion	Kiesgefüllte Grube mit Berliner Verbau	Kiesgefüllte Grube, natürlich geböscht	Mit Erdreich und Kies gefüllte Grube, natürlich geböscht
Abdichtung	einlagige HDPE-Kunststofffolie, verschweißt	Zwei Lagen PP-Kunststofffolie mit Vakuumkontrolle, verschweißt	Verbundfolie Alu-Kunststoff, verschweißt
Wärme-dämmung	XPS-Dämmplatten	Blähglasgranulat in Gewebesäcken	Blähglasgranulat in Membranschalung
Schutz der Wärme-dämmung	konventionelle Abdichtbahn	konventionelle Abdichtbahn	Dampfdiffusionsoffene, wasserdichte Konstruktion mit Vakuumkontrolle, havariesicher
Be- und Entladesystem	Direkt	Rohrregister in mehreren Ebenen	Schichtbeladesystem
Pilotprojekte	Chemnitz (1996)	Steinfurt-Borghorst (1998)	Eggenstein-Leopoldshafen (2008)

Erdsonden-Wärmespeicher		
	Erste Generation	Zweite Generation
Speicher-konstruktion	Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden aus Polybuten in rechteckigem Grundriss, parallel erweiterbar	Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden aus PEX in kreisförmigem Grundriss, konzentrisch erweiterbar
Wärme-dämmung	XPS-Dämmplatten	Schaumglasschotter
Schutz der Wärme-dämmung	konventionelle Abdichtbahn	dampfdiffusionsoffene Dichtbahn
hydraulische Verbindung	Sonden mit Horizontalverrohrung verschweißt, 10 Schächte mit Verteilern	Sonden mit unterschiedlichen Schenkellängen, ein zentraler Schacht, minimierte Verbindungen mit Pressfittingen
Pilotprojekte	Neckarsulm (1997/ 2001), Attenkirchen (2002)	Crailsheim (2008)

Tab. 16: Übersicht der Technologieentwicklung der saisonalen Erdbecken- und Erdsonden-Wärmespeicher

Eine wichtige Aufgabe ist die Reduzierung der spezifischen Speicherbaukosten der saisonalen Wärmespeicher. Abb. 4 zeigt die Erfolge der Kostenreduzierung in Bezug auf das jeweilige äquivalente Wasservolumen. Die Pufferspeicher in Crailsheim liegen im mittleren Kostenbereich, obwohl sie kostenintensive Anforderungen durch den Innendruck von 3 bar aufweisen. Wird dies berücksichtigt, sind diese Speicher kostengünstiger als alle seither gebauten Behälterspeicher im selben Größensegment. Der Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim hat einen

neuen Bestwert bezüglich der spezifischen Speicherbaukosten erzielt. Der Behälterspeicher in München ist aufgrund der Baubedingungen vor Ort mit den Speichern in Hannover und Hamburg vergleichbar. Es zeigt sich, dass trotz einer höheren Speichereffizienz durch die Bodendämmung etc. um 20% geringere Speicherbaukosten erzielt werden können.

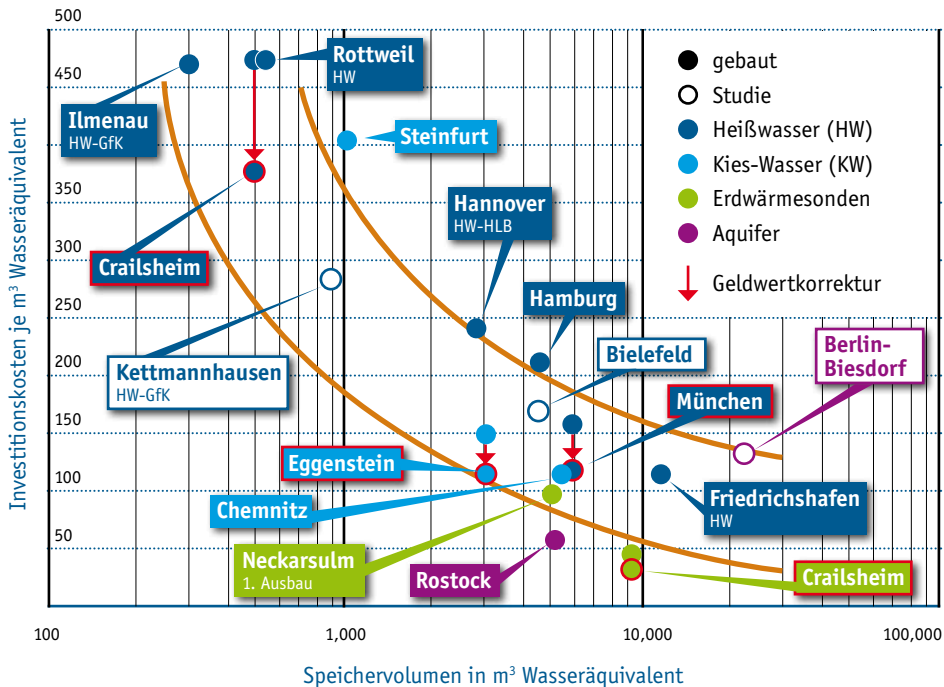


Abb. 4: Spezifische Speicherbaukosten ohne MwSt. und Planung, die Geldwertkorrektur in den Baukosten der Wärmespeicher der 3. Generation bereinigt die Inflation, so dass diese mit den Speichern der 1. und 2. Generation verglichen werden können (GFK: Glasfaserverstärkter Kunststoff, HLB: Hochleistungsbeton), (Quelle: Solites)

Im Bereich der saisonalen Wärmespeicherung existiert ein langjährig eingeführtes Expertennetzwerk aus wissenschaftlichen Instituten und Experten aus der Praxis, die im Arbeitskreis Langzeit-Wärmespeicher zusammen arbeiten. Die seit 1996 durchgeführten F&E-Arbeiten, die in Pilotanlagen evaluiert wurden, konnten die solaren Nutzwärmekosten der saisonalen Wärmespeicher schon halbieren. Eine weitere Halbierung ist noch notwendig, um die wirtschaftliche Marktfähigkeit der Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung zu erreichen.

Grundthese der Forschungsstrategie ist daher, den seit 1996 beschrittenen Weg stetig fortzuführen. Die zunehmende Marktrelevanz der saisonalen Wärmespeicher erfordert eine deutliche Intensivierung der F&E-Arbeiten auf diesem Gebiet.

3.3.2 Technologievision 2030

Langfristig wird die Wärmeversorgung von verdichteten Baugebieten, in größeren Gebäudekomplexen und in Quartieren mit relativ hohem Wärmebedarf am kostengünstigsten und nachhaltigsten mit Nahwärmesystemen mit großen saisonalen Wärmespeichern erfolgen. Großvolumige saisonale Wärmespeicher werden zudem nicht nur zur solarthermischen Wärmespeicherung verwendet, sondern beispielsweise auch zur Abwärmespeicherung in der Industrie und zum Lastmanagement im Bereich der gekoppelten Wärme- und Stromproduktion eingesetzt werden.

Neben der saisonalen Wärmespeichertechnologie sind auch die anderen Teile der Nahwärmesysteme weiter zu entwickeln. Die Entwicklungsbereiche sind vielfältig aufgrund der Komplexität und Größe der Systeme. In Abb. 5 sind diese im Überblick dargestellt.

*Politischer Wille – Betreiber – Projektpartner – Kunden
Realisierung eines Forschungsvorhabens in der Praxis*

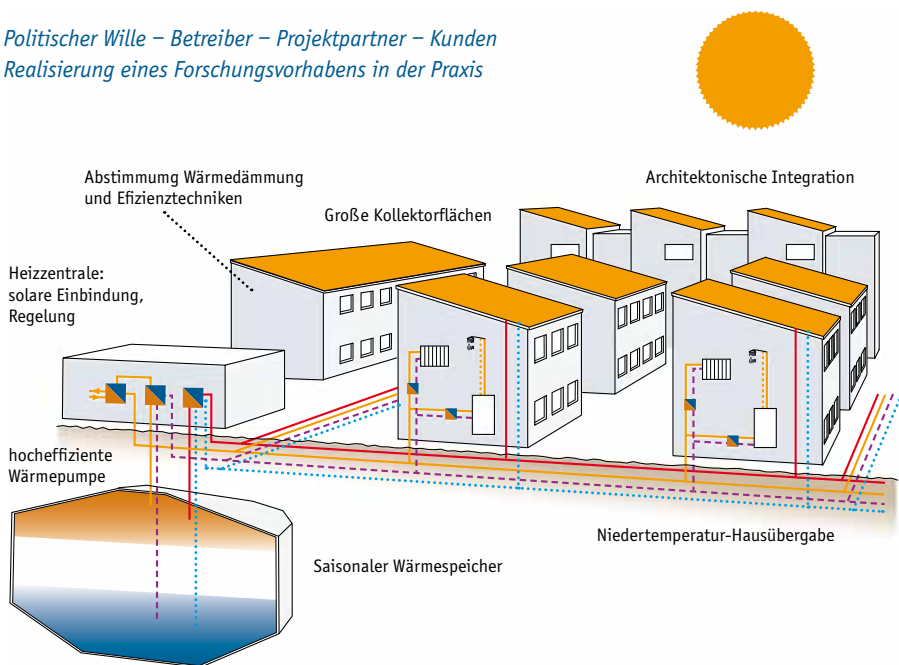


Abb. 5: Forschungsbereiche auf dem Gebiet der saisonalen Wärmespeicherung in solaren Nahwärmesystemen

3.3.3 Forschungsbedarf

Die F&E-Arbeiten umfassen Grundlagenforschung, System- und Technologieentwicklung und Anwendungsoptimierung. Die Technologieentwicklung für saisonale Wärmespeicher erfordert aufgrund der Komplexität der Speicherintegration in ein System etwa 6 bis 8 Jahre Entwicklungs- und Realisierungsdauer pro Speichergeneration. Die verschiedenen F&E-Bereiche müssen deshalb parallel entwickelt werden.

Ziel ist es, eine Effizienzerhöhung bei sinkenden Investitionskosten der solar unterstützten Nahwärmesysteme mit saisonalem Wärmespeicher zu erreichen, um die Wirtschaftlichkeit der genutzten Solarwärme Schritt für Schritt zu verbessern. Die Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung sollen ca. ab 2020 standardmäßig eingesetzt werden können. Tab. 17 zeigt den Forschungsbedarf in Schwerpunkten auf.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Weiterentwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der statischen Konstruktion der saisonalen Wärmespeicher • Nächste Generation von großvolumigen Druckspeichern mit höheren Betriebstemperaturen und verbesserter Wirtschaftlichkeit • Systemkonzepte mit Wärmepumpen, die zur Auskühlung des saisonalen Wärmespeichers dienen und die Speichereffizienz erhöhen <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstige Kunststofffolien zur Abdichtung, die dauerhaft Temperaturen bis 110 °C standhalten • Übertragung der Bauprinzipien auf kleinere Speichervolumina von 1 bis 500 m³ • Integrale Planungsprozesse zur effizienten Zusammenarbeit von HLK-Planern, Statikern, wissenschaftlicher Begleitung und Bauherrn 	<p>Weiterentwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konzepte zur Gewährleistung der Havariesicherheit der gesamten Speicherkonstruktion <p>Entwicklungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konzepte zum Mehrfachnutzen von saisonalen Wärmespeichern, die z. B. auch zum Spitzenlastmanagement für KWK-Anlagen dienen • Vorgefertigte Bauteile und Bauprozesse für großvolumige Wärmespeicher zur Optimierung von Arbeitsabläufen und Materialeinsatz und damit Kosteneinsparung • Statik und Bautechnik für neuartige, kostengünstige Konstruktionen • Technologietransfer in die Baupraxis, zu Prüfstatikern, Genehmigungsbehörden und Gutachtern • Kostengünstige, hochdämmende Nah-/Fernwärmeleitungen und Betriebskonzepte • Hausübergabestationen mit Rücklauftemperaturen dauerhaft unter 35 °C, Niedertemperatur-Wärmeübergabetechniken für Mehrfamiliengebäude etc. • Anpassung der Fernwärmetechnik an fluktuierende, nicht vorherbestimmbare Wärmequellen wie z. B. Solarthermie • Kombination von Wärme- und Kältespeicherung im saisonalen Wärmespeicher • Simulations- und Berechnungssoftware für die Praxis • Neue Materialien für Abdichtung und Wärmedämmung saisonaler Wärmespeicher • Neue Bausysteme mit geringeren Baukosten und gesteigerter Effizienz für saisonale Wärmespeicher • Baukästen solarer Nahwärmesysteme mit saisonalen Wärmespeichern für die Industrie • Konzepte für Gesamtsysteme zur fossilfreien Energieversorgung mit saisonalen Wärmespeichern • Integrationsmöglichkeiten saisonaler Wärmespeicher in Städtebau, Siedlung und Gelände

Tab. 17: Forschungsbedarf für solare Nahwärme und großvolumige saisonale Wärmespeicher

3.3.4 Leitprojekte

Die im vorhergehenden Kapitel erläuterten Einzelaspekte sind hierzu in die im Folgenden ausgeführten Leitprojekte zusammengefasst. Die zunehmende Marktrelevanz der saisonalen Wärmespeicher erfordert eine Intensivierung der F&E-Arbeiten auf diesem Gebiet.

3.3.4.1 *Optimierte Dichtbahnen, Bauteilkonstruktionen und Bauweisen großer saisonaler Wärmespeicher*

- Erweiterung des Grundlagenwissens zum gekoppelten Wärme- und Stofftransport in Speicherstrukturen bei Temperaturen bis über 100 °C.
- Entwicklung von Materialien und Kunststoffbahnen, die dauerhaft einer Wasser- und Wasserdampfbelastung bei über 100 °C standhalten und einfach und sicher verarbeitbar sind (i.d.R. Schweißbarkeit).
- Entwicklung von Wand- und Dachkonstruktionen, die dampfdiffusionsdicht sind oder den hindurch diffundierenden Wasserdampf so behandeln, dass kein Schaden für die Bauteilkonstruktion entstehen.
- Entwicklung von Schnelltestverfahren für die Funktionsfähigkeit und Dauerbeständigkeit der Dichtungsmaterialien und Verfahren.
- Entwicklung von kostengünstigen Dachkonstruktionen, die große Volumen überspannen können unter besonderer Beachtung der Temperaturbelastung und der möglichen Nutzbarkeit der Speicheroberfläche.
- Entwicklung von kostengünstigen Bauweisen und Konstruktionen für Speichervolumen von 1 bis 500 m³.
- Entwicklung von kostengünstigen Bauweisen und Konstruktionen für großvolumige Druckspeicher, die wesentlich kostengünstiger als die bestehenden Druckspeicher aus Stahl sind und einen geringeren Primärenergieinhalt der Speicherkonstruktion aufweisen.
- Entwicklung von kostengünstigen Bauweisen und Konstruktionen zur Be- und Entladung von großvolumigen Speichern.

3.3.4.2 *Systemintegration von saisonalen Wärmespeichern*

- Zur Entwicklung der Marktfähigkeit saisonaler Wärmespeicher ist die energetisch-wirtschaftliche Optimierung der saisonalen Wärmespeicher sowie der Systeme, in denen sie eingebaut werden,

unerlässlich. Aufgrund des hohen Aufwandes zur Realisierung einer Pilotanlage sollten diese Arbeiten vorwiegend durch wissenschaftliche Simulationen durchgeführt und das Simulationsmodell durch Erfahrungs- und Messwerte aus den Pilotanlagen validiert werden. Zur Weiterentwicklung der Systemintegration sind zudem Teilsysteme zu verbessern.

- Durchführung von Simulationsstudien zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung von solaren Nahwärmesystemen mit saisonalen Speichern mit Validierung der Ergebnisse.
- Entwicklung von Systemeinbindungen saisonaler Wärmespeicher in Energieerzeugungssysteme, die mehrere Energieerzeuger kombinieren. Anpassung der Bauweisen der Speicher an diese Systeme (wie z. B. Schichtladeeinrichtungen o.ä.).
- Erhöhung der Effizienz von saisonalen Wärmespeichern z. B. durch Wärmepumpen, die bei großer Variabilität der Wärmequellentemperatur eine dauerhaft hohe Zieltemperatur von mind. 70 °C ermöglichen bei sehr hohen Jahresarbeitszahlen von über 4,8.
- Prinzipien und Kontrollmechanismen zur Beherrschung von Havariefällen bei Wärmespeichern: Durch den Einbau des Wärmespeichers in das Erdreich ist eine einfache Reparatur der Bauteilkonstruktionen entweder gar nicht (z. B. im Bereich der Bodenplatte) oder nur mit hohem finanziellen Aufwand möglich (z. B. im Bereich der Speicherwand). Hierzu sind Prinzipien und Kontrollmechanismen zu entwickeln, die ein Eingreifen in die Speicherkonstruktion während der erwarteten Lebensdauer von mind. 40 bis 50 Jahren entweder verhindern oder planbar machen.

3.3.4.3 ***Bau einer steigenden Zahl von Pilotprojekten mit saisonalen Wärmespeichern der nächsten Generation***

- Die Umsetzung der F&E-Ergebnisse in Pilotprojekten ist unverzichtbarer Bestandteil der Gesamtstrategie zur marktbereiten Entwicklung der Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung. Alle 11 der realisierten Pilotanlagen sind Prototypen, die einzelne Bauteile und Systeme erstmals realisieren und einsetzen. Die im Bereich der saisonalen Wärmespeicherung übliche direkte Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis bei Verzicht auf den sonst üblichen „Labormaßstab“ stellt hohe Anforderungen an die Qualität der wissenschaftlichen Entwicklungsergebnisse und an deren Umsetzung in die Praxis.

- Die wissenschaftlich-technische Begleitung der Entwicklung und Realisierung von Pilotprojekten für saisonale Wärmespeicher hat sich sehr bewährt, so konnte bislang kein anderes Land bis heute jedes Pilotprojekt zur saisonalen Wärmespeicherung so erfolgreich umsetzen wie Deutschland.
- Bislang wurde durchschnittlich eine Pilotanlage pro Jahr realisiert (11 Anlagen seit 1996), diese Zahl muss kontinuierlich gesteigert werden, um die notwendigen Experten für die Begleitung dieser Prozesse auszubilden.
- Intensivierung der Programme zur Stimulation von Pilotanlagen mit dem Ziel der Verdopplung der realisierten Anlagen auf zwei pro Jahr innerhalb von 5 Jahren

3.3.4.4 *Technologie- und Wissenstransfer*

- Die Verbreitung der saisonalen Wärmespeicherung erfordert einen umfassenden Technologie- und Wissenstransfer der wissenschaftlichen Erkenntnisse und der Erfahrungen mit Pilotanlagen.
- Aufbau einer allgemeinen Technologietransferplattform zum Wissenstransfer für interessierte Laien ebenso wie für Experten.
- Erarbeitung von neuen und Überarbeitung von bestehenden Normen und Vorschriften für saisonale Wärmespeicher und solare Nahwärmesysteme.
- Weiterentwicklung der bestehenden Simulationswerkzeuge zur Berechnung und Dimensionierung von saisonalen Wärmespeichern und Nahwärmesystemen.
- Erarbeitung von einheitlichen Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung, die den Vergleich zwischen Investitionen in Dämmmaßnahmen der Gebäudehülle und solaren Nahwärmesystemen ermöglicht.
- Erarbeitung eines Planungs- und Bauhandbuchs für saisonale Wärmespeicher und für die Einbindung von Solaranlagen in Nahwärmesysteme.



Vorgefertigte Hydraulikzentrale für Solaranlagen in Mehrfamilienhäusern

3.4 Systemtechnik

Im Bereich Systemtechnik sind folgende Themenfelder zu unterscheiden:

- Systemtechnische Konfiguration solarthermischer Systeme,
- Automation mit Mess-, Steuer- und Regeltechnik der solarthermischen Anlagen und
- Planung und Ausführung von solarthermischen Anlagen.

Allgemein wurde zwischen kleinen, mittleren und Großanlagen unterschieden, da sich hier sehr unterschiedliche technische und wirtschaftliche Randbedingungen ergeben.

3.4.1 Stand der Technik

Der **Anwendungsbereich** der Solarthermie in Deutschland reicht von der einfachen Trinkwarmwasserbereitung im Einfamilienhaus über die Kombianlage zur Trinkwassererwärmung und Gebäudeheizung im Mehrfamilienhaus bis hin zur solarthermischen Kühlanlage für Bürogebäude und Prozesswärmanlage für Brauereibetriebe.

Dabei sind die Bereiche **Kleinanlagen** und **Großanlagen** mit über 100 m² Kollektorfläche sehr unterschiedlich entwickelt. Kleinanlagen werden heute in Stückzahlen von jährlich über 100.000 weitgehend industriell standardisiert geplant, produziert und vertrieben. Großanlagen werden dagegen noch überwiegend nach Einzelplanung ausgeführt und weisen

einen geringen Standardisierungsgrad auf. Vereinzelt werden jedoch bereits vorgefertigte Großanlagen angeboten.

Im Rahmen der Forschungsvorhaben Solarthermie2000 und Solarthermie2000plus konnten im Bereich der Großanlagen in Deutschland eine Vielzahl von Projekten dokumentiert und bewertet werden. Heute werden im Forschungsprogramm Solarthermie2000plus vornehmlich solarthermische Kühl- und Prozesswärmesysteme untersucht.

Im Bereich **großer Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung** ist ein hoher technischer Stand erreicht. Umfassende und detaillierte Planungshinweise liegen vor (u.a. VDI-Richtlinien 6002-1 und 6002-2).

So genannte **Kombianlagen** für die Trinkwarmwassererwärmung und Gebäudeheizung sind im Bereich der Kleinanlagen heute Standard. Für Großanlagen fehlen jedoch Standardisierungen und vergleichbare detaillierte Planungshinweise und technische Richtlinien. Die Bundesregierung fördert mit dem Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) und das Land Baden-Württemberg mit dem Erneuerbare-Wärme-Gesetz, das im Altbau generell 10% und im Neubau 20% regenerativen Wärmeanteil fordert, gerade diesen Anlagentypus.

Der Systemaufbau von **Solaranlagen für Nah- oder Fernwärmenetze** ist im Markt stark variierend. Die Effizienz von Netzanlagen wird meist durch zu hohe Netzurücklauftemperaturen beeinträchtigt, was in vielen Fällen an nicht ausreichend effizient arbeitenden Wärmeübergabestationen liegt.

Die **solarthermische Kühlung**, die üblicherweise mit der solaren Gebäudeheizung gekoppelt ist, befindet sich in Deutschland derzeit sowohl im Bereich der Kleinanlagen als auch der Großanlagen in der Entwicklungs- und anfänglichen Markteinführungsphase.

Generell zeigt sich jedoch, dass bezüglich der **Einbindung von solarthermischen Systemen in die vorhandene**, in der Regel noch auf fossilen Energieträgern beruhende **technische Gebäudeausrüstung**, erheblicher Handlungsbedarf besteht. Wegen des Vorwärmecharakters vieler solarer Systeme sind im konventionellen System kaum Informationen vorhanden, um dieses optimal auf den Betrieb der solaren Systeme abzustimmen. Beide Systeme arbeiten nebeneinander und nicht miteinander. Dies führt zu geringen solaren Jahreserträgen und unerwünschten Stagnationszuständen.

Für den Bereich **MSR-Technik** (Mess-, Steuer- und Regeltechnik) existiert für Kleinanlagen ein breites Angebot an Kompaktreglern mit Zusatzfunktionen wie Anlagenmonitoring. Bei Großanlagen werden so-

wohl Kompaktregler als auch, wenn auch nur vereinzelt, DDC-Regler für die Kopplung mit Gebäudeautomationssystemen eingesetzt. Generell fehlt es meist an Transparenz bezüglich der Automatisierungsprozesse im laufenden Betrieb. Ebenso wäre für die Verbesserung der Anlagenperformance eine gewerkeübergreifende Datenkommunikation im MSR-Bereich wünschenswert.

Spezielle Überhitzungsprobleme treten häufig bei der **Stagnation im Betrieb** von Kleinanlagen auf, wenn eine entsprechende Nutzung ausbleibt. Durch fehlende **Ertrags- und Funktionsüberwachung** können Betriebsausfälle nicht erkannt werden, was die Wirtschaftlichkeit der Systeme in Frage stellt. Schon heute stehen auf dem deutschen Markt neben so genannten Input / Output-Controllern auch einfache Ertragsüberwachungssysteme für die Ertrags- und Funktionskontrolle zu Verfügung.

Für die **Planung von Klein-Anlagen** stehen bewährte Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Diese Programme ermöglichen eine individuelle Abstimmung der Anlagenvariante auf unterschiedlichste Bedarfe mit einer umfassenden Auswahlmöglichkeit für die zu verwendenden Komponenten. **Bei Großanlagen** gilt diese nur in begrenztem Umfang. Gerade für neue Anwendungen müssen heute noch **aufwändige wissenschaftliche Planungstools** eingesetzt werden. Generell gestaltet sich die Inbetriebnahme von größeren Anlagen derzeit zu aufwändig und wenig standardisiert.

Allgemein ist das **Fachwissen** im Bereich der Kleinanlagen zur Trinkwarmwasserbereitung und Gebäudeheizung weit verbreitet. Bei Großanlagen und neuen Anwendungen fehlt es derzeit jedoch an Fachwissen bei der Planung und Ausführung. Derartige Anlagen werden heute noch mit aufwändiger wissenschaftlich-technischer Begleitung erstellt und überwacht.

3.4.2 Technologievision 2030

Folgende Vision für die solarthermische Systemtechnik wurde für das Jahr 2030 entwickelt:

- Solarthermischen Anlagen haben einen **hohen Qualitätsstandard** erreicht der durch hochwertige Systemkomponenten einschließlich kontinuierlicher und hoch auflösender Funktions- und Ertragskontrolle als auch durch eine hervorragende Schulung aller Akteure auf dem Solarmarkt gehalten wird.
- Standardisierte Informations- und Kommunikationstechnologie der Komponenten ermöglichen **selbstlernende und selbstoptimierende Systeme**. Dadurch können auch an die individuellen Gegebenheiten und architektonischen Randbedingungen bzw. Wünsche angepasste Systeme aus Komponenten unterschiedlicher Hersteller softwaregestützt zusammengestellt und nach Installation automatisch durch den Regler optimiert werden (z. B. Ermittlung der tatsächlichen Leitungslängen, thermischen Verluste, Druckverluste, thermischen Trägheit). Die vom Hersteller bereitgestellten und über das selbstlernende System adaptierbare Informationen über die Eigenschaften der Komponenten liegen standardisiert sowohl für die Auslegungssoftware als auch hardwareseitig z. B. in Form eines kommunikationsfähigen Chips vor. Das Standardisierungsformat ist Open Source, also nicht proprietär, um eine maximale Marktdurchdringung ohne Bevorteilung einzelner Firmen zu ermöglichen.
- Systeme zur Bereitstellung von Heizwärme und Brauchwasser sind **primärenergetisch optimiert**, d. h. sie berücksichtigen sowohl **thermische als auch hydraulische Aspekte** (Minimierung des Druckverlusts). Dies erfordert einerseits eine intelligente Planung (z. B. kurze Rohrlängen, geringe Strömungsumlenkungen etc.) sowie die sorgfältige Auswahl bzw. gezielte Neuentwicklung geeigneter Komponenten (z. B. Wärmetauscher, Pumpen und Ventilatoren). Hierbei kommt z. B. auch dem Teillastverhalten von Komponenten und Systemen eine besondere Bedeutung zu.

Daraus ergeben sich folgende Technologievisionen:

Themenfeld	Technologievision
Systemkonfiguration	<p>Zum Einsatz kommen optimierte Systemkonfigurationen, die einen hohen Anteil Solarwärme, minimale Verluste bei Transport und Speicherung der Wärme, optimale Einbindung der Nachheizung sowie eine optimierte Verteilung der Wärme für Trinkwarmwasser und Raumheizung in Wohngebäuden und Prozesswärme in gewerblichen Anwendungen gewährleisten.</p> <p>Durch optimale Anlagenauslegung, neue schaltbare Absorberschichten, innovative Methoden der Kollektorkreisbefüllung und -entleerung, hocheffiziente Speichersysteme und der kontinuierlichen Anlagenüberwachung wird die Stagnation des Kollektors weitgehend vermieden und die verbleibende Stagnationsproblematik problemlos beherrscht.</p>
Automation und MSR-Technik	<p>Die Regelung und Steuerung aller Einzelkomponenten verfügt über herstellernerneutrale Kommunikationsschnittstellen. So kann in einem Gebäudeautomationsverbund das Gesamtsystem aus Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung und Wärmenutzung für die Anwendungen Heizen, Warmwasser, Kühlung, Lüftung und ggf. weiterer Verbraucher zentral vernetzt und ständig beobachtet und optimiert werden. Über spezielle Datenschnittstellen ist der Anlagenregler mit einer zentralen Serverstation zur Unterstützung eines herstellernerneutralen Qualitätsmanagements verbunden. Dadurch wird dem Planer, Betreiber und Installateur ein komfortables Energie- und Instandhaltungsmanagement ermöglicht.</p>
Planung und Installation	<p>Bei der Planung von solarthermischen Systemen werden nur noch die entsprechenden Randbedingungen vorgegeben, bzw. aus dem Bebauungsplan und dem Vorantrag werden die entsprechenden Parameter in die Software übernommen und die Simulation aufgebaut. Dies bedingt ein Zusammenspiel von Software bzgl. Solarthermie, Gebäudeeffizienz (EnEV) und Technischer Gebäude Ausrüstung (TGA) gleichfalls für Neubau und Modernisierung. Integriert ist hierbei auch der Standort via GPS und die klimatischen Bedingungen.</p> <p>Die weiterentwickelte Software ermöglicht es, nach Eingabe der Gebäudedaten komplette solaroptimierte Systemlösungen anzubieten, die Inbetriebnahme solarthermischer Systeme weitgehend zu automatisieren und diese Anlagen auch im Betrieb später kontinuierlich zu überwachen. Grundlage hierfür sind einheitliche Datenformate und Kommunikationsschnittstellen, herstellernerneutrale Anlagenüberwachung mittels überregionaler Datenserver sowie die intensive Schulung und Ausbildung aller Beteiligten.</p> <p>Die Software für Planung und Betriebsunterstützung zukünftiger Solarsysteme weist folgende Eigenschaften auf:</p> <p>Solarthermische Anlagen, Systeme und Komponenten sind standardisiert und in ihrer Anzahl verringert, sie werden durch die Software komplett abgebildet. Die Planungssoftware bildet die gesamte Wärmeversorgung des Gebäudes ab und optimiert die solarthermische Anlage unter Berücksichtigung energetischer und wirtschaftlichen Aspekte und macht Vorschläge für Maßnahmen zur Optimierung des Gesamtsystems (Wärmedämmung, Wärmeverteilung, Nachheizung etc.)</p> <p>Die Software gibt umfassende Hilfestellung beim Planungsprozess, in dem sie sämtliche marktgängige Komponenten katalogisiert zur Verfügung stellt und auf typische Schwierigkeiten / Fehlerpotentiale hinweist, die bei Planung und Ausführung auftreten können</p> <p>Finanzierungshilfen werden aus Datenbanken ausgewählt und als Bericht in Form des entsprechenden Antrags ausgedruckt.</p> <p>Die Systemsoftware vergleicht den Soll-Ist-Zustand der Anlage (Hydraulik und Regelung), führt Plausibilitätschecks durch und korrigiert bzw. optimiert entsprechend.</p>

Tab. 18: Technologievisionen im Bereich Systemtechnik

3.4.3 Forschungsbedarf

Im Systemtechnikbereich gibt es einen großen Forschungsbedarf, auch weil sich die Solarthermieforschung und -entwicklung bislang vor allem auf die Optimierung der Komponenten konzentriert hat.

3.4.3.1 Systemkonfiguration

Für Ein-/Zweifamilienhäuser ist das aktuelle Angebot an unterschiedlichen Systemkonfigurationen für solarthermische Kombianlagen äußerst vielfältig. Eine vergleichende Bewertung der Anlagen ist allerdings bislang nicht ausreichend genau möglich, da hierfür aufwändige Systemtests erforderlich sind, die nur für wenige Anlagen durchgeführt wurden. Deshalb sind die Weiterentwicklung der Systemsimulationstools und eine systematische Untersuchung der Optimierungspotenziale im Bereich der Systemkonfiguration mit dem Ziel der Kostenreduzierung und Effizienzsteigerung erforderlich. Dabei sind die Fragen der Anlagenhydraulik, die Weiterentwicklung der Komponenten, die zunehmende Verzahnung mit der konventionellen Heiztechnik (Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wärme), sowie die Tendenz zu höheren solaren Deckungsanteilen zu berücksichtigen.

Bei **großen Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung** für Mehrfamilienhäuser und große Gebäude besteht weiterhin ein erheblicher Forschungs- und Demonstrationsbedarf, insbesondere auch bezüglich der optimalen Einbindung der verschiedenen Verbraucher (Trinkwassererwärmung, Zirkulation und Raumheizung). Die Erarbeitung standardisierter und zertifizierter Systemschaltungen ist notwendig. Wichtig ist eine Gesamtbetrachtung von Solaranlage und Nachheizung, die eine möglichst hohe Primärenergieeinsparung auf Seiten der Nachheizung zum Ziel hat. Rückwirkungen der Solaranlage auf das Betriebsverhalten des Nachheizsystems müssen untersucht werden (Kesselmodul für Simulationsmodelle; Absicherung über Labor- und Feldmessungen). Daraus resultierend können optimierte Nachheizsysteme für Solarthermieanlagen vorgeschlagen und als Demoanlagen realisiert werden.

Auf Basis der genannten Untersuchungen sollten industriell vorgefertigte Systemmodule entwickelt werden, deren Zulassung durch anerkannte Prüfstellen empfohlen wird. Dabei sind folgende Grundprinzipien zu beachten: Keine Vermischung von Temperaturzonen, gute Schichtung im Solarspeicher, niedrige Rücklauftemperaturen im Solarkreis, Vermeidung unnötig hoher Volumenströme, Regelbeschreibung nach VDI 3814 und Mindestanforderungen bei der Dimensionierung von Komponenten.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und Kostenreduzierung durch systemtechnische Optimierung von solarthermischen Anlagen in verschiedenen Anwendungsbereichen <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulikoptimierung • Konzepte zur optimierten Integration der Trinkwasserzirkulation für Klein- und Großanlagen • Systemplanungsleitfaden zur Konfiguration, Regelung, Steuerung und Dimensionierung für solarthermische Großanlagen 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • industriell gefertigte Systemmodule für solarthermische Großanlagen, die durch zertifizierte Prüfstellen zugelassen werden • neue Konzepte zur Legionellendesinfektion durch Hochtemperatur-Solarthermie

Tab. 19: Forschungsbedarf Systemkonfiguration

3.4.3.2 *Automation und Betriebsführung*

Für den Bereich der Automation und Betriebsführung lassen sich folgende Entwicklungsziele formulieren:

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steuerungen mit erweiterten Funktionskontrollmechanismen einschließlich Tools zum Visualisieren von Energieströmen • kostengünstige automatische Ertragsbewertungsverfahren (wie Input/Output-Controller) • einheitliche Kommunikationsstandards bei der Automation der Gebäudetechnik mit offener Kommunikation mit allen Gewerken des Gebäudes • vernetzte Regelung für Solaranlage, Heizkessel, Klimaanlage etc. (Waschmaschine, Spülmaschine auch denkbar) mit dem Vorrang für erneuerbare Wärme 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regel- und Steuergeräte, die die Inbetriebnahme einer Solaranlage weitestgehend automatisieren • Automatisierung der Produktion von MSR-Technikkomponenten zur Reduktion des Preises und zur Erhöhung der Qualität • intelligente Hausenergieverteilkonzepte (Last-, Speicher- und Erzeugungsmanagement) • Regelung, die die Wettervorhersage zur vorausschauenden Anlagensteuerung berücksichtigt (auch Mehrtage- und Wochenbereich) • Anschlussmöglichkeit an regionale Solarthermieserver zur Unterstützung der Dienstleistungen für die Instandhaltung und Funktionskontrolle im Rahmen der Fernüberwachung von Solaranlagen

Tab. 20: Forschungsbedarf Automation und Betriebsführung

3.4.3.3 Wärmeträgerflüssigkeiten und Komponenten im Kollektorkreis

Zur Systemtechnik sind auch die systemtechnischen Komponenten zu zählen wie beispielsweise die Verrohrung zwischen Kollektor und Speicher und die Wärmeträgerflüssigkeit. Der Wärmetransport der solar erzeugten Wärme vom Kollektor zum Speicher kann die Effizienz der solarthermischen Anlage deutlich beeinflussen. Die Verluste über die Rohrleitungen liegen bei einer solarthermischen Kombianlage typischerweise zwischen 10% und 20% der Wärme, die vom Kollektor an den Kollektorkreis abgegeben wird. Die steigende Effizienz der Kollektoren führt zu einer Erhöhung der Betriebs- und der Maximaltemperaturen, was die Belastung der Wärmeträgerflüssigkeit und der durchströmten Komponenten im Kollektorkreis erhöht. Zur Kostenreduktion im Bereich des Kollektorkreises sind als Ersatz von Kupfer- und Edelstahlwellrohren Leitungen aus Aluminium, Kunststoff oder Materialverbänden zu entwickeln. Dabei sind in Abstimmung mit der Entwicklung von Wärmeträgerflüssigkeiten die Korrosions- und Temperaturprobleme zu lösen.

Folgender Forschungsbedarf besteht bei Wärmeträgerflüssigkeiten und Komponenten im Kollektorkreis:

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • kostengünstige, hohtemperaturstabile Wärmeträgermedien für Betriebstemperaturen über 120 °C • Komponenten im Kollektorkreis, die für höhere Arbeits- und Stagnationstemperaturen geeignet sind • optimierte Wärmedämmung des Kollektorkreises zur Reduzierung der Wärmeverluste • kostengünstige Luft-Wasserwärmeübertrager für den Einsatz in Luftkollektoranlagen 	<p>Untersuchung</p> <ul style="list-style-type: none"> • von Wärmeträgern mit höherer Wärmekapazität als Wasser, beispielsweise PCM-Slurries oder Zweiphasensysteme <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steckverbindungen für die hydraulische Installation • temperatur- und druckfeste kostengünstige Kunststoff- bzw. Kunststoffverbundwerkstoffe zur Kollektorkreisverrohrung

Tab. 21: Forschungsbedarf Wärmeträgerflüssigkeiten und Komponenten im Kollektorkreis

3.4.3.4 Planungstools

Als Forschungsanspruch leiten sich aus den Forderungen nach einem umfassenden Planungswerkzeug die Entwicklung einer **serviceorientierten Architektur (SOA)** und neuartigen **Client-Server-Applikationen** ab. Vereinfacht könnte man SOA als Methode ansehen, die vorhandene EDV-Komponenten (Programme, Datenbanken, Server, Websites) so koordiniert, dass deren Leistungen zu Diensten zusammengefasst werden. Maßgeblich sind also nicht technische Einzelaufgaben (Solarthermie, Klima, EnEV, etc.), sondern die Zusammenführung dieser IT-Leistungen zu „höheren Zwecken“. Mit der SOA-Struktur wird die Komplexität der

einzelnen EDV-Programme hinter den standardisierten Schnittstellen verborgen. Zusätzlich muss an zentralen Serverlösungen gearbeitet werden, die die Auswertung und Validierung der Daten vereinfachen. Überschaubare Vertriebs- und Abrechnungsmechanismen müssen entwickelt werden.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> Planungswerkzeuge für Nah- und Fernwärmenetze zur optimalen Dimensionierung der Wärmeübertrager 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> serviceorientierte Architektur (SOA) und neuartige Client-Server-Applikationen für Planungs- und Steuerungstools für solarthermische Anlagen serviceorientiertes Planungswerkzeug für solarthermische Anlagen, welches die Akteure in allen Projektphasen unterstützt (Entwurf, Planung, Bauüberwachung, Inbetriebnahme und Betriebsüberwachung)

Tab. 22: Forschungsbedarf Planungstools

3.4.4 Leitprojekte

Im Folgenden wird die zum Erreichen der zuvor definierten Ziele notwendige Forschungsstrategie auf der Basis von Leitprojekten exemplarisch definiert. Diese Leitprojekte sind so gewählt, dass sie das gesamte Spektrum vom Bereich der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis hin zur Demonstration abdecken.

3.4.4.1 *Monitoring-Netzwerk*

Entwicklung und Aufbau eines umfassenden herstellernerutralen Monitoring-Netzwerkes für mittlere und große solarthermische Anlagen auf Basis vernetzter Datenserver zur Unterstützung eines herstellernerutralen Qualitätsmanagements für Planer, Betreiber und Installateure.

Zielsetzung: Erhöhung der Betriebssicherheit und der Energieerträge mittlerer und großer Solarthermieanlagen durch ein standardisiertes Monitoring und Qualitätsmanagement.

Maßnahmen

- Entwicklung von Verfahren zur automatisierten Betriebsdatenevaluation.
- Entwicklung und Aufbau von Datenservern für eine umfassendes herstellernerutrales Anlagenmonitoring mit geeigneten Schnittstellen.

- Erprobung des Konzeptes an realisierten solarthermischen Anlagen und Referenzanlagen mit vorhandenem Input/Output-Controller.
- Implementierung in Neuanlagen auf Basis vorhandener und zusätzlicher Sensorik und Automationstechnik.
- Flächendeckende Einführung des herstellernerneutralen Monitoring-Netzwerkes für mittlere und große Solarthermieanlagen.

3.4.4.2 *Universelle Datenschnittstelle*

Entwicklung einer universellen Datenschnittstelle für Solaranlagen-Automationsgeräte zur Erstellung eines Automationsverbundes im Gebäude sowie für den Datenaustausch mit überregionalen Servern für ein herstellernerneutrales Instandhaltungs- und Qualitätssicherungsmanagement.

Zielsetzung: Optimierte Anlagenüberwachung und Ertragssteigerung durch kommunikative Vernetzung der Automationsgeräte mittlerer und großer Solarthermieanlagen mit der bestehenden Haustechnik sowie mit Datenservern. Schaffung einer Basis für Remote-EMS (Energienagementsystem) sowie zur Unterstützung der Anlageninbetriebnahme.

Maßnahmen

- Analyse bestehender Kommunikationsschnittstellen von Solarreglern.
- Konzeption und Entwicklung von Schnittstellen für die Realisierung eines Automationsverbunds von Haustechnik und Solarthermie-Datenservern.
- Erprobung und Demonstration des Automationsverbunds an existierenden und neuen mittleren und großen Solarthermieanlagen.

3.4.4.3 *Solaranlagen-Automationsgeräte*

Weiterentwicklung einer dritten Generation von Solaranlagen-Automationsgeräten. Diese sind skalierbar und unterstützen aktiv sowohl die Inbetriebnahme als auch die Funktionskontrolle im Betrieb. Sie sind in der Lage Wetterdaten per Webservice abzurufen und zur vorhersehbaren Automation des Anlagenbetriebs zu nutzen. Sie verfügen über universelle Schnittstellen zur Einbindung in den Gebäudeautomationsverbund und kommunizieren mit zentralen Datenerfassungs- und Auswerteservern.

Zielsetzung: Entwicklung von kommunikativen, vernetzten Solarreglern zur Gewährleistung eines optimalen Anlagenbetriebs.

Maßnahmen

- Definition des Funktionsumfangs von neuartigen Solarreglern mit aktiver Serviceunterstützung im Automationsverbund eines Gebäudes.
- Entwicklung von Algorithmen für die Automation des Solaranlagen- und Heizbetriebs unter Nutzung von Wettervorhersagedaten.
- Ausbau des Solaranlagen-Automationsgeräts zur Unterstützung von Servicefunktionen im Rahmen von Energiemanagementsystemen EMS und Commissioning.

3.4.4.4 *Optimierter Aufbau großer Kombianlagen*

Optimaler Aufbau großer Kombianlagen für die Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit optimierter Einbindung der Trinkwarmwasserzirkulation in das Solarsystem.

Zielsetzung: Erarbeitung von Standardisierungen, Planungshinweisen und technischen Richtlinien für den Aufbau großer Kombianlagen.

Maßnahmen

- Konzeptionelle Unterstützung bei der Planung von großen Kombianlagen mit Einbindung der Zirkulationseinbindung auf Basis bisheriger Erfahrungen und neuer Techniken (z. B. Rücklauf-/Vorlaufbeimischung).
- Messtechnische Analyse und Optimierung der Anlagen.
- Erarbeitung von Planungsempfehlungen und technischer Richtlinien zum optimalen Aufbau großer Kombianlagen unter besonderer Berücksichtigung der Zirkulationseinbindung.

3.4.4.5 *Minimierung der Netzzücklauftemperatur*

Untersuchung und Entwicklung von leistungsfähigen Versorgungsnetzen und Wärmeübergabestationen zur Minimierung der Netzzücklauftemperatur in solaren Nah- und Fernwärmenetzen.

Zielsetzung: Reduzierung von Netzzücklauftemperaturen in solaren Nahwärme- und Fernwärmesystemen auf Basis neuartiger Wärmeübergabestationen und Netzkonzepte.

Maßnahmen

- Untersuchung und Optimierung bestehender Wärmeübergabestationen.
- Überprüfung der Wärmeverluste bestehender Nahwärmenetze.
- Entwicklung von Verfahren zur besseren exergetischen Nutzung vorhandener Energieströme, z. B. durch Beimischung hoher Rück-

lauftemperaturen zu niedrigeren Vorlauftemperaturen.

- Erarbeitung von Entscheidungshilfen zur dezentralen/zentralen Integration von Heizanlagen in Wohnsiedlungen unter Abwägung der Netzverluste und einer zentralen oder dezentralen Solaranlagenintegration.

3.4.4.6 *Industriell vorgefertigte Hydraulikmodule*

Definition von Mindestanforderungen an industriell vorgefertigte Hydraulikmodule für Solarthermieranlagen (Wärmezentralen) sowie Entwicklung von Verfahren zum Test entsprechender Einheiten.

Zielsetzung: Standardisierung von industriell vorgefertigten Hydraulikmodulen zur Erreichung zuverlässig hoher Solarerträge für mittlere und große solarthermische Anlagen.

Maßnahmen

- Marktübersicht industriell vorgefertigter Solarthermie-Hydraulikmodule.
- Entwicklung von Bewertungskriterien zur Qualitätsprüfung von industriell vorgefertigten Hydraulikmodulen.
- Aufbau eines Teststandes zur Überprüfung von industriell vorgefertigten Hydraulikmodulen.
- Erarbeitung eines Empfehlungskatalogs für die Herstellung von industriell vorgefertigten Hydraulikmodulen.



Fresnel-Kollektor zur Prozesswärmeerzeugung von 180 °C

3.5 Anwendung: Solare Prozesswärme

3.5.1 Stand der Technik

Fast 20% des europäischen Endenergieverbrauchs werden für industrielle Prozesswärme aufgewendet. Dieser Energiebedarf fällt meist relativ konstant über den Tag, die Woche und das Jahr an, weshalb in vielen industriellen Prozessen schon heute vergleichsweise geringere spezifische solare Wärmegestehungskosten erreicht werden. Bei vielen industriellen Prozessen können prozessinterne Wärmespeicher genutzt werden, was zu Kostenvorteilen für die solarthermische Wärme führen kann. Allerdings sind die Anforderungen der Industrie an die Amortisationszeiten sehr hoch und die Einspeisung der Solarwärme in die industriellen Prozesse ist teilweise aufwändig.

Weltweit wurden im industriellen Sektor erst wenige Solaranlagen errichtet, so dass bisher nur unzureichende Erfahrungen bezüglich Planung, Systemeinbindung, Realisierung und Betrieb solarthermischer Prozesswärmeanlagen vorliegen. Da sich die Anwendungen stark unterscheiden, ist der Planungsaufwand relativ aufwändig und teuer.

Etwa ein Drittel des Prozesswärmebedarfs der deutschen Industrie liegt im Temperaturbereich unterhalb von 250 °C und ist damit prinzipiell für die solarthermische Wärmebereitstellung geeignet. Laut Abschätzungen der European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP) und des „IEA Solar Heating and Cooling Programme“ (IEA

SHC) beträgt das Potential für solare Prozesswärme inklusive Mitteltemperatur-Anwendungen bis 250 °C in Deutschland etwa 50 PJ pro Jahr, das Leistungspotential wird für die deutsche Industrie auf etwa 25 GW_{th} geschätzt, wozu etwa 35 Mio. m² Kollektorfläche benötigt würden. Die wesentlichen Einsatzbereiche liegen in der Lebensmittel-, Getränke-, Textil- und Zellstoffindustrie sowie der Galvanik in metallverarbeitenden Betrieben und der chemischen Industrie (insbesondere Pharma-Herstellung), weil hier häufig Prozesstemperaturen von Wasser oder anderen Flüssigkeiten im Bereich von 30 °C bis 90 °C notwendig sind.

Weltweit sind weniger als 100 Anlagen zur Bereitstellung von Solarwärme in industriellen Prozessen erfasst. Mit einer Gesamtleistung von ca. 24 MW_{th} (ca. 34.000 m² Kollektorfläche) werden in 19 verschiedenen Ländern und 11 verschiedenen Industriebranchen diverse Prozesse solar unterstützt. 75% dieser Anlagen haben eine Wärmeleistung unterhalb 300 kW_{th}.

Am meisten kommen die solarthermischen Anlagen bislang in der Lebensmittelindustrie (12), chemischen Industrie (7), im Transportbereich (7) und in der Textilindustrie (5) zum Einsatz [Weiß2007].

3.5.2 Technologievision 2030

Bis zum Jahr 2030 wird die Wärme- und Kälteversorgung von industriellen Prozessen mit solarthermischen Anlagen zum **Standard**. Für die verschiedenen Anwendungen gibt es eine Bandbreite an Standardanlagen. Für Prozesstemperaturen bis 250 °C stehen geeignete **Komponenten** zur Verfügung. Eine individuelle Anlagenplanung erfolgt mit standardisierten **Planungstools** (Handbücher, Checklisten, branchenspezifische Datenbanken und Hydrauliken sowie Simulationsprogramme). Die Systemintegration der Solaranlagen in die jeweiligen Prozessketten erfolgt mit standardisierten Anschlüssen und Übergabestationen. Auslegungsrichtlinien und ein ausführliches Regelwerk reduzieren den Planungsaufwand. **Ingenieurbüros** haben sich auf die Planung von Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme in der Industrie spezialisiert. Möglicherweise auftretende Anlagenfehler werden schnell und zuverlässig mit Messtechnik zur **Anlagenüberwachung** und implementierten Instrumenten zur effektiven und ggf. **simulationsgestützten Fehlerdiagnose** aufgezeigt.

Staatlich geförderte **Energieberater** für industrielle Niedertemperaturprozesse werden solarthermische Anwendungen in die Szenarienentwicklung obligatorisch mit einbeziehen. Ein Regelwerk zur Er-

stellung entsprechender Energieberichte wird zur Verfügung stehen. Solarthermie wird ein zentraler Bestandteil im Curriculum von Weiterbildungsangeboten zur Qualifikation „Industrie-Energieberater“. Energiedienstleister bieten der Industrie **Contractinglösungen** zur Prozesswärmebereitstellung an.

3.5.3 Forschungsbedarf

Unter Berücksichtigung des jetzigen Entwicklungsstandes der thermischen Solartechnik muss das tatsächlich nutz- und realisierbare Potential der solarthermischen Prozesswärmeerzeugung in aussichtsreichen Anwendungen und Industriebranchen detailliert analysiert werden. Aus Sicht der Solartechnik wären die vier Temperaturbereiche bis 80 °C, bis 130 °C, bis 170 °C und bis 250 °C von Interesse und getrennt auszuwerten.

Aufbauend auf den ersten Resultaten aus der überwiegend internationalen Zusammenarbeit im Rahmen des IEA-SHC-Tasks 33/IV sowie EU-Projekten besteht die Notwendigkeit, **Planungshilfsmittel** (Leitfäden und Tools) sowie **Branchenkonzepte** zur Einbindung solarthermischer Anlagen in industrielle Prozesse zu entwickeln. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- **Prozessanalysen:** Ermittlung von Temperaturniveaus, Leistungen und Energiebedarfs-Profile,
- **Energieeffizienzstudien:** Dämmung, Wärmerückgewinnung, Optimierung der Wärmeverteilnetze, Prozessführung, etc.,
- Entwicklung geeigneter Kollektoren und anderer Systemkomponenten für solare Systemtemperaturen im Bereich von ca. 90 bis 250 °C,
- Identifizierung geeigneter **Prozessschritte** zur Einbindung thermischer Solaranlagen und Entwicklung standardisierter Schnittstellen,
- Erarbeitung geeigneter Strategien und Hydrauliken zur **Systemeinbindung** thermischer Solaranlagen in Niedertemperaturprozesse sowie für Warmwasser-, Heißwasser- und Dampfnetze für Mittel- und Hochtemperaturanwendungen,
- Entwicklung von branchen- bzw. prozessspezifischen **Auslegungs- und Regelungsstrategien** von Solaranlagen und
- **Kategorisierung von Solaranlagenvarianten** zur Einbindung in (kategorisierte) Niedertemperaturprozesse sowie in Warmwasser-, Heißwasser- und Dampfnetze.

Folgender Forschungsbedarf besteht im Bereich Prozesswärme:

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • systematische Klassifizierung industrieller Prozesse, Identifikation relevanter Branchen, Prozessketten und Querschnittstechnologien • Fallstudien in Betrieben vielversprechender Branchen zur Kombination aus Effizienzmaßnahmen und Integration von Solaranlagen • Klassifizierung von Dachstatiken • Konzepte zur Vermeidung und sicheren Beherrschung von Stagnationsphasen <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulationswerkzeuge zur Anlagenauslegung und -planung sowie zur energetischen Optimierung industrieller Prozesse • Branchenkonzepte • Hilfsmittel wie Checklisten und Richtlinien für eine effiziente Systemeinbindung, Spezifikation und Auslegung der Anlagenkomponenten • angepasste Komponenten für Mitteltemperaturanwendungen (Kollektoren, Speicher (z. B. PCM), Ventile, Ausdehnungsgefäße etc.) • automatischer Fehleridentifikationsmethoden • Monitoring-Konzepte zur Langzeitüberwachung <p>Pilot- und Demeanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planung und Realisierung 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regelwerk zur Einbindung solarthermischer Szenarien in die Energieberichterstattung für Industrieanlagen • Ausbildungskonzept für Industrie-Energieberater • angepasste Solaranlagenkomponenten für Hochtemperaturanwendungen (Kollektoren, Speicher (z. B. PCM), Zubehör (Ventile, Ausdehnungsgefäße, usw.)) • standardisierte Anschlüsse / Übergabestationen zur Kopplung von Solaranlage und Industrieprozess

Tab. 23: Forschungsbedarf Prozesswärme

3.5.4 Leitprojekte

3.5.4.1 *Entwicklung von Planungshilfsmitteln für den Einsatz von Solarthermie in industriellen Prozessen*

Zielsetzung: Erstellung von Planungshilfsmitteln in Form von Leitfäden und Softwaretools, bedarfsgerechte Vermittlung an die jeweiligen Branchenverbände und Anlagenplaner sowie Integration der Planungsempfehlungen in die jeweiligen Regelwerke.

Maßnahmen

- Machbarkeits- und Fallstudien zur Analyse und Kategorisierung ausgewählter Industriebranchen zur Identifikation von geeigneten Anwendungsfeldern für die Solarthermie.
- Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen in ausgewählten industriellen Anwendungen.
- Entwicklung von Methoden zur Modifizierung von bestehenden Wärmeversorgungskonzepten zur Einbindung der Solarthermie (z. B. Umwandlung von Dampfnetzen in Niedertemperaturnetze).

3.5.4.2 *Standardisierung und Optimierung Solarthermischer Anlagen für Prozesswärmeanwendungen*

Zielsetzung: Standardisierung von Solaranlagen und Schnittstellen zwischen Industrieanlagen- und Energieversorgungstechnik unter Anpassung der solarthermischen Systemtechnik an die Anforderungen der jeweiligen Industrieprozesse.

Maßnahmen

- Optimierung von solarthermischen Anlagen für ausgesuchte industrielle Anwendungen.
- Auslotung von Optimierungspotentialen durch die Anpassung des jeweiligen Produktionsprozesses auf die solare Wärmebereitstellung und Entwicklung von optimierten Regelungs- und Monitoringkonzepten.
- Entwicklung von Qualitätssicherungsinstrumenten zur Langzeitüberwachung der Solaranlagen im Industriestandard.

3.5.4.3 *Komponentenentwicklung und Systemtests für Mittel- und Hochtemperaturanwendungen*

Zielsetzung: Komponentenentwicklung für Temperaturen von 90 bis 250 °C.

Maßnahmen

- Erarbeitung von Temperaturklassen für mögliche Anwendungsfälle.
- Entwicklung und Erprobung von Hochtemperaturkollektoren für Arbeitstemperaturen von 90 bis 250 °C (nachgeführte und nicht nachgeführte konzentrierende Kollektoren).
- Entwicklung neuartiger Speichertechnologien (siehe Kap. 3.2).
- Entwicklung von sonstigen Komponenten für diese Temperaturbereiche, wie z. B. Ventile und Ausdehnungsgefäße.
- Entwicklung von Tests zur Langzeitbeständigkeit aller Komponenten.



Dachansicht solare Kühlanlage mit 1.300 m² Kollektorfläche in Esslingen

3.6 Anwendung: Solares Kühlen und Klimatisierung

3.6.1 Stand der Technik

Solare Kühlung kann sowohl mittels thermischer als auch photovoltaischer Wandlung der solaren Strahlungsenergie erfolgen. Im Rahmen der Solarthermietechnologie-Plattform werden jedoch ausschließlich die solarthermischen Verfahren betrachtet.

Anwendungsbereiche liegen einerseits im Bereich der Komfortklimatisierung und andererseits in der Bereitstellung von Prozesskälte für Industrie und Gewerbe. Dabei lassen sich **zwei Prinzipien** unterscheiden:

- **Geschlossene wärmebetriebene Kältekreisläufe** sind schon sehr lange verfügbar, sie werden heute gewöhnlich für große Leistungsklassen ab 100 kW verwendet. Meistens kommt dabei die Sorptionstechnik zum Einsatz. Um thermisch generierte Kälte niedriger und mittlerer Temperatur zu produzieren sind zwei Verfahren etabliert: **Absorption und Adsorption**. Neben den auf Sorptionstechnik basierenden Verfahren gibt es verschiedene weitere Möglichkeiten zur Kälteerzeugung auf Basis thermischer Energie in geschlossenen Verfahren wie Dampfstrahlkälte, Wärme-Kraft-Wärme-Verfahren (direkte Kopplung eines Wärmekraftprozesses mit einem Wärmepumpenprozess) und weitere Verfahren, die sich im Bereich der Grundlagenentwicklung be-

finden (magneto-kalorische Verfahren, thermo-akustische Verfahren). Alle geschlossenen thermisch angetriebenen Kälteverfahren erfordern eine **Wärmeabfuhr auf mittlerem Temperaturniveau** (typisch 25 bis 40 °C, ggf. auch darüber). In der Regel ist die anfallende Wärme nicht nutzbringend verwendbar; eine Ausnahme ist unter gegebenen Umständen die Beheizung von Schwimmbädern. Die Abfuhr dieser Wärme ist wesentliches Problemfeld beim Einsatz von thermisch angetriebenen Kältemaschinen. Trockene Rückkühlwerke, bei denen die Abwärme direkt an die Außenluft abgegeben wird, führen zu hohen Rückkühltemperaturen, die die Effizienz der Kälteerzeugung reduzieren. Außerdem ist damit vielfach ein hoher Stromverbrauch für die Ventilatoren zur Verbesserung der Wärmeabgabe an die Umgebungsluft verbunden. Nasse Rückkühlwerke erlauben niedrigere Rückkühltemperaturen und haben einen niedrigeren spezifischen Stromverbrauch. Jedoch wird Frischwasser benötigt, das ggf. aufbereitet werden muss und verbraucht wird. Darüber hinaus ist eine zuverlässige Wartung essentiell für einen sicheren und dauerhaften Betrieb. Die Rückkühlthematik ist ein noch nicht ausreichend erschlossenes Gebiet, in dem Verbesserungen notwendig und möglich sind. Insbesondere für den kleinen Leistungsbereich besteht hier noch erheblicher Forschungsbedarf.

- **Offene Verfahren** sind für die Gebäudeklimatisierung von Interesse. Sie können feste oder flüssige Sorptionsmittel nutzen. Stand der Technik sind Verfahren, die Sorptionsrotoren nutzen, doch auch Verfahren mit flüssigen Sorptionsmitteln sind marktverfügbar. Bei beiden Verfahren steht eine breite Marktdurchdringung noch aus und es sind Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Breite erforderlich.

Neben den Anlagen für einzelne Gebäude oder Betriebe sind auch zentrale Lösungen mit Kältenetzen denkbar. Große Versorgungssysteme bieten interessante Optionen wie z. B. Lastausgleich, kostenseitige Optimierung sowie einen professionellen Betrieb solarthermisch angetriebener Kältemaschinen.

Solare Kühlung ist eine bislang im Wesentlichen nur in Pilot- und Demonstrationsvorhaben eingesetzte Technik. In Europa gibt es rund 400 Anlagen, die einen großen Leistungs- und Anwendungsbereich abdecken und unterschiedlichste Anlagenkonzepte und Komponenten einer Vielzahl von Herstellern nutzen. Insofern sind sowohl, was den Planungsprozess, als auch was die Installation, Inbetriebnahme und den Betrieb betrifft, kaum allgemeine Standards und technische Regeln vorhanden.

Zusammenfassend kann der Stand wie folgt dargestellt werden:

- Die wesentlichen technischen Komponenten sind vorhanden. Diese sind jedoch nicht für die Anwendung in Kombination mit Solartechnik angepasst bzw. optimiert. Im Bereich kleiner Leistungen gibt es erste funktionstaugliche Geräte, die allerdings noch deutlich von einem industriellen Maßstab der Herstellung entfernt sind. Es gibt sowohl Verbesserungspotenzial bei etablierten Verfahren als auch Potenzial für ganz neue, heute noch weit von der Anwendung entfernte Verfahren.
- Es gibt noch keine standardisierten und bewährten Anlagenkonzepte für bestimmte Anwendungsfelder, jedoch erste Erfahrungen auf dem Weg zu einer derartigen Standardisierung.
- Es liegen erste Planungswerkzeuge vor. Deren Breite und Tiefe muss deutlich weiter entwickelt und an die jeweiligen Anwendergruppen angepasst werden.
- Eine Umsetzung der Technik in größerer Breite bedarf eines umfangreichen Know-how-Transfers an die relevanten beteiligten Gruppen wie Planer und Installateure sowie begleitender Demonstration und Qualitätssicherungsmaßnahmen.

3.6.2 Technologievision 2030

Im Jahr 2030 werden Gebäude, die aktive Kühlung benötigen, solarthermische Systeme ganzjährig nutzen zu Heizzwecken (Wasssererwärmung und Raumheizung) sowie zur Kühlung. Für die Kühlung wird eine solare Volldeckung erreicht, wobei der benötigte Strom für Hilfsaggregate (Pumpen, Ventilatoren, Rückkühlung) – zumindest bilanziell – durch Solarstrom gedeckt werden wird. Die Kühlung erfolgt vollständig solar, wobei eine thermochemische Speicherung im Prozess den zeitlichen Ausgleich zwischen Solargewinnen und Lastspitzen sicherstellt.

In sonnenreichen Regionen wird die Integration von solarer Kühlung in die Kühlprozesse in der Industrie etabliert sein. Solare Deckungsbeiträge liegen je nach Prozess und sonstigen Randbedingungen zwischen einigen Prozent und nahe 100%, beispielsweise in saisonal passenden Anwendungsbereichen (z. B. Lebensmittelindustrie mit Spitzenbedarf im Sommer).

Die thermodynamische Effizienz (Carnot'scher Gütegrad) der verwendeten Verfahren wird von heute rund 30% auf bis zu 50% gestiegen sein. Im

Verbund mit weiteren Effizienzsteigerungen innerhalb der gesamten Prozesskette und einer signifikant größeren industriellen Produktionskapazität – und damit abgesenkten Herstellkosten – wird solare Kühlung in den meisten Anwendungsbereichen eine wirtschaftliche Lösung darstellen.

3.6.3 **Forschungsbedarf**

Hier werden nur Forschungsaktivitäten berücksichtigt, die sich speziell auf das Thema thermisch angetriebene Kühlung beziehen. Forschungsaktivitäten, die Hauptbestandteile von Solarthermie-Systemen im Allgemeinen betreffen, wie zum Beispiel Solarkollektoren und Wärmespeicherung, werden nur erwähnt, wenn sie eine besondere Relevanz mit Hinblick auf thermisch angetriebener Kühlung haben.

Der Forschungsbedarf gliedert sich in die Bereiche Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Demonstration und Technologietransfer.

3.6.3.1 **Grundlagenforschung**

Grundlagenforschung wird mit einem langfristigen Fokus auf die Optimierung thermisch betriebener Kühlkreisläufe benötigt und verfolgt folgende Ziele:

- höhere Effizienzwerte (COP-Werte),
- kompaktere Geräte,
- niedrigere Antriebstemperaturen bei gleicher Effizienz und
- preiswertere Geräte und Systeme.

Dies schließt Forschung zu neuen Sorptionsmaterialien, neuen Beschichtungen von Sorptionsmaterialien auf Wärmetauscherflächen, neue Wärme- und Stofftransportkonzepte und die Entwicklung neuer thermodynamischer Kreisläufe mit ein. Andere Bestandteile, bei denen Grundlagenforschung nötig ist, sind insbesondere die kompakte Kältespeicherung durch Anwendung von Phasenwechselmaterialien und thermo-chemischen Reaktionen. Eine weitere Option ist die Kombination von Solarkollektor und Generator (Austreiber, Desorber) in thermisch angetriebenen Kältekreisläufen.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Untersuchungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Screening der möglichen Sorptionsmaterialien, vor allem in Bezug auf breite Verfügbarkeit und Kostenreduktion <p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • nanobeschichtete Oberflächen in Wärmeübertragern zur Verringerung von Reibungsverlusten • neue Kreisläufe (hoher Temperaturhub, zwei-, dreistufige und neuartige offene Sorption) mit optimierter interner Wärmerückgewinnung für hohe COP-Werte • Werkzeuge zur Leistungsanalyse, wie zum Beispiel Energieanalyse, Lebenszyklusanalyse und Vergleichsmethoden zur Bewertung neuer Konzepte • Kombination Solarkollektor und Generator (Austreiber, Desorber) in solarthermischer Kühlung/Kälteerzeugung 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • neue, hochporöse Sorptionsmaterialien, insbesondere für die Adsorption (z. B. metall-organische Gerüstmaterialien) und ionische Flüssigkeiten für neue Stoffsysteme bei der Flüssigsorption • sorptive Materialbeschichtungen auf verschiedenen Metallsubstraten für optimierten Wärme- und Stofftransport • mikro-fluide Systeme für kompakte, hochwirksame Wärmetauscher im Sorptions- und Desorptionsregime • neue Grundgerüste für Sorptions-Wärmetauscher, zum Beispiel Metallschäume • neue Materialien für Kältespeicherung bei verschiedenen Temperaturstufen für hohe Speicherdichten • fortgeschrittene Simulationswerkzeuge für Systemmodellierung unterschiedlicher Maßstäbe, vom molekularen (Sorptionsvorgang) bis zum Systemmaßstab • Speicher hoher Energiedichte durch Phasenwechsel (z. B. Paraffine) oder thermochemisch, speziell für Kälte- und Klimatisierungsanwendungen • alternative thermisch angetriebene Kühlverfahren (z. B. Wärme-Kraft-Wärme-Verfahren, magneto-kalorische Verfahren, thermo-akustische Verfahren usw.) • Sorptionsmaschinen auf Basis metall-organischer Gerüstmaterialien

Tab. 24: Grundlagenforschungsbedarf solare Kühlung

3.6.3.2 *Angewandte Forschung*

Das Hauptaugenmerk der angewandten Forschung ist es, Maschinen, Apparate und Systeme zu entwickeln, die auf neuen Ansätzen basieren. Angewandte Forschung beinhaltet außerdem die Erprobung und die Entwicklung von Testmethoden zur Standardisierung von thermisch angetriebenen Kühlkreisläufen und Gesamtsystemen.

Kurzfristiger Forschungsbedarf (bis 2015)	Mittel- bis langfristiger Forschungsbedarf (2015–2030)
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • verbesserte Regelkonzepte für Komponenten und Systeme, einschließlich selbstlernender Regelung, Fuzzy-Logik und Adaptivregelung • komplette Regelungen für solare Kühlung, die alle Teilkomponenten (Kollektor, Kältemaschine, Rückkühlung) direkt ansteuern und dadurch Effizienzvorteile heben, mit Standardisierung von Kennlinien zur universellen Adaption neuer Komponenten • fortgeschrittene Modellierungs- und Simulationswerkzeuge zur thermodynamischen Analyse von Systemen und zur Unterstützung der Planung und Auslegung • Methoden der Prozessintegration von solarbetriebenen Kühlsystemen in die betrachteten industriellen Prozesse • vollständige Backup-Integration in die heutigen Systeme • Rückkühltechniken mit minimiertem Hilfsenergieaufwand und möglichst geringem Wasserverbrauch bzw. effizienter Techniken zur Wasseraufbereitung (Wärmesenke Außenluft, Erdreich, sonstige) auf Basis systematischer Untersuchungen • Prüfverfahren auf Komponenten- und Systemebene für thermisch angetriebene Verfahren und Anlagen 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integration neuer Wärmeübertragerkonzepte aus der Grundlagenforschung in Apparatekonzepte • fortgeschrittene Geräte, die auf neuen thermodynamischen Kreisläufen basieren, einschließlich hybrider Sorptions-Kompressions-Systeme für optionalen Antrieb durch Wärme oder Elektrizität • Hybridsysteme, die Kompressionstechnologie mit kundenspezifischen, solarthermisch angetriebenen Geräten und geeigneten Wärme-/Kältespeichern verbinden • wesentlich kompaktere und leichtere Maschinen zur leichten Einbringung und Verwendung • gekühlte, offene Kreisläufe für feste Sorption mit hohem Entfeuchtungspotential für warme und feuchte Klimata • fortgeschrittene offene Kreisläufe, die flüssige Sorptionsmaterialien mit hoher Speicherdichte verwenden • für die solare Kühlung optimierte, sehr große solarthermische Anlagen (MW-Bereich) für Netzlösungen und große Verbraucher (z. B. Flughäfen und Industrie in sonnenreichen Regionen) • Lösungen für Kältenetze einschließlich der erforderlichen Speicher (Planungstools, Hydraulik-Konzepte, Betriebsführung) unter besonderer Berücksichtigung von solarer Einspeisung • hochkompakte Geräte kleiner Leistung zur dezentralen Anwendung (diese Maschinen könnten auch das Potenzial zur Anwendung im Automotiv-Bereich haben)

Tab. 25: Angewandter Forschungsbedarf solare Kühlung

3.6.3.3 *Umsetzung und Qualitätssicherung*

Für einen erfolgreichen Transfer existierender und neuer Konzepte in die praktische Anwendung und zur Qualitätssicherung im Markt sind kontinuierlich folgende Maßnahmen erforderlich, Zielgruppen sind dabei Hersteller, Planer, Energieberater, Architekten, Installateure, Anlagenbauer und Facility Manager:

- Entwicklung geeigneter Planungstools und Planungshilfsmittel, angepasst an die Bedürfnisse der unterschiedlichen Akteure,
- Erarbeitung von Auslegungstools auf offener Basis zur Adaption neuer Systeme und Klimazonen für die breite Anwendung,
- Entwicklung geeigneter Inbetriebnahmefethoden und Richtlinien,
- Erarbeitung neuer normativer Grundlagen für Kühllastberechnung (nicht nur an Spitzenlast ausgerichtet),
- Entwicklung von Hydraulikkonzepten, Richtlinien zur Gestaltung und erprobte Betriebs- und Wartungskonzepte für Gesamtsysteme,
- Demonstration und Monitoring verschiedener Systeme unterschiedlicher Konfigurationen, Größen, Klimata und Betriebsbedingungen,
- Dokumentation von Erfahrungen mit Anlagenkonzepten im praktischen Betrieb und deren Weitergabe an Fachleute,
- Erarbeitung von Meteorodaten-Katalogen mit verlässlichen Direktstrahlungsdaten zur Auslegung konzentrierender Systeme,
- Entwicklung geeigneter Fördermodelle (z. B. abhängig von Primärenergie-Einsparnis oder CO₂-Einsparung),
- Zuarbeit zur Berücksichtigung in Regelwerken (z. B. EnEV),
- Entwicklung standardisierter Leistungskriterien für Komponenten und Gesamtsysteme,
- Entwicklung von Standards für Prüfung und Tests von Komponenten und Systemen,
- Entwicklung angemessener Schulungsmaterialien für verschiedene Stufen der Ingenieursausbildung,
- Curricula für Hochschule, Meisterschulen, Technikerschulen und
- Qualifizierungsmaßnahmen für Multiplikatoren („regenerativer Kältetechniker“).

Alle genannten Maßnahmen erfordern in den nächsten 5 bis 10 Jahren eine Begleitung in koordinierten und wissenschaftlich begleiteten Demonstrationsprogrammen. Parallel ist eine Unterstützung von ausgereiften Systemen durch Markteinführungsprogramme erforderlich, um den Schritt von Einzelanlagen zur Marktdurchdringung zu beschleunigen.

3.6.4 Leitprojekte

Es wird je Schwerpunkt (Grundlagen, angewandte Forschung, Transfer) ein Leitprojekt vorgeschlagen, das als Klammer für die Vielzahl der notwendigen Einzelaktivitäten fungiert; diese Einzelaktivitäten sollten in einem **Koordinationsprojekt „Solare Kühlung“** zusammengeführt werden, das eine optimale Abstimmung der Einzelprojekte sicherstellt und dafür sorgt, dass die Aktivitäten sich optimal ergänzen und insgesamt zu einem signifikanten Fortschritt führen.

3.6.4.1 *Thermisch angetriebene Kälteprozesse*

- Umfassende Analyse, Bewertung und Weiterentwicklung innovativer thermisch angetriebener Kälteprozesse bzw. Klimatisierungsverfahren und Erarbeitung von Vorschlägen für technologisch aussichtsreiche Einzelentwicklungen.
- Bewertung und Gewichtung aller in Frage kommenden Technologien auf Grund quantitativer und qualitativer Vergleichskriterien (Energieaufwand, Kosten, Fertigungstechnik, erforderlicher Entwicklungsaufwand, etc.).

3.6.4.2 *Systemtechnik solare Kühlung/Klimatisierung*

- Ein wesentliches Hemmnis für einen breiteren Einsatz solarer Kühlung/Klimatisierung ist die Komplexität der Systemtechnik (Auslegung/Dimensionierung, Hydraulik, Regelung, Betrieb). Deshalb werden Maßnahmen zur Standardisierung der Systemtechnik durchgeführt mit dem Ziel der Minimierung des Hilfsenergieeinsatzes und somit einer Maximierung der Primärenergierersparnis. Dabei liegt der Schwerpunkt im Bereich der systematischen Entwicklung optimierter Rückkühlverfahren.

3.6.4.3 *Transfer von solaren Kühltechniken in die Praxis*

- Ein weiteres wesentliches Hemmnis für eine größere Verbreitung von Techniken der solaren Kühlung/Klimatisierung liegt in der mangelnden Kenntnis im Bereich der Multiplikatoren und Anwender. Deshalb werden Maßnahmen für eine gezielte Schulung insbesondere von Planern und Ingenieuren durchgeführt. Dazu gehört die Entwicklung leistungsfähiger, nutzerfreundlicher Planungswerkzeuge ebenso wie die Erstellung von soliden Curricula für die Aus- und Weiterbildung.



4

Flankierende Maßnahmen



4.1 Qualitätssicherung

Um die Solarthermie erfolgreich in der Breite einzuführen, sind begleitende Methoden und Verfahren zur Sicherung der ganzheitlichen Qualität solarthermischer Anlagen und aller Komponenten erforderlich.

Unter **Qualität** wird hier folgendes verstanden:

- Lange Lebensdauer des Gesamtsystems
- Hohe Anlageneffizienz und damit starke Reduzierung von CO₂-Emissionen
- Fachgerechte Installation und Inbetriebnahme des Gesamtsystems
- Hohe ökologische Verträglichkeit d. h. große primärenergetische Erntefaktoren und Vermeidung der Verwendung umweltproblematischer Stoffe (z. B. Schwermetalle) sowie Optimierung der Einsatzzyklen von Solarflüssigkeiten bzw. Übergang zu wasserbasierten Systemen
- Bewertung von Gesamtsystemen und ggf. zentralen Komponenten (Kollektoren, Solarspeicher)
- Berücksichtigung der während der Einsatzzeit auftretenden Belastungen in Bezug auf Temperaturen, Einstrahlung, Feuchte, mechanischer Einwirkungen (z. B. Makro- und Mikroklimata, Arbeits- bzw. Stillstandstemperaturen, Schnee-Wind-Hagel) bei der Produkt- und Systementwicklung
- Einführung eines Qualitätsmanagementsystems für den Rückfluss der Erkenntnisse aus der Fehlererkennung, die in der Praxis gewonnen wurden, in die Optimierung des Fertigungs- und Installationsprozesses

Grundsätzlich lassen sich die genannten Aspekte in folgende Bereiche gliedern:

- Qualitätssicherung von Komponenten (wie Kollektoren, Speicher, Regler, etc.) und Systemen in Entwicklung und Produktion
- Qualitätssicherung bei Auslegung, Planung und Installation durch gute Schulung und Ausbildung von Architekten, Planern und Handwerkern
- Qualitätssicherung im Betrieb durch Funktions- oder Ertragskontrolle

Für die Sicherstellung der Qualität sind Maßnahmen in allen genannten Teilbereichen notwendig.

4.1.1 Bewertung der Qualität von Komponenten und Systemen

Die in Mitteleuropa heute vertriebenen Solaranlagen weisen eine Qualität auf, die eine Lebensdauer von über 20 Jahren unter mitteleuropäischen Einsatzbedingungen erwarten lässt. Die elementaren Anforderungen an die zentralen Komponenten sowie an die gesamte Solaranlage sind in europäischen Normen festgeschrieben (siehe Tab. 26).

Norm	Titel „Thermische Solaranlagen und ihre Komponenten-...“
EN 12975-1: 2006	Kollektoren – Part 1 – Allgemeine Anforderungen
EN 12975-2: 2006	Kollektoren – Part 2 – Prüfverfahren
EN 12976-1: 2006	Vorgefertigte Anlagen – Part 1 – Allgemeine Anforderungen
EN 12976-2: 2006	Vorgefertigte Anlagen – Part 2 – Test Prüfverfahren
CEN/TS 12977-1: 2010*	Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Part 1 – Allgemeine Anforderungen
CEN/TS 12977-2: 2010*	Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Part 2 – Prüfverfahren
EN 12977-3: 2008	Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Part 3 – Leistungsprüfung von Warmwasserspeicher für Solaranlagen.
CEN/TS 12977-4: 2010*	Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Part 4 – Leistungsprüfung von Speichern für solare Kombianlagen
CEN/TS 12977-5: 2010*	Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Part 5 – Prüfmethoden für Regeleinrichtungen

Tab. 26: Übersicht Europäische Normen im Bereich Solarthermische Anlagen und Komponenten
 * Diese europäischen technischen Spezifikationen bzw. Vornormen werden voraussichtlich im Jahr 2011 als europäische Normen (EN-Normen) verfügbar sein

Normen, in denen **Anforderungen an die Lebensdauer** von Solaranlagen bzw. ihren Komponenten festgeschrieben sind, existieren nicht. Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass entsprechende Prüfverfahren zur Ermittlung einer zu erwartenden Lebensdauer bisher nicht verfügbar sind.

Für die **Zertifizierung von Solaranlagen** und ihrer Komponenten existieren eine Reihe nationaler Zertifizierungsprogramme (z. B. Blauer Engel, RAL Gütezeichen Solar), die jedoch alle von untergeordneter Bedeutung sind, bzw. auf Tests basieren, die bereits Bestandteil von anderen nationalen oder internationalen Zertifizierungsprogrammen sind.

Auf europäischer Ebene ist die **Solar Keymark-Zertifizierung** (www.solarkeymark.org) von Solarkollektoren sowie von vorgefertigten Solaranlagen sehr gut etabliert. Das Solar Keymark-Zertifizierungszeichen besitzt daher auch national die größte Relevanz. Das Ziel der

Industrie ist es, mit dem Solar Keymark alle nationalen Zertifizierungszeichen zu ersetzen, um weiter existierende Handelbarrieren zu eliminieren und gleichzeitig europaweit den gleichen Qualitätsstandard zu erreichen.

Durch die Solar Keymark-Zertifizierung wird bestätigt, dass die zertifizierten Produkte die im Solar Keymark-Zertifizierungsprogramm (Solar Keymark Scheme Rules) festgeschriebenen Anforderungen erfüllen. Unter technischen Aspekten basieren diese Anforderungen auf den europäischen Normen EN 12975 für Sonnenkollektoren und EN 12976 für vorgefertigte Solaranlagen.

Eine Solar Keymark-Zertifizierung von kundenspezifisch gefertigten Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung sowie von solarthermischen Kombianlagen ist bislang aus formalen Gründen nicht möglich, da für diese Anlagentypen bisher keine europäischen Normen sondern nur Vornormen bzw. sogenannte Technische Spezifikationen (CEN/TS) verfügbar sind. Die Einführung dieser Normen und deren Etablierung in den Mitgliedsstaaten der EU ist erklärtes Ziel der Industrie, das im Jahr 2011 erreicht werden soll. Der größte Teil der in Deutschland vertriebenen Anlagen fällt jedoch entsprechend den Definitionen der europäischen Solarnormen in die Kategorie „kundenspezifisch gefertigte Solaranlagen“, weshalb die Solar Keymark-Zertifizierung bislang in den allermeisten Fällen auf den Kollektor beschränkt bleibt.

Die Solar Keymark-Zertifizierung macht keine Aussagen in Bezug auf eine zu erwartende Lebensdauer der Anlage bzw. ihrer Komponenten.

4.1.2 Qualitätssicherung bei der Planung und der Installation

Einheitliche spezifische Anforderungen an die Ausbildung von Installateuren für Solaranlagen bzw. deren Qualifikationen existieren bisher nicht. Aus diesem Grund ist bisher in Deutschland auch kein Zertifizierungsverfahren für Installateure von Solaranlagen etabliert.

4.1.3 Qualitätssicherung im Betrieb

In diesem Kapitel wird der Stand der Technik der Funktions- und Ertragskontrolle von Solarthermieanlagen mit verglasten Kollektoren beschrieben. Die verwendete Einteilung (Funktionskontrolle, Ertragsbetrachtung, Ertragsbewertung und Ertragssicherung) lehnt sich an die VDI-Richtlinie 2169 „Funktionskontrolle von Solaranlagen“ an.

4.1.3.1 Funktionskontrolle

Funktionskontrolle beschränkt sich auf die Kontrolle einzelner Funktionen der Solaranlage und gibt eingeschränkt Aufschluss über Qualität und Ertrag der ausgeführten Solaranlage. Es wird zwischen manuellen und automatischen Verfahren unterschieden:

- Bei **manuellen Verfahren** werden die zur Verfügung stehenden Messwerte evtl. nach Datenfernübertragung durch einen Fachmann interpretiert.
- Bei **automatischen Verfahren** übernimmt die Interpretation der Messwerte der Solarregler bzw. das Funktionskontrollgerät. Beispielsweise besitzen manche Solarregler integrierte Plausibilitätsabfragen zur Detektierung von Fehlfunktionen, die über die Sensorprüfung auf Kabelbruch oder Kurzschluss hinausgehen (z. B. kann mit einem Volumenstromsensor überprüft werden, ob das Reglersignal an die Pumpe zu einer Durchströmung führt).

4.1.3.2 Ertragsbetrachtung

Zur Ertragserfassung werden in der Regel Wärmemengenzähler eingesetzt. Bei der Ertragsbetrachtung wird der ermittelte Solarertrag von einem Fachmann bewertet. Es gibt aber auch Solarregler, die eine Abschätzung des Sollwertes für den Solarertrag mit den zur Verfügung stehenden Sensoren und Informationen durchführen.

4.1.3.3 Ertragsbewertung

Diese Verfahren messen den Ertrag der Solaranlage und bewerten diesen mit Hilfe einer Simulation unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Wetter, Wärmeverbrauch). Hierbei muss zwischen manuellen und automatischen Verfahren unterschieden werden.

- Bei **manuellen Verfahren** werden aufgezeichnete Messdaten der Solaranlage und des Wetters im Nachhinein in einer detaillierten Anlagensimulation verwendet. Die Simulation wird von einem Fachmann mit den Messwerten und dem gemessenen Ertrag verglichen, um die korrekte Funktion der Solaranlage zu überprüfen. Dieser Grundgedanke steckt auch in solaren Garantieverfahren, bei denen der durch Simulationsrechnungen ermittelte Jahresertrag mit dem garantierten Solarertrag verglichen wird.
- Bei **automatischen Verfahren** wird der gemessene Ertrag mit dem durch vor Ort oder in einem Zentralserver für diesen Tag auf Basis der aktuellen Rahmendaten errechneten möglichen Ertrag verglichen.

4.1.3.4 Ertragssicherung

Zur Ertragssicherung ist es notwendig, Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung für die verschiedenen Systemkonfigurationen zu ergreifen. Da solarthermische Anlagen praktisch immer in Kombination mit anderen

Wärmeerzeugern die Wärme bereitstellen, gilt es dabei insbesondere die Schnittstellenproblematik zwischen den Systemen zu berücksichtigen.

Bei Zielsetzungen von bis zu 30 Jahren Lebensdauer für die Solarkollektoren müssen vertiefende Untersuchungen zu optimierten Austauschzyklen von Anlagenkomponenten mit geringeren normativen Nutzungsdauern wie Pumpen, Ventile, Druckhaltungen, Sicherheitseinrichtungen und insbesondere eine integrierte Qualitätsüberwachung für die Solarflüssigkeiten initiiert werden.

4.1.4 Technologievision 2030

Zur Qualitätssicherung in solarthermischen Anlagen sind im Jahr 2030 Methoden etabliert, die die gesamte Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudes bzw. des Prozesses umfassen. Diese Methoden erstrecken sich auf die

- Systementwicklung, inkl. Material- und Komponentenqualifizierung,
- individuelle Planung durch Architekten, Planer und Installateure,
- Installation und Inbetriebnahme sowie
- Wartung, vorbeugende Instandhaltung und Monitoring.

Bis auf den Fall der SolarAktivhäuser, die zu 100% solarthermisch beheizt werden, muss zusätzlich noch die Interaktion mit weiteren Wärmequellen berücksichtigt werden.

Im Bereich Qualitätssicherung wird im Jahr 2030 folgender Stand erwartet:

- Lebensdauer des Gesamtsystems beträgt 30 Jahre,
- Planungswerkzeuge liegen für die Gesamtsystem zur Wärme-Kälteversorgung vor,
- Lieferung und Installation des Gesamtsystems durch eine Firma bzw. nur ein Ansprechpartner,
- Erntefaktoren⁴ sind größer 20 für Anlagen in Solaraktivhäusern,
- Bewertungssysteme für die Sicherstellung der Qualität⁵ für Gesamtanlagen zur Wärme- und Kälteversorgung,
- Normen mit Produktanforderungen, Verfahren für die Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit und zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und Lebensdauer der Gesamtanlagen,
- Vermeidung der Verwendung umweltproblematischer Stoffe und
- Bewertungsmethodik die einen objektiven Vergleich unterschiedlicher Anlagenkonzepte ermöglicht.

⁴ Erntefaktor = Verhältnis von der durch die Solaranlage während ihrer Lebensdauer eingesparten Primärenergie dividiert durch die Primärenergie, die zur Herstellung, Installation, Wartung und dem Betrieb der Anlage aufgewendet werden muss

⁵ Definition „Qualität“ siehe Vorbemerkung

4.1.5 Forschungsbedarf

Die Verbesserung der Qualitätssicherung ist Voraussetzung für die Umsetzung der Solarthermie-Vision. Folgende Aktivitäten sind hierzu erforderlich.

4.1.5.1 Qualitätssicherung von Komponenten und Systemen

Um eine fehlerfreie Auslegung und Planung der Anlagen zu gewährleisten und die Qualität der Anlagen überprüfen zu können, müssen entsprechende Normen vorhanden sein.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Qualitätssicherung		
Komponenten und Systemen	Planung und Installation	Anlagenbetrieb
<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Methoden zur Bestimmung und Bewertung der vermiedenen CO₂-Emissionen • Internationalisierung von Bewertungsstandards, um die enormen Entwicklungskosten einem breiten Marktpotential entgegen zu stellen • grundlegende Produkt- Zielsetzung: Systemanforderungen (z. B. Sicherheitstechnik, Dokumentation, Monitoring, Wartung) für verschiedene Anwendungs-, System- und Klimaklassen • Verfahren zur Bestimmung der zu erwartenden Lebensdauer der zentralen Komponenten (z. B. Kollektoren, Speicher) sowie des Gesamtsystems für definierte Systemtypen oder -klassen • Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit und der daraus resultierenden Energieeinsparung bzw. Emissionsvermeidung des Gesamtsystems • standardisierte Verfahren zur ökologischen Bewertung der Gesamtsysteme • Verfahren zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit und mechanischen Stabilität der Solarsysteme und deren Komponenten • weltweit einheitliches und anerkanntes Zertifizierungsverfahren für thermische Solaranlagen und ihre Komponenten • Konzepte zur Fehlervermeidung in der Produktion (Poka-Yoke-Prinzip⁶) 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schulungs-, Qualifizierungs- und Trainingsprogrammen für die Planung, Installation und Inbetriebnahme von solaren Energieversorgungssystemen • Verfahren zur (Selbst)-Beurteilung der Fachkompetenz von Architekten, Planern und Installateuren • Experimentier- und Forschungswerkzeuge zur „Pre-Qualifizierung“ im Schul- und Hochschulalltag sowie in Berufs- und Fachschulen • Instrumente im spielerischen Umfeld der vorschulischen Bildung 	<p>Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hilfsmittel, wie z. B. Monitoringinstrumente, Fernüberwachungssysteme und Software zur „Schnellbeurteilung“ der Funktionsfähigkeit von Systemen • standardisierte Online-Monitoringverfahren von größeren Anlagen (siehe auch VDI 2169) • standardisierte Monitoring-Methoden für kleinere Solaranlagen, günstig und einfach • standardisierte Methoden zur Ermittlung der solarthermischen Anlagenerträge als Nachweis für die Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften (z. B. Anteile erneuerbare Energien im EEWärmeG oder der europäischen EE-Richtlinie) für alle Anwendungsarten (Wohngebäude, Nahwärme, gewerbliche Gebäude, Prozesswärme, etc.)

Tab. 27: Forschungs- und Entwicklungsbedarf Qualitätssicherung

⁶ Poka-Yoke (japanisch für „unglückliche Fehler vermeiden“) = bezeichnet Vorkehrungen zur sofortigen Fehleraufdeckung bzw. -vermeidung bereits in der Produktion

4.1.6 Leitprojekte

Im Folgenden wird die zum Erreichen der zuvor definierten Ziele notwendige Forschungsstrategie auf der Basis von Leitprojekten exemplarisch definiert. Diese Leitprojekte sind so gewählt, dass sie das gesamte Spektrum vom Bereich der Grundlagenforschung, über die angewandte Forschung bis hin zur Demonstration abdecken.

4.1.6.1 *Beschleunigte Alterungstests*

Zielsetzung: Entwicklung von beschleunigten Alterungstestverfahren für solarthermische Kollektoren und deren Komponenten und der Bestimmung der Gebrauchsdauer von Gesamtanlagen.

Maßnahmen

- Identifikation von Schwachstellen in unterschiedlichen Systemen.
- Daten über die Belastung wichtiger Komponenten in verschiedenen Solarthermischen Systemen für verschiedene Klimaklassen.
- Erarbeitung von Gebrauchstauglichkeits- und Lebensdauerprüfverfahren für verschiedene Systemkonzepte in Verbindung mit verschiedenen Umgebungsklimata und deren Belastungscharakteristik.

4.1.6.2 *Ausbildung von Akteuren und deren Bewertung*

Zielsetzung: Systematische Qualifizierung von Architekten, Planern und Installateuren in Bezug auf die Anwendung solarthermischer Systeme und Etablierung einheitlicher Qualitätsstandards. Zielgruppenspezifische, standardisierte Qualifizierung auf Basis eines einheitlichen Qualitätsstandards:

- des handwerklichen Nachwuchses in der Ausbildung durch feste Aufnahme in die Handwerksausbildung,
- der aktiven Handwerkerschaft durch Anreize zur Handwerkerfortbildung und Bewertungsmaßstäbe für die solarthermische Kompetenz und
- der Architekten und Planer durch Aufnahme der Solarthermie in die Hochschulausbildung (siehe Kap. 4.2),

Bereits in der vorberuflichen Bildung ist die Sensibilität für den Einsatz regenerativer Energien zu steigern, um langfristig die Berufs- und Entwicklungschancen darstellen zu können.

Maßnahmen

- Erhöhung des Wissens über solarthermische Anlagen bei Bildungsbehörden, Handwerkerschaft und Industrie.
- Erarbeitung und Umsetzung von Qualifizierungsprogrammen.
- Entwicklung von Förderprogrammen zum Anreiz für Qualifizierungsmaßnahmen zusammen mit politischen Entscheidungsträgern.
- Entwicklung und Etablierung von „Qualifizierungs-Mindeststandards“.

4.1.6.3 *Bewertungsverfahren für Solaranlagen*

Zielsetzung: Entwicklung von Verfahren zur energetischen und ökologischen Bewertung von Solaranlagen zur Wärme- und Kälteversorgung.

Maßnahmen

- Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit von Solaranlagen mit hohen solaren Deckungsanteilen.
- Weiterentwicklung von Prüfverfahren für die zentralen Komponenten, insbesondere Speicher mit neuen Technologien (Phasenwechselmaterialien, thermo-chemische Prozesse).
- Definition von standardisierten Randbedingungen für die Ertragsermittlung, z. B. für regional unterschiedliche Haustypen, Zapfraten, Dämmstandards, etc.
- Definition ökologischer Bewertungsgrößen (z. B. Erntefaktoren, energetische Amortisationszeit) sowie entsprechender Verfahren zu deren Ermittlung.
- Entwicklung von Verfahren die eine Bewertung und einen Vergleich unterschiedlicher Anlagenkonzepte auf der Basis von energetischen und ökologischen Kriterien ermöglichen.

4.1.6.4 *Erprobung neu entwickelter Verfahren*

Maßnahmen

- Feldversuche zur Erprobung der in den Leitprojekten entwickelten Verfahren und Ansätze zur Beurteilung der Eignung der Verfahren im Hinblick auf neue technologische Entwicklungen wie z. B. Kunststoffkollektoren oder thermo-chemische Wärmespeicher.
- Pilot- und Demonstrationsvorhaben zur Erprobung der Bewertungs-, Monitoring- und Qualifizierungsverfahren. Diese Demonstrationsvorhaben werden notwendige Erweiterungen und Maßnahmen zur Erreichung der Qualitätsziele für thermische Solarsysteme liefern und für einen etablierten, kontinuierlichen Verbesserungsprozess Sorge tragen.



Kollektorfertigung

4.2 **Qualifizierungsbedarf / Aus- und Weiterbildung**

Ein starker Ausbau der Solarthermie bedarf einer deutlicher Zunahme an qualifiziertem Personal in Forschung und Entwicklung, Produktion, Vertrieb, Planung, Installation und Wartung aller solarthermischen Anlagen. In diesem Kapitel wird der Qualifizierungsbedarfs der deutschen Solarthermiebranche, das Bildungsangebot im akademischen und beruflichen Bereich sowie die öffentliche Forschungsförderung dargestellt, die in einer Studie im Rahmen der DSTTP ermittelt wurden [DSTTP2008].

4.2.1 **Aktueller Status**

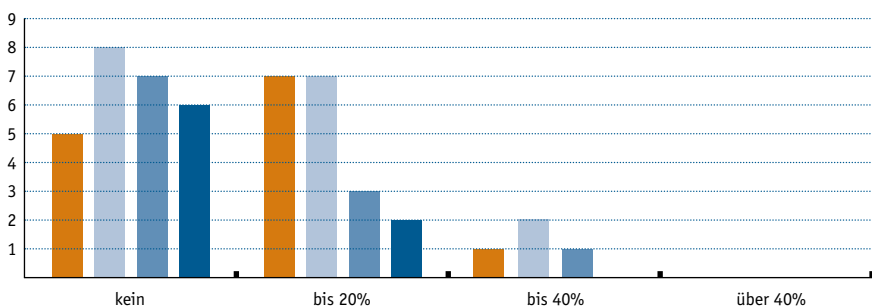
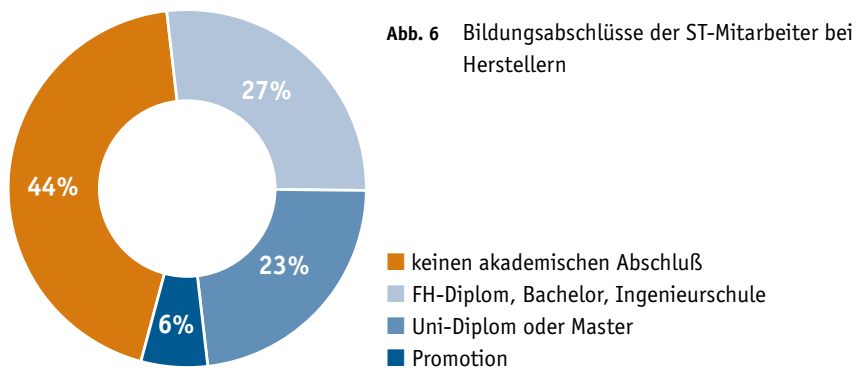
4.2.1.1 *Fragestellung und Analysemethodik*

Es wurde eine quantitative Expertenbefragung bei Herstellern, Instituten und Handwerksbetrieben der Solarthermiebranche zum Qualifizierungsbedarf durchgeführt und eine Übersicht der relevanten gegenwärtigen Aus- und Weiterbildungsangebote sowie der Studiengänge für die Solarthermiebranche. Die Ergebnisse beruhen auf einer Umfrage via Internet bei der sich 24 Hersteller, 6 Forschungsinstitute und 37 Handwerksbetriebe beteiligt haben.

4.2.1.2 Ergebnis: ST-Fachkräftemangel aktuell und zukünftig

Im Jahr 2008, dem Zeitpunkt der Befragung, haben über 80% der Befragungsteilnehmer für die kommenden 3 Jahre Probleme durch einen Mangel an ST-Fachkräften erwartet. Angesichts des unerwarteten und starken Einbruchs des Solarthermiemarktes in Deutschland von ca. 40% im Jahr 2009 und jeweils etwa 25% im Jahr 2010 (bis einschließlich August 2010), ist dieser Fachkräftemangel so noch nicht aufgetreten. Sobald sich der Markt wieder erholt und an das alte Wachstum anschließt, ist jedoch eine ähnliche Situation wie 2008 zu erwarten.

Bei Herstellern wurde vor allem ein Bedarf an Nicht-Akademikern und Bachelor-Absolventen festgestellt (siehe Abb. 7), an Instituten an Akademikern aller Qualifizierungsstufen (siehe Abb. 9). Rund 40% der ausführenden Betriebe hatten einen Mehrbedarf an qualifiziertem Personal. Am höchsten lag der Mehrbedarf bei Installateuren (siehe Abb. 11).



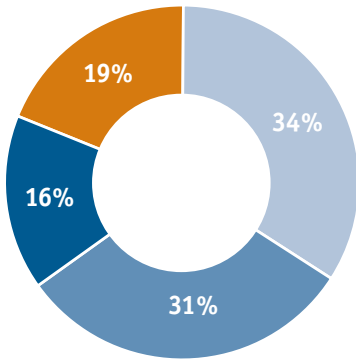


Abb. 8 Bildungsabschlüsse der ST-Mitarbeiter in Instituten

- keinen akademischen Abschluß
- FH-Diplom, Bachelor, Ingenieurschule
- Uni-Diplom oder Master
- Promotion

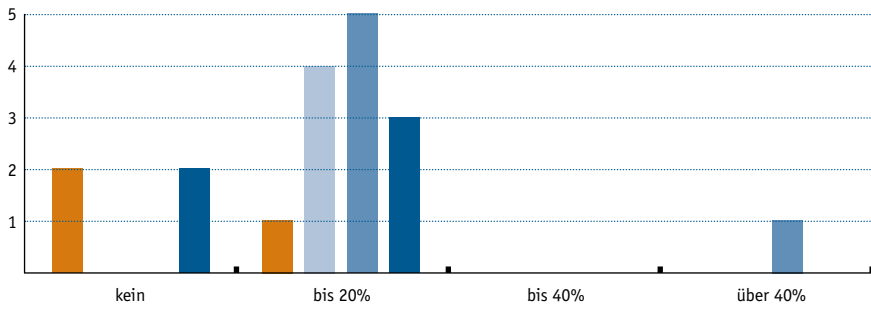


Abb. 9 Derzeitiger Bedarf an ST-Mitarbeitern mit diesen Bildungsabschlüssen (in Instituten)

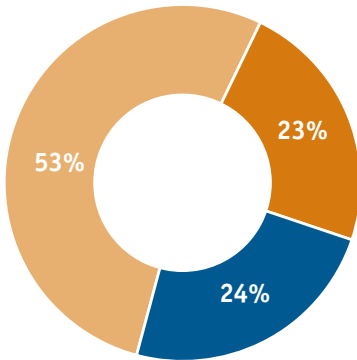


Abb. 10 Bildungsabschlüsse der ST-Mitarbeiter in ausführenden Betrieben

- Geselle, Facharbeiter
- Meister, Techniker
- akademischer Abschluss

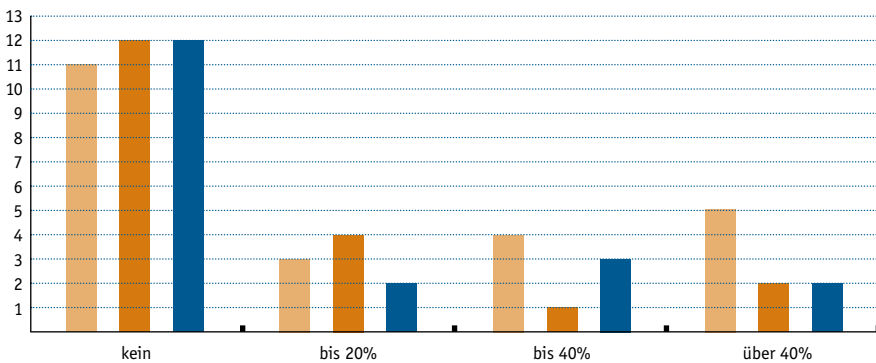


Abb. 11 Derzeitiger Mehrbedarf an ST-Mitarbeitern mit diesen Bildungsabschlüssen (in ausführenden Betrieben)

4.2.1.3 *Ergebnis: Notwendige und vorhandene Qualifikation der ST-Fachkräfte*

Wichtige Einstellungsvoraussetzungen bei ausführenden Betrieben sind berufliche Aus- und Weiterbildung sowie Berufserfahrung. Ein Studium ist bei Herstellern gewünscht, wichtiger sind aber Ausbildung und Berufserfahrung.

Der derzeitige Akademikeranteil an den Solarthermie-Fachkräften beträgt bei Instituten nicht unerwartet rund 80%, bei Herstellern noch gut 50%, aber überraschenderweise selbst bei ausführenden Betrieben noch rund 25%.

Sowohl Hersteller als auch Institute sehen über alle Bereiche, von der Entwicklungsabteilung bis zum technischen Innendienst, einen Mehrbedarf an akademisch ausgebildetem Personal von rund 20%, verbunden mit der Erwartung, bei der nicht-adäquaten Besetzung dieser Stellen große Schwierigkeiten zu bekommen.

Allerdings gaben viele Hersteller und ausführende Betriebe an, dass ihre akademisch ausgebildeten Mitarbeiter ihr Solarthermie-Fachwissen nicht während des Studiums erworben haben, sondern meist erst in internen Mitarbeiterschulungen und durch Berufspraxis während der Betriebszugehörigkeit.

Nichtakademische Mitarbeiter bei Herstellern haben ihr Solarthermie-Wissen hauptsächlich aus der Berufspraxis und aus internen Mitarbeiterschulungen bezogen. Ausführende Betriebe sehen viele Quellen für das Solarthermie-Wissen ihrer nichtakademischen Mitarbeiter, am wenigsten aber die eigene Facharbeiter-Ausbildung.

Die Beurteilung der Solarthermie-Qualifikation ihrer Mitarbeiter bei Eintritt in das Unternehmen fällt relativ schlecht aus. Hersteller beurteilen die Hochschulabsolventen durchschnittlich mit der Note 2,6, Berufsschulabsolventen mit 3,4⁷. Ausführende Betriebe beurteilen sowohl Hochschul- als auch Berufsschulabsolventen nur mit 3,6. Das kann man auch im Zusammenhang mit den Antworten zur Quelle des Mitarbeiterwissens sehen: Die ausführenden Betriebe sehen die Facharbeiterausbildung eher nicht als Solarthermie-Wissensquelle an.

Eine andere Sicht ist die der Hersteller auf ihre Fachkunden. Hier fällt die Beurteilung der Qualifikation eher schlecht aus. Die meisten Hersteller sehen große Unterschiede innerhalb der Solarthermie-Qualifikation ihrer Kundengruppen, insbesondere bei Handwerkern, Fachhandels-

⁷ Entsprechend Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

partnern und Architekten. Es gibt zwar laut Hersteller auch qualifizierte Kunden, im Schnitt wird aber vor allem Architekten generell ein schlechtes Zeugnis gestellt und bei Handwerkern und Fachingenieuren werden Planungswissen und produktspezifisches Wissen als eher nicht ausreichend angesehen.

4.2.2 Analyse Bildungsangebot

4.2.2.1 Ausbildung

Die teilnehmenden Hersteller bilden derzeit im Mittel einen ST-Auszubildenden aus. Die Hälfte der Hersteller hat derzeit keinen Mehrbedarf, der Rest nur geringen. In ausführenden Betrieben wird derzeit im Mittel ein Solarthermie-Auszubildender ausgebildet, wobei der derzeitige Mehrbedarf im Mittel bei 0,83 Auszubildenden liegt.

4.2.2.2 Fortbildung

Fortbildungsangebote wurden von rund 40% der befragten Hersteller sowie von rund 50% der befragten Institute und ausführenden Betriebe als nicht ausreichend angesehen. Bei genauerer Nachfrage bei ausführenden Betrieben sahen rund 70% kein ausreichendes Fortbildungsangebot bei Verbänden und rund 60% keines bei freien Bildungsträgern. Immerhin sehen rund 80% ein ausreichendes Fortbildungsangebot bei Herstellern von Solarthermie-Produkten.

Die Qualität der angebotenen Fortbildungen wird als durchschnittlich bis ausreichend angesehen. Ausführende Betriebe bewerten die Qualität von Fortbildungen bei Herstellern von Solarthermie-Produkten am besten, am schlechtesten schneiden Fortbildungen bei freien Bildungsträgern ab.

Bei allen Befragungsteilnehmern gibt es einen deutlich höheren Bedarf an Fortbildungen auf Fortgeschrittenenniveau, insbesondere bei Instituten und ausführenden Betrieben. Für Fortbildungen auf Grundlagenniveau wird ein Bedarf von bis zu 100 Teilnehmern pro Betrieb pro Jahr angegeben, zusammen über 200 Teilnehmer pro Jahr bei den 57 befragten Herstellern, Instituten und ausführenden Betrieben. Für Fortbildungen auf Fortgeschrittenenniveau wird ein Bedarf von bis zu 10 Teilnehmern pro Betrieb pro Jahr angegeben, zusammen über 150 Teilnehmer pro Jahr bei den 62 befragten Herstellern, Instituten und ausführenden Betrieben.

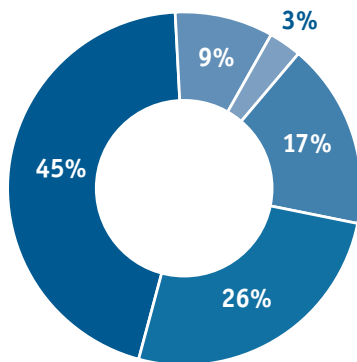
Derzeitiges Fortbildungsbudget der Mitarbeiter:

- Bei Herstellern kann im Mittel jeder Solarthermie-Spezialist rund 4 Tage Fortbildungen (inklusive Fachkongresse) besuchen (Bandbreite

von 0 bis 10 Tage), wobei 13% der Hersteller sogar weniger als bisher für angemessen halten.

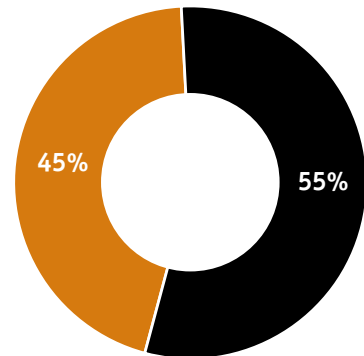
- Bei Instituten sind es im Mittel rund 7,5 Tage (Bandbreite von 3 bis 15 Tage), 40% der Institute hielten aber mehr Fortbildungstage für sinnvoll.
- In ausführenden Betrieben können Solarthermie-Spezialisten zwischen 0 und 25 Tage pro Jahr Fortbildungen besuchen, durchschnittlich um die 3 Tage. Im Mittel werden die meisten Fortbildungstage bei Herstellerschulungen wahrgenommen, dort ist auch der größte Wunsch nach einem Angebotsausbau. Generell wird das Angebot aber von den meisten ausführenden Betrieben als ausreichend angesehen.

In knapp der Hälfte der ausführenden Betriebe erhalten ST-Mitarbeiter mindestens halbjährlich (43%) oder mindestens ein Mal im Jahr (45%) eine Fortbildung. Eine häufigere Fortbildung wird von knapp der Hälfte (45%) als wünschenswert angesehen, für den Rest ist die derzeitige Frequenz offenbar ausreichend (siehe Abb. 12/13).



- 45% einmal im Jahr
- 26% halbjährlich
- 17% vierteljährlich
- 9% alle 2 Jahre
- 3% länger als alle 2 Jahre

Abb. 12 Derzeitige Fortbildungshäufigkeit von ST-Spezialisten in ausführenden Betrieben



- 45% häufiger
- 55% gleich
- 0% seltener

Abb. 13 Gewünschte Fortbildungshäufigkeit von ST-Spezialisten in ausführenden Betrieben

Herstellerschulungen sind für ausführende Betriebe neben der produktspezifischen auch zur allgemeinen Fortbildung relevant, sogar relevanter als Schulungen durch Bildungsträger/Verbände, was sich auch in der Bewertung der jeweiligen Fortbildungsangebote wider spiegelt.

4.2.2.3 *Bildungskooperationen*

Hersteller sind schon heute in Bildungskooperationen mit Berufsschulen und sonstigen Bildungsträgern engagiert oder wollen sich engagieren. Teilweise wollen sie dieses Engagement auch noch ausbauen, insbesondere bei der Bereitstellung von Musteranlagen und Praktikumsplätzen. Als weitere Möglichkeit wurde die Bereitstellung von Fernschulungen angeboten.

Auch die Hälfte der teilnehmenden ausführenden Betriebe sind bereits in Bildungskooperationen engagieren oder könnten sich dies vorstellen. Ausbauen wollen sie generell die Entsendung von Dozenten und die Bereitstellung von Praktikumsplätzen. Als weitere Möglichkeit wurde die Zusammenarbeit in Projekttagen vorgeschlagen.

4.2.2.4 *Solarthermie-Bildungsangebote der beruflichen Aus- und Fortbildung*

Es gibt ein flächendeckendes Angebot an beruflicher Aus- und Fortbildung von verschiedensten Anbietern. Eine Übersicht zu Ausbildungsstätten für Solarthermie findet sich in [DSTP2008].

4.2.2.5 *Solarthermie-Bildungsangebote als Fortbildungen bei Herstellern*

Im Rahmen der Befragung wurden Hersteller der Solarthermiebranche zu ihrem Angebot an Schulungen befragt. 21 von 22 Befragungsteilnehmern bieten Herstellerschulungen für ihre Kunden an. Alle zusammen schulen rund 4.000 Teilnehmer pro Jahr, 17 dieser Unternehmen wollen ihr Schulungsangebot ausbauen.

Rund 75% der Teilnehmer sind Handwerker. Die angebotene Lehrgangsdauer beträgt meist ein bis zwei Tage. Hersteller geben an, diese Schulungen zur Kundenbindung und Qualitätssicherung beim Einsatz ihrer Produkte und zur Behebung der Defizite in der Solarthermie-Qualifikation ihrer Kunden anzubieten.

4.2.2.6 *Solarthermie-Bildungsangebote von Hochschulen*

Zur Beschreibung des Lehrangebotes zur Solarthermie an deutschsprachigen Hochschulen wurden 35 Professoren um Angaben zu ihrem jeweiligen Lehrangebot sowie zur ungefähren Absolventenzahl auf verschiedenen Ausbildungsstufen gebeten. Bei 28 Rückläufen können die Ergebnisse zum Zeitpunkt der Befragung (September 2008) als repräsentativ angesehen werden.

Aus Abb. 14/15 werden die auf der Nachfrageseite deutlich gewordenen Probleme mit Anzahl und Solarthermie-Qualifikation der Hochschulabsolventen erklärbar: Zwar durchlaufen inzwischen viele Studierende

Abb. 14 Zahl der AbsentInnen von Hochschulkursen und/oder Abschl sarbeiten im Bereich Solartermie an deutschsprachigen Fachhochschulen und Hochschulen

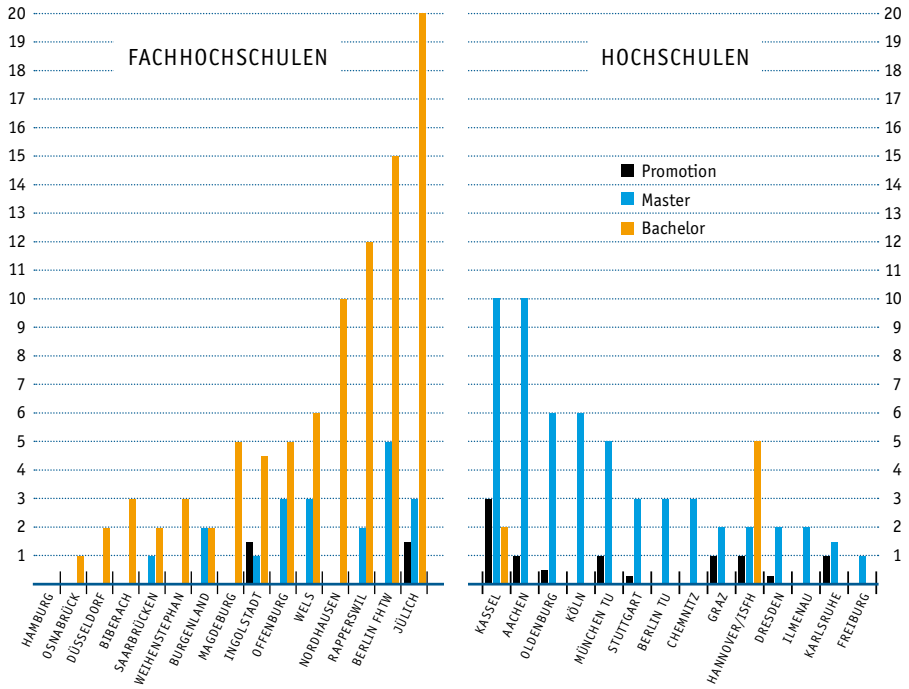
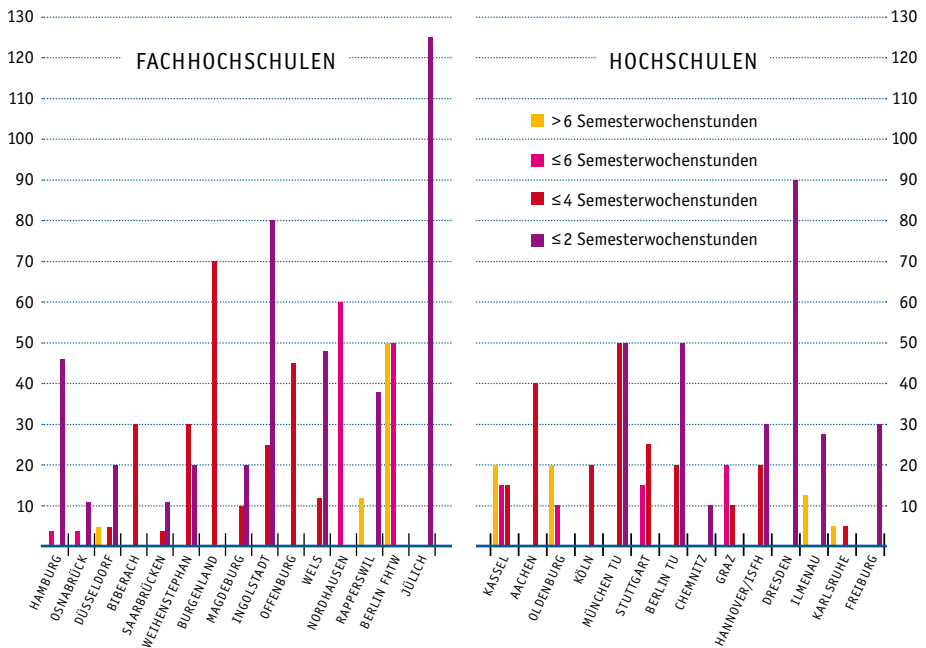


Abb. 15 Tiefe der Ausbildung an deutschsprachigen Fachhochschulen und Hochschulen



offenbar eine akademische Basisausbildung im Bereich der Solarthermie, diese bleibt aber in den allermeisten Fällen nur oberflächlich mit weniger als 2 Semesterwochenstunden (SWS), z. B. als Teil von Vorlesungen zur Energietechnik. Nur da, wo spezielle Studiengänge z. B. für regenerative Energien eingerichtet und Professoren für Solarthermie berufen wurden, ist eine tiefer gehende Ausbildung gewährleistet. Dies gilt bei Fachhochschulen offenbar insbesondere für die Standorte Jülich, Berlin, Rapperswil und Nordhausen, bei Universitäten für Kassel, Aachen und Oldenburg. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass in Aachen schwerpunktmäßig Hochtemperatursolarthermie gelehrt wird und in Oldenburg fast ausschließlich ausländische Studierende ausgebildet werden. Die Zahl der im deutschsprachigen Raum im weiteren Themenbereich der Solarthermie angefertigten akademischen Abschlussarbeiten beträgt nach Angaben der ausbildenden Hochschullehrer immerhin über 150 pro Jahr, wovon anschließend sicher die Hälfte der Absolventen dem Arbeitsmarkt zur Verfügung steht.

	Fachhochschulen	Universitäten
kleiner gleich 2 SWS	419	260
kleiner gleich 4 SWS	231	205
kleiner gleich 6 SWS	118	30
mehr als 6 SWS	67	45
Bachelor	90	7
Master	20	53
Promotion	3	9

Tab. 28: Anzahl der an deutschsprachigen Hochschulen nach Angaben der jeweiligen Hochschullehrerinnen und -lehrer jährlich ausgebildeten Akademiker mit Solarthermie-Kenntnissen. Eine Semesterwochenstunde (SWS) entspricht ungefähr 14 Vorlesungs- oder Praktikumsstunden bzw. 1,5 Credits im ECT-System.

4.2.3 Empfehlungen zur Qualifizierung

Die vorliegende Kurzanalyse kann leider nur Tendenzen aufzeigen, auch weil die Datenbasis zumindest bei den Herstellern und ausführenden Betrieben nicht sehr groß war. Die Befragung wurde jedoch von mehreren Seiten (Firmen, Verbänden, Medien) mit Interesse aufgenommen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um beispielsweise zu ermitteln, warum die Aus- und Fortbildungen für die Solarthermie schlecht bewertet werden und wie dies verbessert werden könnte.

4.2.3.1 Empfehlungen zur beruflichen Solarthermie-Qualifizierung

Auf Basis dieser Kurzanalyse können vier Empfehlungen für die Verbesserung der beruflichen Qualifizierung abgeleitet werden:

1. **Ausbau und Verbesserung des Solarthermieunterrichts an den Berufsschulen**

Berufliche Ausbildung ist bei vielen befragten Firmen Einstellungs voraussetzung, insbesondere bei ausführenden Betrieben. Gleichzeitig wird diese berufliche Ausbildung aber schlecht bewertet und auch nicht als wesentliche Quelle der Solarthermie-Fachkenntnisse angesehen.

2. **Stärkere Bewerbung des Berufs zur Solarthermie-Fachkraft und Erhöhung der Ausbildungskapazität**

Firmen sehen einen Fachkräftemangel kommen und es besteht offenbar jetzt schon ein Mehrbedarf, bei Nicht-Akademikern insbesondere an Installateuren in ausführenden Betrieben und bei Herstellern in allen Betriebsbereichen.

3. **Ausbau und Verbesserung des Solarthermie-Fortbildungsangebotes**

Für ausgebildete Solarthermie-Mitarbeiter sollte das Fortbildungsangebot ausgebaut werden. Das vorhandene Angebot wird als nicht ausreichend angesehen und, mit Ausnahme von Herstellerschulungen, oft schlecht bewertet.

4. **Einführung von Coaching als neuen Weg der Solarthermie-Fortbildung**

Coaching als Projektbegleitung durch Solarthermie-Experten erscheint sinnvoll, da bisher Solarthermie-Wissen hauptsächlich aus der Berufspraxis stammt, was durch Coaching auch theoretisch fundiert werden könnte. Insbesondere wäre dieser Ansatz für derzeitige Mitarbeiter denkbar, die von den erstgenannten Empfehlungen zur Ausbildung nicht mehr profitieren.

Bei allen vorgenannten Empfehlungen sollten die Hersteller mit einbezogen werden. Sie bringen bereits Qualifizierungserfahrungen aus ihrem bisherigen Engagement mit (Herstellerschulungen, Bildungs Kooperationen und Projektunterstützung) und werden auch als Schulungsanbieter am besten bewertet. Auch haben sie in der Umfrage durchaus eine Bereitschaft zu stärkerem Qualifizierungsengagement erkennen lassen.

4.2.3.2 *Empfehlungen zur akademischen Qualifizierung*

Bei der Auswertung der Angebots- und Bedarfsanalyse für Akademiker wurden insbesondere drei Problemfelder deutlich:

- **Zu wenige Hochschullehrerinnen und -lehrer** im Bereich der Solarthermie, wie generell im Bereich regenerative Energietechniken. Der natürliche Generationswechsel an den Hochschulen ist aber viel zu langsam, um den sehr schnell wachsenden Fachkräftebedarf der einschlägigen Industrie zu decken. Es ist daher erforderlich, Anreizsysteme für Hochschulen zu entwickeln, die die verstärkte Ausrichtung von Professuren im Bereich regenerative Energien im Allgemeinen und Solarthermie im Besonderen stimuliert.
- **Zu wenig Hochschulabsolventinnen und -absolventen** mit technischem Spezialwissen zur Solarthermie.
- **Keine ausreichende Vorbildung der Hochschulabsolventinnen und -absolventen** ist aus Sicht der Firmen und Institute.

Auf Basis dieser Analyse werden folgende Empfehlungen gegeben:

1. **Bundesprogramm zur Unterstützung von Stiftungsprofessuren zur gezielten Erhöhung der Zahl der Hochschullehrerinnen und -lehrer im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien**

Stiftungsprofessuren geben den Hochschulen den Spielraum, neue Forschungsgebiete zu erschließen und sind ein bereits gut etabliertes Instrument zur gezielten Ausrichtung von Lehr- und Forschungsinhalten. Derzeit gibt es ca. 660 aktuell laufende Stiftungsprofessuren, die sich nach einer Erhebung im Auftrag des Stifterverbands der Deutschen Wissenschaft sowohl aus Sicht der Förderer, als auch der Hochschulen und der Ministerien sehr bewährt haben [SVDW2010].

Da die Ertragssituation und die mittelständischen Strukturen der Unternehmen der Solarthermiebranche nicht geeignet sind, allein von Seiten der Wirtschaft eine ausreichende Zahl von Stiftungsprofessuren zu finanzieren, empfiehlt sich ein Bundesprogramm, das die Wirtschaft bei der Finanzierung von Stiftungsprofessuren unterstützt, wie es z. B. die Zukunftsstiftung Sachsen-Anhalt in ihrem Bundesland anbietet. Alternativ könnten auch Stiftungsprofessuren vom Bund im Rahmen von Ausschreibungsverfahren vergeben

werden, wobei insbesondere auch strukturelle Änderungen in den einzelnen Hochschulen hin zur Stärkung der Lehre im Bereich erneuerbare Energien ein Vergabekriterium sein sollten. Positiver Nebeneffekt einer solchen Maßnahme wären klare Perspektiven für den wissenschaftlichen Nachwuchs, so dass das Studienfeld erneuerbare Energien insbesondere bei den besten Studierenden deutlich an Attraktivität gewinnen würde.

2. **Einrichtung einer zentralen Datenbank für Studiengänge im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien**

Nicht zuletzt aufgrund der starken Nachfrage durch die Studierenden entwickeln sich Studienangebote im Bereich erneuerbare Energien recht dynamisch. Selbst Fachleuten fällt es schwer, den Überblick über die neu entstehenden Studienprofile zu behalten und deren Tiefe und Qualität zu beurteilen, umso mehr gilt dies für Studieninteressierte und Absolventen suchende Firmen. Deshalb ist der Aufbau einer sich selbst aktualisierenden und aufgrund der Bedeutung der Exportmärkte international angelegten Datenbank über das aktuelle Angebot der Studiengänge im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien erforderlich.

Die Einrichtung einer solchen Datenbank wird auch vom Fachausschuss „Hochschule“ der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) vorgeschlagen, ein Konzept für die Erstellung und Pflege wurde bereits von der International Solar Energy Society (ISES) mit Sitz in Freiburg erstellt.

3. **Aufbau einer internetbasierten Vorlesungsmaterialsammlung im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien**

Die Qualifikation von Solarthermie-Absolventen ist einerseits mit der Zahl der spezialisierten Hochschullehrer korreliert, andererseits besteht auch der Bedarf, die Qualität der Lehre weiter zu optimieren und die Erfahrungen aus der bisherigen Lehre den künftigen Hochschullehrerinnen und -lehrern gezielt zur Verfügung zu stellen. Ein sinnvoller Ansatz dazu ist der Aufbau einer internetbasierten Vorlesungsmaterialsammlung zur Solarthermie/erneuerbaren Energien. Die Erstellung der Materialien sollte durch europäische Experten erfolgen und diese regelmäßig aktualisiert werden. Das Lehrmaterial sollte zusätzlich einen Peer-Review-Prozess durchlaufen. So wäre sicher gestellt, dass die Lehrmaterialien immer aktuell bleiben und den Stand der Technik wieder geben. Die Datenbasis könnte dann sowohl von Lehrenden als auch von Studierenden genutzt werden.

4. **Förderung von Doktorandennetzwerken im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien**

Die Unterstützung des internationalen Austausches von Doktoranden im Bereich Solarthermie/erneuerbare Energien hat sich als wirksame Maßnahme zur Stärkung der wissenschaftlichen Basis der Solarthermie in den Universitäten erwiesen, wie das sehr erfolgreiche europaweite Doktorandennetzwerk SolNet, das im Rahmen des europäischen Marie Curie Actions-Programms gefördert wurde, belegt. Eine Fortsetzung des ausgelaufenen europäischen Programms sowie die Etablierung und Förderung entsprechender Strukturen von deutscher Seite sind erforderlich.





Vakuümrohrenproduktion

Quelle: Narva / NT Solartechnik GmbH

Literaturverzeichnis

[BMBF 2010]

Bundesbericht Forschung und Innovation 2010,

Bundesministerium für Bildung und Forschung,

Berlin/Bonn, Juni 2010

www.bmbf.de/de/12210.php

[BMU 2010]

**Innovation durch Forschung – Jahresbericht 2009 zur Forschungs-
förderung im Bereich der Erneuerbaren Energien,**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,

Berlin, Februar 2010

www.erneuerbare-energien.de/inhalt/46166/4595/

[BSW2007]

GroSol – Studie zu großen Solarwärmeanlagen,

Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar),

Berlin, November 2007

www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie_grosol.pdf

[BSW2010]

Statistikpapier Solarthermie,

Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar),

aktualisierte Fassung 06/10, Berlin, Juni 2010

www.solarwirtschaft.de/medienvertreter/marktdaten.html

[DSTTP2008]

Kurzanalyse des Qualifizierungsbedarfs der deutschen Solarthermiebranche, des Bildungsangebots im akademischen und beruflichen Bereich sowie der öffentlichen Forschungsförderung,

K. und R. Lambrecht, K. Vajen,

im Auftrag der DSTTP, Dezember 2008,

www.dsttp.de und www.solaroffice.de/Publikationen

[ESTTP2009]

Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe,

European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP),

Brüssel, 2009

www.rhc-platform.org/cms/index.php?id=16

[FVEE2010]

Energiekonzept 2050, Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien,

Fachausschuss des Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE),

Berlin, Juni 2010

www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf

[SVDW2010]

Stiftungsprofessuren in Deutschland:

Zahlen, Perspektiven, Erfahrungen,

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft,

Essen, 2009

www.stifterverband.info/publikationen_und_podcasts/positionen_dokumentationen/stiftungsprofessuren_in_deutschland/stiftungsprofessuren_in_deutschland.pdf

[Weiß2007]

Semi annual status report, IEA-SHC Task33/IV,

W. Weiß,

Gleisdorf, 2007

Mitwirkende DSTTP

Das Strategiepapier wurde erstellt durch die Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP im Zeitraum 2008 bis 2010. In mehreren Arbeitsgruppen wurden die Inhalte der einzelnen Kapitel erarbeitet. Das Dokument wurde vom Steuerungskreis der DSTTP diskutiert und verabschiedet, aus dem auch das Redaktionsteam stammt.

Steuerungskreis der DSTTP

Redaktionsteam

Gerhard Stryi-Hipp, Harald Drück, Volker Wittwer, Wilfried Zörner

Weitere Mitglieder

Elmar Bollin, Ullrich Bruchmann, Peter Donat, Jan Fischer, Bernd Hafner, Hans-Martin Henning, Helmut Jäger, Volker Kallwellis, Jan Michael Knaack, Ralf Köbbemann-Rengers, Michael Köhl, Klaus Lambrecht, Dirk Mangold, Michael Nast, Christian Stadler, Klaus Vajen

Folgende Mitarbeiter waren bei der Erarbeitung der einzelnen Kapitel beteiligt:

Kapitel 3.1 Solarkollektoren

Erstellt von Volker Kallwellis, Wilfried Zörner

Unter Mitarbeit von Stefan Abrecht, Mario Engelhard, Karsten Fenske, Stefan Hess, Dirk Heuer, Jens Lenk, Davorin Pavic, Dimitrios Peros, Jochen Plagge, Dirk Rode, Lars Staudacher, Yan Zhang, Gerhard Stryi-Hipp, Michael Hermann

Kapitel 3.2 Wärmespeicher für Einzelgebäude

Erstellt von Harald Drück, Bernd Hafner

Unter Mitarbeit von Georg Dasch, Wolfgang Hilz, Dirk Heuer, Fabian Ochs, Manfred Reuß, Jörn Scheuren, Michael Schröder, Thorsten Urbaneck, Ulrich Schirmer, Harald Mehling, Martin Scholtissek, Eric Weise, Henner Kerskes, Wolf Steinmann, Bernd Haschke, Roland Eichler

Kapitel 3.3 Saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen

Erstellt von Dirk Mangold (Leiter Arbeitskreis Langzeit-Wärmespeicher)

Unter Mitarbeit von den Mitgliedern des Arbeitskreises Langzeit-Wärmespeicher: D. Bauer, J. Bühl, M. Ebel, F. Kabus, H. Koch, A. Lichtenfels, J. Nußbicker, F. Ochs, K.-H. Reineck, M. Reuß, M. Riegger, A. Rostert, H. Seiwald, J. Scheuren, M. Schlosser, T. Schmidt, W. Schölkopf, Th. Urbaneck, C. Wilhelms

Kapitel 3.4 Systemtechnik

Erstellt von Elmar Bollin

Unter Mitarbeit von Markus Baur, Reiner Croy, Werner Gut, Helmut Jäger, Reimund Klünder, Ralf Luchterhand, Markus Metz, Heiner Metzler, Peter Pärtsch, Markus Peter, Dirk Pietruschka, Klaus Rauch, Christian Stadler, Gerhard Stryi-Hipp, Frank Thole, Thorsten Wich, Hans-Georg Baunach

Kapitel 3.5 Anwendung: Solare Prozesswärme

und ***Kapitel 3.6 Anwendung: Solares Kühlen und Klimatisierung***

Erstellt von Christian Stadler, Hans-Martin Henning, Ulrike Jordan

Unter Mitarbeit von Ahmet Lokurlu, Kristian Doepner, Matthias Safarik, Uli Jakob, Dirk Pietruschka, Siegfried Westmeier, Manfred Schmidt, Uwe Eckstein, Maik Schedletzky, Jens Niemeyer, Nikolaus Benz, Wolfgang Peter, Rainer E. Wüst, Wolfgang Rosenthal, Yan Zhang

Beratende Experten Christian Schweigler, Thorsten Urbanek, Uwe Franzke, Christian Holter, Jan Albers, Matthias Rommel, Klaus Vajen, Bastian Schmitt, Christoph Lauterbach

Kapitel 4.1 Qualitätssicherung

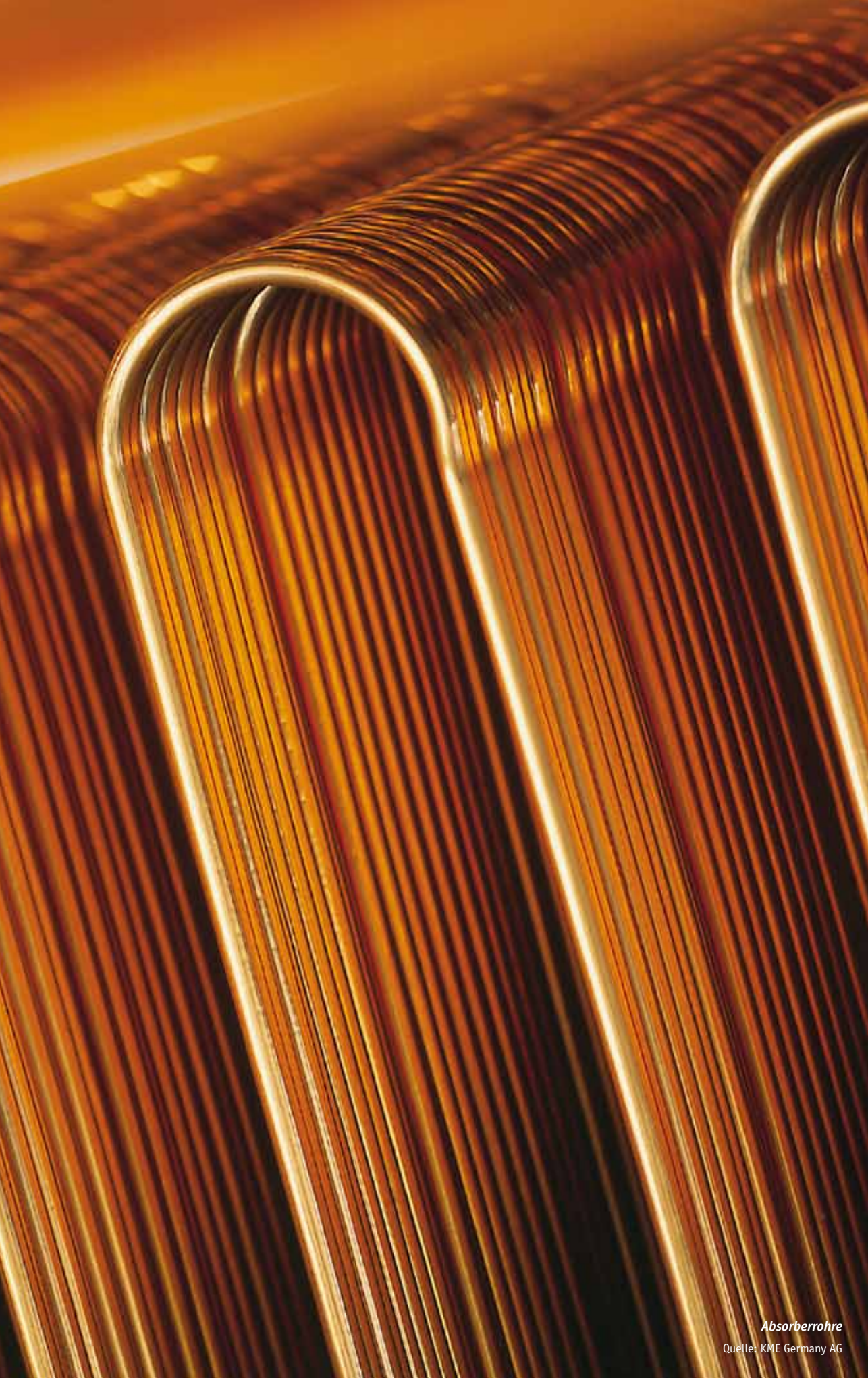
Erstellt von Ralf Köbbemann-Rengers, Michael Köhl, Harald Drück

Unter Mitarbeit von Stephan Fischer, Christian Brenning, Thomas Heising, Carsten Lampe, Karin Rühling, Peter Pärtsch

Kapitel 4.2 Qualifizierungsbedarf / Aus- und Weiterbildung

Erstellt von Klaus Lambrecht, Ralf Lambrecht, Klaus Vajen





Absorberrohre

Quelle: KME Germany AG

